

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS DE LAMBAYEQUE APLICANDO BACTERIAS CALCIFICANTES

STABILIZATION OF LAMBAYEQUE NON-COHESIVE GRANULAR SOILS APPLYING CALCIFYING BACTERIA

Omar Coronado Zuloeta¹



Recepción: 24 de septiembre 2019

Aprobación: 28 de diciembre 2019

DOI: <https://doi.org/10.26495/tzh.v12i1.1250>

Resumen

Los suelos granulares no cohesivos de Lambayeque presentan características físicas y mecánicas, que dificultan los procesos de diseño y construcción de las diversas infraestructuras que se ejecutan sobre ella, es por tal motivo que aplicando bacterias calcificantes se buscó mejorar sus propiedades con el fin de estabilizarlo. Para dicho proceso se utilizó el método inductivo aplicando la experimentación y conocimientos en biotecnología, utilizando catorce muestras de suelos del tipo SP extraídas alrededor de todo el departamento de Lambayeque y las que fueron sometidas a diversas pruebas en estado natural y aplicando bacterias calcificantes que permitieron evaluar los resultados obtenidos. Los parámetros que garantizan la estabilización del suelo son: disminuir los espacios vacíos, la permeabilidad y el aumento de la cohesión, que se lograron debido a la precipitación de Carbonato de Calcio producto de la acción de las bacterias Calcificantes en el medio donde se inocularon aumentando su presencia de 0.32 a 5.44% como valor máximo en las muestras de la provincia de Chiclayo, y la alcalinidad del suelo aumento en un rango de 3.85 a 9.37%. Los valores obtenidos en peso específico relativo aumento de 9.5 a 13.5%, que indican la disminución de los espacios vacíos, de igual forma la permeabilidad manifiesta una disminución de 9.5 a 22.7% y además la cohesión aumento de 0.074 a 0.1703 y de 0.0022 a 0.1632. La adición de bacterias Calcificantes efectivamente mejoran las propiedades físicas y mecánicas asegurando la estabilidad de los suelos granulares no cohesivos en la región Lambayeque.

Palabras clave: Bacterias Calcificantes, Biotecnología, carbonato de calcio, estabilización y suelos granulares

Abstract

The non-cohesive granular soils of Lambayeque have physical and mechanical characteristics that hinder the design and construction processes of the various infrastructures that run on it, which is why applying Calcifying Bacteria sought to improve their properties in order to stabilize it. For this process the inductive method was used applying the experimentation and knowledge in biotechnology, using fourteen samples of SP-type soils extracted around the entire department of Lambayeque and those that were subjected to various tests in the natural state and applying Calcifying bacteria that allowed to evaluate The results obtained. The parameters that guarantee the stabilization of the soil are: to reduce the empty spaces, the permeability and the increase of the cohesion, which was achieved due to the precipitation of Calcium Carbonate product of the action of the Calcifying bacteria in the medium where they were inoculated increasing its presence from 0.32 to 5.44% as a maximum value in the samples of the province of Chiclayo, and the alkalinity of the soil increased in a range of 3.85 to 9.37%. The values obtained in relative specific weight increase from 9.5 to 13.5%, which indicate the decrease of the empty spaces, likewise the permeability manifests a decrease of 9.5 to 22.7% and also the cohesion increased from 0.074 to 0.1703 and from 0.0022 to 0.1632. The addition of calcifying

¹ Doctor en Educación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel - Chiclayo, Perú, anlugreda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7757-4649>

bacteria effectively improves the physical and mechanical properties ensuring the stability of the non-cohesive granular soils in the Lambayeque region.

Keywords: *Calcifying Bacteria, Biotechnology, calcium carbonate, stabilization and granular soils*

1. Introducción

Los diversos estudios relacionados a la interacción suelo – estructura, han buscado mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, siendo la estabilización un proceso muy utilizado para lograrlo, es por ello que la presente investigación tuvo como objetivo principal estabilizar el suelo del tipo granular no cohesivo (SP) aplicando bacterias calcificantes cuya característica principal es precipitar carbonato de calcio en el medio donde se aplique teniendo como propósito disminuir los espacios vacíos, la permeabilidad y aumentar la capacidad de soporte, características primordiales en la estabilización de los suelos, cuyo alcance fue del tipo explicativo debido a que se estableció las causas de los sucesos o fenómenos que se estudiaron.

Cabe resaltar que dentro los procesos aplicados hemos utilizado conocimientos relacionados a la biotecnología que garantizan una tecnología limpia y amigable con el medio ambiente, además de solucionar un problema social en el uso de suelos en la región Lambayeque justificando la realización del presente trabajo desde el punto de vista tecnológico, científico, ambiental, etc.

Entre los estudios realizados que se tomaron como referencia encontramos Alberto F.R. (2006) estabilización de suelos con biocemento, que nos indica que hay una relación entre el comportamiento de la bacteria y la rigidez que toma el suelo durante el proceso de estudio, además la biomineralización aplicada a procesos Erosivos superficiales, estimuló la producción de precipitación carbonato de calcio por parte de las bacterias oriundas encontrando que la erodabilidad del suelo disminuye comparado con el suelo en condiciones normales y Victoria S.W (2004) Microbial CaCO_3 precipitation for the production of biocement. Western Australia. Indica el tratamiento de las bacterias y su relación con la producción de carbonato de Calcio.

2. Material y métodos

Nuestra población son los suelos con características granulares no cohesivas ubicados en el departamento de Lambayeque y que fueron localizados tomando como fuente de información los mapas geotécnicos del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) del proyecto denominado “Plan de prevención ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigación”.

La muestra fue obtenida por un muestreo no probabilístico del tipo intencional o conveniencia, del tipo espacial considerando los planos de referencia y según las características de suelo que debíamos tener (SP - Arena mal Gradada). Cabe mencionar que la cantidad de muestra promedio a utilizar está en base a los ensayos de laboratorio realizados y que haciende a 172.83 Kg. El total de la muestra utilizada se obtuvo de 14 puntos de extracción que se ubicaron a lo largo de todo el departamento de Lambayeque, es decir se extrajeron 12.35 Kg por punto de estudio.

Tabla 1
Ubicación de Muestras

Provincia	Localidad	Muestra	Coordenadas	
			Norte	Este
Lambayeque	Morrope	01	9275877	609401
	Jayanca	02	9294671	626997
	Lambayeque	03	9258275	620416
	San José	04	9251757	614435
Chiclayo	Reque	05	9241673	631175
	Puerto Eten	06	9233898	625067
	Callanca	07	9245298	633497
	Monsefú	08	9238973	621605
	Pimentel	09	9245109	617275
Ferreñafe	Motupillo	10	9288462	654210
	La Pluma	11	9281149	644075
	La Zaranda	12	9283802	639360
	Pitipo	13	9275817	636967
	Tres Tomas	14	9265767	640050

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la observación científica del tipo directa como técnica de investigación, además de registrar, analizar e interpretar datos y elaborar conclusiones.

Para poder operativizar la observación científica debemos de tener un instrumento de investigación, es por ello que se definió los instrumentos a utilizar de acuerdo a la naturaleza del estudio realizado, identificando instrumentos para los ensayos microbiológicos y para los de Mecánica de Suelos

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se presentarán tomando en cuenta la muestra no tratada y la muestra tratada, para diferenciar los resultados obtenidos provenientes de la investigación, los mismos que paso a detallar:

3.1 Muestra no tratada (MNT)

Se denomina muestra no tratada, aquella muestra que ha sido analizada tal como se obtuvo de su lugar de origen y cuyos resultados presentamos a continuación:

3.1.1 Resultados obtenidos del análisis granulométrico y clasificación SUCS de la MNT

El análisis granulométrico de las muestras no tratadas se realizó tomando en cuenta los procesos establecidos en la Norma Técnica Peruana y obteniendo los diámetros característicos tales como el D_{10} , D_{30} y D_{60} , que nos permitirán clasificar el suelo según el sistema SUCS, los mismo que se detalla en el cuadro adjunto

Tabla 2
Clasificación SUCS de las muestras estudiadas

Provincia	Localidad	Muestra	D_{10} mm	D_{30} mm	D_{60} mm	C_u	C_c	SUCS
Lambayeque	Morrope	01	0.114	0.143	0.189	1.658	0.949	SP
	Jayanca	02	0.092	0.133	0.182	1.978	1.056	SP
	Lambayeque	03	0.121	0.145	0.182	1.504	0.955	SP
	San José	04	0.121	0.158	0.216	1.785	0.955	SP

Chiclayo	Reque	05	0.136	0.200	0.400	2.941	0.735	SP
	Puerto Eten	06	0.127	0.170	0.247	1.945	0.921	SP
	Callanca	07	0.121	0.156	0.211	1.744	0.953	SP
	Monsefu	08	0.115	0.143	0.179	1.557	0.993	SP
	Pimentel	09	0.121	0.145	0.182	1.504	0.955	SP
Ferrenafe	Motupillo	10	0.164	0.274	0.373	2.274	1.227	SP
	La Pluma	11	0.114	0.145	0.188	1.649	0.981	SP
	La Zaranda	12	0.082	0.100	0.182	2.220	0.670	SP
	Pitipo	13	0.121	0.152	0.200	1.653	0.955	SP
	Tres Tomas	14	0.113	0.142	0.179	1.584	0.997	SP

Según los datos obtenidos del análisis granulométrico de la muestra 12 correspondiente a la zaranda presenta los menores valores correspondientes al $D_{10} = 0.082$, $D_{30} = 0.100$ y $D_{60} = 0.182$, además mencionar que los valores encontrados determinaron que la clasificación según SUCS para nuestras muestras estudiadas corresponden a suelo no cohesivo del tipo SP, es decir una arena mal gradada.

3.1.2 Resultados correspondientes al Peso Específico Relativo de los sólidos y al ensayo de compactación de la MNT

Uno de los parámetros importantes del análisis en nuestra investigación es el ensayo del peso específico relativo de los sólidos y el ensayo de compactación que nos permitió analizar la relación de vacíos de las muestras y los óptimos contenidos de humedad que se utilizaron en el ensayo de corte directo.

Tabla 3
G_s, OCH y Densidad Seca Máxima de las MNT

Provincia	Localidad	Muestra	G _s	OCH (%)	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)
Lambayeque	Morrope	01	2.83	5.70	1.607
	Jayanca	02	2.71	2.79	1.693
	Lambayeque	03	2.78	4.54	1.678
	San José	04	2.72	3.90	1.680
Chiclayo	Reque	05	2.57	2.66	1.695
	Puerto Eten	06	2.65	3.83	1.659
	Callanca	07	2.74	2.72	1.696
	Monsefú	08	2.59	5.93	1.626
	Pimentel	09	2.84	6.91	1.691
Ferrenafe	Motupillo	10	2.68	5.49	1.710
	La Pluma	11	2.66	6.04	1.696
	La Zaranda	12	2.72	5.78	1.798
	Pitipo	13	2.71	6.56	1.713
	Tres Tomas	14	2.72	5.11	1.669

Según los datos obtenidos podemos observar que el rango del peso específico relativo de los sólidos esta entre 2.57 y 2.84, perteneciente a la muestra 07 (Reque) y 10 (Pimentel), además de apreciar que la muestra 09 requiere 6.91% de agua para ser compactado en óptimas condiciones.

3.1.3 Resultados correspondientes al ensayo de corte directo de la MNT

El ensayo de corte directo nos brinda los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción interna, valores que intervienen en el análisis de la estabilización del suelo y en el diseño de diferentes

infraestructuras concernientes a la interacción suelo – estructura, es por ello que para la presente investigación se encontraron los siguientes resultados en las 14 muestras estudiadas.

Tabla 4
Resultados de cohesión y Angulo de Fricción interna de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	C	ϕ
Lambayeque	Morrope	01	0.074	25.7
	Jayanca	02	0.0408	28.7
	Lambayeque	03	0.0022	29.7
	San José	04	0.0243	27.9
Chiclayo	Reque	05	0.0022	29.0
	Puerto Eten	06	0.0464	27.9
	Callanca	07	0.0022	26.8
	Monsefu	08	0.0519	26.4
	Pimentel	09	0.0039	22.9
Ferrenafe	Motupillo	10	0.0188	26.4
	La Pluma	11	0.0188	27.2
	La Zaranda	12	0.0132	28.7
	Pitipo	13	0.0132	28.3
	Tres Tomas	14	0.0188	29.4

Según los datos obtenidos podemos observar que los valores obtenidos para la cohesión tienden hacer cero debido a la característica del suelo (SP), presentándose el menor valor de 0.0022 en las Muestras 03 (Lambayeque), 05(Reque) y 07 (Callanca), además que el ángulo de fricción interna con mayor valor de 29.7° se presenta en la Muestra 03 (Lambayeque)

3.1.4 Resultados de Carbonato de Calcio, pH y permeabilidad de la MNT

Se realizó el ensayo químico para determinar la cantidad de Carbonato de Calcio, además de verificar las alcalinidad o acidez del suelo por medio del pH y la constante de permeabilidad del suelo

Tabla 5
% Carbonato de Calcio de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	CaCO ₃ %	pH	k _{T20°C} (cm/s)
Lambayeque	Morrope	01	0.34	7.65	0.01110
	Jayanca	02	0.26	7.53	0.01357
	Lambayeque	03	0.31	7.60	0.01148
	San José	04	0.28	7.55	0.01259
Chiclayo	Reque	05	0.13	7.29	0.01636
	Puerto Eten	06	0.24	7.48	0.01457
	Callanca	07	0.30	7.59	0.01158
	Monsefú	08	0.19	7.40	0.01521
	Pimentel	09	0.32	7.63	0.00946
Ferrenafe	Motupillo	10	0.24	7.49	0.01434
	La Pluma	11	0.21	7.43	0.01487
	La Zaranda	12	0.28	7.48	0.01281
	Pitipo	13	0.25	7.55	0.01410
	Tres Tomas	14	0.26	7.53	0.01312

Podemos observar que el suelo que presenta mayor CaCO_3 es la Muestra 01 (Mórrope) con 0.34% y con menor presencia es la Muestra 05 con un 0.13%, además las 14 muestras indican que son básicos debido a que los valores de pH están por encima de 7, el suelo que presenta mayor facilidad para el paso del agua es la Muestra 05 (Reque) con un valor de 0.01636 cm/s y la que ofrece mayor resistencia es la Muestra 09 (Pimentel) con un valor de 0.00946 cm/s.

3.2 Muestra Tratada (MT)

Se denomina muestra tratada (MT) a aquellas muestras a las cuales se le aplico las Bacterias Calcificantes con el fin de mejorar algunas de sus propiedades tales como la disminución de relación de vacíos, disminuir la permeabilidad, aumentar sus esfuerzos normales y cortantes, etc.

3.2.1 Resultados correspondientes al ensayo de corte directo de la MT

El ensayo de corte directo con las bacterias inoculadas presenta los siguientes resultados:

Tabla 6
Resultados de cohesión y Angulo de Fricción interna de la MT

Provincia	Localidad	Muestra	C	ϕ
Lambayeque	Morrope	01	0.1703	37.70
	Jayanca	02	0.1260	40.50
	Lambayeque	03	0.1496	40.00
	San José	04	0.1417	39.80
Chiclayo	Reque	05	0.0996	38.00
	Puerto Eten	06	0.1462	37.00
	Callanca	07	0.1632	31.20
	Monsefú	08	0.1298	37.40
	Pimentel	09	0.2101	33.20
Ferreñafe	Motupillo	10	0.1447	33.40
	La Pluma	11	0.1383	33.80
	La Zaranda	12	0.1679	35.50
	Pitipo	13	0.1503	35.20
	Tres Tomas	14	0.1537	37.40

Según los datos obtenidos podemos observar que el rango de la Cohesión de la MT esta entre 0.0996 y 0.2101, perteneciente a la muestra 05 (Reque) y 09 (Pimentel), respectivamente.

3.2.2 Resultados correspondientes a la cantidad de Carbonato de Calcio de la MT

La aplicación de las bacterias Calcificantes en las 14 muestras estudiadas, permitió la precipitación del carbonato de calcio, aumentar el pH y el G_s , además de disminuir la permeabilidad

Tabla 7
% Carbonato de Calcio de la MT

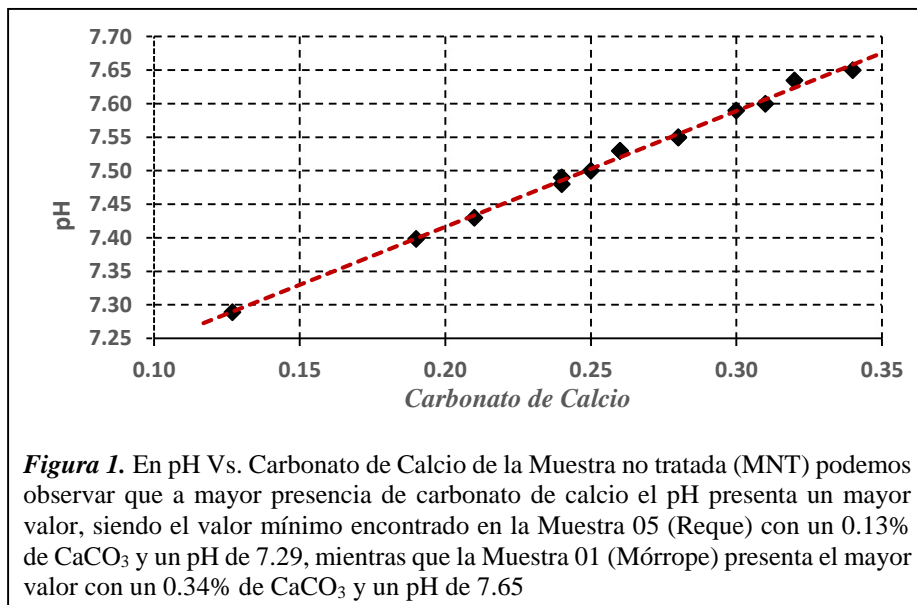
Provincia	Localidad	Muestra	G_s	CaCO_3 %	pH	$k_{T20^\circ\text{C}}$ (cm/s)
Lambayeque	Morrope	01	3.21	4.76	8.28	0.00945
	Jayanca	02	3.04	2.34	7.82	0.01129
	Lambayeque	03	3.14	3.10	8.00	0.00982
	San José	04	3.07	3.08	7.97	0.01056

Chiclayo	Reque	05	2.82	1.65	7.78	0.01396
	Puerto Eten	06	2.95	3.24	8.02	0.01298
	Callanca	07	3.06	4.50	8.13	0.01024
	Monsefú	08	2.84	2.53	7.89	0.01377
	Pimentel	09	3.20	5.44	8.35	0.00836
Ferreñafe	Motupillo	10	3.00	3.34	8.04	0.01154
	La Pluma	11	2.97	2.88	7.93	0.01161
	La Zaranda	12	3.08	3.21	8.10	0.00935
	Pitipo	13	3.04	3.04	8.01	0.01114
	Tres Tomas	14	3.09	3.80	8.05	0.01044

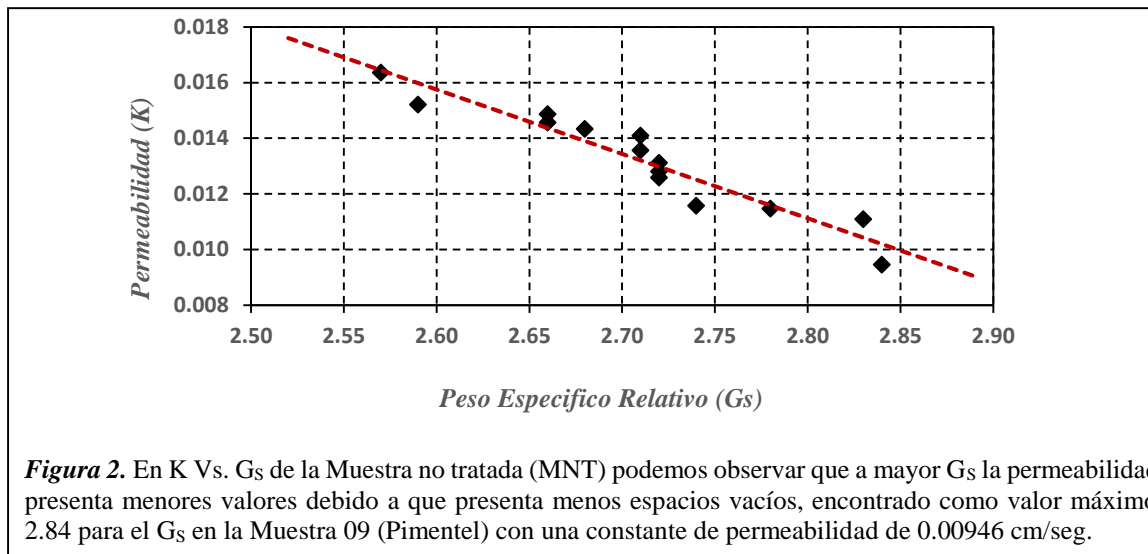
Podemos observar que el suelo que presenta mayor CaCO_3 es la que corresponde a la Muestra 09 (Pimentel) con 5.44% y la que presenta menor presencia es la Muestra 05 (Reque) con un 1.65%, los resultados de las 14 muestras indican que los suelos son básicos debido a que los valores de pH están por encima de 7, encontrando el menor valor en la Muestra 05 (Reque) de 7.78 y el mayor valor en la Muestra 01 (Pimentel) de 8.35%, el suelo que presenta mayor valor de permeabilidad es la que corresponde a la Muestra 05 (Reque) con 0.01396 cm/s y la que presenta menor valor es la Muestra 09 (Pimentel) con 0.00836 cm/s, y los G_s esta entre 2.82 y 3.21, perteneciente a la muestra 05 (Reque) y 01 (Mórrope).

Los valores encontrados en la presente investigación han sido analizados tomando en cuenta las muestras no tratadas (MNT) y tratadas (MT), en base a la hipótesis planteada y además respaldado con las bases teóricas encontradas.

3.3 Evaluación de pH Vs. Carbonato de Calcio (CaCO_3) de la MNT

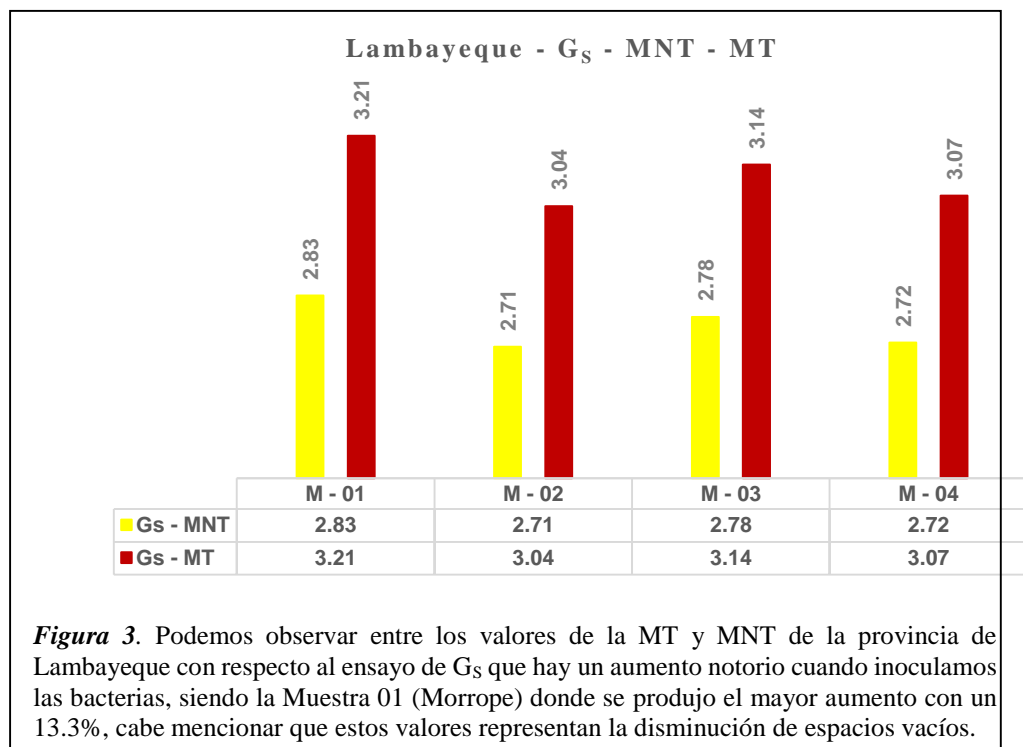


3.4 Evaluación de la Permeabilidad (K) Vs. Peso Específico Relativo (Gs) de la MNT



3.5 Evaluación del Peso Específico Relativo (G_s) de la MNT y MT

A continuación, se presenta los gráficos comparando el ensayo de peso específico relativo entre la MNT y MT por provincia, encontrado en todas las muestras un aumento que oscila entre 9.5 y 13,5%, producto de la disminución de los espacios vacíos de la muestra por la presencia del carbonato de Calcio.



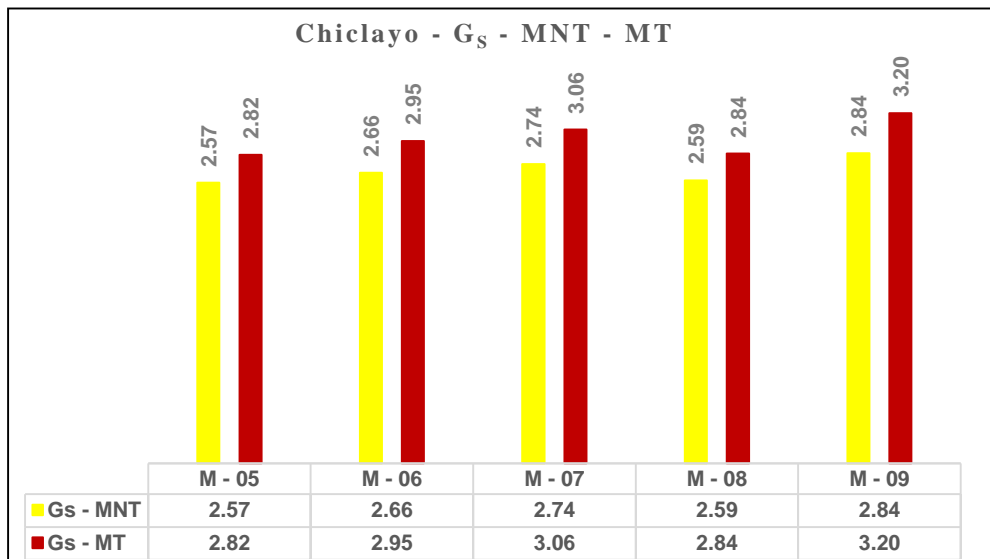


Figura 4. Podemos observar entre los valores de la MT y MNT de la provincia de Chiclayo con respecto al ensayo de G_s que hay un aumento notorio cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 09 (Pimentel) donde se produjo el mayor aumento con un 12.8%, cabe mencionar que estos valores representan la disminución de espacios vacíos.

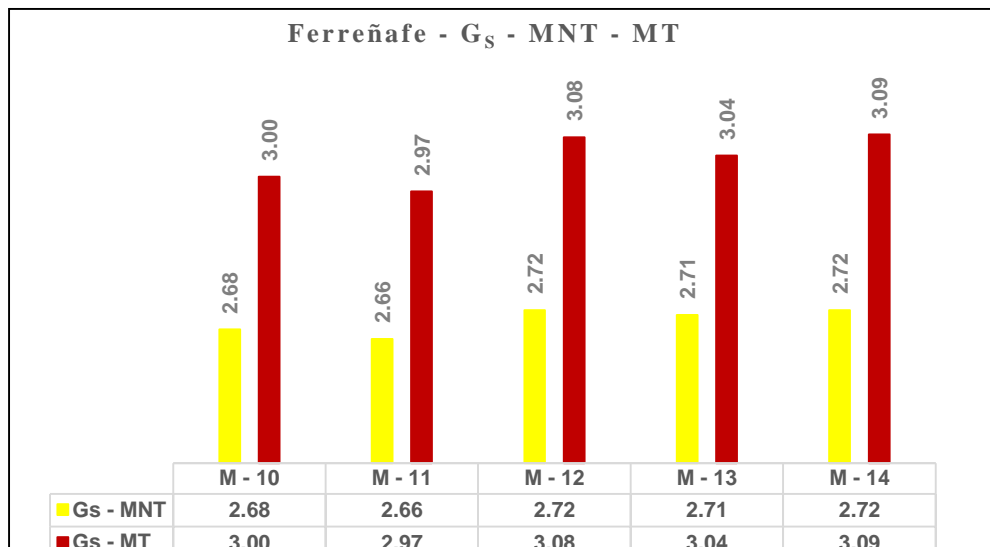
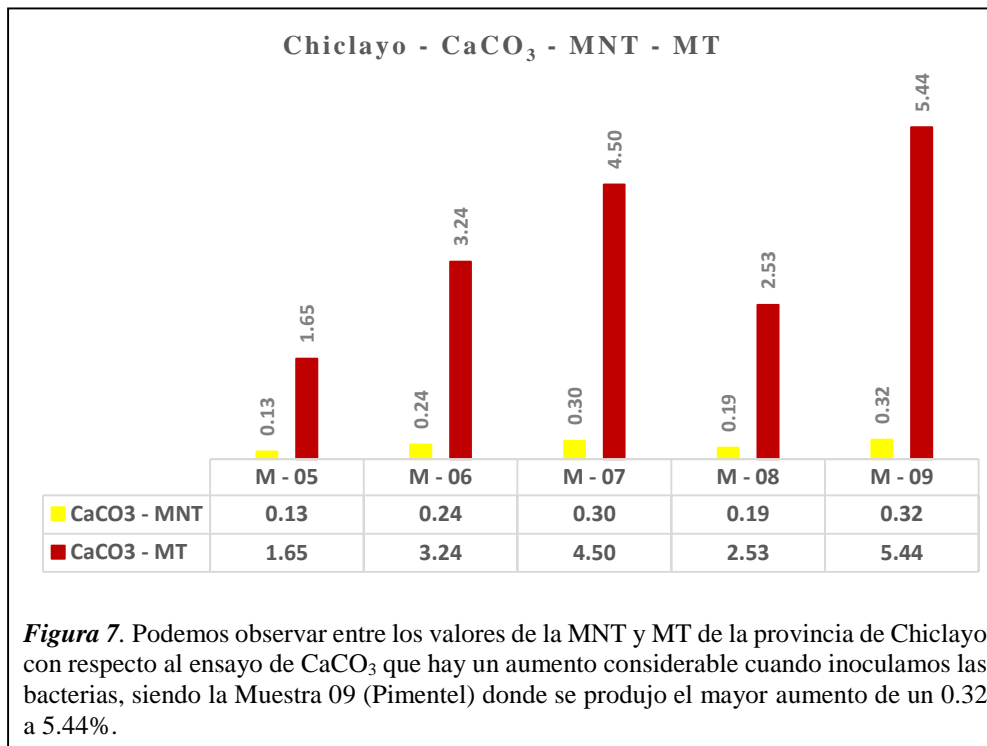
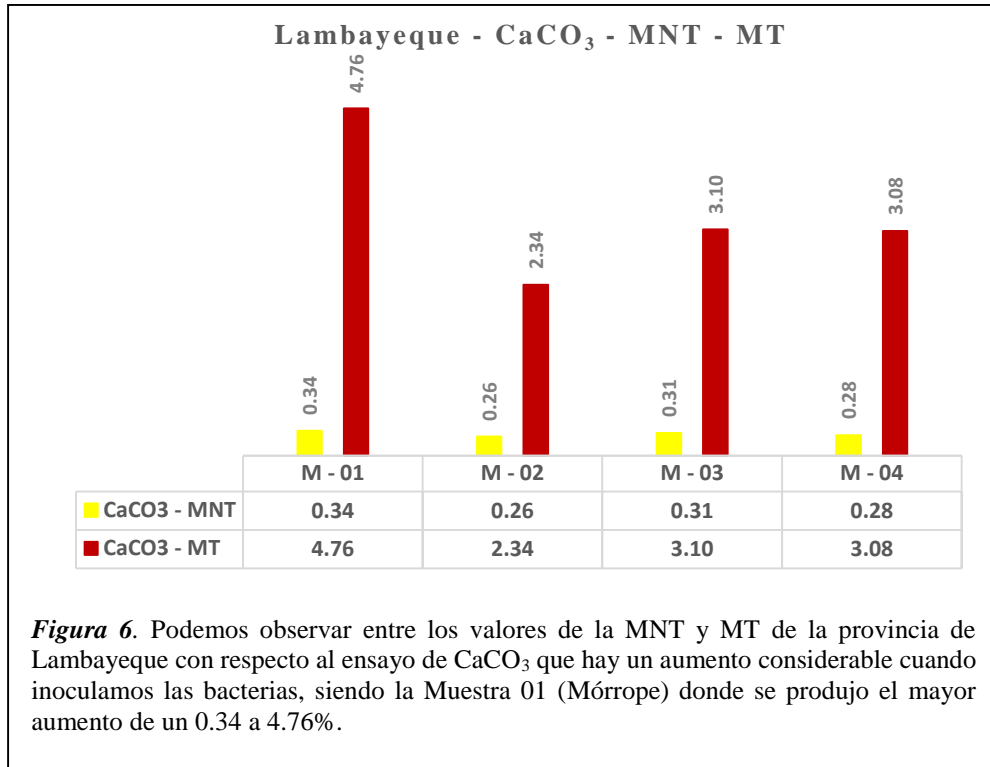
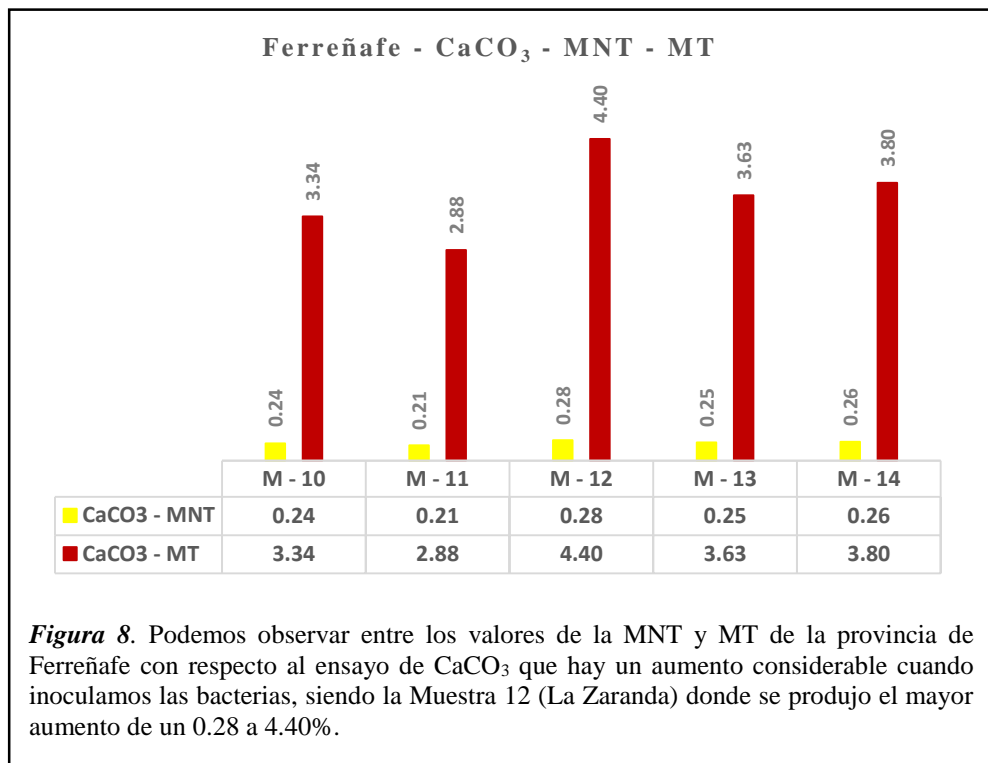


Figura 5. Podemos observar entre los valores de la MT y MNT de la provincia de Chiclayo con respecto al ensayo de G_s que hay un aumento notorio cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 14 (Tres Tomas) donde se produjo el mayor aumento con un 13.5%, cabe mencionar que estos valores representan la disminución de espacios vacíos.

3.6 Evaluación del Carbonato de Calcio (CaCO₃) de la MNT y MT

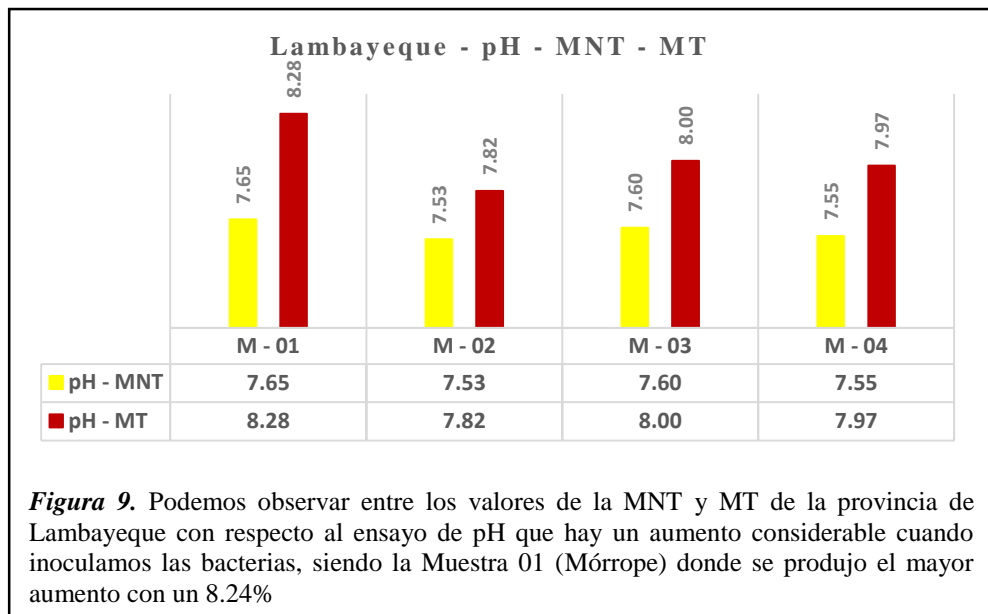
Uno de nuestros objetivos de inocular bacterias a las muestras estudiadas es que estas precipiten carbonato de calcio aumentando su presencia y ocupando los espacios vacíos del suelo, tal como se observan en los resultados obtenidos.

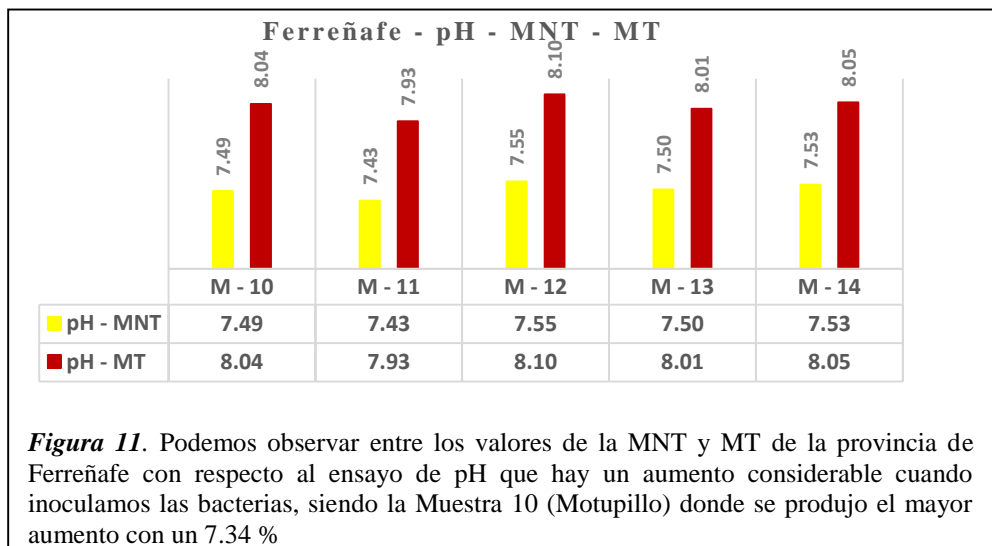
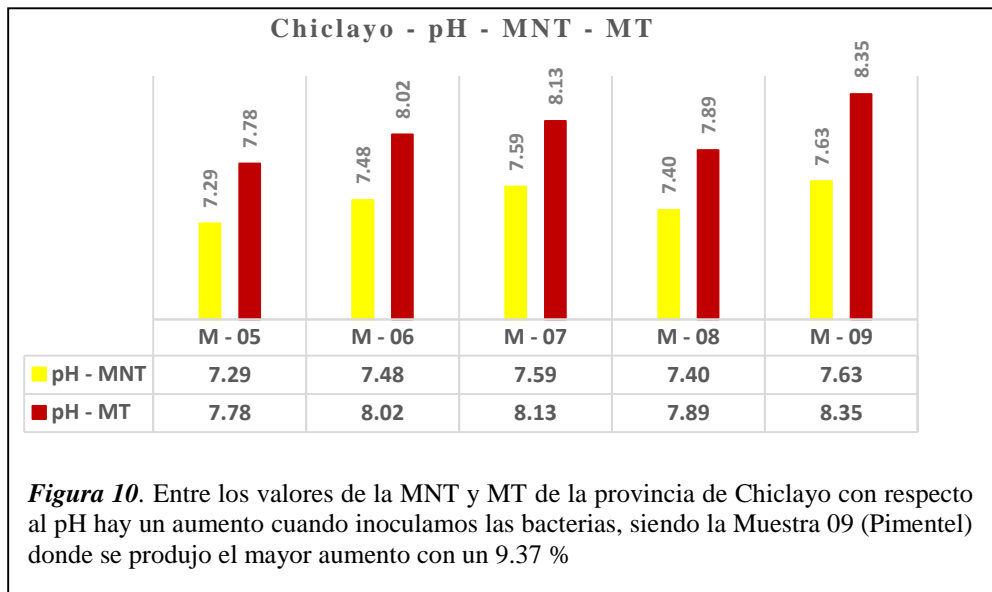




3.7 Evaluación del pH de la MNT y MT

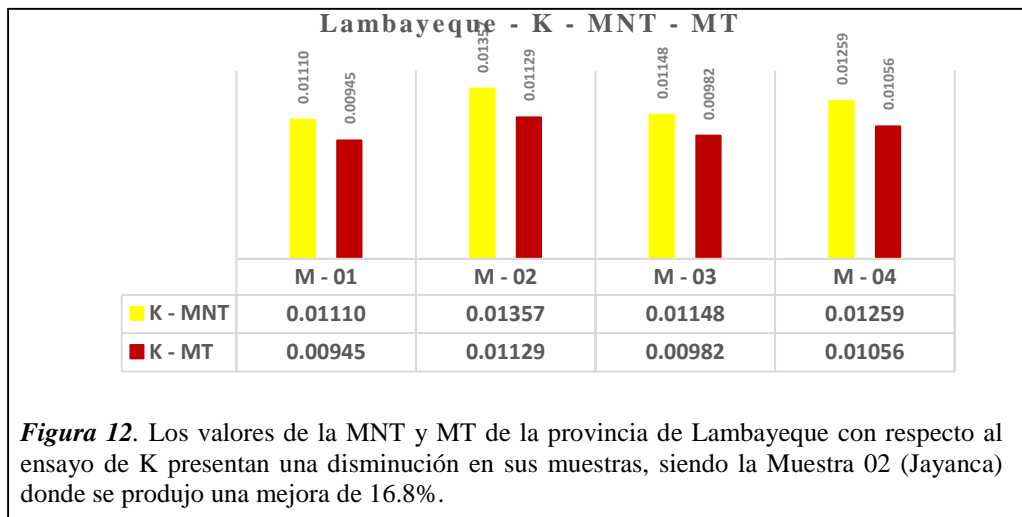
Debido a la presencia de las bacterias que tienen como propiedad aumentar el pH del medio en donde se encuentran y además por el aumento del carbonato de Calcio podemos observar como las muestras presentan mayor alcalinidad

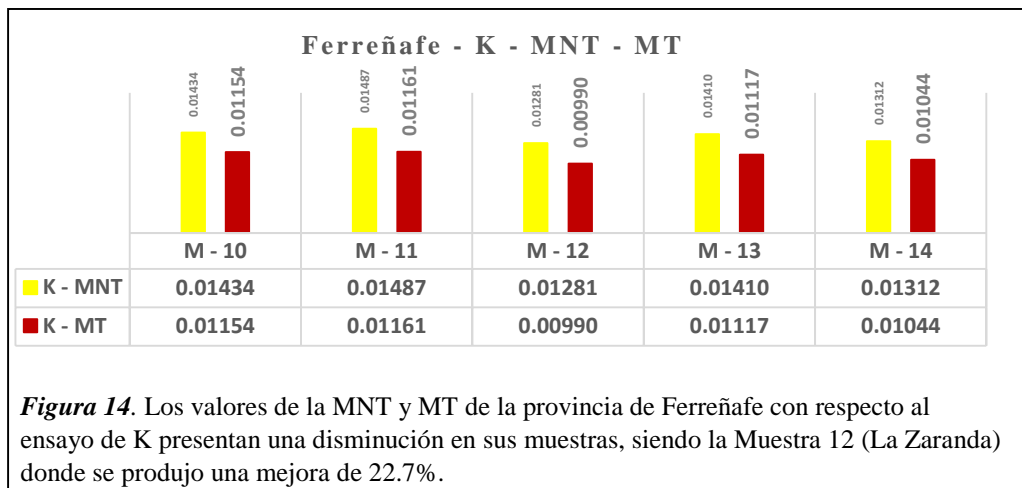
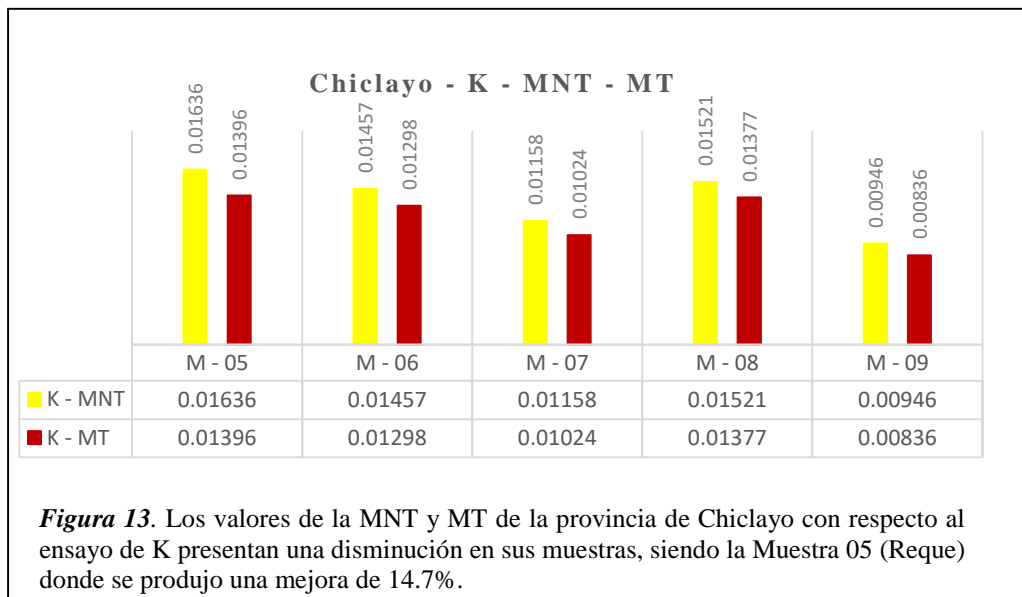




3.8 Evaluación de la permeabilidad k de la MNT y MT

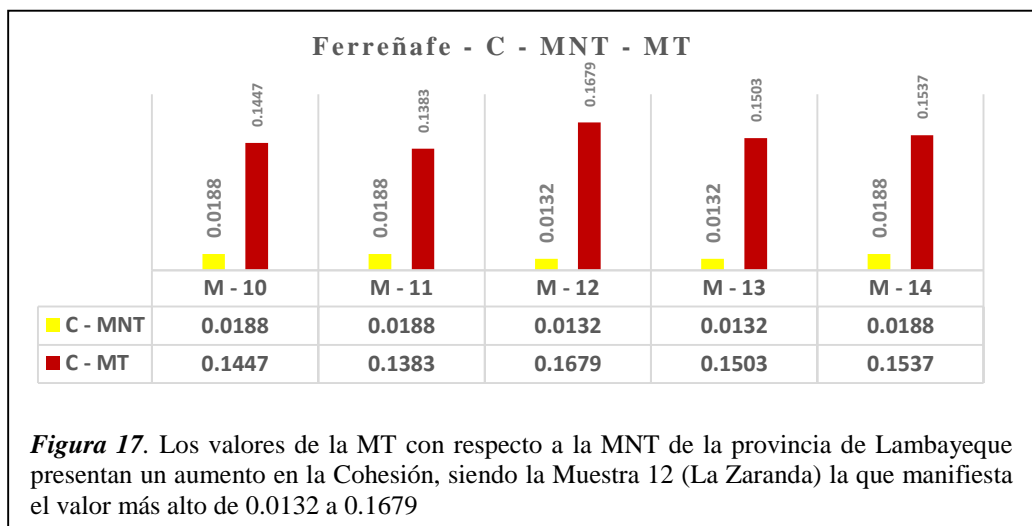
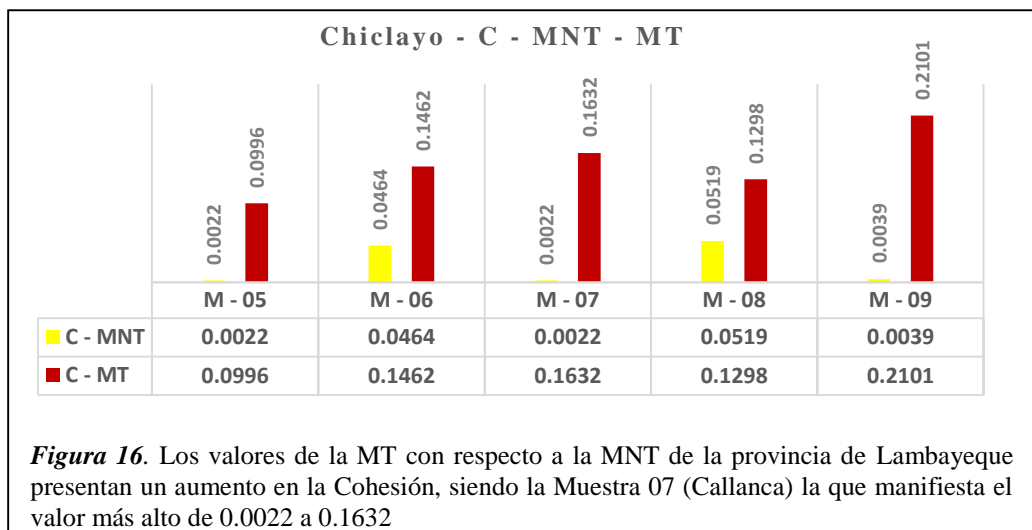
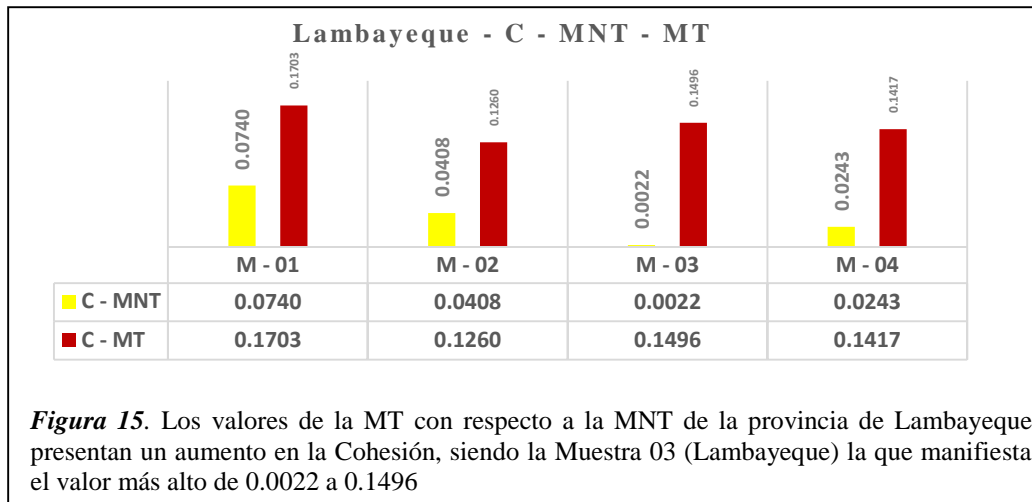
La disminución se dio entre 9.5 y 22.7%





3.9 Evaluación de la cohesión de la MNT y MT

Producto de la precipitación del carbonato de calcio la cohesión presentó un aumento en las catorce muestras estudiadas con respecto a las muestras en estado natural cuyos valores mejoraron de 0.074 a 0.1703 y de 0.0022 a 0.1632



4. Conclusiones

- Se evaluaron 14 muestras distribuidas de la siguiente manera: Provincia de Lambayeque (04 muestras), Provincia de Chiclayo (05 Muestras) y Provincia de Ferreñafe (05 Muestras), dando como resultado un suelo tipo SP – arena mal gradada según el Sistema SUCS, cuya característica principal es que las muestras en el ensayo granulométrico no pasaron más del 5% la malla N° 200.
- Se reactivaron 15 cepas del Laboratorio de Agrobiotecnología de la USS, del tipo Actinomicetos que garantizaron la precipitación de Carbonato de Calcio, siendo dos cepas las que mostraron mejor actividad ureolítica
- Se aplicó las bacterias Calcificantes por 10 días a las catorce muestras para después ser evaluados por los distintos ensayos establecidos tales como: Peso específico relativo, Permeabilidad, Carbonato de Calcio, pH, Corte Directo y contenido de sales totales
- Los suelos inoculados con las Bacterias Calcificantes obtuvieron los siguientes resultados: el Carbonato de Calcio producto de la acción de las bacterias Calcificantes en el medio donde se inocularon aumentando su presencia de 0.32 a 5.44% como valor máximo en las muestras de la provincia de Chiclayo, y la alcalinidad del suelo aumento en un rango de 3.85 a 9.37%. Los valores obtenidos en peso específico relativo aumento de 9.5 a 13.5%, que indican la disminución de los espacios vacíos, de igual forma la permeabilidad manifiesta una disminución de 9.5 a 22.7% y además la cohesión aumento de 0.074 a 0.1703 y de 0.0022 a 0.1632

5. Referencias

- Biocement (2014). *Tecnología para estabilización de suelos de manera biológica*. Recuperado de <http://www.biocementtech.com/>
- Daehyeon, K., Kyungho, P. y Dongwook, K. (2013). Efectos de las condiciones del suelo sobre la cementación microbiana en suelos. *Materials*, 7 (1), 143-56. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5453148/>
- Flores, J. (2006). Estabilización de suelos con Biocemento. (Tesis de Maestría en Ingeniería Civil). Universidad de los Andes, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/9048>
- INDECI. (2003). Estudios de Ciudades Sostenibles. Recuperado de Estudios Región Lambayeque: http://bvpad.indeci.gob.pe/html/es/estudios_cs/lambayeque.htm
- Madigan, M. (2004). *Biología de los Microorganismos*, USA: Pearson. Recuperad de <https://pearson.es/esp%C3%B1a/TiendaOnline/brock-biolog%C3%ADa-de-los-microorganismos>
- Ortuño, L. (2003). Vibroflotación, Columnas de Grava. Instituto Técnico de la Vialidad y del Asfalto. Jornada sobre la mejora de terreno de cimentación. Jornada llevada a cabo en Madrid, España.
- Whiffin, V., Paassen, P. y Harkes, M. (2007). La precipitación de carbonato microbiano como técnica de mejora del suelo. *Revista de geomicrobiología*. Volumen 24, número 5, p. 417-423. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01490450701436505>