



UNS
ESCUELA D C
POSGRADO

**“Estabilización de suelos granulares no
cohesivos de
Lambayeque aplicando bacterias calcificantes”**

**Tesis para optar el grado de
Doctor en Ingeniería Civil**

Autor:

Coronado Zuloeta Omar

Asesor:

Dr. Carlos Alberto Sialer Guerrero

**CHIMBOTE - PERÚ
2019**



CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS DOCTORAL

Yo, **CARLOS ALBERTO SIALER GUERRERO**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada: "**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS DE LAMBAYEQUE APLICANDO BACTERIAS CALCIFICANTES**", elaborada por el magister **OMAR CORONADO ZULOETA** para obtener el Grado Académico de Doctor en **INGENIERÍA CIVIL** en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 30 de Julio del 2019

Dr. Carlos Alberto Sialer Guerrero

ASESOR



UNS
ESCALA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS DE LAMBAYEQUE
APLICANDO BACTERIAS CALCIFICANTES

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Rogelio Fermín Castañeda Gamboa

PRESIDENTE

Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas
SECRETARIO

Dr. Gumercindo Flores Reyes
VOCAL

DEDICATORIA

A Teresa, Luciana y Daniela por ser parte de mi vida y ser la estructura que me sostiene día a día.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Humberto Acuña Peralta por su apoyo sincero en la realización de mis estudios de Doctorado en Ingeniería Civil y a cada una de las personas que me han acompañado en este largo camino de aprendizaje.

INDICE

Lista de cuadros	v
Lista de gráficos	vi
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I - PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación	3
1.2. Antecedentes de la investigación	4
1.3. Formulación del problema de investigación	5
1.4. Delimitación del estudio	5
1.5. Justificación e importancia de la investigación	6
1.6. Objetivos de la investigación: General y específicos	7
CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO	
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación	8
2.2. Marco conceptual	20
CAPÍTULO III - MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Hipótesis central de la investigación	23
3.2. Variables e indicadores de la investigación	23
3.3. Métodos de la investigación	24
3.4. Diseño o esquema de la investigación	24
3.5. Población y muestra	25
3.6. Actividades del proceso investigativo	28
3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación	29
3.8. Procedimiento para la recolección de datos	31
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.	31
CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones	97
5.2. Recomendaciones	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	103

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Propiedades intrínsecas del suelo
- Cuadro 2. Métodos de estabilización
- Cuadro 3. Clasificación de suelos según SUCS.
- Cuadro 4. Procesos de aplicación de las Bacterias Calcificantes
- Cuadro 5. Ejemplo de mecanismos de precipitación de carbonato
- Cuadro 6. Proceso de Evaluación de las bacterias
- Cuadro 7. Operacionalización de Variables
- Cuadro 8. Cantidad de muestra por ensayo
- Cuadro 9. Ubicación de Muestras
- Cuadro 10. Instrumentos de Investigación para Ensayos Microbiológicos
- Cuadro 11. Instrumentos de Investigación para Ensayos de Mecánica de Suelos
- Cuadro 12. Dosificación del sustrato B1.
- Cuadro 13. Contenido de Humedad de MNT
- Cuadro 14. Resultados del análisis granulométrico de la MNT
- Cuadro 15. Resultados de Clasificación de Suelos por SUCS de la MNT
- Cuadro 16. Resultados del Peso Específico Relativo de las MNT
- Cuadro 17. Resultados de cohesión y Angulo de Fricción interna de la MNT
- Cuadro 18. Resultados de permeabilidad de la MNT
- Cuadro 19. Resultados del % Carbonato de Calcio de la MNT
- Cuadro 20. Resultados de pH de la MNT
- Cuadro 21. Resultados de Sales Solubles Totales de la MNT
- Cuadro 22. Resultados del Peso Específico Relativo de la MT
- Cuadro 23. Resultados de cohesión y Angulo de Fricción interna de la MT
- Cuadro 24. Resultados de Permeabilidad de las MT
- Cuadro 25. Resultados del % Carbonato de Calcio de la MT
- Cuadro 26. Resultados de pH de la MT
- Cuadro 27. Resultados de Sales Solubles Totales de la MT
- Cuadro 28. Cantidad de muestra utilizada en el momento de la compactación
- Cuadro 29. Relación de características del Suelo y Bacterias calcificantes
- Cuadro 30. Cantidad de suelo y la proporción para la compactación
- Cuadro 31. Cantidad de Suelo y proporción de Bacterias Calcificantes para curado
- Cuadro 32. Dosificación del Sustrato B1 para elaborar 1 m³ de Bacterias Calcificantes

Cuadro 33. Partidas consideradas para la estabilización con Bacterias Calcificantes

Cuadro 34. Costo de la preparación de las Bacterias Calcificantes por m³

Cuadro 35. Costo de la conformación del suelo con bacterias calcificantes por m³

Cuadro 36. Rendimiento diario para curado con respecto a la Cisterna

Cuadro 37. Dosificación para Área de Curado en Suelo

Cuadro 38. Costo de curado con bacterias Calcificantes

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1. Agrupaciones y formas de bacterias
- Gráfico 2. Proceso de la investigación.
- Gráfico 3. Características microscópicas de la colonia Q52.
- Gráfico 4. Características microscópicas de la colonia Q60
- Gráfico 5. Proceso para la evaluación de la actividad Ureolítica
- Gráfico 6. Cristales romboédricos de calcio como resultado de actividad microbiana
- Gráfico 7. Imagen X 3000 Formación de cristales CaCO_3
- Gráfico 8. Imagen X 3000 Cristales CaCO_3 de la precipitación del calcio
- Gráfico 9. a) Extracción del sedimento adherido en el matraz, b) Calcita, c) Precipitación de carbonatos de calcio (efervescente de la muestra) y d) El acetato de calcio no genera ninguna reacción de efervescencia
- Gráfico 10. Ubicación de las 14 muestras de estudio. (Google Earth 2015)
- Gráfico 11. Inyección de medio nutritivo para enriquecer la matriz del suelo con bacterias y sustrato B1
- Gráfico 12. Curva de Compactación / Muestra 01 – Morrope
- Gráfico 13. Curva de Compactación / Muestra 02 – Jayanca
- Gráfico 14. Curva de Compactación / Muestra 03 - Lambayeque
- Gráfico 15. Curva de Compactación / Muestra 04 – San José
- Gráfico 16. Curva de Compactación / Muestra 05 - Reque
- Gráfico 17. Curva de Compactación / Muestra 06 – Puerto Eten
- Gráfico 18. Curva de Compactación / Muestra 07 – Callanca
- Gráfico 19. Curva de Compactación / Muestra 08 – Monsefú
- Gráfico 20. Curva de Compactación / Muestra 09 - Pimentel
- Gráfico 21. Curva de Compactación / Muestra 10 - Motupillo
- Gráfico 22. Curva de Compactación / Muestra 11 – La Pluma
- Gráfico 23. Curva de Compactación / Muestra 12 – La Zaranda
- Gráfico 24. Curva de Compactación / Muestra 13 – Pitipo
- Gráfico 25. Curva de Compactación / Muestra 14 – Tres Tomas
- Gráfico 26. Correlación del pH Vs. Carbonato de Calcio de la Muestra no tratada
- Gráfico 27. Correlación de la K Vs. Carbonato de Calcio de la Muestra no tratada
- Gráfico 28. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 29. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo
- Gráfico 30. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe
- Gráfico 31. Comparación del CaCO_3 entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque
- Gráfico 32. Comparación del CaCO_3 entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo
- Gráfico 33. Comparación del CaCO_3 entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe
- Gráfico 34. Comparación del pH entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque
- Gráfico 35. Comparación del pH entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo
- Gráfico 36. Comparación del pH entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe
- Gráfico 37. Comparación de la Permeabilidad entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque
- Gráfico 38. Comparación de la Permeabilidad entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo
- Gráfico 39. Comparación de la Permeabilidad entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe
- Gráfico 40. Comparación de Sales Solubles Totales entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque
- Gráfico 41. Comparación de Sales Solubles Totales entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo
- Gráfico 42. Comparación de Sales Solubles Totales entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe
- Gráfico 43. Comparación de la Cohesión entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque
- Gráfico 44. Comparación de la Cohesión entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo
- Gráfico 45. Comparación de la Cohesión entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe
- Gráfico 46. Bacterias Calcificantes
- Gráfico 47. Erosión de laderas por Biocement Technologies.
- Gráfico 48. Aumento de las propiedades del suelo de fundación por Biocement Technologies.
- Gráfico 49. Terreno de fundación Profundo por Biocement Technologies.
- Gráfico 50. Erosión de ríos por Biocement Technologies
- Gráfico 51. Licuefacción de Suelos por Biocement Technologies.

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 52. Bacterias Calcificantes representación.
- Gráfico 53. Ubicación de la Muestra 01 – Morrope – Provincia Lambayeque
- Gráfico 54. Extracción de la Muestra 01 – Morrope – Provincia Lambayeque
- Gráfico 55. Ubicación de la Muestra 02 – Jayanca – Provincia Lambayeque
- Gráfico 56. Extracción de la Muestra 02 – Jayanca – Provincia Lambayeque
- Gráfico 57. Mapa Geotécnico de la Ciudad de Lambayeque
- Gráfico 58. Ubicación de la Muestra 03 – Lambayeque – Provincia Lambayeque
- Gráfico 59. Extracción de la Muestra 03 – Lambayeque – Provincia Lambayeque
- Gráfico 60. Mapa Geotécnico de la Ciudad de San José
- Gráfico 61. Ubicación de la Muestra 04 – San José – Provincia Lambayeque
- Gráfico 62. Extracción de la Muestra 04 – San José – Provincia Lambayeque
- Gráfico 63. Mapa Geotécnico de la Ciudad de Reque
- Gráfico 64. Ubicación de la Muestra 05 – Reque – Provincia Chiclayo
- Gráfico 65. Extracción de la Muestra 05 – Reque – Provincia Chiclayo
- Gráfico 66. Mapa Geotécnico de la Ciudad de Puerto Eten
- Gráfico 67. Ubicación de la Muestra 06 – Puerto Eten – Provincia Chiclayo.
- Gráfico 68. Extracción de la Muestra 06 – Puerto Eten – Provincia Chiclayo
- Gráfico 69. Ubicación de la Muestra 07 – Callanca – Provincia Chiclayo
- Gráfico 70. Extracción de la Muestra 07 – Callanca – Provincia Chiclayo.
- Gráfico 71. Mapa Geotécnico de la Ciudad de Monsefú.
- Gráfico 72. Ubicación de la Muestra 08 – Monsefú – Provincia Chiclayo.
- Gráfico 73. Extracción de la Muestra 08 – Monsefú – Provincia Chiclayo.
- Gráfico 74. Mapa Geotécnico de la Ciudad de Pimentel
- Gráfico 75. Ubicación de la Muestra 09 – Pimentel – Provincia Chiclayo
- Gráfico 76. Extracción de la Muestra 09 – Pimentel – Provincia Chiclayo
- Gráfico 77. Ubicación de la Muestra 10 – Motupillo – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 78. Extracción de la Muestra 10 – Motupillo – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 79. Ubicación de la Muestra 11 – La Pluma – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 80. Extracción de la Muestra 11 – La Pluma – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 81. Ubicación de la Muestra 12 – La Zaranda – Provincia Ferreñafe.
- Gráfico 82. Extracción de la Muestra 12 – La Zaranda – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 83. Ubicación de la Muestra 13 – Pitipo – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 84. Extracción de la Muestra 13 – Pitipo – Provincia Ferreñafe

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 85. Ubicación de la Muestra 14 – Tres Tomas – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 86. Extracción de la Muestra 14 – Tres Tomas – Provincia Ferreñafe
- Gráfico 87. Características Macroscópicas, de colonia de bacterias Q60
- Gráfico 88. Características macroscópicas de colonia de bacterias Q52
- Gráfico 89. Cámara de bioseguridad para la elaboración de Sustrato B1
- Gráfico 90. Elaboración de sustrato B1 en cámara de bioseguridad
- Gráfico 91. Medio de sustrato B1 más bacterias inoculadas
- Gráfico 92. Cepas que mostraron mejor actividad ureolítica
- Gráfico 93. Muestras de suelo tratado con bacterias y sustrato B1
- Gráfico 94. Colocación de la arena en tara para granulometría.
- Gráfico 95. Eliminación de finos por el método del lavado
- Gráfico 96. Colocación de la muestra en el horno después del lavado
- Gráfico 97. Muestra compactada en el tallador
- Gráfico 98. Registro de datos en el equipo de corte directo
- Gráfico 99. Toma de datos con las válvulas en la máquina para corte directo
- Gráfico 100. Compactación de muestras con el sustrato B1
- Gráfico 101. Colocación de la muestra en los talladores, para el ensayo de corte directo
- Gráfico 102. Eliminación del aire atrapado
- Gráfico 103. Colocación de las fiolas con agua y muestra
- Gráfico 104. Colocación de la muestra tratada en frascos de vidrio proporción 1:3
- Gráfico 105. Colocación del ácido nítrico a la muestra
- Gráfico 106. Medición del pH por el método electrométrico
- Gráfico 107. Determinación del porcentaje de CaCO_3
- Gráfico 117. Evaluación del Cohesión de la MNT y MT – Chiclayo
- Gráfico 118. Evaluación del Cohesión de la MNT y MT – Ferreñafe

RESUMEN

Los suelos granulares no cohesivos de la Región 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, seleccionando catorce muestras de suelos del tipo SP extraídas dentro de la región 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 mejoran las propiedades físicas y mecánicas asegurando la estabilidad de los suelos granulares no cohesivos en la región Lambayeque.

Palabras Clave: Suelos Granulares, Bacterias Calcificantes, Biotecnología, carbonato de calcio

ABSTRACT

The non-cohesive granular soils of the Lambayeque Region 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 will be used applying the experimentation and knowledge in biotechnology, using samples of SP-type soils extracted within the Lambayeque region and those that were sometimes subjected to various tests in the natural state and applying Calcifying bacteria that allow the recognition of Results expected. The parameters that affect soil stabilization are: decrease empty spaces, permeability and increased cohesion, which were achieved due to the precipitation of calcium carbonate resulting from the action of calcifying bacteria in the environment where they were inoculated its presence from 0.32 to 5.44% as 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, in the same way 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 flexibility of calcifying bacteria improves physical and mechanical properties ensuring the stability of non-cohesive granular soils in the Lambayeque region.

Keywords: Granular Soils, Calcifying Bacteria, Biotechnology, calcium carbonate

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación

A nivel internacional. – El medio ambiente es una preocupación que comparten todos los países del mundo y se intenta utilizar la ciencia en combinación con la tecnología para fines de protección. Los avances en biotecnología ambiental están obteniendo logros destacados en la limpieza de aguas y suelos contaminados.

En la bioremediación (tratamiento de suelo y residuos sólidos) existen diversos tipos de estudios como por ejemplo en Estados Unidos, (Ismail, Joer, Randolph, y Kucharski, 1999) comprueban el uso de bacterias en el suelo para aumentar su capacidad mecánica; en Colombia se ha desarrollado múltiples estudios acerca de esta tecnología (Flores, 2006). Sin embargo, surgen interrogantes debido a la falta de investigación respecto a la interacción que tienen los organismos en su habitat natural como el suelo entre sí.

A nivel nacional. - Falta de información y la poca investigación en el aprovechamiento de estas herramientas biotecnológicas contribuyen para que se sigan utilizando los métodos tradicionales de estabilización. No hay registro de antecedentes de investigaciones ni aplicaciones de esta tecnología en ingeniería y construcción tanto regionales y nacionales.

Según INDECI (2003) gran parte de los suelos de la región Lambayeque son granulares no cohesivos del tipo SP, SW como se especifica en los estudios de “Plan de Prevención Ante Desastres: Usos del Suelo y Medidas de Mitigación”. Los suelos en mención carecen de las características necesarias para la construcción de proyectos ingenieriles, ante esta situación es necesaria la estabilización del mismo. Los procedimientos de estabilización convencionales son costosos, contaminando al medio ambiente y afectando la salud de quien aplica dichos productos, en tal sentido es necesario desarrollar alternativas económicas e innovadoras que tenga un impacto ambiental mínimo.

Una respuesta a esta situación problemática es la aplicación de alternativas biotecnológicas aplicadas a la estabilización de los suelos debido a la

actividad bacteriana que precipita carbonato cálcico y obteniendo mejoras en las características mecánica del suelo.

Según Occupational Safety & Health Administration (2015) los procedimientos de estabilización químicos suponen un riesgo para los operarios que los emplean, estos pueden generar complicaciones respiratorias y dérmicas, así Hakkinen y Vares (1998, p.14), la utilización de insumos químicos en la estabilización de los suelos puede afectar directamente al medioambiente.

1.2. Antecedentes de la investigación

Flores (2006, p.56) estabilización de suelos con Biocemento. Nos indica que hay una relación entre el comportamiento de la bacteria y la rigidez que toma el suelo durante el proceso de estudio. Se aplicaron bacterias tipo cocobacilos – grampositiva - ureasa positivo, las mismas que se extrajeron de suelos calizos y aplicados por un periodo de 20 días obteniendo valores considerables relacionados a la rigidez del suelo con un 25% a 13% de aumento bajo una concentración de 48×10^6 UFC/ml y 80×10^6 UFC/ml respectivamente de bacterias.

Arrieta, Valencia y Echeverri (2011) Biomineralización aplicada a procesos Erosivos superficiales, en un suelo tropical de Medellín. Sugiere que se haga de manera in situ la aplicación de esta técnica estudiada en laboratorio. Se obtuvieron muestras inalteradas y alteradas del centro poblado Cerro Nutibara perteneciente a Medellín, realizándoles las pruebas de laboratorio correspondientes para obtener sus características que permitieron realizar el análisis cuantitativo necesario. Se estimuló la producción de precipitación carbonato de calcio por parte de las bacterias oriundas de las muestras inalteradas del suelo cuando se aplicó el nutriente denominado B4, y se verificó que la erodabilidad del suelo disminuye comparado con el suelo en condiciones normales, además se demostró que el proceso de biomineralización mejora de manera considerable las características del suelo como consecuencia de la precipitación de carbonato de calcio, siendo un aporte biotecnológico aplicativo a la geotecnia.

Whiffin (2004, p.135) Microbial CaCO₃ precipitation for the production of biocement, indica el tratamiento de las bacterias y su relación con la producción de carbonato de Calcio, además de establecer que la biocementación logra una consolidación efectiva en la arena al aplicarse cultivos bacterianos y que uno de los problemas para ser aplicado a gran escala son los residuos con alta concentración de amonio.

1.3. Formulación del problema de investigación

¿Cómo favorece la aplicación de las Bacterias Calcificantes en la estabilización de los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque?

1.4. Delimitación del estudio

Se aplicó Bacterias Calcificantes como material estabilizador con fines de investigación científica a catorce muestras de suelos con características granulares del tipo SP (Arenas Mal gradadas), ubicadas en distintas zonas de la región Lambayeque. El análisis de efectividad de la estabilización de las muestras tratadas, se realizó con tres indicadores: aumento del coeficiente de fricción interna estático, aumento del esfuerzo de corte, y disminución de relación de vacíos. Los datos se recolectaron mediante la comparación de los ensayos de la muestra no tratada y la muestra tratada, los ensayos realizados fueron: corte directo, gravedad específica relativa y permeabilidad. Las distintas posibilidades de aplicación específicas en algún área de la ingeniería es objeto de estudios más profundos y detallados

1.5. Justificación e importancia de la investigación

Es importante por el aporte al desarrollo de la ciencia y lo planteamos desde el punto de vista científico y tecnológico:

Científico. Se generaron nuevos conocimientos científicos sobre biotecnología aplicada a la ingeniería, específicamente en la utilización de bacterias Calcificantes con acción Ureolítica, que podrán ser usados en futuros estudios.

Tecnológico. El desarrollo de la investigación permitió la aplicación de una nueva tecnología que sirvió para estabilizar los suelos y podrán ser utilizados en distintos campos de la ingeniería. Además, al usar herramientas biotecnológicas, permitirá verificar y recomendar los procedimientos más aceptables para las condiciones y características de la región Lambayeque

Los conocimientos desarrollados durante la investigación benefician desde el punto de vista económico, ambiental y social, justificando los estudios realizados.

Económico. La estabilización de suelos aplicando bacterias Calcificantes generara menores costos en comparación con los otros métodos como la adición de productos químicos (cemento, cal, productos bituminosos, etc.) o métodos mecánicos.

Ambiental. Las bacterias Calcificantes utilizadas para estabilizar el suelo no presentan riesgos que puedan afectar o alterar al medioambiente, por lo contrario, se sabe que la biotecnología es utilizada para proteger y restaurar diversos ecosistemas.

Social. Los métodos convencionales de estabilización utilizan materiales químicos y equipos mecánicos generadores del polvo, estos representan un riesgo para los operadores y las personas que estén cerca de estos trabajos, caso contrario ocurre en la estabilización con Bacterias Calcificantes que solo utiliza bacterias y agua.

1.6. Objetivos de la investigación: General y específicos

1.6.1. Objetivo general

Demostrar que aplicando Bacterias Calcificantes, se estabilizarán los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras correspondiente a los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque
- b) Cuantificar el efecto de la aplicación de las bacterias calcificantes en los suelos granulares no cohesivos de Lambayeque
- c) Evaluar los suelos granulares no cohesivos después de realizar el experimento.
- d) Comparar los resultados del análisis de los suelos granulares no cohesivos, antes y después de aplicar las bacterias Calcificantes
- e) Determinar el análisis de costos de los procesos realizados

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1.1. Estabilización de Suelos

Según Álvarez (2010) la estabilización es un conjunto de acciones físicas y químicas con la intención de modificar las características de los suelos, aplicados en la ingeniería, siendo el suelo un material único por excelencia se trata que este no sea reemplazado por diversos materiales inexistentes en el medio y que originan un aumento en los costos de ejecución de las diversas obras.

Podemos deducir que la estabilización es un proceso que consiste en aplicar un tratamiento físico o suministrar un producto químico con el objetivo de mejorar las características del suelo, tales como aumentar la resistencia del suelo o controlar su plasticidad.

2.1.2. Propiedades intrínsecas del suelo:

Cada tipo de suelo presentan propiedades específicas de acuerdo al medio donde se encuentre, siendo las características de los suelos inestables las que se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 1

Propiedades intrínsecas de los suelos

Propiedad	Características
Resistencia Mecánica	Característica que gobierna las fuerzas de cohesión depende directamente del contenido de humedad y del tipo de suelo en estudio
Tamaño y forma	Son las características que permiten clasificar el suelo en granulares y finos
Permeabilidad	Propiedad que tiene el suelo para transmitir el agua y el aire a través de sus partículas
Comprensibilidad	Capacidad del suelo para reducir el espacio entre sus partículas y disminuir su volumen
Estabilidad Volumétrica	Características que mide el volumen del suelo sea estable y no varía significativamente bajo condiciones naturales

Fuente: Adaptado de "Estabilización de suelos con Biocemento", de Flores, J. 2006. p 18

2.1.3. Métodos de Estabilización de Suelos:

La estabilización del suelo presenta diversos métodos, con diversas características tales como:

Cuadro 2

Métodos de estabilización

Propiedad	Características
Compactación Mecánica	<ul style="list-style-type: none">• Reducción del índice de vacíos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.• Aumenta la resistencia y disminución de la capacidad de deformación, aumentando el peso específico seco y disminuyendo sus vacíos.
Agentes Estabilizantes	<ul style="list-style-type: none">• La cal en los suelos arcillosos provoca una notable disminución de plasticidad, entrega mayor trabajabilidad en las operaciones de construcción y aporta buenas superficies de trabajo para los equipos de construcción• El cemento también es un agente estabilizante y se utiliza en una mezcla íntima con el suelo, convenientemente pulverizado con determinadas proporciones de agua y cemento se compacta y curan par obtener mayor densidad.• El asfalto que es una mezcla intima de emulsión asfáltica, suelo fino, arena o grava natural de granulometría similar o parecida a aquella de sub-base, agua y a veces aditivos, conformando un producto que se utiliza en capas de base para carreteras.

Fuente: Adaptado de “Estabilización de suelos con Biocemento”, de Flores, J. 2006. p 19

2.1.4. Selección del tipo de suelos a usar:

Según (NTP 339.134, 1999) se considera el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para clasificar los tipos de suelos según su granulometría y plasticidad siendo estos: los suelos granulares (Gravas, Arenas) y los suelos finos (Limos, Arcillas).

Nuestra investigación utilizó suelos granulares no cohesivos específicamente suelos arenosos mal gradados (SP)

Suelos granulares No Cohesivos:

Los suelos granulares no cohesivos son aquellos cuya muestra no pasa más del 5% la malla número 200 y cuya característica más evidente es la separación de sus granos.

Los suelos granulares establecidos sin tener en cuenta la presencia de limos y arcillas son: GW, GP, SW y SP, cuya característica principal es el tamaño de sus partículas, siendo el ensayo más característico para su análisis el ensayo granulométrico por tamizado ya sea en su forma húmeda o seco (menos del 5% pasa la malla N° 200).

Dicha característica se ve representada gráficamente en la denominada curva granulométrica cuya característica semilogarítmica nos permite apreciar la variedad de tamaño de partículas que este presenta en su estructura y donde encontramos puntos característicos como el D_{10} , D_{30} y D_{60} que nos permiten analizar lo antes mencionado y cuyos valores nos permitirán hallar el coeficiente de uniformidad (C_u) y el Coeficiente de Curvatura (C_c)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Cuadro 3

Clasificación de suelos según SUCS

SIMBOLO		CARACTERITICAS GENERALES	
GW	GRAVAS (>50% en tamiz # 4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente Graduadas
GM		Limpias (Finos >12%)	Componente Limoso
GC			Componente Arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz # 4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien Graduadas
SP			Pobremente Graduadas
SM		Limpias (Finos >12%)	Componente Limoso
SC			Componente Arcilloso
ML	LIMOS		Baja Plasticidad (LL<50)
MH			Alta Plasticidad (LL>50)
CL	ARCILLAS		Baja Plasticidad (LL<50)
CH			Alta Plasticidad (LL>50)
OL	SUELOS ORGANICOS		Baja Plasticidad (LL<50)
OH			Alta Plasticidad (LL>50)
Pt		TURBA	Suelos Altamente Orgánicos

Fuente: Bañon, L., Beviá, J. (2009, p.15)

Según SUCS, un suelo arenoso y gravoso deberían presentar un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor que 6 y 4 respectivamente, además de un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3.

Analizando estos dos valores se podrá decir que un suelo es bien gradado cuando cumplan los valores establecidos tanto para el coeficiente de uniformidad como de curvatura y de no cumplir se dirá que el suelo es mal gradado.

Suelos Arenosos:

(Illescas, 2007, p.16) las arenas tienen su origen en la roca madre, tales como la roca ígnea denominado granito cuyos minerales que lo forman son: feldespato, cuarzo y mica.

El feldespato (silicato doble de aluminio y potasio o sodio) actúa como un aglomerante que mantiene unido a la mica y el cuarzo; sin embargo producto de la meteorización los silicatos que lo componen se separan, dando origen a la arcilla producto de la hidratación del silicato de aluminio, mientras que los silicatos de potasio o de sodio son transportadas por las aguas meteóricas formando los depósitos de arenas naturales, presentando características diversas según el estado de separación (la arena disminuye su estado refractario por la presencia de residuos de feldespatos) y de disociación según el lugar de origen de la arena (arenas arcillosas naturales con porcentajes variables de arcilla) o por medio de procesos de transporte que dan origen a depósitos con presencia de arena silíceas y de arcilla. (Illescas, 2007, p.16)

En las cimentaciones deberá efectuarse según las diversas pruebas de laboratorio el uso del suelo como material respetando las especificadas en las normas técnicas correspondientes a cada país, para asegurar si reúnen las características idóneas. (Illescas, 2007, p.16)

2.1.5. Bacterias Calcificantes

2.1.5.1. Definición:

Flores & Rivas (2015, pp. 38-39) las bacterias Calcificantes son aquellas que inducen la precipitación de carbonato de calcio, lo que se conoce también como Biocemento. Esta acción resulta innovadora debido a que las bacterias no solo se encuentran en la parte superficial si no que llegan ocupar los espacios vacíos del suelo manifestando un accionar biotecnológico interesante, siendo su aplicación de bajo costo y contribuyendo a la conservación del medio ambiente debido a la disminución del uso de sustancias contaminantes lo que garantiza su aplicación en los diversos campos de la ingeniería civil.

2.1.5.2. Procesos en los que se puede aplicar

Cuadro 4

Procesos de aplicación de las Bacterias Calcificantes

Proceso	Aplicación
Tratamiento de Superficie	Puede ser utilizado para estabilizar laderas aumentando la integridad del suelo.
Tratamiento del subsuelo	Aumenta la capacidad admisible del terreno de fundación, facilitando la transferencia de cargas, inclusive en suelos colapsables permitiendo cimentaciones superficiales en lugares donde el suelo es de mala calidad.
Hidráulica	Puede ser utilizado para la estabilidad de riveras.
Licuación de Suelos	Puede reducir el potencial de licuefacción de suelos con estructuras ya existentes y donde no las hay, ya que no cambia el volumen del suelo, evitando así el daño a las edificaciones o estructuras.

Fuente: Según Biocement Technologies, USA (2013)

2.1.5.3. Morfología y estructura de las bacterias:

Flores (2006, p.19) las células procariotas, el tipo celular corresponde a bacterias y algas verde – azuladas. En las células procariotas, las estructuras nucleares no tienen membranas limitantes y no se dividen por mitosis. La célula está rodeada normalmente por una pared celular rígida que tiene como único constituyente ácido murámico.

2.1.5.4. Tinción de bacterias:

Madigan, Martinko, Bender, Buckley y Stahl (2015, p.29) La tinción es un método fácil y rápido que mejora el contraste de las imágenes de los microorganismos observados por medio de los microscopios, debido al uso de colorantes orgánicos con carga positiva denominados básicos tales como el azul de metileno, el cristal violeta y la safranina, que son capaces de teñir las células bacterianas.

La marcada afinidad por colorantes básicos indica que el protoplasma es ácido y contiene cantidades inusualmente grandes de ácidos nucleicos distribuidos más o menos uniformemente. Las reacciones de las células microbianas intactas con estos colorantes simples son extraordinariamente uniformes.

2.1.5.5. Tinción de Gram:

Madigan, Martinko, Bender, Buckley y Stahl (2015, p.29) Las tinciones que tiñen de colores diferentes tipos de células se llaman tinciones diferenciales. Un proceso de tinción diferencial muy importante que se usa en microbiología es la tinción de Gram. Según sea el resultado de esta tinción, las bacterias se pueden dividir en dos grandes grupos: las grampositivas y las gramnegativas. Una vez teñidas, las bacterias grampositivas se muestran de color morado y las gramnegativas de color rosa. La diferencia de color en la tinción de Gram se debe a diferencias en la estructura de la pared celular de las células.

2.1.5.6. Morfología de Bacterias:

Aliaga (2011), considera dos grupos: células individuales y grupos de células, según se observen en el microscopio y colonias de bacterias que se desarrollan en medios sólidos apreciables a simple vista y formados por un número muy grande de células.

Las variaciones en la forma, tamaño y sistemas estructurales son diferencias en los distintos grupos de bacterias que permiten sus diversos estudios.

Además, mencionar que las colonias bacterianas, de células individuales, tienen características físicas cuantificables del tipo sistemático, pero con poca relevancia en la morfología celular.

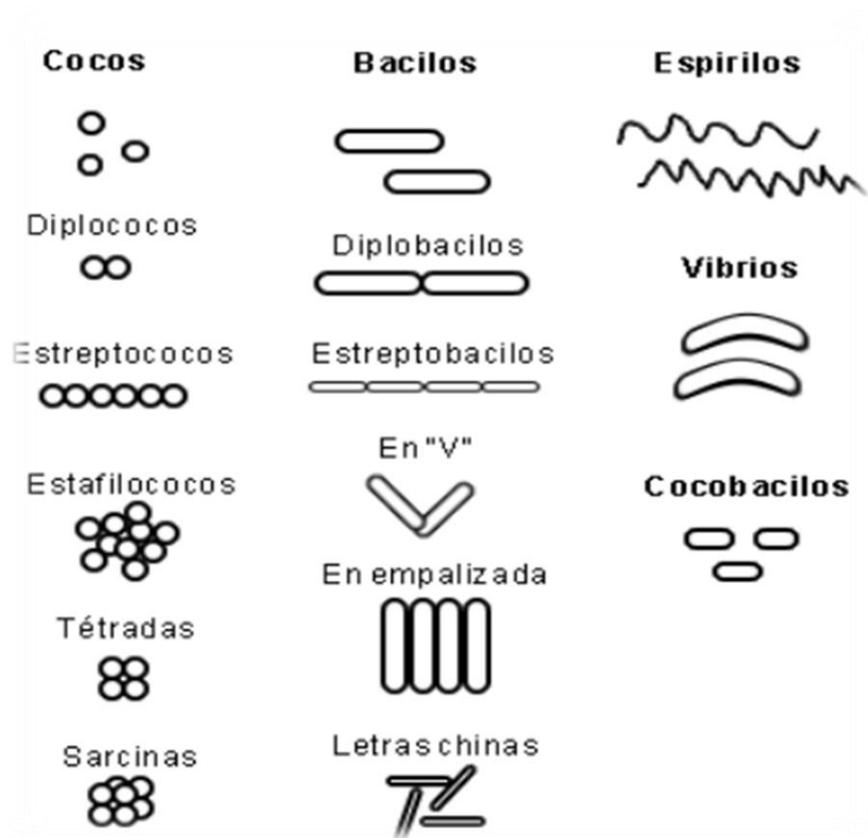


Gráfico 1. Agrupaciones y formas de bacterias (Aliaga, M. 2011).

2.1.5.7. Tamaño y forma de las bacterias:

Los actinomicetos del tipo *Streptomyces* (Fernández de Heredia, 1996, p.1) son un grupo de bacterias gram positivas, cuyo hábitat natural es el suelo. Durante muchos años han sido confundidos con hongos, dado que presentan una morfología filamentosa al igual que éstos.

(Amigot, 2009, p.44) son bacterias BGP aerobias, con un contenido de (G+C) de $69 \pm 78\text{mol}\%$. Presentan hifas largas y ramificadas, con un diámetro de $0,5 - 2,0 \mu\text{m}$ que raramente fragmentan. El género *Streptomyces* presenta la característica de producir esporos en forma endógena, por segregación del protoplasma, en cuerpos cilíndricos u ovals. Las cadenas de esporos son generalmente espiraladas.

2.1.5.8. Precipitación de carbonato de calcio:

Castenier, (2000, pp. 201-206) la formación de carbonato cálcico se da por medio de un proceso químico donde se unen los cationes de calcio y los iones carbonato, que dan origen a la calcita.

Actualmente se está analizando la producción de carbonatos por medio de precipitación en forma biológica en ciertos ambientes de carácter básico por parte de diversos microorganismos que no originan problemas a las estructuras tal como es el caso cuando se produce la degradación de los carbonatos producto de la contaminación atmosférica y la disminución del pH.

El bicarbonato HCO_3^- hace que el calcio se encuentre en forma soluble en el agua y de forma insoluble como carbonato CO_3^{2-} cuyo equilibrio se da por la intervención del CO_2 que da origen al H_2CO_3 (ácido Carbónico) al disolverse en el agua.

Biológicamente se presentan bacterias que tienen la facilidad de aumentar el pH en su medio donde se encuentren

originando que se produzca la precipitación de Carbonato Cálcico y en ambientes acuáticos es producida por la fotosíntesis, encontrando al Ca como bicarbonato y equilibrado con el CO₂ en estado disuelto:

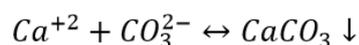


Castenier, (2000, pp. 201-206) menciona que la precipitación CaCO₃ se produce en medios tales como el suelo, aguas dulces y marinas, siendo este una transformación química, determinado por cuatro factores tales como la concentración Ca²⁺, pH, carbón inorgánico disuelto y la disponibilidad de sitios de nucleación.

2.1.5.9. Composición Química de las Bacterias Calcificantes:

Las Bacterias Calcificantes precipitan calcio y lo que se busca es la formación de carbonatos de calcio (CaCO₃), cuya reacción se realiza en un ambiente básico. El bicarbonato HCO³⁻ hace que el calcio se encuentre en forma soluble en el agua y de forma insoluble como carbonato CO₃²⁻ cuyo equilibrio se da por la intervención del CO₂ que da origen al H₂CO₃ (ácido Carbónico) al disolverse en el agua, teniendo como un factor característico el pH.

Cabe mencionar que está comprobado que existen bacterias que modifican el pH, aumentando su alcalinidad y generando la producción de carbonato de calcio por medio de precipitación. (Arrieta, 2011, p.9)



Cuadro 5

Ejemplo de mecanismos de Precipitación de carbonato

Especie y Mecanismo	Ambiente	Tipo de Cristal
Fotosíntesis		
Synechococcus GL24	Lago meromítico	Calcita
Nannochloris atomus	Medio BG11	Calcita
Reducción de Sulfatos		
Aislamiento SRB	Lago hipersalino	Dolomita
Ciclo del Nitrógeno		
Bacillus pasteurii	Deg. De urea en M. sintético	Calcita
Bacillus cereus	Reducción de nitratos	Calcita
Variovorax spp y Pseudomonas spp	Deg. De urea en M. sintético	Calcita
Mecanismos no especificados		
Vibrio spp	Sintético + mezcla de sal de mar	Calcita
Flavobacterium spp	Sintético + mezcla de sal de mar	Mg - Calcita
Acinetobacter spp	Sintético + mezcla de sal de mar	Mg – Calcita Aragonita

Fuente: Especies y animales (Hammes y verstraete, 2002, p.24)

2.1.5.10. Procesos de evaluación de las Bacterias Calcificantes y del suelo.

Cuadro 6

Proceso de Evaluación de las bacterias

Proceso	Característica
Crecimiento microbiano	Aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo
Cultivo de Microorganismos	Condiciones físicas, químicas y nutritivas adecuadas para que se puedan multiplicarse de forma controlada
Medios de cultivo	Un microorganismo necesita para crecer nutrientes que le aporten energía y elementos químicos para la síntesis de sus constituyentes celulares
Métodos de aislamiento	El aislamiento de bacterias a partir de muestras naturales se realiza, en la mayoría de los casos mediante la producción de colonias aisladas en cultivos sólidos
Crecimiento microbiano en medio líquido	Se pueden diferenciar cuatro fases en el crecimiento microbiano: Fase Lag o de adaptación (abundancia de nutrientes y condiciones de cultivos) Fase Exponencial o logarítmica (velocidad de crecimiento es máxima) Fase estacionaria (Estado metabólico real de los microorganismos en los ambientes naturales) Fase de muerte: reducción del número de bacterias
Crecimiento Microbiano en medio sólido	El resultado del crecimiento al cabo del tiempo es una colonia. Por consiguiente se denomina unidad formadora de colonia UFC a una célula bacteriana viva y aislada que si se encuentra en condiciones de substrato y ambientales adecuadas da lugar a la producción de una colonia

Fuente: Madigan, Martinko, Bender, Buckley y Stahl (2015, p.158).

2.2. Marco conceptual

Suelo

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, producto de la meteorización física, mecánica y química de las rocas. (MTC, 2018, p.21)

Suelos Granulares

Son aquellos suelos que no presentan ninguna cohesión tales como las rocas, gravas, arenas y limos. (MTC, 2018, p.21)

Muestreo

Toma de muestra que constituye la etapa inicial y fundamental para la adecuada interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio. (MTC, 2018, p.16)

Muestras De Campo

Materiales obtenidos de un yacimiento, de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativos y más pequeñas según procedimientos establecidos. (MTC, 2018, p.16)

Cohesión

La cohesión del terreno es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. (MTC, 2018, p.8)

Arena

Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm) y son retenidas por la malla N° 200. (MTC, 2018, p.4)

Suelos Granulares no cohesivos

Son aquellos cuya característica principal es la de no pasar más del 5% de su muestra la malla N° 200. (MTC, 2018, p.21)

Contenido De Humedad

Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente. (MTC, 2018, p.8)

Granulometría

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas. (MTC, 2018, p.13)

Gravedad Especifica Del Suelo

Determina el Peso Específico de un suelo con el Picnómetro, siendo la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada. (MTC, 2018, p.13)

Compactación

Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland. (MTC, 2018, p.8)

Máxima Densidad Seca

Máximo valor de densidad seca definido por la curva de compactación para un esfuerzo especificado (estándar o modificado). (MTC, 2018, p.16)

Corte Directo

Ensayo mediante el cual una muestra del suelo es sometida a una carga tangencial, falla al moverse una sección con respecto a otra. (MTC, 2018, p.8)

Permeabilidad

Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. (MTC, 2018, p.17)

pH

Medida del estado de acidez o basicidad de una solución. Los valores extremos del pH son 0 y 14; y el valor medio 7 indica que la solución es neutra. (MTC, 2018, p.17)

Estabilización

Es el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos, con el fin de que tenga los estándares indicados para la ejecución de una obra civil. (MTC, 2018, p.12)

Bacterias

miembros unicelulares; grupo de procariontes diverso y ubicuo; organismos con células procariontes (células sin núcleo). (Atlas, 2002, p.654)

Bacterias Calcificantes

Son aquellas bacterias que permiten el aumento de los iones de carbonato y bicarbonato en el medio circundante, específicamente metabolizando un sustrato carbonado, para obtener la concentración de carbonatos de calcio en presencia de calcio. (Darson-Balleur y Girinski, 2012)

Unidades formadoras de colonias (UFC)

Número de microorganismos que pueden replicarse para formar colonias; se determina a partir del número de colonias que se desarrollan. (Atlas, 2002, p.664)

Actinomicetes (actinomycetes)

Miembros de un gran grupo bacteriano cuyas especies se caracterizan por la formación de agrupaciones y/o filamentos verdaderos. (Atlas, 2002, p.653)

Biodegradación (biodegradation)

Proceso químico de rotura de una sustancia en moléculas menores por acción de los microorganismos o de sus enzimas. (Atlas, 2002, p.655)

Biofilme (biofilm)

Comunidad microbiana que crece adherida a una superficie formando una película microscópica. (Atlas, 2002, p.655)

Biogás (biogas)

Gas, principalmente metano, producido por microorganismos anaerobios. (Atlas, 2002, p.655)

Biorremediación (bioremediation)

Uso de agentes biológicos para la recuperación de suelos y aguas contaminados por sustancias peligrosas para la salud humana y/o para el ambiente; es una extensión de los procesos tradicionales de depuración de residuos en los cuales se usan microorganismos para degradar los contaminantes del ambiente. (Atlas, 2002, p.655)

Colonia (colony)

Crecimiento visible macroscópicamente de microorganismos en un medio de cultivo sólido. (Atlas, 2002, p.656)

Cultivo (culture)

Estimulación del crecimiento de microorganismos en condiciones controladas; crecimiento de tipos específicos de microorganismos sobre un medio, o en su interior, como resultado de su inoculación e incubación. (Atlas, 2002, p.656)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis central de la investigación

Si se aplican Bacterias Calcificantes entonces se estabilizarán los suelos granulares no cohesivos de la Región Lambayeque.

3.2. Variables e indicadores de la investigación

Variable independiente : Bacterias Calcificantes

Variable dependiente : Estabilización

Cuadro 7

Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	
		Indicadores	Instrumentos de medición
Bacterias Calcificantes Vi	Son aquellas bacterias que permiten el aumento de los iones de carbonato y bicarbonato en el medio circundante, específicamente metabolizando un sustrato carbonado, para obtener la concentración de carbonatos de calcio en presencia de calcio. (Darson-Balleur y Girinski, 2012)	Peso (gr.) Formación de colonias bacterianas (UFC/ml). Actividad Ureolitica PH Precipitación del calcio	Balanza Microscopio – Placa S.P.C Prueba de tinción con medio Agar urea PH metro y electrodos Efervescencia con ácido clorhídrico
Estabilización Vd	Es el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos, con el fin de que tenga los estándares indicados para la ejecución de una obra civil. (MTC, 2018, p.12)	Granulometría Optimo contenido de humedad Contenido de sales Totales Peso específico Esfuerzo de corte PH Permeabilidad	Tamices Proctor TDS Gs Corte directo PH metro y electrodos Cronometro y probeta milimetrada

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Métodos de la investigación

Todo proceso involucra un método de aplicación que se adapte a la naturaleza del estudio que se vaya a realizar, es por ello que analizando todos los métodos existentes, se aplicó el método Inductivo, característico por cuatro procesos que inicia con tabular cada hecho particular a partir de la observación y registro de sucesos, para luego clasificar y evaluar todos los resultados obtenidos que nos permite elaborar una teoría y contrastar nuestra hipótesis por medio de la experimentación realizando las diversas pruebas biológicas y a nivel de Mecánica de Suelos establecidas para el presente estudio

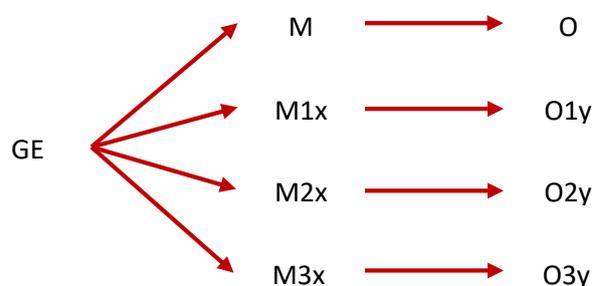
3.4. Diseño o esquema de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación:

Experimental y tomando en cuenta que nuestro grado de control es mínimo, dentro de los tipos de investigación experimental podemos decir que la investigación es preexperimental, que coincide con Hernández, Fernández y Baptista (2014) Los preexperimentos se llaman así porque su grado de control es mínimo. (p. 141)

3.4.2. Diseño de la investigación:

El diseño preexperimental utilizado es de preprueba / posprueba con un solo grupo, debido a que se aplicó una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental, después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo.



Grupo de estudio		: GE
Variable Independiente	(x)	: Bacterias Calcificantes
Variable Dependiente	(y)	: Estabilización
Muestra no alterada		: M
Muestra alterada		: Mx
Medición de M		: Oy
Medición de la variable dependiente: Oy		

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Nuestra población son los suelos con características granulares no cohesivas ubicados en la región 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”.

3.5.2. Muestra

La muestra se determinó tomando como referencia los resultados obtenidos de los antecedentes relacionados con nuestro estudio y bajo esa premisa la muestra es no probabilística del tipo intencional o conveniencia, suponiendo un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación más que por un criterio estadístico de generalización (Hernández et al., 2014, p.189), es decir nuestra muestra tendrá la característica de una arena mal gradada (SP) y serán ubicadas en la región Lambayeque en un número de 14 tomando como referencia los mapas geotécnicos elaborados por INDECI en las diferentes localidades.

El proceso de obtención de la muestra fue a nivel superficial en cada uno de los puntos estudiados según el siguiente procedimiento: se ubicó el punto de exploración registrando sus coordenadas UTM, siguiendo con la limpieza de los primeros 10 centímetros de espesor

en una superficie de 2m², con la finalidad de evitar elementos extraños a la muestra. Habiendo preparado el entorno de la muestra se procedió con ayuda de una palana a extraer cantidades de suelo de distintos puntos para poder realizar un cuarteo sobre un elemento plástico que nos permita obtener una muestra alterada en bolsa de plástico del tipo Mab tal como lo sugiere la NTP 339.151 (2015), en una cantidad aproximada de 50 Kg por punto, para ser llevadas al Laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Señor de Sipán para su análisis respectivo.

Para el análisis de cada muestra se utilizó distintas cantidades de acuerdo a la naturaleza de los ensayos realizados y que permitirá obtener valores adecuados, tal como lo presentamos en el cuadro 8.

Cuadro 8

Cantidad de muestra por ensayo

Ensayo	Cantidad	Peso Parcial (gr)	Peso Total (gr)
Contenido de Humedad	14	700	9800
Granulometría	14	270	3780
Peso Específico Relativo	28	25	700
Proctor	14	1500	21000
Corte Directo	28	180	5040
Permeabilidad	28	4600	128800
Carbonatos de Calcio	28	2.5	70
pH	28	30	840
Sales Solubles Totales	28	100	2800
Total			172830

Fuente: Elaboración Propia

Las 14 muestras se encuentran distribuidas en las diversas provincias de Lambayeque, siendo 4 para Lambayeque y 05 en Chiclayo y Ferreñafe, permitiendo cubrir un porcentaje adecuado de la región Lambayeque.

Cada muestra fue ubicada utilizando un GPS, determinando sus coordenadas UTM, como se indica en el cuadro 9

Cuadro 9

Ubicación de Muestras

Provincia	Localidad	Muestra	Coordenadas UTM	
			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

3.6. Actividades del proceso investigativo

Las actividades realizadas dentro de la investigación se plantearon en tres etapas: Reactivación de las Bacterias Calcificantes a utilizar, la aplicación de las bacterias seleccionadas y el análisis del proceso de estabilización, estando relacionadas entre sí.

Conocedores de la existencia de 15 cepas en estado congelado en el laboratorio de agrobiotecnología de la Universidad Señor de Sipan, se procedió a reactivar las cepas verificando la adaptación y formación de cristales CaCO_3 , siendo la Q52 y Q60 la que reunía las mejores condiciones según las pruebas realizadas. En la segunda etapa se inoculó en las muestras de suelo las cepas seleccionadas por medio del sustrato B1 verificando que la Q52 presenta las mejores condiciones, lo que permitió iniciar la etapa final de la investigación denominada estabilización, realizándose los ensayos respectivos con y sin bacterias, con la finalidad de comprobar nuestra hipótesis.

El Gráfico 2 refleja los procesos detallados que se realizarán, siguiendo una secuencia idónea y coherente con el estudio realizado.

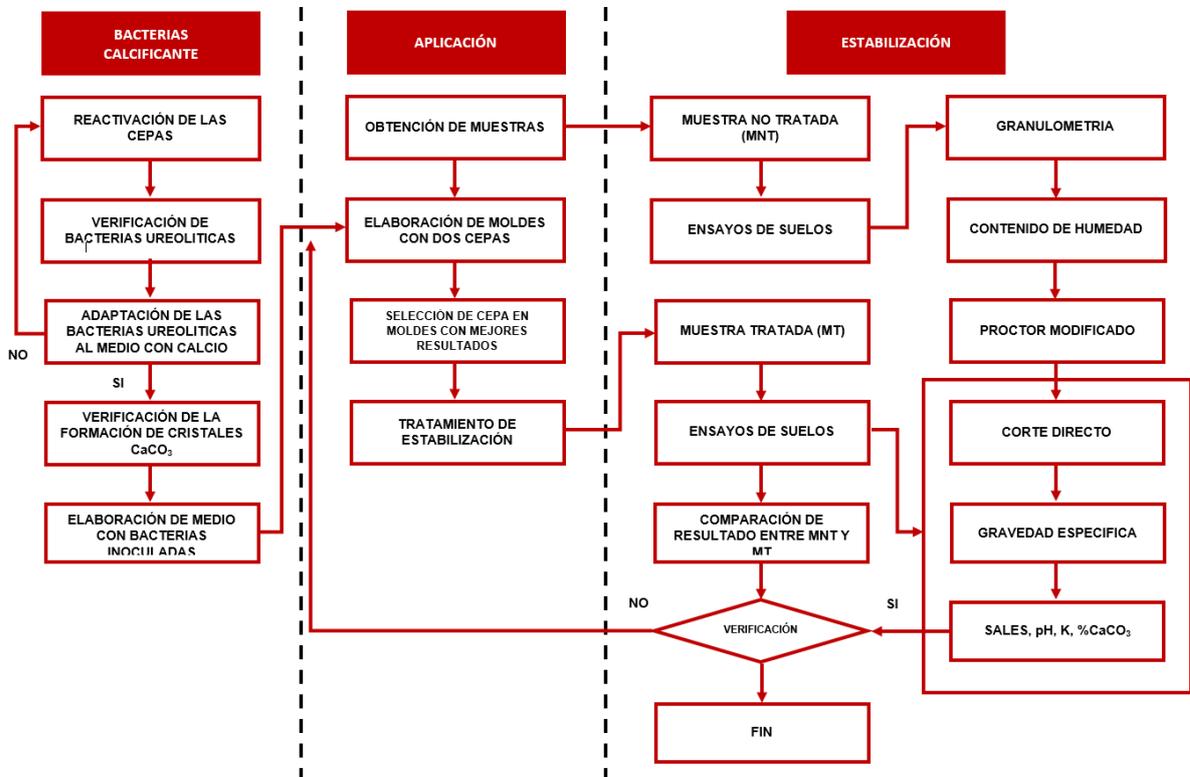


Gráfico 2. Proceso de la investigación

3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación

3.7.1. Técnicas de Investigación

Se aplicó la observación científica como técnica de investigación debido a que determinamos el objeto que vamos a observar, los objetivos de la observación, la forma de registro de datos, observamos cuidadosamente, además de registrar, analizar e interpretar datos y elaborar conclusiones.

Dentro de las modalidades de observación científica podemos mencionar que la investigación realizada es directa debido a que he tenido un contacto directo con las pruebas realizadas, además de ser estructurada por usar elementos técnicos adecuados como los diversos formatos usados para los registros de datos.

Además, puedo mencionar que nos encontramos con una observación de Laboratorio e individual debido a que es el lugar donde ocurrieron los fenómenos encontrados, y registrados por una sola persona.

3.7.2. Instrumentos de Investigación

Para poder operativizar la observación científica debemos de tener un instrumento de investigación, siendo estas usadas de manera indistinta dentro de una 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

Cuadro 10

Instrumentos de investigación para ensayos microbiológicos

TIPO DE ENSAYO	INSTRUMENTOS	DESCRIPCIÓN
ENSAYOS MICROBIOLOGICOS	Balanza con precisión a 0.01 g	Pesa las muestras con precisión
	Placa S.P.C	Siembra de bacterias actinomicetos
	Incubadora	Generar la condiciones necesarias para la formación bacteriana
	Microscopio	Identificar colonización bacteriana
	Prueba de tinción con medio agar urea	El medio vira a un color rosa intenso cuando dicho pH se hace básico
	Matraz	Preparación del medio de sustrato B1 mas bacterias inoculadas
	Tubos de ensayo	Inocular las cepas seleccionadas
	pH metro y electrodos	Medir el pH de las MNT y MT
	Efervescencia con ácido clorhídrico	Para comprobar la precipitación de carbonatos de calcio

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11

Instrumentos de investigación para ensayos de Mecánica de Suelos

TIPO DE ENSAYO	INSTRUMENTOS	DESCRIPCIÓN
ENSAYOS MICROBIOLOGICOS	TDS	Cuantificar porcentualmente el contenido de sales totales de las muestras
	G _s	Para determinar el peso específico de las muestras antes y después de la estabilización.
	Corte directo	Para determinar el esfuerzo de corte y coeficiente de fricción estática
	pH metro y electrodos	Medir el pH de las MNT y MT
	Cronometro y probeta milimetrada	Para medir la infiltración en la muestra antes y después de la estabilización

Fuente: Elaboración propia

3.8. Procedimiento para la recolección de datos

Nuestro procedimiento fue meticuloso en base a los instrumentos utilizados en los diversos ensayos realizados y respetando la Norma Técnica Peruana en cada uno de los experimentos realizados, que nos permitieron obtener datos para estudiar nuestro problema planteado y registrados en formatos elaborados según los requerimientos en cada proceso.

Entre los formatos a utilizar son los siguientes:

- Formato para contenido de Humedad
- Formato para granulometría
- Formato para Gs
- Formato para Proctor
- Formato para corte directo
- Formato para infiltración e permeabilidad.
- Formato para la determinación de carbonatos de calcio.
- Formato para la determinación del PH.
- Formato para la determinación de sales totales en los suelos.

3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.

3.9.1. Bacterias utilizadas - Actinomicetos

Este grupo bacteriano es conocido por su enorme capacidad de producir compuestos bioactivos, con importantes aplicaciones en agricultura, en base a su actividad como antibacterianos, antifúngicos, plaguicidas, herbicidas etc. y a través de su actividad enzimática como biorremediadores y degradadores de materia orgánica recalcitrante (Berdy, 2005). Son una fuente inagotable de productos naturales con múltiples actividades biológicas y bioquímicas, capaces de una rápida adaptabilidad genética, y lo que les permite establecerse en casi cualquier ambiente, se ve justificado molecularmente en sus cromosomas que pueden alcanzar hasta 8,5Mb uno de los más grandes conocidos del mundo microbiano (Thompson et al, 2002).

3.9.2. Reconstrucción de Cepas de Actinobacterias:

La recopilación de diversos estudios realizados con bacterias, permitió ubicar en el Laboratorio de Agrobiotecnología de la Universidad Señor de Sipán un banco de cepas del tipo actinomicetos, que fueron estudiadas con antelación por Horna, Sialer, Incio, Hernández. y Leiva (2014), quienes aislaron e identificaron sus características microscópicas y macroscópicas. Se recuperó y estabilizó el proceso molecular de 15 cepas de actinomicetos en estado de congelamiento, siendo reconstituidas utilizando 40 ml de avena líquida elaborada con avena en hojuelas y sacarosa con un pH de 6.8, e inoculadas en 100 uL en aislamientos de crioconservados. Los medios se sometieron a un proceso de agitación de 120rpm por un periodo de 5 días a una temperatura de 20°C, (Sánchez y Corrales ,2005, pp. 21-29).

El banco utilizado se obtuvo sembrando las cepas en placas de agar avena con nistatina al 0.1% (v/v) por un periodo de 10 días a una temperatura de 25°C, obteniendo cepas viables para pases sucesivos en los agares en que se trabajó, observando colonias húmedas en los primeros días, pero convirtiéndose en opacas y pulverulentas.

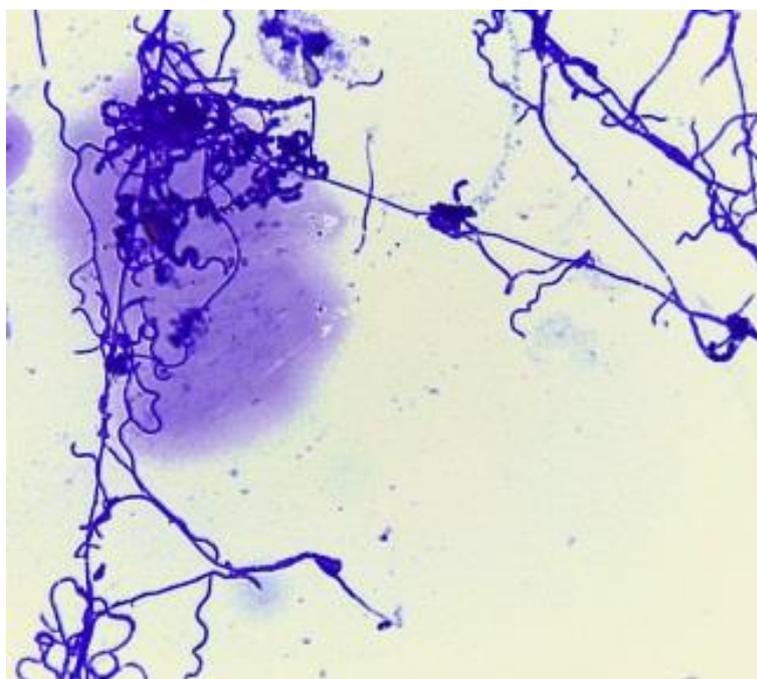


Gráfico 3. Características microscópicas de la colonia Q52.

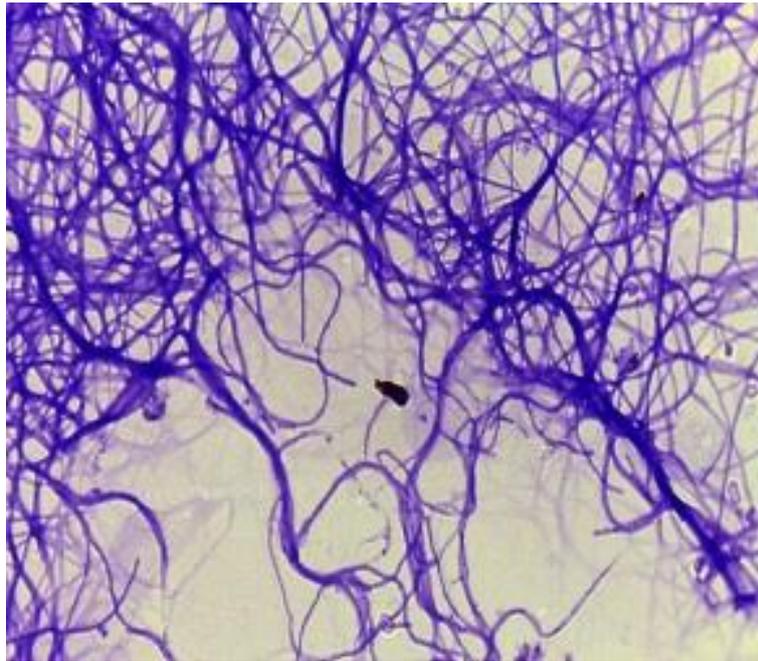


Gráfico 4. Características microscópicas de la colonia Q60.

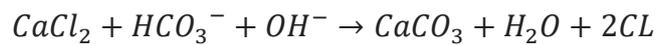
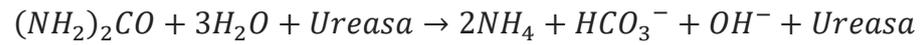
3.9.3. Evaluación de la actividad Ureolítica:

Las cepas fueron sembradas en Agar urea con suplemento de urea al 40%, con la finalidad de evaluar la actividad ureolítica. El empleo de la urea como suministro de nitrógeno es una característica de las bacterias que poseen una enzima denominada ureasa que ataca la urea y que al descomponerse produce amoníaco haciendo que el entorno se vuelva alcalino

Una forma de detectar la presencia de amoníaco y de la enzima ureasa en el medio es por el cambio de pH a su forma básica manifestándose con un color rosa intenso, para nuestro estudio utilizamos el agar urea como medio de cultivo. Se ha demostrado que existen bacterias con la capacidad de hidrolizar urea, las cuales pueden propiciar las condiciones adecuadas para la precipitación de CaCO_3 . Esto sugiere que pueden ser utilizadas en la restauración de estructuras de concreto, siendo las bacterias utilizadas para estos estudios del género *Bacillus*, sin embargo en la investigación planteada hemos trabajado con bacterias del género *Streptomyces*.

La biomineralización es un proceso complejo que se presenta de manera natural gracias a distintas bacterias. Por ejemplo: *Bacillus pasteurii*, *Shewanella*, *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus cohnii* y

Bacillusphaericus, las cuales según resumieron Narayanasamy (2010), tienen la capacidad de precipitar CaCO_3 gracias a la enzima ureasa (EC3515). La formación natural del CaCO_3 , se da cuando la urea es desdoblada por la enzima ureasa, convirtiéndola en 2 moles de amoníaco y 1 mol de CO_2 , proporcionando un medio alcalino que en presencia de iones Ca^{+2} da lugar al compuesto: 2CO_2 , propiciando un medio alcalino que en presencia de iones Ca^{+2} da lugar al compuesto:



La ureasa producida por la actividad bacteriana puede inducir la precipitación de CaCO_3 , el cual puede ser utilizado como sellador para reparar crack y fisuras en estructuras, formaciones de granito y concreto como mencionaron U.K. Gollapudi et al. (1995) y Ramachandran et al. (2001).

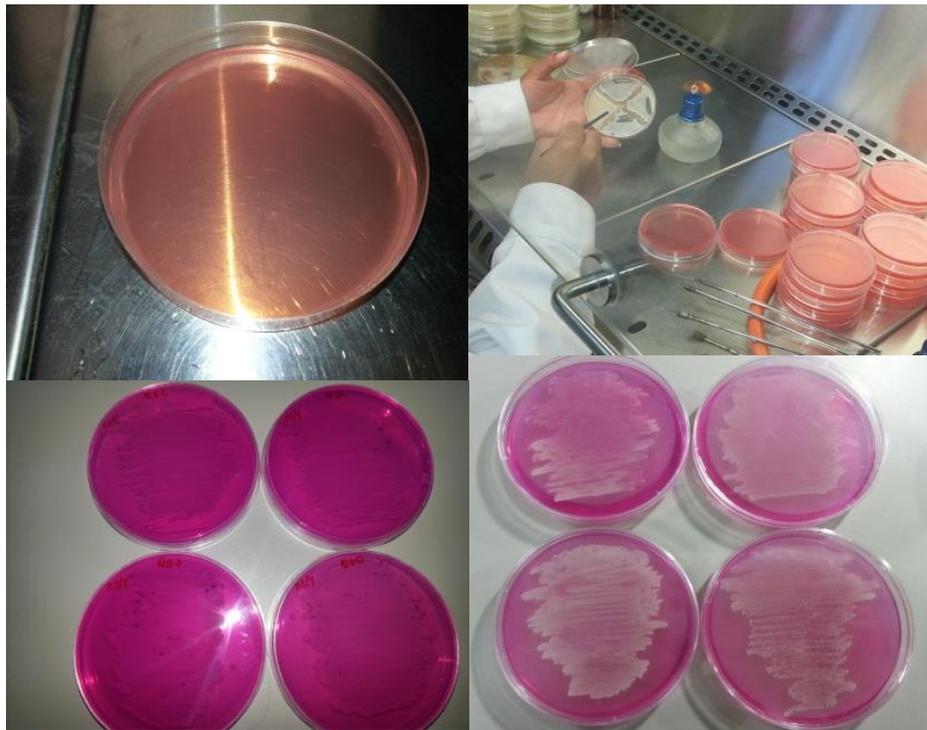


Gráfico 5. Proceso para la evaluación de la actividad Ureolítica.

3.9.4. Evaluación de las cepas seleccionadas en sustrato B1:

Para tal fin se empleó como medio inductor el medio denominado B1.

Cuadro 12

Dosificación del sustrato B1

Elemento	Cantidad por 1000 ml de H ₂ O ₂
Acetato de calcio	2.5 gr.
Urea	10 gr.
Dextrosa	5 gr.
Levadura	4 gr.

Fuente: Gómez, L. (2006, p. 55). Evaluación de las propiedades geotécnicas de suelos arenosos tratados con bacterias calcificantes

Las cepas que mostraron mejor actividad ureolítica fueron llevadas y cultivadas en medio denominado sustrato B1 para así conocer su adaptación al medio y posteriormente medir su pH.

Las muestras fueron incubadas en tubos de 15 mL y en matraces de 250 mL a 30°C por espacio de 5- 7 días en incubadora de rotación.

Para la preparación del medio; se pesó las cantidades de los insumos necesarios en la tabla anterior.

Luego en un matraz de 1000 ml, se coloca la levadura con urea para que se pueda autoclavar y así desinfectar el líquido de cualquier otro tipo de bacteria que no sea la que se está especificando en el estudio con calor húmedo a 121 °C y una presión de 15lb/pulg². Se deja enfriar el matraz a una temperatura de 40 °C, y luego se agrega el acetato de calcio más la dextrosa.

Por último, se lleva el matraz a una máquina que mantenga el matraz libre de contaminación de otras bacterias denominada cabina de bioseguridad; y utilizando un mechero con el asa de siembra se raspa

las bacterias que están albergadas en los tubos de ensayos, y se coloca en el matraz con los insumos y se deja en una incubadora por 5 a 7 días.

Finalmente se seleccionaron dos cepas (Q60 y Q52) para el tratamiento en la estabilización del suelo y se verificó cualitativamente la existencia de carbonatos de calcio en el medio con el ensayo de efervescencia.

3.9.5. Verificación del crecimiento de cristales CaCO_3 , como resultado de la actividad microbiológica.

El crecimiento de cristales como resultado de la actividad microbiológica en el Sustrato B1 se determinaron por ensayos de caracterización mineralógica mediante microscopio electrónico y cualitativamente.

3.9.5.1. Análisis del crecimiento de cristales CaCO_3 mediante microscopio electrónico.

Con la intención de verificar la existencia de cristales CaCO_3 , como resultado de la actividad microbiana, se utilizó un microscopio electrónico. Lo primero que se realizó fue extraer del fondo del matraz (bacterias inoculadas en sustrato B1), carbonato de calcio sedimentado. Posteriormente se colocó lo extraído en láminas y se llevaron al microscopio.

De los resultados de la observación se aprecia la formación de cristales de calcita con formas geométricas bien definidas, junto a estas se aprecian las colonias de bacterias actinomicetos, que tienen por característica el crecimiento no uniforme en distintas direcciones Gráfico 6, evidenciando que las formaciones de estos cristales son provocadas por el metabolismo de las bacterias mencionadas.

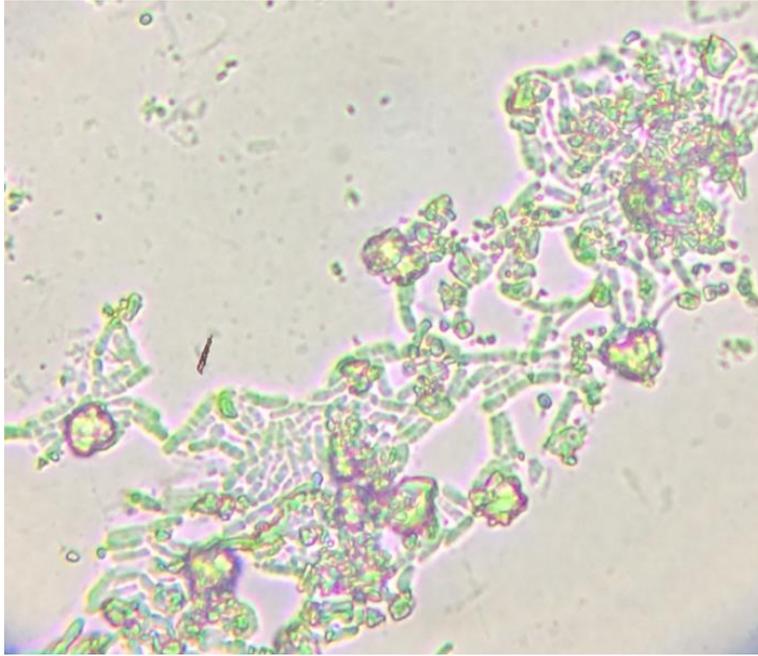


Gráfico 6. Cristales romboédricos de calcio como resultado de actividad microbiana.

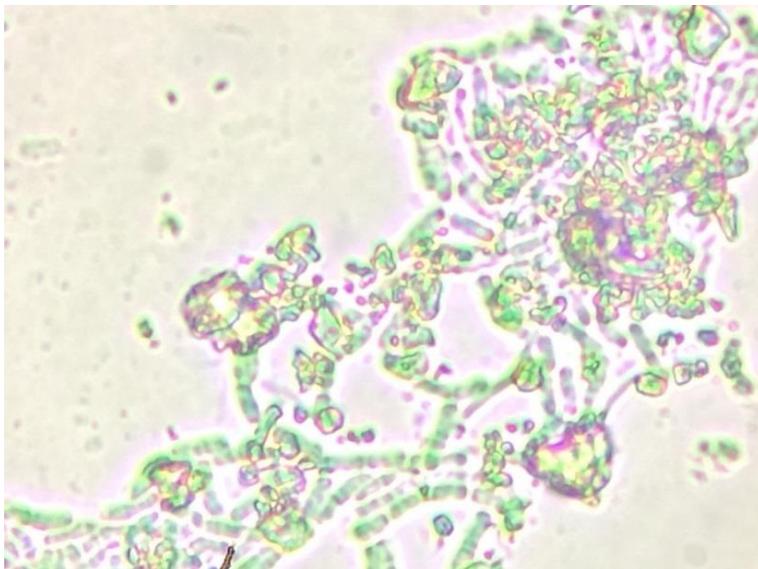


Gráfico 7. Imagen X 3000 Formación de cristales CaCO₃

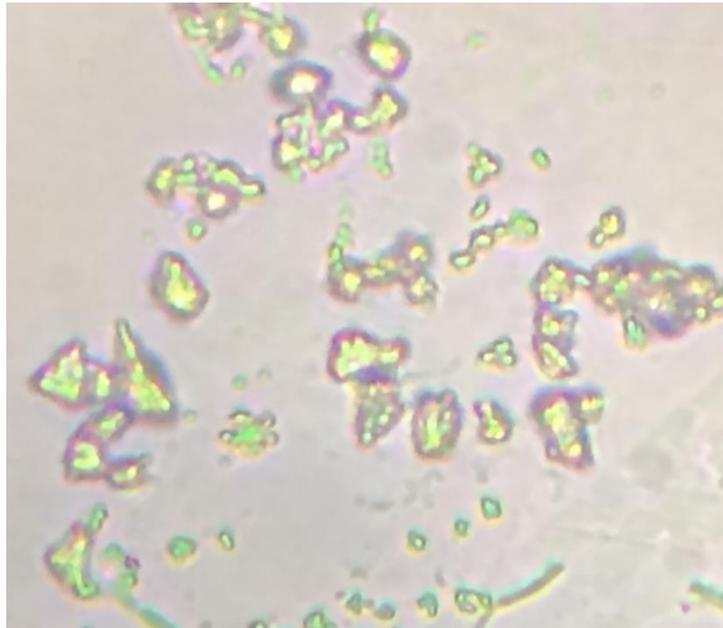


Gráfico 8. Imagen X 3000 Cristales CaCO₃ de la precipitación del calcio.

3.9.5.2. Determinación cualitativa de la precipitación de carbonatos de calcio.

Se comprobó por efervescencia producida, la existencia de carbonatos alcalinotérreos en el medio. Para determinarlos cualitativamente utilizamos un gotero con una solución de ácido clorhídrico, la misma que fue colocada sobre el sedimento adherido en el matraz donde se preparó el sustrato para la estabilización. Finalmente se verifico la producción de carbonatos de calcio por la efervescencia producida en el ensayo. Además, para evidenciar que la efervescencia producida no se generó por el acetato de calcio (insumo para la preparación del sustrato B1), se realizó la prueba de efervescencia para el acetato de calcio mencionado, de donde se corrobora que esta no genera ninguna reacción de efervescencia. Por lo tanto, se puede concluir que las bacterias son los responsables de la precipitaron del calcio y con esto la formación de cristales de calcita.

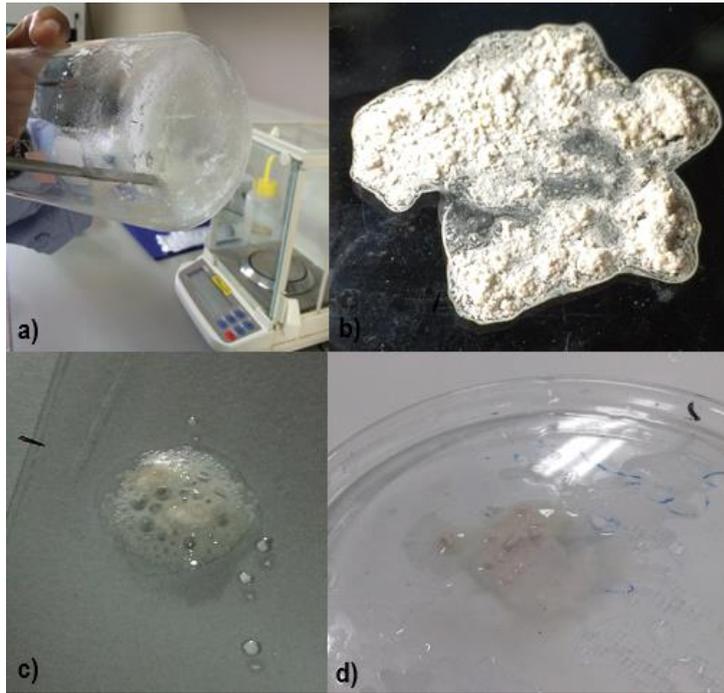


Gráfico 9. a) Extracción del sedimento adherido en el matraz, b) Calcita, c) Precipitación de carbonatos de calcio (efervescente de la muestra) y d) El acetato de calcio no genera ninguna reacción de efervescencia

3.9.6. Aplicación

3.9.6.1. Obtención de muestras de suelos

Se obtuvieron previo análisis de las zonas de donde se procedió a extraer las muestras representativas de tipo alterada con ayuda de herramientas que nos permitieron limpiar y excavar según los métodos recomendados por el RNE.

La muestra representativa que se utilizó es del tipo SP – Arena mal gradada, de 14 puntos distribuidos en todo el departamento de Lambayeque tratando de cubrir la zona de estudio y que permitieron realizar las pruebas de estabilización aplicando bacterias Calcificantes.

La cantidad de muestra que se obtuvo de cada punto fue en promedio 12.5 kg para los diversos ensayos realizados por procesos de cuarteo según la NTP.



Gráfico 10. Ubicación de las 14 muestras de estudio. (Google Earth 2015)

3.9.6.2. Selección de cepa usada para la estabilización.

Con la finalidad de utilizar la cepa más eficiente para estabilización, se determinó realizar ensayos de compresión al suelo inoculado con cada cepa (Q60, Q52).

Primero se colocó la muestra con el sustrato B1 y las bacterias inoculadas en 3 capas, cada capa fue compactada con un pistón con un total de 25 golpes, este procedimiento se repitió para las catorce zonas, y para cada tipo de cepa; al final se obtuvieron 28 prismas listos con una arista de 2.54 cm.

Para el caso de las muestras de suelo inoculado con la cepa Q60, esta no tuvo la rigidez necesaria para la realización del ensayo. La muestra inoculada con la cepa Q52 presento mejores características de rigidez y cohesión. De lo anterior se concluye que la muestra inoculada con la cepa Q52 presenta las características de resistencia y rigidez necesaria para la estabilización, por lo tanto es la cepa que se utilizara en la presente tesis, para la estabilización con bacterias Calcificantes



Gráfico 11. Inyección de medio nutritivo para enriquecer la matriz del suelo con bacterias y sustrato B1.

3.9.6.3. Método de tratamiento de estabilización:

La estabilización de suelos granulares no cohesivos se realizó con el medio líquido llamado sustrato B1 cuya composición se detalla en el Cuadro 12, la misma fue inoculada con la bacteria Q52, que resultó tener mejor crecimiento en suelos y además evidencio mejor rigidez.

El tratamiento se realizó a través de baños diarios a las muestras de los suelos, esto con el fin de que se produzca la precipitación de carbonatos de calcio por la presencia de bacterias y con ella la formación de los cristales de calcita.

3.9.7. Muestra no Tratada

La muestra no tratada es el suelo natural tal y como se encontró en el punto de extracción, sin recibir ningún agente que pueda alterar su estructura y tratando de conservar totalmente sus características naturales.

Se conservó inalterada para poder realizar los ensayos y compararlos con la muestra tratada. Además, sirvió para determinar los parámetros iniciales de la investigación, así tener una base y comprobar si los resultados generaron algún cambio.

Se realizaron las pruebas generales en el Laboratorio de ensayo de Materiales de la Universidad Señor de Sipan a las muestras extraídas tales como: humedad, granulometría y Proctor estándar. Se utilizó el ensayo de Proctor estándar para determinar la humedad óptima y la máxima densidad seca, esta humedad será utilizada para el tratamiento de las muestras. Además, se realizaron diferentes ensayos para la caracterización química, determinándose parámetros como; pH, sales solubles y carbonatos. Para la caracterización hidráulica se calculó la permeabilidad. Las características mecánicas se determinaron con la prueba de corte directo y gravedad específica.

El ensayo de corte directo nos ayudara a evaluar el esfuerzo de corte inicial y finalmente el ensayo de gravedad específica para determinar el peso específico inicial del suelo.

3.9.8. Muestra Tratada:

Para las muestras del suelo tratado se inocularon la sepa de bacterias Q52 con el medio líquido llamado sustrato B1, cuya composición se detalla en el cuadro 12.

El tratamiento se realizó a través de baños para las catorce muestras de suelo, con la sepa inoculada ya mencionada. Los ensayos de la muestra tratada se realizaron después de los 12 días de haber hecho el primer baño del tratamiento microbiológico.

Se realizaron diferentes ensayos para la caracterización química de las muestras tratadas, determinándose parámetros como; PH, sales solubles y carbonatos. Para la caracterización hidráulica de las muestras tratadas se calculó la permeabilidad. Las propiedades mecánicas de la muestra tratada se determinaron con ensayos de corte directo y gravedad específica.

Se evaluó el esfuerzo de corte y la gravedad específica para determinar las características que se pretendieron buscar durante la investigación

Se determinó que las muestras tratadas con la cepa Q52 fueron las que mejor se estabilizaron, por lo que se preparó muestras adicionales con la cepa en mención para determinar la dosificación proporcionada. Los valores registrados presentan un cambio considerable en las muestras estudiadas para la dosificación proporcionada.

3.9.9. Ensayo de Suelos:

3.9.9.1. Granulometría

Este ensayo se realizó, solo para la muestra no tratada, de cada muestra, con el fin de obtener la curva granulométrica y verificar que es una arena mal gradada.

Para recopilar estos datos primero se colocó en una tara, una cantidad de arena de 2000 a 700 gr, se pesó y registró el dato y luego se dejó saturando por 24 horas.

Luego de este tiempo se procede al lavado de la muestra de arena SP, con la malla N° 200, mediante un lavado simple, con el fin de eliminar las partículas contaminantes y purificar la arena.

Luego del lavado se coloca la muestra al horno, por 24 horas y por último se realiza el proceso del tamizado por las mallas N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 140, N° 200 y el fondo. Registrándose los datos de peso que pasa y peso retenido.

3.9.9.2. Contenido de Humedad

Se utilizó una cantidad de muestra de 200 a 500 gr en una tara, se registra su peso que será el peso de la muestra húmeda, para luego ser llevada a horno sin ser alterada de ninguna forma, y luego de 24 horas volver a pesar la tara para determinar el peso seco. Se realiza el cálculo de contenido de humedad y se registran los datos obtenidos.

3.9.9.3. Proctor Estándar

Por medio del Proctor estándar obtuvimos los datos del óptimo contenido de humedad (OCH) con el peso específico seco máximo, realizamos el ensayo de Proctor estándar para

las 14 muestras de todo el departamento. Primero se satura 5 muestras cada una de 3000 gr con distintas cantidades de humedad, antes se debe identificar una humedad optima primaria, y variar cada 0.5 % más y menos a la humedad ya mencionada.

Luego de este proceso se deja saturando en bolsas, durante 24 horas para realizar la compactación con un pistón estándar de 10 lb en 5 capas con 56 golpes, en un molde del cual se deben tomar registros de volumen y peso, realizada la compactación se procedió a pesar, se coloca un poco del mismo en una tara, se registra el peso de la muestra más la tara y se sometió a secado en la estufa. Luego de 24 horas se pesa y se registran los datos para determinar el OCH, estos datos fueron fundamentales para la ejecución del ensayo de corte directo.

3.9.9.4. Ensayo de Corte Directo:

Muestra no tratada

Se saturo la muestra con el OCH, luego se compacto la muestra en tres capas en el tallador de la máquina de corte directo. Las dimensiones del tallador son: el diámetro fue de 4.99 cm y la altura 1.99 cm, el peso fue de 68.14 gr, cuyas dimensiones sirvieron para determinar el volumen, además de registrar su peso.

Para el proceso de tallado se tiene que conseguir una superficie plana con un papel filtro para que se realice el compactado con un pistón pequeño.

Una vez compactada la muestra en el tallador se registra el peso del tallador más la muestra, y se procede a la colocación en el equipo de corte directo, para dar inicio al registro de datos y posteriores cálculos de la carga y deformación, se realizan tres ensayos de cada muestra, la primera con una carga de 4 Kg, la segunda con una carga de 13 Kg, y la tercera de 23 Kg.

Muestra tratada.- se colocó el suelo en cantidades exactas, con el OCH, el líquido compactador utilizado fue el sustrato B1 con las bacterias inoculadas (Q52).

Se fabricaron moldes con las dimensiones del tallador, esto con la finalidad de conservar las muestras evitando deformaciones. Se colocó la muestra en los moldes en tres capas, cada una compactada con un pistón pequeño con un total de 25 golpes. Los moldes ya con las muestras compactadas, se dejaron reposando por 12 días, para permitir que las bacterias puedan proliferar en la matriz del suelo y favorecer la precipitación de calcio, durante el lapso de tiempo mencionado se le realizaron baños al suelo compactado con el sustrato B1 y las bacterias inoculadas. Luego se realizó el ensayo de corte directo para cada zona y se obtuvieron los datos de esfuerzo de corte y coeficiente de fricción interna.

3.9.9.5. Gravedad Especifica:

Muestra no tratada

Se utilizó una Fiola de 250 ml de capacidad donde se colocó 25 gr de muestra seca con agua destilada.

Se dejó saturando por 18 horas, después de este tiempo se colocaron las fiolas a calentar en una estufa. Se esperó que se observara pequeños borbotones del agua, y se empezó a tomar el tiempo con un límite de 15 minutos. Después se dejó enfriar la fiola hasta una temperatura menor de 30 °C, y se le agregó agua destilada hasta la marca que tiene la fiola (250ml), se registró el peso y temperatura, luego se colocaron las fiolas vacías al horno para tomar el registro del peso de la fiola seca después de 24 horas.

Al final se hizo la calibración de la fiola, colocándole agua destilada, hasta la marca que tiene este elemento, y se tomó la temperatura. Al final de todo el procedimiento se realizaron los cálculos para obtener los resultados de cada zona.

Muestra tratada.

Se extrajo material de las muestras de corte directo (25 gr de cada zona), sobrante de los moldes. Y se colocaron en las fiolas una de cada zona.

Se dejaron saturando con agua destilada por 18 horas, luego se colocaron las fiolas a la estufa y se calentaron hasta que el agua empezó a formar burbujas, se esperó por 15 minutos nuevamente.

Se dejó enfriar las fiolas unos minutos hasta que la temperatura sea menor a 30 °C, antes de esto se colocó agua destilada en cada fiola hasta que alcance la marca que indica el límite de 250 ml de cada una. Se registró el peso de cada fiola, luego se colocaron al horno cada fiola vacía para dejar secar por 24 horas. Se registró el peso de cada una y se procedió a la calibración. Al final se registraron los datos de los cálculos realizados.

3.9.9.6. Ensayo de Contenido de Sales Solubles:

Muestra No Tratada: Primero se colocó 100 gr de la muestra en un recipiente con 300 ml de agua destilada, se utilizaron 14 en total uno para cada zona de estudio. Luego se agito por 15 minutos cada frasco para que la muestra pueda mezclarse con el agua y liberar las sales que contienen, por consiguiente, se dejó reposar durante 24 horas.

Pasadas las 24 horas, se colocó el material sobrenadante de cada recipiente en una estufa con una tara debidamente rotulada, se calentó hasta que se logró apreciar el borboteo del líquido; luego se agregó 3 gotas de ácido nítrico para que el líquido se vuelva transparente, una vez que se aprecia la transparencia del líquido con una bomba de vacío se extraen 100 ml del líquido puro y limpio para ser colocado en una pipeta de vidrio pero tendrá que pasar por un papel filtro, una vez hecho este procedimiento, se coloca el líquido en las cacerolas, y se

llevan al horno, antes de realizar esta acción las cacerolas se calentaron vacías y limpias y se registró el peso. Por último, luego de dos horas el líquido se secó quedando en teoría las sales en la cacerola para proceder a pesar y registrar datos.

Muestra Tratada: Primero se colocó 100 gr de la muestra en un recipiente con 300 ml de agua destilada, se utilizaron 14 en total. Luego se agito por 15 minutos cada frasco para que la muestra pueda mezclarse con el agua y liberar las sales que contienen, por consiguiente, se dejó reposar durante 24 horas.

Pasadas las 24 horas, se colocó el material sobrenadante de cada recipiente en una estufa con una tara debidamente rotulada, se calentó hasta que se logró apreciar el borboteo del líquido; luego se agregó 3 gotas de ácido nítrico para que el líquido se vuelva transparente, en las muestras tratadas se tuvo que esperar en promedio 45 minutos para que estas logren aclararse ya que tiene presencia de bacterias y otros elementos que se forman en el proceso de alteración de la muestra de arena, una vez que se apreció la transparencia del líquido con una bomba de vacío se extraen 100 ml del líquido puro y limpio para ser colocado en una pipeta de vidrio pero tendrá que pasar por un papel filtro, una vez hecho este procedimiento, se coloca el líquido en las cacerolas, y se llevan al horno, antes de realizar esta acción las cacerolas se calentaron vacías y limpias y se registró el peso. Por último luego de dos horas el líquido se secó quedando en teoría las sales en la cacerola para proceder a pesar y registrar datos.

3.9.9.7. Ensayo de Determinación del pH:

Muestra No Tratada: Primero se colocan 30 gr de muestras de suelo de las catorce zonas, luego se le agrego agua destilada 75 ml. Después se agitaron los frascos por 15 minutos, en recipientes de 100 ml.

Se calibro el pH metro, colocando el electrodo en un recipiente con solución neutra, para que este lograra indicar un pH de 7.01, una vez calibrado se procede a tomar las lecturas de la muestra, las cuales dieron valores menores a 7. Antes de medir cada pH se tiene que limpiar el Electrodo con Agua destilada.

Muestra Tratada: Primero se colocan 30 gr de muestras de suelo de las catorce zonas, luego se le agrego agua destilada 75 ml. Después se agitaron los frascos por 15 minutos, en recipientes de 100 ml.

Se calibro el pH metro, colocando el electrodo en un recipiente con solución neutra, para que este lograra indicar un pH de 7.01, una vez calibrado se procede a tomar las lecturas de las muestras, las cuales dieron valores mayores a 8. Antes de medir cada pH se tiene que limpiar el Electrodo con Agua destilada.

3.9.9.8. Ensayo para Determinar % de CaCO_3 :

Muestra No Tratada: Para este ensayo se tuvo que conseguir HCL en proporción 1 normal, que tiene una concentración de 10%, se colocó en matraces de 250 ml el HCL en una cantidad de 50 ml, junto con 2.5 gr de la muestra. Luego con la ayuda de agitadores magnéticos proporcionados en el laboratorio de Química de la Universidad Señor de Sipán, se agitaron las muestras por 15 minutos, y se dejaron reposar por 4 horas.

Después de este intervalo de tiempo, se le añadió NaOH, hidróxido de sodio disuelto en Agua Destilada, para esto se colocó 20 ml del material sobrenadante en un matraz de 125 ml, y con la ayuda de una bureta se procedió a titular esta solución previamente se agregó 4 gotas de azul bromo timol, para distinguir el cambio de ácido a Básico, se registra el gasto en las buretas (50ml), luego de la titulación y de que la solución vire o cambie bruscamente a color azul.

Muestra Tratada: Para este ensayo se tuvo que, conseguir un HCL en proporción 1 normal, que tiene una concentración de 10%, se colocó en matraces de 250 ml el HCL en una cantidad de 50 ml, junto con 2.5 gr de la muestra. Luego con la ayuda de agitadores magnéticos, se agitaron las muestras por 15 minutos, se dejaron reposar por 4 horas.

Después de este intervalo de tiempo, se le añadió NaOH, hidróxido de sodio disuelto en Agua Destilada, para esto se colocó 20 ml del material sobrenadante en un matraz de 125 ml, y con la ayuda de una bureta se procedió a titular esta solución previamente se agregó 4 gotas de azul bromo timol, para distinguir el cambio de ácido a Básico, se registra el gasto en las buretas (50ml), luego de la titulación y de que la solución vire o cambie bruscamente a color azul. Luego se procedió a registrar los datos, y utilizar las formulas necesarias para determinar el porcentaje de CaCO_3 , generado en el suelo luego de 10 días de tratamiento.

3.9.9.9. Ensayo de Permeabilidad a carga constante

El permeámetro de carga constante presenta un diámetro de 6" de diámetro y una altura de 11.66 cm., con un volumen de 2118.59 cm^3 .

El procedimiento consistió en poner la muestra en el molde y dejarlo saturar por 24 horas.

La muestra se sometió a tres alturas de carga constante de 53.5, 48.5 y 43.cm, con respecto al punto de aforo.

Por el punto de aforo se tomarón los tiempos que demora en llenar una probeta de 250 cm^3 con su respectiva temperatura, dicho proceso lo realizamos a las 14 muestras estudiadas y además se realizó dicho procedimiento tanto para la MT y MNT.

Mencionar que en el caso de la MNT se inoculo el suero en las muestras por 10 días antes del inicio del procedimiento mencionado, para que las bacterias se desarrollen y pueda precipitar el carbonato de calcio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Los resultados obtenidos se presentarán tomando en cuenta la muestra no tratada (MNT), la muestra tratada (MT) y una comparación entre ellas para diferenciar los resultados obtenidos provenientes de la investigación, los mismos que paso a detallar:

4.1.1. Muestra no tratada (MNT)

Cuadro 13

Resultados del Contenido de Humedad de MNT

Provincia	Localidad	Muestra	Contenido de Humedad (%)
Lambayeque	Morrope	01	0.52
	Jayanca	02	0.59
	Lambayeque	03	0.89
	San José	04	0.61
Chiclayo	Reque	05	0.89
	Puerto Eten	06	0.47
	Callanca	07	0.71
	Monsefú	08	0.26
	Pimentel	09	0.48
Ferreñafe	Motupillo	10	8.83
	La Pluma	11	1.66
	La Zaranda	12	0.27
	Pitipo	13	0.32
	Tres Tomas	14	0.49

Fuente: Elaboración propia

El contenido de humedad asciende de 0.26% a 8.83%, esta variación es producto del estado natural en que se encuentran las muestras en estudio en el momento de la extracción

Cuadro 14

Resultados del análisis granulométrico de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	D₁₀ mm	D₃₀ mm	D₆₀ mm
Lambayeque	Morrope	01	0.114	0.143	0.189
	Jayanca	02	0.092	0.133	0.182
	Lambayeque	03	0.121	0.145	0.182
	San José	04	0.121	0.158	0.216
Chiclayo	Reque	05	0.136	0.200	0.400
	Puerto Eten	06	0.127	0.170	0.247
	Callanca	07	0.121	0.156	0.211
	Monsefú	08	0.115	0.143	0.179
	Pimentel	09	0.121	0.145	0.182
Ferreñafe	Motupillo	10	0.164	0.274	0.373
	La Pluma	11	0.114	0.145	0.188
	La Zaranda	12	0.082	0.100	0.182
	Pitipo	13	0.121	0.152	0.200
	Tres Tomas	14	0.113	0.142	0.179

Fuente: Elaboración propia

El análisis granulométrico permitió encontrar los diámetros característicos de las catorce muestras estudiadas cuyos valores se encuentran entre: 0.082 a 0.164 para el D₁₀, de 0.100 a 0.274 para el D₃₀ y 0.179 a 0.400 para el D₆₀, siendo necesario los valores encontrados para poder analizar la gradación del suelo por medio del coeficiente de curvatura y el coeficiente de uniformidad.

Cuadro 15

Resultados de Clasificación de Suelos por SUCS de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	% Pasa	% Pasa	C _u	C _c	SUCS
			la malla Nº 4	la malla Nº 200			
Lambayeque	Morrope	01	100	4.83	1.658	0.949	SP
	Jayanca	02	100	4.68	1.978	1.056	SP
	Lambayeque	03	100	1.64	1.504	0.955	SP
	San José	04	100	2.40	1.785	0.955	SP
Chiclayo	Reque	05	100	1.60	2.941	0.735	SP
	Puerto Eten	06	100	1.59	1.945	0.921	SP
	Callanca	07	100	0.41	1.744	0.953	SP
	Monsefú	08	100	0.43	1.557	0.993	SP
	Pimentel	09	100	1.07	1.504	0.955	SP
Ferreñafe	Motupillo	10	98.88	0.69	2.274	1.227	SP
	La Pluma	11	100	3.59	1.649	0.981	SP
	La Zaranda	12	99.99	0.88	2.220	0.670	SP
	Pitipo	13	100	1.56	1.653	0.955	SP
	Tres Tomas	14	100	3.61	1.584	0.997	SP

Fuente: Elaboración propia

Según SUCS la clasificación de las 14 muestras de suelo pertenecen al grupo de las arenas mal gradadas (SP), por haber cumplido los siguientes requisitos: la muestra paso más del 50% la malla Nº 4 y quedo retenido más del 50% en la malla Nº 200, se identificó que el coeficiente de uniformidad no es mayor a 4 característico de los suelos con partículas uniformes, tal como se observa en los resultados obtenidos.

Cuadro 16

Resultados del Peso Específico Relativo de las MNT

Provincia	Localidad	Muestra	Gs
Lambayeque	Morrope	01	2.83
	Jayanca	02	2.71
	Lambayeque	03	2.78
	San José	04	2.72
Chiclayo	Reque	05	2.57
	Puerto Eten	06	2.65
	Callanca	07	2.74
	Monsefú	08	2.59
	Pimentel	09	2.84
Ferreñafe	Motupillo	10	2.68
	La Pluma	11	2.66
	La Zaranda	12	2.72
	Pitipo	13	2.71
	Tres Tomas	14	2.72

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido para las características de los suelos estudiados observando que el peso específico relativo de los sólidos esta entre 2.57 y 2.84, perteneciente a la muestra 07 (Reque) y 10 (Pimentel), respectivamente.

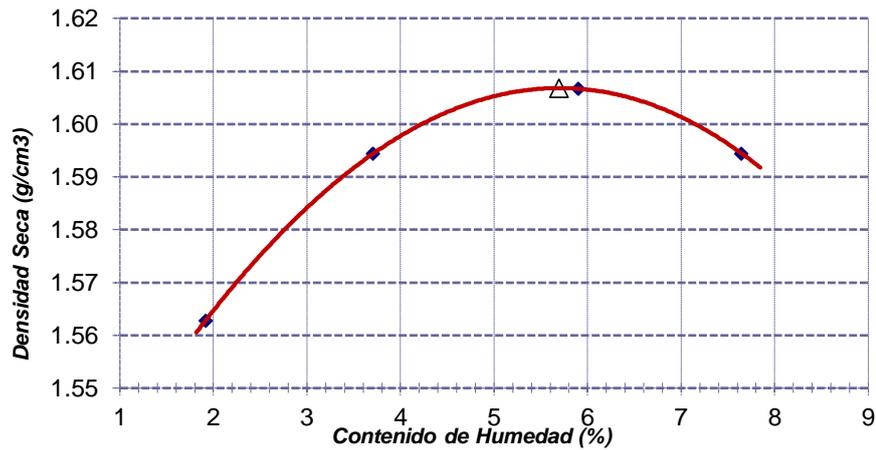


Gráfico 12. Curva de Compactación / Muestra 01 – Morrope

El proceso de compactación en la muestra 01 obtuvo un OCH = 5.70% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.607 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

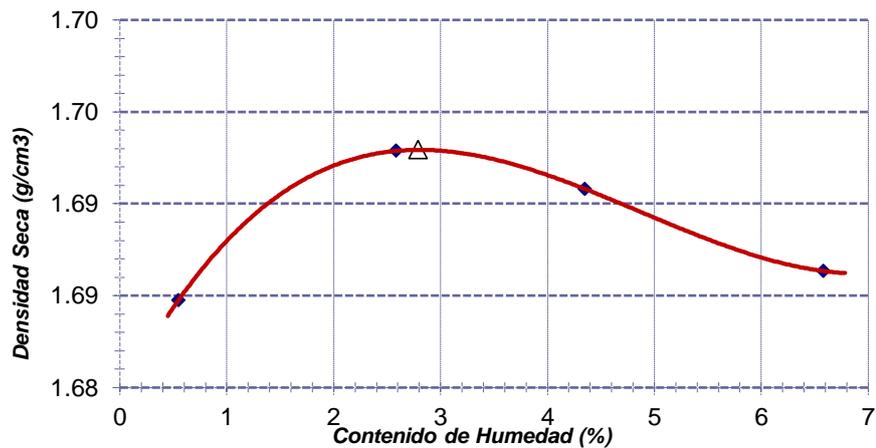


Gráfico 13. Curva de Compactación / Muestra 02 – Jayanca

El proceso de compactación en la muestra 02 obtuvo un OCH = 2.79% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.693 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

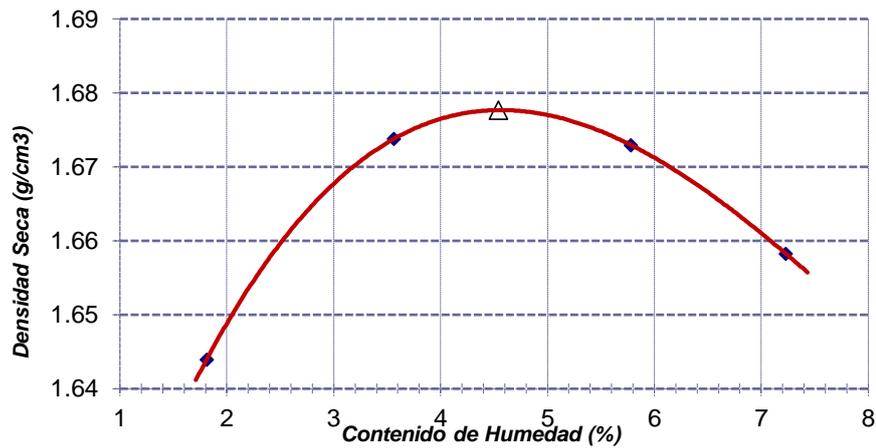


Gráfico 14. Curva de Compactación / Muestra 03 - Lambayeque

El proceso de compactación en la muestra 03 obtuvo un OCH = 4.54% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.678 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

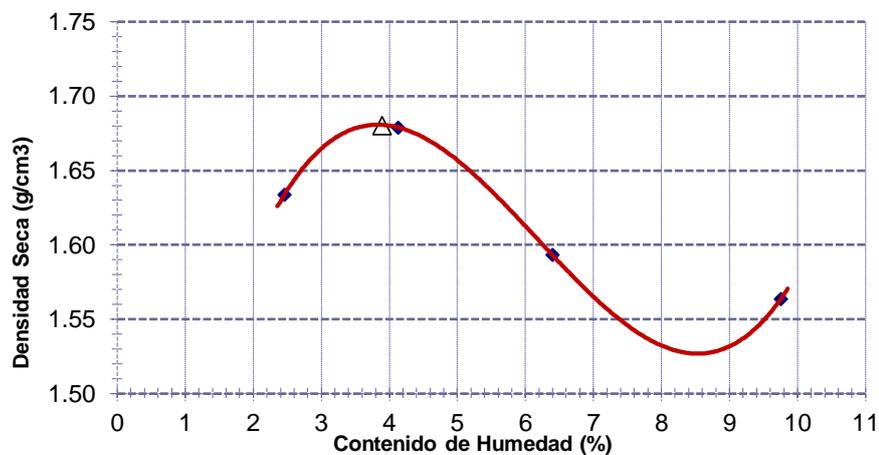


Gráfico 15. Curva de Compactación / Muestra 04 - San José

El proceso de compactación en la muestra 04 obtuvo un OCH = 3.90% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.680 gr/cm³, además de presentar una curvatura distorsionada característica de los suelos arenosos

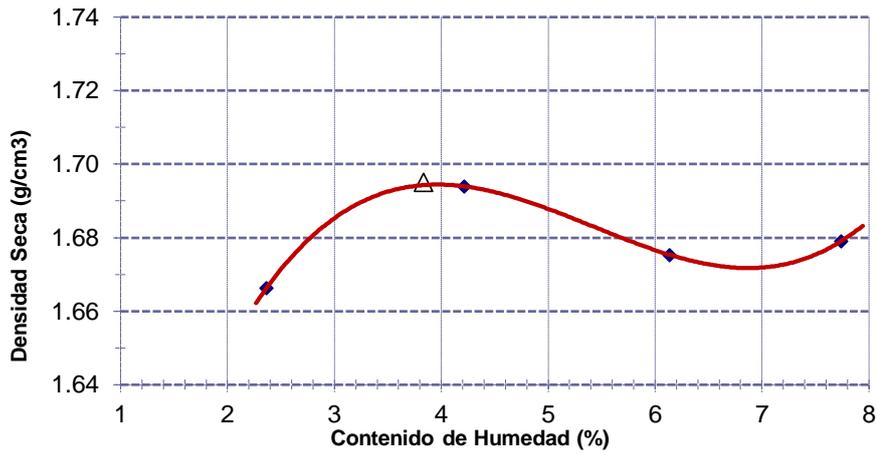


Gráfico 16. Curva de Compactación / Muestra 05 - Reque

El proceso de compactación en la muestra 05 obtuvo un OCH = 2.66% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.695 gr/cm³, además de presentar una curvatura distorsionada característica de los suelos arenosos.

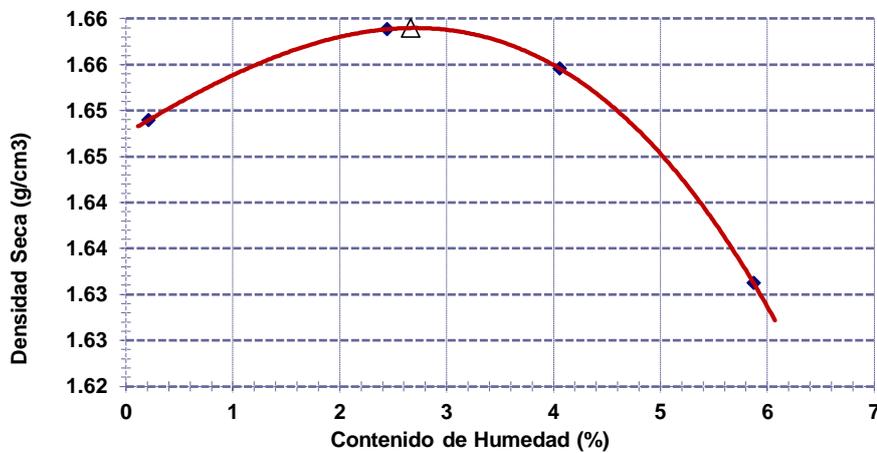


Gráfico 17. Curva de Compactación / Muestra 06 - Puerto Eten

El proceso de compactación en la muestra 06 obtuvo un OCH = 3.83% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.659 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

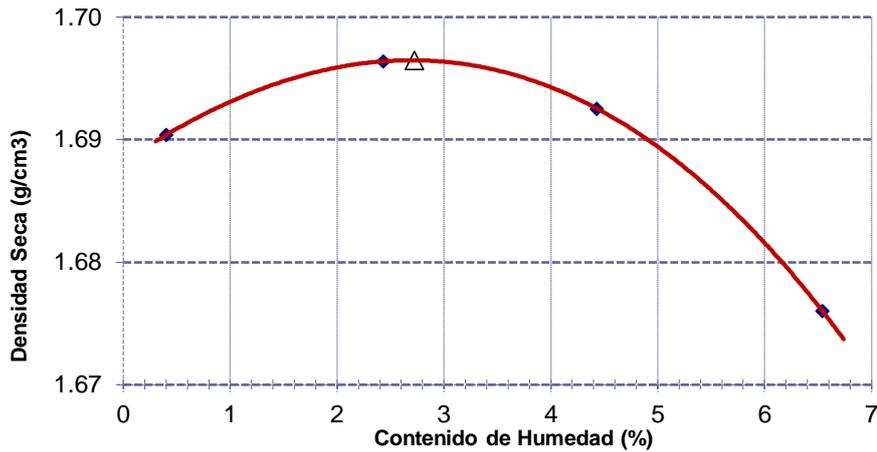


Gráfico 18. Curva de Compactación / Muestra 07 – Callanca

El proceso de compactación en la muestra 07 obtuvo un OCH = 2.72 % que maximiza la densidad seca en un valor de 1.696 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

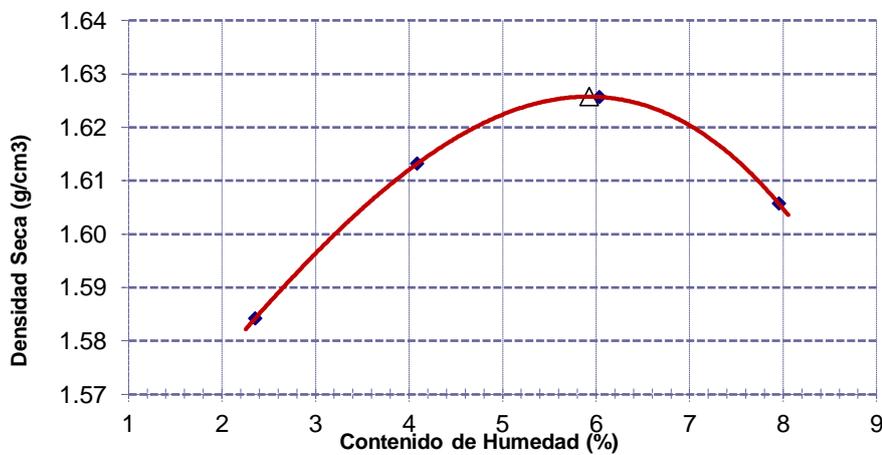


Gráfico 19. Curva de Compactación / Muestra 08 – Monsefú

El proceso de compactación en la muestra 08 obtuvo un OCH = 5.93 % que maximiza la densidad seca en un valor de 1.626 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

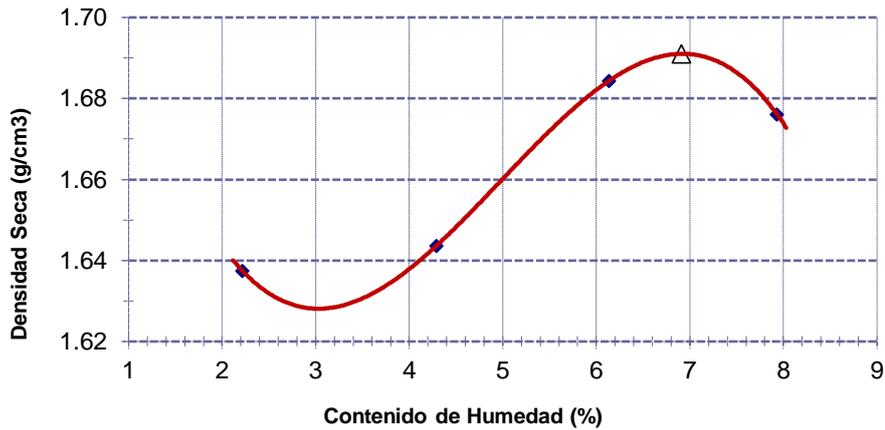


Gráfico 20. Curva de Compactación / Muestra 09 - Pimentel

El proceso de compactación en la muestra 09 obtuvo un OCH = 6.91 % que maximiza la densidad seca en un valor de 1.691 gr/cm³, además de presentar una curvatura distorsionada característica de los suelos arenosos

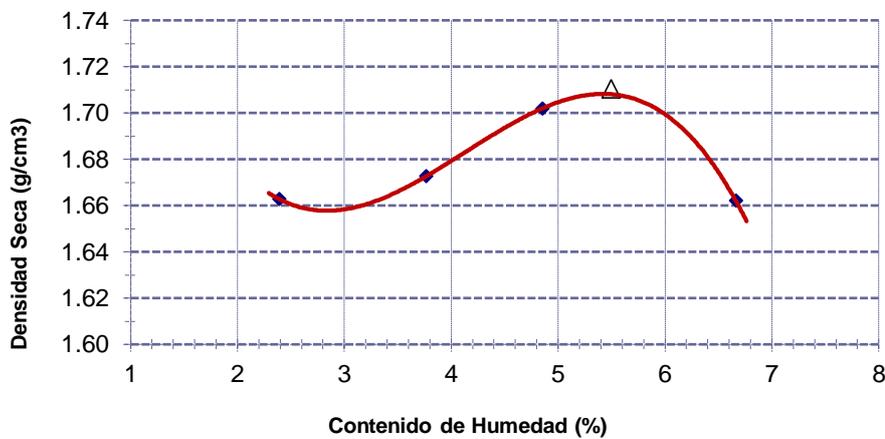


Gráfico 21. Curva de Compactación / Muestra 10 - Motupillo

El proceso de compactación en la muestra 10 obtuvo un OCH = 5.49% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.710 gr/cm³, además de presentar una curvatura distorsionada característica de los suelos arenosos

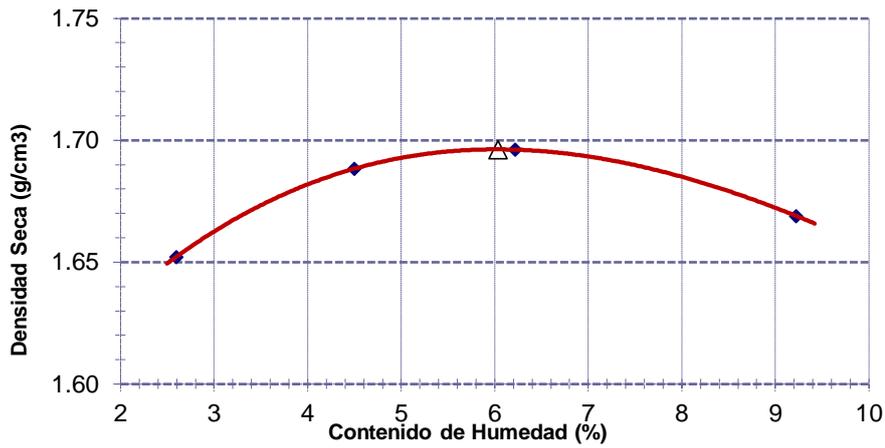


Gráfico 22. Curva de Compactación / Muestra 11 – La Pluma

El proceso de compactación en la muestra 11 obtuvo un OCH = 6.04 % que maximiza la densidad seca en un valor de 1.696 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

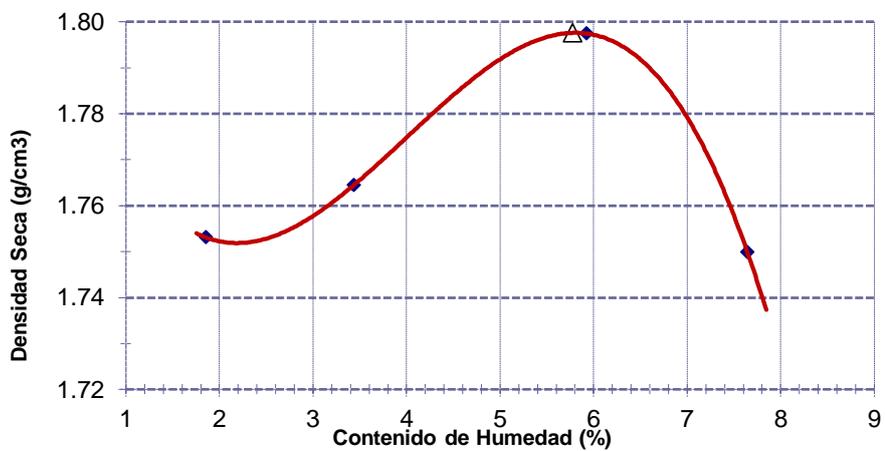


Gráfico 23. Curva de Compactación / Muestra 12 – La Zaranda

El proceso de compactación en la muestra 12 obtuvo un OCH = 5.78% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.798 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

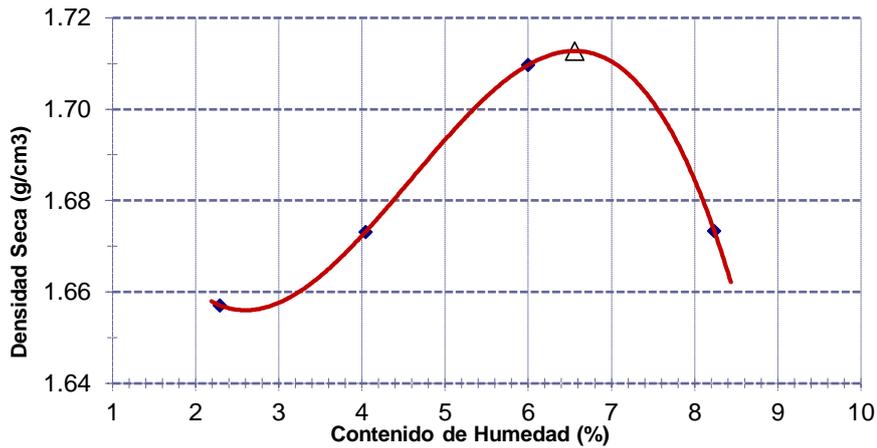


Gráfico 24. Curva de Compactación / Muestra 13 – Pitipo

El proceso de compactación en la muestra 13 obtuvo un OCH = 6.56% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.713 gr/cm³, además de presentar una curvatura plana característica de los suelos arenosos

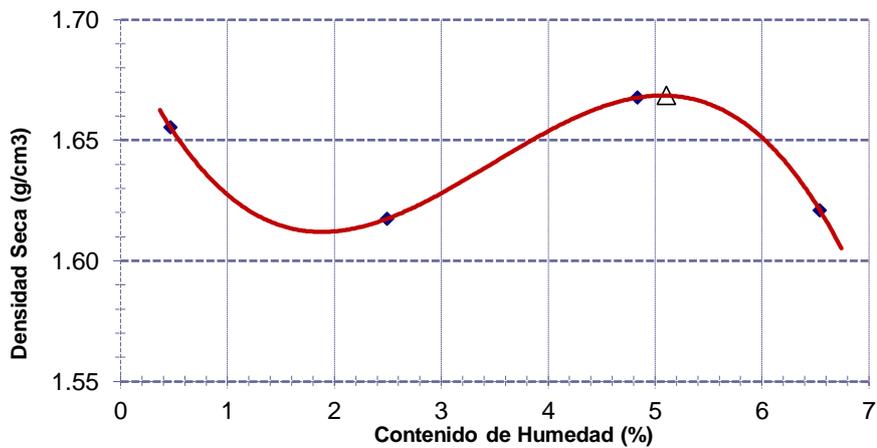


Gráfico 25. Curva de Compactación / Muestra 14 – Tres Tomas

El proceso de compactación en la muestra 14 obtuvo un OCH = 5.11% que maximiza la densidad seca en un valor de 1.669 gr/cm³, además de presentar una curvatura distorsionada característica de los suelos arenosos

Cuadro 17

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
	Monsefú	08	0.0519	26.4
	Pimentel	09	0.0039	22.9
Ferreñafe	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

Fuente: Elaboración propia

Los suelos granulares presentan una cohesión que tiende a hacer cero y depende de la cantidad de granos finos que estos puedan poseer en su estructura, corroborándose con los datos obtenidos que estos se aproximan a cero debido a la característica del suelo que se está analizando (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 es de 29.7° se presenta en la Muestra 03 (Lambayeque), estos dos parámetros son de vital importancia en el cálculo de la capacidad portante del suelo.

Cuadro 18

Resultados de permeabilidad de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	T_x (°C)	k_{T20°C} (cm/s)
Lambayeque	Morrope	01	25.00	0.01110
	Jayanca	02	25.00	0.01357
	Lambayeque	03	25.00	0.01148
	San José	04	26.0	0.01259
Chiclayo	Reque	05	26.0	0.01636
	Puerto Eten	06	25.0	0.01457
	Callanca	07	24.0	0.01158
	Monsefú	08	22.0	0.01521
	Pimentel	09	24.0	0.00946
Ferreñafe	Motupillo	10	26.0	0.01434
	La Pluma	11	26.0	0.01487
	La Zaranda	12	24.0	0.01281
	Pitipo	13	23.0	0.01410
	Tres Tomas	14	24.3	0.01312

Fuente: Elaboración propia

Los suelos granulares del tipo SP no presenta oposición al paso del agua por lo que se denomina suelos permeables, siendo este un factor que determina su inestabilidad. El permeámetro de carga constante utilizado nos permitió encontrar que 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.

Cuadro 19

Resultados del % Carbonato de Calcio de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	CaCO ₃ %
Lambayeque	Morrope	01	0.34
	Jayanca	02	0.26
	Lambayeque	03	0.31
	San José	04	0.28
Chiclayo	Reque	05	0.13
	Puerto Eten	06	0.24
	Callanca	07	0.30
	Monsefú	08	0.19
	Pimentel	09	0.32
Ferreñafe	Motupillo	10	0.24
	La Pluma	11	0.21
	La Zaranda	12	0.28
	Pitipo	13	0.25
	Tres Tomas	14	0.26

Fuente: Elaboración propia

La presencia de Carbonato de Calcio que existe en las MNT influye en la acidez o alcalinidad en los suelos, por tal motivo se evaluó este componente químico encontrando que el mayor valor le corresponde a la Muestra 01 (Morrope) con 0.34% y la que presenta menor presencia es la Muestra 05 con un 0.13%.

Cuadro 20

Resultados de pH de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	pH
Lambayeque	Morrope	01	7.65
	Jayanca	02	7.53
	Lambayeque	03	7.60
	San José	04	7.55
Chiclayo	Reque	05	7.29
	Puerto Eten	06	7.48
	Callanca	07	7.59
	Monsefú	08	7.40
	Pimentel	09	7.63
Ferreñafe	Motupillo	10	7.49
	La Pluma	11	7.43
	La Zaranda	12	7.48
	Pitipo	13	7.55
	Tres Tomas	14	7.53

Fuente: Elaboración propia

El pH es un índice que te permite verificar la alcalinidad o acidez del suelo, en la presente investigación se evaluarón las 14 muestras representativas por el método electrométrico, encontrando que el menor valor se presenta en la Muestra 05 (Reque) con un 7.29 y el mayor valor en la Muestra 01 (Morrope) de 7.65, cuyos rangos indican que los suelos son básicos por estar encima de 7.

Cuadro 21

Resultados de Sales Solubles Totales de la MNT

Provincia	Localidad	Muestra	Sales Solubles Totales %	Sales Solubles Totales ppm
Lambayeque	Morrope	01	0.120	1200
	Jayanca	02	0.090	900
	Lambayeque	03	0.120	1200
	San José	04	0.150	1500
Chiclayo	Reque	05	0.120	1200
	Puerto Eten	06	0.525	5250
	Callanca	07	0.120	1200
	Monsefú	08	0.116	1160
	Pimentel	09	0.135	1350
Ferreñafe	Motupillo	10	0.03	300
	La Pluma	11	0.27	2700
	La Zaranda	12	0.06	600
	Pitipo	13	0.27	2700
	Tres Tomas	14	0.06	600

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que el suelo con la mayor cantidad de sales solubles es la Muestra 06 (Puerto Eten) con 5250 ppm clasificado como severo y la de menor valor es la Muestra 10 (Motupillo) con 300 ppm considerado como moderado

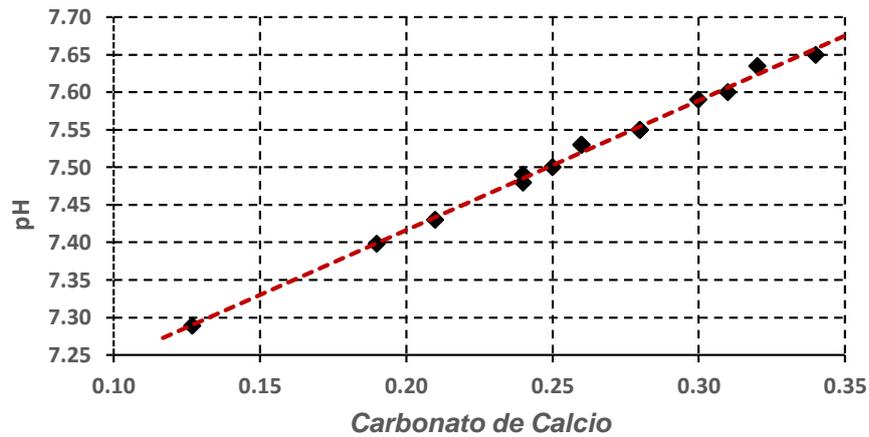


Gráfico 26. Correlación del pH Vs. Carbonato de Calcio de la Muestra no tratada

Podemos observar que a mayor presencia de carbonato de calcio el pH presenta un mayor valor, siendo el valor mínimo encontrado en la Muestra 05 (Reque) con un 0.13% de CaCO_3 y un pH de 7.29, mientras que la Muestra 01 (Morrope) presenta el mayor valor con un 0.34% de CaCO_3 y un pH de 7.65

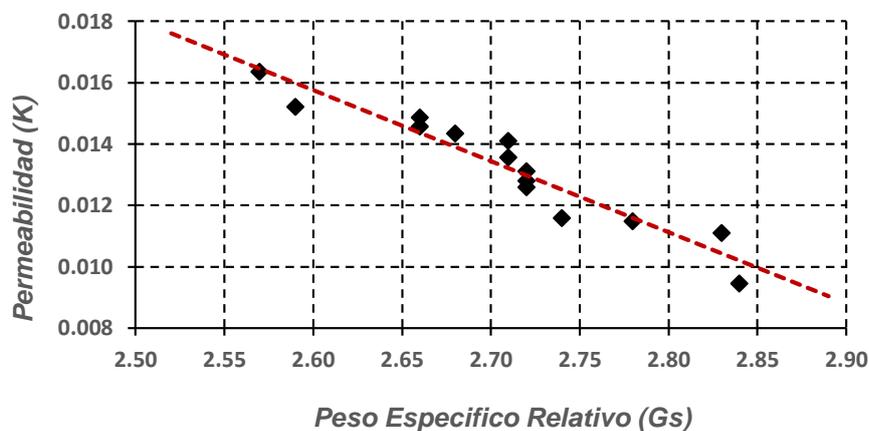


Gráfico 27. Correlación de la K Vs. Carbonato de Calcio de la Muestra no tratada

Podemos observar que a mayor G_s la permeabilidad presenta menores valores debido a que presenta menos espacios vacíos, encontrado como valor máximo 2.84 para el G_s en la Muestra 09 (Pimentel) con una constante de permeabilidad de 0.00946 cm/seg.

4.1.2. Muestra Tratada (MT)

Cuadro 22

Resultados del Peso Específico Relativo de la MT

Provincia	Localidad	Muestra	G_s
Lambayeque	Morrope	01	3.21
	Jayanca	02	3.04
	Lambayeque	03	3.14
	San José	04	3.07
Chiclayo	Reque	05	2.82
	Puerto Eten	06	2.95
	Callanca	07	3.06
	Monsefú	08	2.84
	Pimentel	09	3.20
Ferreñafe	Motupillo	10	3.00
	La Pluma	11	2.97
	La Zaranda	12	3.08
	Pitipo	13	3.04
	Tres Tomas	14	3.09

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos podemos observar que el rango del peso específico relativo de los sólidos de la MT esta entre 2.82 y 3.21, perteneciente a la muestra 05 (Reque) y 01 (Morrope), respectivamente.

Cuadro 23

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

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos muestran valores que están en el rango entre 0.0996 y 0.2101, perteneciente a la muestra 05 (Reque) y 09 (Pimentel) respectivamente, evidenciando un aumento producto de la precipitación del carbonato de calcio y el ángulo de fricción interna varía de 31.20° (Muestra 07 – Callanca) a 40.50° (Muestra 02 – Jayanca).

Cuadro 24

Resultados de Permeabilidad de las MT

Provincia	Localidad	Muestra	T_x (°C)	k_{T20°C} (cm/s)
Lambayeque	Morrope	01	25.00	0.00945
	Jayanca	02	25.00	0.01129
	Lambayeque	03	25.00	0.00982
	San José	04	26.0	0.01056
Chiclayo	Reque	05	26.0	0.01396
	Puerto Eten	06	25.0	0.01298
	Callanca	07	24.0	0.01024
	Monsefú	08	22.0	0.01377
Ferreñafe	Pimentel	09	24.0	0.00836
	Motupillo	10	26.0	0.01154
	La Pluma	11	26.0	0.01161
	La Zaranda	12	24.0	0.00935
	Pitipo	13	23.0	0.01114
	Tres Tomas	14	24.3	0.01044

Fuente: Elaboración propia

Las permeabilidades de las 14 muestras tratadas presentan una disminución en sus valores, permitiendo mejorar su estabilidad cuyo mayor valor 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

Cuadro 25

Resultados del % Carbonato de Calcio de la MT

Provincia	Localidad	Muestra	CaCO₃ %
Lambayeque	Morrope	01	4.76
	Jayanca	02	2.34
	Lambayeque	03	3.10
	San José	04	3.08
Chiclayo	Reque	05	1.65
	Puerto Eten	06	3.24
	Callanca	07	4.50
	Monsefú	08	2.53
	Pimentel	09	5.44
Ferreñafe	Motupillo	10	3.34
	La Pluma	11	2.88
	La Zaranda	12	4.40
	Pitipo	13	3.63
	Tres Tomas	14	3.80

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro adjunto podemos observar que el suelo que presenta mayor CaCO₃ 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%.

Cuadro 26

Resultados de pH de la MT

Provincia	Localidad	Muestra	pH
Lambayeque	Morrope	01	8.28
	Jayanca	02	7.82
	Lambayeque	03	8.00
	San José	04	7.97
Chiclayo	Reque	05	7.78
	Puerto Eten	06	8.02
	Callanca	07	8.13
	Monsefú	08	7.89
	Pimentel	09	8.35
Ferreñafe	Motupillo	10	8.04
	La Pluma	11	7.93
	La Zaranda	12	8.10
	Pitipo	13	8.01
	Tres Tomas	14	8.05

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que 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%.

Cuadro 27

Resultados de Sales Solubles Totales de la MT

Provincia	Localidad	Muestra	Sales Solubles Totales %	Sales Solubles Totales ppm
Lambayeque	Morrope	01	1.620	16200
	Jayanca	02	1.125	11250
	Lambayeque	03	1.800	18000
	San José	04	2.325	23250
Chiclayo	Reque	05	2.280	22800
	Puerto Eten	06	9.450	94500
	Callanca	07	1.980	19800
	Monsefú	08	2.146	21460
	Pimentel	09	2.295	22950
Ferreñafe	Motupillo	10	0.465	4650
	La Pluma	11	4.725	47250
	La Zaranda	12	1.110	11100
	Pitipo	13	4.590	45900
	Tres Tomas	14	0.990	9900

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que el suelo con la mayor cantidad de sales solubles es la Muestra 06 (Puerto Eten) con 9.45% y la de menor valor es la Muestra 10 (Motupillo) con 0.465%

4.1.3. Comparación entre la MNT y MT

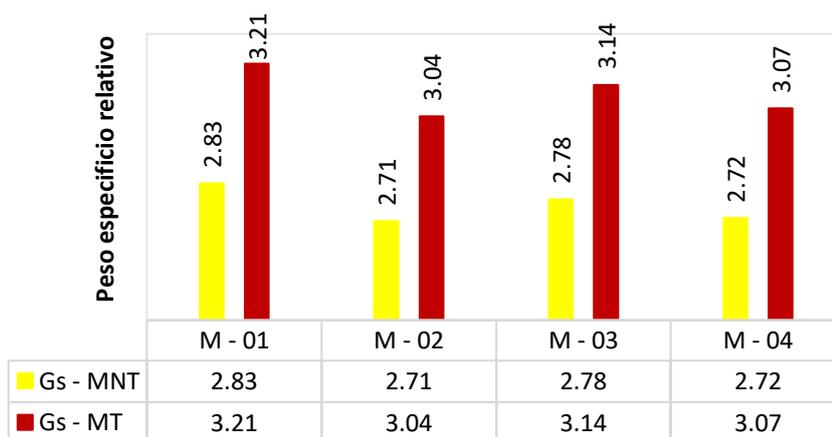


Gráfico 28. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

Observamos que los valores de la MT y MNT de la provincia de Lambayeque con respecto al ensayo de G_s que hay un aumento notorio cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 01 (Morrope) donde se produjo el mayor aumento con un 13.3%, cabe mencionar que estos valores representan la disminución de espacios vacíos.

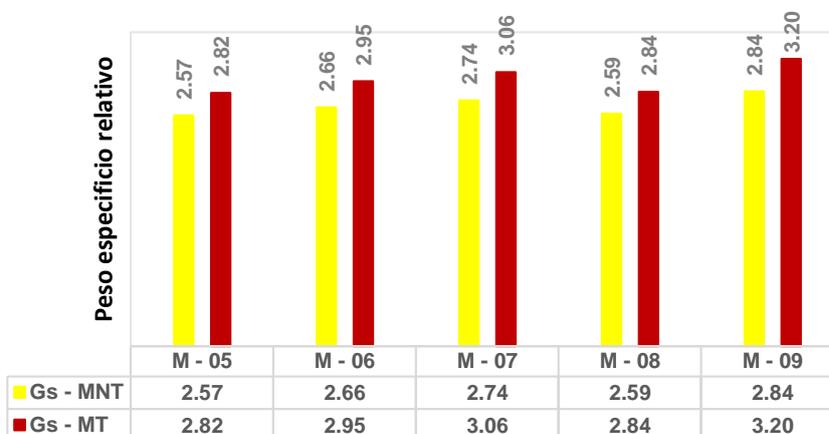


Gráfico 29. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo

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%, evidenciando una disminución de espacios vacíos.

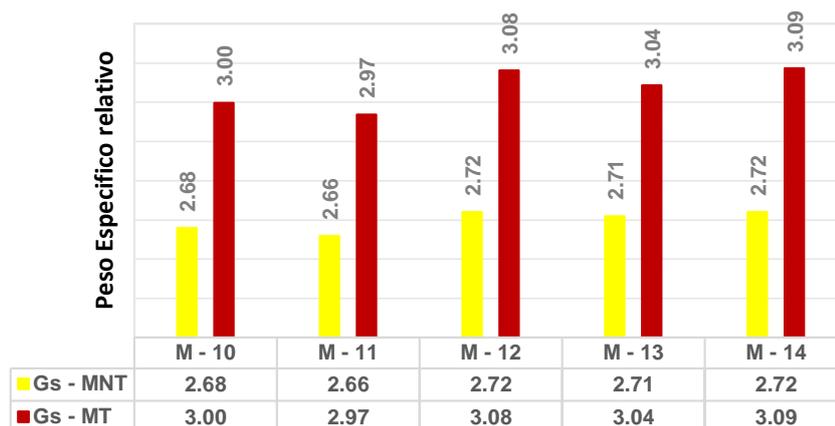


Gráfico 30. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe

Podemos observar entre los valores de la MT y MNT de la provincia de Ferreñafe 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.

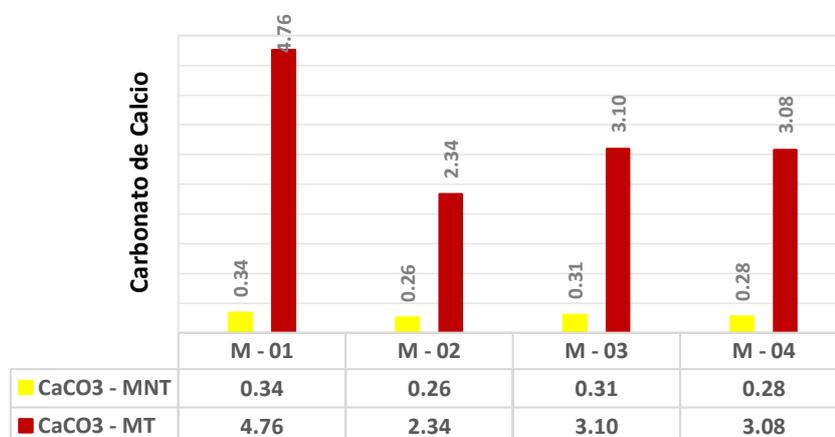


Gráfico 31. Comparación del $CaCO_3$ entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

Podemos observar entre los valores de la MNT y MT de la provincia de Lambayeque con respecto al ensayo de $CaCO_3$ que hay un aumento considerable cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 01 (Morrope) donde se produjo el mayor aumento de un 0.34 a 4.76%.

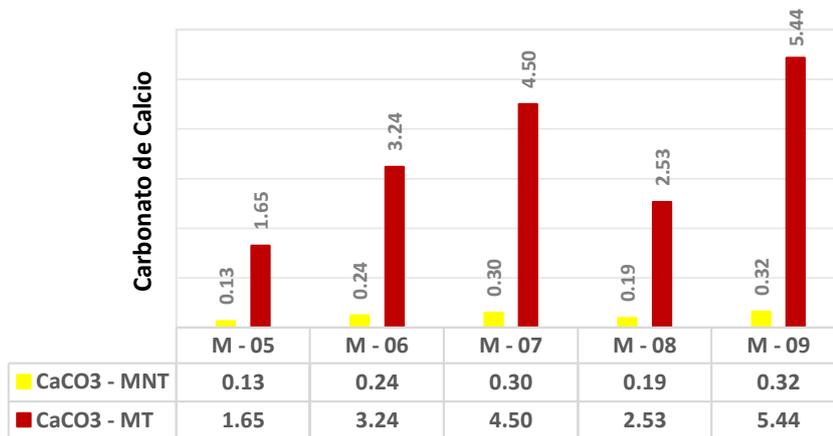


Gráfico 32. Comparación del CaCO_3 entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo

Podemos observar entre los valores de la MNT y MT de la provincia de Chiclayo con respecto al ensayo de CaCO_3 que hay un aumento considerable cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 09 (Pimentel) donde se produjo el mayor aumento de un 0.32 a 5.44%.

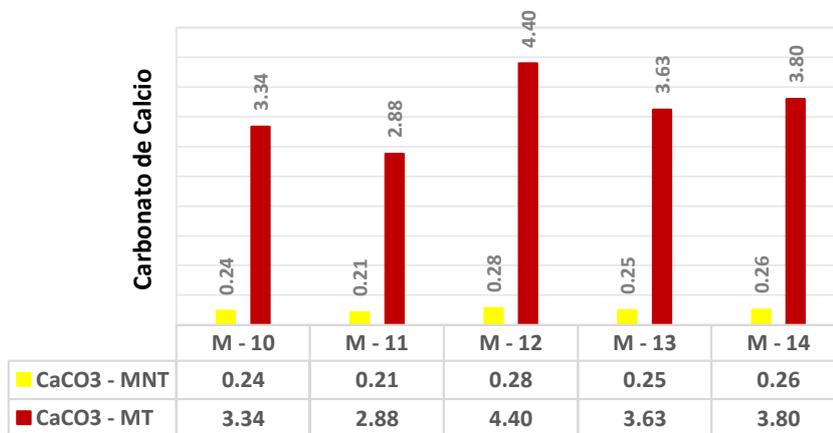


Gráfico 33. Comparación del CaCO_3 entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe

Podemos observar entre los valores de la MNT y MT de la provincia de Ferreñafe con respecto al ensayo de CaCO_3 que hay un aumento considerable cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 12 (La Zaranda) donde se produjo el mayor aumento de un 0.28 a 4.40%.

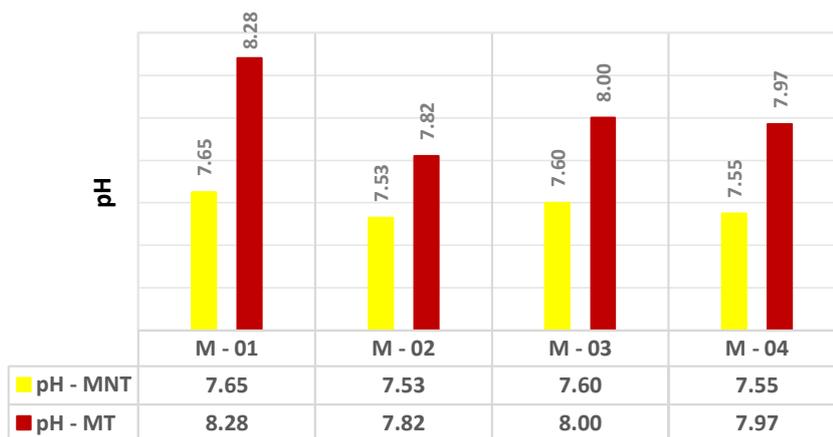


Gráfico 34. Comparación del pH entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

Podemos observar entre los valores de la MNT y MT de la provincia de Lambayeque con respecto al ensayo de pH que hay un aumento considerable cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 01 (Morrope) donde se produjo el mayor aumento con un 8.24%

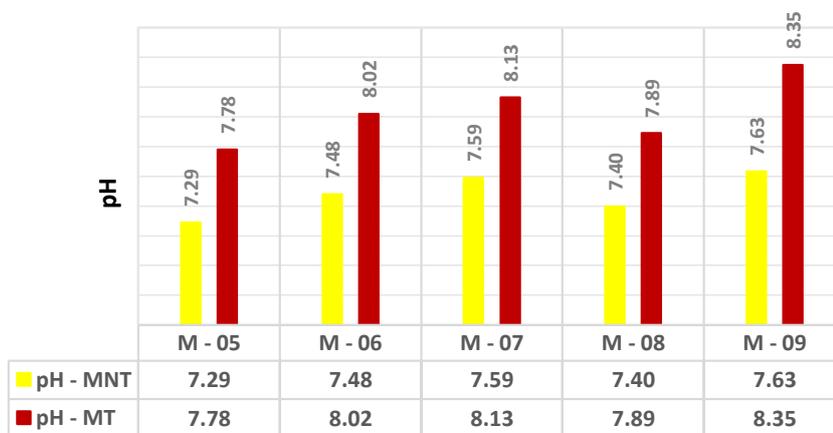


Gráfico 35. Comparación del pH entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo

Podemos observar entre los valores de la MNT y MT de la provincia de Chiclayo con respecto al ensayo de pH que hay un aumento considerable cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 09 (Pimentel) donde se produjo el mayor aumento con un 9.37 %

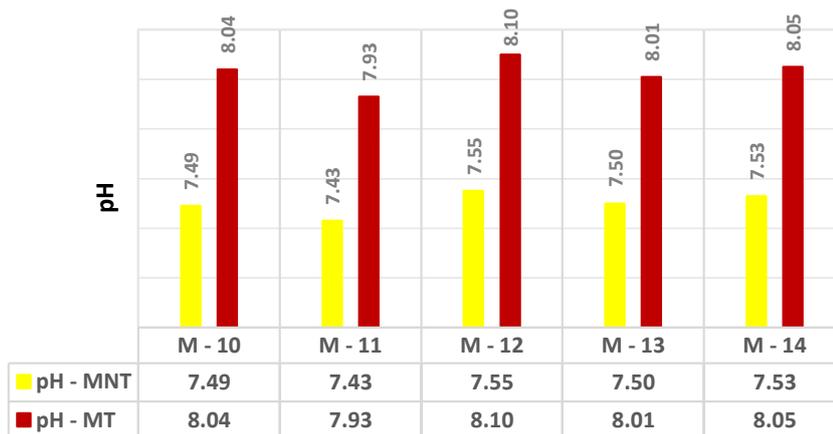


Gráfico 36. Comparación del pH entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe

Podemos observar entre los valores de la MNT y MT de la provincia de Ferreñafe con respecto al ensayo de pH que hay un aumento considerable cuando inoculamos las bacterias, siendo la Muestra 10 (Motupillo) donde se produjo el mayor aumento con un 7.34 %

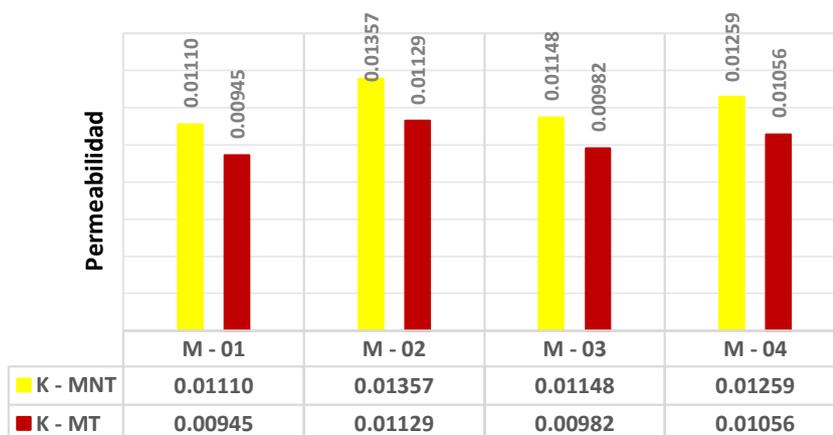


Gráfico 37. Comparación de la Permeabilidad entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

Los valores de la MNT y MT de la provincia de Lambayeque con respecto al ensayo de K presentan una disminución en sus muestras, siendo la Muestra 02 (Jayanca) donde se produjo una mejora de 16.8%.

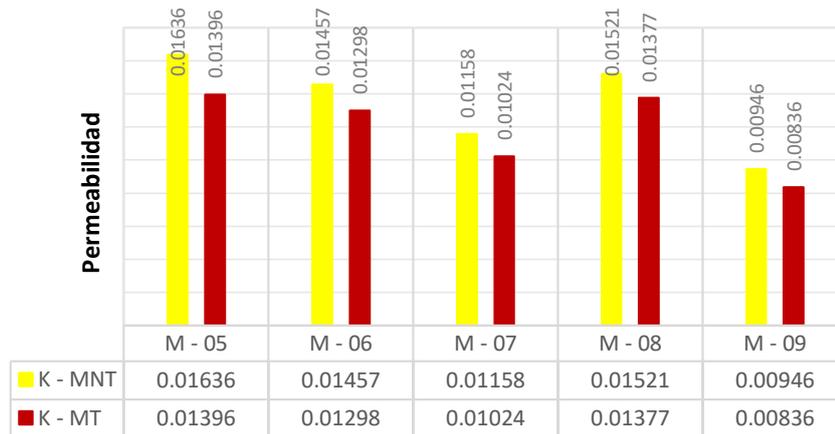


Gráfico 38. Comparación de la Permeabilidad entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo

Los valores de la MNT y MT de la provincia de Chiclayo con respecto al ensayo de K presentan una disminución en sus muestras, siendo la Muestra 05 (Reque) donde se produjo una mejora de 14.7%.

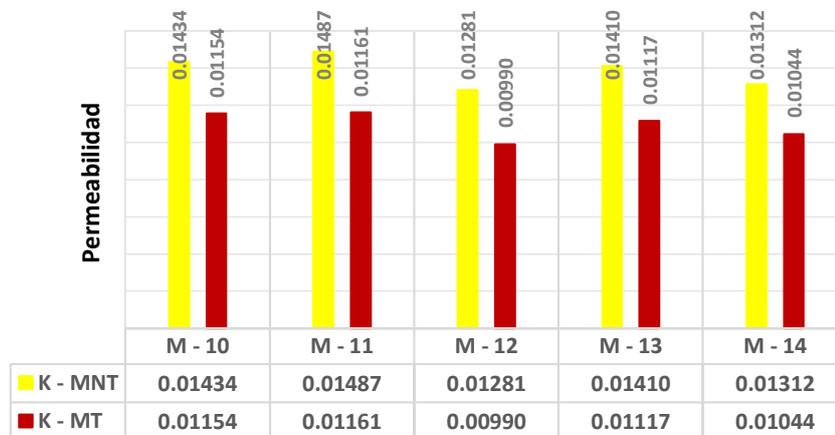


Gráfico 39. Comparación de la Permeabilidad entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe

Los valores de la MNT y MT de la provincia de Ferreñafe con respecto al ensayo de K presentan una disminución en sus muestras, siendo la Muestra 12 (La Zaranda) donde se produjo una mejora de 22.7%.

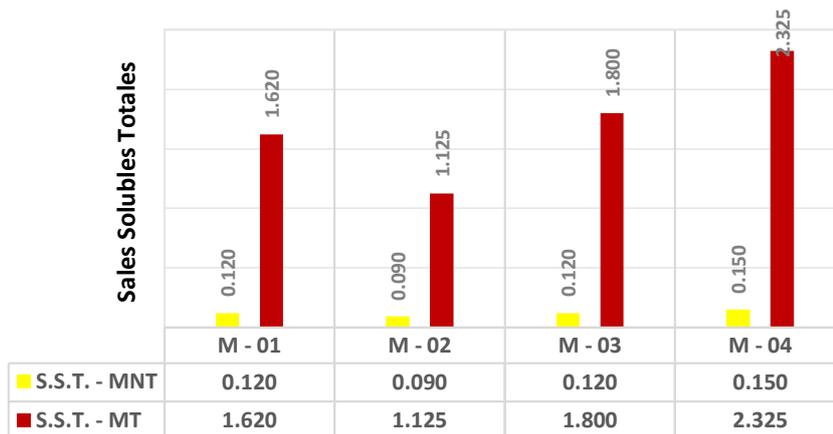


Gráfico 40. Comparación de Sales Solubles Totales entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

Los valores de la MNT y MT de la provincia de Lambayeque presentan un aumento en la presencia de sales solubles presentando su mayor aumento en la Muestra 04 (San José) de 0.150 a 2.325%

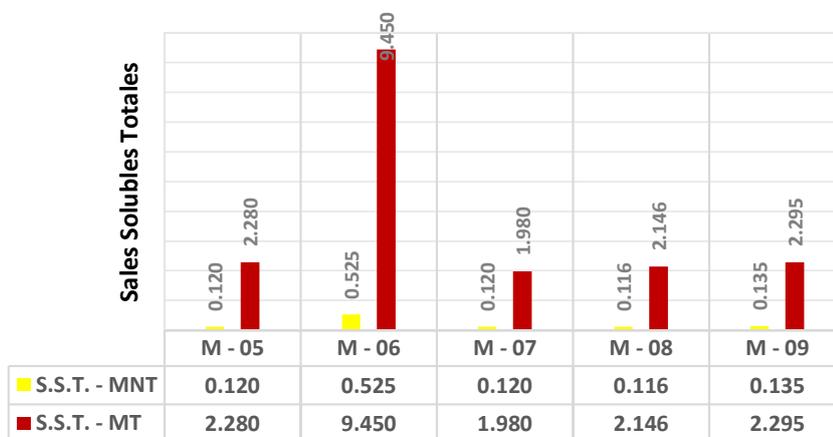


Gráfico 41. Comparación de Sales Solubles Totales entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo

Los valores de la MNT y MT de la provincia de Chiclayo presentan un aumento en la presencia de sales solubles presentando su mayor aumento en la Muestra 05 (Reque) de 0.120 a 2.28%

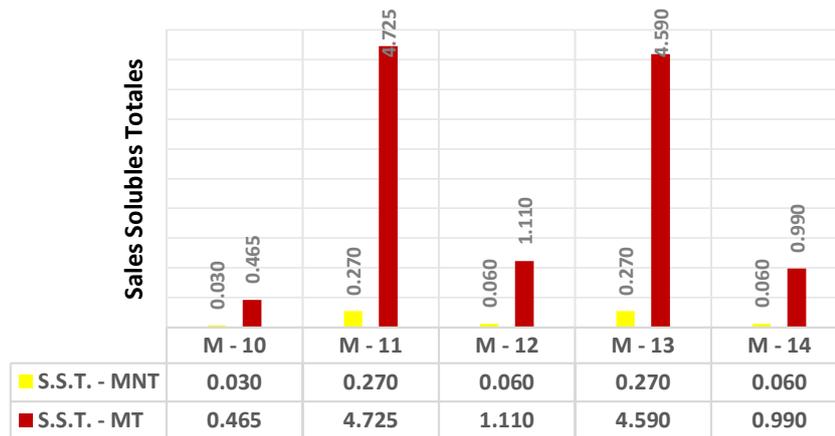


Gráfico 42. Comparación de Sales Solubles Totales entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe

Los valores de la MNT y MT de la provincia de Ferreñafe presenta un aumento en la presencia de sales solubles presentando su mayor aumento en la Muestra 12 (La Zaranda) de 0.06 a 1.11%

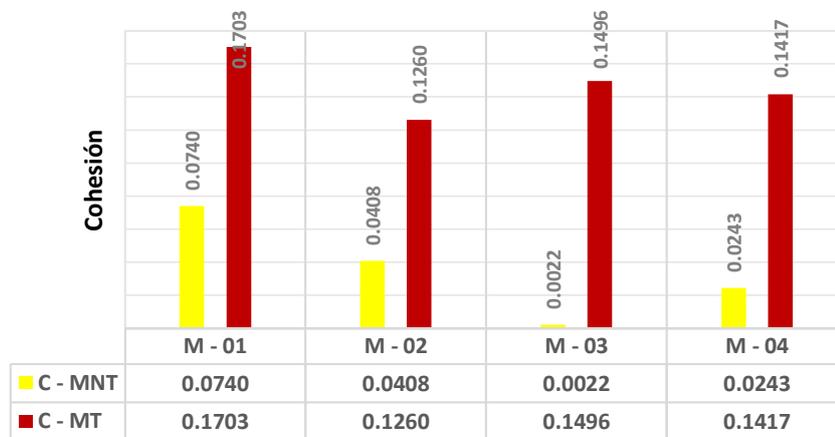


Gráfico 43. Comparación de la Cohesión entre la MNT y MT / Provincia de Lambayeque

Los valores de la MT con respecto a la MNT de la provincia de Lambayeque presentan un aumento en la Cohesión, siendo la Muestra 03 (Lambayeque) la que manifiesta el valor más alto de 0.0022 a 0.1496

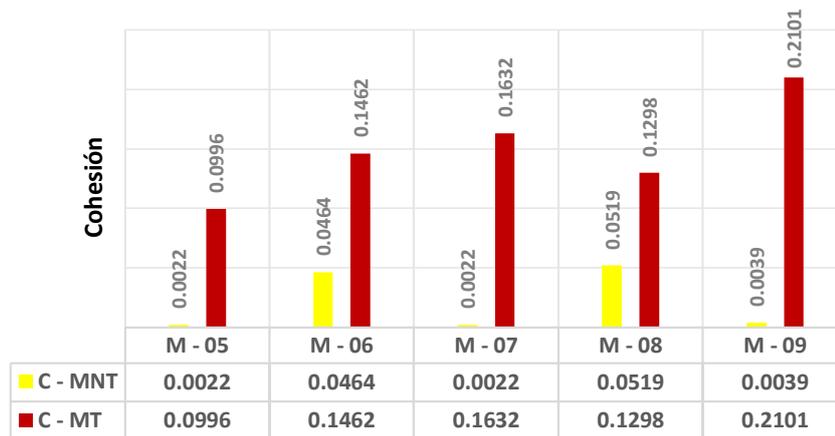


Gráfico 44. Comparación de la Cohesión entre la MNT y MT / Provincia de Chiclayo

Los valores de la MT con respecto a la MNT de la provincia de Chiclayo presentan un aumento en la Cohesión, siendo la Muestra 07 (Callanca) la que manifiesta el valor más alto de 0.0022 a 0.1632

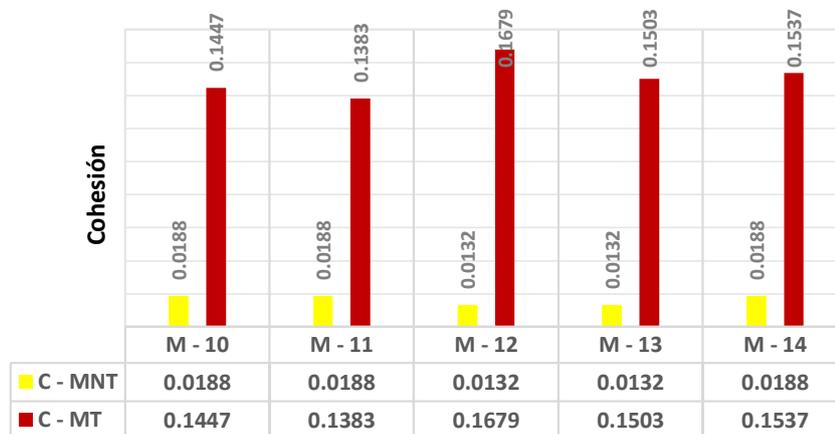


Gráfico 45. Comparación de la Cohesión entre la MNT y MT / Provincia de Ferreñafe

Los valores de la MT con respecto a la MNT de la provincia de Ferreñafe presentan un aumento en la Cohesión, siendo la Muestra 12 (La Zaranda) la que manifiesta el valor más alto de 0.0132 a 0.1679

4.1.4. Contrastación de Hipótesis

Planteamiento de las hipótesis 1:

Ho: El potencial de hidrogeno promedio en las muestras tratadas es igual a las muestras no tratadas.

Ha: El potencial de hidrogeno promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Hipótesis estadística

Ho: $\mu_d = 0$

Ha: $\mu_d > 0$

Elección del estadístico:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- \bar{d} = Promedio de las diferencias (muestras tratadas – muestras no tratadas)
- s_d = Desviación estándar de las diferencias
- n = Número de muestras

Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	pH muestra tratada - pH muestra no tratada	,51214	,10599	,02833	,45095	,57334	18,080	13	,000

Conclusión:

Sig = 0.00 < 0.05, por lo tanto, se rechaza la Ho.

Por lo tanto, se infiere que el potencial de hidrogeno promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Planteamiento de las hipótesis 2:

Ho: El carbonato de calcio (%) promedio en las muestras tratadas es igual a las muestras no tratadas.

Ha: El carbonato de calcio (%) promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Hipótesis estadística

Ho: $\mu_d = 0$

Ha: $\mu_d > 0$

Elección del estadístico:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- \hat{d} = Promedio de las diferencias (muestras tratadas – muestras no tratadas)
- s_d = Desviación estándar de las diferencias
- n = Número de muestras

Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas								
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Carbonato de calcio muestra tratada - Carbonato de calcio muestra no tratada	3,22000	,98602	,26352	2,65069	3,78931	12,219	13	,000	

Conclusión:

Sig = 0.00 < 0.05, por lo tanto, se rechaza la Ho.

Por lo tanto, se infiere que el carbonato de calcio (%) promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Planteamiento de las hipótesis 3:

Ho: La permeabilidad (cm/s) promedio en las muestras tratadas es igual a las muestras no tratadas.

Ha: La permeabilidad (cm/s) promedio en las muestras tratadas es menor a las muestras no tratadas.

Hipótesis estadística

Ho: $\mu_d = 0$

Ha: $\mu_d < 0$

Elección del estadístico:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- \hat{d} = Promedio de las diferencias (muestras tratadas – muestras no tratadas)
- s_d = Desviación estándar de las diferencias
- n = Número de muestras

Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Permeabilidad muestra tratada - Permeabilidad muestra no tratada	-,00218929	,00075683	,00020227	-,00262627	-,00175231	-10,824	13	,000

Conclusión:

Sig = 0.00 < 0.05, por lo tanto, se rechaza la Ho.

Por lo tanto, se infiere que la permeabilidad (cm/s) promedio en las muestras tratadas es menor a las muestras no tratadas.

Planteamiento de las hipótesis 4:

Ho: La cohesión promedio en las muestras tratadas es igual a las muestras no tratadas.

Ha: La cohesión promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Hipótesis estadística

Ho: $\mu_d = 0$

Ha: $\mu_d > 0$

Elección del estadístico:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- \hat{d} = Promedio de las diferencias (muestras tratadas – muestras no tratadas)
- s_d = Desviación estándar de las diferencias
- n = Número de muestras

Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Cohesión muestra tratada - Cohesión muestra no tratada	,1257643	,0346646	,0092645	,1057495	,1457791	13,575	13	,000

Conclusión:

Sig = 0.00 < 0.05, por lo tanto, se rechaza la Ho.

Por lo tanto, se infiere que la cohesión promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Planteamiento de las hipótesis 5:

Ho: El peso específico relativo promedio en las muestras tratadas es igual a las muestras no tratadas.

Ha: El peso específico relativo promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas.

Hipótesis estadística

Ho: $\mu_d = 0$

Ha: $\mu_d > 0$

Elección del estadístico:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- \hat{d} = Promedio de las diferencias (muestras tratadas – muestras no tratadas)
- s_d = Desviación estándar de las diferencias
- n = Número de muestras

Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Peso específico relativo muestra no tratada - Peso específico relativo muestra tratada	,32786	,04061	,01085	,30441	,35130	30,210	13	,000

Conclusión:

Sig = 0.00 < 0.05, por lo tanto, se rechaza la Ho.

Por lo tanto, se infiere que el peso específico relativo promedio en las muestras tratadas es mayor a las muestras no tratadas

4.1.1. Análisis de costos

El análisis de costos realizado se basó tomando en cuenta la cantidad de material a utilizar en 1m³ y basado en tres partidas: La preparación de las Bacterias Calcificantes que haciende a un monto de S/ 174.50 soles, conformación del suelo con bacterias que tiene un costo de S/ 19.112 soles y el curado con bacterias calcificantes con un valor de S/ 7.84 soles.

Cuadro 28

Cantidad de muestra utilizada en el momento de la compactación

Localidad	γ_d gr/cm³	OCH %	D cm	H cm	V cm³	Ws Gr.
Morropo	1.607	5.700	4.99	1.99	38.92	62.54
Jayanca	1.693	2.790	4.99	1.99	38.92	65.89
Lambayeque	1.678	4.540	4.99	1.99	38.92	65.30
San José	1.680	3.900	4.99	1.99	38.92	65.38
Reque	1.695	2.660	4.99	1.99	38.92	65.97
Puerto Eten	1.659	3.830	4.99	1.99	38.92	64.56
Callanca	1.696	2.720	4.99	1.99	38.92	66.00
Monsefú	1.626	5.930	4.99	1.99	38.92	63.28
Pimentel	1.691	6.910	4.99	1.99	38.92	65.81
Motupillo	1.710	5.490	4.99	1.99	38.92	66.55
La Pluma	1.696	6.040	4.99	1.99	38.92	66.00
La Zaranda	1.798	5.780	4.99	1.99	38.92	69.97
Pitipo	1.713	6.560	4.99	1.99	38.92	66.67
Tres Tomas	1.669	5.110	4.99	1.99	38.92	64.95

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de material que será sometido a tratamiento con bacterias calcificantes fue definido tomando como referencia la máxima densidad seca y el OCH, teniendo valores entre 62.54 gr. y 69.97 gr. de muestra.

Cuadro 29

Relación de características del Suelo y Bacterias calcificantes.

Localidad	γ_d gr/cm ³	OCH %	Ws Gr.	Bacterias calcificantes	Humedad %
Morrope	1.607	5.700	62.54	4.00 ml	6.40
Jayanca	1.693	2.790	65.89	4.00 ml	6.07
Lambayeque	1.678	4.540	65.30	4.00 ml	6.13
San José	1.680	3.900	65.38	4.00 ml	6.12
Reque	1.695	2.660	65.97	4.00 ml	6.06
Puerto Eten	1.659	3.830	64.56	4.00 ml	6.20
Callanca	1.696	2.720	66.00	4.00 ml	6.06
Monsefú	1.626	5.930	63.28	4.00 ml	6.32
Pimentel	1.691	6.910	65.81	4.00 ml	6.08
Motupillo	1.710	5.490	66.55	4.00 ml	6.01
La Pluma	1.696	6.040	66.00	4.00 ml	6.06
La Zaranda	1.798	5.780	69.97	4.00 ml	5.72
Pitipo	1.713	6.560	66.67	4.00 ml	6.00
Tres Tomas	1.669	5.110	64.95	4.00 ml	6.16
Promedio	1.687	4.854			6.098

Fuente: Elaboración propia

Se agregó 4.00 ml. de solución con bacterias calcificantes haciendo que la humedad de las muestras varié de 5.72 a 6.40%, además de obtener la máxima densidad seca promedio de las 14 muestras cuyo valor es 1.687 gr/cm³ y una humedad promedio de 6.098%, que serán utilizados para determinar la proporción de bacterias calcificantes a utilizar.

Cuadro 30

Cantidad de suelo y la proporción para la compactación.

Cantidad de Suelo / Bacterias calcificantes				Proporción Compactación	
Suelo	Volumen	M.D.S	Bacterias	Suelo	Bacterias
SP	1 m ³	1687 Kg/m ³	81.87 lts	1 m ³	0.08 m ³

Fuente: Elaboración propia

Con la densidad máxima seca promedio de las catorce muestras se calculó los 0.08 m³ de suero con bacterias calcificantes para ser aplicados en 1m³ para el proceso de compactación del suelo

Cuadro 31

Cantidad de Suelo y proporción de Bacterias Calcificantes para curado

Cantidad de Suelo / Bacterias Calcificantes				Proporción Curado			
Suelo	Volumen	M.D.S	Bacterias	Suelo	Capas	Área	Bacterias
SP	1 m ³	1687 Kg/m ³	102.85 lts	1 m ³	0.15m	6.67 m ²	0.10 m ³

Fuente: Elaboración propia

El área inoculada es de 6.67 m² en capas de 15 cm aplicándose 0.10 m³ de suero con bacterias calcificantes con el propósito de curar la muestra de suelo de 1 m³.

Cuadro 32

Dosificación del Sustrato B1 para elaborar 1 m³ de Bacterias Calcificantes.

Elementos	Dosificación		Para 1 m ³
	Cantidad /lts	Proporción/lts	
Agua	1.00 lts	1	1000.00 lts
Acetato de Calcio	2.50 gr	0.0025	2.50 Kg
Urea	10.00 gr	0.01	10.00 Kg
Dextrosa	5.00 gr	0.005	5.00 Kg
Levadura	5.00 gr	0.005	5.00 Kg

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la dosificación del sustrato B1 se procedió a calcular las cantidades necesarias para un 1m³

Cuadro 33

Partidas consideradas para la estabilización con Bacterias Calcificantes

ítem	Descripción	unidad
01.00.00	Preparación de Bacterias Calcificantes	m ³
02.00.00	Conformación del Suelo con Bacterias	m ³
03.00.00	Curado con Bacterias Calcificantes	m ²

Fuente: Elaboración propia

Se consideraron los procesos que se deberían realizar al momento de la estabilización de los suelos granulares tipo SP, es decir la preparación de las bacterias para después ser aplicadas en el proceso de compactación y su curado respectivo para la mejor producción de bacterias en el área inoculada.

Cuadro 34

Costo de la preparación de las Bacterias Calcificantes por m³

Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	Total
Materiales					174.50
Acetato de Calcio	kg	2.50	50.00	125.00	
Urea	kg	10.00	2.50	25.00	
Dextrosa	kg	5.00	2.00	10.00	
Levadura	kg	5.00	1.50	7.50	
Agua	m3	1.00	2.00	2.00	
Cepas de Bacterias	glb	0.10	50.00	5.00	

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el precio de la partida correspondiente a la preparación de las bacterias calcificantes por m³ es de S/ 174.50 soles

Cuadro 35

Costo de la conformación del suelo con bacterias calcificantes por m³

Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Sub Total
Mano de Obra						1.153
Operario	hh	1.00	0.01	67.20	0.672	
Peón	hh	1.00	0.01	48.10	0.481	
Herramientas Manuales	%MO				0.010	
Materiales						13.960
Bacterias	m ³		0.08	174.50	13.96	
Equipos						3.999
Motoniveladora 125 HP	Hm	1.00	0.01	100.00	1.000	
Rodillo Liso Vibratorio	Hm	1.00	0.01	145.00	1.450	
Cisterna de 3000 GL	Hm	1.00	0.01	131.30	1.313	
Motobombas de 4" de 6 HP	Hm	2.00	0.02	5.90	0.236	
TOTAL						19.112

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el precio de la partida correspondiente a la preparación conformación del suelo con bacterias calcificantes por m³ S/ 19.112 soles

Cuadro 36

Rendimiento diario para curado con respecto a la Cisterna

Capacidad Cisterna	Galón a m³	Dosificación Curado con Bacterias	Suelo Curado	Capas	Rendimiento m²/día
3000.00 GL	11.36 m ³	0.10 m ³	113.40 m ³	0.15 m	757.33 m ² /día

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el rendimiento es de 757.33 m²/día, siendo el suelo curado de 113.40 m³

Cuadro 37

Dosificación para Área de Curado en Suelo

Volumen de suelo	Dosificación curado	Área inoculada	Dosificación curado área
1.00 m ³	0.10 m ³	6.67 m ²	0.015 m ³ /m ²

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el área inoculada es de 6.67 m², siendo la dosificación de curado por área de 0.015 m³/m²

Cuadro 38

Costo de curado con bacterias Calcificantes

Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Sub Total
Mano de Obra						2.02
Peón	hh	2.00	0.02	48.10	1.924	
Herramientas Manuales	%MO				0.096	
Materiales						2.62
Bacterias Calcificantes			0.015	174.50	2.62	
Equipos						3.20
Cisterna de 3000 GL	Hm	1.00	0.01	175.00	1.75	
Motobombas de 4" a 6" HP	Hm	1.00	0.01	145.00	1.45	
TOTAL						7.84

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el precio de la partida correspondiente al curado con bacterias calcificantes por m³ S/ 7.84 soles

4.2. Discusión

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que al aplicar bacterias calcificantes los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque se estabilizan.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Arrieta, Valencia y Echeverri (2011) en Aplicación de la biomineralización en suelos de la ciudad de Medellín para mitigar procesos erosivos, quienes señalan el aumento del peso específico relativo cuando se aplica el nutriente B4 para aumentar la precipitación de carbonato de calcio por medio de las bacterias nativas. Estos autores expresan que la biotecnología puede ser utilizada como herramienta para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, proporcionando mayor resistencia y estabilidad ante el ataque de agentes erosivos. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Pero en lo que no concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es que ellos mencionan que la aplicación se realizó en suelos de tipo limosos. En este estudio no se encuentran resultados con el mencionado tipo de suelo.

Al evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras correspondiente a los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque, los resultados obtenidos en el cuadro 15 evidencian que el tipo de suelo utilizado es del tipo SP, además en el cuadro 17 podemos evidenciar la bajo cohesión y el ángulo de fricción característico de este tipo de suelos, datos que al ser comparado con Flores (2006) en su tesis titulada estabilización de suelos con biocemento, quien concluyo que la muestra a estudiar según la clasificación SUCS es de características SP, con estos resultados se puede inferir que los suelos granulares no cohesivos presentan una mejor disposición al tratamiento con bacterias por su permeabilidad y tamaño de partículas

Cuantificando el efecto de la aplicación de las bacterias calcificantes en los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque, los resultados obtenidos en los cuadros 22 al 27, evidencian la mejora de los valores obtenidos aplicando las bacterias calcificantes los mismos que guardan relación con Flores (2006) en estabilización de suelos con biocemento, quien determino la disminución de la relación de vacíos y el aumento del pH, concluyendo que hay una mejora en las mencionadas propiedades cuando se aplica bacterias. Sin embargo, hay una contradicción del autor con el presente, debido a que el ángulo de fricción interna y la cohesión no se observan mejorías cuando se aplican las bacterias.

La comparación de los resultados entre la muestra no tratada (MNT) y la muestra tratada (MT) demuestra que los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque se estabilizan tal como se aprecia en los gráficos 101 al 117 al mejorar sus propiedades intrínsecas en concordancia con Victoria (2004) en Microbial CaCO_3 precipitation for the production of biocement que concluye que se puede lograr una cementación económica de alta resistencia utilizando la precipitación de carbonatos por medio de bacterias a través de la hidrólisis de urea. Este es el primer estudio publicado que logra la consolidación efectiva de arena suelta mediante la aplicación de cultivos bacterianos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- 5.1.1. Se evaluarón 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.
- 5.1.2. Se reactivarón 15 cepas del Laboratorio de Agrobiotecnología de la USS, del tipo Actinomicetos que garantizarón la precipitación de Carbonato de Calcio, siendo dos cepas las que mostrarón mejor actividad ureolítica
- 5.1.3. 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
- 5.1.4. 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 inocularón 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

5.2. Recomendaciones

- 5.2.1. Verificar el tiempo de tratamiento del suelo, para ver si mejora las características físicas y mecánicas del suelo con el fin de estabilizar el suelo en condiciones más favorables
- 5.2.2. Realizar estudios con suelos Granulares con presencia de finos para ver su comportamiento al aplicarse bacterias Calcificantes
- 5.2.3. Realizar pruebas in situ, con la finalidad de comprobar lo encontrado a nivel de laboratorio
- 5.2.4. Realizar ensayos químicos a las muestras de suelo con el fin de ver su influencia en los resultados

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administration Occupational Safety and Health (2015). United States department of labor. Washington, USA: osha.gov. Recuperado de <https://www.osha.gov/>
- Aliaga, M. (2011). Morfología y estructuras de las bacterias I parte. [Diapositivas de PowerPoint]. Recuperado 8 de octubre, 2019, de <https://medicinaupv.files.wordpress.com/2011/04/2-3-clase-morfologc3ada-y-estructura-de-laa-bacterias.pdf>
- Alva, J. (2011). Diseño de Cimentaciones, Perú: Guzlopster.
- Álvarez, J. (2010). *Estabilización de subrasantes*. [Diapositivas de PowerPoint]. Recuperado 2 de octubre, 2019, de <https://www.cuevadelcivil.com/2016/01/subrasantes-estabilizacion.html>
- Amigot, M. (2009). *Control biológico de hongos toxigénicos presentes en forrajes conservados empleando cepas de Streptomyces* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Del Litoral, Argentina.
- Arrieta, M., Valencia, Y. y Echeverri, O. (2011). Aplicación de la biomineralización en suelos de la ciudad de Medellín para mitigar procesos erosivos. *Boletín Ciencias de la Tierra*. 32 (1). Recuperado desde <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n32/n32a04.pdf>
- Atlas (2002). Ecología microbiana y microbiológica. *Bioline International* (10) 45 180-209.
- Bañon, L & Beviá, J. (1999). Manual de Carreteras [archivo PDF]. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>
- Biocement (2014). [Base de datos]. USA: Tecnología para estabilización de suelos de manera biológica. Disponible en: <http://www.biocementtech.com/>
- Castenier, S., Métayer-Levrel, G., Oriol, G., Loubière, J. y Perthuisot, J. (2000). Bacterial carbonatogenesis and applications to preservation and restoration of historic property, USA, p. 201-216
- Darson-Balleur, S. y Girinski, O. (2012). *Procedimiento de calcificación con bacterias calcificantes*. España.

- Daehyeon, K., Kyungho, P. y Dongwook, K. (2013). *Effects of Ground Conditions on Microbial Cementation in Soils. Materials*, 7 (1), 143-56.
- Fernández de Heredia, M. (1996). *Análisis molecular de una nueva poliquétido sintetasa en Streptomyces antibioticus* (Tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid, España.
- Flores, F., Rivas, R. (2015). Bacterias Productoras de Biocemento. *Investigación y ciencia*. (463), 38-39
- Flores, J. (2006). Estabilización de suelos con Biocemento. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Colombia.
- Frederik, H y Willy, V. (2002). Key roles of pH and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation. *Journal of Environmental Science & Bio/Technology*.
- Gray, D. (2001). *Microbial Stabilization*. University of Michigan.
- Häkkinen, T., Vares, S. (1998) "Environmental Burdens of concrete and concrete products", Technical Research Centre of Finland 1998
- Hammes, F. y Verstraete, W. (2002). Strain-Specific Ureolytic Microbial Calcium Carbonate Precipitation: *Applied and Environmental Microbiology* 69(8) 4901-4909.
- Hammes, F. y Verstraete, W. (2002). Key roles of pH calcium metabolism in microbial carbonate precipitation. *Re/Views in Environmental Science & Bio/technology*. Kluwer Academia Publishers, 3-7
- Hernández., R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*, sexta edición, México. McGraw-Hill / interamericana editores, s.a. De c.v.
- Horna, D., Sialer, C., Incio, M., Hernández, A. y Leiva, J. (2014). Antifúngicos de origen natural frente a los de síntesis química para el control de hongos fitopatógenos en chenopodium quinoa "quinua". *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*. Recuperado de <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/115>
- Illescas, S. (2007). *Propiedades de las Arenas*, Ecuador: Universidad Politécnica.

- INDECI. (2003). Estudios de Ciudades Sostenibles. Recuperado de Estudios Región Lambayeque: Recuperado de http://bvpad.indeci.gob.pe/html/es/estudios_cs/lambayeque.htm
- Ismail, M., Joer, H., Randolph, M., y Kucharski, E. (1999) "*Cementation of porous materials using calcite precipitation.*" Univ. of Western Australia Geomechanics Group, Geotech. Rep. G1422.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D. y Stahl, D. (2015). *Biología de los microorganismos*, Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Mitchell, J. y Santamaría, J. (2004). Biological consideration in Geotechnical Engineering. Virginia Tech and Georgia Institute of Technology.
- Morales, L. y Garzón, E., (2009). Aplicación de herramientas biotecnológicas en la estabilización de suelos utilizados en obras lineales.
- Morales, L., López-González, J., Garzón, E., Giménez, A & Romero, E. (2011) Crecimiento de Cristales de CaCO₃, como Resultado de la Actividad Microbiológica en Suelos. Macla. Volumen 15, p. 141
- Morales, M. (1996). Efecto de los microorganismos sobre la estabilidad mecánica del suelo. En Castillo Araya, J.G., F. Bertsch, W. Badilla, J. García (eds.). X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos San José, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatólogos., p. 217 – 221.
- MTC (2018). Glosario de Términos. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf
- Norma E.050. Diario Oficial el Peruano, Lima, Perú, 09 de junio del 2006.
- NTP 339.134. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Lima, Perú, 14 de junio de 1999.
- NTP 339.151. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Lima, Perú, 2015
- Ortuño, L. (Diciembre de 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.

Reino Unido Gollapudi, Knutson, C., Bang, S. y Islam, M. (1995, febrero). A new method for controlling leaching through permeable channels. *Chemosphere*, 30(4), 695-795. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004565359400435W>

Sánchez, L., y Corrales, R. (2005, 27 de octubre). Evaluación de la congelación para conservación de especies autóctonas bacterianas. *NOVA*, 3(4), 21-29. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/411/41130403.pdf>

Terzaghi, K. (1986). *Mechanics Engineering Practice*, USA: El Ateneo.

Whiffin, V. (2004). *Microbial CaCO₃ Precipitation for the production of Biocement* (Tesis doctoral). Murdoch University, Western Australia

ANEXOS

ANEXO 1. Gráficos

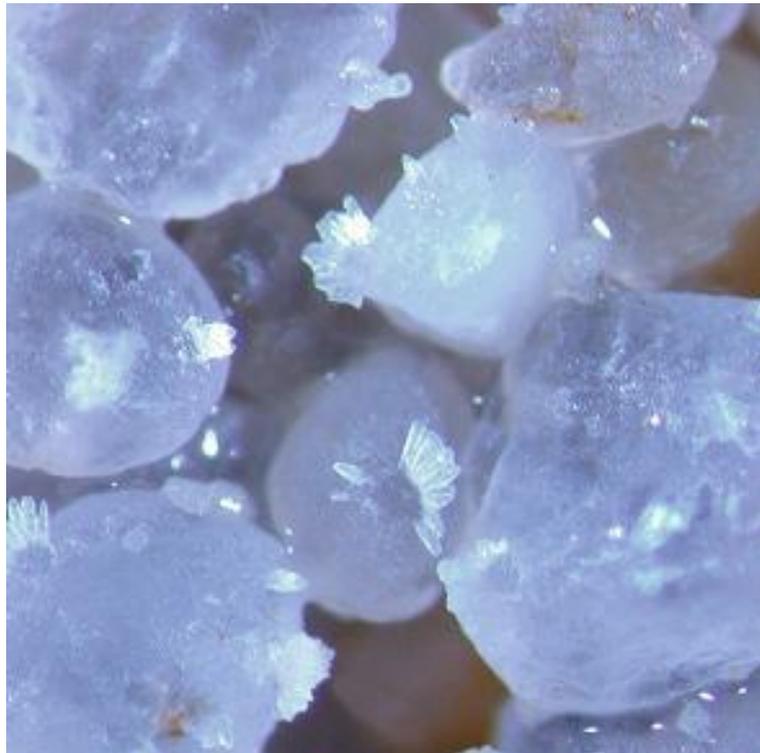


Gráfico 46. Bacterias Calcificantes. Flores, F (2011).



Gráfico 47. Erosión de laderas por Biocement Technologies 2014.



Gráfico 48. Aumento de las propiedades del suelo de fundación por Biocement Technologies. 2014.



Gráfico 49. Terreno de fundación Profundo por Biocement Technologies. 2014



Gráfico 50. Erosión de ríos por Biocement Technologies. 2014



Gráfico 51. Licuefacción de Suelos por Biocement Technologies. 2014.

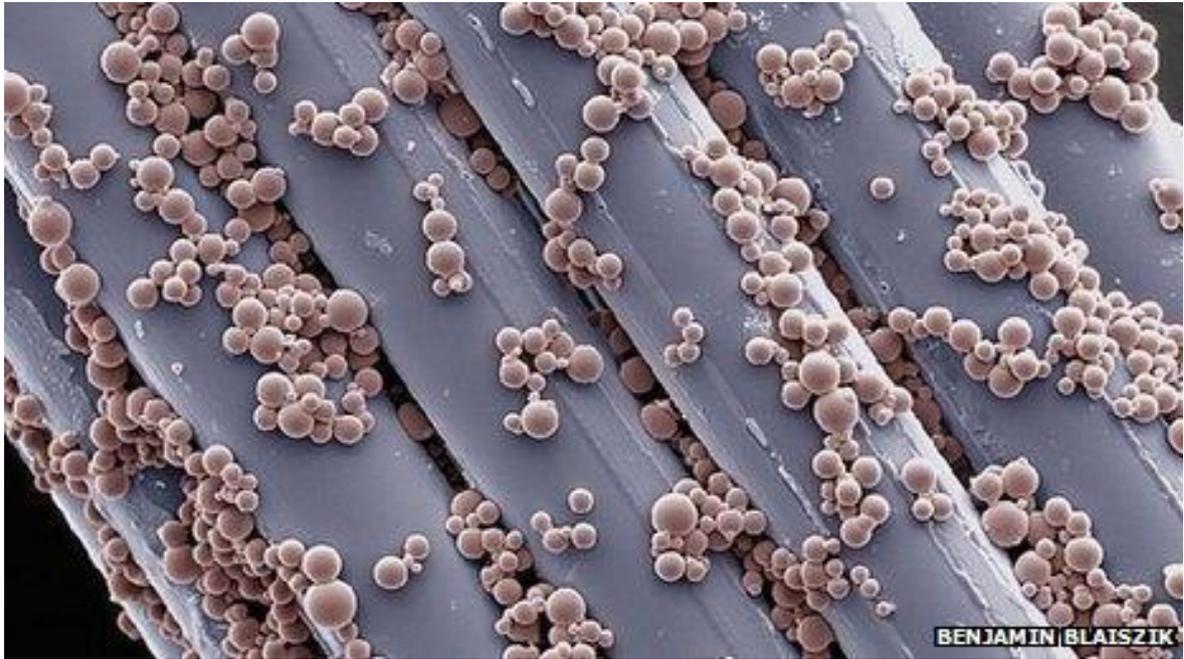


Gráfico 52. Bacterias Calcificantes representación. (Atlas, R. 2002).



Gráfico 53: Ubicación de la Muestra 01 – Morrope – Provincia Lambayeque



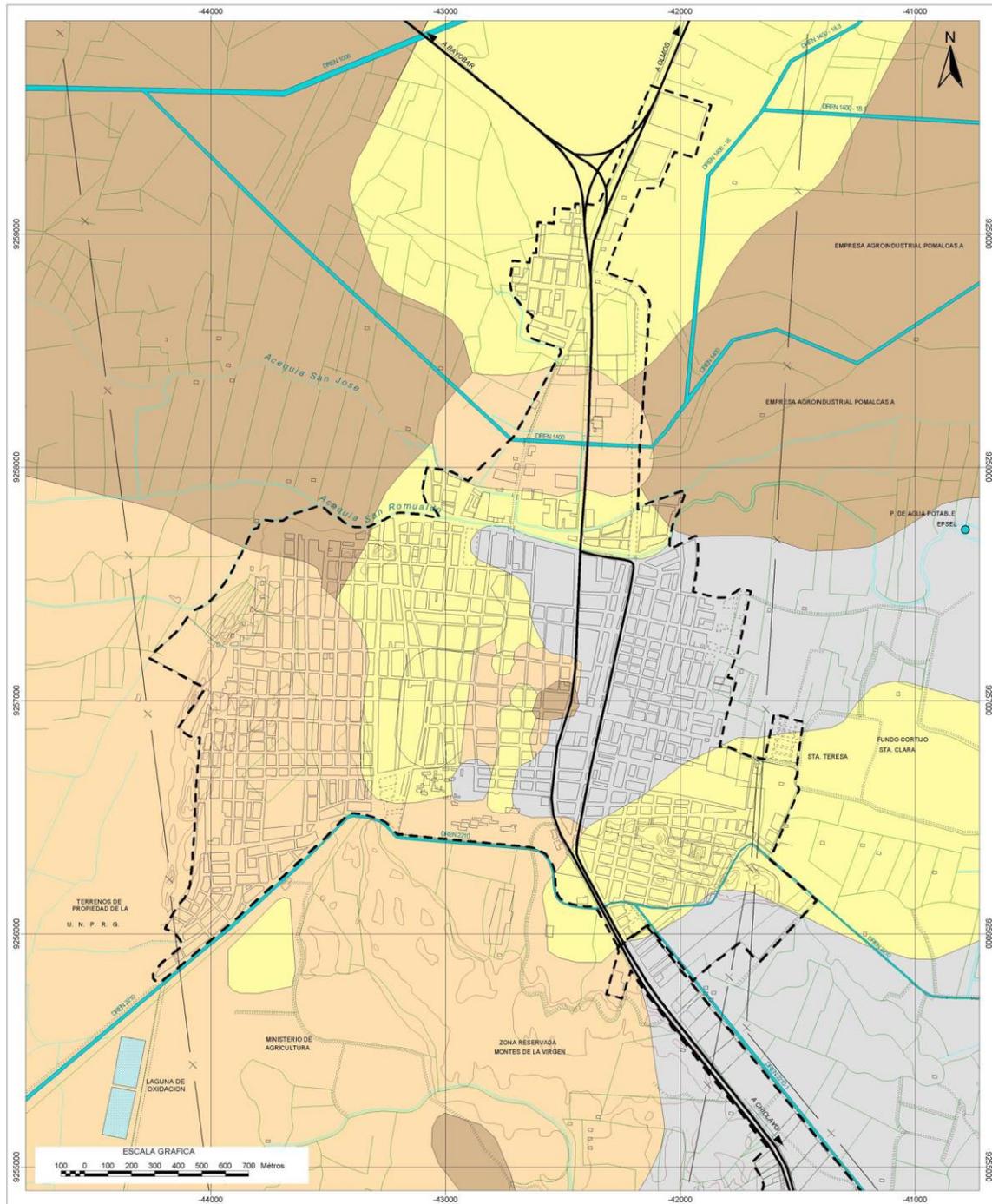
Gráfico 54: Extracción de la Muestra 01 – Morrope – Provincia Lambayeque



Gráfico 55: Ubicación de la Muestra 02 – Jayanca – Provincia Lambayeque



Gráfico 56: Extracción de la Muestra 02 – Jayanca – Provincia Lambayeque



CLASIFICACION	DESCRIPCION	
CH, MH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD O LIMO DE ALTA PLASTICIDAD. SUELO FINO	0.80 a 0.90 Kg/Cm2
CL, ML	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD O LIMO DE BAJA PLASTICIDAD. SUELO FINO	0.70 a 0.80 Kg/Cm2
SC, SM	ARENA ARCILLOSA O ARENA LIMOSA. ARENA CON FINOS	0.70 a 0.90 Kg/Cm2
SP	ARENA POBREMENTE GRADADA. SUELO GRANULAR	0.50 a 1.00 Kg/Cm2

FUENTE: MAPA DE PELIGROS: CIUDAD DE LAMBAYEQUE - INDECI
 ELABORACION: EQUIPO TECNICO - INDECI, 2004

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL
 PROYECTO: INDECI - PNUD
 PER 02 / 051 CIUDADES SOSTENIBLES
 CIUDAD DE LAMBAYEQUE

ESTUDIO: PLAN DE USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACION ANTE DESASTRES

MAPA GEOTECNICO

LAMINA:
16

ESCALA: 1 : 15 000 ZONA 18 FECHA: MAYO 2004
 DATUM HORIZONTAL WGS 84

Gráfico 57: Mapa Geotécnico de la Ciudad de Lambayeque. INDECI (2004)



Gráfico 58: Ubicación de la Muestra 03 – Lambayeque – Provincia Lambayeque



Gráfico 59: Extracción de la Muestra 03 – Lambayeque – Provincia Lambayeque

SAN JOSE

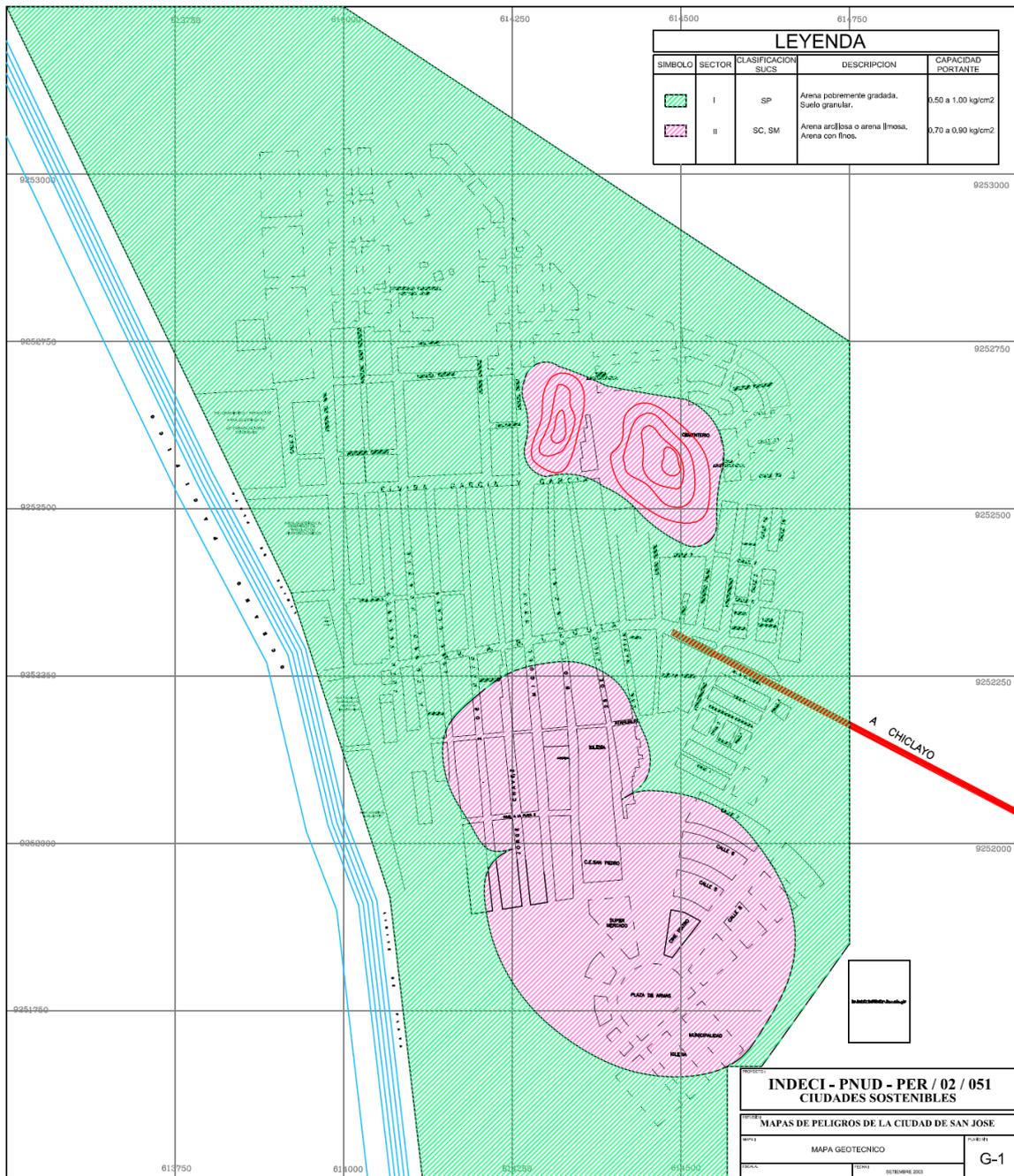


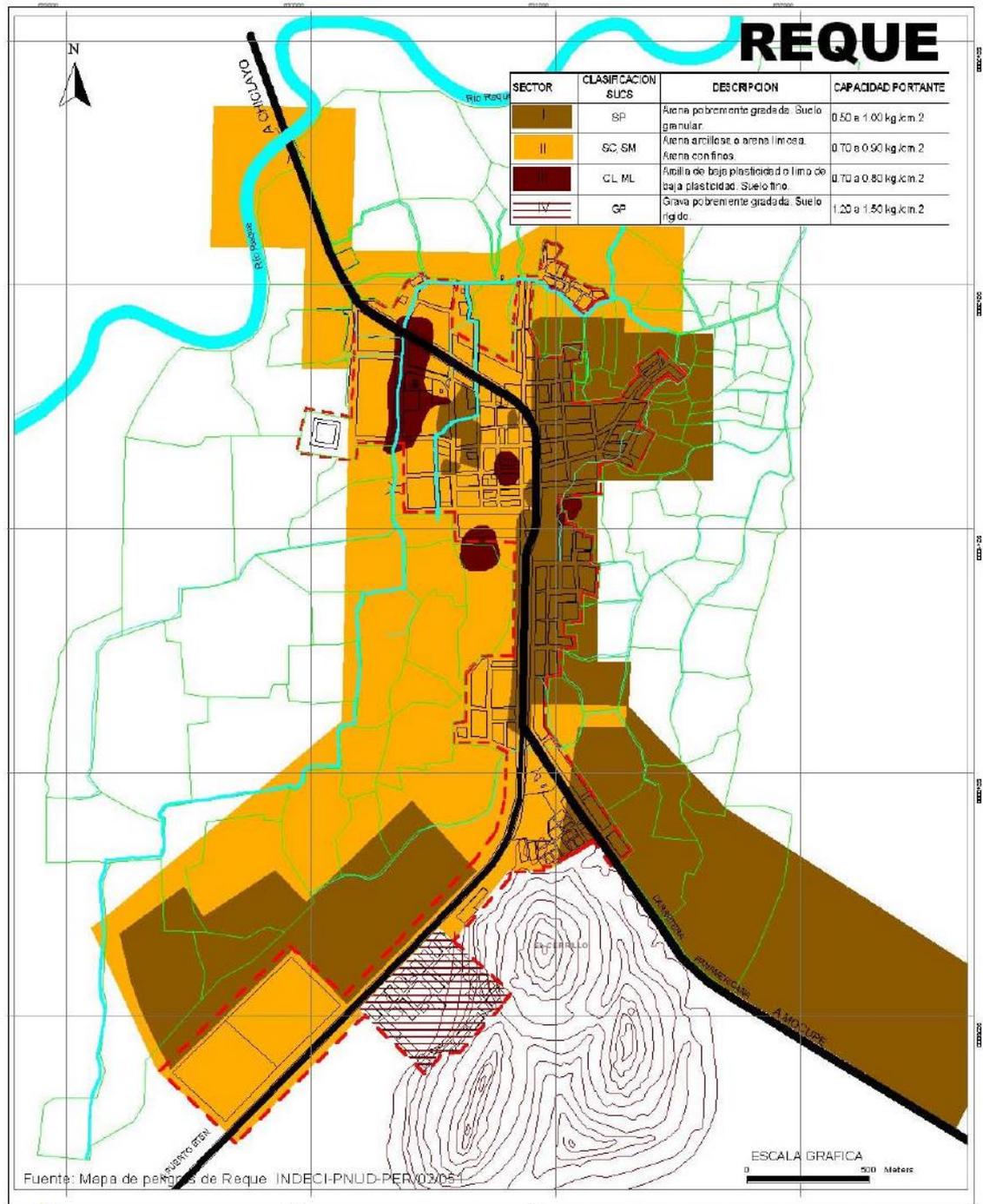
Gráfico 60: Mapa Geotécnico de la Ciudad de San José. INDECI (2003)



Gráfico 61: Ubicación de la Muestra 04 – San José – Provincia Lambayeque



Gráfico 62: Extracción de la Muestra 04 – San José – Provincia Lambayeque



INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL
DIRECCION NACIONAL DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO INDECI - PNUD - PER/02/051
CIUDADES SOSTENIBLES

ESTUDIO: **PLAN DE PREVENCIÓN ANTE DESASTRES :
USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN
CIUDAD DE AREQUIPA**

PLANO: **GEOTECNICO** LÁMINA: **10**

SECCION: LINEA, SECCIONES 2/05 SECCION: GRAFICA

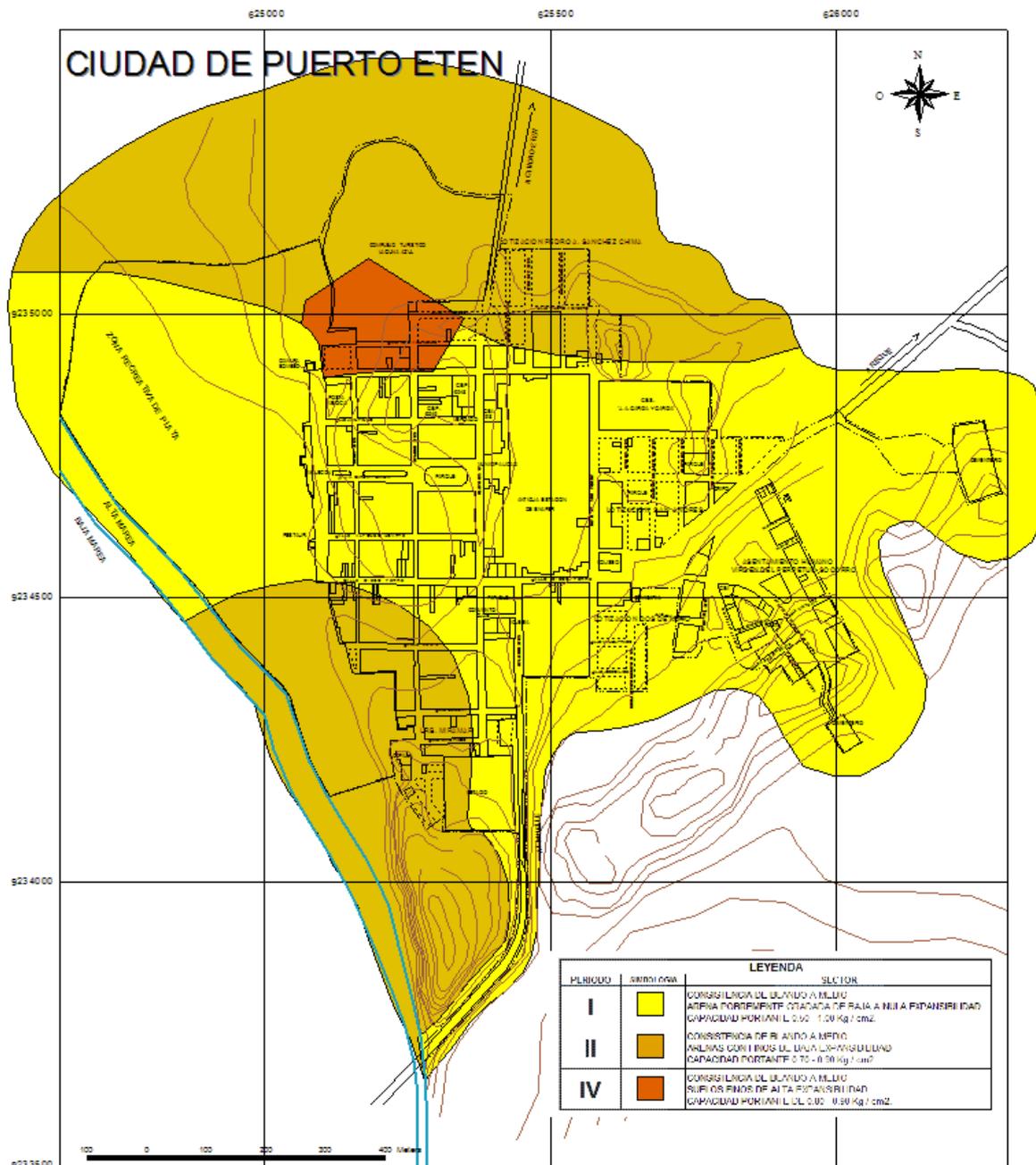
Gráfico 63: Mapa Geotécnico de la Ciudad de Arequipa. INDECI (2000)



Gráfico 64: Ubicación de la Muestra 05 – Reque – Provincia Chiclayo



Gráfico 65: Extracción de la Muestra 05 – Reque – Provincia Chiclayo



ELABORACION: EQUIPO TECNICO DE INDECI - 2003
FUENTE: MAPA DE PELIGRO DE CIUDAD DE PUERTO ETEN



INSTITUTO NACIONAL
DE DEFENSA Y PROTECCION CIVIL

PROYECTO	INDECI - PNUD - PER / 02 / 051	
	CIUDADES SOSTENIBLES	
OBJETIVO	PLAN DE PREVENCION ANTE DESASTRES: USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACION CIUDAD DE PUERTO ETEN	
TIPO DE MAPA	MAPA GEOTECNICO	NUMERO
FECHA	DICIEMBRE - 2003	ESCALA
		15

Gráfico 66: Mapa Geotécnico de la Ciudad de Puerto Eten. INDECI (2003)



Gráfico 67: Ubicación de la Muestra 06 – Puerto Eten – Provincia Chiclayo



Gráfico 68: Extracción de la Muestra 06 – Puerto Eten – Provincia Chiclayo



Gráfico 69: Ubicación de la Muestra 07 – Callanca – Provincia Chiclayo



Gráfico 70: Extracción de la Muestra 07 – Callanca – Provincia Chiclayo

MONSEFU

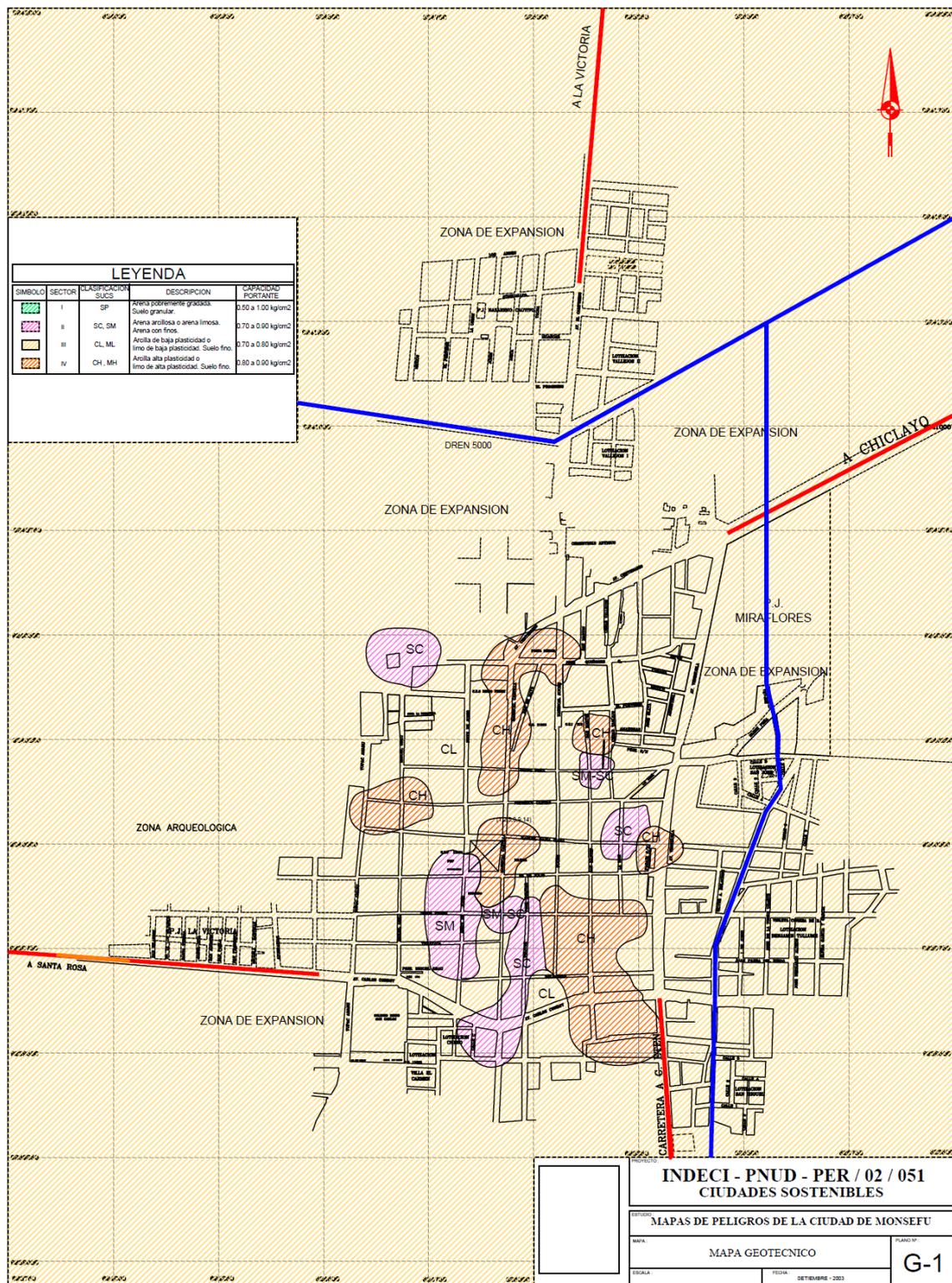


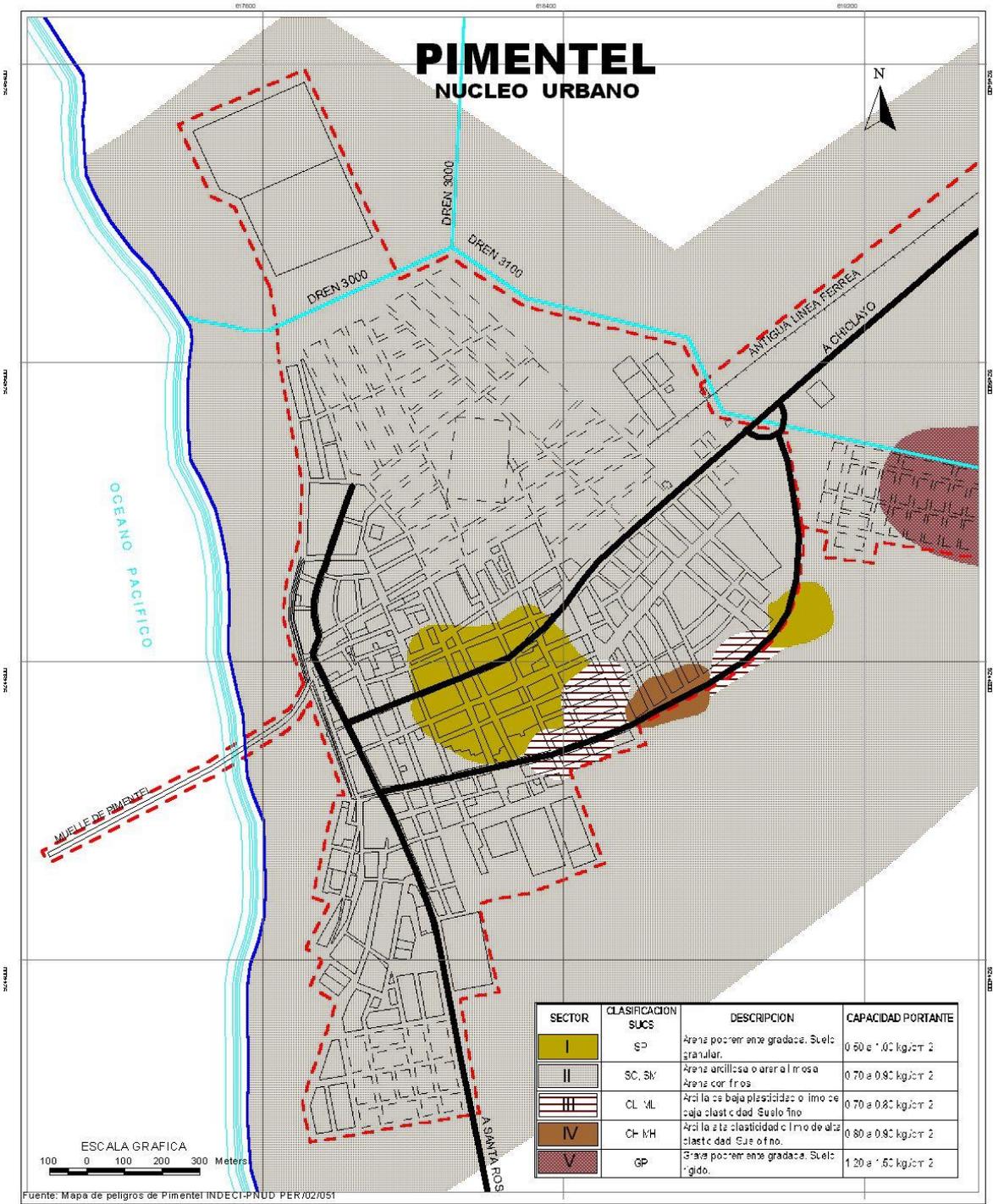
Gráfico 71: Mapa Geotécnico de la Ciudad de Monsefú. INDECI (2003)



Gráfico 72: Ubicación de la Muestra 08 – Monsefú – Provincia Chiclayo



Gráfico 73: Extracción de la Muestra 08 – Monsefú – Provincia Chiclayo



INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL
DIRECCION NACIONAL DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO INDECI - PNUD - PER/02/051
CIUDADES SOSTENIBLES

ESTUDIO: PLAN DE PREVENCIÓN ANTE DESASTRES :
USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN
CIUDAD DE PIMENTEL

PLANO: **GEOTECNICO - NUCLEO URBANO** LAMINA: **15**

FECHA: JUNIO DICIEMBRE 2003 ESCALA: GRAFICA

Gráfico 74: Mapa Geotécnico de la Ciudad de Pimentel. INDECI (2003)



Gráfico 75: Ubicación de la Muestra 09 – Pimentel – Provincia Chiclayo



Gráfico 76: Extracción de la Muestra 09 – Pimentel – Provincia Chiclayo



Gráfico 77: Ubicación de la Muestra 10 – Motupillo – Provincia Ferreñafe



Gráfico 78: Extracción de la Muestra 10 – Motupillo – Provincia Ferreñafe



Gráfico 79: Ubicación de la Muestra 11 – La Pluma – Provincia Ferreñafe



Gráfico 80: Extracción de la Muestra 11 – La Pluma – Provincia Ferreñafe



Gráfico 81: Ubicación de la Muestra 12 – La Zaranda – Provincia Ferreñafe



Gráfico 82: Extracción de la Muestra 12 – La Zaranda – Provincia Ferreñafe



Gráfico 83: Ubicación de la Muestra 13 – Pitipo – Provincia Ferreñafe



Gráfico 84: Extracción de la Muestra 13 – Pitipo – Provincia Ferreñafe

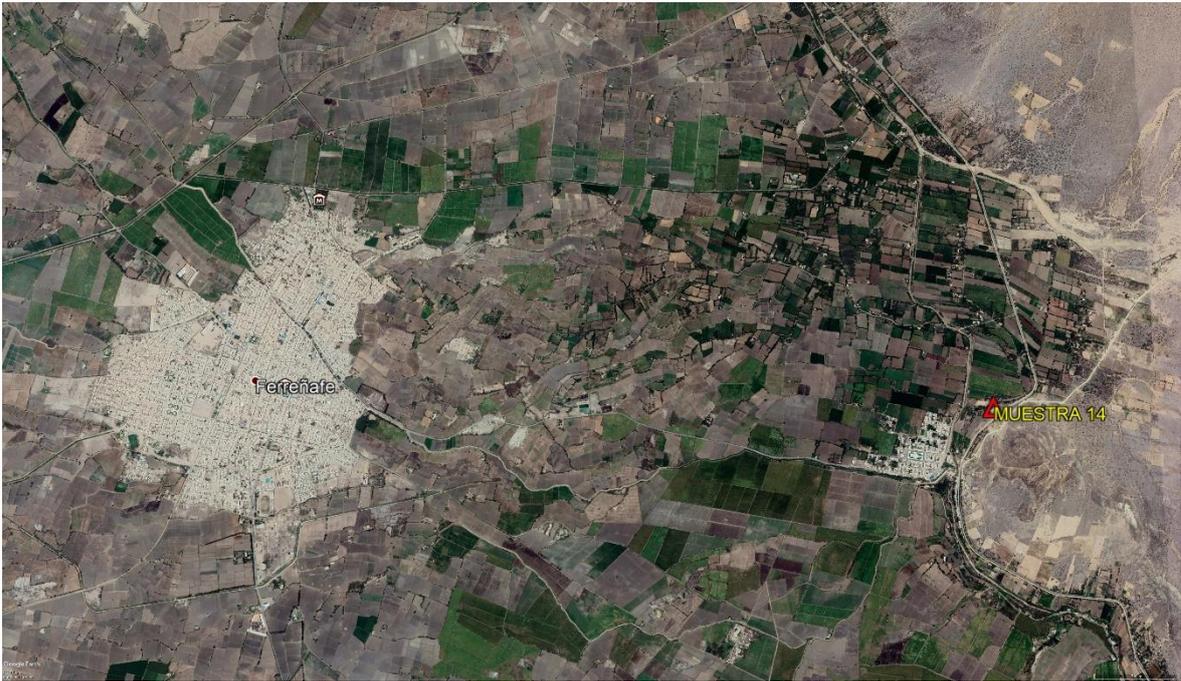


Gráfico 85: Ubicación de la Muestra 14 – Tres Tomas – Provincia Ferreñafe



Gráfico 86: Extracción de la Muestra 14 – Tres Tomas – Provincia Ferreñafe

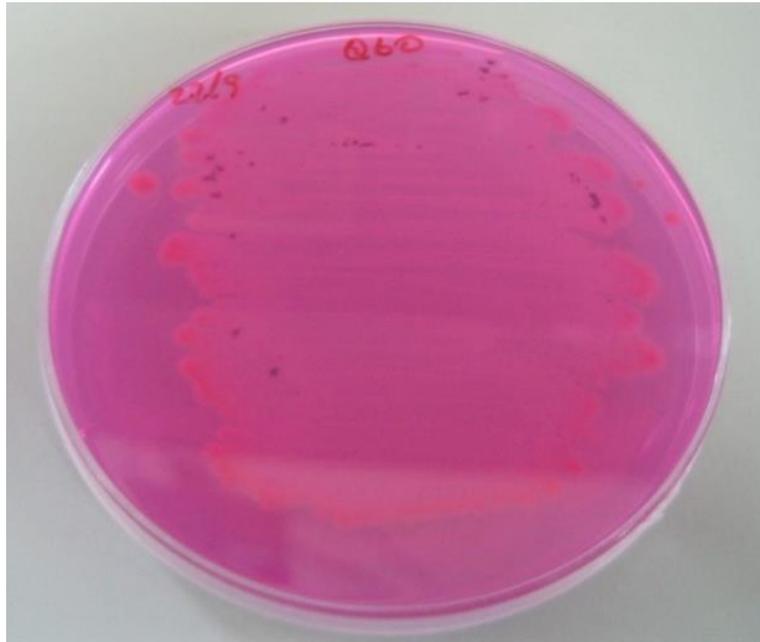


Gráfico 87. Características Macroscópicas, de colonia de bacterias Q60

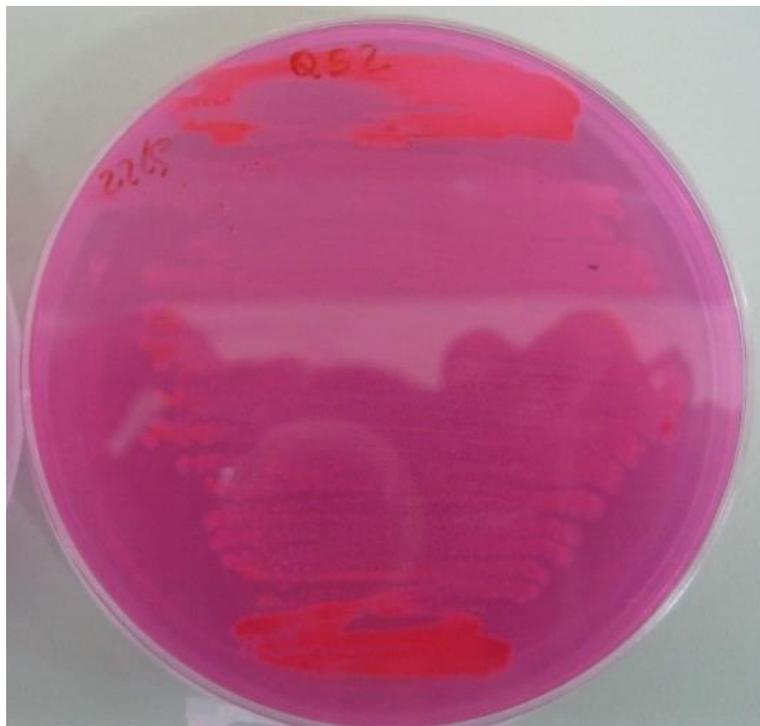


Gráfico 88: Características macroscópicas de colonia de bacterias Q52.



Gráfico 89. Cámara de bioseguridad para la elaboración de Sustrato B1.



Gráfico 90. Elaboración de sustrato B1 en cámara de bioseguridad.



Gráfico 91. Medio de sustrato B1 más bacterias inoculadas



Gráfico 92. Cepas que mostraron mejor actividad ureolítica



Gráfico 93. Muestras de suelo tratado con bacterias y sustrato B1.



Gráfico 94. Colocación de la arena en tara para granulometría.



Gráfico 95. Eliminación de finos por el método del lavado



Gráfico 96. Colocación de la muestra en el horno después del lavado



Gráfico 97. Muestra compactada en el tallador.



Gráfico 98. Registro de datos en el equipo de corte directo.



Gráfico 99. Toma de datos con las válvulas en la máquina para corte directo.



Gráfico 100. Compactación de muestras con el sustrato B1.



Gráfico 101. Colocación de la muestra en los talladores, para el ensayo de corte directo.



Gráfico 102. Eliminación del aire atrapado



Gráfico 103. Colocación de las fiolas con agua y muestra



Gráfico 104: Colocación de la muestra tratada en frascos de vidrio proporción 1:3.



Gráfico 105. Colocación del ácido nítrico a la muestra



Gráfico 106. Medición del pH por el método electrométrico



Gráfico 107. Determinación del porcentaje de CaCO_3 .

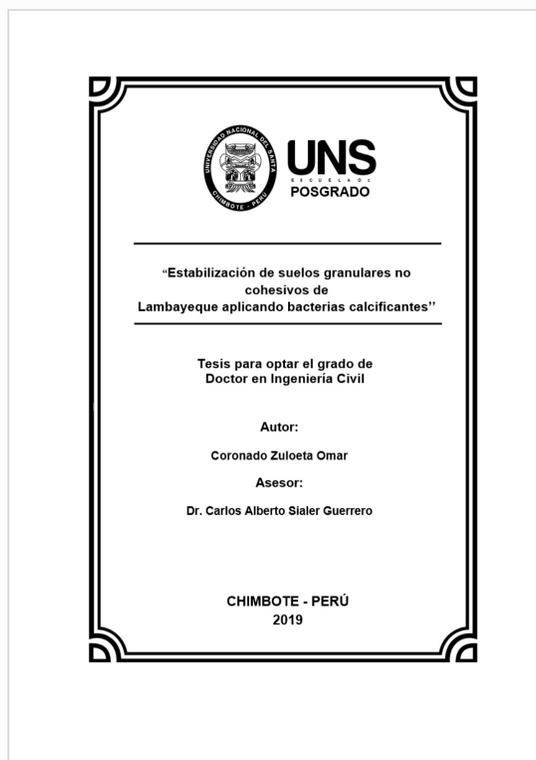


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Omar Coronado Zuloeta
Título del ejercicio: DOCTORADO - INGENIERÍA CIVIL
Título de la entrega: ESTABILIZACION DE SUELOS GRA.
Nombre del archivo: S_DE_LAMBAYEQUE_APLICANDO..
Tamaño del archivo: 3.16M
Total páginas: 112
Total de palabras: 18,660
Total de caracteres: 92,850
Fecha de entrega: 29-jul-2020 09:20p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1363835940



ESTABILIZACION DE SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS DE LAMBAYEQUE APLICANDO BACTERIAS CALCIFICANTES

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.scribd.com Fuente de Internet	2%
2	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	idoc.pub Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
8	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1%
11	repositorio.uniandes.edu.co Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to Universidad Señor de Sipan Trabajo del estudiante	<1%
13	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
14	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
15	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%
16	JUAN DIEGO TORRES OQUENDO. "Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (mangifera indica I.)", Universitat Politecnica de Valencia, 2007 Publicación	<1%
17	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%
18	up-rid.up.ac.pa Fuente de Internet	<1%

19 Matías Raimundo Monzó Pérez. "Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico, en la modificación superficial del polipropileno", Universitat Politecnica de Valencia, 2015
Publicación <1%

20 www.monografias.com
Fuente de Internet <1%

21 servicios.uss.edu.pe
Fuente de Internet <1%

22 www.bdigital.unal.edu.co
Fuente de Internet <1%

23 pt.scribd.com
Fuente de Internet <1%

24 prezi.com
Fuente de Internet <1%

25 Submitted to Universidad Alas Peruanas
Trabajo del estudiante <1%

26 nanodrizas.org
Fuente de Internet <1%
