

# Aplicación del estabilizador electroquímico BioCec a una carretera en los andes del Perú

## Application of the BioCec Electrochemical Stabilizer to a Road in the Andes of Perú

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

De La Cruz Vega Sleyther Arturo <sup>1</sup>  
Vega Neyra Ccori Siell <sup>2</sup>

Recibido: 06 / 04 / 2023

Aceptado: 03 / 10 / 2023

Publicado: 08 / 11 / 2023

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i35.309>

Autor de Correspondencia:

Sleyther Arturo De La Cruz Vega

Correo: [sdelacruz@ucv.edu.pe](mailto:sdelacruz@ucv.edu.pe)

### Resumen

El propósito de la investigación fue analizar el comportamiento de una subrasante, utilizando una estabilización electroquímica en una carretera en los andes del Perú. Utilizó una metodología cualitativa, cuantitativa y aplicada. Su población y muestra fue una longitud de 1 km, realizando 03 calicatas a cada a 0, 500 y 1000 m. Sus resultados muestran que el suelo en estado natural es un A-6 (arcillosos de baja plasticidad), con Californian Bearing Ratio de 9,60% ubicándose como subrasante regular. La incorporación del estabilizador electroquímico BioCec en varios en combinación de 0,04 l/m<sup>3</sup>, 0,07 l/m<sup>3</sup> y 0,10 l/m<sup>3</sup> produce una reducción del límite de consistencia en LL=5,90% LP=2,46% disminuyendo en 2,03%. El CBR incrementa a 7,12% al 100% y 5,08% al 95% en comparación con el suelo natural, mejorando su categoría a un A-4, subrasante buena. Se concluye que el suelo con la aplicación del estabilizado electroquímico BioCec mejora sus propiedades físico-mecánicas.

**Palabras clave:** estabilización, Subrasante, Electroquímico, BioCecn.

### Abstract

*The purpose of the research was to analyze the behavior of a subgrade, using an electrochemical stabilization on a road in the Andes of Peru. A qualitative, quantitative, and an applied methodology were used. Its population and sample had a length of 1 km, making 03 test pits each at 0, 500 and 1000 m. Their results show that the soil in its natural state is an A-6 (clayey of low plasticity), with Californian Bearing Ratio of 9.60%, being categorized as a regular subgrade. The incorporation of the BioCec electrochemical stabilizer in various combinations of 0.04 l/m<sup>3</sup>, 0.07 l/m<sup>3</sup> and 0.10 l/m<sup>3</sup> produces a reduction in the consistency limit at LL=5.90% LP=2.46 % decreasing by 2.03%. The CBR increases to 7.12% at 100% and 5.08% at 95% compared to the natural soil, improving its category to an A-4, a good subgrade. It is concluded that the soil with the application of the BioCec electrochemical stabilizer improves its physical-mechanical properties.*

**Keywords:** stabilisation, subgrade, electrochemical, BioCec.

<sup>1</sup> Mg. Ecología y gestión ambiental, Ingeniero civil, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, [sdelacruz@ucv.edu.pe](mailto:sdelacruz@ucv.edu.pe), Orcid <https://orcid.org/0000-0003-0254-301X>.

<sup>2</sup> Bachiller en ingeniería civil, Universidad Nacional de Barranca, Barranca, Perú, [cvegan182@unab.edu.pe](mailto:cvegan182@unab.edu.pe), Orcid <https://orcid.org/0000-0002-7168-4636>

## INTRODUCCIÓN

Muchas personas tienen dificultades para progresar económicamente y disminuir su índice de pobreza, uno de los principales factores es que las vías de comunicación no permiten el traslado de bienes y personas para realizar el comercio. [1]

En el Perú, los departamentos con más carreteras asfaltadas son: Ancash (39,6%), Arequipa (32,8%), Lambayeque (31,2%), Loreto (30,3%) y Piura (28,4%). Por otra parte, las divisiones con los índices mínimos fueron: Ucayali (0,4%), Madre de Dios (0,7%), Apurímac (0,7%), Huancavelica (1,1%) y Huánuco (2,2%). Estos resultados son muy desalentadores, debido a la importancia de la disponibilidad de vías para la integración de pueblos y ciudades. [2] En la actualidad se utilizó el 94,5% del presupuesto institucional modificado (PIM) para vías de carácter nacional, en comparación con los gobiernos regionales que solo utilizaron 48,1% para las carreteras departamentales, reflejando una amplia dificultad para la ejecución del uso de recursos públicos en el sector infraestructura en 2019 según el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), [3].

El Perú al encontrarse en vía de desarrollo, requiere utilizar su inversión para el desarrollo de políticas que permitan obtener una macroeconomía estable y permitan el desarrollo social [4], permitiendo una adecuada administración de los recursos públicos [5]

En la región alto andino, existe dificultad para poder movilizarse de un lado a otro, debido a su superficie con pendientes elevadas y laderas de paredes empinadas que no permiten el desplazamiento de los vehículos. [6]

En dichas zonas existen menos carreteras y la mayoría de ellas en mal estado. Siendo estas vías de comunicación de mucha importancia para unir las ciudades y mantener la economía y calidad de vida para la sociedad. Sin embargo, que trae consigo la presencia de fallas considerables en el pavimento [7] como el deterioro de su superficie (baches, surcos) y la reducción de resistencia por el aumento de condiciones húmedas y lluvias, etc, y la no existencia de un plan de mantenimiento periódico para la prolongación de la vida útil. [8] Debido a esto es necesario una subrasante adecuada, que amplíe su vida útil actual, y debe componerse por materiales con excelentes propiedades físicas y mecánicas.

## METODOLOGÍA

La investigación es aplicada, porque se caracteriza en la utilización de los conocimientos adquiridos, los cuales se implementan y sistematizan en la práctica utilizando la investigación. La utilización del conocimiento y sus resultados puede permitir una manera rigurosa, organizada y sistemática del entorno. [9] Su enfoque [10] permite la identificación y estructura del problema, el cual se complementa con las revisiones de las bases teóricas sobre el tema y se utilizan varios conceptos teóricos de referencia. Procesando los datos recopilados y utilizando herramientas estadísticas para el contraste de sus hipótesis.



La muestra se eligió teniendo en cuenta criterios establecidos de población, un grupo de casos particulares, restringido y accesible. [11]

El estudio se realizó en un tramo de 1 km de la vía, se tomó una muestra de tres calicatas. La técnica empleada es la observación participante, debido a que los ensayos del estudio tienen participación del investigador.

En ese sentido, de acuerdo a los objetivos, se desarrolló el siguiente procedimiento de estudio (Ver figura 1)

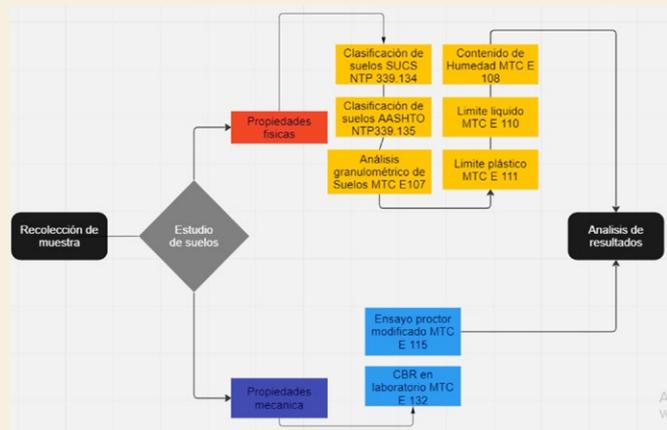


Figura 1. Ensayos de laboratorios realizados

Primero, se inició con un reconocimiento de la topografía del terreno a investigar tomando las muestras al azar donde se reúne con las mismas características físico-mecánicas de la población total (Cartera de 9,27 km), donde se tomó 3 calicatas los que nos permitirán describir las propiedades del suelo y realizar la comparación de un suelo patrón y suelo con incorporación electroquímica en diferentes proporciones.

Se tomó como una alternativa de solución a los suelos poco estables, la incorporación del estabilizador electroquímico BioCec; por sus propiedades de estabilización química ionizante que está asociada justamente con la eliminación del agua por sustitución de cationes, disminu-



yendo el hinchamiento, forman polímeros tridimensionales hidrofóbicos en los capilares del material estabilizado.

Segundo, una vez tomado las muestras se inició con los ensayos de laboratorio partiendo de la clasificación del suelo patrón y suelo con incorporación del estabilizador electroquímico, para luego a proceder a determinar los límites de consistencia, dándonos como resultado el índice de plasticidad con y sin incorporación de estabilizador electroquímico BioCec.

Tercero, para poder terminar la densidad seca y la humedad optima de compactación de la subrasante fue necesario el ensayo de proctor modificado, realizando los ensayos a un suelo patrón de la subrasante e incorporando el estabilizador electroquímico en cantidades de  $0,04 \text{ l/m}^3$ ,  $0,07 \text{ l/m}^3$  y  $0,1 \text{ l/m}^3$ , en estricto cumplimiento (MTC E-115, 2014).

Cuarto, finalmente se determina el ensayo de California Bering Ratio (CBR) según la norma ASTM 1883, con la finalidad de verificar la capacidad de resistencia del suelo, permitiéndonos establecer en porcentajes en cuanto mejora nuestro suelo patrón en comparación con el suelo con incorporación de estabilizador electroquímico en proporciones.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para poder evaluar el comportamiento de electroquímica de la subrasante, fue necesario iniciar con el análisis de granulometría y límites de consistencia al suelo natural y suelo con incorporación del estabilizador electroquímica en las calicatas (CA) estudiadas.

Tabla 1. Promedio de clasificación de suelos

TAMIZ	CA-01 (retenido %)	CA-02 (retenido %)	CA-03 (retenido %)	Prom. (Retenido %)
Nº 4	1,40	1,20	1,10	1,23
Nº 10	0,60	0,50	0,70	0,60
Nº 20	0,90	0,30	0,50	0,57
Nº 40	2,50	0,80	0,90	1,40
Nº 100	18,70	19,60	19,90	19,40
Nº 200	15,00	15,30	15,50	15,27
FONDO	61,00	62,30	61,40	61,57

En la tabla 1, se observa que los porcentajes del plato (fondo), en la muestra C-1 es 61,00%, en C-2 es 62,30% y en C-3 es 61,57%, comparando con las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, 2013, las muestras estudiadas se encuentran dentro de las características de la arcilla con partículas de dimensión menor al  $0,005 \text{ mm}$ .

El ensayo de consistencia de suelos según la norma (MTC E 110,2000), para la muestra patrón, con incorporación experimentales del estabilizador electroquímico BioCec con adición de  $0,04 \text{ l/m}^3$ ,  $0,07 \text{ l/m}^3$  y  $0,10 \text{ l/m}^3$  obtuvimos como resultado la siguiente tabla Nº 2.

Tabla 2. Variación de límites de Atterberg

Suelo patrón				
Descripción	CA- 01	CA- 02	CA- 03	Promedio
LL%	33,93	34,63	33,4	<b>33,99</b>
LP%	22,16	22,08	22,28	<b>22,17</b>
IP%	11,77	12,55	11,12	<b>11,81</b>
Suelo patrón más 0,04 l/m <sup>3</sup>				
Descripción	CA- 01	CA- 02	CA- 03	Promedio
LL%	32,06	32,77	31,9	<b>32,24</b>
LP%	21,6	21,84	21,53	<b>21,66</b>
IP%	10,46	10,93	10,37	<b>10,59</b>
Suelo patrón más 0,07 l/m <sup>3</sup>				
Descripción	CA- 01	CA- 02	CA- 03	Promedio
LL%	32,04	31,5	30,52	<b>31,35</b>
LP%	21,91	21,42	21,06	<b>21,46</b>
IP%	10,13	10,08	9,46	<b>9,89</b>
Suelo patrón más 0,10 l/m <sup>3</sup>				
Descripción	CA- 01	CA- 02	CA- 03	Promedio
LL%	30,32	29,26	29,39	<b>29,66</b>
LP%	20,92	20,44	21	<b>20,79</b>
IP%	9,4	8,82	8,39	<b>8,87</b>

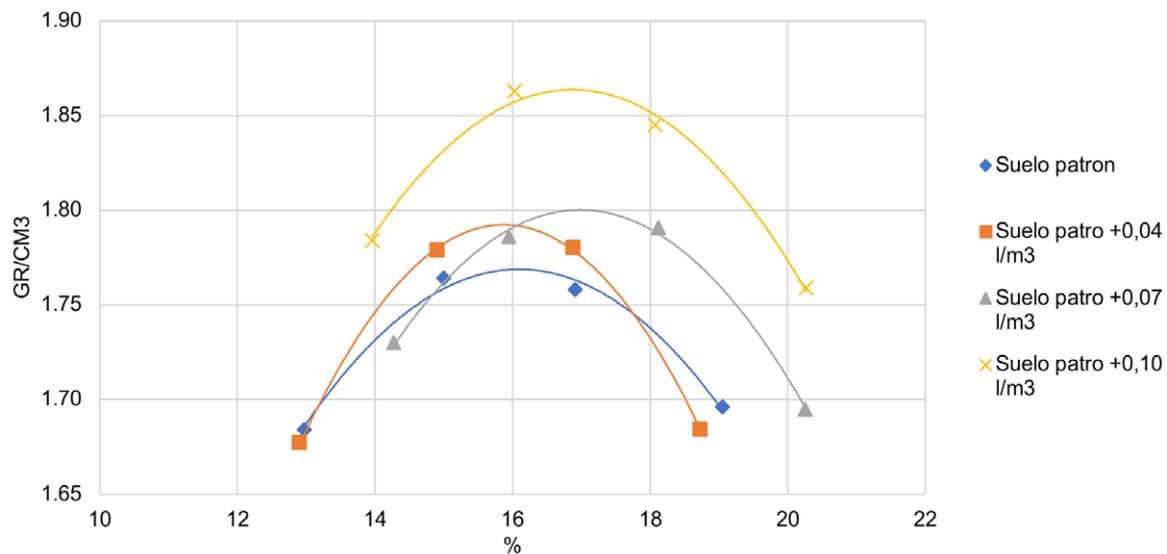
La Tabla 2 refleja un comportamiento de reducción de los límites de consistencia, según carta de plasticidad el suelo es un tipo A-4 suelos arcillosos de baja plasticidad; mejorando sus límites de consistencia, con el componente



electroquímico BioCec en 0,04 l/m<sup>3</sup>, 0,07 l/m<sup>3</sup> y 0,10 l/m<sup>3</sup> su límite líquido tuvo un valor de 32,24%, 31,35% y 29,66% y el límite líquido en 21,06%, 21,46% y 20,79% respectivamente y su índice de plasticidad promedio de 9,78% frente al suelo natural con un valor de 11,81%, mejorando sus límites de consistencia, obteniendo una plasticidad media con de un suelo arcilloso, con tendencia a la reducción, concuerda con [12] que indica que las ventajas del proceso de la estabilización pueden incluir valores más altos de la resistencia, reducción en plasticidad, una permeabilidad más baja, reducción del grueso del pavimento, eliminación del material de la excavación que acarrea o que maneja.

Tabla 3. Resultado de ensayo Proctor Modificado

DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )				CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
	CA- 01	CA- 02	CA- 03	PROMEDIO	CA- 01	CA- 02	CA- 03	PROMEDIO
SUELO PATRON	1,686	1,679	1,688	1,684	13,34	13,3	12,28	12,97
	1,771	1,75	1,772	1,764	15,4	15,33	14,27	15,00
	1,754	1,743	1,778	1,758	17,41	17,41	15,9	16,91
	1,672	1,697	1,72	1,696	19,85	19,1	18,2	19,05
SUELO PATRON + 0,04Lt/m <sup>3</sup>	1,677	1,68	1,664	1,674	13,37	12,81	12,55	12,91
	1,779	1,768	1,759	1,769	15,5	14,85	14,38	14,91
	1,78	1,792	1,78	1,784	17,23	16,92	16,51	16,89
	1,684	1,744	1,732	1,720	19,21	18,61	18,37	18,73
SUELO PATRON + 0,07Lt/m <sup>3</sup>	1,73	1,806	1,815	1,784	13,78	14,44	14,59	14,27
	1,786	1,844	1,854	1,828	15,12	16,31	16,41	15,95
	1,791	1,819	1,827	1,812	17,63	18,29	18,43	18,12
	1,695	1,75	1,759	1,735	19,8	20,4	20,54	20,25
SUELO PATRON + 0,10Lt/m <sup>3</sup>	1,784	1,778	1,769	1,777	14,04	13,74	14,09	13,96
	1,863	1,866	1,856	1,862	16,11	15,78	16,21	16,03
	1,845	1,862	1,841	1,849	18,31	17,69	18,22	18,07
	1,759	1,789	1,776	1,775	20,62	19,94	20,24	20,27



**Figura 2. Curvas de MDS y HO**

La tabla 3 y figura 2, refleja una máxima densidad seca (MDS) con un valor promedio de 1,77 g/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima (HO) con un valor promedio de 15,77 %. Comparando con el uso de estabilizador electroquímico BioCec, se observan incrementos ligeros en 0,04 l/m<sup>3</sup> con MDS de 1,79, g/cm<sup>3</sup> y HO de 16,28%, adicionando 0,07 l/m<sup>3</sup> su MDS es 1,83, g/cm<sup>3</sup>, y HO es 16,48%; y con adición de 0,10 l/m<sup>3</sup> su MDS es 1,87, g/cm<sup>3</sup>, y HO es 16,69%. Podemos deducir que al lograr el mejoramiento de su densidad

seca logra una mejora de su porcentaje de compactación [13] que concuerda con el agente estabilizante para suelos superiores logran mejorar significativamente su resistencia frente a las cargas.

El comportamiento del California Bering Ratio (CBR) se realizó para el suelo natural y para los grupos con adición de 0,04 l/m<sup>3</sup>, 0,07 l/m<sup>3</sup> y 0,1 l/m<sup>3</sup> del estabilizador electroquímico BioCec, se realizaron 3 repeticiones para obtener un promedio como se observa en la tabla 4.

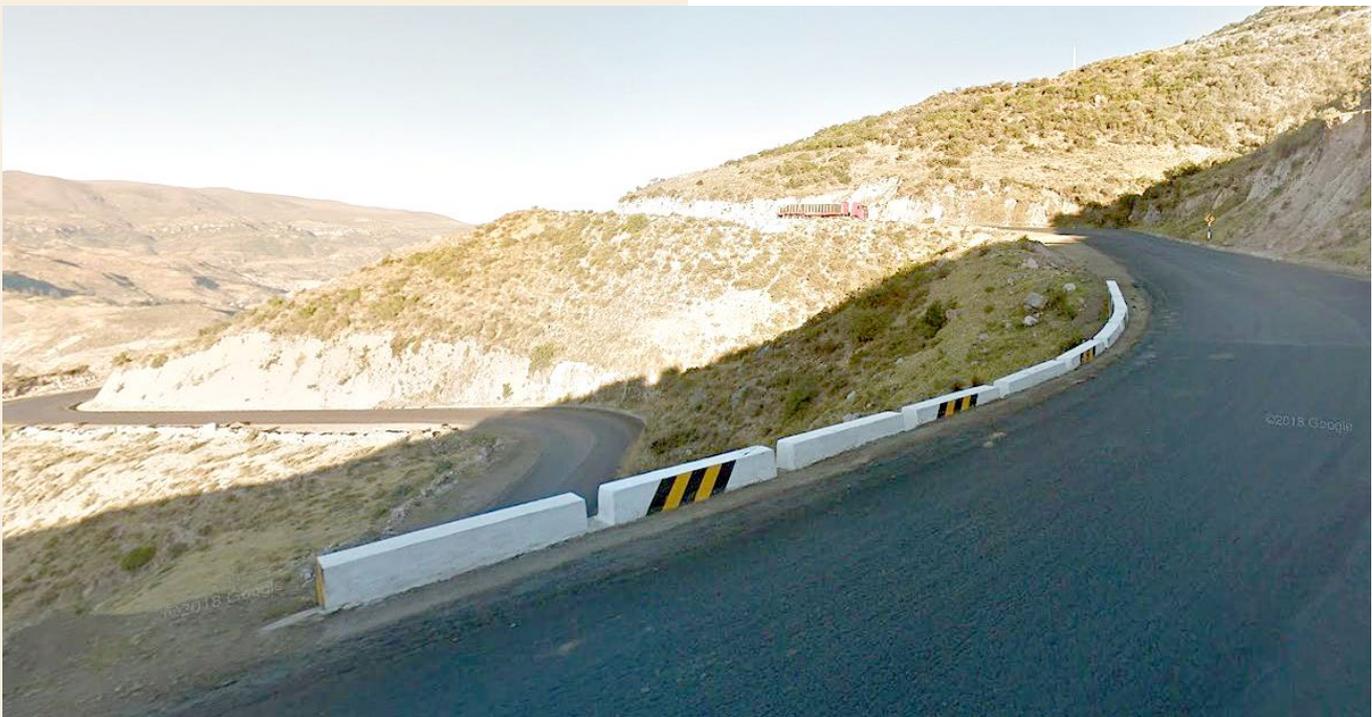


Tabla 2. Resultado de ensayo California Bearing Ratio

Descripción del suelo	N° de calicata	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	HO (%)	EC (golpes)	DSP (g/cm <sup>3</sup> )	CBR por golpes Pen: 0,1''(%)	CBR al 95% MDS Pen: 0,1''(%)	CBR al 100% MDS Pen: 0,1''(%)
Suelo patrón	c-1	1,774	15,89	12	1,59	2,7	5,9	10,3
				26	1,68	5,7		
				55	1,77	10,3		
	c-2	1,775	16,16	12	1,6	3,3	5,4	8,8
				26	1,68	5,7		
				55	1,76	8,8		
	c-3	1,781	15,27	12	1,63	4,6	5,8	9,7
				26	1,71	6,3		
				55	1,78	9,7		
Suelo patrón + ADC 0.04 l/m <sup>3</sup>	c-1	1,789	16,38	12	1,58	5,5	9,8	15,3
				26	1,67	8,4		
				55	1,79	15,3		
	c-2	1,794	16,51	12	1,63	6,9	8,6	14,5
				26	1,73	10		
				55	1,79	14,5		
	c-3	1,783	15,94	12	1,64	6,9	9,3	13,9
				26	1,71	10		
				55	1,78	13,9		
Suelo patrón + ADC 0.07 l/m <sup>3</sup>	c-1	1,805	16,48	12	1,65	7,2	11	16,7
				26	1,73	12,2		
				55	1,8	16,7		
	c-2	1,844	16,44	12	1,68	7,3	10,1	15,9
				26	1,77	10,9		
				55	1,84	15,9		
	c-3	1,854	16,52	12	1,7	8,4	11,6	17,4
				26	1,77	12,1		
				55	1,85	17,4		
Suelo patrón + ADC 0.10 l/m <sup>3</sup>	c-1	1,867	16,7	12	1,7	6,2	11,3	17,2
				26	1,81	13,4		
				55	1,87	17,2		
	c-2	1,873	16,59	12	1,72	9,5	12,2	19,5
				26	1,8	13,6		
				55	1,87	19,5		
	c-3	1,859	16,78	12	1,7	8,8	13,1	18,7
				26	1,78	13,7		
				55	1,86	18,7		

Tabla 5. Resumen de resultado de ensayo de CBR al 95%.

CBR al 95% MDS Pen: 0.1''(%)				
Descripción	Suelo patrón	Suelo patrón + ADS. 0.04 l/m <sup>3</sup>	Suelo patrón + ADS. 0.07 l/m <sup>3</sup>	Suelo patrón + ADS. 0.10 l/m <sup>3</sup>
CA-01	5.9	9.8	11	11.3
CA-02	5.4	8.6	10.1	12.2
CA-03	5.8	9.3	11.6	13.1
<b>Promedio</b>	<b>5,7</b>	<b>9,23</b>	<b>10,90</b>	<b>12,20</b>

**Tabla 6. Resumen de resultado de ensayo de CBR al 100%**

CBR al 100% MDS Pen: 0,1" (%)				
Descripción	Suelo patrón	Suelo patrón + ADS. 0.04 l/m <sup>3</sup>	Suelo patrón + ADS. 0.07 l/m <sup>3</sup>	Suelo patrón + ADS. 0.10 l/m <sup>3</sup>
CA-01	10.3	15.3	16.7	17.2
CA-02	8.8	14.5	15.9	19.5
CA-03	9.7	13.9	17.4	18.7
<b>Promedio</b>	<b>9.6</b>	<b>14.57</b>	<b>16.67</b>	<b>18.47</b>



En relación a la tabla N° 05 Y 06 se evidencia que el suelo natural de CBR es de 9,60% al 100% y 5,70% al 95%. Comparando con la adición del electroquímico BioCec al 0,04 l/m<sup>3</sup>, 0,07 l/m<sup>3</sup> y 0,10 l/m<sup>3</sup> al 100% de CBR obtuvo mejora sus propiedades con un resultado de 14,57%, 16,67% y 18,47% y al 95% del CBR 9,23%, 10,90% y 12,20% al 95% respectivamente, con el cual se puede afirmar que este material logra el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo, el cual puede ser utilizado en suelos arcilloso de baja plasticidad, permitiendo obtener de una subrasante regular a una subrasante buena.

## CONCLUSIONES

El análisis de la subrasante utilizando estabilización electroquímica BioCec, en el porcentaje de 0,10 l/m<sup>3</sup> logra mejorar el comportamiento físico mecánico, convirtiendo un suelo con características regular a un suelo bueno. Su índice de plasticidad en un suelo natural obtuvo un 11,81% y en un suelo con estabilización electroquímica BioCec obtuvo 8,87%, disminuyendo en 24,88%.

Con respecto a la densidad seca mejora su grado de compactación. El suelo natural obtiene una MDS de 1,77 g/cm<sup>3</sup> y un HO de 15,77% frente al suelo con adición electroquímico BioCec, en la proporción de 0,1 l/m<sup>3</sup> que obtiene MDS de 1,87 g/cm<sup>3</sup> y un HO de 16,69%

El comportamiento de CBR de la subrasante con la incorporación del estabilizador electroquímico BioCec en el porcentaje de 0,10 l/m<sup>3</sup> logra mejorar el comportamiento físico mecánico, convirtiendo un suelo con características regular a un suelo bueno, su CBR al 100% en el suelo natural tiene un aumento de 192,39% y el CBR al 95% aumenta en porcentaje de 214,03% en comparación con el suelo natural.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Rivera, "La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país", Congreso Ibero Latinoamericano del asfalto. 2015.
- [2] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Mapa del Sistema Nacional de Carreteras del Perú", 2015.
- [3] COMEX Perú, "Infraestructura vial: gobiernos subnacionales estancados COMEXPERU", 2020.
- [4] A. Carrasco, "Infraestructura vial nacional asociada a la competitividad", Universidad de Piura. 2009.
- [5] L. García, A. Mungaray, A. Sánchez y J. Gutiérrez "Impacto de la accesibilidad carretera en la calidad de vida de las localidades urbanas y suburbanas de Baja California, México", EURE. vol. 45, n° 134, 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000100099>
- [6] C. Contreras y M. Cueto, "Caminos, ciencia y Estado en el Perú", Historia, Ciencias, Saúde – Manguinhos, vol.15, no. 3, pp. 635-665 2008.
- [7] D. Ramírez y L. Valenzuela. "Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el tramo Paradero Las retamas – Puente Los Ángeles", Revista Infraestructura Vial. vol. 25, n° 44, 2023. DOI: 10.15517/iv.v25i44.51309
- [8] O. Adrianzen, J. Azula, C. Pacherras, E. Rodríguez y S. Muñoz "Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas: Una revisión literaria", Revista Infraestructura Vial. vol 24, n° 43, 2022. DOI: 10.15517/iv.v24i43.47931
- [9] Z. Vargas, "La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia", Revista Educación Costa, vol .33, no. 1, pp. 155-165. 2009. <https://doi.org/10.15517/revuedu.v33i1.538>
- [10] P. Torres, "Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual", Revista Científica Atenas. vol .2, no. 34, pp. 2-11. 2016. <http://atenas.umcc.cu/index.php/atenas/article/view/419>
- [11] J. Arias, M. Villasis y M. Miranda, "El protocolo de investigación III: la población de estudio", Revista Alergia México. vol. 63 no. 2. 2016. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- [12] A. Olaya, "Aplicación de agente químico como estabilizador de suelos arcillosos para la construcción de vías", UNAD. 2018. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20215>
- [13] J. García, "Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de Caolín", Universidad Católica de Colombia. 2019.

## Cómo citar este artículo:

De La Cruz Vega, S. A., & Vega Neyra, C. S. (2023). Aplicación del estabilizador electroquímico BioCec a una carretera en los andes del Perú. *EPISTEMUS*, 18(35). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i35.309>