

Yuber Saúl Bautista Morales,
Marco Antonio Junior Cerna Vasquez

Concreto y climas cálidos en el norte del Perú

**Autorreparación y resistencia del
concreto incorporando la bacteria
*Lysinibacillus sphaericus***



Concreto y climas cálidos en el norte del Perú

Autorreparación y resistencia del concreto incorporando la bacteria *Lysinibacillus sphaericus*

Yuber Saúl Bautista Morales y Marco Antonio Junior Cerna Vasquez

RELIGACION PRESS · QUITO · 2023



Equipo Editorial

Roberto Simbaña Q. Director Editorial
Felipe Carrión. Director de Comunicación
Ana Benalcázar. Coordinadora Editorial
Ana Wagner. Asistente Editorial

Consejo Editorial

Jean-Arsène Yao | Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova | Fabiana Parra |
Mateus Gamba Torres | Siti Mistima Maat | Nikoleta Zampaki | Silvina
Sosa



Religación Press, es una iniciativa del Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades desde América Latina (CICSHAL)
Diseño, diagramación y portada: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico: press@religacion.com
www.religacion.com

Concreto y climas cálidos en el norte del Perú. Autorreparación y resistencia del concreto incorporando la bacteria *Lysinibacillus sphaericus*

Concrete and hot climates in northern Peru. Self-repair and strength of concrete incorporating the bacterium *Lysinibacillus sphaericus*

Primera Edición: 2023 Yuber Saúl Bautista Morales©, Marco Antonio Junior Cerna Vasquez©, Religación Press©

Editorial: Religación Press

Materia Dewey: 624 - Ingeniería civil

Clasificación: TNKX-Conservación de edificios y materiales de construcción

Público objetivo: Profesional/Académico

Colección: Ingeniería

Serie: Ingeniería Civil

Soporte: Digital

Formato: Epub (.epub)/PDF (.pdf)

Publicado: 2023-04-14

Disponible para su descarga gratuita en <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



Citar como (APA 7)

Bautista Morales, Y.S., y Cerna Vasquez, M.A.J. (2023). *Concreto y climas cálidos en el norte del Perú. Autorreparación y resistencia del concreto incorporando la bacteria *Lysinibacillus sphaericus**. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.34>

ISBN: 978-9942-7099-2-9



Revisión por pares / Peer Review

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos. Por lo tanto, la investigación contenida en este libro cuenta con el aval de expertos en el tema, quienes han emitido un juicio objetivo del mismo, siguiendo criterios de índole científica para valorar la solidez académica del trabajo.

This book was reviewed by an independent external reviewers. Therefore, the research contained in this book has the endorsement of experts on the subject, who have issued an objective judgment of it, following scientific criteria to assess the academic soundness of the work.

Sobre los autores

Yuber Saúl Bautista Morales

Ingeniero civil con experiencia en obras civiles y subterráneas. Trabajó 10 años con la organización OEC (Odebrecht Ingeniería y construcción) en diversos proyectos. En la actualidad se desempeña como supervisor de obras civiles en la ejecución de la central hidroeléctrica San Gabán III-Puno con la empresa CWE (China International Water & Electric corp. Perú).

<http://orcid.org/0000-0002-7180-6613>

Universidad César Vallejo – Perú.

ybautistam@ucvvirtual.edu.pe

Marco Antonio Junior Cerna Vasquez

Ingeniero Civil y Maestro en Gerencia de la Construcción Moderna de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo con Distinción Académica Estudios culminados de Doctorado en Ingeniería Civil en la Universidad Nacional del Santa. 32 conferencias internacionales en jornadas y congresos científicos. Perito Valuador con certificación SBS y MVCS.

<http://orcid.org/0000-0002-8259-5444>

Universidad César Vallejo – Perú.

mcernav@ucvvirtual.edu.pe

Resumen

En el ámbito de la construcción es inevitable el uso del concreto y junto a él existe diversas anomalías que afectan su proceso. En la investigación se tuvo como objetivo determinar la influencia de la bacteria *Lysinibacillus sphaericus* en sus propiedades de resistencia a compresión y la autorreparación de las microgrietas en el concreto, utilizando las dosificaciones de 15, 20 y 25 ml/m³ del concreto, teniendo un diseño de mezclas patrón de relación a/c de 0.43, donde se obtuvo que la consistencia del concreto patrón es de 5" y el máximo valor obtenido fue adicionando 15 ml/m³ dando un valor de 5.5", así también la resistencia a compresión del concreto patrón a los 28 días fue de 105%, y la máxima resistencia se obtuvo adicionando 25 ml/m³ al concreto teniendo un valor de 121% a diferencia del concreto patrón de un incremento de 16% a la edad de 28 días, por otro lado la autorreparación se observó mediante ensayos con SEM en laboratorio de ciencias y la mejora de la resistencia a compresión del concreto mediante los ensayos de rotura en laboratorio de concreto; el análisis de autorreparación se realizó a los 7 y 14 días, obteniendo los mejores resultados de la dosis de 25 ml/m³ en 13% y 69% respectivamente mediante el SEM. Estos resultados son un punto de partida para otros investigadores, ya sea para replicar estos procedimientos o poner en práctica nuevas alternativas a fin de prevenir efectos negativos en la vida útil de las estructuras y el medio ambiente.

Palabras clave: Concreto bacteriano; precipitación de calquita; autorreparación del concreto; resistencia del concreto; *Lysinibacillus sphaericus*.

Abstract

In the field of construction, the use of concrete is unavoidable and, together with it, there are several anomalies that affect its process. The objective of the research was to determine the influence of the bacterium *Lysinibacillus sphaericus* on its properties of compressive strength and self-repair of microcracks in concrete, using the dosages of 15, 20 and 25 ml/m³ of concrete, having a design of standard mixes with a w/c ratio of 0.43, where it was obtained that the consistency of the standard concrete is 5" and the maximum value obtained was by adding 15 ml/m³ giving a value of 5.5", also the compressive strength of the standard concrete at 28 days was 105%, and the maximum strength was obtained by adding 25 ml/m³ to the concrete having a value of 121% unlike the standard concrete of an increase of 16% at the age of 28 days, on the other hand the self-repair was observed by SEM tests in the science laboratory and the improvement of the compressive strength of concrete by breaking tests in the concrete laboratory; The self-repair analysis was performed at 7 and 14 days, obtaining the best results for the 25 ml/m³ dose at 13% and 69% respectively by SEM. These results are a starting point for other researchers, either to replicate these procedures or to implement new alternatives in order to prevent negative effects on the useful life of the structures and the environment.

Keywords: Bacterial concrete; calcite precipitation; concrete self-repair; concrete strength; *Lysinibacillus sphaericus*.

Contenido

Revisión por pares / Peer Review	7
Sobre los autores	8
Resumen	10
Abstract	11
Agradecimiento/Dedicatoria	19
Capítulo 1	
Antecedentes	22
1.1 Introducción	22
1.2 Marco teórico	27
Capítulo 2	
Metodología	45
2.1 Tipo y diseño de la investigación	46
2.2 Variables y operacionalización:	46
2.3 Población, muestra y muestreo:	46
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
2.4 Procedimientos	48
Determinación de las propiedades físicas de los agregados	49
Proceso de obtención del cultivo bacteriano	49
Morfología y caracterización del bacilo	57
Diseño de mezcla	59
Paso 4.-Ensayos de autorreparación del concreto	63
Paso 5. Ensayos de resistencia a la compresión	66
2.5 Método de análisis de datos	68
Capítulo 3	
3.1 Propiedades físicas de los agregados	71
3.2 Aislamiento y determinación del medio de cultivo	73
3.3 Diseño de mezcla para concreto $f'c=350$ kg/cm ²	75
3.4 Análisis de autorreparación del concreto	76
3.5 Resultados de ensayo de resistencia a la compresión	84
Capítulo 4	
4.1 Discusiones	91
4.2 Conclusiones y recomendaciones	92
Referencias	94

FIGURAS

Figura 1. Fisuras de contracción por secado en el concreto armado.	26
Figura 2. Formación de carbonatos de calcio en la pared celular bacteriana	37
Figura 3. Flujograma del proceso de ensayo de autorreparación y resistencia del concreto	48
Figura 4. Muestra de cultivo bacteriano para identificación	50
Figura 5. Preparación para medio de cultivo.	51
Figura 6. Inoculación de cepa en medio de cultivo	51
Figura 7. Caldo de cultivo	53
Figura 8. Recolección de bacterias para siembra en caldo de cultivo	54
Figura 9. Caldo de cultivo en Incubadora eléctrica	54
Figura 10. Verificación de <i>L. sphaericus</i> mediante microscopio electrónico	56
Figura 11. Verificación de la densidad de bacterias mediante el espectrofotómetro.	56
Figura 12. <i>L. sphaericus</i> captado mediante SEM a los 6 días de cultivo	58
Figura 13. Prueba de asentamiento de la mezcla	59
Figura 14. Elaboración de probetas cilíndricas de 4" x 8"	61
Figura 15. Dosificación de cultivo bacteriano en mezcla de concreto	61
Figura 16. Análisis SEM en laboratorio de ciencias UNI-LIMA	63
Figura 17. Muestras prismáticas para análisis con SEM	64
Figura 18. Colocación de muestra para cargar al microscopio.	65
Figura 19. Ensayo a compresión Lab. Quality Pavements-Piura	66
Figura 20. Ensayo a compresión de probetas cilíndricas LEM-UNI	67
Figura 21. Curva granulométrica del agregado fino	71
Figura 22. Curva granulométrica de agregado grueso	72
Figura 23. Cepa liofilizada de <i>L. sphaericus</i>	73
Figura 24. Vista en microscopio electrónico-Coloración de <i>L. sphaericus</i>	74
Figura 25. Revisión de autorreparación zzen microgrietas de muestras de concreto	76
Figura 26. Muestra de control ABC00 a los 7 días de curado-SEM	77
Figura 27. Muestra de control ABC00 a los 14 días de curado-SEM	77
Figura 28. Microgrieta a los 7 días con ABC15-SEM	78
Figura 29. Microgrieta a los 14 días con ABC15-SEM	78
Figura 30. Microgrieta a los 7 días con ABC20-SEM	79
Figura 31. Microgrieta a los 14 días con ABC20-SEM	79
Figura 32. Microgrieta a los 7 días con ABC25-SEM	80
Figura 33. Microgrieta a los 14 días con ABC25-SEM	
Figura 34. Morfología del hidróxido de calcio (CH) mediante SEM	81
Figura 35. Morfología del hidróxido de calcio (CH) y carbonato de calcio CaCO ₃ -SEM	81
Figura 36. Morfología del hidróxido de calcio (CH), hidrato de silicato de calcio (CSH) y carbonato de calcio CaCO ₃ -SEM	82
Figura 37. Morfología de carbonato de calcio CaCO ₃ y etringita-SEM	82

Tablas

Tabla 1. Resultados de agregado fino	71
Tabla 2. Resultados de agregado grueso	73
Tabla 3. Dosificación en kg/m ³	75
Tabla 4. Dosificación por volumen en pie cúbico	75
Tabla 5. Prueba de asentamiento del concreto $f'c=350$ kg/cm ²	76
Tabla 6. Resultados de análisis SEM de muestras prismáticas	76
Tabla 7. Resultados de ensayos a los 7 días	85
Tabla 8. Resultados de ensayos a los 14 días	86
Tabla 9. Resultados de ensayos a los 28 días	87

| Colección Ingeniería |

Concreto y climas cálidos en el norte del Perú.

**Autorreparación y resistencia del concreto incorporando la
bacteria *Lysinibacillus sphaericus***

· Serie ·
Ingeniería Civil

Dedicatoria

A mi padre Hermenegildo y madre Donatila, a mi esposa Giovanna e hijos que en todo momento me motivan a seguir con mis aspiraciones y objetivos.

Yuber Bautista

A mi maravillosa esposa Sheyla Tatiana y mi pequeña Gianna Kaela por comprender mi ausencia en algunas oportunidades. Y recuerden siempre esta frase: "hermosa luces para mí y que no hay nada como el dulce que tiene su voz".

Marco Cerna

Capítulo 1

Antecedentes

1. 1 Introducción

En el ámbito de la construcción es inevitable el uso del concreto y junto a él existe diversas anomalías que afectan su proceso y representa una gran amenaza a la vida útil de la estructura para el cual fue diseñada y al medio ambiente. La aparición de microfisuras en el concreto es inevitable y es un reto para los ingenieros civiles a nivel mundial ya que es considerado muy perjudicial para la durabilidad de una estructura. Este desafío ha llamado la atención a los investigadores a buscar nuevas técnicas y procesos para elaborar concreto con biomateriales sostenibles (Algaifi et al., 2018).

El concreto, en gran parte, es una amenaza al medio ambiente ya que para su elaboración se requiere fuerte utilización de energía, emisión de CO_2 y la posible aparición de grietas y ello conlleva a disminuir su resistencia; debido a ello el concreto pasa a ser un material no sostenible. Las fisuras en el concreto siempre se van a producir ya que trabaja a tracción y con la participación de varios factores con carga y sola soportando su propio peso. Las grietas responden a diversas fuentes como son la contracción plástica, contracción por secado, por tensiones térmicas, esfuerzos por cargas externas y corrosión del acero estructural. Debido a estas causas del agrietamiento, la estructura queda expuesta para agentes nocivos como es la humedad, agua contaminada con productos químicos de reducen la vida útil del concreto provocando su degradación por la acción química de elementos.

Las microfisuras en el concreto es inevitable y perjudicial ya que puede crear flujos interconectados debido a la acción de la carga externa; esta anomalía es fuente de ingreso de sustancias contaminantes que facilitarán la corrosión del acero de refuerzo comprometiendo la durabilidad de la estructura. Las recientes investigaciones se enfocan al concreto bacteriano que pueden reparar grietas (Algaifi et al., 2018). El problema de la corrosión fenómeno fácilmente no se detecta y repara dentro del tiempo adecuado perjudicando la funcionalidad de la estructura, en el peor de los casos llegando a colapsar (Shanmuga et al., 2019).

Las técnicas de aprovechamiento de bacterias por oxidación bacteriana del carbono orgánico tienen la capacidad de precipitar calcita en las fisuras de los materiales a base de cemento; en la actualidad se vienen investigando ampliamente para la prevención y tratamiento de las microgrietas. Bajo este enfoque, (Chaerun et al., 2020), investigaron el comportamiento de una cepa de bacteria alcalifílica en Indonesia llamado *Lysinibacillus sphaericus* cepa SKC/VA1, adicionado con lactato de calcio pentahidratado por ser de menor costo. A esto se fueron agregando distintas dosificaciones de inóculo bacteriano. La bacteria fue elegida por su buen desempeño y adaptabilidad al pH básico.

Nuestro estudio se basará en la utilización de la bacteria denominada *Lysinibacillus sphaericus* como agente que contribuye a la autorreparación de las fisura y grietas en el concreto, producido por muchas causas siendo la más resaltante el fenómeno de reacción exotérmica que se produce en la primera etapa de fraguado del concreto, así como también generados durante la

funcionalidad de la estructura. Existen investigaciones recientes en Asia sobre el aprovechamiento de dicha bacteria para este fin aplicado al uso del concreto, por ser un material de uso global donde se puede observar deterioros prematuros por exposición del acero de refuerzo e inclusive la degradación del propio concreto. Es ahí donde surge la necesidad de poder reparar dichas fallas.

Sabemos que la técnica de empleo de epóxicos e inyecciones sobre estas fallas es un riesgo para quienes realizan esta labor ya que emanan vapores tóxicos que son contaminantes y la amenaza latente a nuestro entorno ambiental ya que si no son detectados a tiempo compromete la durabilidad de la estructura. Mediante el estudio de esta novedosa técnica para el uso correcto del aditivo bacteriano se va contribuir en la industria de la construcción atendiendo a diferentes construcciones y contribuyendo con un desarrollo sostenible; esto significa realizar las actividades necesarias sin causar impactos negativos al entorno socio ambiental pensando en la preservación de los ecosistemas para la población futura.

Frente a esta realidad problemática se vienen buscando alternativas que buscan mejorar la resistencia y durabilidad del concreto, que a la vez se comporte en armonía con el entorno y los ecosistemas naturales mediante la incorporación de bacterias al concreto que van ayudar a disminuir las grietas que principalmente son causantes del deterioro prematuro de la estructura de concreto por acción de agentes químicos y sales naturales; ya que es una puerta de ingreso para el agua, aire, suspensión de

partículas y minerales que afectan al concreto llegando a producir filtraciones o emanación de contaminantes. Dichas anomalías en el concreto en su mayoría no se detectan a tiempo causando daños a futuro en las estructuras, produciendo la interrupción del servicio para su mantenimiento e inclusive su reemplazo. La incidencia es mayor cuando la estructura está expuesta al agua; las grietas identificadas visualmente pueden ser reparadas con intervención antropogénica teniendo varias dificultades como es la accesibilidad, costo, mayor costo de implementos de seguridad, daños a la salud y sobre todo los daños que causan al entorno ambiental debido a la utilización de productos químicos. El uso del cemento representa el 7% de la contaminación por emisión del CO antropogénico global. Debido a esta problemática es necesario encontrar una solución sostenible donde se pueda reducir los costos y la intervención de la mano de obra para el resane de dichas anomalías en el concreto.

Este problema es de competencia multidisciplinaria sobre todo para los que investigamos e innovamos en el campo de la ingeniería civil de la mano con la microbiología y demás ciencias apoyados de la tecnología moderna para poder dar alternativas de solución a las necesidades de la sociedad y despertar expectativas para la continuidad de investigaciones futuras sobre el aporte que pueda tener la microbiología hacia un campo de la ingeniería.

Figura 1. Fisuras de contracción por secado en el concreto armado.



Frente a las necesidades, se propone el planteamiento del problema de investigación: ¿Cuál es la influencia del *Lysinibacillus sphaericus* en la autorreparación y resistencia del concreto $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$?

El estudio de las variables justifica a la gran contribución que necesita este campo de la ingeniería, con la búsqueda de mayores conocimientos para encontrar mejores soluciones sostenibles y sustentables para la reparación de las grietas y fisuras de diversos orígenes, que son difíciles de encontrar a simple vista y que significa un gran perjuicio para la estructura ya que mediante ello puede ingresar el aire, agua y agentes externos causando una amenaza con la disminución de la resistencia del diseño y capacidad por ende es una amenaza en la durabilidad del concreto.

El objetivo general que busca la investigación es: Determinar la influencia del *Lysinibacillus sphaericus* en la resistencia a compresión y autorreparación del concreto en climas cálidos. Y como objetivos específicos se busca: (1) Determinar las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezcla, (2) Determinar el medio de cultivo para *Lysinibacillus sphaericus*, 3) Elaborar el diseño de mezcla para el concreto patrón y con incorporación del *Lysinibacillus sphaericus*, (4) Determinar el efecto del *Lysinibacillus sphaericus* en la autorreparación del hormigón $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$, (5) Determinar el efecto del *Lysinibacillus sphaericus* en la resistencia a compresión del hormigón $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.

Hipótesis: Influye la incorporación de la bacteria *Lysinibacillus sphaericus* en la autorreparación y resistencia a compresión del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$.

1.2 Marco teórico

El aprovechamiento de distintas bacterias incorporadas al concreto es posible gracias a los distintos métodos y ensayos en laboratorio sobre el comportamiento físico químico del concreto.

Existe investigaciones relacionadas de los cuales podemos rescatar en el trabajo de investigación titulado: “Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto”, donde se tuvieron 02 objetivos generales: (1) Determinar de qué manera influye la adición de bacterias al concreto y su proceso de reparación de la

fisuración controlada, (2) Aislar e identificar bacterias que productoras de carbonato de calcio (CaCO_3). La metodología utilizada fue de tipo investigación básica o pura con un enfoque cuantitativo y con diseño experimental transversal. Como resultado del trabajo se tuvo que existe relación con la hipótesis planteada. Al adicionar las bacterias se evidencia que el concreto se autorepara y mejora sus propiedades mecánicas como es el incremento de la resistencia a compresión. De 17 cepas bacterianas, tuvo mejores respuestas 2 cepas debido a que indujeron la producción de carbonato de calcio (CaCO_3). La reparación de las fisuras considerando la *Paenibacillus lactis* reparó un 70%, mientras cuando se utilizó la *Bacillus firmus* 80.6%. Se analizó en cuanto a la resistencia a la compresión, considerando las cepas de *Paenibacillus lactis* el cual tuvo un incremento en 35.68% y 14.08% a favor de la cepa de *Bacillus firmus*; ambos resultados son comparados en base a muestras convencionales. La dosis utilizada de bacterias por ml fue de 3×10^8 aproximadamente para muestras incorporados tanto en la mezcla e inoculados superficialmente. Las probetas prismáticas que fueron vertidas la bacteria sobre su superficie y adicionado en la mezcla precipitaron CaCO_3 en cantidades parecidas. Se concluye que las fisuras inducidas fueron hasta 3mm los cuales sellaron con buen porcentaje (Alarcón, 2019).

El desarrollo tecnológico se viene acrecentando a pasos gigantescos debido a la gran demanda en el desarrollo sostenible. La innovación e investigación sobre el uso masivo del concreto viene teniendo buenos resultados sobre todo en la utilización de agentes biológicos que reducen la amenaza a nuestro medio am-

biente y que se están dando un producto o resultado satisfactorio adicionando bacterias al concreto para luego autorepararse; tal como demuestra en su investigación Shanmuga Priya et al. (2019) en su artículo científico de la revista *Construction and building* titulado: “*Strength and durability characteristics of concrete made by micronized biomass silica and Bacteria-Bacillus sphaericus*”, en el cual tiene como propósito la evaluación en cuanto a las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos altamente resistentes y se tuvo las siguientes conclusiones: (1) El ensayo de actividad de la ureasa determinó el uso adecuado de la bacteria *Bacillus sphaericus* en concretos para la autorreparación microbiológica de grietas, mediante la prueba se evidenció que la bacteria tuvo una máxima actividad de ureasa alcanzando un valor más alto que fue de 570 U/ml alcanzado a las 120 horas. (2) Mediante la incorporación de bacterias en el concreto MBS se obtuvo buenos resultados en cuanto a sus propiedades mecánicas y de durabilidad; se obtuvo mejores resultados con una dosis de bacterias de 20ml y MBS en un 8%. (3) La dosificación que anteceden alcanzó una resistencia a la compresión de 13.53%, 16.38% y 13,32% sobrepasando los resultados y conservando su resistencia a la tracción y flexión comparado con el concreto de control a los 28 días; esto debido a la formación de hidrato de sílice de calcio en las porosidades del concreto. (4) Se determina que la bacteria y MBS reduce la absorción de agua por la formación del CSH el cual influye enormemente con la durabilidad de la estructura. (5) A través de ensayos con rayos X (DRX) se evidencia intensidades variables en los picos de los espectros XRD de la mezcla bacteriana es más elevado comparando con la mezcla de control, además se evidencia mayor formación de calcita en la mezcla bacteriana con relación

a la mezcla de control; razón por la cual se reduce la absorción del agua en la mezcla. Se comprobó la eficacia de autorreparación del concreto mediante la visualización, provocando fisuras en vigas y haciendo seguimiento durante los 7 días en depósito de curado de las muestras que dieron resultado que es posible prolongar la vida útil del concreto debido a la buena actividad de la ureasa y la buena resistencia de la bacteria para sobrevivir mucho más tiempo que otras.

La identificación de bacterias capaces de sobrevivir dentro del concreto y la capacidad de autocuración del concreto debido a la acción de ellas es un gran avance y puertas a la investigación, así lo demuestra en el artículo de revisión de Erşan et al., (2015) i.e. *very high pH, small pore size and dry conditions, protection methods/materials have been used to preserve the bacterial agents. A wide screening of commercially available materials is thus required to evaluate them as alternatives. This study describes the influence of six commercially available possible protection approaches (diatomaceous earth, metakaolin, expanded clay, granular activated carbon, zeolite and air entrainment "Screening of bacteria and concrete compatible protection materials"*, que tuvo como su objetivo principal el evaluar el efecto de materiales y métodos de protección a emplearse en la elaboración del concreto bacteriano; teniendo los siguientes resultados: (1) Los métodos para protección de las bacterias comprobadas para cultivos axénicos, el arrastre de aire y zeolita disminuyó la resistencia a la compresión del mortero. (2) Tiene mucha importancia la encapsulación de las bacterias ureolíticas para que no disminuya su resistencia a compresión. Esto principalmente se debe a la presencia de levadura.

Como alternativa se debe utilizar desnitrificadores ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{HCOO})$) que no alteran la resistencia y son accesibles. Se concluye que el uso de materiales de encapsulación porosos como la arcilla expandida y el carbón activado es de gran ventaja para el uso con agentes bacterianos en un concreto autocurativo. Para el uso de cultivos no axénicos que se autoprotegen a conocer son CERUP y ACDC son agentes para la autocuración que se basan en bacterias con más ventajas para este tipo de uso ya que se pueden utilizar sin encapsulación y teniendo buenos resultados sin causar variaciones en contra de la resistencia del mortero. Debido a estas propiedades es materia de estudio para conseguir mejores conocimientos.

El empleo de alta tecnología como es el uso de rayos X mediante una tomografía y la porosimetría para obtener resultados sobre la autorreparación del concreto es de mucha importancia ya que nos permite saber la efectividad del método. Esta investigación fue publicada en el artículo titulado “*High-efficiency techniques and micro-structural parameters to evaluate concrete self-healing using X-ray tomography and Mercury Intrusion Porosimetry*” (Sidiq et al., 2020). Que tuvo como objetivo el de identificar potencialmente la alta eficiencia en el análisis como es el MIP y tomografía de rayos X. Esta investigación estableció diversas conclusiones siendo las más relevantes ya que presentó 2 métodos para el ensayo microestructural muy eficientes para comprobar los resultados de autocuración mediante la porosimetría de mercurio y tomografías de rayos X no solo autoreparados mediante la adición de bacterias, sino también para resultados con polímeros y com-

puestos químicos ya que tiene ventajas ya que facilita el estudio de los vacíos individuales de la muestra comparados con ensayos no destructivos.

El desempeño del CaCO_3 microbiano inducido por algunas bacterias mejora la resistencia a la compresión a la vez contribuye la autocuración de grietas y microgrietas dependiendo de la concentración. En el artículo de revisión titulado: “*Insight into the role of microbial calcium carbonate and the factors involved in self-healing concrete*” (Amer Algaifi et al., 2020). Presento como objetivo principal el de examinar los parámetros producidos por las bacterias para promover la producción de CaCO_3 , concluyendo con su gran aporte de esta sustancia química y el gran interés por continuar las investigaciones con el concreto. Luego de realizar una investigación minuciosa sobre el comportamiento en la matriz del concreto como también la tasa de la hidrólisis de urea y precipitado de CaCO_3 en el hormigón bacteriano. La unión binaria de dicha célula bacteriana no se logra con un elevado pH (12% a 13%); en esta situación la célula vivía como una espora sin poder reproducirse. Con este pH no solo se interrumpió el crecimiento bacteriano, sino que también baja la hidrólisis de urea en un 75% a 80%, comparado con el pH 9. Asimismo, el bioconcreto con incorporación de urea-células mejoró su resistencia a compresión en 15% aproximadamente comparado con el hormigón base a los 28 días, lográndose sellar grietas de 0.4mm a los 70 días de curado.

Disminuir los costos en el mantenimiento preventivo y correctivo de estructuras sobre todo en grietas es un gran reto para todos, que mejor utilizando técnicas de prevención adicionados a la mezcla del concreto como es la incorporación de bacterias que trabajen por las personas, microscópicamente autocurándose grietas en poco tiempo después de aparecidas. Esto es posible gracias a investigaciones realizados en el artículo de revisión titulado: “*Preliminary approach to bio-based surface healing of structural repair cement mortars*” (Bergh et al., 2020). Con el objetivo de analizar el performance de la técnica de autorreparación superficial para controlar fisuras en morteros cementicios en estructuras marítimas. Teniendo las siguiente conclusión consolidada: El estudio preliminar del cultivo de la bacteria *Sporosarcina pasteurii* está mostrando buenos resultados que merece la pena seguir investigaciones en lo que se refiere para estructuras de concreto y edificaciones que están en servicio, inclusive para estructuras en carreteras. Su utilización incrementó un 87% la resistencia a la compresión inicial, pero que afectó al inicio del fraguado en la absorción capilar. Los autores determinaron por primera vez el valor de amortiguación de humedad para el cemento. El resultado del análisis con SEM muestra la diferencia de una grieta con y sin agente bacteriano, en los tratados se evidencia la precipitación de calcita sobre las grietas. También se encontró morfologías más definidas por los productos de hidratación como es el silicato de calcio y etringita. La reparación de grietas no solo fue superficial sino se evidencia que se notó el autocurado hasta las partes más profundas.

La adición de fibras naturales como el lino, coco y yute ayudan significativamente en la resistencia a la compresión y a la capacidad de autocurado en mezclas que contengan bacterias llamadas *Bacillus subtilis* KCTC-3135 T, *Bacillus cohnii* NCCP-666 y *Bacillus sphaericus* NCCP-313 tal como lo afirma en el artículo de investigación titulado: “*Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete*” (Rauf et al., 2020). Teniendo los siguientes objetivos: Investigar su capacidad de autocuración en cada una de las especies de las bacterias y la evaluación de las perspectivas con fibras naturales que mejoran el desempeño de las bacterias en el proceso de autocuración. Teniendo como conclusiones lo siguiente: Las esporas bacterianas inmovilizadas en las fibras naturales de estudio conservaron perfectamente la ureasa y el metabolismo de las bacterias, resultando con buena producción de CaCO_3 . Se logró la autorreparación de grietas de 0.8mm y 0.5mm de muestras inducidas al agrietamiento a los 7 y 28 días respectivamente, después de 28 y 56 días de curación controlada. El promedio aproximado es de 75 y 85% y un 60-65% de resane superficial para muestras bacterianas reforzadas a base de fibras. La aglomeración de cristales y lamelares de CaCO_3 estudiados en la microestructura de concreto producidas por la actividad bacteriana evidencian que la inmovilización con fibras les da la capacidad de reparar las fisuras en el concreto. Las fibras de lino resultaron los más eficientes como vehículo de transportación por darle mayor protección para su eficiente relleno de poros y resane de grietas. Las fibras de coco ayudaron alcanzar las más altas resistencias a la compresión por sus mejores propiedades mecánicas comparadas al del lino y yute. La bacteria *Bacillus sphaericus* NCCP-313 mostró

mejor eficiencia en el curado del concreto debido a su mayor capacidad de formación de calcita frente a *B. subtilis* KCTC-3135 y *B. cohnii* NCCP-666.

La incorporación de las bacterias a la mezcla de concreto puede darse principalmente de 2 maneras; directa y encapsulado. Al momento de encapsular en agentes minerales o químicos teniendo en cuenta varios aspectos que van a definir la eficacia del aditivo bacteriano ya que si no se hace un buen manejo puede repercutir en la baja resistencia del hormigón. Para ambos casos se tendrá resultados óptimos y a temprana edad si existe humedad sin necesidad de estar sumergido, esto se debe a la oxigenación exigente para la precipitación de calcita. Esta investigación está plasmada en el artículo de (Gupta et al., 2017) titulado: "*Autonomous healing in concrete by bio-based healing agents*", realizado en Singapur; teniendo como objetivo la evaluación sobre la autorreparación del concreto mediante la incorporación de bacterias ya sea incorporado directo al concreto o previamente encapsulados en compuestos minerales y químicos. La técnica de encapsulación obedece a la supervivencia de la mayor población de las bacterias al momento de ser incorporado a la mezcla; de esto va a depender de la efectiva reparación del concreto y que repercute en la recuperación de su resistencia mecánica y mejorando su durabilidad. En cuanto a la recuperación de sus propiedades mecánicas del concreto autocurativo va a depender de varios factores como el curado, la densidad de esporas y nutrientes favorables, edad del concreto y el tiempo que tarda en la autocuración. La curación puede tener éxito de dos maneras; por precipitación de CaCO_3 para reparar las fisuras y por acción química del dióxi-

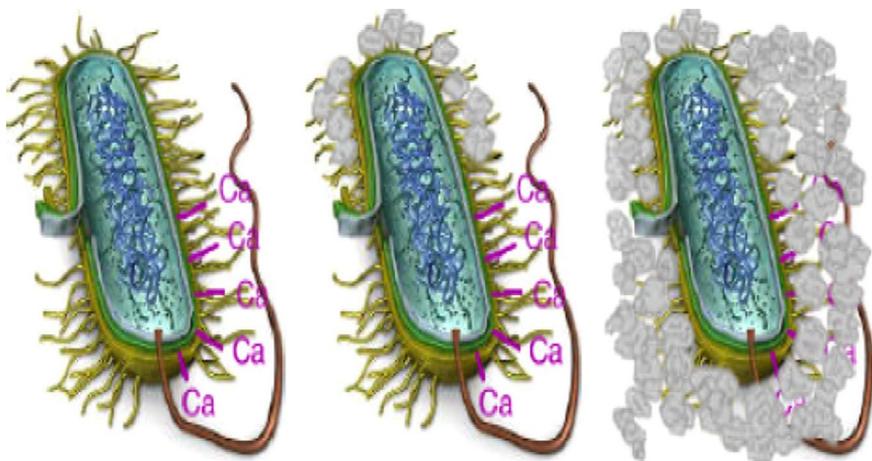
do de carbono (CO₂) metabolizada por las bacterias al contener portlandita que es un mineral base para la producción de cementos.

En el artículo de investigación titulado “*Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete*” (Wang et al., 2012) se utilizó muestras con 0.35mm los cuales fueron observados por separados en tubos de ensayo; en una muestra contenía el hormigón con células bacterianas encapsuladas con poliuretano y en otra con gel de sílice. Se tuvo mejor actividad de precipitación de CaCO₃ o mayor actividad en este último. No obstante, concluye que no aporta suficiente en la recuperación de la resistencia a la compresión máximo un 5% en comparación a lo encapsulado con PU que mostró recuperación entre un 50 y 80%; estudios muestran del PU que es un buen sellador el cual se le atribuye dichos resultados que son materia de investigación (Wang et al., 2012).

En la presente investigación se tuvo bases teóricas lo siguiente:

El concreto es uno de los componentes más importantes en la construcción por su gran aporte de muchas propiedades físico y mecánicas que cada vez es mayor su uso sin medir los daños al medio ambiente por su uso y mal almacenamiento de los materiales para su elaboración. Los principales agentes de contaminación son el monóxido de carbono por el empleo del cemento y las grietas incluso la fuerte contaminación que produce las micro grietas (Shanmuga Priya et al., 2019).

Figura 2. Formación de carbonatos de calcio en la pared celular bacteriana



Fuente: (Vijay et al., 2017).

Para la clasificación de la bacteria se utiliza la técnica de Tinción de Gram que es una gran herramienta para la identificación en microscopio, los cuales responden al tinte según el tipo de pared celular que poseen. La pared bacteriana es la estructura que da forma a la célula protegiéndola de la lisis osmótica, sustancias tóxicas y es donde actúan muchos antibióticos. La pared celular de bacterias Gram positivas están compuestas por una pared gruesa compuestas por péptidoglicano (el cual determina las características tintoriales) pero carecen de membrana celular externa (Gebremariam, Chekol y Assefa, 2021).

Una opción de medio de cultivo para las bacterias son en agar triptona soja (TSA); Para el uso de las bacterias en forma de cultivos líquidos se utilizan matraces agitados de contenido caldo de triptona (TSB)(Mohammed et al., 2020).

La mineralización se produce gracias a la utilización de las bacterias ureolíticas que son capaces de producir enzima ureasa que cataliza la hidrólisis de la urea que da como resultado la producción de carbamato y amoníaco el cual hace que se incrementa el pH de su entorno (Charpe et al., 2017).

La autorreparación del concreto es una nueva técnica que se viene adaptando en la construcción a base de hormigones consiguiendo buenos resultados mediante la incorporación de bacterias al concreto donde se realiza la autocuración por la precipitación de CaCO_3 inducida por bacterias dentro de ellos el *Bacillus sphaericus* que no es peligroso para las personas (Gupta et al., 2017).

Se investigó sobre la influencia que pueda tener la bacteria sobre la reparación de fisuras considerando su factibilidad, comportamiento y su disponibilidad. Se evaluará el costo de la incorporación de las bacterias. Se controlará la reparación de fisuras haciendo seguimiento en laboratorio. Dentro del diseño de mezcla se incluye plastificante a base de biopolímeros de compatibilidad adecuado para poder mezclar con dicha bacteria; gracias a este aditivo se mejorará la trabajabilidad y vertido del concreto. Se realizarán ensayos en laboratorio según la norma ASTM C192 / C192M y ASTM C143 / C143M – 20.

Para revisar los segmentos de las porosidades y grietas inducidas en el concreto con el fin de estudiarlas su comportamiento de autocuración o autorreparación con el proceso de sellado. Mediante esta tecnología se puede ver la geometría de los vacíos y su progreso de sellado (Sidiq et al., 2020).

La elaboración de la mezcla se realizó utilizando mezclador de concreto, para el curado de probetas se realizará según (NTP 339.183, 2013). La prueba de revenimiento se realizará según (NTP 339.035, 2009) Utilizando probetas y herramientas manuales como el cono de Abrams con dimensiones contempladas en dicha norma. Para analizar la resistencia según norma (Norma Técnica Peruana NTP 339.034, 2015) en su cuarta edición.

Según la publicación de la revista *Biochem Eng Biotechnol* titulado: “*Alkaliphiles: The Emerging Biological Tools Enhancing Concrete Durability*” hace mención que las muestras se pueden tratar de dos formas; primero se embebieron los testigos en el cultivo bacteriano y luego secados manualmente. Por otro lado, se sumergieron en solución de urea y Ca^{2+} en un lapso de 72 horas para el precipitado de CaCO_3 . En el proceso de inmersión continua se lograron la precipitación en capas de 150 a 290 micrómetros. Para el caso de inmersión instantáneo y secado manual la precipitación fue por las bacterias que se sumergieron en la superficie del concreto. En los dos casos se limitó la absorción del agua por capilaridad y la permeabilidad a la emisión de gases; adicionalmente se superó la resistencia a la carbonatación, filtración de cloruros, congelamiento y descongelamiento. La falta de oxígeno en las grietas profundas limita la actividad microbiana teniendo

como consecuencia la baja precipitación de calcita esto para el caso de bacterias aeróbicas (Mamo, 2019).

Una investigación publicado por la revista *construction and building materials* en el artículo científico denominado “*Effects of spray-dried co-cultured bacteria on cement mortar*” hace mención a la gran importancia que tiene las bacterias para autoreparar el concreto; existe una gran dificultad en el crecimiento bacteriano en condiciones bastante complicados como es en el concreto y la influencia para la hidrólisis de la urea que es de vital importancia para la precipitación de carbonato de calcio en el concreto. *Lysinibacillus sphaericus* se utilizó para estos ensayos. El rango de pH se estudió entre 7-13 para notar la actividad ureolítica asimismo con diferentes dosis de urea, nitrato de calcio tetrahidratado e incorporación de células bacterianas. Dicha investigación con el fin de evaluar la mejora en la resistencia a la compresión y la capacidad de autorreparación de las grietas del concreto. Los resultados mostraron que las bacterias sobrevivieron en un pH de 12-13 sin poder reproducirse bajo estas condiciones de inactividad y demostró que su eficiencia al 75% dentro del poro concreto debido a su alto pH. Los resultados indicaron una mejoría de 9, 10 y 15% en la resistencia a la compresión gracias al contenido de esporas, células vegetativas y urea-vegetativas con relación al concreto patrón. Mientras que la curación en la boca de las grietas de 0.4mm se produjo a los 70 días; a diferencia que en el inferior de la grieta selló un 15% menor al superficial. Esta práctica demostrada conlleva al uso de un concreto sostenible ya que es autoreparable y prolonga la vida útil de la estructura (Jang et al., 2020).

El uso de distintas fuentes de calcio hacen posible el aislamiento de cultivo bacteriano empleando $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y CaCl_2 los cuales son materiales usados en ingeniería como suministro de iones de calcio. El medio de cultivo B4 fue sustituido por $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ junto con otras fuentes de calcio mencionados; Se inició utilizando un pH de 7.0 en todos los ensayos que fueron efectuados tres muestras de cada uno. Siendo vital las muestras sin inocular que sirvieron de control; los cultivos se incubaron a 30°C y a una velocidad de 150 rpm durante 7 días. En el transcurso de la incubación se fueron recolectando el cultivo cada 12-24 horas para medir el crecimiento bacteriano utilizando el método de recuento en placa (Ekprasert et al., 2020).

Como marco conceptual se tiene lo siguiente:

Aditivo plastificante: El aditivo plastificante utilizado mejora las propiedades de trabajabilidad y reduce el uso de agua adecuándose a una relación óptima de $A/C=0.43$. Según el fabricante menciona que incrementando la dosificación actúa como superplastificante. Su densidad es de $1.195 \pm 0.01\text{g/cm}^3$

Lysinibacillus sphaericus, hasta 2007 era llamado *Bacillus sphaericus* al cual fue cambiado su estatus taxonómico; la clasificación está basado en la fisiología y fenotipo. Es una bacteria Gram-positiva, aeróbica, mesófila y formadora de esporas que por lo general se hace el aislamiento del suelo. Es un bacilo arcaico ya que se ubicaron esporas en 25-Ambar con antigüedad de 40 millones de años (Xu et al., 2015).

Cemento: Mezcla formada de arcilla y materiales calcáreos que son sometidos a cocción y molidos finamente que al ser adicionado agua se endurece solidificándose

El cemento utilizado es de tipo V de alta resistencia al ataque de sulfatos. El **concreto** es material de construcción duro, con buena resistencia y alta durabilidad; su deterioro reduce la vida útil y resistencia, la principal causa son las grietas o fisuras que alavés puede provocar la corrosión del acero de refuerzo por exposición de humedad y otros agentes contaminantes(Marwar et al., 2020).

Bioconcreto autoreparable: Técnica ecológica desarrollado por investigadores con la finalidad de sellar o reparar grietas en el concreto(Marwar et al., 2020)

Cultivo: “Método de obtención de microorganismos, células o tejidos mediante siembras controladas en medios adecuados” (Kalhori y Bagherpour, 2017).

Las **Bacterias** son organismos procariotas que no tienen núcleo debido a ello su ADN se halla en el plasma que viene a ser una molécula circular; las que viven en la superficie producen esporas tales como los Bacillus y Clostridium. Cada género son distintos en algunos casos se pueden diferenciar por la pared celular, demanda de oxígeno o cierta temperatura para poder sobrevivir (Mutitu et al., 2019)

Cepa: Población de una sola especie que desciende de una sola célula (A. Pumalora, A. Rodríguez-Torres, J.A. García-Rodríguez, 2013)

Las **esporas** se denominan a las células que resisten sin dificultad a elevadas temperaturas, contaminantes químicos importantes y a las radiaciones (Pumalora., 2013).

MICP: Precipitación de calcita inducida microbiológicamente (Giriselvam et al., 2018)

Aditivo bacteriano: Tratamiento avanzado que mejora las propiedades del concreto mediante la adición de microbios se consigue que actúen en forma inteligente a diferencia del concreto convencional (Mutitu et al., 2019).

Aislamiento bacteriano: según el género se pueden encontrar en el suelo; de ello se utiliza una porción de suelo fértil del cual se realiza los siguientes procesos: En forma aséptica se toma 1g de la muestra para diluirlo en 5ml de agua destilada estéril para luego agitarlo rápidamente en vortex durante 20 segundos, obteniendo la solución madre que a partir de ella se retira 0.1ml de solución para inocular y esparcir mediante una espátula de Drigalsky sobre el medio de cultivo que fue preparado a base de agar nutritivo en placas petri para ser incubados a 35°C durante 24h para luego derivarlos al contador de colonias que mediante la lupa de aumento se diferencian por su color y forma las colonias bacterianas (Mendez-Ubeda et al., 2017).

Capítulo 2

Metodología

2.1 Tipo y diseño de la investigación

El diseño cuasi experimental comprende la manipulación de al menos una variable independiente para estudiar su efecto en variables dependientes; se diferencia del experimento puro es debido al nivel de confianza del resultado inicial de los grupos. Los grupos son intactos, se entiende que los grupos ya están conformadas antes del experimento (Hernández et al., 2014).

2.2 Variables y operacionalización:

Variable independiente: Incorporación de *Lysinibacillus sphaericus* al concreto.

Variables dependientes:

1: Autorreparación del concreto $f^c=350\text{kg/cm}^2$

2: Resistencia a la compresión del concreto $f^c=350\text{kg/cm}^2$

2.3 Población, muestra y muestreo:

La población fueron las probetas cilíndricas y muestras prismáticas, la muestra es la población en general los cuales las cilíndricas fueron destinadas a rotura a los 7, 14 y 28 días. En las muestras prismáticas fue analizado el sellado de las fisuras y microgrietas a los 7 y 14 días.

Las muestras cilíndricas fueron elaboradas un total de 36 con las siguientes dosificaciones: Muestra de control 9 unidades (ABC00); 9 probetas con una dosis bacteriana de 15ml/m³ (ABC15); 9 probetas con dosis bacteriana de 20ml/m³ (ABC20); 9 probetas con dosis bacteriana de 25 ml/m³ (ABC25). Dichas muestras fueron sometidas a esfuerzos por compresión a los 7, 14 y 28 días. 3 muestra de cada uno según la edad de curado.

Para la determinación de la autocuración del concreto se elaborarán 12 muestras prismáticas que será evaluados visual y microscópicamente; previamente se inducirán grietas y fisuras con aberturas menor igual a 1mm que serán observadas su comportamiento a los 7 y 14 días; Para ello se utilizará la dosificación con aditivo bacteriano a razón de 15, 20 y 25ml/m³ para cada grupo de 03 muestras; para ello se utilizó la misma mezcla empleado para las probetas cilíndricas.

La investigación utiliza un muestreo probabilístico aleatorio simple sin reemplazo. La recolección de datos está basada en trabajos y ensayos en laboratorio utilizando formatos y tablas para evidenciar los resultados obtenidos según los objetivos propuestos.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

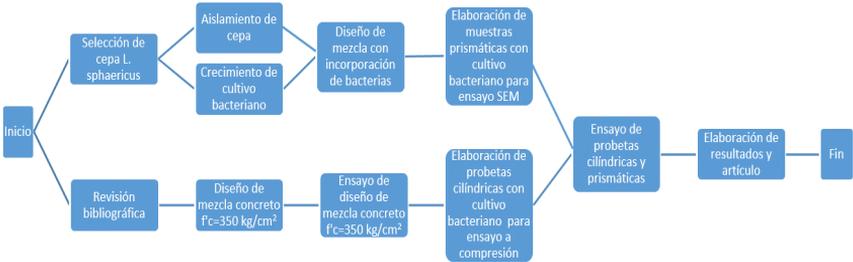
Se usa la técnica de la observación y para el estudio de microfisuras se realizó en un laboratorio de ensayo equipado con microscopio electrónico de barrido (SEM).

Los **instrumentos** de recolección como son fichas de laboratorio, equipos como prensa hidráulica, tamices y otros materiales que se emplea en el estudio cumplen las normas. Asimismo, un laboratorio de microbiología provisionado principalmente de microscopio electrónico calibrado, instrumentos, materiales, reactivos para el cultivo bacteriano.

Los equipos de precisión deben estar debidamente calibrados y certificados.

2.4 Procedimientos

Figura 3: Flujograma del proceso de ensayo de autorreparación y resistencia del concreto



Nota: El proceso de investigación tiene principalmente dos etapas; la primera y más compleja consiste en inocular la bacteria a un medio de cultivo para su crecimiento para posteriormente ser propagado en caldo de cultivo hasta alcanzar la población requerida. Estos ensayos están basados en artículos científicos mencionados en los antecedentes. Una vez realizado la primera

etapa ya se puede incorporar a la mezcla según los diseños y dosificaciones correspondientes para realizar los ensayos de autorreparación y resistencia a compresión.

Determinación de las propiedades físicas de los agregados

Se basa en las siguientes normas:

- MTC E201 Muestreo para materiales de construcción.
- MTC E202 Cantidad de material fino que pasa por lavado al tamiz #200.
- MTC E203 Peso unitario y vacíos de los agregados
- MTC E204 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
- MTC E205 Gravedad específica y absorción de agregados finos.
- MTC E206 Peso específico y absorción de agregados gruesos.

Proceso de obtención del cultivo bacteriano

La bacteria *Lysinibacillus sphaericus* cepa 4525 LOT 161939 fue importada de ATCC (American Type Culture Collection),

USA en forma liofilizada en presentaciones tipo asas conservados entre 2 a 8°C.

El proceso de inoculación de las esporas se realizó según el manual del proveedor.

Figura 4. Muestra de cultivo bacteriano para identificación



Figura 5. Preparación para medio de cultivo.



Figura 6. Inoculación de cepa en medio de cultivo



Se esperó el enfriamiento y/o congelamiento del medio agar para proceder a la inoculación de las bacterias liofilizadas.

Previo a ello se dejó descongelar a temperatura ambiente las asas durante 15 minutos para proceder hacer la inoculación sobre el medio de cultivo; este proceso se realizó en laboratorio clínico guardando asepsia y utilizando mechero de Bunsen. El siguiente paso fue cerrarlos correctamente para poder trasladar a la incubadora durante 24 horas a una temperatura de 30°C; pasado este tiempo se observó las colonias mediante microscopio electrónico teniendo como resultado poca población bacteriana para mejorar el crecimiento bacteriano se continuó incubando hasta completar las 72h para este último proceso se elevó la temperatura a 35°C teniendo como resultado el incremento de la población bacteria-

na; esto observado gracias al espectrofotómetro. Seguidamente se diluyó el caldo nutritivo en matraz de 500ml en una proporción de 250g utilizando recipientes y espátulas asépticos esterilizados en autoclave y utilizando el mechero.

Figura 7. Caldo de cultivo



Procediendo al raspado de las colonias que crecieron sobre el medio de cultivo de en las placas Petri para hacer la siembra sobre el caldo nutritivo.

Figura 8. Recolección de bacterias para siembra en caldo de cultivo

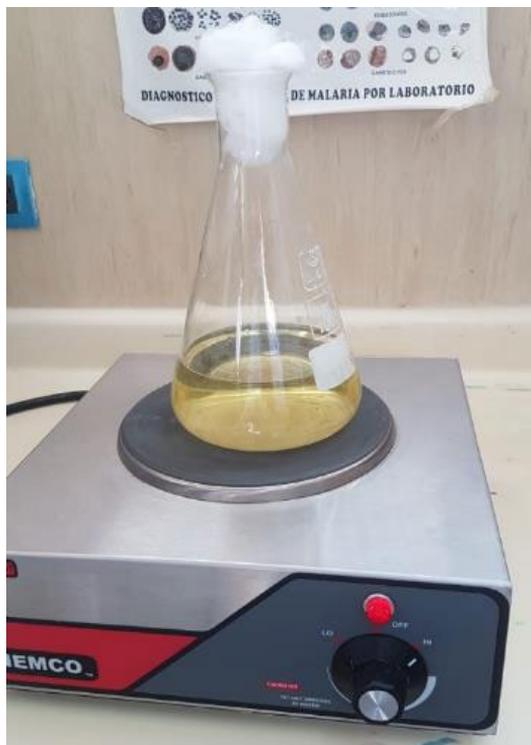


Se procedió la incubación similar al de las placas Petri durante 72h ya que la temperatura ambiente de la ciudad de Piura la mínima es de 19°C y la máxima de 29°C según el SENAMHI para el periodo que duró la presente investigación.

Al tercer día se hizo la medición gracias al espectrofotómetro teniendo como resultado 0.585 OD a 600nm el cual no fue favorable para la aplicación a la mezcla teniendo que esperar el crecimiento del cultivo alrededor de 1.0 según los antecedentes

relacionados a la investigación el cual se logró a los 10 días de cultivo.

Figura 9. Caldo de cultivo en Incubadora eléctrica



Paso 2. Cultivo bacteriano:

Para el reconocimiento y verificación de la cepa *L. sphaericus* 4525 se hizo la prueba bioquímica de Tinción de Gram para poder observar mediante el microscopio electrónico y comprobar su clasificación como Gram positivas; para ello se hizo un procedimiento en laboratorio.

Figura 10. Verificación de *L. sphaericus* mediante microscopio electrónico



Figura 11. Verificación de la densidad de bacterias mediante el espectrofotómetro.



Morfología y caracterización del bacilo

Tinción de Gram

En 1884 el Dr. Hans Christian Gram descubrió esta técnica. Es muy empleada en bacteriología siendo una herramienta primordial para la identificación de diferentes tipos de bacterias por su coloración, morfología y asociación. Según su composición estructural las bacterias se clasifican en Gram positivas y Gram negativas dependiendo de su pared (Corrales Ramírez y Caycedo Lozano, 2020).

El procedimiento para la tinción de Gram es como sigue:

1°.-Se emplea una lámina portaobjeto estéril

2°.-Mediante el uso de una pipeta se deja caer una gota sobre la lámina y se frota expandiendo sobre la placa secando al aire y fijando con calor con la ayuda del mechero.

3°.-Sobre la muestra se adiciona violeta cristal dejando cubrir durante 60 segundos

Procediendo a enjuagar con agua dicha tintura.

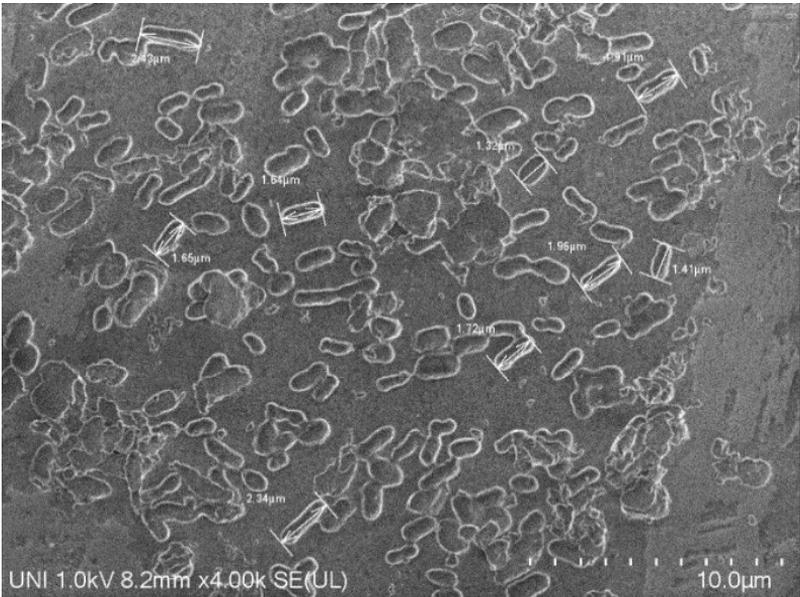
3°.-Se adiciona Gram's yodo dejando actuar por 60 segundos sobre la muestra bacteriana y procediendo al enjuague con agua.

4°.-Se agrega el decolorante acetona tratando de cubrir la muestra inclinando lentamente en distintas direcciones procediendo al enjuague.

5°.-Se contratiñe con safranina dejando actuar durante 30 segundos procediendo al enjuague.

6°.- Se seca la muestra para proceder a examinar con la ayuda del microscopio electrónico con aumento de 100x (Gebremariam et al., 2021)rod-shaped, and spore-forming microbial entomopathogen. The silverleaf whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn..

Figura 12. *L. sphaericus* captado mediante SEM a los 6 días de cultivo



Paso 3. Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla $f'c=350\text{kg/cm}^2$ se realizaron ensayos previos en laboratorio de concreto como son:

- MTC E701 Toma de muestra de concreto fresco.
- MTC E702 Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio.
- MTC E704 Resistencia a la compresión testigos cilíndricos.
- MTC E705 Asentamiento del concreto (SLUMP).
- MTC E728 Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland

Figura 13. Prueba de asentamiento de la mezcla



Las probetas cilíndricas fueron elaboradas según MTC E 702 y la norma NTP 339.183:2013. Siendo sometidos a rotura según MTC E 704 y norma NTP 339.034 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas; para prueba de SLUMP se realizó según MTC E 705 y según NTP 339.035: Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland. Para los ensayos mediante análisis SEM para la curación de las grietas se elaboró muestras prismáticas tipo rectangulares con las dimensiones de 2.5cm de ancho x 2.5cm de alto x 7.5cm de longitud; como muestra patrón sin cultivo bacteriano, con adición bacteriana de 15, 20 y 25ml que fueron inducidos a grietas; posteriormente se observaron su comportamiento de su reparación a los 7 y 14 días, esto a simple vista y mediante el análisis SEM en laboratorio especializado.

La investigación se desarrolló en laboratorio externo en la ciudad de Piura. Para el diseño de mezcla se utilizó agregados de la cantera Portachuelo y de la cantera Teófila, ubicados en la jurisdicción del distrito de la Brea y Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura-Perú.

Figura 14. Elaboración de probetas cilíndricas de 4"x8"



Figura 15. Dosificación de cultivo bacteriano en mezcla de concreto



Cemento:**Cemento Portland tipo V****Requerimientos químicos**

Norma NTP 334.009 / ASTM C150

Ensayos	Tipo	Valor	Unidad	Normas de ensayo	Resultado
MgO	Máximo	6.00	%	NTP 334.086	2.20
SO ₃	Máximo	2.30	%	NTP 334.086	2.00
Pérdida por ignición	Máximo	3.50	%	NTP 334.086	3.30
Residuo insoluble	Máximo	1.50	%	NTP 334.086	0.80
C ₃ A (Al ₂ O ₃ ·3CaO)	Máximo	5.00	%	NTP 334.009	4.00
2C ₃ A+C ₄ AF	Máximo	25.00	%	NTP 334.009	20.60

Fuente: Cementos Pacasmayo (<https://www.pacasmayoprofesional.com/soluciones?category=7&prod=4>)

Nota: MgO (Óxido de magnesio), SO₃ (Trióxido de azufre), C₃A (Aluminato tricálcico), C₄AF (Ferritoaluminato tetracálcico).

Aditivo plastificante:**Aditivo Z RR Plast-971**

Norma ASTM C494 tipo A y D

Datos técnicos

Rendimiento	Plastificante	Superplastificante
Dosis	0.3%-1.0%	1.0%-1.5%

Fuente: Z Aditivos (<https://construproductos.com/archivos/Z-RR-Plast-971.pdf>)

Ensayos de autorreparación del concreto

Para analizar las microfisuras y microgrietas se utilizó un laboratorio provisionado de microscopio electrónico de barrido (SEM) debidamente calibrado y certificado.

Figura 16. Análisis SEM en laboratorio de ciencias UNI-LIMA

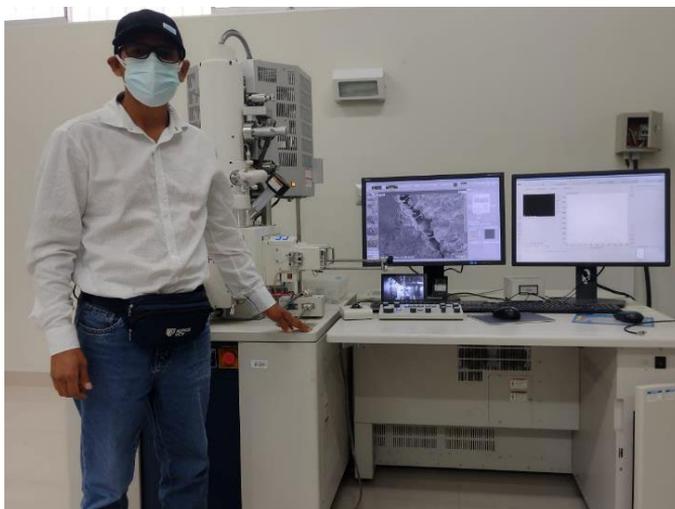


Figura 17. Muestras prismáticas para análisis con SEM



Figura 18. Colocación de muestra para cargar al microscopio.



Ensayos de resistencia a la compresión

Se realizó el cultivo y la incorporación de una bacteria que tiene la capacidad de autorreparar al concreto gracias a su propiedad de precipitar calcita en estos espacios donde se genera una grieta por donde pueda ingresar agentes contaminantes, que en cuestión de días serán resanados debido a la acción del *L. sphaericus* por su facilidad de precipitar CaCO_3 .

El diseño de mezcla se realizó en laboratorio de concreto provisionado de equipos y herramientas normados y calibrados.

Figura 19. Ensayo a compresión Lab. Quality Pavements–Piura



Figura 20. Ensayo a compresión de probetas cilíndricas LEM-UNI



Además, mejora la resistencia y durabilidad del concreto. El cultivo bacteriano tuvo una densidad óptica de 1 y fue ensayado con dosis de 15, 20 y 25ml por metro cúbico de concreto del diseño de mezcla $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$ que debe contener un aditivo reductor de agua para mejorar la trabajabilidad con un SLUMP óptimo de la mezcla y por consiguiente la mejor resistencia del espécimen. Para ello previamente se realizó el diseño y ensayo.

La bacteria en estudio se encuentra presente en muchos medios e inclusive en nuestro tracto digestivo; *L. sphaericus* no es patógena; por lo tanto no representa peligro alguno para las personas (Gupta, Pang y Kua, 2017) ya que convivimos con ellas. Al tener identificado la cepa se procederá a propagarlas utilizando caldo de cultivo a base de nutrientes hasta alcanzar una densidad optima de 1 (Shanmuga Priya et al., 2019). De esta manera una vez obtenido la bacteria estará lista para incorporarse a la mezcla como también directamente a la fisura.

2.8 Método de análisis de datos

Los resultados se determinarán mediante el método de la observación visual y a través de equipos electrónicos. El ensayo se realizó en laboratorio microbiológico, de ensayo de materiales, concreto y de análisis SEM; utilizando programas para la determinación de los resultados.

Capítulo 3

Resultados

3.1 Propiedades físicas de los agregados

Los agregados como la arena fina de la cantera Teófila ubicada en Pariñas-Talara-Piura demostró un buen comportamiento al cumplir con los ensayos de granulometría cumpliendo la norma NTP 400.012-MTC E 204 (Análisis granulométrico de agregados) y NTP 400.37 (Granulometría de agregados finos). Previamente a ello se cumplió la norma NTP 400.010: Agregados. Extracción y muestreo y según MTC E 201.

Figura 21. Curva granulométrica del agregado fino

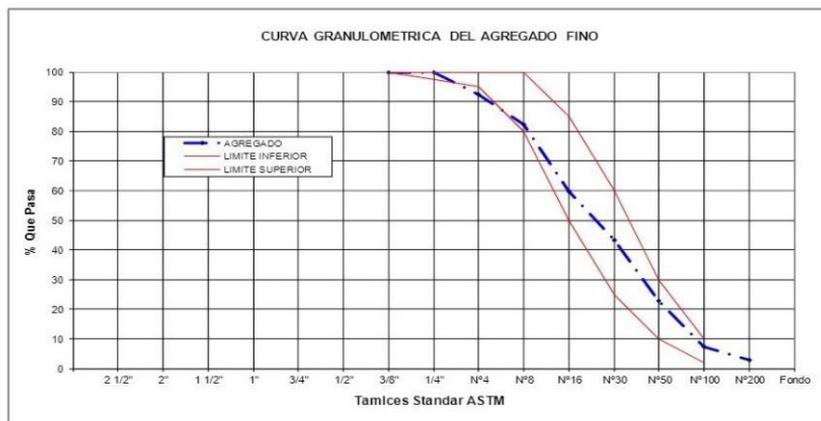


Tabla 1. Resultados de agregado fino

Resultado	M. de fineza	PUS (Kg/m ³)	PUC (Kg/m ³)	% Hume- dad	Tamaño máx.
	2.92	1,583	1,750	1.01	3/8"

La piedra chancada fue de óptima calidad cumpliendo con la norma NTP 400.012 Análisis granulométrico del agregado fino, gruesos y otros. Procedente de la cantera Portachuelo esto ubicado en el distrito de Miramar, provincia de Paita y departamento de Piura donde es zarandeado la piedra de un material integral para ser derivado a la chancadora donde se procesa en tamaño máximo de 3/4" los cuales demostraron ser de buena calidad frente a los ensayos realizados en laboratorio de concreto.

Figura 22. Curva granulométrica de agregado grueso

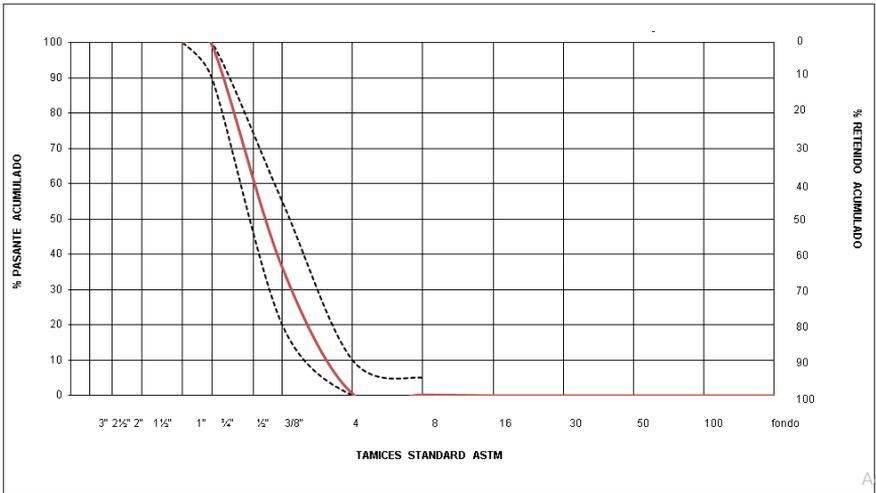


Tabla 2. Resultados de agregado grueso

Resultado	M. de fineza	PUS (Kg/m ³)	PUC (Kg/m ³)	% Hume- dad	Tam. max
	6.63	1,475	1,630	1.70	3/4 “

Ambos agregados están libres de sales contaminantes para el concreto (salitre) sin embargo en el diseño se contempla un cemento tipo V o tipo MS para zonas con exposición a este tipo de sales dependiendo las especificaciones técnicas del proyecto a emplear.

3.2 Aislamiento y determinación del medio de cultivo

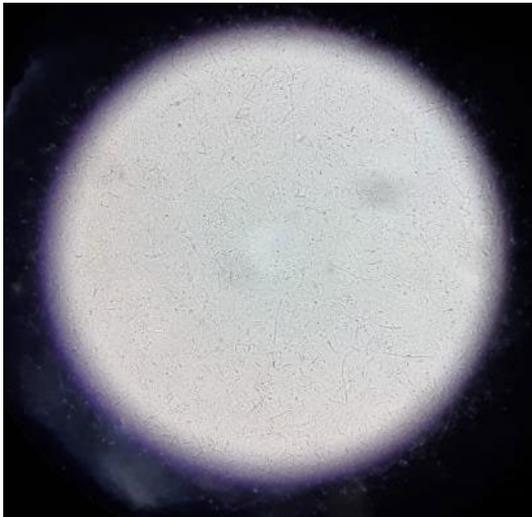
Para fines de investigación se utilizó la cepa *Lysinibacillus sphaericus* ATCC 4525 para realizar el cultivo bacteriano en placas Petri en medio de cultivo agar.

Figura 23. Cepa liofilizada de *L. sphaericus*

El método para la identificación de la cepa fue mediante la tinción de Gram; demostrando ser bacilo Gram positivo, flagelados y de coloración azul.

Se hizo la inoculación en placas Petri debidamente esterilizado donde se hizo el vertido del agar nutritivo; previo a ello el agar en su envase original se vertió en agua hirviendo durante 5 minutos para diluir de su consistencia tipo gelatinosa para ser distribuidas mediante una pipeta esterilizada hacia las placas.

Figura 24. Vista en microscopio electrónico-Coloración de *L. sphaericus*



3.3 Diseño de mezcla para concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Teniendo ya los resultados del análisis granulométrico se procedió a realizar el diseño de mezcla en concordancia con el comité 211 de ACI. Previo al ensayo se determinó los siguientes resultados:

Tabla 3. Dosificación en kg/m^3

Insumo	Kg/m ³
Cemento	468
Agregado fino	837
Agregado grueso	893
Agua	177
Aditivo ZRR PLAST 971	4.68
Colada kg/m^3	2379

Tabla 4. Dosificación por volumen en pie cúbico

Insumo	Pie cúbico
Cemento	1
Agregado fino	1.7
Agregado grueso	1.9
Agua	16.1L
Aditivo ZRR PLAST 971	0.355L

Tabla 5. Prueba de asentamiento del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Diseño	Código muestra	SLUMP
Concreto patrón	ABC-00	5"
Concreto con 15ml aditivo bacteriano	ABC-15	5.5"
Concreto con 20ml aditivo bacteriano	ABC-20	5.0"
Concreto con 25ml aditivo bacteriano ABC-25		5"

Nota: ABC=Aditivo bacteriano para concreto.

3.4 Análisis de autorreparación del concreto

Figura 25. Revisión de autorreparación de zzen en microfisuras de muestras de concreto



Figura 26. Muestra de control ABC00 a los 7 días de curado-SEM

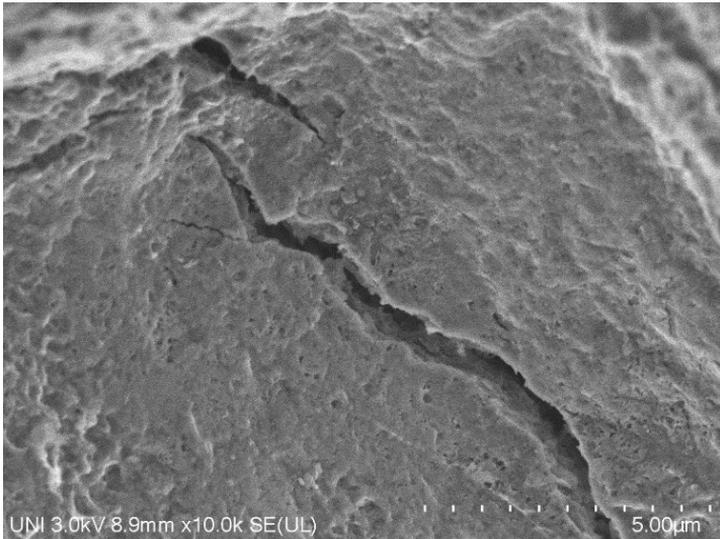


Figura 27. Muestra de control ABC00 a los 14 días de curado-SEM

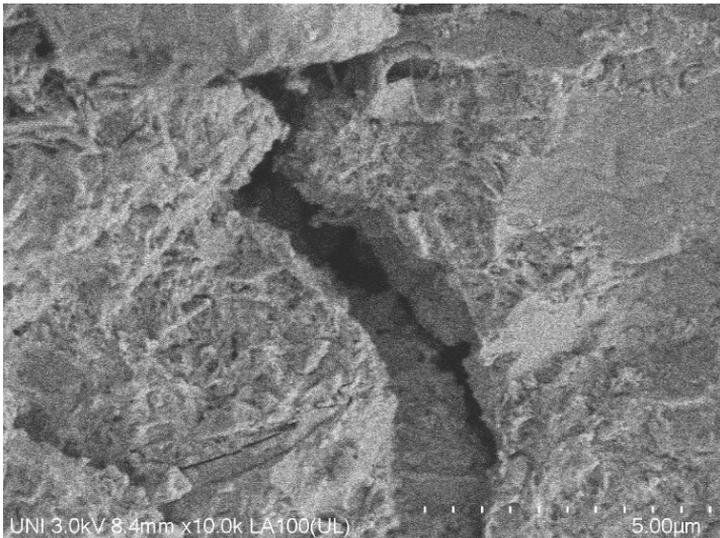


Figura 28. Microgrieta a los 7 días con ABC15-SEM

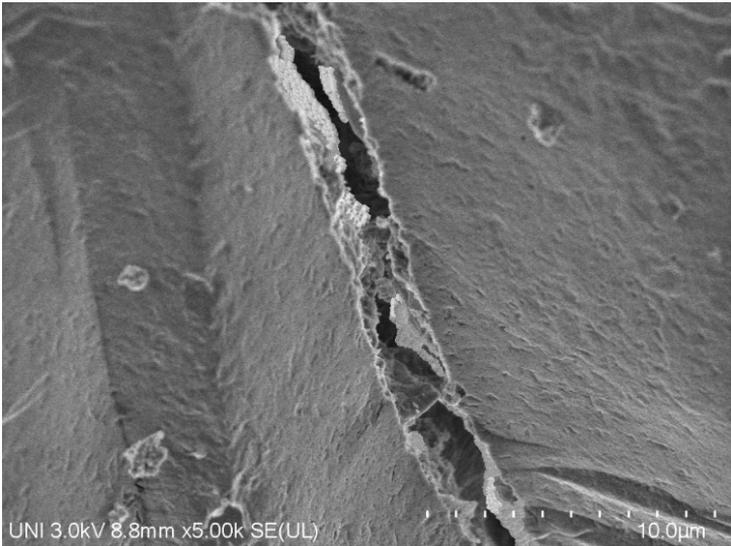


Figura 29. Microgrieta a los 14 días con ABC15-SEM

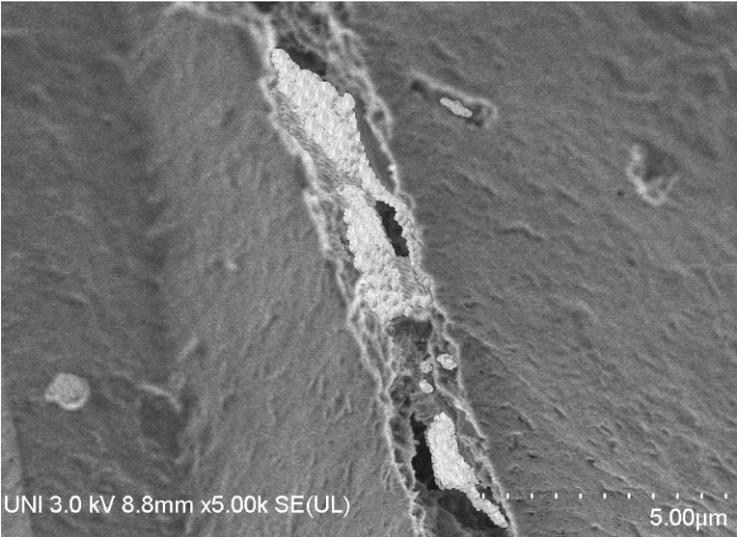


Figura 30. Microgrieta a los 7 días con ABC20-SEM



Figura 31. Microgrieta a los 14 días con ABC20-SEM

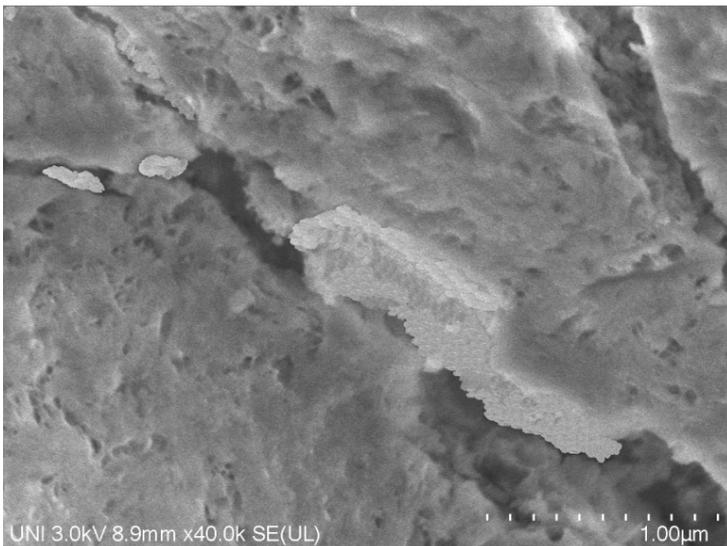


Figura 32. Microgrieta a los 7 días con ABC25-SEM

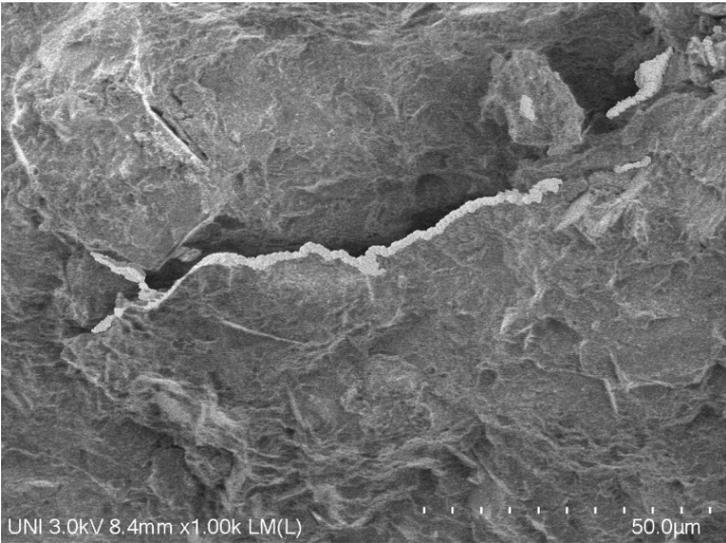


Figura 33. Microgrieta a los 14 días con ABC25-SEM

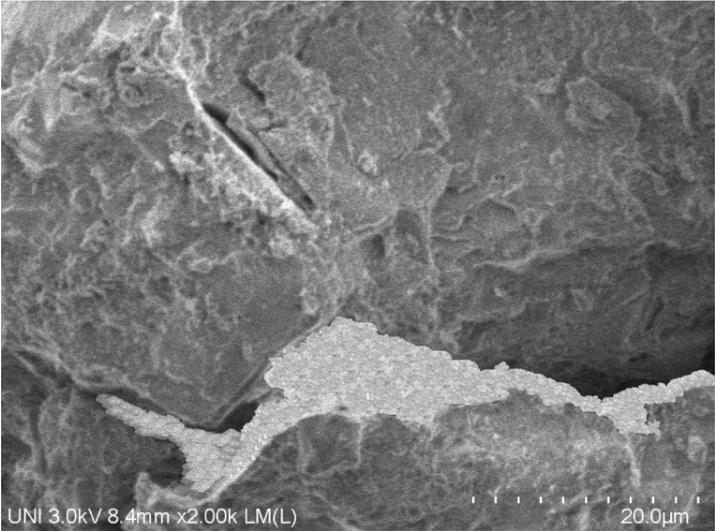


Figura 34. Morfología del hidróxido de calcio (CH) mediante SEM

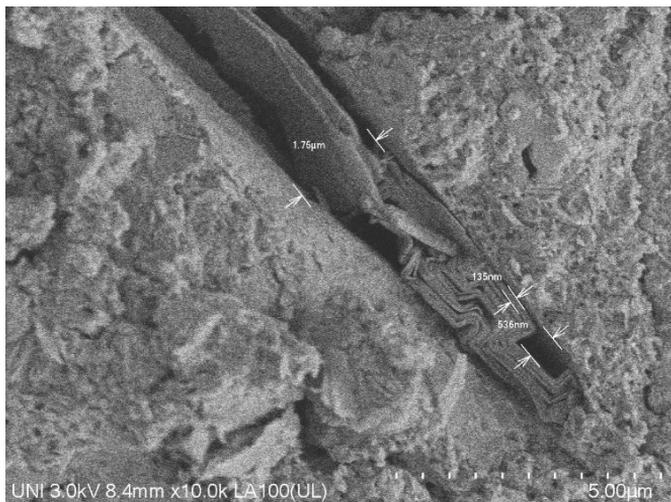


Figura 35. Morfología del hidróxido de calcio (CH) y carbonato de calcio CaCO₃-SEM

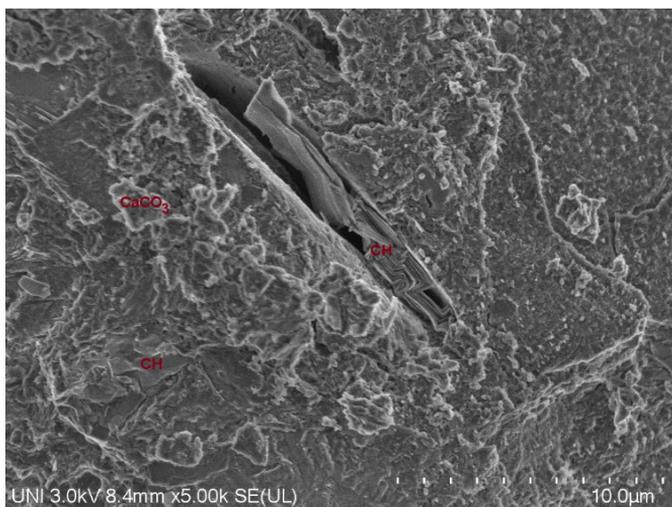


Figura 36. Morfología del hidróxido de calcio (CH), hidrato de silicato de calcio (CSH) y carbonato de calcio CaCO_3 -SEM

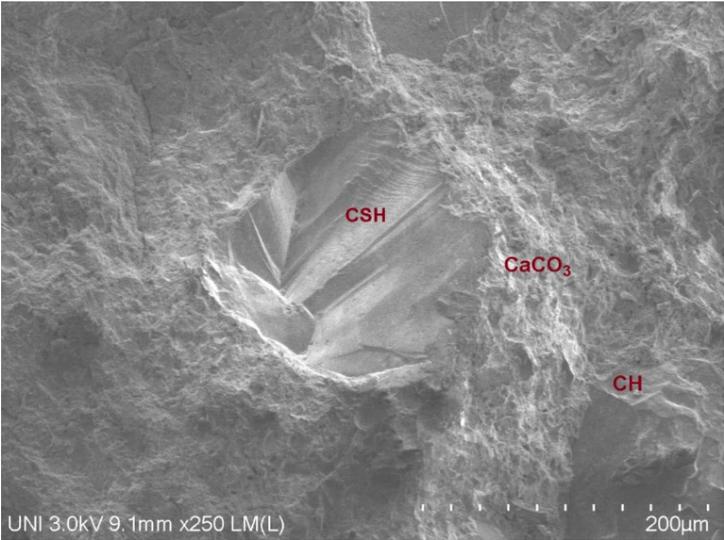


Figura 37. Morfología de carbonato de calcio CaCO_3 y etringita-SEM

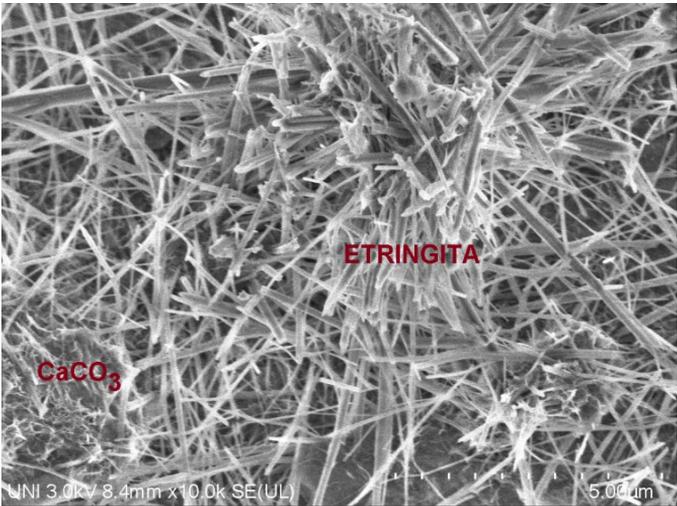
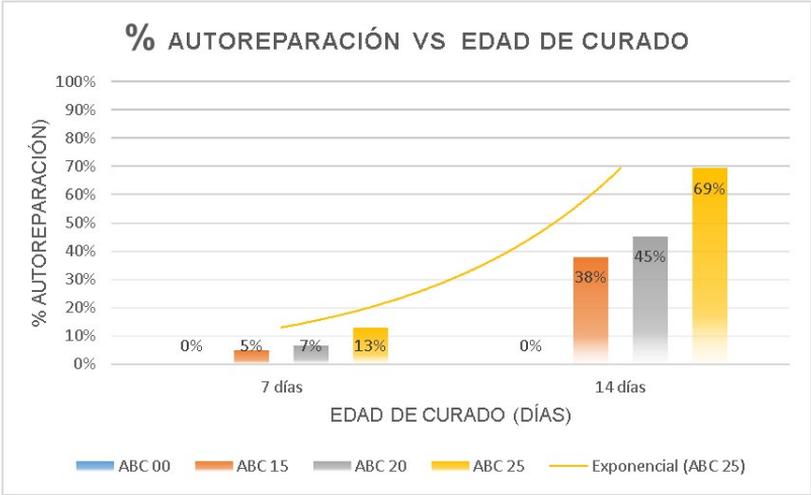


Tabla 6. Resultados de análisis SEM de muestras prismáticas

Muestra prismática	Código	Ancho de fisura	% de sellado de fisura			
			7 días	Promedio	14 días	Promedio
Concreto patrón	ABC00-1	825micras	NV		NV	
	ABC00-2	128micras	NV	NV	NV	NV
	ABC00-3	265micras	NV		NV	
Concreto con 15ml aditivo bacteriano	ABC15-1	632micras	4%		36%	
	ABC15-2	325micras	6%	5%	40%	38%
	ABC15-3	456micras	5%		38%	
Concreto con 20ml aditivo bacteriano	ABC20-1	349micras	8%		50%	
	ABC20-2	332micras	6%	7%	42%	45%
	ABC20-3	726micras	6%		44%	
Concreto con 25ml aditivo bacteriano	ABC25-1	243micras	11%		71%	
	ABC25-2	129micras	18%	13%	68%	69%
	ABC25-3	376micras	10%		69%	

Nota: ABC=Aditivo bacteriano para concreto (muestra prismática), NV=No se visualiza

Figura 38. Comparación de autoreparación VS edad de curado de las muestras prismáticas



Comentario:

Se observa mediante el microscopio electrónico de barrido resultados importantes hasta en un 69% de autoreparación.

3.5 Resultados de ensayo de resistencia a la compresión

Los ensayos de la resistencia a compresión se realizaron cumpliendo la norma NTP 339.034:2015, “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”. Se sometió a rotura a los 7, 14 y 28 días obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7. Resultados de ensayos a los 7 días

Identificación de Muestra	Fecha de Moldeo	Fecha de ensayo	Edad de ensayo	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	%
ABC 0001	10/05/2021	17/05/2021	7	263	75%
ABC 0002	10/05/2021	17/05/2021	7	257	73%
ABC 0003	10/05/2021	17/05/2021	7	264	75%
ABC 1501	10/05/2021	17/05/2021	7	272	78%
ABC 1502	10/05/2021	17/05/2021	7	274	78%
ABC 1503	10/05/2021	17/05/2021	7	279	80%
ABC 2001	10/05/2021	17/05/2021	7	290	83%
ABC 2002	10/05/2021	17/05/2021	7	284	81%
ABC 2003	10/05/2021	17/05/2021	7	292	83%
ABC 2501	10/05/2021	17/05/2021	7	271	77%
ABC 2502	10/05/2021	17/05/2021	7	274	78%
ABC 2503	10/05/2021	17/05/2021	7	270	77%

Nota: ABC=Aditivo bacteriano para concreto.

Fuente: Elaboración del autor

Comentario:

En el ensayo a compresión de los 7 días se puede apreciar que tiene una buena resistencia alcanzando valores de 75, 79, 82 y 78% respectivamente para cada diseño.

Tabla 8. Resultados de ensayos a los 14 días

Identificación de Muestra	Fecha de Moldeo	Fecha de ensayo	Edad de ensayo	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	%
ABC 0004	10/05/2021	24/05/2021	14	307	88%
ABC 0005	10/05/2021	24/05/2022	14	328	94%
ABC 0006	10/05/2021	24/05/2021	14	317	91%
ABC 1504	10/05/2021	24/05/2021	14	331	95%
ABC 1505	10/05/2021	24/05/2021	14	328	94%
ABC 1506	10/05/2021	24/05/2021	14	326	93%
ABC 2004	10/05/2021	24/05/2021	14	342	98%
ABC 2005	10/05/2021	24/05/2021	14	345	99%
ABC 2006	10/05/2021	24/05/2021	14	348	99%
ABC 2504	10/05/2021	24/05/2021	14	345	99%
ABC 2505	10/05/2021	24/05/2021	14	347	99%
ABC 2506	10/05/2021	24/05/2021	14	354	101%

Nota: ABC=Aditivo bacteriano para concreto
Fuente: Elaboración del autor

Comentario:

En el ensayo a compresión de los 14 días, donde podemos apreciar que viene ganando buena resistencia alcanzando valores de 91, 94, 99 y 100% respectivamente para cada diseño.

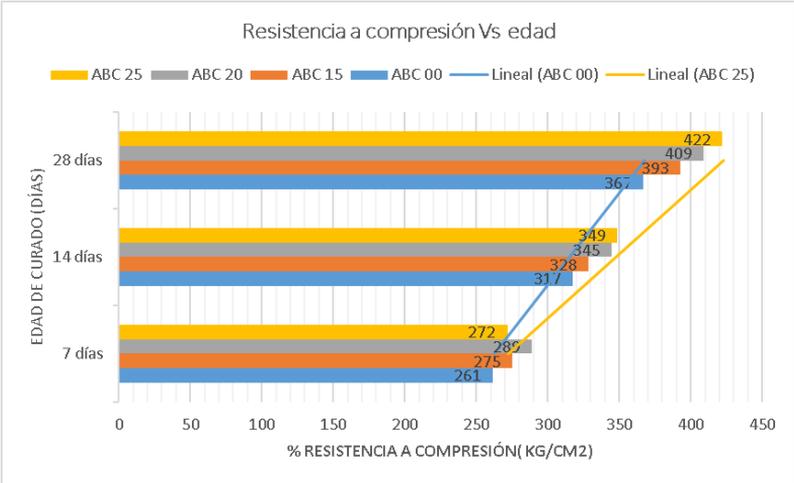
Tabla 9. Resultados de ensayos a los 28 días

Identificación de Muestra	Fecha de Moldeo	Fecha de ensayo	Edad de ensayo	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	%
ABC 0007	10/05/2021	07/06/2021	28	375	107%
ABC 0008	10/05/2021	07/06/2021	28	364	104%
ABC 0009	10/05/2021	07/06/2021	28	361	103%
ABC 1507	10/05/2021	07/06/2021	28	384	110%
ABC 1508	10/05/2021	07/06/2021	28	402	115%
ABC 1509	10/05/2021	07/06/2021	28	393	112%
ABC 2007	10/05/2021	07/06/2021	28	408	116%
ABC 2008	10/05/2021	07/06/2021	28	405	116%
ABC 2009	10/05/2021	07/06/2021	28	415	119%
ABC 2507	10/05/2021	07/06/2021	28	405	116%
ABC 2508	10/05/2021	07/06/2021	28	429	123%
ABC 2509	10/05/2021	07/06/2021	28	433	124%

Nota: ABC=Aditivo bacteriano para concreto

Fuente: Elaboración del autor

Figura 39. Gráfico resumen de resistencia a la compresión Vs edad de curado



Comentario:

Resultados del ensayo a compresión de los 28 días, donde se puede evidenciar buenos resultados de los diseños ABC 00, ABC15, ABC20 y ABC25, alcanzando resistencias de 367, 393, 409 y 422 kg/cm² respectivamente para cada diseño de concreto. El valor de 422 kg/cm² corresponde a la dosificación del aditivo bacteriano a 25 ml/m³ representando al 121% con respecto al concreto patrón.

Capítulo 4

Cierre

4.1 Discusiones

La selección de los agregados se realizó cumpliendo con la normatividad vigente NTP 400.037:2018 Agregados, requisitos para agregados; esta norma menciona las exigencias de granulometría y calidad de agregados finos y gruesos utilizados en el concreto. El agregado fino debe tener resistencia al ataque de sulfatos, por lo cual, cuando se utiliza solución de sulfato de sodio no debe exceder pérdida de volumen mayor a 10%; igualmente para el uso de solución de sulfato de magnesio no debe haber pérdidas por sulfatos mayor a 15%. Para terrones de arcillas, pasante malla #200 no debe exceder del 3-5% dependiendo la abrasividad del concreto; en cuanto a la presencia de carbón y lignito dependiendo de la visibilidad del acabado del concreto debe estar dentro de 0.5-1.0%. En cuanto a las características químicas, el contenido de sulfatos SO_4 no debe exceder a 1.2%; para contenido de cloruros 0.1%. Debido a las condiciones ambientales típicas de las zonas costeras con presencia de sales y otros minerales que causan alteraciones en la composición química del cemento, se ha optado en utilizar CEMENTO TIPO V de alta resistencia a sulfatos para realizar el diseño de mezcla del concreto con adición bacteriana.

Lysinibacillus sphaericus I13 demostró buenos resultados mediante su incorporación al concreto mejorando la resistencia a la compresión en un 34.6% comparado al concreto patrón (Vas-hisht et al., 2018). Para el caso de la investigación mejoró en 16% en la resistencia a la compresión siendo los resultados proporcionales.

En la investigación de (Shanmuga Priya et al., 2019) denominado: “*Strength and durability characteristics of concrete made by micronized biomass silica and Bacteria-Bacillus sphaericus*” se hace mención que los resultados máximos obtenidos se presenta al utilizar una dosis de 20 ml, a diferencia de esta investigación que obtuvo mejores resultados al adicionar cultivo bacteriano a una dosis de 25 ml/m³. Se tiene poca información sobre investigaciones con esta cepa *L. sphaericus* ATCC 4525. A pesar de ser una cepa distinta se eligió ya que son precipitadoras de carbonato de calcio, tal como se puede observar en la imagen de morfología mediante análisis SEM, el cual evidencia su importante aporte

4.2 Conclusiones y recomendaciones

Los agregados que no tienen contaminantes con sales u otros químicos son favorables como los que se emplearon en la presente investigación. El tipo de agregado fino y grueso cumplen con los requerimientos establecidos en la NTP 400.037.

El mejor medio de cultivo para el aditivo bacteriano para concreto fue caldo nutritivo elaborado con agua estéril e incubado en matraces a temperatura de 30°C durante 36 horas. De esta manera se pudo visualizar con facilidad las muestras para la determinación de la densidad óptica mediante un espectrofotómetro a una densidad óptica de 1.00 a una longitud de 600nm. Es importante indicar que se requiere necesariamente que se realice los procedimientos en laboratorio y en forma aséptica.

Los resultados obtenidos en autorreparación alcanzaron un promedio de 69% a los 14 días de curado. La mejora en cuanto a resistencia a compresión fue de 16% en comparación al concreto patrón durante los 28 días de curado.

La cepa utilizada requiere profundizar la investigación en lo referente a ensayos en morteros y referente al uso en la industria de la construcción. Además, se requiere tener un laboratorio de investigación destinado a realizar cultivos de cepas no convencionales y aisladas de cultivos con fines clínicos.

Referencias

- Alarcón, J. (2019). *Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3243>
- Algaifi, H.A., Bakar, S.A., Sam, A.R.M., Abidin, A.R.Z., Shahir, S., & Al-Towayti, W.A.H. (2018). Numerical modeling for crack self-healing concrete by microbial calcium carbonate. *Construction and Building Materials*, 189, 816-824.. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.218>.
- Amer Algaifi, H., Abu Bakar, S., Rahman Mohd. Sam, A., Ismail, M., Razin Zainal Abidin, A., Shahir, S., & Ali Hamood Altowayti, W. (2020). Insight into the role of microbial calcium carbonate and the factors involved in self-healing concrete. *Construction and Building Materials*, 254, 119258. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119258>.
- Bergh, J.M. Van Der, Miljević, B., Šovljanski, O., Vučetić, S., Markov, S., Ranogajec, J., & Bras, A. (2020). Preliminary approach to bio-based surface healing of structural repair cement mortars. *Construction and Building Materials*, 248. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118557>
- Chaerun, S.K., Syarif, R., & Wattimena, R.K. (2020). Bacteria incorporated with calcium lactate pentahydrate to improve the mortar properties and self-healing occurrence. *Scientific Reports*, 10(1) 1-9. <http://doi.org/10.1038/s41598-020-74127-4>
- Charpe, A.U., Latkar, M.V.Y., & Chakrabarti, T. (2017). Microbially assisted cementation – A biotechnological approach to improve mechanical properties of cement. *Construction and Building Materials*, 135. 472-476. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.017>

- Corrales Ramírez, L.C. y Caycedo Lozano, L. (2020). Principios físico-químicos de los colorantes utilizados en microbiología Principios físicoquímicos de los colorantes. *Nova*, 18(33). <http://doi.org/.22490/24629448.3701>
- Ekprasert, J., Fongkaew, I., Chainakun, P., Kamngam, R., & Boonsuan, W. (2020). Investigating mechanical properties and biocement application of CaCO₃ precipitated by a newly-isolated *Lysinibacillus* sp. WH using artificial neural networks. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13. <http://orcid.org/10.1038/s41598-020-73217-7>.
- Erşan, Y.C., Da Silva, F.B., Boon, N., Verstraete, W., & De Belie, N. (2015). Screening of bacteria and concrete compatible protection materials. *Construction and Building Materials*, 88, 196-203. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.027>.
- Gebremariam, A., Chekol, Y., & Assefa, F. (2021). Isolation, characterization, and bio-insecticidal efficiency of Ethiopian isolates of *Bacillus thuringiensis* against *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) and tomato whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 3(1). <http://doi.org/10.1186/s41938-021-00375-9>.
- Giriselvam, M.G., Poornima, V., Venkatasubramani, R., & Sreevidya, V. (2018). Enhancement of crack healing efficiency and performance of SAP in biocrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310(1). <http://doi.org/10.1088/1757-899X/310/1/012061>.
- Gupta, S., Pang, S.D., y Kua, H.W. (2017). Autonomous healing in concrete by bio-based healing agents – A review. *Construction and Building Materials*, 146. 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.111>.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*, 6. McGraw Hill

- Jang, I., Son, D., Kim, W., Park, W., & Yi, C. (2020). Effects of spray-dried co-cultured bacteria on cement mortar. *Construction and Building Materials*, 243. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118206>.
- Kalhuri, H., & Bagherpour, R. (2017). Application of carbonate precipitating bacteria for improving properties an repairing cracks of shotcrete. *Construction and Building Materials*, 148. 249-260. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.074>
- Mamo, G. (2019). Alkaliphiles: las herramientas biológicas emergentes que mejoran la durabilidad del hormigón.
- Marwar, N.F., Mohd Sam, A.R., Shahir, S., Algaifi, H.A., Abd Khalid, N.H., Mohd Ali, M.F., Mohd Almi, M.K., & Ibrahim, I.S., (2020). Properties of fly ash concrete containing tropical soil bacteria. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 849(1). <http://doi.org/10.1088/1757-899X/849/1/012063>
- Mendez-Ubeda, J., Flores Hernandez, M., y Paramo-Aguilera, L. (2017). Aislamiento e identificación de bacillus subtilis y evaluación del antagonismo in vitro frente hongos fitopatógenos. *Nexo*, 30(2), 96-110.
- Mohammed, A., Rafiq, S., Mahmood, W., Noaman, R., Ghafor, K., Qadir, W., & Kadhum, Q. (2020). Characterization and modeling the flow behavior and compression strength of the cement paste modified with silica nano-size at different temperature conditions. *Construction and Building Materials*, 257, 119590. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119590>
- Mutitu, D.K., Wachira, J.M., Mwirichia, R., Thiong'o, J.K., Munyao, O.M., & Muriithi, G. (2019). Influence of Lysinibacillus sphaericus on compressive strength and water sorptivity in microbial cement mortar. *Heliyon*, 5(11), 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02881>

- Norma técnica peruana NTP 339.034. (2015). Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. *Indecopi*, 4(3), 22.
- Norma técnica peruana NTP 339.035 (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*.
- Norma técnica peruana NTP 339.183 (2013). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*.
- Pumalora, A. Rodríguez-Torres, J.A. García-Rodríguez, G.P.-A. (2013). *Manual de Microbiología y Parasitología*. Elsevier.
- Rauf, M., Khaliq, W., Khushnood, R.A., & Ahmed, I., (2020). Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete. *Construction and Building Materials*, 258, 119578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119578>
- Shanmuga Priya, T., Ramesh, N., Agarwal, A., Bhusnur, S., & Chaudhary, K. (2019). Strength and durability characteristics of concrete made by micronized biomass silica and Bacteria-Bacillus sphaericus. *Construction and Building Materials*, 226, 827-838. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.172>
- Sidiq, A., Gravina, R.J., Setunge, S., & Giustozzi, F. (2020). High-efficiency techniques and micro-structural parameters to evaluate concrete self-healing using X-ray tomography and Mercury Intrusion Porosimetry: A review. *Construction and Building Materials*, 252, 119030. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119030>
- Vashisht, R., Attri, S., Sharma, D., Shukla, A., & Goel, G. (2018). Monitoring biocalcification potential of Lysinibacillus sp. isolated from alluvial soils for improved compressive strength of concrete. *Microbiological Research*, 207, 226-231. <http://doi.org/10.1016/j.micres.2017.12.010>

- Vijay, K., Murmu, M., & Deo, S. (2017). Bacteria based self healing concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 152, 1008-1014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.040>
- Wang, J., Van Tittelboom, K., De Belie, N., & Verstraete, W. (2012). Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete. *Construction and Building Materials*, 26(1), 532-540. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.054>
- Xu, K., Yuan, Z., Rayner, S., & Hu, X. (2015). Genome comparison provides molecular insights into the phylogeny of the reassigned new genus *Lysinibacillus*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 1-12. <http://doi.org/10.1186/s12864-015-1359-x>



Religación
Press
Ideas desde el Sur Global



R E L I G A C I Ó N
CICSHAL

Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades
desde América Latina

Concreto y climas cálidos en el norte del Perú

Autorreparación y resistencia del concreto incorporando la bacteria *Lysinibacillus sphaericus*

En el ámbito de la construcción es inevitable el uso del concreto y junto a él existe diversas anomalías que afectan su proceso. En la investigación se tuvo como objetivo determinar la influencia de la bacteria *Lysinibacillus sphaericus* en sus propiedades de resistencia a compresión y la autorreparación de las microgrietas en el concreto, utilizando las dosificaciones de 15, 20 y 25 ml/m³ del concreto, teniendo un diseño de mezclas patrón de relación a/c de 0.43, donde se obtuvo que la consistencia del concreto patrón es de 5" y el máximo valor obtenido fue adicionando 15 ml/m³ dando un valor de 5.5", así también la resistencia a compresión del concreto patrón a los 28 días fue de 105%, y la máxima resistencia se obtuvo adicionando 25 ml/m³ al concreto teniendo un valor de 121% a diferencia del concreto patrón de un incremento de 16% a la edad de 28 días, por otro lado la autorreparación se observó mediante ensayos con SEM en laboratorio de ciencias y la mejora de la resistencia a compresión del concreto mediante los ensayos de rotura en laboratorio de concreto; el análisis de autorreparación se realizó a los 7 y 14 días, obteniendo los mejores resultados de la dosis de 25 ml/m³ en 13% y 69% respectivamente mediante el SEM. Estos resultados son un punto de partida para otros investigadores, ya sea para replicar estos procedimientos o poner en práctica nuevas alternativas a fin de prevenir efectos negativos en la vida útil de las estructuras y el medio ambiente.

ISBN: 978-9942-7099-2-9

