



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**APLICACION DE BACILLUS SUBTILIS PARA MODIFICAR LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO EN ICA, 2025**

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Huayanca Hernández, Máximo Edilberto

ORCID: 0000-0003-0954-8243

Asesor

López Bulnes, Jorge Luis

ORCID: 0000-0002-9583-1143

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Defilippi Shinzato, Teresa Milagros

Garcia Urrutia Olavarria, Roque Jesus Leonardo

Lima - Perú

2026

APLICACION DE BACILLUS SUBTILIS PARA MODIFICAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ICA, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

14%

PUBLICACIONES

17%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal

Trabajo del estudiante

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

5

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

6

www.mdpi.com

Fuente de Internet

1%

7

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

8

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9

Submitted to Middle East College

Trabajo del estudiante

1%

10

Submitted to POSGRADO

Trabajo del estudiante

1%

11

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025

Trabajo del estudiante

<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

APLICACION DE ***BACILLUS SUBTILIS*** PARA MODIFICAR
LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ICA, 2025

Línea de investigación:
Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Huayanca Hernández, Máximo Edilberto
ORCID: 0000-0003-0954-8243

Asesor

López Bulnes, Jorge Luis
ORCID: 0000-0002-9583-1143

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Defilippi Shinzato, Teresa Milagros

García Urrutia Olavarria, Roque Jesus Leonardo

Lima – Perú

2026

ÍNDICE

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
RIASSUNTO	ix
RESUMO	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Descripción del problema	12
1.3. Formulación del problema	14
1.3.1. Problema general	14
1.3.2. Problemas específicos	14
1.4. Antecedentes	15
1.5. Justificación de la investigación	20
1.6. Limitaciones de la investigación	23
1.7. Objetivos	23
1.7.1. Objetivo general	24
1.7.2. Objetivos específicos	24
1.8. Hipótesis	24
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Marco conceptual	26
III. MÉTODO	36
3.1. Tipo de investigación	36
3.2. Población y muestra	38
3.3. Operacionalización de variables	42
3.4. Instrumentos	44

3.5. Procedimientos	45
3.6. Análisis de datos	49
IV. RESULTADOS	52
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	74
VI. CONCLUSIONES	77
VII. RECOMENDACIONES	79
VIII. REFERENCIAS	81
IX. ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Probetas cilíndricas de 6" x 12" (base x altura) elaboradas con BSN	40
Tabla 2 Especímenes cilíndricos de 102 mm de base y 33 mm de altura con BSI para la autorreparación de fisuras	40
Tabla 3 Especímenes cilíndricos de 102 mm x 33 mm (diámetro x altura) con BSN para auto reparación de fisuras.....	41
Tabla 4 Especímenes cilíndricos de 102 mm x 33 mm (base x altura) con BSI para auto reparación de fisuras.....	41
Tabla 5 Matriz de operacionalización de variables.....	44
Tabla 6 Listado de las fichas técnicas empleadas	45
Tabla 7 Cantidad de materiales para elaborar cuatro probetas.	46
Tabla 8 Estadísticos descriptivos del Slump para BS con 0 ml / m ³ , 187 ml / m ³ y 312 ml / m ³	52
Tabla 9 Promedios del Slump obtenidos para 0 ml / m ³ , 187 ml / m ³ , 312 ml / m ³ . ..	52
Tabla 10 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (Slump o asentamiento).....	53
Tabla 11 Resumen de contraste de hipótesis para valores de Slump o Asentamiento.	54
Tabla 12 Prueba H de Kruskal-Wallis (Slump para BSN y BSI).	56
Tabla 13 <i>Estadísticos descriptivos del porcentaje de vacíos para BSN y BSI con 0 ml / m³, 187 ml / m³ y 312 ml / m³.</i>	57
Tabla 14 Promedios obtenidos del porcentaje de vacíos para 0 ml / m ³ , 187 ml / m ³ , 312 ml / m ³	57
Tabla 15 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (porcentaje de vacíos) para BSN y BSI.	58
Tabla 16 Resumen de contraste de hipótesis para valores de porcentaje de vacíos....	59

Tabla 17 Prueba H de Kruskal-Wallis (porcentaje de vacíos con BS).	60
Tabla 18 Ensayos a compresión realizados según tiempo de ensayo y porcentaje de BS.....	62
Tabla 19 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (resistencia a la compresión).	63
Tabla 20 Prueba de homogeneidad de varianzas (resistencia a la compresión).	64
Tabla 21 ANOVA.	65
Tabla 22 Prueba Post Hoc de Tukey (resistencia a la compresión con BS).	65
Tabla 23 Autorreparación de fisuras en su largo según cantidad de BSN.....	66
Tabla 24 Autorreparación de fisuras en su largo según cantidad de BSI.	67
Tabla 25 Autorreparación de fisuras longitudinal en milímetros según porcentaje de BS.....	69
Tabla 26 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (autorreparación).	70
Tabla 27 Prueba de homogeneidad de varianzas (resistencia a la compresión).	71
Tabla 28 Resumen de contraste de hipótesis para valores de autorreparación.	71
Tabla 29 Prueba H de Kruskal-Wallis (autorreparación con BS).....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procedimiento desarrollado en la investigación cuasiexperimental.....	38
Figura 2 Moldes de probetas.....	47
Figura 3 Estereomicroscopio compacto con zoom 5:1. Marca Zeiss Stemi 305.....	47
Figura 4 Instrumentos utilizados para ensayo de revenimiento.....	48
Figura 5 Medidor de contenido de aire tipo B	48
Figura 6 Medidor de ancho de fisuras	49
Figura 7 Vernier.....	49
Figura 8	53
Figura 9 Gráfico para muestras independientes de Slump con BS	54
Figura 10 Gráfico porcentaje de vacíos - BSN y BSI.....	58
Figura 11 Gráfico para muestras independientes de porcentaje de vacíos BS	59
Figura 12 Gráfico comparativo de la evolución de la resistencia promedio a la compresión.	62
Figura 13 Gráfico del promedio de autorreparación longitudinal (cm) según cantidad de BS.	69
Figura 14 Gráfico para muestras independientes de autorreparación con BS	72

RESUMEN

Para el presente cuyo objetivo fue evaluar el efecto de incorporar *Bacillus subtilis* (BS) sin encapsulamiento en concentraciones de 0, 187 y 312 ml/m³ sobre las propiedades físicas, mecánicas y autorreparación del concreto, se empleó un método usando cepas nacionales (BSN), e importadas (BSI), en mezclas diseñadas para una resistencia de 210 kg/m². Los resultados demostraron que la adición de BS modifica significativamente el comportamiento del concreto, especialmente en estado fresco. La mezcla con 187 ml/m³ de BSI presentó un incremento del 66.67% en el asentamiento respecto al control, mejorando su trabajabilidad. Asimismo, se registró una disminución del 24.33% en el porcentaje de vacíos, aunque sin significación estadística. En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó una diferencia estadística significativa al aplicar BS (BSN o BSI) en comparación con el grupo control, también se encontró un incremento de 12.74% a los 28 días con 187 ml/m³ de BSN y de 8.65% con 312 ml/m³ de BSI, atribuible a la formación de carbonato de calcio inducido por la actividad bacteriana. En términos de autorreparación, las mezclas con 312 ml/m³ de BSN, mostraron una reducción de fisuras tras 365 días, lo que demuestra la viabilidad de usar BS sin encapsular para desarrollar concreto autorreparable. Se concluye que la dosificación óptima para mejorar la trabajabilidad y resistencia es de 187 ml/m³ y se recomienda explorar concentraciones superiores a 312 ml/m³ para potenciar su capacidad de autorreparación.

Palabras claves: Hormigón, biotecnología, bacteria, ingeniería de la construcción, medio ambiente.

ABSTRACT

The study evaluates the effect of incorporating *Bacillus subtilis* (BS) without encapsulation in concentrations of 0, 175, and 312 ml/m³ on the physical, mechanical, and self-repair properties of concrete. Domestic (BSN) and imported (BSI) strains were used in mixtures designed for a strength of 210 kg/m². The results showed that the addition of BS significantly modifies the behavior of concrete, especially in its fresh state. The mixture with 187 ml/m³ of BSI showed a 66.67% increase in slump compared to the control, improving its workability. Likewise, a 24.33% decrease in the percentage of voids was recorded, although this was not statistically significant. In terms of compressive strength, a statistically significant difference was observed when applying BS (BSN or BSI) compared to the control group. An increase of 12.74% was also found at 28 days with 187 ml/m³ of BSN and 8.65% with 312 ml/m³ of BSI, attributable to the formation of calcium carbonate induced by bacterial activity. In terms of self-repair, mixtures with 312 ml/m³ of BSN showed a reduction in cracks after 365 days, demonstrating the viability of using unencapsulated BS to develop self-repairing concrete. It is concluded that the optimal dosage for improving workability and strength is 187 ml/m³, and it is recommended to explore concentrations higher than 312 ml/m³ to enhance its self-repair capacity.

Keywords: Concrete, biotechnology, bacteria, construction engineering, environment.

RIASSUNTO

Lo studio valuta l'effetto dell'incorporazione di *Bacillus subtilis* (BS) senza incapsulamento in concentrazioni di 0, 175 e 312 ml/m³ sulle proprietà fisiche, meccaniche e di autoriparazione del calcestruzzo. Sono stati utilizzati ceppi nazionali (BSN) e importati (BSI) in miscele progettate per una resistenza di 210 kg/m². I risultati hanno dimostrato che l'aggiunta di BS modifica in modo significativo il comportamento del calcestruzzo, specialmente allo stato fresco. La miscela con 187 ml/m³ di BSI ha presentato un aumento del 66,67% nell'assestamento rispetto al controllo, migliorandone la lavorabilità. Inoltre, è stata registrata una diminuzione del 24,33% nella percentuale di vuoti, sebbene senza significatività statistica. Per quanto riguarda la resistenza alla compressione, è stata osservata una differenza statistica significativa nell'applicazione di BS (BSN o BSI) rispetto al gruppo di controllo; è stato inoltre riscontrato un aumento del 12,74% a 28 giorni con 187 ml/m³ di BSN e dell'8,65% con 312 ml/m³ di BSI, attribuibile alla formazione di carbonato di calcio indotta dall'attività batterica. In termini di autoriparazione, le miscele con 312 ml/m³ di BSN hanno mostrato una riduzione delle fessurazioni dopo 365 giorni, dimostrando la fattibilità dell'uso di BS non incapsulato per sviluppare calcestruzzo autoriparabile. Si conclude che il dosaggio ottimale per migliorare la lavorabilità e la resistenza è di 187 ml/m³ e si raccomanda di esplorare concentrazioni superiori a 312 ml/m³ per potenziare la sua capacità di autoriparazione.

Parole chiave: Concreto, biotecnologia, bactérias, engenharia civil, ambiente.

RESUMO

O estudo avalia o efeito da incorporação de *Bacillus subtilis* (BS) sem encapsulamento em concentrações de 0, 175 e 312 ml/m³ sobre as propriedades físicas, mecânicas e de autorreparação do concreto. Foram utilizadas cepas nacionais (BSN) e importadas (BSI) em misturas projetadas para uma resistência de 210 kg/m². Os resultados demonstraram que a adição de BS modifica significativamente o comportamento do concreto, especialmente no estado fresco. A mistura com 187 ml/m³ de BSI apresentou um aumento de 66,67% no assentamento em relação ao controle, melhorando sua trabalhabilidade. Da mesma forma, registrou-se uma diminuição de 24,33% na porcentagem de vazios, embora sem significância estatística. Quanto à resistência à compressão, observou-se uma diferença estatística significativa ao aplicar BS (BSN ou BSI) em comparação com o grupo controle, também foi encontrado um aumento de 12,74% aos 28 dias com 187 ml/m³ de BSN e de 8,65% com 312 ml/m³ de BSI, atribuível à formação de carbonato de cálcio induzida pela atividade bacteriana. Em termos de autorreparação, as misturas com 312 ml/m³ de BSN mostraram uma redução das fissuras após 365 dias, o que demonstra a viabilidade do uso de BS não encapsulado para desenvolver concreto autorreparável. Conclui-se que a dosagem ideal para melhorar a trabalhabilidade e a resistência é de 187 ml/m³ e recomenda-se explorar concentrações superiores a 312 ml/m³ para potencializar sua capacidade de autorreparação.

Palavras-chave: Concreto, biotecnologia, bactérias, engenharia civil, meio ambiente.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El crecimiento de la economía nacional está directamente relacionado con el incremento de empleo, la producción de bienes y servicios (Erazo, 2022), en este contexto el sector construcción constituye un pilar fundamental, no solo por su contribución al PBI, sino también por su capacidad de generación de empleo. Sin embargo, esta industria enfrenta importantes desafíos ambientales debido al elevado uso de recursos naturales, la producción de residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero.

Ante esta problemática se hace imprescindible adoptar estrategias que impulsen la sostenibilidad en el sector, una de las alternativas emergentes es la aplicación de biotecnología en la ingeniería civil mediante el uso de organismos vivos para desarrollar materiales innovadores como el biocemento, suelos biorremediables y concreto autorreparable. No obstante a pesar del avance en investigación científica, su implementación práctica sigue siendo limitada, principalmente por la ausencia de normativas específicas, la escasa formación técnica y la resistencia al cambio tecnológico (Rashid et al., 2025).

El concreto armado ampliamente utilizado en estructuras presenta una vulnerabilidad crítica, la aparición de fisuras. Estas fisuras, además de reducir su capacidad estructural, permite el ingreso de agentes agresivos que aceleran la corrosión del refuerzo (Premalatha et al., 2023). Detectarlas oportunamente es difícil, ya que generalmente se identifican mediante inspección visual, lo cual puede generar errores y demoras en su reparación.

El denominado “concreto verde”, propone soluciones sostenibles mediante la adición de componentes que reduzcan su impacto ambiental (Jing et al., 2025). En particular usar bacterias del género *Bacillus*, como BS, ha demostrado precipitar calcita de calcio, lo que permite la reparación autónoma de microfisuras. Esta tecnología no solo mejora la durabilidad del concreto, sino que también reduce la necesidad de mantenimiento frecuente, lo que

representa una solución respetuosa e innovadora con la preservación del medio ambiente (Asgharpour et al., 2024).

En este sentido la presente investigación plantea evaluar el efecto del BS en diferentes concentraciones sobre las propiedades del concreto convencional, con el objetivo de validar su potencial en el desarrollo de un concreto más sostenible y autorreparable, en el contexto de la provincia de Ica, durante el año 2025.

1.2. Descripción del problema

El material comúnmente usado en la construcción es el concreto a nivel de todo el mundo por su resistencia a la compresión y la disponibilidad de materias primas, siendo importante prestar atención a la durabilidad a largo plazo ante exposiciones a humedad, sequedad, cargas variables, ataques químicos y presencia de microgrietas, poniendo en riesgo la integridad estructural al permitir el ingreso de cloruros y sulfatos acelerando de esta forma la corrosión del acero de refuerzo, para solucionar estos problemas se viene adicionando aditivos, recubrimiento de superficie, mantenimiento y reparaciones de estructuras, con limitaciones ecológicas, sostenibilidad y económicas a largo plazo, en estas condiciones la biotecnología es una buena alternativa con el uso de bacterias con la participación de múltiples disciplinas analizando aspectos estructurales y biológicos. Como indica Morales et al., (2023), el concreto se usa masivamente por su resistencia y duración en el tiempo, se presentan anomalías después del vaciado, produciendo daños en las estructuras, afectando su vida útil, por lo que debe realizarse el mantenimiento periódico usando generalmente aditivos, resinas, epóxicos con mayores costos no previstos.

Desde la década de 1990 se han venido desarrollando los materiales autorreparantes y se utilizan actualmente de diversas formas. Presentan buen desempeño en ambientes agresivos o extremos, por lo que se vienen investigando sus propiedades mecánicas (An et al., 2021, p. 1).

La presencia de grietas en el concreto, reducen su resistencia y generan corrosión en el acero, por lo que el uso de bacterias es una alternativa de solución que respeta el medio ambiente (Mokhtar et al., 2021).

Un material ecológico para disminuir grietas es el bioconcreto (Kirupakaran et al., 2023). Del mismo modo Adak et al. (2021), considera al concreto autorreparable un material revolucionario en la industria de la construcción, con mayor vida útil, duradero y sostenible.

La fabricación del cemento requiere alto consumo energético y emite dióxido de carbono con un considerable impacto medioambiental, se viene estudiando la aplicación de cenizas de residuos agrícolas como material cementante disminuyendo la huella de carbono entre los que podemos mencionar, la ceniza de cascara de arroz, café, ceniza de bagazo de caña de azúcar, fomentando la sostenibilidad en la construcción de conformidad con las metas climáticas globales y los objetivos sostenibles del desarrollo mundial (Onsongo et al., 2025).

El concreto es ampliamente usado y versátil, utilizado por su resistencia y durabilidad fundamentalmente a la compresión, garantizando la seguridad de las construcciones (Abazarsa & Yu, 2025).

La degradación ambiental contribuye a los desperfectos que se presentan en las obras por lo que hay que prestar atención a la mitigación del impacto en el cambio climático reduciendo las emanaciones de efecto invernadero, la durabilidad de las construcciones cambia significativamente en el mundo, por el deterioro de los materiales de construcción utilizados, si no le prestamos atención, este deterioro se agrava y acelera disminuyendo la vida útil de varias décadas esperada por lo que aplicar el mantenimiento preventivo es importante (Mydin et al., 2025)..

Las edificaciones pueden hacerse de concreto armado o de acero, se prefiere construir usando concreto armado por la disponibilidad de la mano de obra y materiales en contraposición de edificaciones de acero, el colapso de las construcciones generalmente se debe

a la pérdida de capacidad para soportar cargas, produciendo en varios casos pérdidas de vida además de perjudicar la economía y el prestigio de las empresas constructoras, por lo que debemos averiguar la causa, siendo el mantenimiento preventivo una buena alternativa además del uso de biotecnología en la producción del concreto para mejorar sus propiedades de resistir cargas y durabilidad (Blandon-Valencia et al., 2024).

Escasamente se viene prestando atención a reutilizar materiales utilizados en la construcción para disminuir el impacto causado (Mei et al., 2025).

La sustitución de los materiales inorgánicos por componentes de base biológica disminuye los cada vez más graves y frecuentes perjuicios a las edificaciones causadas por el agua y la humedad esperándose que estos materiales biológicos sean susceptibles al crecimiento de hongos, por lo que deben seleccionarse con especial cuidado antes de ser usados en construcciones con peligro de ser dañadas por el agua (Andersen & Rasmussen, 2025).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

PG ¿De qué manera la aplicación de *Bacillus subtilis* (BS) modifica las propiedades del concreto convencional en la provincia de Ica, durante el año 2025?

1.3.2. Problemas específicos

PE1 ¿Cómo influye la incorporación de BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre el asentamiento (Slump) del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, año 2025?

PE2 ¿Qué efecto tiene la adición de BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre el porcentaje de vacíos del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, en el año 2025?

PE3 ¿Como varia la resistencia a la compresión del concreto con concreto $f'_c = 210$ kg/cm² al aplicar BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ en la provincia de Ica, durante el año 2025?

PE4 ¿Qué influencia tiene la dosificación de concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre la capacidad de autorreparación del concreto con $f'_c = 210$ kg/cm² en la provincia de Ica, en el año 2025?

1.4. Antecedentes

1.4.1. Antecedentes internacionales

Ibrahim et al. (2025), en su artículo “Influencia de la adición de la bacteria BS en las propiedades mecánicas y químicas del mortero de cemento”, cuyo objetivo fue investigar cómo afecta las propiedades del mortero, para lo cual se aisló 48 cepas bacterianas, las que fueron cultivadas, añadiéndose bacterias en 5% y el 10% en peso, los resultados evidenciaron el incremento del esfuerzo de compresión después de 28 y 56 días en comparación con la mezcla control, respaldando el uso de bacterias en la elaboración del concreto para el cuidado del medio ambiente.

Teshome & Battula (2025), en su artículo científico “Uso de agentes autorreparadores de base biológica para el desarrollo de hormigón duradero y respetuoso con el medio ambiente”, cuyo principal objetivo fue identificar bacterias que soporten condiciones extremas en el hormigón durante largos periodos y actuar autorreparando fisuras las que deben permanecer vivas considerando el pH, escasez de nutrientes y esfuerzos mecánicos a los que está sometido el concreto. La metodología es experimental sistemática, investiga como impactan las bacterias en la resistencia, durabilidad, porosidad y autocuración del hormigón; comienzan cultivando la bacteria *Bacillus*, preparando probetas con o sin bacterias, estas probetas funcionan como grupo de control y experimentales, se evalúa mediante la microscopia electrónica de barrido (SEM), estos análisis evalúan el impacto de incluir bacterias, así como

el comportamiento mecánico, posteriormente crearon fisuras las que fueron sometidas a ciclos de humectación y secado. Se verificó el proceso de autorreparación a través de inspección visual, midiendo el ancho de fisuras y análisis SEM. Concluye indicando que las bacterias pueden usarse en combinación con lactato de calcio, mejorando las propiedades de curación autónoma del hormigón, adicionar este lactato al medio de cultivo bacteriano incremento la formación de esporas.

Sukumaran et al. (2025), en su artículo “Hormigón bacteriano: el futuro de las infraestructuras autocurativas y sostenibles”, cuyo objetivo fue investigar la mejora de la durabilidad en el concreto y propiedades mecánicas, incluyendo bacterias como *Bacillus Licheniformis*, *Bacillus Flexus*, *Pseudomonas stutzeri*, *Escherichia coli* y BS; específicamente evaluó la resistencia a la tracción, compresión, durabilidad y resistencia a agentes ambientales; con buenos resultados, incluyó la prueba de asentamiento demostrando que las cepas bacterianas dan mayores valores de asentamientos mejorando su rendimiento en estado fresco, lo que mejora la construcción sostenible, dando significativa mejora en la durabilidad; el concreto con bacterias demostró mayor trabajabilidad y mejores resistencias a la compresión, flexión y tracción con BS y *Bacillus Licheniformis* a 10^6 células /ml.

Tan et al. (2023), en su trabajo de investigación “Portadores de agentes curativos en hormigón biológico autorreparable” con el fin de revisar los actuales materiales portadores de agentes biológicos en concreto autocurativo, indica que el concreto se agrieta fácilmente aumentando su permeabilidad y acelerando la corrosión, las propiedades mecánicas del concreto se pueden mejorar curando las grietas, en este sentido la aplicación de carbonato de calcio inducido por microbios viene recibiendo bastante atención, sin embargo este agente biológico difícilmente soporta el alto contenido de álcali y calcio en el concreto, por lo que requiere protección. La curación del concreto llamado autóloga (perteneciente a uno mismo) es el resultado de la carbonatación del Ca(OH)_2 en el mismo, que no ha participado

hidratándose después de agrietarse, sellando las grietas, curando micro fisuras de 60 micras (0.06 mm) como máximo. Para la protección de los agentes biológicos se viene usando polímeros orgánicos, agregados porosos, microcápsulas entre otros. Concluye indicando que los investigadores han optimizado y probado varios portadores de agentes biológicos curativos, sin embargo, se vienen usando microcápsulas de resina epóxica, gel de silicona, partículas de arcilla expandida, espuma de poliuretano, sin embargo, estos portadores pueden ser mejorados para lograr mayor profundidad y velocidad de curación.

Zamba & Mohammed (2023), aborda la utilización de bacterias para incrementar la durabilidad y propiedades mecánicas del concreto, investigo el BS como bacteria incorporándola en 10^8 células/ml de concentración, elaborando 66 probetas, probándose sus propiedades mecánicas a los 7, 14, 28 y 56 días, además de observar especímenes agrietados usando un microscopio óptico 3D revelando la formación de considerable deposito cristalino blanco cerrando las fisuras. Muestra como resultado que adicionar bacterias al concreto se encuentra una mejora importante en la durabilidad y propiedades mecánicas, debido a que la bacteria BS genera precipitación de calcita; los resultados de esfuerzo de compresión aumentaron en 19.55% respecto al grupo control a los 28 días.

Mahmood et al. (2022), en la investigación publicada “Biohormigón autocurable con BS encapsulado en nanopartículas de óxido de hierro” investigo si el BS repara eficazmente grietas a una nano y microescala; usando como medio de inmovilización las nanopartículas de óxido de hierro, verificando la compresión de las muestras a los 28 días, la carga para producir la fisuración se determinó en 80% de la compresión ultima, resultando que la bacteria usada contribuyo mejorando la resistencia a la compresión acelerando la curación de las grietas. Demostró que usar nanopartículas de óxido de hierro mantuvo vivo el BS hasta la formación de las fracturas. La formación de calcita por la actividad de la bacteria en las nano o micro fisuras producidas fue verificada por estudios micrográficos y químicos.

Akindahunsi et al. (2021), estudia aplicar células de una bacteria ureólica para aumentar la compresión del concreto, comparando concretos adicionando bacterias con los fabricados convencionalmente, elaboro probetas cubicas de concreto con 10^5 , 10^7 y 10^9 células/ml de bacterias además del grupo control con cero o sin bacterias, encontrando que la calcita formada por BS, en un medio adecuado con una fuente de calcio aumenta en 27%, 26%, 14% y 13% la compresión del concreto para una concentración de 10^5 células/ml, ensayados a la edad de 7, 14, 28 y 56 días, revelando que la calcita bacteriana produce mejores resultados al ensayo a la compresión que el concreto convencional.

Ferral-Pérez & Galicia-García (2020), en el artículo publicado “Bioprecipitación de carbonato de calcio por BS y su potencial de autocuración en materiales a base de cemento” cuyo objetivo fue identificar en un sistema semisólido la bioprecipitación de cristales de CaCO_3 por aplicación de BS, resultando que en el tercer día de incubado se produjo CaCO_3 , predominando la calcita y vaterita en una menor proporción, llegándose a un PH de 10, abriendo una buena oportunidad en la implementación de bioactivos con base en *Bacillus* lo que le da enfoque de sostenibilidad para la restauración biogenética como un proceso de autocuración y anticorrosión del concreto armado, existiendo buenas posibilidades para seguir investigando.

Cezario et al. (2018), en la investigación “Relleno de grietas en hormigón mediante la adición de esporas de BS – Estudio preliminar” con el objetivo de ver cómo se comporta dos mezclas de concreto adicionando BS rellenando fisuras durante el curado, evaluando la influencia en el esfuerzo de compresión, elaborando mezclas de concreto en proporción 1:1:2 y 1:2:3 (cemento: arena: piedra) con relación agua cemento 0.33 y 0.45; a las que se adicionaron 0, 0.3×10^8 o 1.2×10^8 de esporas/ml de BS, verificándose que en todas las mezclas se evidenciaron cristales precipitados como carbonato de calcio, las que rellenaron visiblemente las grietas, recomendando realizar más estudios con la finalidad de comprobar el cerramiento

de grietas; sin embargo adicionar 1.2×10^8 esporas /ml no produjo diferencias en la resistencia a la compresión al compararlo con el grupo control. Indica que es inevitable la presencia de fisuras pequeñas en el concreto armado, debido seguramente a su baja resistencia a la tracción comparándolo con la compresión, permitiendo de esta manera el ingreso de agresivos agentes que deterioran las armaduras de acero y al mismo concreto, si se trata de estructuras hidráulicas se presenta adicionalmente la falta de estanqueidad, recurriéndose en estos casos a la aplicación de costosos aditivos para su reparación. Por lo que se viene analizando el auto sanado autógeno por la carbonatación o hidratación de partículas de cemento sin reaccionar, este auto sanado autónomo se realiza añadiendo agentes de tal forma que reaccionen cuando aparezcas las fisuras produciendo carbonato de calcio, las bacterias son adicionadas durante la mezcla del concreto y pueden o no encapsularse con nutrientes, cuando aparecen fisuras, las bacterias presentes de esta zona se activan produciendo carbonato de calcio, sus resultados demuestran que adicionando esporas se presentan precipitaciones de cristales, indica que posiblemente sea carbonato de calcio, el mismo que se visualiza en las fisuras.

1.4.2. Antecedentes Nacionales

Quintanilla (2025), en su tesis elaborada como requisito para obtener el grado de doctor en ingeniería civil titulada “Influencia de la adición de bacterias *Bacillus subtilis* (BS) en la autorreparación de grietas del concreto”, cuyo objetivo fue evaluar cómo influye el BS protegido y no protegido en el cerramiento automático de grietas y el aumento de su resistencia a la compresión; el método utilizado fue documental, preseleccionando 19 artículos de 250, encontrando en promedio 0.378 milímetros como sellado autónomo en bacterias aplicadas directamente y un incremento de 14.90% en la resistencia a la compresión para bacterias aplicadas directamente y de 0.650 milímetros como sellado autónomo y un 17.16% de mayor resistencia a la compresión para bacterias con protección, concluyendo que adicionar BS produce un significativo sellado autógeno.

Muñoz-Pérez et al. (2023), encara el reto de hacer una reflexión crítica de los últimos avances en la tecnología acerca de ensayos químicos y biológicos con adición de bacterias al concreto, cuyo objetivo fue entender los diferentes elementos microbianos capaces de autocurarse mejorando sus propiedades mecánicas a través de la biomineralización, reduciendo la emisión de gases que causan daño al medio ambiente, revisando 80 artículos científicos, señala como conclusión que el concreto con adición de microbios se presenta como un prometedor enfoque en un futuro inmediato mostrando gran efectividad en la disminución del agrietamiento, con el incremento de su resistencia del concreto al producirse carbonato de calcio, disminuyendo de esta manera costos de reparar elementos estructurales.

Morales et al. (2023), en la investigación Contribución de *Lysinibacillus sphaericus* en la reparación de fisuras y fortalecimiento de la resistencia a la compresión en hormigón duradero, cuyo objetivo fue hallar como influye el *Lysinibacillus sphaericus* en el esfuerzo a la compresión y autorreparación del concreto $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, investigación aplicada experimental, indica que el hormigón se usa por su resistencia, durabilidad y dureza, desarrollando construcción sostenible, confiable y con calidad. Usa agregados de Piura, cemento tipo V, agrega un aditivo plastificante, usa aditivo bacteriano con *Lysinibacillus sphaericus* 4525, el cual es comprado a American Type Culture Collection el mismo que necesito conservación refrigerada entre 2 a 8°C , preparo concreto para obras hidráulicas con $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, moldean 36 muestras cilíndricas y 12 prismáticas con diferentes dosis de 0, 15, 20, 25 ml/m^3 , evaluándolas en su autorreparación del concreto mediante SEM. (microscopio electrónico de barrido) y su resistencia a la compresión axial (ASTM C 39). Los resultados evidencian un aumento de resistencia a la compresión del 16% cuando se usa 25 ml/m^3 de aditivo, respecto a la autorreparación se alcanzó valores importantes en la semana segunda con 69% de reparación de grietas cuando se analiza con SEM.

1.5. Justificación de la investigación

La elaboración de concreto incrementa considerablemente las emisiones de gases con efecto invernadero, agotando recursos naturales esenciales para su producción (Mohammadi & Ramezaniyanpour, 2023), La disminución de las emisiones de dióxido de carbono preocupan a la sociedad y en especial al sector construcción (Maruyama et al., 2021). Usar concreto en los proyectos de construcción impacta directamente en el medio ambiente debido a la alta demanda de recursos no renovables, generación de residuos y contaminación.

En el mismo sentido Chen et al. (2024) en la conclusión de su investigación indica, los materiales de base biológica permiten una vía prometedora hacia la neutralidad del carbono, ayudando a mitigar el cambio climático, minimizando la generación de residuos. La elaboración de biomateriales permite un menor consumo de energía, fomentando una mayor eficiencia energética. Los biomateriales mejoran tanto las propiedades mecánicas como la biodegradabilidad de los componentes de construcción, abriendo oportunidades para el reciclaje.

El concreto como material resistente a la compresión y duradero, puede presentar fisuras por efectos térmicos, mecánicos o ambientales, lo que disminuye su vida útil y requiere intervenciones costosas, en este sentido el uso de concreto autorreparable adicionando BS, se perfila como una solución viable y eficiente a este problema (Hadhinata et al., 2022, p. 1).

Justificación practica

Se justifica en la necesidad de emplear materiales de construcción más durables, sostenibles y eficientes. El uso de BS en mezclas de concreto representa una alternativa biotecnológica que contribuye a mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

El concreto pese a su uso extendido tiende a fisurarse, lo que facilita el ingreso de agentes agresivos como cloruros o sulfatos. La incorporación de BS produce la formación de carbonato de calcio mediante biomineralización, permite la autorreparación de estas fisuras de forma autónoma al entrar en contacto con el aire o el agua. Esta capacidad prolonga la vida útil

del concreto, reduce costos de mantenimiento y refuerza su durabilidad, promoviendo practicas constructivas más sostenibles.

Asimismo, la revisión de antecedentes evidencia un creciente interés por mejorar las propiedades del concreto mediante aditivos, fibras y agentes biológicos (Sanchez, 2025). , lo cual refuerza la pertinencia practica de esta investigación.

Justificación teórica

La justificación teórica consiste en comprender el mecanismo de incremento de las propiedades físicas y mecánicas, especialmente con la adición de BS innovando de esta forma la aplicación de biotecnología en ingeniería civil. La región de Ica Perú presenta condiciones climáticas áridas con cambios térmicos marcados y radiación solar en niveles considerables.

En este sentido Šovljanski et al. (2025) menciona que integrar la biotecnología en la construcción de edificaciones vienen cambiando los enfoques con un notable rendimiento de los sistemas bacterianos cuando se aplica en el hormigón, demostrándose el cerramiento de fisuras de hasta 0.8 mm de ancho, con mejora de la permeabilidad en un 70% a un 90%, resalta el posicionamiento de la biotecnología de la construcción como transformación hacia sistemas de infraestructura con bajas emisiones de carbono.

De modo similar diversos estudios vienen demostrando que incluir BS en mezclas de concreto puede reducir la permeabilidad, incrementando su resistencia a la compresión, disminuyendo la propagación de grietas, mejorando de esta forma la durabilidad, con esta investigación se contribuye al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, al disminuir la necesidad de mantenimiento y reemplazo de las estructuras de concreto. Por lo expuesto podemos indicar que la justificación teórica de esta investigación se sustenta en superar las limitaciones del concreto convencional frente al agrietamiento, integrando principios de biotecnología en la ingeniería civil moderna, generando conocimiento local

adaptado a las condiciones climáticas de la región, además de promover soluciones constructivas más sostenibles.

Justificación metodológica

En lo concerniente al enfoque metodológico se justifica con los criterios a excluir e incluir para realizar la investigación, buscando comprobar de manera objetiva los efectos del BS sobre las propiedades del concreto manipulando deliberadamente la variable independiente en condiciones controladas, utilizando un grupo de control y grupos experimentales.

1.6. Limitaciones de la investigación

A pesar de los resultados obtenidos, esta investigación presentó algunas limitaciones que afectaría la generalización y aplicación de hallazgos.

Limitación geográfica. El estudio se realizó exclusivamente en la provincia de Ica, Perú, lo que restringe la extrapolación de las conclusiones a otras regiones con agregados, calidad de agua y condiciones climáticas diferentes.

Limitación técnica. La investigación se enfocó únicamente en la aplicación de BS sin encapsular. No se evaluaron variables como la estabilidad del cultivo, su almacenamiento.

Limitación experimental. Debido a recursos limitados y autofinanciamiento, los ensayos fueron realizados en condiciones de laboratorio. No se incluyeron pruebas como resistencia a la tracción, flexión ni módulo de elasticidad, lo cual restringe el análisis completo del comportamiento del concreto.

Limitación regulatoria. No se encontró normativa específica para la aplicación de microorganismos en materiales de construcción en el Perú, lo que puede dificultar su implementación.

Limitación económica. No se realizó un análisis costo – beneficio comparativo entre el uso de BS y las técnicas tradicionales de reparación o mejora del concreto.

1.7. Objetivos

1.7.1. *Objetivo general*

OG Determinar cómo la aplicación de BS modifica las propiedades del concreto en la provincia de Ica, año 2025.

1.7.2. *Objetivos específicos*

OE1 Verificar la influencia de incorporar BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla sobre el asentamiento (Slump) del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, año 2025.

OE2 Comprobar el efecto producido por la adición de BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla sobre el porcentaje de vacíos del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, en el año 2025.

OE3 Analizar cómo varía la resistencia a la compresión del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al aplicar BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ en la provincia de Ica, durante el año 2025.

OE4 Explicar la influencia que tiene la dosificación de concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre la capacidad de autorreparación del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, en el año 2025.

1.8. Hipótesis

Hipótesis general

HG Se prevé que la aplicación de BS modifique las propiedades del concreto convencional en la provincia de Ica, durante el año 2025.

Hipótesis específicas

HE1 Se pronostica que aplicar BS en proporciones 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla influya sobre el asentamiento (Slump) del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, año 2025.

HE₂ Preparar concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla afecta el porcentaje de vacíos del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, año 2025.

HE₃ Hacer concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ varia la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, durante el año 2025.

HE₄ Se prevé que producir concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla influya en la capacidad de autorreparación del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, en el año 2025.

II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se construye el marco conceptual, abordando la caracterización de las variables y sus respectivos indicadores, sustentando conceptualmente el problema de estudio, con el propósito de contar con una base sólida de enfoques teóricos y conocimientos previos a la investigación. A continuación, se expone el sustento teórico, ofreciendo una visión integral del fenómeno de estudio y de los fundamentos científicos relacionados con la aplicación de BS en la fabricación del concreto.

2.1. Marco conceptual

2.1.1. *Concreto autorreparable*

El concreto autorreparable es una significativa innovación en el área de inteligentes materiales de construcción, considerando uno de los problemas más costosos y comunes en el concreto clásico o tradicional como la presencia de micro fisuras, integrando agentes autorreparadores de tipo biológico, agregando bacterias biológicas, las que producen carbonato de calcio, por lo que usar concreto autorreparador es un cambio de paradigma, porque aprovecha su natural capacidad de las bacterias añadidas para con la calcita precipitada reparar grietas aumentando la durabilidad de las estructuras (Asgharpour et al., 2024), estas bacterias son incorporados al concreto en condición latente a través de portadores como la sílice, arcilla expandida entre otros, realiza combinaciones de agentes biológicos con el cemento permitiendo que las menores fisuras automáticamente se reparen en el tiempo de vida útil del material, además se demuestra en recientes estudios incrementos en la resistencia a la compresión y flexión entre valores del 15% al 50%, mejorando la durabilidad a largo plazo; presentando un incremento de las propiedades mecánicas, registrándose incrementos de resistencia a la compresión entre un 15% y 50% con respecto al concreto tradicional, al reducir su permeabilidad y evitar que las fisuras se propaguen se produce un mejor comportamiento estructural (Tie et al., 2024), sin embargo hay parámetros como los ambientales, grado de

acidez o alcalinidad, la temperatura, el oxígeno y la humedad pueden afectar la eficacia de la reparación (Wong et al., 2024).

Para nuestro caso el concreto autorreparable lo definimos como el concreto con adición de bacterias BS, con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas como el asentamiento o slump, temperatura, porcentaje de vacíos; y mecánicas como la resistencia a la compresión, en este estado endurecido también se verificó la autorreparación del concreto a la edad de 360 días (a menor edad no se evidencio cambio alguno).

2.1.2. Desempeño a largo plazo del BS.

Considerando los resultados expuestos por Milović et al. (2024), se demuestra que el uso de BS en el concreto presenta buenos resultados en el mediano y largo plazo, observándose que a los 180 días presenta autorreparación de fisuras de hasta 0.5 mm de ancho con mejora de la resistencia a la compresión, lo que evidencia una favorable aplicación en la industria de la construcción; lo que nos indica un elevado potencial de aplicarlo en la industria de la construcción como agente biotecnológico, resistente frente a agentes agresivos, como cloruros o sulfatos.

2.1.3. Deterioro del concreto

Degradación de la durabilidad y características mecánicas producido por agentes químicos, físicos, biológicos y mecánicos, perjudicando su comportamiento (Uthaman & Vishwakarma, 2023); entre los principales mecanismos de deterioro podemos mencionar la carbonatación, iniciando con la corrosión (Qiu, 2020), ataque por sulfatos, cloruros en ambientes marinos provocando corrosión en la armadura de acero con pérdida de adherencia con el concreto (Fuhaid & Niaz, 2022); el congelamiento temprano en climas fríos produce micro fisuras y pérdidas de durabilidad, con una hidratación inadecuada provocando pérdida de resistencia inicial y deformaciones irreversibles (Huang et al., 2024).

Para nuestro caso lo definimos como la aceleración de la degradación del concreto por causa de condiciones del clima, ciclos de secado humedecimiento, permitiendo el ataque de sulfatos al concreto, reaccionando con los componentes del cemento formando productos expansivos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Agregados

Los agregados en el concreto son partículas en tres dimensiones con tamaños y formas irregulares, diversas y aleatorias (De La Rosa et al., 2025).

2.2.2. Agregado fino

Agregado que atraviesa la malla N°4 y permanece retenido en la malla N°200, generalmente se usa el arena de rio, lo que produce el agotamiento de este recurso natural (Vandhiyan et al., 2021).

2.2.3. Agregado grueso

Agregado retenido en la malla N°4, generalmente de forma angular y proveniente de piedras trituradas (Gao et al., 2025).

2.2.4. Agrietamiento

Simboliza uno de los factores decisivos en el desempeño de las estructuras, su aparición se le puede atribuir a la contracción temprana, la deformación térmica y la carga aplicada (Qu et al., 2024).

2.2.5. Bacteria

Ser vivo muy diminuto, lo forma una sola célula, carece de núcleo, puede existir en casi cualquier lugar (suelo, nuestro cuerpo, agua o en medios intensos), su reproducción la realiza fraccionándose en dos, se alimentan de variadas formas (Sant'Anna et al., 2020).

2.2.6. *Bacillus subtilis*

Bacteria Gram-positiva, que forma esporas, estudiada por su capacidad de soportar el entorno alcalino del concreto y seguir viviendo en condiciones adversas, se puede hallar en ambientes acuáticos y suelos, donde se usa para degradar materia orgánica, se caracteriza principalmente por formar esporas, permitiéndole sobrevivir en prolongados estados de latencia ante la deshidratación, cambios de PH y altas temperaturas; en la biotecnología aplicada a la construcción es relevante su capacidad de biomineralización del carbonato de calcio, esta bacteria al ser incorporadas al concreto mediante capsulas que la resguardan hasta que se den las condiciones de humedecimiento y nutrición la reactiven, cuando se presenta esta reactivación forman cristales de carbonato de calcio aumentando la durabilidad y sellando fisuras, lo anteriormente mencionado permite su aplicación en bioconstrucción sostenible, usar BS es una solución ecológica e innovadora para extender la vida útil de elementos estructurales y reducir el mantenimiento (Ibrahim et al., 2025).

2.2.7. *Cemento*

Según Asgary et al. (2024), es un material de polvo fino que aglutina materiales como los agregados al reaccionar con el agua, iniciando reacciones químicas que posibilitan el fraguado y endurecimiento, conformando una matriz solida al unir los agregados gruesos y finos presentes en la mezcla, esta hidratación forma el silicato de calcio hidratado que le da resistencia mecánica al concreto principalmente.

Lo versátil del cemento está en la capacidad de adherencia convirtiéndolo en un insumo principal en obras modernas de infraestructura, por su estructura química actúa como un medio altamente alcalino protegiendo el acero de construcción contra la corrosión, esto también representa un ambiente hostil para aplicaciones biotecnológicas cuando se aplican bacterias para la autorreparación del concreto; para lograr la integración de microorganismos en mezclas de concreto, se debe comprender el comportamiento y composición del cemento durante el mezclado hasta llegar al endurecimiento, por lo que sería importante modificar ciertos

parámetros del cemento como su composición mineralógica entre otros para mejorar su aplicación con agentes biológicos (Asgary et al., 2024).

2.2.8. *Concreto*

Material utilizado desde hace más de doscientos años y probablemente seguirá siendo utilizado. como una mezcla de material cementante hidráulico, agregado grueso, fino y agua puede incluir aditivos, también se le conoce como hormigón en algunos estados de habla hispana, es un compuesto heterogéneo, de amplio uso en la construcción considerando su resistencia mecánica, durabilidad y versatilidad, obtenida al mezclar de forma controlada un material cementante como el cemento portland, agregados finos, gruesos, agua para permitir la reacción y en algunos casos aditivos químicos o materiales adicionados para modificar sus propiedades, esta combinación, inicialmente en estado plástico y moldeable, experimenta una serie de reacciones químicas conocidas como hidratación, a través de las cuales se transforma progresivamente en un sólido rígido con características físico-mecánicas adecuadas para resistir cargas de compresión y limitadas cargas de tracción (MVCS, 2020, p. 26). El concreto generalmente es el material encargado de soportar las cargas de compresión, de la misma manera proteger el acero ante el ataque de agentes externos.

2.2.9. *Construcción sustentable*

Es una evolución integral del modelo tradicional que busca reparar y mantener la armonía entre los entornos natural y construido, con la finalidad de disminuir los impactos ambientales negativos, produciendo entornos que afirmen la dignidad humana y fomenten la equidad económica, optimizando el uso de los recursos energéticos y naturales, considerando el impacto en el crecimiento económico y la prosperidad social de la industria de la construcción, es primordial que los esfuerzos se orienten hacia el diseño y la construcción de instalaciones sostenibles que aborden la salud y seguridad de las partes interesadas, no limitándose a la reducción del consumo energético o al uso de materiales reciclables, sino

representado una responsabilidad técnica y ética en la recuperación del medio ambiente; implicando una profunda transformación en la planificación urbana, ingeniería civil, arquitectura y gestión de proyectos, considerando criterios de sostenibilidad desde el diseño hasta el fin de su vida útil; en este sentido se debe promover el uso de tecnologías verdes, entre las que podemos mencionar sistemas de climatización adecuados, energías renovables, uso de materiales con baja huella carbónica y el uso de técnicas constructivas con baja emisión de gases de efecto invernadero, afianzando la continuidad funcional ante amenazas naturales como sismos, terremotos, cambios climáticos entre otros; siendo necesario el compromiso de ingenieros, arquitectos, usuarios finales, entidades gubernamentales, en la toma de decisiones, promoviendo la capacitación en prácticas sostenibles, fomentando políticas públicas con indicadores de desempeño ambiental, social y económico hacia una construcción sostenible (Tayeh et al., s. f.).

2.2.10. Fisuras

Aberturas de ancho generalmente menores a 1 mm, afecta a la superficie del concreto, su aparición está ligada a cambios de temperatura, humedad entre otros.

2.2.11. Grietas

Resquebrajadura con ancho mayor a 1 mm, perjudican las estructuras de concreto en todo su grosor, representan una amenaza a la integridad e idoneidad del servicio de la estructura (L. Wang, 2023).

2.2.12. Micro fisuras

Pequeñas discontinuidades generalmente menores a 10 micras, las que surgen en la matriz del concreto, por lo general imperceptible a simple vista, originadas por variaciones de volumen como es el caso de la retracción en la etapa de fraguado, aparecen entre la pasta de cemento y el agregado como consecuencia de las tensiones localizadas y pueden formar fisuras en el tiempo, las micro fisuras inician la destrucción del concreto al permitir el ingreso de

cloruros, agua y otros elementos agresivos, incrementando las fisuras, acelerar la corrosión del refuerzo reduciendo su resistencia y durabilidad (Ševčík et al., 2024).

2.2.13. *Propiedades del concreto*

Las propiedades físicas, mecánicas y químicas del concreto determinan su comportamiento tanto en estado fresco como endurecido, siendo esenciales para garantizar su funcionalidad, trabajabilidad, durabilidad y comportamiento estructural; en estado fresco, estas propiedades definen la facilidad de colocación, consolidación y acabado, influenciadas por la temperatura, la relación agua/cemento, la forma y tamaño de los agregados, el contenido de aire (incluido y atrapado) y el uso de aditivos, destacando el slump o consistencia como medida de la trabajabilidad (Kaleta-Jurowska & Jurowski, 2020), mientras que la temperatura también afecta el tiempo de fraguado, la velocidad de hidratación y el desarrollo de su resistencia (Dongyu et al., 2015); cuando el concreto se encuentra en estado endurecido, se evalúa principalmente la resistencia a la compresión, la durabilidad frente a sulfatos, cloruros o ciclos térmicos, ya que con menor porosidad tendremos mayor resistencia, menor absorción y mejor comportamiento frente a ataques químicos (Han et al., 2020), aspectos que en conjunto, definen la vida útil del concreto y la adherencia con el acero, evitando fisuras y pérdida de sección por corrosión.

2.2.14. *Resistencia a la compresión del concreto*

Mayor esfuerzo de compresión que es capaz de resistir una probeta cilíndrica o cubica antes de fallar, ensayada según procedimientos normalizados (Yankelevsky, 2024), obtenido de la aplicación de una fuerza que comprime la probeta hasta que ocurre la rotura, dividiendo esta carga entre el área de la probeta, “considerando un ensayo de resistencia al promedio de dos ensayos realizados a la misma muestra y ensayada a los 28 días o a la edad de ensayo establecida” (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], s.f., p. 32 (Norma E060)); la

resistencia a la compresión del concreto se ve afectada por factores como la temperatura, ataque de sulfatos, ciclos de congelación y deshielo entre otros (W. Wang & Yue, 2023).

2.2.15. Resistencia a la tracción del concreto

El concreto presenta baja resistencia a la tracción con aparición de grietas, esta tensión puede deberse a gradientes de temperatura, cargas externas excesivas, asentamientos diferenciales, retracción por secado, corrosión, ataques químicos (Hammad et al., 2025), también se ve influenciada por el tipo de agregado utilizado, por las proporciones usadas en la mezcla y el uso de aditivos o fibras (Pal et al., 2025).

2.2.16. Resistencia de materiales

Estudia el comportamiento mecánico de sólidos al aplicársele cargas externas. Evalúa los materiales en su capacidad de resistir compresión, tensión y corte, sin llegar a la falla o en estado plástico; pronosticando el comportamiento de los elementos estructurales ante diferentes solicitaciones, pronostico en base a fundamentales principios de mecánica de sólidos y en experimentos que aseveran que estos materiales se comporten dentro de rangos elásticos, implicando que cada elemento en análisis se comporte de forma predecible al aplicárseles cargas controladas, plantea el uso de factores de seguridad en el diseño para asegurar que los material no crucen el rango elástico, garantizando que los materiales regresen a su estado inicial proporcionando de esta manera estabilidad a las estructuras (Michael, 2024).

2.3. Base Filosófica

Los valores epistémicos los encontramos cuando buscamos el conocimiento, entre ellos encontramos a la verdad, el alcance, la eficacia, la precisión, la novedad, la aplicabilidad, la robustez, la predicción, y el poder explicativo, los valores no epistémicos están relacionados con las metas prácticas y objetivos, por ejemplo valores éticos (beneficencia, no maleficencia, autonomía), valores políticos (justicia, sostenibilidad e igualdad) y algunos valores económicos (rentabilidad, viabilidad); un valor que difícilmente lo podemos clasificar como no epistémico

o epistémico es la responsabilidad científica, este término incluye no solo el deber de integridad y precisión en los resultados, sino que también incluye todo el procedimiento realizado para llegar a ellos (Zanetti et al., 2023).

Los humanos como especie dominante en la tierra, y los líderes solo se vienen preocupando por las ganancias o a la globalización en el entorno empresarial, teniendo a la sostenibilidad como objetivo secundario, ignorando los efectos del cambio climático producidos por el desarrollo de la tecnología con la afectación del medio ambiente, ante este hecho es importante atender la necesidad de desarrollar capital natural teniendo como base los recursos naturales, incluyendo los ecosistemas en el desarrollo sostenible, proteger el medio ambiente es por lo tanto una necesidad preocupante (Hategan, 2021).

La práctica científica viene siendo guiada en muchos casos por valores políticos y económicos, sin embargo, podemos seguir afirmando que los objetivos en la ingeniería suelen ser prácticos al resolver necesidades de la sociedad con base en la ciencia, usando el método, las técnicas disponibles y no solo se limita a incrementar el conocimiento.

2.4. Marco legal

La investigación considera las normas vigentes para la construcción y el diseño de edificaciones.

Las principales normas que regulan la construcción y el diseño estructural en el Perú las encontramos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a), norma de cumplimiento obligatorio en todo el territorio del país para las personas naturales, jurídicas y entidades públicas que planifican, diseñan y ejecutan proyectos de construcción, con la finalidad de garantizando la calidad y seguridad en las construcciones.

En el título tres del “Reglamento Nacional de Edificaciones” (RNE), encontramos la Norma Técnica de Edificación (NTE) E 030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda

Construcción y Saneamiento, 2021b), que fija las limitaciones para el diseño sismorresistente de las edificaciones, la NTE E 060 Concreto Armado que determina requerimientos para materiales, el diseño, la construcción, la supervisión y comprobación de calidad de los elementos de concreto (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021c).

Se emplearon las normas American Society for Testing and Materials (ASTM), las Normas Técnicas Peruanas (NTP), entre las que podemos mencionar la ASTM C 143 (NTP 339.035) para hallar el Revenimiento, Asentamiento o Slump, la ASTM C 231 (NTP 339.080) para hallar el contenido del aire por el método de presión en el concreto (tipo B), la ASTM C 1064 (NTP 339.184) para hallar la temperatura del concreto, la ASTM C 31 (NTP 339.183) o la ASTM C 172 para elaborar probetas, la E 060 (ACI 318-11) para los criterios de aceptación del concreto.

Con la aplicación de este marco normativo se busca que las conclusiones cumplan con las normas legales del Perú y las internacionales.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. *Tipo de investigación en función a la orientación o propósito*

Tanto la investigación básica como la aplicada contribuyen a incrementar el conocimiento de maneras diferentes. La investigación pura, teórica o básica, es considerada la piedra angular de las investigaciones, su fin es incrementar el conocimiento de la génesis fundamental de la realidad, pretende comprender como funcionan las cosas (Basic vs Applied Research. Comparison, Examples & Interplay, s. f.).

La investigación aplicada es original y se realiza para lograr conocimientos nuevos, está dirigida a conseguir un específico objetivo práctico (Marotti de Mello & Wood Jr, 2019), busca solucionar problemas concretos y útiles, aplicando el ya existente conocimiento científico, a la investigación aplicada también conocida como investigación empírica, utilitaria o práctica (Romero Urrea et al., 2021).

Por su propósito la presente investigación es una “Investigación Aplicada” porque su propósito es contribuir a resolver el problema de como la aplicación de BS modifica las propiedades del concreto, por su dimensión temporal podemos considerar este estudio como sincrónica o transversal.

3.1.2. *Tipo de investigación por su técnica de contrastación o nivel de profundidad*

En la investigación explicativa se analiza el efecto y que lo causa, busca explicar cómo y por qué ocurren las cosas, se realiza prueba de hipótesis, los resultados y las conclusiones arribadas constituyen el nivel más profundo del conocimiento, a través de este nivel de investigación es viable dar respuesta del fenómeno físico estudiado (Hernandez-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Considerando el nivel de profundidad o alcance es “Investigación explicativa” porque explica el efecto de incluir diferentes porcentajes de BS en las propiedades del concreto.

3.1.3. Tipo de investigación por el enfoque de investigación o naturaleza de los datos

La investigación cuantitativa, es el método por el cual se prueban teorías objetivas, se examina la relación entre las variables, logrando explicar el fenómeno estudiado, considerando los datos numéricos recopilados que son analizados por métodos matemáticos (Creswell & Creswell, 2022).

Por la naturaleza de sus datos se trata de una **“Investigación Cuantitativa”**, por ser estructurada, analizar el fenómeno estudiado a través de la medición, identificando patrones y establecer vínculo de causa y efecto.

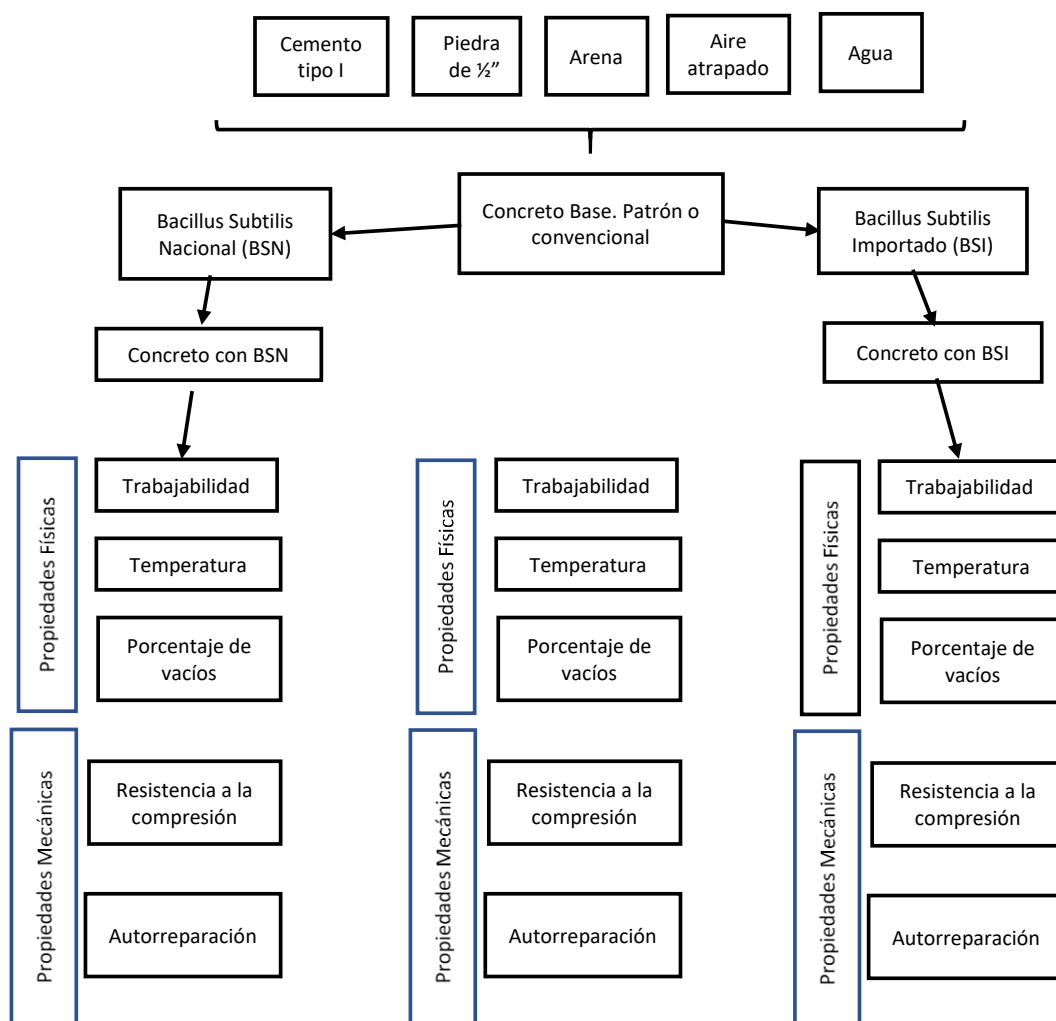
3.1.4. Tipo de investigación por la manipulación de variables

Las investigaciones se clasifican en cualitativa o cuantitativa, cuando se trata de investigaciones en la ruta cuantitativa encontramos experimentales y no experimentales, la clasificación de los diseños experimentales incluye los Preexperimentos, los Experimentos puros (con control) y los Cuasiexperimentos que también manipula al menos una variable para averiguar el efecto sobre una o más variables dependientes cuyos sujetos no son asignados al azar (Hernandez-Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p. 173). Estos estudios representan una sólida opción cuando la aleatorización no es posible, con resultados valiosos, si son manejados adecuadamente la interpretación de los datos y el diseño (Creswell & Creswell, 2022).

Por el grado de manipulación de las variables para la presente tesis se adopta el “Diseño Cuasiexperimental” porque se manipula la variable Cantidad de *BS* agregado y se verifica el efecto sobre la variable Propiedades del concreto, como el asentamiento, porcentaje de vacíos, resistencia a la compresión, cuyos sujetos no se designan al azar a los grupos.

Figura 1

Procedimiento desarrollado en la investigación cuasiexperimental.



Nota. Elaboración propia.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Agrupación de sujetos que tienen ciertas particularidades semejantes sobre los cuales se desea hacer una inferencia (Bernal Torres, 2022, p. 202), también se le define como el total de objetos, individuos o eventos incluidos en una investigación en especial.

Para este estudio la población estuvo conformada con el total de los especímenes y probetas de concreto sometidas a ensayos en el laboratorio.

3.2.2. Muestra

Al iniciar estudios de conjuntos o poblaciones, se debe decidir si se van a estudiar u observar a todo el universo o población, o únicamente se va a observar una parte que la represente llamada muestra, en el caso de poblaciones grandes la opción es estudiar a una muestra por razones de costo, tiempo y lo complejo de tomar los datos, clasificarlos y analizarlos, cuando estamos frente a poblaciones pequeñas generalmente se estudia a todo el universo.

Se considera muestra a la porción de la población seleccionada de las que obtenemos información para el desarrollo de la investigación (Bernal Torres, 2022, p. 202).

La muestra por conveniencia se logra sin alinearse con el método aleatorio, de acuerdo con Navidi (2023), usar este tipo de muestra genera discrepancias, por lo que se sugiere usarlo cuando no es posible realizar el muestreo aleatorio.

Para nuestro caso de estudio, la muestra fue igual a toda la población, correspondiendo a un muestreo por conveniencia y no probabilístico, considerando el estado del arte a la fecha.

Se elaboraron 60 probetas cilíndricas en total de seis pulgadas de diámetro por doce pulgadas de altura (15.24 centímetros de diámetro por 30.48 centímetros de altura) diseñadas para 210 kg/cm² como resistencia a la compresión, además de 36 muestras para observar la autorreparación.

Los códigos usados fueron N-1-1 (BSN-187 ml/m³-1), N-2-1 (BSN-312 ml/m³ – 1), I-1-1 (BSI-187 ml/m³-1) y I-2-1 (BSI-312ml/m³-1)

Se fabricaron 12 probetas cilíndricas con una proporción de 0 ml/m³ (sin aplicación de BS, mezcla patrón).

Se fabricaron 24 probetas cilíndricas con *Bacillus subtilis nacional* (BSN) (12 con una proporción de 187 ml/m³, 12 con una proporción de 312 ml/m³).

Se produjeron 24 probetas cilíndricas con *Bacillus subtilis importado* (*BSI*) (12 con una proporción de 187 ml/m³, 12 con una proporción de 312 ml/m³).

Además, se elaboraron 60 especímenes para observar la autorreparación (12 sin aplicación, 24 con *BSN* y 24 con *BSI* para ser evaluados a los 365 días).

Tabla 1

Probetas cilíndricas de 6" x 12" (base x altura) elaboradas con BSN

Código	Cantidad de <i>Bacillus</i> (ml/m ³)	Edad de ensayo (días)	Código	Cantidad de <i>Bacillus</i> (ml/m ³)	Edad de ensayo (días)	Código	Cantidad de <i>Bacillus</i> (ml/m ³)	Edad de ensayo (días)
C-0-1	0	7	N-1-1	187	7	N-2-1	312	7
C-0-2	0	7	N-1-2	187	7	N-2-2	312	7
C-0-3	0	7	N-1-3	187	7	N-2-3	312	7
C-0-4	0	14	N-1-4	187	14	N-2-4	312	14
C-0-5	0	14	N-1-5	187	14	N-2-5	312	14
C-0-6	0	14	N-1-6	187	14	N-2-6	312	14
C-0-7	0	21	N-1-7	187	21	N-2-7	312	21
C-0-8	0	21	N-1-8	187	21	N-2-8	312	21
C-0-9	0	21	N-1-9	187	21	N-2-9	312	21
C-0-10	0	28	N-1-10	187	28	N-2-10	312	28
C-0-11	0	28	N-1-11	187	28	N-2-11	312	28
C-0-12	0	28	N-1-12	187	28	N-2-12	312	28

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2

Especímenes cilíndricos de 102 mm de base y 33 mm de altura con BSI para la autorreparación de fisuras

Código	<i>Bacillus</i> (ml/m ³)	Edad de ensayo (días)	Código	Cantidad de <i>Bacillus</i> (ml/m ³)	Edad de ensayo (días)
I-1-1	187	7	I-2-1	312	7
I-1-2	187	7	I-2-2	312	7
I-1-3	187	7	I-2-3	312	7
I-1-4	187	14	I-2-4	312	14

I-1-5	187	14	I-2-5	312	14
I-1-6	187	14	I-2-6	312	14
I-1-7	187	21	I-2-7	312	21
I-1-8	187	21	I-2-8	312	21
I-1-9	187	21	I-2-9	312	21
I-1-10	187	28	I-2-10	312	28
I-1-11	187	28	I-2-11	312	28
I-1-12	187	28	I-2-12	312	28

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3

*Especímenes cilíndricos de 102 mm x 33 mm (diámetro x altura) con **BSN** para auto reparación de fisuras*

0 ml/m3	187 ml/m3	312ml/m3
C-0-1	C-3-1	C-5-1
C-0-2	C-3-2	C-5-2
C-0-3	C-3-3	C-5-3
C-0-4	C-3-4	C-5-4
C-0-5	C-3-5	C-5-5
C-0-6	C-3-6	C-5-6
C-0-7	C-3-7	C-5-7
C-0-8	C-3-8	C-5-8
C-0-9	C-3-9	C-5-9
C-0-10	C-3-10	C-5-10
C-0-11	C-3-11	C-5-11
C-0-12	C-3-12	C-5-12

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

*Especímenes cilíndricos de 102 mm x 33 mm (base x altura) con **BSI** para auto reparación de fisuras*

187 ml/m3	312 ml/m3
S-1-1	S-2-1
S-1-2	S-2-2
S-1-3	S-2-3
S-1-4	S-2-4
S-1-5	S-2-5
S-1-6	S-2-6
S-1-7	S-2-7

S-1-8	S-2-8
S-1-9	S-2-9
S-1-10	S-2-10
S-1-11	S-2-11
S-1-12	S-2-12

Nota. Elaboración propia.

3.3. Operacionalización de variables

Para una investigación cuantitativa, las variables son unidades fundamentales de las suposiciones o hipótesis; son propiedades, atributos, características, cualidades observables que tienen los individuos, objetos, organizaciones, expresan dimensiones que cambian de forma continua o discreta (Ñaupas Paitan et al., 2023). La identificación de las variables es fundamental en la presente investigación para obtener resultados, estas variables son conceptos pre establecidos; para nuestro caso las variables se han clasificado considerando la función que cumplen en la hipótesis como independientes, dependientes e intervinientes; la independiente es la causa y la que el investigador puede manipular, controlar o modificar con la finalidad de verificar el impacto sobre la variable dependiente, además las variables intervinientes son aquellas que pueden afectar la investigación y no son la finalidad principal del estudio (Romero Urrea et al., 2021).

3.3.1. *Variable independiente, definición conceptual*

Según Harmon (2023), **BS** es una bacteria generalmente encontrada en el suelo, materia vegetal en descomposición, aire, tiene la capacidad de formar esporas, puede sobrevivir a condiciones ambientales extremas, se le reconoce por sus propiedades en campos de la agricultura, biotecnología y salud.

Según lo indicado, la variable independiente “aplicación de **BS**”, son bacterias en forma de esporas, que se le aplica al concreto durante su elaboración con el fin de mejorar sus propiedades, para nuestro caso se han utilizado bacterias encontradas en el mercado nacional destinadas a la agricultura y una bacteria importada.

3.3.2. *Variable independiente, definición operacional*

Se estudió como adicionar **BS** al concreto influye en sus propiedades, esta aplicación se realizó durante su elaboración, utilizándose **BSN** y **BSI**.

La variable independiente “aplicación de **BS**” se ha desglosado en dos dimensiones: (1) no aplicar BS (mezcla patrón, sin aplicación o base), con su indicador, aplicar 0 mililitros de BS por metro cubico de concreto elaborado (ml/m^3), (2) aplicar BS, con dos indicadores: aplicar 187 ml de BS por cada metro cubico de concreto elaborado y aplicar 312 ml de BS por cada metro cubico de concreto elaborado; estas aplicaciones se hicieron durante la elaboración del concreto.

3.3.3. *Variable dependiente, definición conceptual*

El hormigón o concreto, material más usado en la construcción, es la unión de agregados con la pasta de cemento y agua; los agregados pueden ser gruesos o grava y finos o arena (Saleem et al., 2021), se usa con frecuencia en elementos estructurales sometidos a cargas de tracción o compresión o una combinación de ellos llamada flexión, en este caso se utiliza la resistencia a la compresión que alcanza el concreto endurecido, la resistencia a la tracción que necesita el elemento estructural es aportada por el acero, sin embargo este último material se oxida en contacto con el medio ambiente por lo que el concreto también debe brindar la protección necesaria con el recubrimiento especificado.

3.3.4. *Variable dependiente, definición operacional*

Se empleo un diseño de 210 kg/cm^2 . Las propiedades del concreto se han dividido en dos dimensiones: (1) en estado fresco, se evaluó la trabajabilidad, porcentaje de vacíos y (2) en estado endurecido se midió la resistencia a la compresión y autorreparación.

3.3.5. *Matriz de operacionalización de variables*

Teniendo en consideración que los niveles de medición o escalas se usan para medir los atributos o variables, y que entre las variables numéricas podemos identificar a las de intervalo

y de razón, en ambas se establecen intervalos iguales en la medición, en la escala de intervalo se puede elegir el cero de modo arbitrario dado que no significa ausencia de la característica y en la escala de proporción o razón el cero es siempre absoluto (no es arbitrario) y representa por tanto ausencia de la característica medida.

A continuación, en la Tabla 3 se presenta la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 5

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Aplicación de BS.	Según <u>Harmon (2023)</u> , es una bacteria generalmente encontrada en el suelo, materia vegetal en descomposición, aire, tiene la capacidad de formar esporas, puede sobrevivir a condiciones ambientales extremas, se le reconoce por sus propiedades en campos como la biotecnología, la salud y la agricultura.	Se mide por el volumen en ml de bacteria BSN o BSI, por m3 de concreto.	No aplicar BS	0 ml de BS por cada m ³ de concreto	Razón
			Aplicar BS	187 ml de BS por cada m ³ de concreto	Razón
				312 ml de BS por cada m ³ de concreto	Razón
Dependiente: Propiedades del concreto.	Características del material más usado en la construcción, es una mezcla de pasta y agregados, la pasta está compuesto de cemento portland y agua; los agregados pueden ser gruesos o grava y finos o arena (Saleem et al., 2021)	Se empleo el cono de Abrams para determinar el asentamiento, la prensa hidráulica para calcular la resistencia a la compresión y la capacidad de autorreparación mediante inspección visual con el medidor de ancho de fisuras y estereomicroscopio.	En estado fresco	Asentamiento (pulgadas)	Razón
				Porcentaje de vacíos (%)	Razón
			En estado endurecido	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Razón
				Autorreparación	Razón

3.4. Instrumentos

El instrumento de medición cumple un papel fundamental, ya que constituye el medio a través del cual el investigador obtiene información cuantitativa o cualitativa sobre las variables en estudio. Su finalidad principal es dotar de precisión y objetividad a los cálculos que se realicen durante la recolección y análisis de datos. Un instrumento bien diseñado permite

transformar fenómenos abstractos o constructos teóricos en datos observables y medibles, lo cual es indispensable para alcanzar los lograr los objetivos y sustentar empíricamente la veracidad de la hipótesis formulada (Sanchez Espejo, 2022).

Herramientas materiales o conceptuales para recoger los datos de forma ordenada, sistemática, admite formas diversas según la técnica que le sirve de base, permite entender la causa y efecto de fenómenos (Ñaupas Paitan et al., 2023, p. 306).

Se utilizo la observación que nos dio el marco para el desarrollo y las “fichas técnicas” o fichas de recojo de información, para recoger las características necesarias según cada indicador.

Las fichas utilizadas fueron validadas por “juicio de expertos”, la consistencia y fiabilidad de los resultados fueron evaluados con el índice de correlación interclase (ICC) en cada indicador, por tratarse de variables cuantitativas (Martínez Pérez & Pérez Martin, 2023).

En la siguiente Tabla 4 se precede a mencionar las fichas técnicas empleadas, las mismas que se adjuntan en el Anexo B.

Tabla 6

Listado de las fichas técnicas empleadas

Ficha	Descripción	Valor estadístico evaluado
1	Propiedades físicas del concreto	Máximo
2	Resistencia a la compresión del concreto	Minino Promedio
3	Autorreparación del concreto	Desviación estándar

El trabajo de investigación fue cuantitativo por lo que se emplearon formulas estadísticas, y programa estadístico, el cual se procede a mencionar:

- PSPP, JAMOV, R STUDIO, programas estadísticos y de código abierto empleado para el análisis estadístico.

3.5. Procedimientos

Se consideraron 05 etapas, las cuales se detallan.

Etapas 01: elaboración de probetas cilíndricas de seis por doce pulgadas

Para el concreto de 210 kg/cm², se usó agregados de Ica, cemento tipo I, BSI con una concentración de 1.34×10^7 UFC/ml, BSN con una concentración de 2×10^4 UFC/ml (fungicida agrícola), se utilizó La siguiente proporción:

Tabla 7

Cantidad de materiales para elaborar cuatro probetas.

Material	Cantidad
Cemento	7.45 Kg
Agregado grueso de ½"	22.85 Kg
Agregado fino de río	18.93 Kg
Agua	4.37 lts
<i>Bacillus subtilis</i>	0 ml, 16.50 ml, 27.50 ml

Etapas 02: elaboración de especímenes cilíndricos de 102 mm de diámetro por 33 milímetros de altura para verificar la autorreparación.

A los mismos que se les produjo fisuras por medios físicos a temprana edad.

Etapas 03: se procedió a medir las propiedades físicas del concreto

- a. Revenimiento o slump.
- b. Temperatura.

Etapas 04: se ensayaron las probetas elaboradas a los 7, 14, 21 y 28 días para verificar la evolución de la resistencia a la compresión.

- a. Probetas elaboradas con **BSN**.
- b. Probetas elaboradas con **BSI**.

Etapas 05: se procedió a controlar la evolución de fisuras

- a. A los 360 días.

Etapas 06: análisis de datos

- a. Realizado los ensayos de las probetas y el control de la evolución de las fisuras en los especímenes elaborados y el registro de datos en las fichas técnicas elaboradas.
- b. Análisis de datos respectivamente.

Entre os instrumentos usados en el laboratorio encontramos:

Figura 2

Moldes de probetas.



Figura 3

Estereomicroscopio compacto con zoom 5:1. Marca Zeiss Stemi 305.



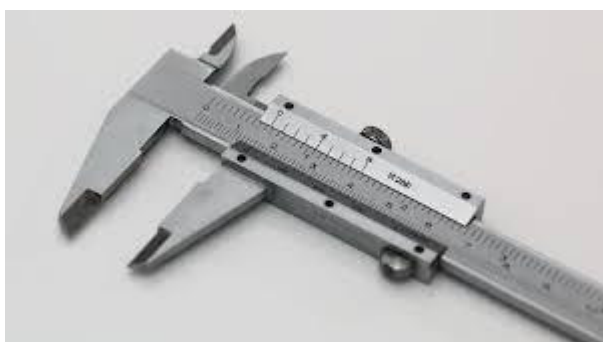
Figura 4

Instrumentos utilizados para ensayo de revenimiento

**Figura 5**

Medidor de contenido de aire tipo B



Figura 6*Medidor de ancho de fisuras***Figura 7***Vernier*

3.6. Análisis de datos

Según lo indicado en apartado anterior, procedemos a efectuar el análisis de datos.

Por lo que se señala el procedimiento de ensayo, los cálculos y el estudio estadístico desarrollado.

3.6.1. *Indicadores de la trabajabilidad y porcentaje de vacíos*

Durante la elaboración del concreto en laboratorio (mezcla de cemento, agua, agregados finos, agregados gruesos, aire incluido), se procedió a realizar los siguientes ensayos:

Ensayo de consistencia, asentamiento o fluidez del concreto fresco, mojando la superficie de contacto en el cono de Abraham, llenándolo en tres capas, procediéndose con la compactación de cada capa son 25 golpes uniformemente, enrasándolo, retirando el cono en forma vertical y midiendo el asentamiento en pulgadas.

Cantidad de aire atrapado, se realizó con el equipo observando el cambio de volumen mediante la aplicación de presión.

Se hallan los estadísticos descriptivos como la media, desviación estándar, mínimo, máximo, rango y se procedió al grafico respectivo.

3.6.2. *Indicadores de resistencia a la compresión y autorreparación*

Para evaluar la resistencia del concreto, se procedió a ensayar las probetas elaboradas a los 7, 14, 21 y 28 días; realizándose un análisis de regresión para verificar la evolución de la resistencia en el tiempo, se elaboró un cuadro comparativo considerando la evolución de la resistencia de acuerdo a la cantidad de BS adicionado, así como una tabla cruzada.

Para la autorreparación del concreto se procedió a medir la evolución de las fisuras en su longitud con el uso de microscopio.

3.7. *Consideraciones éticas*

Se siguió los principios éticos aplicables a la investigación científica, asegurando la precisión y honestidad en el empleo y custodia de los datos, desde su acopio hasta la difusión de los resultados. Se emplearon estándares éticos en el diseño de la investigación y la diligencia responsable de los recursos financieros. Se promovió la claridad en la comunicación y el empleo apropiado de los resultados, incluyendo el debido uso de fuentes confiables de scopus y Web of Science (WOS) preferentemente.

Se integró el uso de ChatGPT, un modelo de lenguaje de IA desarrollado por OpenAI, como generador de ideas, consulta y apoyo con la finalidad de mejorar la redacción y el lenguaje, procediéndose a la revisión y edición del contenido, asumiendo responsabilidad plena por la presentación del material.

IV. RESULTADOS

En esta parte se muestran los hallazgos encontrados.

Bacillus subtilis nacional e importado.

Verificar la influencia de incorporar BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla sobre el asentamiento (Slump) del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, año 2025.

Tabla 8

Estadísticos descriptivos del Slump para BS con 0 ml / m³, 187 ml / m³ y 312 ml / m³.

	0 ml/m ³	<i>Bacillus subtilis</i> Nacional		<i>Bacillus subtilis</i> Importado	
		187 ml/m ³	312 ml/m ³	187 ml/m ³	312 ml/m ³
Media	1.50	2.06	1.75	2.50	2.15
Desviación estándar	0.52	0.47	0.26	0.52	0.16
Varianza	0.27	0.22	0.07	0.27	0.03
Rango	1.00	1.25	0.50	1.00	0.30
Mínimo	1.00	1.50	1.50	2.00	2.00
Máximo	2.00	2.75	2.00	3.00	2.30

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

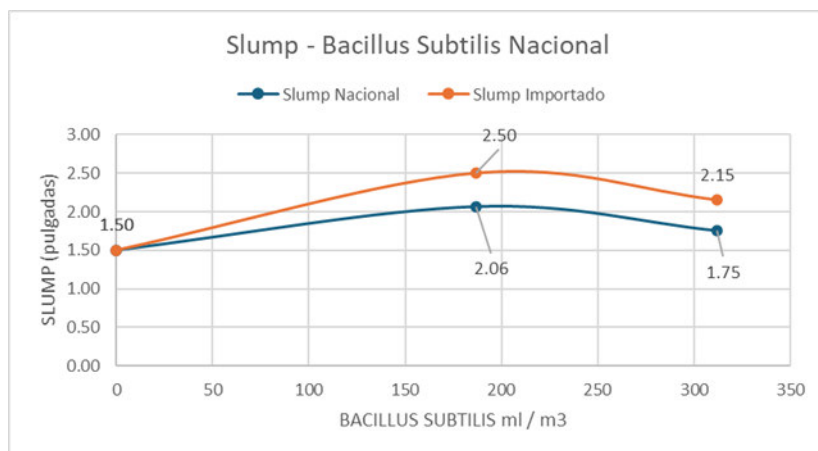
Promedios del Slump obtenidos para 0 ml / m³, 187 ml / m³, 312 ml / m³.

<i>BS</i> (ml/m ³)	Slump BSN	Slump BSI
0	1.50	1.50
187	2.06	2.50
312	1.75	2.15

Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Gráfico Slump en pulgadas – mezcla control, mezcla con BSN y BSI.



COMENTARIO: El Slump para el diseño control fue de 1.50 pulgadas, hay un incremento del Slump cuando aplicamos 187 ml/m³ de BSN y BSI; con un descenso de estos valores para 312 ml/m³.

La aplicación de 187 ml/m³ con BSI presenta un incremento del Slump de un 66.67% respecto al grupo control (sin bacteria).

PRUEBA DE HIPOTESIS

PRUEBA DE NORMALIDAD

Nos permitirá decidir si usaremos estadísticos paramétricos o no paramétricos.

H_0 = Los grupos tienen distribuciones normales

H_1 = Los grupos no tienen distribuciones normales

Si el p_{valor} es igual o menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Normalidad de Shapiro Wilk

Usamos Shapiro Wilk porque la cantidad de datos fue de 36 que es menor que 50

Tabla 10

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (Slump o asentamiento).

Indicador	Bacillus subtilis	Grado de libertad	Significancia
Slump en pulgadas	0	12	< 0.001

187 BSN	12	0.013
187 BSI	12	< 0.001
312 BSI	12	< 0.001
312 BSN	12	< 0.001

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia obtenida del Slump en pulgadas es de 0.013 y menor que 0.01; estos valores son menores que 0.05 asumido, rechazamos la hipótesis nula y nos quedamos con la alterna; entonces **los datos no tienen una distribución normal, debemos aplicar estadística no paramétrica.**

PRUEBA DE KRUSKAL WALLIS (No paramétrica)

H_0 = La mediana de los grupos son iguales

H_1 = La mediana de los grupos no son iguales

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1 .

Tabla 11

Resumen de contraste de hipótesis para valores de Slump o Asentamiento.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Slump (pulgadas) es la misma entre categorías de <i>Bacillus subtilis</i> en ml/m ³ .	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	< 0.001	Rechace la hipótesis nula

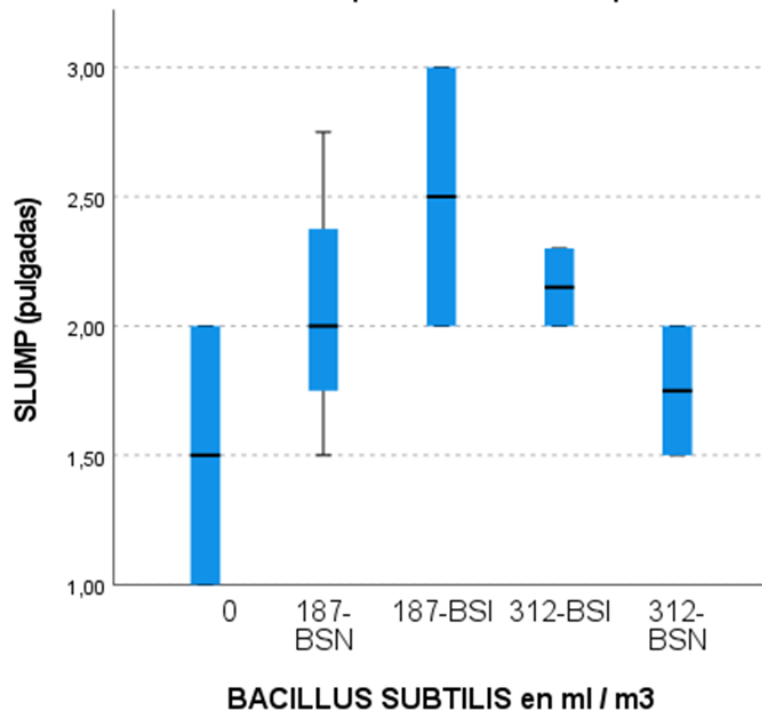
Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO: Como la significancia es menos que 0.001, y este valor es menor que 0.05 asumido, rechazamos la hipótesis nula y nos quedamos con la alterna; entonces la media de los grupos de porcentajes de **BS** para los valores obtenidos del Slump, no son iguales (existe diferencia estadística significativa entre los grupos de BSN y BSI de 0%, 187 ml/m³ y 312 ml/m³

Figura 9

Gráfico para muestras independientes de Slump con **BS**.

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes



Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

En el gráfico podemos observar mayores valores promedios del Slump para las aplicaciones con BSI, además de la diferencia entre los promedios del grupo control (0 ml/m³), con los grupos de 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de **BS**.

CONTRASTE POR PAREJAS DE CANTIDAD DE BS AÑADIDO (ml/m³)

H_0 = La distribución de la muestra 1 y la muestra 2 son iguales (las muestras provienen de poblaciones iguales).

H_1 = La distribución de la muestra 1 y la muestra 2 son diferentes (las muestras provienen de poblaciones diferentes).

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 12

Prueba H de Kruskal-Wallis (Slump para BSN y BSI).

<i>BS (ml/m³)</i>	Estadístico de prueba	Desviación error	Desviación estadística de prueba	Nivel de significación	Significación ajustada
0 - 312 BSN	- 3.75	6.65	- 0.57	0.573	1.000
0 - 187 BSN	- 14.25	6.65	- 2.14	0.032	0.320
0 - 312 BSI	- 22.50	6.65	- 3.40	< 0.001	0.007
0 - 187 BSI	- 27.00	6.65	- 4.06	< 0.001	0.000
312 BSN - 187 BSN	10.50	6.65	1.58	0.114	1.000
312 BSN - 312 BSI	18.75	6.65	2.82	0.005	0.048
312 BSN - 187 BSI	23.25	6.65	3.50	< 0.001	0.005
187 BSN - 312 BSI	- 8.25	6.65	-1.24	0.214	1.000
187 BSN - 187 BSI	- 12.75	6.65	- 1.92	0.055	0.550
312 BSI - 187 BSI	4.50	6.65	0.68	0.498	1.000

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Cuando comparamos valores promedios de slump obtenidos con 0 ml/m³ y 312 ml/m³ BSI, obtenemos una significación de 0.007, para 0 ml/m³ con 187 ml/m³ BSI, obtenemos una significación de 0.000, para 312 ml/m³ BSN y 312 ml/m³ de BSI, obtenemos una significación de 0.05, para 312 ml/m³ de BSN y 187 ml/m³ de BSI, obtenemos una significación de 0.005, valores menores que 0.05 asumido; por lo que podemos indicar que hay evidencia estadística significativa en el promedio del slump de los grupos con o sin aplicación del BSI.

Cuando comparamos valores obtenidos de 0 ml/m³ con 312 ml/m³ BSN, obtenemos una significación de 1.000, para 0 ml/m³ con 187 ml/m³ BSN, obtenemos una significación de 0.320, para 312 ml/m³ BSN con 187 ml/m³ BSN, obtenemos una significación de 1.000, para 187 ml/m³ de BSN con 312 ml/m³ BSI, obtenemos una significación de 1.000, para 312 ml/m³ BSI con 187 ml/m³ BSI, obtenemos una significación de 1.000; valores mayores que 0.05 asumido por lo que podemos indicar que las distribuciones de las muestras son iguales.

Concluimos que incorporar BS en proporción 187 ml/m³ y 312 ml/m³ influye sobre el asentamiento (Slump) del concreto $f'c = 210$ kg/cm² en la provincia de Ica, año 2025.

Comprobar el efecto producido por la adición de BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre el porcentaje de vacíos del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, en el año 2025.

Los datos obtenidos se presentan seguidamente

Tabla 13

Estadísticos descriptivos del porcentaje de vacíos para BSN y BSI con 0 ml / m³, 187 ml / m³ y 312 ml / m³.

	0 ml/m ³	<i>Bacillus subtilis</i> Nacional		<i>Bacillus subtilis</i> Importado	
		187 ml/m ³	312 ml/m ³	187 ml/m ³	312 ml/m ³
Media	3.00	2.50	3.25	2.27	3.75
Desviación estándar	0.52	0.52	0.45	0.47	0.45
Varianza	0.27	0.27	0.20	0.22	0.20
Rango	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00
Mínimo	2.50	2.00	3.00	1.70	3.00
Máximo	3.50	3.00	4.00	2.80	4.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14

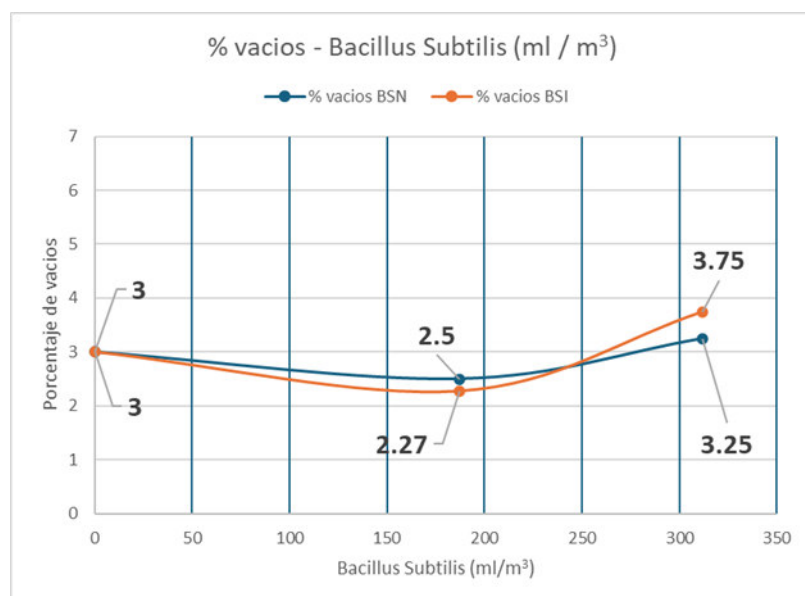
Promedios obtenidos del porcentaje de vacíos para 0 ml / m³, 187 ml / m³, 312 ml / m³.

BS (ml/m ³)	% vacíos BSN	% vacíos BSI
0	3.00	3.00
187	2.50	2.27
312	3.25	3.75

Nota. Elaboración propia.

Figura 10

Gráfico porcentaje de vacíos - BSN y BSI.



COMENTARIO: El porcentaje de vacíos disminuye para las aplicaciones de 187 ml/m³, con BSN y BSI.

La aplicación de 187 ml/m³ de BSI desciende un 24.33% respecto de la muestra patrón o base con 0 ml/m³.

PRUEBA DE HIPOTESIS

PRUEBA DE NORMALIDAD

Nos permitirá decidir si usaremos estadísticos paramétricos o no paramétricos.

H_0 = Los grupos tienen distribuciones normales

H_1 = Los grupos no tienen distribuciones normales

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk

Usamos Shapiro Wilk porque la cantidad de datos fue de 36 que es menor que 50

Tabla 15

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (porcentaje de vacíos) para BSN y BSI.

Indicador	Bacillus subtilis	Grado de libertad	Significancia
-----------	-------------------	-------------------	---------------

	0	12	< 0.001
	187 BSN	12	< 0.001
Slump en pulgadas	187 BSI	12	0.012
	312 BSI	12	< 0.001
	312 BSN	12	< 0.001

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia del porcentaje de vacíos obtenidos fueron de < 0.001 , 0.012 y estos valores son menores que 0.05 asumido, aceptamos la hipótesis alterna; entonces los datos no siguen una distribución normal, debemos aplicar estadística no paramétrica.

PRUEBA DE KRUSKAL WALLIS (No paramétrica)

H_0 = La mediana de los grupos son iguales

H_1 = La mediana de los grupos no son iguales

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 16

Resumen de contraste de hipótesis para valores de porcentaje de vacíos.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de porcentaje de vacíos es la misma entre categorías de BS en ml/m^3 .	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	< 0.001	Rechaza la hipótesis nula

Nota. Elaboración propia.

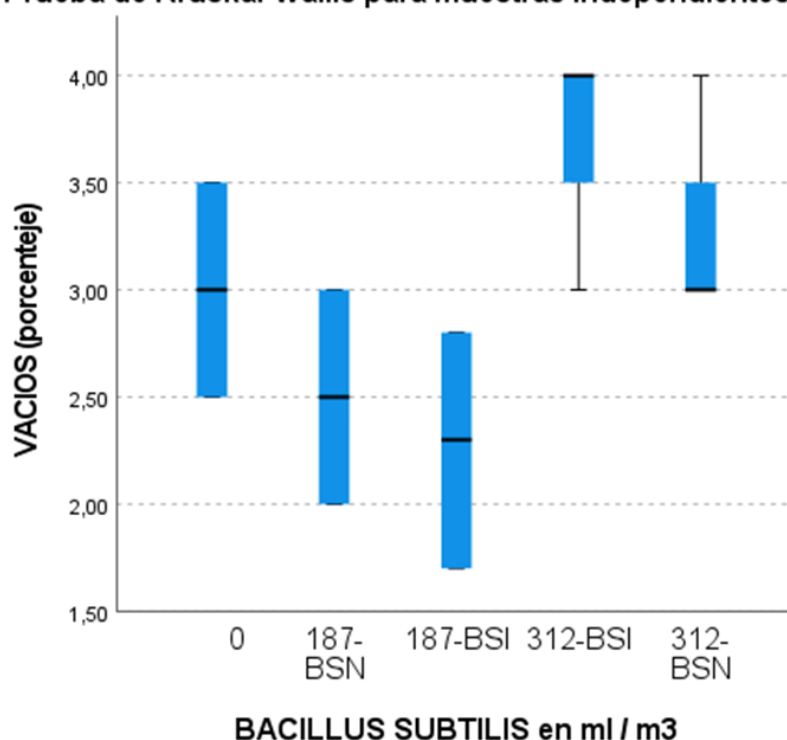
COMENTARIO:

Como la significancia es menos que 0.001 , y este valor es menor que 0.05 asumido, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos alterna; entonces los promedios de los grupos no son iguales para los valores hallados de porcentaje de vacíos (existe diferencia estadística significativa entre los grupos con aplicaciones de BS con 0% , 187 ml/m^3 y 312 ml/m^3).

Figura 11

Gráfico para muestras independientes de porcentaje de vacíos **BS**.

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes



Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Observamos en el grafico, que se obtiene menor porcentaje de vacíos con la aplicación de 187 ml/m³ de **BSI**.

CONTRASTE POR PAREJAS DE CANTIDAD DE BSI AÑADIDO (ml/m³)

H_0 = La distribución de ambas muestras son iguales.

H_1 = La distribución de las muestras son diferentes.

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 17

Prueba H de Kruskal-Wallis (porcentaje de vacíos con BS).

BS (ml/m ³)	Estadístico de prueba	Desviación error	Desviación estadística de prueba	Nivel de significación	Significación ajustada
187 BSI – 187 BSN	8.00	7.00	1.14	0.252	1.000

187 BSI - 0	19.00	7.00	2.72	0.007	0.066
187 BSI - 312 BSN	- 26.25	7.00	- 3.76	< 0.001	0.002
187 BSI - 312 BSI	- 38.75	7.00	- 5.26	< 0.001	0.000
187 BSN - 0	11.00	7.00	1.57	0.016	1.000
187 BSN - 312 BSN	- 18.25	7.00	- 2.61	0.009	0.090
187 BSN - 312 BSI	- 28.75	7.00	- 4.11	< 0.001	0.000
0 - 312 BSN	- 7.25	7.00	- 1.04	0.300	1.000
0 - 312 BSI	17.75	7.00	- 2.54	0.011	0.111
312 BSN - 312 BSI	10.50	7.00	1.50	0.133	1.000

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Para el caso de porcentaje de vacíos, al comparar 187 ml/m³ de BSI con 312 ml/m³ de BSN se obtuvo un nivel de significancia de 0.002, 187 ml/m³ de BSI con 312 ml/m³ de BSN obtuvo 0.002, 187 ml/m³ de BSI con 312 ml/m³ de BSI obtuvo 0.000, significaciones menores a 0.05 lo que indica que hay diferencia estadística significativa entre estas aplicaciones; entre 187 ml/m³ de BSI con 187 ml/m³ de BSN se obtuvo un valor de significancia de 1.000, entre 187 BSI con 0 se obtuvo 0.066, entre 187 BSN con 0 se obtuvo 1.000, entre 187 BSN con 312 BSI se obtuvo 0.090, entre 0 con 312 BSN se obtuvo 1.000, entre 0 con 312 BSI se obtuvo 0.111, valores mayores a 0.05, lo que indica que no hay diferencia estadística significativa entre estas aplicaciones.

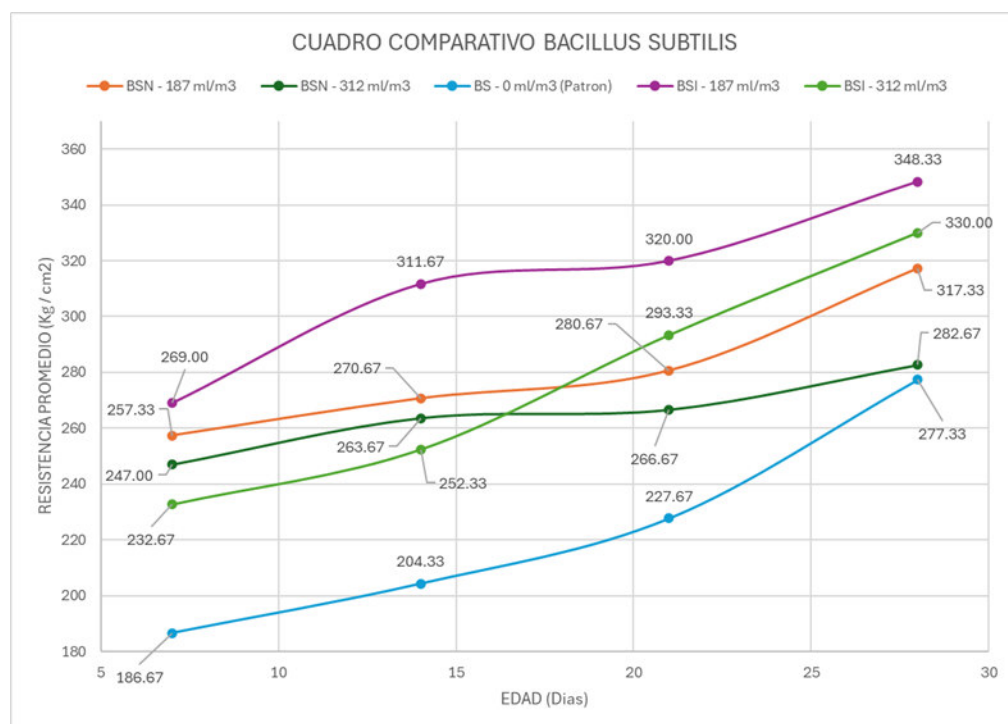
Los resultados muestran evidencia estadísticamente significativa que respalda la hipótesis de igualdad de promedios en los porcentajes de vacíos entre las muestras con y sin aplicar BS.

Analizar como varia la resistencia a la compresión del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al aplicar BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³, 312 ml/m³ en la provincia de Ica, durante el año 2025.

Los datos obtenidos se presentan seguidamente

Figura 12

Gráfico comparativo de la evolución de la resistencia promedio a la compresión.



Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO: La mezcla elaborada con 187 ml/m³ de *BSI* evidenció la evolución más favorable en términos de resistencia, alcanzando un promedio de 348.33 kg/cm² a los 28 días, valor que supera considerablemente los 300.00 kg/cm² obtenidos con *BSI* a 312 ml/m³ y los 277.33 kg/cm² registrados por la mezcla control. Por su parte, la mezcla con *BSN* a 312 ml/m³ alcanzó a los 28 días una resistencia promedio de 282.67 kg/cm², resultado que se aproxima al valor obtenido por la mezcla control de 277.33 kg/cm², evidenciando una diferencia marginal entre ambos grupos.

Tabla 18

Ensayos a compresión realizados según tiempo de ensayo y porcentaje de BS.

BS	Patrón	Nacional		Importado	
Tiempo	Cantidad de <i>Bacillus</i> (0 ml/m³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (187 ml/m³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (312 ml/m³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (187 ml/m³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (312 ml/m³)
7	179	245	248	268	228

7	186	251	245	260	235
7	195	276	248	279	235
14	181	262	311	292	244
14	214	248	267	305	241
14	218	292	264	317	263
21	220	279	258	325	288
21	228	268	267	320	290
21	235	295	275	315	302
28	280	312	285	283	311
28	270	331	279	299	279
28	282	295	250	322	248

Nota: Elaboración propia.

PRUEBA DE HIPOTESIS

PRUEBA DE NORMALIDAD

Nos permitirá decidir si usaremos estadísticos paramétricos o no paramétricos.

H_0 = Los grupos tienen distribuciones normales.

H_1 = Los grupos no tienen distribuciones normales.

Si el p valor es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

Usamos Shapiro Wilk porque la cantidad de datos fue de 24 que es menor que 50.

Tabla 19

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (resistencia a la compresión).

<i>Indicador</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	Grado de libertad	Significancia
	0	12	0.181
Resistencia a la compresión	187 BSN	12	0.690
	187 BSI	12	0.985
	312 BSI	12	0.218
	312 BSN	12	0.280

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia de la resistencia a la compresión del concreto obtenido son mayores a 0.05 asumido, se acepta la hipótesis nula: **los grupos tienen distribuciones normales.**

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA

Nos permitirá decidir si usaremos estadísticos paramétricos o no paramétricos.

H_0 = La varianza de los grupos son homogéneas

H_1 = La varianza de los grupos no son homogéneas

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Prueba de homogeneidad de varianza de Levene

Tabla 20

Prueba de homogeneidad de varianzas (resistencia a la compresión).

		Estadístico de Levene	Grado de libertad 1	Grado de libertad 2	Significancia
Resistencia a la compresión kg/cm ²	Se basa en la media	1.563	4	55	0.197
	Se basa en la mediana	1.352	4	55	0.263
	Se basa en la mediana y con grado de libertad ajustado	1.352	4	43.858	0.266
	Se basa en la mediana recortada	1.537	4	55	0.204

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia de la resistencia a la compresión del concreto obtenidos fue de 0.197 mayor a 0.05 asumido, no se rechaza la hipótesis nula: **la varianza de los grupos es homogénea; por lo que usaremos estadística paramétrica.**

PRUEBA DE ANOVA DE UN FACTOR (paramétrica)

H_0 = La media de los grupos son iguales

H_1 = La media de los grupos no son iguales

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 21*ANOVA.*

	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	27990.767	4	6997.692	9.512	< 0.001
Dentro de grupos	40463.417	55	735.698		
Total	68454.183	59			

Nota. Elaboración propia.**COMENTARIO:**

Como la significancia es menor que 0.001, y este valor es menor que 0.05 asumido, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la alterna; entonces las medias de los grupos no son iguales para los valores de resistencia a la compresión del concreto (es decir al menos una de las medias entre los grupos de BSN y BSI con 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ es diferente).

CONTRASTE POR PAREJAS DE CANTIDAD DE BS AÑADIDO (ml/m³)

H_0 = La distribución de la muestra 1 y la muestra 2 son iguales.

H_1 = La distribución de la muestra 1 y la muestra 2 son diferentes.

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 22*Prueba Post Hoc de Tukey (resistencia a la compresión con BS).*

BS (ml/m³)	Diferencias de medias	Significación
0 - 187 BSN	- 55.417	< 0.001
0 - 312 BSN	- 44.083	0.002
0 - 187 BSI	- 61.667	< 0.001
0 - 187 BSI	- 38.917	0.013
187 BSN - 312 BSN	11.333	0.843
187 BSN - 187 BSI	-6.250	0.980
187 BSN - 312 BSI	18.500	0.460
312 BSN - 187 BSI	- 17.583	0.511
312 BSN - 312 BSI	7.167	0.966
187 BSI - 312 BSI	24.750	0.182

Nota. Elaboración propia.**COMENTARIO:**

Como la prueba post hoc analiza dos a dos; al comparar el grupo control, con los grupos con aplicación del BSN y el grupo control con los grupos con aplicación del BSI, encontramos una diferencia estadística significativa por tener valores de significancia menores que 0.05.

Al comparar los grupos con BSN y BSI los valores de la significancia son mayores a 0.05 por lo que no hay diferencia significativa entre aplicar BSN y BSI.

Los resultados obtenidos para el promedio de resistencia a la compresión del concreto indican diferencias estadísticamente significativas entre aplicar BS (BSN o BSI) con el grupo control. Sin embargo, no sucede lo mismo entre los grupos con BSN y BSI.

Explicar la influencia que tiene la dosificación de concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre la capacidad de autorreparación del concreto con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Ica, en el año 2025.

Tabla 23

Autorreparación de fisuras en su largo según cantidad de BSN.

Código	BS	01 Día		365 días		Diferencia en el largo (cm)
		Largo (cm)	Ancho (mm)	Largo (cm)	Ancho (mm)	
C-0-1	0 ml/m ³	3.00	0.50	3.00	0.50	0.00
C-0-2	0 ml/m ³	4.00	0.10	4.00	0.10	0.00
C-0-3	0 ml/m ³	3.00	0.05	3.00	0.05	0.00
C-0-4	0 ml/m ³	2.00	0.05	2.00	0.00	0.00
C-0-5	0 ml/m ³	2.00	0.08	2.00	0.08	0.00
C-0-6	0 ml/m ³	3.50	0.10	3.50	0.10	0.00
C-0-7	0 ml/m ³	3.00	0.60	3.00	0.60	0.00
C-0-8	0 ml/m ³	4.00	0.10	4.00	0.10	0.00
C-0-9	0 ml/m ³	3.00	0.05	3.00	0.05	0.00
C-0-10	0 ml/m ³	2.00	0.05	2.00	0.00	0.00
C-0-11	0 ml/m ³	2.00	0.08	2.00	0.08	0.00
C-0-12	0 ml/m ³	3.50	0.10	3.50	0.10	0.00
C-3-1	187 ml/m ³	2.00	0.80	2.00	0.50	0.00
C-3-2	187 ml/m ³	8.00	0.05	8.00	0.05	0.00
C-3-3	187 ml/m ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C-3-4	187 ml/m ³	1.50	0.05	1.50	0.05	0.00
C-3-5	187 ml/m ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C-3-6	187 ml/m ³	1.50	0.10	1.50	0.05	0.00
C-3-7	187 ml/m ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C-3-8	187 ml/m ³	5.00	0.50	5.00	0.50	0.00
C-3-9	187 ml/m ³	2.50	0.60	2.50	0.40	0.00
C-3-10	187 ml/m ³	6.00	0.10	6.00	0.10	0.00
C-3-11	187 ml/m ³	3.50	0.05	3.50	0.05	0.00
C-3-12	187 ml/m ³	3.30	0.10	3.30	0.10	0.00
C-5-1	312 ml/m ³	8.00	0.05	6.30	0.05	1.70
C-5-2	312 ml/m ³	6.50	0.50	4.60	0.50	1.90
C-5-3	312 ml/m ³	7.00	0.50	6.20	0.05	0.80
C-5-4	312 ml/m ³	0.83	0.40	0.60	0.05	0.23
C-5-5	312 ml/m ³	4.00	0.30	4.00	0.30	0.00
C-5-6	312 ml/m ³	10.00	0.80	8.00	0.50	2.00
C-5-7	312 ml/m ³	8.00	0.05	6.50	0.10	0.00
C-5-8	312 ml/m ³	6.50	0.50	4.70	0.50	0.00
C-5-9	312 ml/m ³	7.50	0.50	6.20	0.05	0.00
C-5-10	312 ml/m ³	0.83	0.41	0.60	0.05	0.00
C-5-11	312 ml/m ³	4.00	0.30	4.00	0.30	0.00
C-5-12	312 ml/m ³	10.00	0.80	8.00	0.50	0.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 24

Autorreparación de fisuras en su largo según cantidad de BSI.

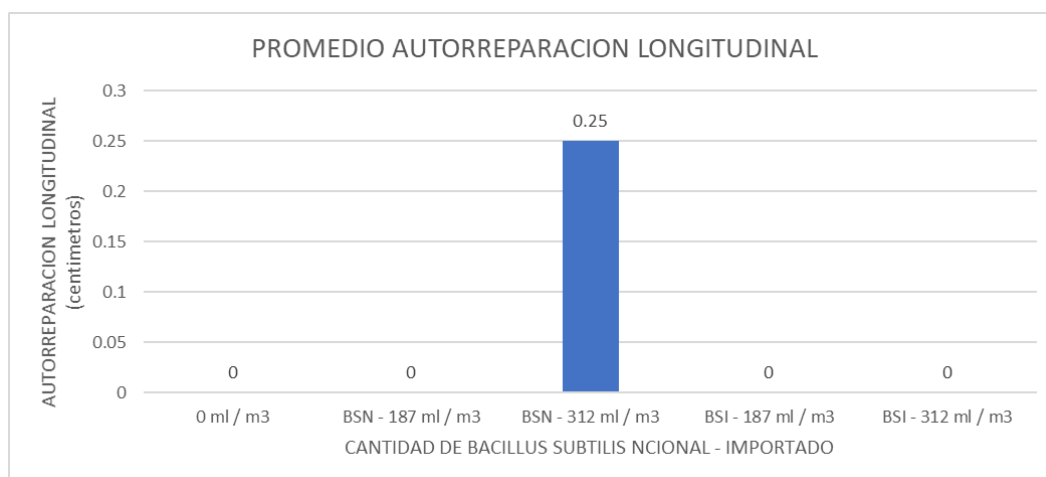
Código	BS	01 Día		365 días		Diferencia en el largo (cm)
		Largo (cm)	Ancho (mm)	Largo (cm)	Ancho (mm)	
S-0-1	0 ml/m ³	3.00	0.60	3.00	0.60	0.00
S-0-2	0 ml/m ³	4.00	0.10	4.00	0.10	0.00
S-0-3	0 ml/m ³	3.00	0.05	3.00	0.05	0.00
S-0-4	0 ml/m ³	2.00	0.05	2.00	0.00	0.00
S-0-5	0 ml/m ³	2.00	0.08	2.00	0.08	0.00
S-0-6	0 ml/m ³	3.50	0.10	3.50	0.10	0.00
S-0-7	0 ml/m ³	3.00	0.60	3.00	0.60	0.00
S-0-8	0 ml/m ³	4.00	0.10	4.00	0.10	0.00
S-0-9	0 ml/m ³	3.00	0.05	3.00	0.05	0.00

S-0-10	0 ml/m ³	2.00	0.05	2.00	0.00	0.00
S-0-11	0 ml/m ³	2.00	0.08	2.00	0.08	0.00
S-0-12	0 ml/m ³	3.50	0.10	3.50	0.10	0.00
S-1-1	187 ml/m ³	9.00	0.80	9.00	0.80	0.00
S-1-2	187 ml/m ³	8.50	0.80	8.50	0.70	0.00
S-1-3	187 ml/m ³	9.00	0.60	9.00	0.60	0.00
S-1-4	187 ml/m ³	10.00	0.60	10.00	0.60	0.00
S-1-5	187 ml/m ³	10.00	0.50	10.00	0.50	0.00
S-1-6	187 ml/m ³	10.00	0.60	10.00	0.60	0.00
S-1-7	187 ml/m ³	10.00	0.50	10.00	0.50	0.00
S-1-8	187 ml/m ³	8.00	0.50	8.00	0.50	0.00
S-1-9	187 ml/m ³	10.00	0.80	10.00	0.80	0.00
S-1-10	187 ml/m ³	8.00	0.60	8.00	0.60	0.00
S-1-11	187 ml/m ³	10.00	0.80	10.00	10.00	0.00
S-1-12	187 ml/m ³	7.50	0.40	7.50	0.40	0.00
S-2-1	312 ml/m ³	10.00	0.80	10.00	0.80	0.00
S-2-2	312 ml/m ³	7.00	0.80	7.00	0.80	0.00
S-2-3	312 ml/m ³	10.00	0.80	10.00	0.80	0.00
S-2-4	312 ml/m ³	8.00	0.80	8.00	0.80	0.00
S-2-5	312 ml/m ³	10.00	0.60	10.00	0.60	0.00
S-2-6	312 ml/m ³	7.00	0.60	7.00	0.60	0.00
S-2-7	312 ml/m ³	9.00	0.80	9.00	0.80	0.00
S-2-8	312 ml/m ³	8.00	0.80	8.00	0.80	0.00
S-2-9	312 ml/m ³	7.00	0.80	7.00	0.80	0.00
S-2-10	312 ml/m ³	8.00	0.60	8.00	0.60	0.00
S-2-11	312 ml/m ³	7.50	0.80	7.50	0.80	0.00
S-2-12	312 ml/m ³	7.50	0.80	7.50	0.80	0.00

Nota. Elaboración propia.

Figura 13

Gráfico del promedio de autorreparación longitudinal (cm) según cantidad de BS.



Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO: La mezcla con 312 ml/m³ de BS presento un incremento significativo promedio de autorreparación longitudinal de 0.25 mm a los 365 días, mayor que la muestra base o patrón.

Tabla 25

Autorreparación de fisuras longitudinal en milímetros según porcentaje de BS.

Tiempo (días)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (0 ml/m ³)	<i>Bacillus subtilis</i> Nacional		<i>Bacillus subtilis</i> Importado	
		Cantidad de <i>Bacillus</i> (187 ml/m ³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (312 ml/m ³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (187 ml/m ³)	Cantidad de <i>Bacillus</i> (312 ml/m ³)
365	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00
365	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00
365	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
365	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00
365	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
365	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
365	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
365	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00
365	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00
365	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
365	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
365	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00

Nota: Elaboración propia.

PRUEBA DE HIPOTESIS

PRUEBA DE NORMALIDAD

Nos permitirá decidir si usaremos estadísticos paramétricos o no paramétricos.

H_0 = Los grupos tienen distribuciones normales

H_1 = Los grupos no tienen distribuciones normales

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk

Usamos Shapiro Wilk porque la cantidad de datos fue de 12 que es menor que 50

Tabla 26

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk (autorreparación).

Indicador	<i>Bacillus subtilis</i>	Grado de libertad	Significancia
	0	12	
Autorreparación longitudinal (centímetros)	187 BSN	12	
	187 BSI	12	
	312 BSI	12	
	312 BSN	12	< 0.001

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia de los valores obtenidos de la autorreparación es igual o menor que 0.01 y este valor es menor o igual que 0.05 asumido; aceptamos la hipótesis nula; entonces **los datos para el grupo 312 BSN, no tienen una distribución normal, debemos aplicar estadística no paramétrica.**

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA

Nos permitirá decidir si usaremos estadísticos paramétricos o no paramétricos.

H_0 = La varianza de los grupos son homogéneas

H_1 = La varianza de los grupos no son homogéneas

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Estadístico homogeneidad de varianza (Levene).

Tabla 27

Prueba de homogeneidad de varianzas (resistencia a la compresión).

		Estadístico de Levene	Grado de libertad 1	Grado de libertad 2	Significancia
Resistencia obtenida	Se basa en la media	38.367	4	55	< 0.001
	Se basa en la mediana	5.351	4	55	0.001
	Se basa en la mediana y con grado de libertad ajustado	5.351	4	11.000	0.012
	Se basa en la mediana recortada	30.956	4	55	< 0.001

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia de la resistencia a la compresión del concreto obtenidos fueron menores que 0.05 asumido, se admite la hipótesis alterna: **la varianza de los grupos no es homogénea; lo que confirma usar estadística no paramétrica.**

PRUEBA DE KRUSKAL WALLIS (No paramétrica)

H_0 = La mediana de los grupos son iguales

H_1 = La mediana de los grupos no son iguales

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 28

Resumen de contraste de hipótesis para valores de autorreparación.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de autorreparación en cm es la misma entre categorías de BS en ml / m3	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	< 0.001	Rechace la hipótesis nula

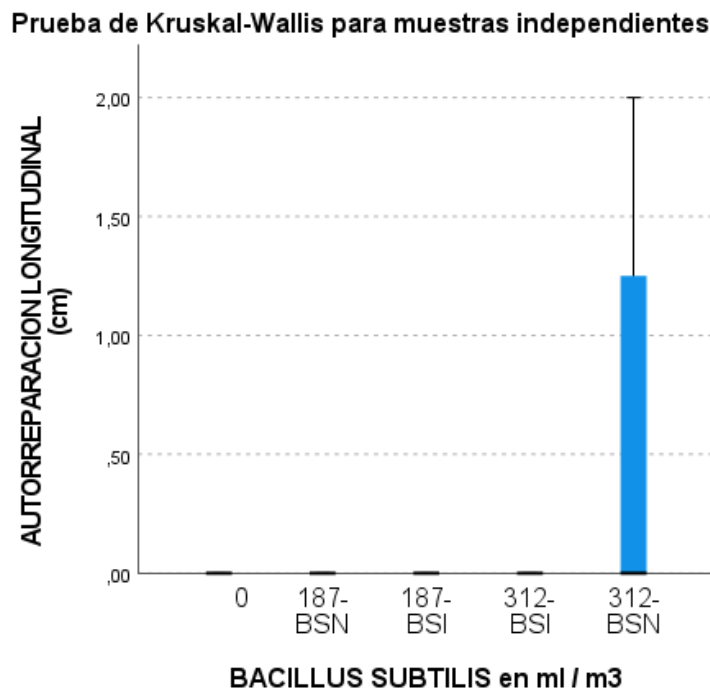
Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Como la significancia es menos que 0.001, y este valor es menor que 0.05 asumido, rechazamos la hipótesis nula y nos quedamos con la alterna; entonces las medias de los grupos de porcentajes de **BS** no son iguales para los valores hallados de autorreparación en centímetros (existe diferencia estadística significativa entre los grupos de BS con 0%, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ para los valores hallados de autorreparación).

Figura 14

*Gráfico para muestras independientes de autorreparación con **BS**.*



Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

En el gráfico podemos observar que hay diferencia entre las medias del grupo control (0 ml/m³), con el grupo de 312 ml/m³ de **BSN**.

CONTRASTE POR PAREJAS DE CANTIDAD DE BSN AÑADIDO (ml/m³)

H_0 = La distribución de la muestra 1 y la muestra 2 son iguales.

H_1 = La distribución de la muestra 1 y la muestra 2 son diferentes.

Si el p_{valor} es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, se admite H_1

Tabla 29

Prueba H de Kruskal-Wallis (autorreparación con BS).

BS (ml/m³)	Estadístico de prueba	Desviación error	Desviación estadística de prueba	Nivel de significación	Significación ajustada
0 - 187 BSN	0.000	3.418	0.000	1.000	1.000
0 - 187 BSI	0.000	3.418	0.000	1.000	1.000
0 - 312 BSI	0.000	3.418	0.000	1.000	1.000
0 - 312 BSN	- 12.500	3.418	- 3.657	< 0.001	0.003
187 BSN - 187 BSI	0.000	3.418	0.000	1.000	1.000
187 BSN - 312 BSI	0.000	3.418	0.000	1.000	1.000
187 BSN - 312 BSN	- 12.500	3.418	- 3.657	< 0.001	0.003
187 BSI - 312 BSI	0.000	3.418	0.000	1.000	1.000
187 BSI - 312 BSN	- 12.500	3.418	- 3.657	< 0.001	0.003
312 BSI - 312 BSN	- 12.500	3.418	- 3.657	< 0.001	0.003

Nota. Elaboración propia.

COMENTARIO:

Cuando comparamos 0 ml/m³ con 312 ml/m³ BSN, 187 ml/m³ BSN con 312 ml/m³ BSN, 187 ml/m³ BSI con 312 ml/m³ BSN, 312 ml/m³ BSI con 312 ml/m³ BSN encontramos una significación de 0.003 lo que indica que hay diferencia estadística significativa, sin embargo, no sucede lo mismo cuando comparamos 0 ml/m³ con 187 ml/m³ BSN, 0 ml/m³ con 187 ml/m³ BSI, 0 ml/m³ con 312 ml/m³ BSI, 187 ml/m³ BSN con 187 ml/m³ BSI, 187 ml/m³ BSN con 312 ml/m³ BSI, 312 ml/m³ BSI con 312 ml/m³ BSN, por lo que en estos últimos casos no podemos afirmar que haya diferencia estadística significativa y esto se refleja en los valores promedios encontrados de autorreparación longitudinal iguales a cero.

Concluimos que la dosificación de 312 ml/m³ de BSN mostró un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad de autorreparación del concreto, en comparación con la muestra control o sin aplicación.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este trabajo de investigación establece relaciones causales de aplicar BS (adquirido en el mercado nacional y otro importado) en diversas cantidades por metro cubico de concreto producido (187 ml/m^3 y 312 ml/m^3), sin considerar método de protección alguno (aplicación directa) durante su elaboración; en sus propiedades físicas y mecánicas. Encontrando lo siguiente:

La aplicación de BS modifica las propiedades del concreto.

Este estudio, enfocado en el análisis de aplicar BS (sin usar medio de encapsulamiento) durante la elaboración del concreto demuestra un impacto significativo en las propiedades analizadas del concreto elaborado, al compararlo con la mezcla control o sin bacteria, en el mismo sentido (Ibrahim et al., 2025) examino la resistencia a la flexión y compresión con aplicación del BS, cuyos resultados indicaron que la adición de bacterias en cantidades del 5% y el 10% en peso aumento la compresión del concreto a los 28 y 56 días en comparación con el grupo control.

Producir concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³, 312 ml/m³ modifica el Slump del concreto.

Cuando aplicamos BSI en una cantidad de 187 ml/m^3 los valores de slump se incrementaron en 66.67% en promedio respecto a la mezcla control, al aplicar BSI en una cantidad de 312 ml/m^3 este incremento se redujo a 43.33%; de modo similar (Sukumaran et al., 2025) pudo demostrar que el uso de bacterias en el concreto mejora la construcción sostenible con un incremento de valores resultantes para el Slump

Preparar concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³, 312 ml/m³ varía el porcentaje de vacíos del concreto.

Para el grupo de BSI con 187 ml/m^3 , se evidencio que los valores de porcentaje de vacíos descienden un 24.33% respecto de la mezcla patrón o base con 0 ml/m^3 , sin embargo,

hay evidencia estadísticamente significativa que respalda la hipótesis de igualdad en la distribución de los porcentajes de vacíos entre las muestras con y sin aplicar BS.

Analizar como el BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³, 312 ml/m³ modifica la resistencia del concreto.

El promedio de resistencia a la compresión obtenida a los 28 días con 187 ml/m³ de BSN fue de 12.74 % mayor que el obtenido con el grupo control (sin bacterias), el promedio de resistencia obtenida a los 28 días entre 312 BSI y el grupo control fue de 8.65% mayor; coincidiendo con (Akindahunsi et al., 2021) quien reporto incrementos de hasta un 27% en la resistencia a la compresión para concentraciones de 10⁵ células /ml ensayados a las edades de 7, 14, 28 y 56 días de edad revelando que la calcita bacteriana incrementa la resistencia; asimismo (Zamba & Mohammed, 2023) en su investigación sobre usar bacterias para mejorar las propiedades del concreto mostro que adicionar bacterias al concreto mejoro significativamente sus propiedades mecánicas, los valores de compresión mejoro en 19.55% en comparación con el grupo control a los 28 días de curado; de la misma forma (Mahmood et al., 2022) encontró mejoras en la resistencia a la compresión para el caso del bioconcreto con 10⁹ células por mililitro mostro un aumento de 25.90% en la resistencia a la compresión.

Producir concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³, 312 ml/m³ influye en la autorreparación del concreto.

Teniendo en consideración la diferencia estadística significativa hallada entre las distribuciones de muestra aplicando 312 ml/m³ BSN, sin encapsular (concentración de 2x10⁴ UFC/ml) en comparación con la mezcla patrón a una edad de 365 días desde su elaboración, esta proporción ha contribuido a la reproducción y resistencia por agentes adversos, mejorando la probabilidad que haya bacterias activas que precipiten carbonato de calcio; coincidiendo con (Tan et al., 2023) quien menciona la importancia de mejorar portadores para lograr mayor profundidad y velocidad de curación, también (Zamba & Mohammed, 2023) cuando afirma

que adicionar bacterias al concreto mejora sus propiedades mecánicas y durabilidad debido a que el BS genera precipitaciones de calcita, asimismo (Cezario et al., 2018) demuestra que adicionando esporas se presentan precipitaciones de cristales que posiblemente sea carbonato de calcio, el mismo que se visualiza en las fisuras, igualmente (Quintanilla Anyaipoma, 2025) quien indica que adicionar BS produce un significativo sellado autógeno cuando se aplica protegido y con aplicación directa se obtiene un sellado similar a los protegidos con fibras y agregado ligero, con un incremento de la resistencia a la compresión.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. La presente investigación permite establecer relaciones de causalidad entre la incorporación de *BS* sin encapsulamiento ni protección, en dosificaciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³, y las propiedades resultantes del concreto. Los resultados demuestran que la actividad biológica desarrollada por las bacterias genera efectos cuantificables y medibles sobre los parámetros físicos y mecánicos del material, evidenciando el potencial de este microorganismo como agente modificador de las propiedades del concreto durante su proceso de elaboración.
- 6.2. Los resultados evidenciaron un incremento promedio del 66.67% en el asentamiento del concreto al incorporar 187 ml/m³ de *BSI* respecto a la mezcla control. Sin embargo, al elevar la dosificación a 312 ml/m³, dicho incremento se redujo a 43.33%, lo que sugiere que concentraciones bacterianas más elevadas pueden generar una alteración en la trabajabilidad del material, posiblemente asociada a la interacción entre el mayor contenido de bacterias y los componentes de la pasta de cemento. Estos hallazgos guardan coherencia con investigaciones previas, las cuales han documentado que la adición de *Bacillus subtilis* puede incrementar la fluidez del concreto en estado fresco, como resultado de la interacción de dicho microorganismo con los elementos constitutivos de la matriz cementicia.
- 6.3. La mezcla elaborada con 187 ml/m³ de *BSI* registró una reducción del 24.33% en el porcentaje de vacíos en comparación con la mezcla control, lo que sugiere una mayor eficiencia en el proceso de compactación del material. Sin embargo, el análisis estadístico indica que no existen diferencias significativas entre las distribuciones de vacíos de las mezclas elaboradas con y sin incorporación de *Bacillus subtilis*, por lo que la mejora observada no puede atribuirse de manera exclusiva al efecto de la bacteria. En este sentido, resulta necesario considerar la posible influencia de otras variables intervinientes, tales como la homogeneidad de la mezcla y la técnica de compactación empleada durante el proceso de elaboración.
- 6.4. La media aritmética de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días con 187 ml/m³ de *BSN* fue de 14.42 % mayor que el obtenido con el grupo control (sin bacterias), el promedio de

resistencia a la compresión a los 28 días entre 187 BSI y el grupo control fue de 25.60% mayor, estos incrementos comprueban la hipótesis que la producción de carbonato de calcio puede contribuir en el desarrollo de una densa y resistente microestructura; estos resultados coinciden con las investigaciones previas de (Akindahunsi et al., 2021) quien encontró una mejora de 19% y (Mohammed et al., 2024) quien reportó un incremento de 27% en la resistencia a la compresión del bioconcreto principalmente cuando se manejan concentraciones celulares de 105 hasta 109 células por milímetro

- 6.5. Se pudo identificar significativa diferencia estadística entre el grupo referencial y el grupo con 312 ml/m³ de BSN a la edad de 365 días en cuanto al comportamiento ante fisuras, la concentración bacteriana de 2×10^4 UFC/ml sin encapsular pudo mantenerse activa mostrando capacidad de precipitar carbonato de calcio en las fisuras favoreciendo la autorreparación; este comportamiento coincide con estudios de (Tan et al., 2023), (Zamba & Mohammed, 2023), (Cezario et al., 2018) quienes destacaron el rol de las bacterias y su activación frente a la fisuración como efectivo dispositivo de curación y aumento de durabilidad; además podemos indicar que si bien la aplicación del BS fue sin encapsulamiento los resultados pueden ser en cierta medida comparables a los sistemas con protección.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda el empleo de concreto con incorporación de *Bacillus subtilis* en dosificaciones del orden de 187 ml/m³, dado que esta concentración demostró mejoras significativas en las propiedades del material, entre las que destacan un mayor asentamiento, una reducción en el porcentaje de vacíos y un incremento en la resistencia a la compresión. Por su parte, la dosificación de 312 ml/m³ de BSN evidenció una capacidad de autorreparación relevante, lo que abre una línea de investigación de considerable interés para el desarrollo de concreto inteligente. En este contexto, se sugiere profundizar los estudios orientándolos hacia el análisis de la viabilidad tecnológica y económica de su implementación, con el propósito de determinar su aplicabilidad efectiva en condiciones reales de obra y evaluar su potencial de transferencia al sector productivo de la construcción.
- 7.2. Asimismo, dado que la aplicación de BS sin encapsulamiento ha evidenciado efectos positivos sobre las propiedades del concreto, se recomienda usar 187 ml/m³ de BSI para mejorar el asentamiento. Resulta de especial interés continuar los ensayos incorporando lactato de calcio en combinación con la bacteria, con el fin de potenciar la actividad bacteriana, favorecer la formación de esporas y optimizar el proceso de biomineralización, contribuyendo así a una mayor eficacia en la autorreparación del material.
- 7.3. Debido a la reducción del porcentaje de vacíos obtenido, se recomienda usar BSI en proporción de 187 ml/m³, considerando que a menor porcentaje de vacíos se deben obtener mejores valores de resistencia a la compresión, y mejor protección del acero estructural ante los efectos ambientales; asimismo es recomendable continuar con las investigaciones debido a que con el análisis estadístico de la presente investigación no se encontró diferencia significativa entre los grupos ensayados.

- 7.4. Se recomienda usar BS para mejorar la compresión del concreto, asimismo con el fin de trasladar los resultados obtenidos al ámbito práctico, se recomienda el desarrollo de proyectos piloto a escala real en condiciones de obra, que permitan evaluar el comportamiento del concreto con *Bacillus subtilis* en elementos estructurales representativos tales como vigas, losas, columnas, placas y pavimentos. Estos proyectos deberán contemplar el análisis de la compatibilidad del material con el acero de construcción, el control de la fisuración y el seguimiento del proceso de autorreparación en elementos sometidos a cargas aplicadas y condiciones ambientales variables, proporcionando así una base empírica sólida para la eventual incorporación de esta tecnología en los estándares constructivos nacionales.
- 7.5. Considerando que el comportamiento autorreparador fue verificado a los 365 días, se recomienda ampliar los estudios a horizontes temporales superiores al año, con el propósito de evaluar la permanencia y estabilidad de la capacidad autorreparadora a largo plazo. En este marco, se sugiere incorporar el análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), técnica que permitirá caracterizar con mayor precisión los mecanismos de sellado de fisuras a nivel microestructural, aportando información valiosa sobre la naturaleza y extensión de los depósitos de carbonato de calcio generados por la actividad bacteriana.

VIII. REFERENCIAS

- Abazarsa, M., & Yu, T. (2025). Multiphysical characterization for predicting compressive strength of Portland cement concrete using synthetic aperture radar, ultrasonic testing, and rebound hammer. *Scientific Reports*, 15(1), Article 1.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-83829-y>
- Adak, D., Marbaniang, D. F., & Dutta, S. (2021). Experimental studies on the development of a self-healing cementitious matrix for repair and retrofitting of concrete structures. *International Journal of Structural Integrity*, 12(5), 799-814.
<https://doi.org/10.1108/IJSI-07-2021-0082>
- Akindahunsi, A. A., Adeyemo, S. M., & Adeoye, A. (2021). The use of bacteria (*Bacillus subtilis*) in improving the mechanical properties of concrete. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 6(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s41024-021-00112-7>
- An, S., Yoon, S. S., & Lee, M. W. (2021). Self-healing structural materials. *Polymers*, 13(14). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym13142297>
- Andersen, B., & Rasmussen, T. V. (2025). Biobased building materials: Moisture characteristics and fungal susceptibility. *Building and Environment*, 275, 112720.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112720>
- Asgary, S., Aram, M., & Fazlyab, M. (2024). Comprehensive review of composition, properties, clinical applications, and future perspectives of calcium-enriched mixture (CEM) cement: A systematic analysis. *BioMedical Engineering OnLine*, 23, 96.
<https://doi.org/10.1186/s12938-024-01290-4>
- Asgharpour, F., Çakiral, K., & Marar, K. H. (2024). Harnessing microbes for self-healing concrete – A review. *Research on Engineering Structures & Materials*, 10(4), 1565-1588.

Basic vs Applied Research. Comparison, Examples & Interplay. (s. f.). ATLAS.ti.

Recuperado 29 de julio de 2025, de <https://atlasti.com/research-hub/basic-vs-applied-research>

Bernal Torres, C. (2022). *Metodología de la Investigación* (1ra ed.). Pearson.

Blandon-Valencia, J., Farbiarz Farbiarz, Y., & Lara-Valencia, L. (2024). Design, construction, and supervision issues: Altos del Lago building, a case study. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 10(1), 47. <https://doi.org/10.1007/s41024-024-00538-9>

Cezario, N. S., Peres, M. V. N. do N., Fruet, T. K., Nogueira, G. S. F., Toralles, B. M., & Cezario, D. D. S. (2018). Crack filling in concrete by addition of *Bacillus subtilis* spores—Preliminary study. *Dyna*, 85(205), 132-139.

Chen, L., Zhang, Y., Chen, Z., Dong, Y., Jiang, Y., Hua, J., Liu, Y., Osman, A. I., Farghali, M., Huang, L., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2024). Biomaterials technology and policies in the building sector: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(2), 715-750. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01689-w>

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2022). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 6.

De La Rosa, Á., Ortega, J. J., & Ruiz, G. (2025). Characterization of the shape and size of coarse aggregates by photogrammetry for the design of self-compacting concretes. *Construction and Building Materials*, 474, 141013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141013>

Dongyu, X., Xin, C., Xiaojing, G., & Shifeng, H. (2015). Design, fabrication and property investigation of cement/polymer based 1–3 connectivity piezo-damping composites. *Construction and Building Materials*, 84, 219-223. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.043>

- Erazo, R. R. (2022). Modelos de crecimiento económico, una evaluación analítica macroeconómica. *Cátedra Villarreal Posgrado*, 1(1), 57-67.
<https://doi.org/10.24039/rcvp2022111640>
- Ferral-Pérez, H., & Galicia-García, M. (2020). Bioprecipitation of calcium carbonate by *Bacillus subtilis* and its potential to self-healing in cement-based materials. *Journal of Applied Research and Technology*, 18(5), 245-258.
- Fuhaid, A. F. A., & Niaz, A. (2022). Carbonation and Corrosion Problems in Reinforced Concrete Structures. *Buildings*, 12(5), Article 5.
<https://doi.org/10.3390/buildings12050586>
- Gao, F., Ge, Z., Yuan, H., Zhang, H., & Zhang, H. (2025). Influence of aggregate characteristics on workability and rheology of self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04595. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04595>
- Hadhinata, C., Amira, A., Nurjanna, A., Indrasara, A. R., Hasanah, N., & Pratama, M. M. A. (2022). Multi-perspective review on application of self-healing concrete and its prospect in Asia. *AIP Conference Proceedings*, 2489(1), 030028.
<https://doi.org/10.1063/5.0093875>
- Hammad, N., El-Nemr, A., & Shaaban, I. G. (2025). *Bacillus subtilis* as a Novel Biological Repair Technique for Alkali-Activated Slag Towards Sustainable Buildings. *Sustainability*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su17010048>
- Han, S. H., Jun, Y., Shin, T. Y., & Kim, J. H. (2020). CO₂ Curing Efficiency for Cement Paste and Mortars Produced by a Low Water-to-Cement Ratio. *Materials*, 13(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/ma13173883>
- Harmon, A. (2023). *Bacillus subtilis*. <https://www.ebsco.com/research-starters/science/bacillus-subtilis>

- Hategan, V.-P. (2021). Promoting the Eco-Dialogue through Eco-Philosophy for Community. *Sustainability*, 13(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/su13084291>
- Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodologia de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1ra ed.). McGrawHill.
- Huang, D., Feng, Y., Xia, Q., Tian, J., & Li, X. (2024). Research on mechanical properties and durability of early frozen concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 425, 135988. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135988>
- Ibrahim, O. A., Mohamed, A. I. H., Ibrahim, W., Abd-Al Ftah, R. O., Hamed, S. R., & Abd-Elnaby, S. F. M. (2025). The influence of adding *B. subtilis* bacteria on the mechanical and chemical properties of cement mortar. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 14(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43088-024-00591-w>
- Jing, Y., Lee, J. C., Moon, W. C., Ng, J. L., Yew, M. K., & Jin, Y. (2025). Durability and environmental evaluation of rice husk ash sustainable concrete containing carbon nanotubes. *Scientific Reports*, 15(1), 4352. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88927-z>
- Kaleta-Jurowska, A., & Jurowski, K. (2020). The Influence of Ambient Temperature on High Performance Concrete Properties. *Materials*, 13(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/ma13204646>
- Kirupakaran, S., Preethi, V., Prabhavathy, A., Preyadarshi, S., & Chandana, S. (2023). A study on the mechanical and durability properties of bacterial culture with Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) as partial replacement for cement. *Case Studies in Construction Materials*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02325>
- Mahmood, F., Kashif Ur Rehman, S., Jameel, M., Riaz, N., Javed, M. F., Salmi, A., & Awad, Y. A. (2022). Self-Healing Bio-Concrete Using *Bacillus subtilis* Encapsulated in Iron

- Oxide Nanoparticles. *Materials (1996-1944)*, 15(21), 7731.
<https://doi.org/10.3390/ma15217731>
- Marotti de Mello, A., & Wood Jr, T. (2019). What is applied research anyway? *Revista de Gestão*, 26(4), 338-339. <https://doi.org/10.1108/REGE-10-2019-128>
- Martínez Pérez, J. A., & Pérez Martin, P. S. (2023). Coeficiente de correlación intraclase. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 49(3).
<https://doi.org/10.1016/j.semerg.2022.101907>
- Maruyama, I., Kotaka, W., Bui, N. K., Kurihara, R., Kanematsu, M., Hyodo, H., Hirao, H., Kitagaki, R., Tamura, M., Tsujino, M., Fujimoto, S., & Noguchi, T. (2021). A New Concept of Calcium Carbonate Concrete using Demolished Concrete and CO₂. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 19(10), 1052-1060.
<https://doi.org/10.3151/jact.19.1052>
- Mei, Z., Tan, Q., Tan, Y., Yi, W., & Luo, S. (2025). An integrated optimization and visualization approach for construction site layout planning considering primary and reuse building materials. *Advanced Engineering Informatics*, 65, 103314.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.103314>
- Michael, S. (2024). The Fundamental Concepts and Applications of Strength of Materials. *Advanced Materials Science Research*, 7(1), 121-122.
- Milović, T., Bulatović, V., Pezo, L., Dramićanin, M., Tomić, A., Pezo, M., & Šovljanski, O. (2024). Enhancing Compressive Strength of Cement by Indigenous Individual and Co-Culture Bacillus Bacteria. *Materials*, 17(20), Article 20.
<https://doi.org/10.3390/ma17204975>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2021a). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2021b). *Reglamento Nacional de Edificaciones NTE - E030*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2021c). *Reglamento Nacional de Edificaciones NTE - E060*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Mohammadi, A., & Ramezaniapour, A. M. (2023). Investigating the environmental and economic impacts of using supplementary cementitious materials (SCMs) using the life cycle approach. *Journal of Building Engineering*, 79, 107934. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107934>
- Mohammed, T. A., Kasie, Y. M., Assefa, E., Getu, Y. M., & Tufa, D. H. (2024). Enhancing Structural Resilience: Microbial-Based Self-Healing in High-Strength Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s40069-024-00661-4>
- Mokhtar, G., Ahmed, A. A.-E.-A., & Reyad, A. M. (2021). The effect of isolated Bacillus ureolytic bacteria in improving the bio-healing of concrete cracks. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00142-7>
- Morales, Y. S. B., Vásquez, M. A. C., Beltrán, G. S., & Abanto, S. E. S. (2023). Contribution of Lysinibacillus sphaericus to crack repairing and compressive strength in durable concrete. *Revista Ingenieria de Construcción*, 38(2), 215-224. Scopus. <https://doi.org/10.7764/RIC.00064.21>
- Muñoz-Pérez, S., Carlos-Sánchez, J., & Peralta-Sánchez, M. (2023). Influencia de las bacterias en la autocuración del concreto. *Revista UIS ingenierías*, 22(1), 69-86.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2020). *Norma E.060 Concreto armado*. Google Docs.
https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2ylU5Kz/view?usp=sharing&usp=embed_facebook
- Mydin, M. A. O., Sarpin, N., Zainol, R. M., Odeh, R., & Nawi, M. N. M. (2025). The Impact of Climatological Factors on the Multifaceted and Multisystemic Deficiencies of Building Anatomy. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 50(1), 308-329. <https://doi.org/10.37934/araset.50.1.308329>
- Navidi, W. (2023). *Statistics for Engineers and Scientists*.
- Ñaupas Paitan, H., Mejia Mejia, E., Trujillo Roman, R. I., Romero Delgado, Hu. E., Mdedina Barcena, W., & Novoa Ramirez, E. (2023). *Metodologia de la investigación total* (Sexta). Grijlry.
- Onsongo, S. K., Olukuru, J., Munyao, O. M., & Mwabonje, O. (2025). The role of agricultural ashes (rice husk ash, coffee husk ash, sugarcane bagasse ash, palm oil fuel ash) in cement production for sustainable development in Africa. *Discover Sustainability*, 6(1), 62. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00841-6>
- Pal, A., Ahmed, K. S., & Yazdani, N. (2025). Data driven tensile strength prediction for fiber-reinforced rubberized recycled aggregate concrete using machine learning. *Cleaner Materials*, 17, 100323. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2025.100323>
- Premalatha, P. V., Geethanjali, M., Sundararaman, S., & Murali, C. S. (2023). An experimental investigation on self-healing concrete using “Bacillus subtilis”. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.118>
- Qiu, Q. (2020). A state-of-the-art review on the carbonation process in cementitious materials: Fundamentals and characterization techniques. *Construction and Building Materials*, 247, 118503. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118503>

- Qu, Z., Zhang, Y., Liu, Z., Si, R., & Wu, J. (2024). A review on early-age cracking of concrete: Causes and control. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03848. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03848>
- Quintanilla Anyaipoma, D. A. (2025). Influencia de la adición de bacterias *Bacillus subtilis* en la autoreparación de grietas del concreto. [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/10866>
- Rashid, M., Ara, D. R., & Abdalla, S. B. (2025). Transferable tectonics: Rethinking building technology in the Arabian Gulf cities. *City, Territory and Architecture*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40410-025-00251-1>
- Reglamento Nacional de Edificaciones—RNE. (s. f.). Recuperado 28 de julio de 2025, de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Romero Urrea, H., Real Cotto, Jony Joe, Ordoñez Sanchez, Joe Luis, Gavino Diaz, Gloria E., & Saldarriaga, Guadalupe. (2021). *Metodologia de la investigacion cientifica*. Universitaria.
- Saleem, H., Zaidi, S. J., & Alnuaimi, N. A. (2021). Recent Advancements in the Nanomaterial Application in Concrete and Its Ecological Impact. *Materials*, 14(21), 6387. <https://doi.org/10.3390/ma14216387>
- Sanchez Espejo, F. G. (2022). *El instrumento y su estadística en una tesis*. Centrum Legalis.
- Sanchez, J. (2025). Comportamiento estructural de pavimentos rígidos incorporando macrofibras como reemplazo del acero de refuerzo convencional, Fundo Oquendo Callao 2024. *Revista Jurídica del IPEF*, (86), 9-9.
- Sant'Anna, F. H., Reiter, K. C., Fátima Almeida, P. de, & Pereira Passaglia, L. M. (2020). Systematic review of descriptions of novel bacterial species: Evaluation of the twenty-

- first century taxonomy through text mining. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2925-2936. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004070>
- Ševčík, R., Adámková, I., Vopálenský, M., Martauz, P., & Šmilauer, V. (2024). Microcrack and Porosity Development in Sealed Cement Mortars Measured with Micro-Computed Tomography. *Materials*, 17(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/ma17133239>
- Šovljanski, O., Tomić, A., Milović, T., Bulatović, V., Ranitović, A., Cvetković, D., & Markov, S. (2025). Construction Biotechnology: Integrating Bacterial Systems into Civil Engineering Practices. *Microorganisms*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms13092051>
- Sukumaran, A., Johnpaul, V., Balasundaram, N., & Senthil Kumar, S. (2025). Bacterial concrete: The future of self-healing and sustainable infrastructure. *MethodsX*, 15, 103569. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103569>
- Tan, K., Wu, S., & Ding, S. (2023). Carriers of Healing Agents in Biological Self-Healing Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2023, e7179162. <https://doi.org/10.1155/2023/7179162>
- Tayeh, B. A., Abu Aisheh, Y. I., & Abuzuhri, I. O. (s. f.). *Factors Affecting Sustainability Performance during the Construction Stage in Building Projects-Consultants' Perspective*. <https://doi.org/10.2174/1874836802014010017>
- Teshome, H. M., & Battula, V. S. (2025). Using Bio-Based Self-Healing Agent for Durability and Environmentally Friendly Concrete Development. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 19(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s40069-025-00823-y>

- Tie, Y., Ji, Y., Zhang, H., Jing, B., Zeng, X., & Yang, P. (2024). Investigation on the mechanical properties of *Bacillus subtilis* self-healing concrete. *Heliyon*, 10(14), e34131. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34131>
- Uthaman, S., & Vishwakarma, V. (2023). Assessment of causes and consequences of concrete deterioration and its remediation. *Journal of Building Engineering*, 79, 107790. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107790>
- Vandhiyan, R., Vijay, T. J., & M., M. K. (2021). Effect of Fine Aggregate Properties on Cement Mortar Strength. *Materials Today: Proceedings, International Conference on Newer Trends and Innovation in Mechanical Engineering: Materials Science*, 37, 2019-2026. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.498>
- Wang, L. (2023). Automatic detection of concrete cracks from images using Adam-SqueezeNet deep learning model. *Frattura Ed Integrita Strutturale-Fracture and Structural Integrity*, (65), 289-299. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.65.19>
- Wang, W., & Yue, Q. (2023). The Time Variation Law of Concrete Compressive Strength: A Review. *Applied Sciences*, 13(8), 4947. <https://doi.org/10.3390/app13084947>
- Wong, P. Y., Mal, J., Sandak, A., Luo, L., Jian, J., & Pradhan, N. (2024). Advances in microbial self-healing concrete: A critical review of mechanisms, developments, and future directions. *Science of The Total Environment*, 947, 174553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174553>
- Yankelevsky, D. Z. (2024). The uniaxial compressive strength of concrete: Revisited. *Materials and Structures*, 57(6), 144. <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02422-x>
- Zamba, D. D., & Mohammed, T. A. (2023). Self-healing performance of normal strength concrete with *Bacillus subtilis* bacteria. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 9(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s41024-023-00356-5>

Zanetti, L., Chiffi, D., & Petrini, L. (2023). Epistemic and Non-epistemic Values in Earthquake Engineering. *Science and Engineering Ethics*, 29(3), 18.

<https://doi.org/10.1007/s11948-023-00438-0>

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

En la Tabla A1 se presenta la matriz de consistencia.

Tabla A1

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores	Metodología
Problema general: ¿De qué manera la aplicación de <i>Bacillus Subtilis</i> (BS) modifica las propiedades del concreto convencional en la provincia de Ica, durante el año 2025?	Objetivo general: Determinar cómo la aplicación de BS modifica las propiedades del concreto en la provincia de Ica, año 2025.	Hipótesis general: Se prevé que la aplicación de BS modifique las propiedades del concreto convencional en la provincia de Ica, durante el año 2025.	Independiente: Aplicación de BS.	• 0 ml/m³ de BS por cada m³ de concreto. • 187 ml/m³ de mezcla • 312 ml/m³ de mezcla	Por Enfoque: Cuantitativa.
Problemas específicos: • ¿Cómo influye la incorporación de BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre el asentamiento (Slump) del concreto con f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Ica, año 2025? • ¿Qué efecto tiene la adición de BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre el porcentaje de vacíos del concreto con f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Ica, en el año 2025? • ¿Como varia la resistencia	Objetivos específicos: • Verificar la influencia de incorporar BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla sobre el asentamiento (Slump) del concreto f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Ica, año 2025. • Comprobar el efecto producido por la adición de BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla sobre el porcentaje de vacíos del concreto con f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Ica, en el año 2025. • Analizar cómo varia la	Hipótesis específicas: • Se pronostica que aplicar BS en proporciones 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla influya sobre el asentamiento (Slump) del concreto f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Ica, año 2025. • Preparar concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla afecta el porcentaje de vacíos del concreto f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Ica, año 2025. • Hacer concreto con BS en	Dependiente: Propiedades del concreto.	• Slump (pulgadas) • Porcentaje de vacíos (%). • Resistencia a la	Nivel: Explicativo.
					Diseño: Cuasiexperimental.
					Población: Conformada por el total de especímenes y probetas de concreto elaboradas y sometidas a ensayos en el laboratorio.
					Muestra: Por conveniencia del trabajo de investigación, no probabilística.
					Instrumentos:

a la compresión del concreto con concreto $f'c = 210$ kg/cm² al aplicar BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ en la provincia de Ica, durante el año 2025?

- ¿Qué influencia tiene la dosificación de concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre la capacidad de autorreparación del concreto con $f'c = 210$ kg/cm² en la provincia de Ica, en el año 2025?

resistencia a la compresión del concreto con $f'c = 210$ kg/cm² al aplicar BS en proporciones de 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ en la provincia de Ica, durante el año 2025.

- Explicar la influencia que tiene la dosificación de concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ sobre la capacidad de autorreparación del concreto con $f'c = 210$ kg/cm² en la provincia de Ica, en el año 2025.

proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ varia la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210$ kg/cm² en la provincia de Ica, durante el año 2025.

- Se prevé que producir concreto con BS en proporción 0 ml/m³, 187 ml/m³ y 312 ml/m³ de mezcla influya en la capacidad de autorreparación del concreto con $f'c = 210$ kg/cm² en la provincia de Ica, en el año 2025.

compresión (kg/cm²)

- Autorreparación

Técnica observacional con uso de fichas técnicas. La validez y confiabilidad fue evaluada por medio del “juicio de expertos”.

Anexo B. Autorreparación del concreto.

Figura B1

Autorreparación espécimen C – 5 – 1.



01 día

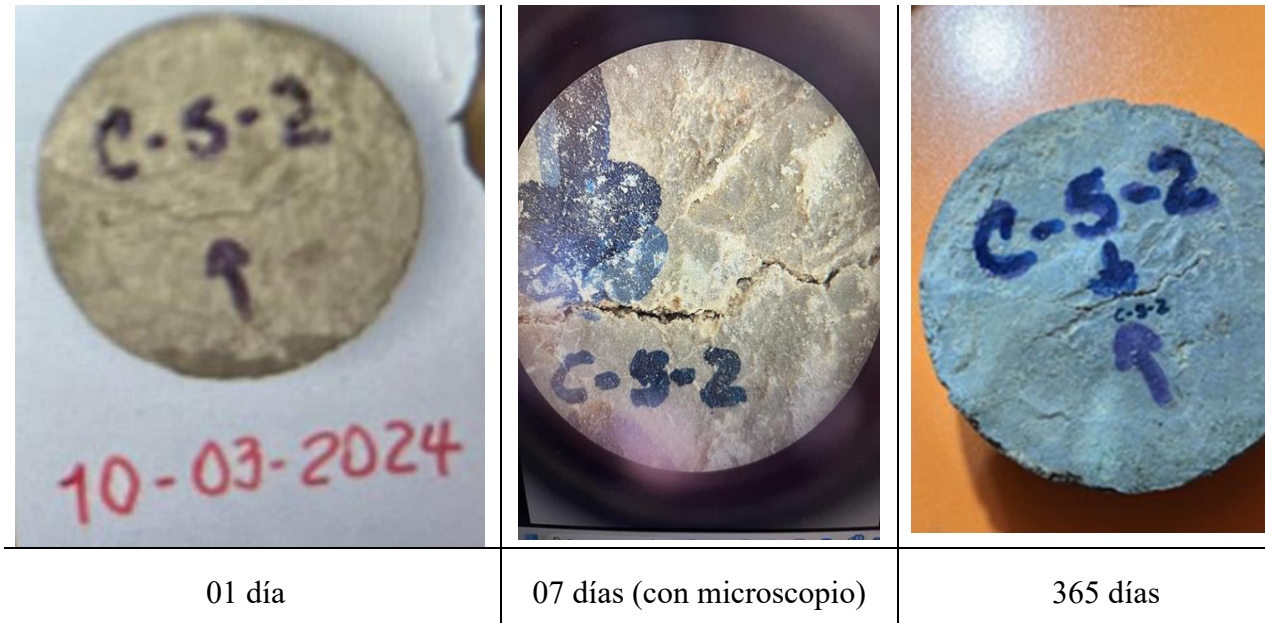
07 días (con microscopio)

365 días

Nota: Especimen aplicando BSN con 312 ml/m^3 de concreto, se aprecia fisura producida a un día de su elaboración y el estado del cerramiento a los 365 días.

Figura B2

Autorreparación espécimen C – 5 – 2.



Nota: Especimen aplicando BSN con 312 ml/m^3 de concreto, se aprecia la evolución de la fisura desde el primer día de su elaboración hasta los 365 días, además de una vista con microscopio a los 7 días.

Figura B3

Autorreparación espécimen C – 5 – 3.



01 día



07 días (con microscopio)

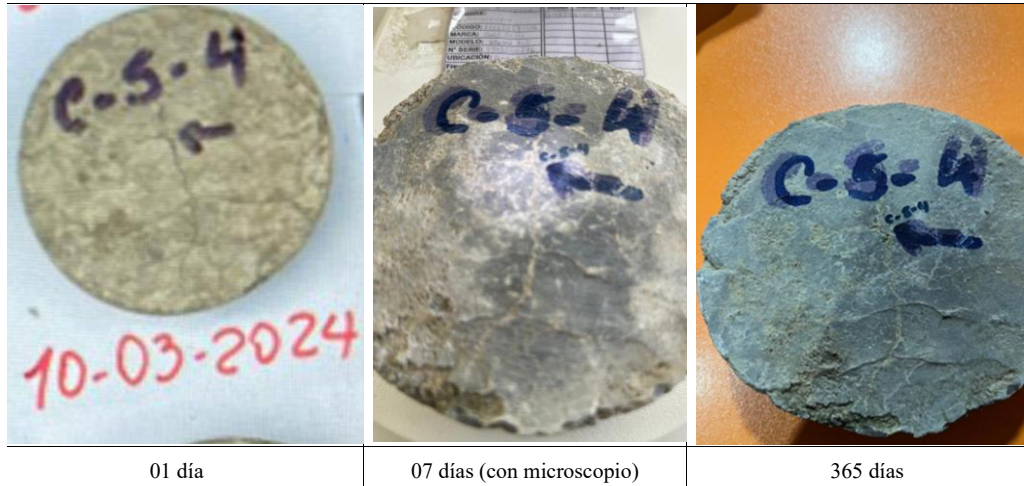


365 días

Nota: Evolución de la fisura en espécimen de concreto tratado con BSN a una dosificación de 312 ml/m³.

Figura B4

Autorreparación espécimen C – 5 – 4.

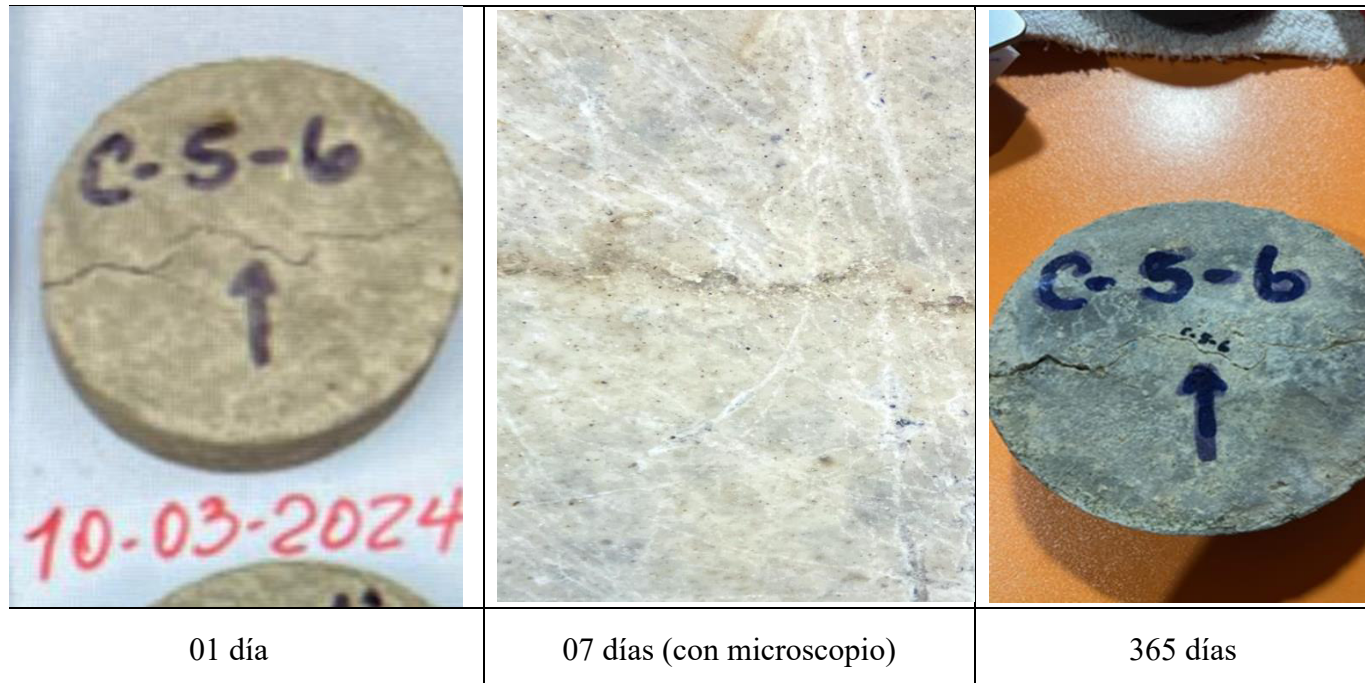


Nota: La probeta tratada con cepa nacional (*Bacillus subtilis* BSN) a una dosificación de 312 ml/m³ de concreto reveló, mediante observación microscópica, la presencia de una coloración blanquecina distribuida en la matriz del material. Dicha tonalidad es atribuible a la precipitación de carbonato de calcio (CaCO₃), compuesto que se forma como producto directo de la actividad metabólica de las bacterias incorporadas en la mezcla. Este proceso, conocido como precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente (MICP, por sus siglas en inglés), consiste en la capacidad de ciertas cepas bacterianas para catalizar reacciones bioquímicas que favorecen la nucleación y cristalización de minerales carbonatados en los poros y fisuras del concreto. La presencia de estos depósitos minerales en el interior de la matriz cementante constituye una evidencia visual

y microscópica del mecanismo de autorreparación activado por la acción bacteriana, el cual contribuye al sellado de microfisuras y al densificado de la microestructura del material, con efectos positivos sobre su durabilidad y resistencia mecánica a largo plazo.

Figura B5

Autorreparación espécimen C – 5 – 6.



Nota: Especimen elaborado con BSN en una dosificación de 312 ml/m³ de concreto.

Anexo C. Análisis microbiológico del BS.

Figura C1

Informe de ensayo *Bacillus Subtilis* Nacional con 2×10^4 UFC/ml



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA



INFORME DE ENSAYO N° 2404040- LMT

SOLICITANTE: MAXIMO HUAYANCA HERNANDEZ

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : BIOL

PROCEDENCIA : La Molina

TIPO DE ENVASE : Botella de plástico

CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.

ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado

FECHA DE MUESTREO : 2024 - 03 - 06

FECHA DE RECEPCIÓN : 2024 - 03 - 06

FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2024 - 03 - 08

FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2024 - 03 - 13

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 2404040
1°Enumeración de coliformes totales (NMP/ml)	< 3
1°Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml)	< 3
1°Enumeración de <i>E. coli</i> (NMP/ml)	< 3
1°Recuento de bacterias aerobias mesófilas (UFC/ml)	2×10^4
1°Recuento de bacterias ácido lácticas (UFC/ml)	1.3×10^4
1°Recuento de Mohos y levaduras (UFC/g)	0
2°Recuento de actinomicetos (UFC/ml)	0
2°Recuento de <i>Bacillus</i> sp (UFC/ml)	2×10^4
3°Enumeración de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (NMP/ml)	< 3

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

²American Public Health Association. 1992. Compendium of methods for the Microbiological Examination of foods. 3rd Ed. Chapter 13.

³Anderson J. 1962. Soil respiration. En: Page A., Miller R., Keeney D. (Eds.) Methods of Soil Analysis Part II. Chemical and Microbiological

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 01 de abril de 2024




DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 6147800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

Av. La Molina s/n La Molina, Código Postal 15024 - Lima - Perú
 ☎ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

Página 1 de 1

Nota: En la imagen se muestra el informe de laboratorio del BSN.

Figura C2

Bacillus Subtilis Nacional (BSN – Biosafe SC)



PRODUCTOS BIOLÓGICOS PARA LA AGRICULTURA EIRL

BIOSAFE BIOINOCULANTE (*Bacillus subtilis*)

PRESENTACION:

Contenido Neto: 1 Litro de suspensión concentrada (SC).
Galón de 20L de suspensión concentrada (SC)

COMPOSICIÓN:

Concentración: Contiene por lo menos 2.5×10^9 ufc/ml de *Bacillus subtilis*.
Ingrediente inerte: líquido estéril.

BACTERIA ANTAGONISTAS.

BIOSAFE SC, es una bacteria antagonista a base de cepa natural de *Bacillus subtilis* especialmente seleccionadas. Dicho antagonista es un enemigo natural de muchas enfermedades fúngicas (*Antracnosis*, *Royas*, *Oidium*, *Stemphiliun*, *Mildiu*, *Botrytis*, *Alternaria sp*, *Colletotrichum*, *Rhizoctonia Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*).

BIOSAFE SC, posee una habilidad especial para colonizar las raíces de las plantas, no dejando nicho ecológico a otros hongos patógenos que intenten infectar la raíz.

BIOSAFE SC, actúa como bioestimulante del crecimiento radicular, pues promueve un desarrollo de raíces más fuertes y sanas debido a la secreción de fitohormonas, lo que permite, debido al incremento de masa radicular, una mejor asimilación de nutrientes y toma de humedad por la planta.

BIOSAFE SC, posee además excelentes características medioambientales, pues tiene toxicidad nula para animales superiores, es inocuo para el hombre, animales, artrópodos útiles, abejas, abejorros y no es posible la contaminación del agua.

Nota: En la imagen se muestra la ficha técnica del BSN utilizado con 2.5×10^9 ufc / ml.

Figura C3*Informe de ensayo Bacillus Subtilis Importado con 2.5×10^7 UFC/ml*

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y PARASITOLOGÍA

**INFORME DE ENSAYO N° 010-2024-LMP**

SOLICITANTE: MAXIMO HUAYANCA HERNANDEZ

PRODUCCION DE MICROORGANISMOS

PROCEDENCIA : Importación
MUESTRA : Cepa de Bacillus subtilis ATCC*11774
ESTADO Y CONSERVACION : Buen estado y en cadena de frío a 4°C
ANALISIS SOLICITADO : Producción de cepa de Bacillus subtilis
FECHA DE RECEPCION : 02/09/2024
HORA DE RECEPCION : 10:00 am
FECHA DE PRODUCCION : 03/09/2024
VOLUMEN : 500 ml

RESULTADOS DE PRODUCCION DE BACILLUS

ANALISIS	RESULTADOS
Bacillus subtilis Cepa ATCC*11774	$2,5 \times 10^7$ UFC/ml

METODOS REFERENCIA:

ISO 4833-1:2013. Microbiology of the food chain Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 degrees C by the pour plate technique.

OBSERVACIONES:

- La cepa fue proporcionada por el solicitante
- El resultado se refiere únicamente a la muestra analizada
- Cualquier enmendadura anula el presente resultado.

Ica, 06 de Setiembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Bigo. ISABEL YARMA DUEÑAS

Nota: En la imagen se muestra el informe de ensayo del **BSI**.

Figura C4*Bacillus Subtilis Importado*

Nota: En la figura se observa la presentación del **BSI**.