

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**ESTUDIO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CEPAS  
BACTERIANAS COMO ADITIVO ANTE LA PRESENCIA DE FISURAS  
EN EL CONCRETO EN LATINOAMÉRICA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**GEORCK BAGNER ARAUJO HUAMAN**

**ASESOR**

**HÉCTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA**

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

**Chiclayo, 2020**

## ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	8
2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS.....	11
2.2.1. CONCRETO.....	11
2.2.2. BACTERIAS BACILLUS.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	13
3.2. HIPÓTESIS.....	13
3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN.....	13
3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO.....	14
3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	15
3.6. PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS.....	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1. ESTADO DE CONOCIMIENTO ACERCA DE LA INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS COMO ADITIVO ANTE LA PRESENCIA DE FISURAS EN EL CONCRETO EN LATINOAMÉRICA.....	16
4.2. UNIVERSO DE CEPAS BACTERIANAS ESTUDIADAS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO PARA SER UTILIZADO COMO ADITIVO FRENTE A LA APARICIÓN DE GRIETAS EN EL CONCRETO.....	17
4.3. GRADO DE REPARACIÓN DE FISURAS DE LOS ADITIVOS BACTERIANOS ESTUDIADOS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO.....	19
4.4. INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS BACTERIANOS ESTUDIADOS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	21
4.5. INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS BACTERIANOS ESTUDIADOS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO.....	23
V. CONCLUSIONES.....	24
VI. RECOMENDACIONES.....	25
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
VIII. ANEXOS.....	27
ANEXO 01: MODELO DE FICHA DE REGISTRO DE INFORMACIÓN.....	27

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Variable independiente .....	14
Tabla 2: Variables dependientes .....	14
Tabla 3: Técnica, instrumento y aplicación .....	15
Tabla 4: Universo de cepas bacterianas estudiadas en el continente Latinoamericano para ser empleadas como bioreparador.....	17
Tabla 5: Cepas bacterianas estudiadas en el continente Latinoamericano.....	18
Tabla 6: Grado de reparación de fisuras de los aditivos bacterianos estudiados en el continente Latinoamericano.....	19
Tabla 7: Grado de reparación de fisuras.....	20
Tabla 8: Influencia de los aditivos bacterianos estudiados en el continente Latinoamericano en la resistencia a la compresión del concreto .....	21
Tabla 9: Influencia de los aditivos bacterianos en la resistencia a la compresión del concreto .....	22
Tabla 10: Influencia de los aditivos bacterianos estudiados en el continente Latinoamericano en la resistencia a la flexión del concreto.....	23
Tabla 11: Influencia de los aditivos bacterianos en la resistencia a la flexión del concreto....	23

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sellado de grietas del concreto autorreparable .....	12
Figura 2: Bacterias Bacillus .....	12

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar el estado de conocimiento acerca de la influencia de la aplicación de cepas bacterias como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto en Latinoamérica, así como también se enlista las cepas bacterianas analizadas y la influencia en las propiedades de resistencia (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión) y durabilidad (tamaño de las fisuras) del concreto. Se concluyó que las cepas de *Bacillus Firmus*, *Paenibacillus Lactis*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Pseudofirmus* y *Bacillus Cohnii* pueden ser empleadas como aditivo bacteriano ya que se han obtenido resultados favorables para el concreto; dentro de las conclusiones más relevantes se tiene que las cepas de *Paenibacillus Lactis* han permitido sellar fisuras de hasta 2mm de ancho.

**Palabras Clave:** Fisuras, Bioconcreto, Aditivo bacteriano.

## ABSTRACT

The general objective of this research work is to determine the state of knowledge about the influence of the application of bacteria strains as an additive in the presence of cracks in concrete in Latin America, as well as the bacterial strains analyzed and the influence on the strength properties (compressive strength and flexural strength) and durability (crack size) of concrete. It was concluded that the strains of *Bacillus Firmus*, *Paenibacillus Lactis*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Pseudofirmus* and *Bacillus Cohnii* can be used as a bacterial additive since favorable results have been obtained for concrete; One of the most relevant conclusions is that the *Paenibacillus Lactis* strains have made it possible to seal fissures up to 2mm wide.

**Keywords:** Fissures, Bioconcrete, Bacterial Additive.

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más comunes y perjudiciales que se presentan en las estructuras de concreto armado son las fisuraciones ya que estas generan una serie de efectos negativos, siendo la corrosión del acero de refuerzo, la más perjudicial ya que este estado compromete la seguridad estructural, el tiempo de vida útil de la estructura y por consiguiente eleva el costo de mantenimiento de las estructuras; tan solo en Estados Unidos se estima que cada año se invierten 20 millones de dólares para mantener o reparar las estructuras de concreto armado [1]

La fisuración del concreto tiene su origen en una serie de causas, así pues, estas fisuras pueden pasar de ser una manifestación que no compromete la resistencia de la estructura a una que sí lo haga. La importancia dependerá del tipo de estructura comprometida ya que la funcionalidad adecuada de ciertas estructuras, como por ejemplo las estructuras destinadas a almacenamientos de fluidos, dependerá de que las grietas no sean lo suficientemente grandes como para generar fugas. [2]

No importa como sea mezclado el concreto, las fisuras siempre terminan apareciendo, la probabilidad de que aparezcan en mayor o menor medida dependerá de la forma en la que se prepare la mezcla, de los procedimientos constructivos empleados, de la forma en la que se almacenan los materiales componentes del concreto armado [1]; este problema se ve intensificado en el distrito de Chiclayo ya que las personas encargadas de los procesos constructivos no son lo suficientemente capacitadas para ejercer dicha labor.

Frente a lo descrito anteriormente surge la siguiente interrogante ¿qué tanto se conoce en Latinoamérica respecto a la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto?

Se planteó como objetivo general el determinar el estado de conocimiento acerca de la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto en Latinoamérica. Como objetivos específicos se establecieron identificar las cepas bacterianas que se pueden emplear como aditivo bacteriano; determinar si el uso de cepas bacterianas como aditivo influye en las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto.

Este trabajo de investigación tiene su justificación relacionada al aspecto económico en que al emplear aditivos bacterianos en el concreto se logran reducir los costos de mantenimiento de las estructuras y al mismo tiempo se extiende el periodo de vida útil de las mismas, la justificación relacionada al aspecto científico se tiene que a nivel nacional y local no se han realizado estudios exhaustivos con respecto a este tema por lo que no se están siendo

aprovechados los múltiples beneficios del empleo de esta técnica a distintas ramas de las que destacan la mejora de los suelos, tratamiento para muros de sótanos, apuntalamientos, construcción de carreteras, endurecimiento del suelo debajo de los edificios con un emplazamiento vulnerable a la licuefacción [3] , entre otros.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El problema de las fisuras en el concreto viene siendo estudiado por muchos investigadores alrededor del mundo para buscar alternativas de solución ante tal problemática. A continuación, se presentan antecedentes relacionados al tema ESTUDIO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS COMO ADITIVO ANTE LA PRESENCIA DE FISURAS EN EL CONCRETO EN LATINOAMÉRICA:

Asenjo Alarcón (2019) en su tesis “Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto” [4] analiza un total de 17 cepas bacterianas de las cuales dos cepas bacterianas (*Bacillus Firmus* y *Paenibacillus Lactis*) precipitaron carbonato de calcio con las cuales el autor elaboró un diseño de mezclas para un  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$  empleando una concentración de  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas por ml obteniendo dos tipos de aditivo bacteriano que se añadieron a la superficie fisurada y también se incorporó estos aditivos a la mezcla de concreto para evaluar el porcentaje de reparación de fisuras y la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 7, 14 y 28 días. El autor obtuvo resultados favorables en cuanto a la reparación de fisuras ya que al emplear Cepas de *Paenibacillus Lactis* para la reparación de fisuras de 2mm y 1mm obtuvo un porcentaje de reparación de 70% y 80.6% respectivamente a los 28 días y al emplear cepas de *Bacillus Firmus* el autor obtuvo un porcentaje de reparación del 68.3 % a los 28 días para grietas de 1mm. Los resultados que el autor obtuvo al evaluar la resistencia a la compresión del concreto con aditivo bacteriano se evidenciaron que al emplear cepas de *Paenibacillus Lactis* se logró un incremento de la resistencia a la compresión de 35.68% con respecto a un concreto sin aditivo bacteriano, por otro lado, al emplear cepas de *Bacillus Firmus* se obtuvo un incremento de resistencia a la compresión de 14.08 % con respecto a un concreto sin aditivo bacteriano a los 28 días. El autor menciona que dentro de su estudio no contempló la interacción bacteriana con el acero de refuerzo y que tampoco existen antecedentes con respecto a este punto, también recomienda ampliar el universo de cepas bacterianas y analizar la influencia de las cepas *Bacillus Subtilis* y *Bacillus Sphaericus*; otra recomendación dada por el autor es realizar ensayos de permeabilidad, esfuerzo de ruptura, resistencia a la flexión y analizar la durabilidad de este tipo de concreto.

Mendoza y Renato (2017) en su tesis “Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género *Bacillus* y biopolímeros como bioreparador” [5] analizan el efecto reparador de fisuras empleando la bacteria *Bacillus Subtilis* para un diseño de mezclas de 210 kg/cm<sup>2</sup>, los autores consideraron una población de 144 probetas diseñadas de las cuales 48 probetas sirvieron para realizar pruebas de control, 48 probetas se emplearon para pruebas experimentales curadas con solución nitrato y otras 48 probetas sirvieron para pruebas experimentales curadas con solución Lactato. Al realizar la aplicación por inyección del bioreparador en fisuras de 0.3 mm hasta 1.5 mm de espesor tanto de la solución nitrato como la inyección con solución Lactato se encontró que la precipitación de carbonato de calcio de las bacterias logró sellar grietas menores a 0.5 mm de ancho. Este estudio es particular ya que se pre fisuraron las probetas que iban a aplicarse por medio de inyección soluciones de lactato y nitrato y posteriormente se comprobó su resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días donde pudieron evidenciar un crecimiento en la resistencia de las probetas tratadas con bio reparador, no lograron llegar a la resistencia que posee un concreto patrón sin fisurar ya que, al no estar dañado, la probeta patrón presenta propiedades distintas. Los autores recomiendan evaluar la precipitación de Calcita a los 40, 50, 80 y 100 días, así como también realizar pruebas de resistencia a la flexión, también recomiendan los autores que se debe realizar una comparación entre el bioreparador y los aditivos epóxicos, también recomiendan realizar el estudio del comportamiento del bioreparador en zonas de temperaturas distintas entre sí.

Gonzales, Parraguez, Corvalán, Correa, Schliebs, Stukrath (2018) en su investigación para el 13° Congreso Internacional PROVIAL denominada “Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial” [6] en la cual se estudió el efecto reparador de fisuras de las bacterias *Bacillus Pseudofirmus*, analizaron los efectos de la temperatura y del tipo de cemento en la acción reparadora. Dentro de los ensayos que realizaron se encuentran el ensayo de flexión de tres puntos para que de este modo logren fisurar las probetas prismáticas que elaboraron para llevar a cabo la investigación. Dentro de las conclusiones relevantes de este estudio está que la temperatura tiene una influencia directa en el efecto reparador de las cepas bacterianas pues a los 23 °C se observó una actividad mayor se sellado de grietas con un ancho de hasta 0.3 mm mientras que a los 4 °C no hubo actividad reparadora de parte de las bacterias y a los 35° el sellado fue mucho menor, se estudió este aspecto de la bioreparación ya que la mayor parte de las investigaciones de esta rama han sido realizadas bajo técnicas europeas por

lo que es necesario saber si estos estudios pueden ser aplicados bajo las condiciones de otros lugares por lo que es necesario realizar más investigación al respecto.

Sierra, Mera y Jonkers (2015) en su estudio publicado en la revista *Economía y Desarrollo* que lleva como título “Hormigón autoreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador” [7] se enfocan en la problemática existente en una provincia de Ecuador denominada Tungaruraghua, pues en esta provincia, la comunidad agricultora depende de un canal que transporta las aguas de deshielo de las montañas Chimborazo y Carihuairazo hasta las hectáreas de cultivos; no obstante, en los últimos años el canal ha estado trabajando de manera ineficiente ya que se estimaron pérdidas del 70% del caudal debido a infiltraciones al suelo y evaporación; los pobladores y las autoridades locales han intentado solucionar este problema a través de revestir nuevamente el canal, desafortunadamente las grietas en el canal empezaron a aparecer en menos de un año por lo que el empleo de nuevas tecnologías fue necesario. Los investigadores emplearon a las cepas *Bacillus Cohnii* para llevar a cabo el efecto de autoreparación ya que estas bacterias son capaces de precipitar carbonato de calcio con la cual logran sellar las grietas. Los investigadores eligieron al Lactato de calcio como fuente de alimento de las bacterias en una dosis de 80 gr/L más extracto de levadura en una concentración de 1gr/L; otro componente de la mezcla de concreto fueron las fibras de Abacá cortadas a 2cm de longitud; las probetas ensayadas con bacterias mostraron una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de 30 Mpa frente a los 25 Mpa de un concreto patrón; en cuanto a la resistencia a la flexión, evaluada a partir del ensayo de tres puntos se encontró que a los 28 días la resistencia promedio a la flexión de las probetas elaboradas a partir de aditivo bacteriano fue de 5.7 Mpa mientras que para muestras sin bacterias fue de 5.4 Mpa. Tras los estudios realizados por los investigadores, procedieron a ponerlo a prueba en campo, elaboraron 110 L de hormigón para proceder a aplicarlo al canal; tras seis meses los investigadores regresaron a evaluar el estado del canal y no encontraron grietas ni efectos que evidencien el deterioro. Tras este estudio se puede evidenciar los múltiples beneficios a los que está arraigado el bioconcreto.

## 2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

### 2.2.1. CONCRETO

Se define al concreto como aquel material de naturaleza porosa y heterogénea compuesto de una masa pastosa producto de la reacción del cemento y el agua, a la que se añade como agregado fino a la arena y como agregado grueso a la piedra chancada o grava; en algunos casos también se usan aditivos y adiciones para mejorar cierta propiedad de la mezcla de acuerdo a las condiciones en la que se encontrará expuesto el concreto [8].

Dentro de las proporciones de los componentes del concreto se tiene que aproximadamente 70% de la mezcla está conformado por agregados, aproximadamente 20% es conformado por agua, 10% aproximadamente de cemento y lo restante está conformado por aire [9].

Las propiedades del concreto son las siguientes:

Trabajabilidad: “facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante se puede manejar, transportar y colocar con poca pérdida de la homogeneidad”.

Resistencia: “capacidad del concreto de resistir cargas a compresión, flexión o al cortante. El principal factor que determina la resistencia es la proporción de cemento – agua”

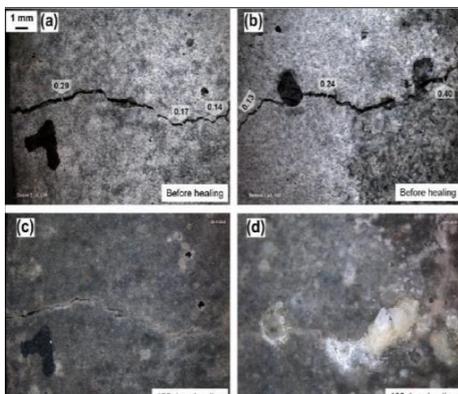
Durabilidad: “la capacidad de la masa endurecida de resistir los efectos de elementos, tales como la acción del viento, escarcha, nieve, hielo, la reacción química de los suelos o los efectos de la sal y la abrasión. A medida que aumenta la proporción agua – cemento la durabilidad disminuye”

El concreto está conformado por cuatro componentes principales que son el Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico y Ferroaluminato tetracálcico; estos contribuyen en el comportamiento del cemento al pasar del estado plástico al estado endurecido tras el proceso de hidratación. El Silicato tricálcico es el responsable de la alta resistencia inicial del concreto, el Silicato dicálcico es responsable de la resistencia posterior de la pasta, y el Aluminato tricálcico es el responsable del fraguado inicial.

A los concretos que adquieren la capacidad de repararse así mismo a través de mecanismos para cerrar microfisuras, fisuras y agrietamientos sin ninguna intervención debido a los componentes de su matriz se les conoce como concretos autorreparables, uno de las

metodologías más innovadoras es a través del uso de cepas bacterianas capaces de segregar carbonato de calcio.

*Figura 1: Sellado de grietas del concreto autorreparable*



Fuente: [9]

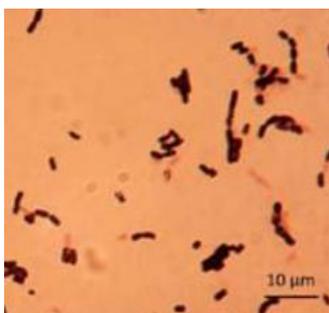
### 2.2.2. BACTERIAS BACILLUS

Según Miller (1996), Bacillus es un género de bacterias gram positivas (paredes celulares sanas), son aerobios estrictos (que pueden desarrollarse en presencia de oxígeno diatómico) o anaerobios facultativos (No emplean oxígeno en su metabolismo). [10]

Dentro de las características de las bacterias del grupo bacillus se tiene que su crecimiento óptimo ocurre dentro de un PH neutro, el intervalo de la temperatura en el cual crecen está comprendido entre los 30 °C y 45°C; además otra característica de este tipo de bacterias es que poseen la capacidad de producir endosporas como mecanismo de resistencia a diversos tipos de estrés [11].

Dentro del concreto las cepas bacterianas logran producir carbonato de calcio lo que les permite sellar las fisuras que se generen en este, dotando de un mayor tiempo de vida útil al material y en consecuencia a las estructuras en las que forma parte.

*Figura 2: Bacterias Bacillus*



Fuente: [11]

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

##### **Tipo de estudio:**

El tipo de estudio presente en este informe de investigación científica es del tipo descriptivo ya que se pretende exponer la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto, todo ello a través del análisis de antecedentes bibliográficos nacionales e internacionales.

##### **Diseño de contrastación de hipótesis:**

- De acuerdo al nivel de investigación es descriptiva, ya que no se influirá sobre el comportamiento del objeto de estudios, solo se detallará el comportamiento del mismo.
- De acuerdo al diseño de investigación es transversal, ya que la investigación se realiza en un momento determinado en un área geográfica.
- De acuerdo al fin que se persigue es aplicada, puesto que en base a la recopilación de información pretende dar solución a un planteamiento específico.

#### 3.2. HIPÓTESIS

Por la naturaleza de la investigación no es posible formular una hipótesis.

#### 3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN

Las variables independientes y dependientes, así como también su operacionalización se detallan en las siguientes tablas:

*Tabla 1: Variable independiente*

<b>VARIABLE</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>
Cepas bacterianas (Independiente)	Utilización	Producción de CaCO <sub>3</sub>

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 2: Variables dependientes*

<b>VARIABLE</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>
Propiedades del concreto (Dependiente)	Durabilidad	Tamaño de las fisuras
	Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión
		Resistencia a la flexión

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO

#### **Población**

Por la naturaleza de la investigación, la población lo conformarán todas las fuentes de información confiables de cualquier tipo (artículos científicos, tesis) y de cualquier idioma que aborden el tema de la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto.

#### **Muestra**

Son aquellos artículos y tesis de validez científica a partir del año 2015 en adelante que traten la temática y que al mismo tiempo la demuestren experimentalmente.

## Muestreo

Como la elección de los elementos de estudio se han realizado de acuerdo al criterio del investigador, el tipo de muestreo es no probabilístico.

### 3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

*Tabla 3: Técnica, instrumento y aplicación*

<b>TÉCNICA:</b>	<b>INSTRUMENTO:</b>	<b>APLICACIÓN:</b>
Análisis de documentos	Fichas de registro de información (Anexo N° 01)	Todas las fuentes de información recopiladas (artículos y tesis)

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS

Para realizar el procesamiento de los datos recopilados por el autor (datos cualitativos y datos cuantitativos), se empleó el software Excel ya que, a través de sus múltiples herramientas, permite sintetizar la información de manera eficaz.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se presentan a continuación:

### 4.1. ESTADO DE CONOCIMIENTO ACERCA DE LA INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS COMO ADITIVO ANTE LA PRESENCIA DE FISURAS EN EL CONCRETO EN LATINOAMÉRICA.

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas, nacionales e internacionales, el conocimiento científico acerca de la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto en Latinoamérica, es muy limitado, a nivel nacional se han realizado algunas investigaciones respecto al aprovechamiento de las propiedades reparadoras de algunas bacterias al segregar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); otras investigaciones realizadas en el continente Latinoamericano han tenido lugar en Chile y Ecuador en las que se han realizado investigaciones para que luego estas puedan ser aplicadas en campo, el estudio realizado en Chile se enfoca en analizar las condiciones necesarias para que las bacterias reparen las fisuras que tengan lugar en los pavimentos, mientras que la investigación que tuvo lugar en Ecuador se enfoca en analizar las distintas variables para dar solución a filtraciones de agua que se producían en un canal. Estas investigaciones han demostrado que la aplicación de esta nueva tecnología puede ocurrir para distintos tipos de estructuras por lo que es un potencial mercado a ser aprovechado y las investigaciones no están siendo exhaustivas al respecto.

Este estudio considera que es muy necesario que a nivel local y nacional se impulse la investigación aplicada en la rama de la bioreparación ya que los beneficios que se pueden obtener son diversos. Asimismo, se agradecería seguir investigando el tema de la bioreparación considerando distintas variables con las que cada vez vayamos cubriendo más terreno y extendiendo el conocimiento acerca de esta tecnología que puede aplicarse a diversos campos de la construcción.

#### 4.2. UNIVERSO DE CEPAS BACTERIANAS ESTUDIADAS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO PARA SER UTILIZADO COMO ADITIVO FRENTE A LA APARICIÓN DE GRIETAS EN EL CONCRETO

*Tabla 4: Universo de cepas bacterianas estudiadas en el continente Latinoamericano para ser empleadas como bioreparador*

N°	PROCEDENCIA	AUTOR	TÍTULO	AÑO	CEPAS BACTERIANAS ANALIZADAS	CEPAS BACTERIANAS QUE PRECIPITARON CaCO <sub>3</sub>
1	Cajamarca -Perú	Asenjo Alarcón, Dennis Edinson	Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto	2019	Bacillus Endophyticus Bacillus Gelatini Bacillus Smithii Bacillus Farraginis Bacillus Oleronius Brevibacillus Laterosporus Bacillus Cirroflagelosus Bacillus Firmus Paenibacillus Lactis	Bacillus Firmus Paenibacillus Lactis
2	Cuzco - Perú	Mendoza Nina, Renato Hector Sánchez Quijano, Jhon Marx	Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género Bacillus y biopolímeros como bioreparador	2017	Bacillus Subtilis	Bacillus Subtilis
3	Arica - Chile	Gonzales, Álvaro Parraguez, Araceli Corvalán, Liliana Correa, Nestor Sxhliebs, Evamaría Stukrath, Claudia	Hormigón Autorreparable con bacterias para la infraestructura vial	2018	Bacillus Pseudofirmus	Bacillus Pseudofirmus
4	Tungurahua - Ecuador	Sierra, Guadalupe Mera, Walter Jonkers, Henk	Hormigón autoreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador	2015	Bacillus Cohnii	Bacillus Cohnii

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Cepas bacterianas estudiadas en el continente Latinoamericano

UNIVERSO DE CEPAS BACTERIANAS ESTUDIADAS	CEPAS BACTERIANAS QUE PRECIPITARON CaCO <sub>3</sub>
Bacillus Endophyticus Bacillus Gelatini Bacillus Smithii Bacillus Farraginis Bacillus Oleronius Brevibacillus Laterosporus Bacillus Cirroflagelosus Bacillus Firmus Paenibacillus Lactis Bacillus Subtilis Bacillus Pseudofirmus Bacillus Cohnii	Bacillus Firmus Paenibacillus Lactis Bacillus Subtilis Bacillus Pseudofirmus Bacillus Cohnii

Fuente: Elaboración propia

**Comentario N° 1:** En Tabla N° 5 representa una síntesis de la Tabla N° 4 de la cual podemos apreciar que el número total de cepas bacterianas que se han estudiado dentro de las fuentes bibliográficas recopiladas por el autor es de 12 cepas bacterianas, a todas estas cepas primero se les sometió a distintos experimentos que intentaban simular el ambiente de la mezcla de concreto para ir descartando a las que no se adaptaban a este medio, tras ello el segundo descarte y el más esencial consistió en eliminar las bacterias que no precipitaran carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), el cual es un componente clave en la bioreparación del concreto; finalmente dentro de las fuentes analizadas se pudo identificar un total de 5 cepas bacterianas (Bacillus Firmus, Paenibacillus Lactis, Bacillus Subtilis, Bacillus Pseudofirmus, Bacillus Cohnii) las cuales se adaptan perfectamente al ambiente de la mezcla de concreto y sobre todo precipitan carbonato de calcio.

#### 4.3. GRADO DE REPARACIÓN DE FISURAS DE LOS ADITIVOS BACTERIANOS ESTUDIADOS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO

*Tabla 6: Grado de reparación de fisuras de los aditivos bacterianos estudiados en el continente Latinoamericano*

PROCEDENCIA	AUTOR	TÍTULO	AÑO	CONCLUSIONES
Cajamarca -Perú	Asenjo Alarcón, Dennis Edinson	Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto	2019	Al emplear las cepas <i>Paenibacillus Lactis</i> para la reparación de fisuras de 2mm y 1mm obtuvo un porcentaje de reparación de 70% y 80.6% respectivamente a los 28 días y al emplear cepas de <i>Bacillus Firmus</i> el autor obtuvo un porcentaje de reparación del 68.3 % a los 28 días para grietas de 1mm
Cuzco - Perú	Mendoza Nina, Renato Hector Sánchez Quijano, Jhon Marx	Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género <i>Bacillus</i> y biopolímeros como bioreparador	2017	Al realizar la aplicación por inyección del bioreparador en fisuras de 0.3 mm hasta 1.5 mm de espesor tanto de la solución nitrato como la inyección con solución Lactato se encontró que la precipitación de carbonato de calcio de las bacterias logró sellar grietas menores a 0.5 mm de ancho.
Arica - Chile	Gonzales, Álvaro Parraguez, Araceli Corvalán, Liliana Correa, Nestor Sxhliebs, Evamaría Stukrath, Claudia	Hormigón Autorreparable con bacterias para la infraestructura vial	2018	La temperatura tiene una influencia directa en el efecto reparador de las cepas bacterianas pues a los 23 °C se observó una actividad mayor se sellado de grietas con un ancho de hasta 0.3 mm mientras que a los 4 °C no hubo actividad reparadora de parte de las bacterias y a los 35° el sellado fue mucho menor
Tungurahua - Ecuador	Sierra, Guadalupe Mera, Walter Jonkers, Henk	Hormigón autoreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador	2015	Las conclusiones obtenidas en este estudio con respecto al sellado de fisuras fue que para fisuras de aproximadamente 140 um tras seis semanas, estaban completamente reparadas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Grado de reparación de fisuras

CEPAS BACTERIANAS QUE PRECIPITARON CaCO <sub>3</sub>	GRADO DE REPARACIÓN DE FISURAS
Paenibacillus Lactis	70% de reparación para fisuras de 2mm a los 28 días 80% de reparación para fisuras de 1mm a los 28 días
Bacillus Firmus	68.3% de reparación para fisuras de 1mm a los 28 días
Bacillus Pseudofirmus	Reparó fisuras de anchos menores a 0.5mm
Bacillus Subtilis	Reparó fisuras de anchos menores a 0.35mm para una temperatura ambiente de 35°
Bacillus Cohnii	Reparó fisuras de anchos menores a 140 um a los 6 días

Fuente: Elaboración propia

**Comentario N° 2:** En el cuadro Tabla N° 7 representa una síntesis de la Tabla N° 6 de la cual podemos apreciar que el porcentaje del grado de reparación de fisuras es variable y depende de distintos factores, no obstante de los resultados analizados podemos apreciar que al emplear cepas de Paenibacillus Lactis se han obtenido mejores resultados ya que el ancho de fisura que han reparado ha sido de 2 mm a los 28 días teniendo un 70% de reparación, siendo este un valor aceptable considerando las dimensiones de la grieta; por otro lado se ha podido determinar que algunas cepas bacterianas necesitan de temperaturas ambiente específicas para que de este modo puedan ser más eficientes en la reparación de las fisuras en el concreto.

#### 4.4. INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS BACTERIANOS ESTUDIADOS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

*Tabla 8: Influencia de los aditivos bacterianos estudiados en el continente Latinoamericano en la resistencia a la compresión del concreto*

PROCEDENCIA	AUTOR	TÍTULO	AÑO	CONCLUSIONES
Cajamarca -Perú	Asenjo Alarcón, Dennis Edinson	Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto	2019	Los resultados que el autor obtuvo al evaluar la resistencia a la compresión del concreto con aditivo bacteriano se evidenciaron que al emplear cepas de Paenibacillus Lactis se logró un incremento de la resistencia a la compresión de 35.68% con respecto a un concreto sin aditivo bacteriano, por otro lado, al emplear cepas de Bacillus Firmus se obtuvo un incremento de resistencia a la compresión de 14.08% con respecto a un concreto sin aditivo bacteriano a los 28 días.
Cuzco - Perú	Mendoza Nina, Renato Hector Sánchez Quijano, Jhon Marx	Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género Bacillus y biopolímeros como bioreparador	2017	Este estudio es particular ya que se pre fisuraron las probetas que iban a aplicarse por medio de inyección soluciones de lactato y nitrato y posteriormente se comprobó su resistencia a la compresión a los 7, 14,21 y 28 días donde pudieron evidenciar un crecimiento en la resistencia de las probetas tratadas con bio reparador(120- 140 kg/cm <sup>2</sup> frente a los 67 kg/cm <sup>2</sup> de una probeta patrón fisurada), no lograron llegar a la resistencia que posee un concreto patrón sin fisurar ya que, al no estar dañado, la probeta patrón presenta propiedades distintas.
Tungurahua - Ecuador	Sierra, Guadalupe Mera, Walter Jonkers, Henk	Hormigón autoreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador	2015	Para este estudio las probetas ensayadas con bacterias mostraron una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de 30 Mpa frente a los 25 Mpa de un concreto patrón demostrando de este modo que la precipitación del carbonato de calcio además de sellar fisuras, aumenta las propiedades mecánicas del concreto.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Influencia de los aditivos bacterianos en la resistencia a la compresión del concreto

CEPAS BACTERIANAS QUE PRECIPITARON CaCO <sub>3</sub>	f'c DE DISEÑO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
Paenibacillus Lactis	250 kg/cm <sup>2</sup>	Incremento de la resistencia a la compresión en un 35 % a los 28 días
Bacillus Firmus	250 kg/cm <sup>2</sup>	Incremento de la resistencia a la compresión en un 14.08 % a los 28 días
Bacillus Pseudofirmus	210 kg/cm <sup>2</sup>	Para probetas fisuradas se logró obtener una resistencia entre 120-140 kg/cm <sup>2</sup> frente a los 67 kg/cm <sup>2</sup> de una probeta patrón fisurada
Bacillus Cohnii	250 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión a los 28 días de 30 Mpa frente a los 25 Mpa de una probeta patrón

Fuente: Elaboración propia

**Comentario N° 3:** En Tabla N° 9 representa una síntesis de la Tabla N° 8 de la cual podemos apreciar que en todas las investigaciones se ha podido confirmar que los aditivos bacterianos influyen positivamente en la resistencia a la compresión del concreto ya que se han obtenido incrementos importantes llegando a incrementos del 35% de la resistencia a la compresión de diseño (empleando Paenibacillus Lactis).

En los estudios realizado a probetas fisuradas previamente se han obtenido resultados favorables al emplear cepas bacterianas Bacillus Pseudofirmus.

#### 4.5. INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS BACTERIANOS ESTUDIADOS EN EL CONTINENTE LATINOAMERICANO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

*Tabla 10: Influencia de los aditivos bacterianos estudiados en el continente Latinoamericano en la resistencia a la flexión del concreto*

PROCEDENCIA	AUTOR	TÍTULO	AÑO	CONCLUSIONES
Tungurahua - Ecuador	Sierra, Guadalupe Mera, Walter Jonkers, Henk	Hormigón autoreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador	2015	Con respecto a la resistencia a la flexión, evaluada a partir del ensayo de tres puntos se encontró que a los 28 días la resistencia promedio a la flexión de las probetas elaboradas a partir de aditivo bacteriano fue de 5.7 Mpa mientras que para muestras sin bacterias fue de 5.4 Mpa.

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 11: Influencia de los aditivos bacterianos en la resistencia a la flexión del concreto*

CEPAS BACTERIANAS QUE PRECIPITARON CaCO <sub>3</sub>	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
Bacillus Cohnii	5.7 Mpa a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

**Comentario N° 4:** En el Tabla N° 11 representa una síntesis de la Tabla N° 10 de la cual podemos apreciar que no se han realizado muchos estudios que analicen la resistencia a la flexión del concreto bioreparable, sin embargo, cuando los investigadores emplearon cepas de Bacillus Cohnii obtuvieron resultados favorables en cuanto a la resistencia a la flexión pues a los 28 días se obtuvo una resistencia de 5.7 Mpa para un diseño de mezclas de 25 Mpa.

## V. CONCLUSIONES

- Posterior al análisis de los antecedentes se concluye que los estudios realizados sobre la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto en Latinoamérica, corresponde en gran medida a las investigaciones de países como Perú, Chile y Ecuador.
- A nivel nacional (Perú), existe poca investigación respecto a este tema con respecto a países desarrollados, investigar en esta línea proporcionará beneficios económicos al reducir los costos de reparación y mantenimiento de las estructuras, llegando incluso a alarga el periodo de vida útil de las mismas.
- Dentro de las fuentes de información recopiladas se pudo encontrar que, de 12 cepas bacterianas analizadas, 5 cepas bacterianas (*Bacillus Firmus*, *Paenibacillus Lactis*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Pseudofirmus*, *Bacillus Cohnii*) pueden ser empleadas como aditivo bacteriano ya que se han obtenido resultados favorables para el concreto.
- Los resultados más favorables han sido obtenidos a partir de emplear cepas *Paenibacillus Lactis* ya que al emplearlo como aditivo se ha llegado a sellar fisuras de anchos de hasta 2mm, aumentando la durabilidad del concreto.
- Las propiedades mecánicas del concreto (resistencia a la compresión) se han visto influenciadas de manera positiva al emplear aditivos bacterianos, esto se debe a que las cepas bacterianas seleccionadas tienen la capacidad de segregar Carbonato de calcio.
- Aunque solo una fuente de las analizadas menciona haber realizado ensayos sobre la resistencia a la flexión del concreto, los resultados han sido favorables.
- No se han realizado ensayos de permeabilidad en el concreto bioreparador en los antecedentes analizados por lo que se desconoce esta información.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar los estudios existentes en este campo de investigación ya que de este modo se puede extender el universo de cepas bacterianas empleadas para la elaboración de aditivo ante la presencia de grietas en el concreto.
- Se recomienda analizar la eficiencia de sellado de grietas a las bacterias que ya se han estudiado en distintas temperaturas ambiente.
- Se recomienda realizar ensayos que involucren a la influencia de las bacterias en las varillas de refuerzo del concreto armado.
- Se recomienda estimar la resistencia a la flexión y permeabilidad del bioconcreto al emplear distintas cepas bacterianas.
- Se recomienda emplear la información existente para ponerlos a prueba en campo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. K. H. R. E. S. a. Carla Fernanda Ponce de León Echegaray, «"Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante",» *CIVILIZATE*, nº 7, pp. 36-38, 2015.
- [2] ACI Committee 224--Cracking, «Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures,» de *ACI Manual of Concrete Practice*, American Concrete Institute, 2007.
- [3] S. M. A. Tawadi, «Ureolytic Bacteria and Calcium Carbonate Formation as a Mechanism of Strength Enhancement of Sand,» *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, pp. 98-114, 2011.
- [4] D. E. Asenjo Alarcón, «Influencia de la Incorporación del Aditivo Bacteriano en la Reparación del Proceso de Fisuración Controlada del Concreto,» Cajamarca-Perú, 2019.
- [5] R. Mendoza Nina y J. Sánchez Quijano, «Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género Bacillus y biopolímeros como bioreparador,» Cuzco, 2017.
- [6] Á. Gonzales, A. Parraguez, L. Corvalán, N. Correa, E. Schliebs y C. Stukrath, «Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial,» Arica, 2018.
- [7] G. Sierra, W. Mera y H. Jonkers, «Hormigón autoreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador,» *Economía y Desarrollo*, vol. 17, nº 3, pp. 207-2014, 2015.
- [8] E. Riva Lopez, «DISEÑO DE MEZCLAS,» Lima, 2015.
- [9] P. Perez Buendía, «VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DE TESTIGOS DE CONCRETO POR EL TAMAÑO Y FORMA DE PROBETAS,» Lima, Tesis, 2015.
- [10] M. Keane, Diccionario enciclopédico de enfermería, Editorial Médica Panamericana.
- [11] M. Villarreal Delgado, E. Villa Rodríguez, L. Cira Chávez y Estrada Alvarado, «El género Bacillus como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola».
- [12] D. Sánchez de Gusmán, Tecnología del Concreto, Colombia : Multi-impresos S.A.S., 2010.
- [13] F. Abanto Castillo, Tecnología del concreto (Teoría y problemas), Lima: San Marcos E.I.R.L., 2009.
- [14] A. M. Neville y J. Brooks, Tecnología del concreto, México: Trillas, S.A. de C.V., 1998.

## VIII. ANEXOS

## ANEXO 01: MODELO DE FICHA DE REGISTRO DE INFORMACIÓN

<b><i>Tipo de documento</i></b> Tesis, revistas, libros, etc	
<b>Título:</b>	Título de la investigación
<b>Fuente:</b>	Facultad de Universidad, bases de datos
<b>Problema:</b>	Problemática que busca solucionar la investigación
<b>Formulación del problema:</b>	Interrogante que sintetiza la problemática (si es el caso)
<b>Hipótesis</b>	Conjetura científica que requiere contrastación con la experimentación
<b>Metodología</b>	Técnicas que los distintos autores emplearon
<b>Conclusiones</b>	Conclusiones finales tras la experimentación y procesamiento de datos
<b>Líneas futuras de investigación</b>	Recomendaciones de parte del autor para extender la investigación