

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil



“ANALISIS COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE BACTERIAS DEL GENERO BACILLUS COMO ADITIVO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Karla Daniela Alva Miranda

Julio Cesar Hiroshi Kobayashi Anhuaman

Asesor:

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

A mis padres, Luis y Edita quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Ellos son mi mayor ejemplo de esfuerzo y valentía, gracias por enseñarme el valor de la familia.

A mi querido hermano, Luis Alexander, por su apoyo incondicional, por permitirme aprender más de la vida a su lado y por impulsarme a ser una mejor profesional siempre.

A mi compañero de vida Briner, por su amor brindado día a día y por su apoyo incondicional en cada meta planteada en mi vida.

Karla Daniela Alva Miranda

A mis abuelos, Oswaldo y Olga, que con su sabiduría me enseñaron a ser quien soy. Gracias por la paciencia, por los consejos, por el amor que me han dado y por el apoyo incondicional en mi vida.

A mis padres, Sonia y Julio, a quienes admiro, quiero y que me enseñaron excelentes valores, como luchar por mis metas. Gracias por los consejos y apoyo.

A mi queridos hermanos, Kenji y Yoshio, por impulsarme a ser un mejor profesional y por su cariño incondicional durante todo este proceso.

Julio Cesar Hiroshi Kobayashi Anhuaman

AGRADECIMIENTO

A Dios, por cuidar a nuestras familias y permitir que ellos sean nuestra mayor fuente de inspiración y fuerza para culminar esta investigación.

A nuestros padres y hermanos, por su apoyo incondicional en toda esta etapa universitaria.

A nuestro docente Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz, por su paciencia y gran apoyo durante todo el desarrollo del curso. Gracias por su orientación y consejos constantes.

A nuestros familiares y amigos, que siempre nos acompañaron con entusiasmo en esta etapa de nuestras vidas. Gracias por impulsarnos a ser mejores personas y unos buenos profesionales.

Karla Daniela Alva Miranda
Julio Cesar Hiroshi Kobayashi Anhuaman

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	37
CAPÍTULO III. RESULTADOS	50
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	109
REFERENCIAS	127
ANEXOS	133

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	38
Tabla 2.....	38
Tabla 3.....	40
Tabla 4.....	44
Tabla 5.....	50
Tabla 6.....	56
Tabla 7.....	63
Tabla 8.....	67
Tabla 9.....	69
Tabla 10.....	71
Tabla 11.....	74
Tabla 12.....	76
Tabla 13.....	77
Tabla 14.....	78
Tabla 15.....	79
Tabla 16.....	83
Tabla 17.....	85
Tabla 18.....	87
Tabla 19.....	89
Tabla 20.....	92
Tabla 21.....	93
Tabla 22.....	94
Tabla 23.....	97
Tabla 24.....	99
Tabla 25.....	101
Tabla 26.....	106
Tabla 27:.....	133
Tabla 28:.....	133
Tabla 29:.....	133
Tabla 30:.....	134
Tabla 31:.....	135
Tabla 32:.....	136
Tabla 33:.....	136
Tabla 34:.....	136
Tabla 35:.....	137

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reparación de fisura evaluada a 28 días.	28
Figura 2: Enfoque Bioregenerable con carbonato de calcio	30
Figura 3: Tipos de fisuras o grietas del concreto	34
Figura 4: Formas de las fisuras más comunes ubicadas en las estructuras de concreto	35
Figura 5: Tipo de gráfico para datos de la investigación.	45
Figura 6: Procedimiento de la investigación.....	46
Figura 7: Porcentaje de cumplimiento de los estudios con bacteria Bacillus analizadas en la resistencia a la compresión	62
Figura 8: Porcentaje de cumplimiento de los estudios con bacteria Bacillus analizados en la resistencia a la flexión.....	66
Figura 9: Organización de los estudios según las especies de bacterias Bacillus analizados en la resistencia a la compresión	68
Figura 10: Organización de los estudios según las especies de bacterias Bacillus analizados en la resistencia a la flexión.....	70
Figura 11: Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla	73
Figura 12: Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla	75
Figura 13: Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla	76
Figura 14: Resistencia a la compresión en forma de sustitución en kilogramo (Kg) de bacterias en la mezcla	77
Figura 15: Resistencia a la compresión en forma de adición en (ml/l) de bacterias en la mezcla	78
Figura 16: Resistencia a la compresión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla	82
Figura 17: Resistencia a la compresión en forma de adición en Mililitros (ml) de bacterias en la mezcla	84
Figura 17: Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias mixtas en la mezclaFigura 18	86
Figura 19: Resistencia a la compresión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla	88
Figura 20: Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla	91
Figura 21: Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla	92
Figura 22: Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla	93

Figura 23: Resistencia a la flexión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla ..	96
Figura 24: Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias mixtas en la mezcla.....	98
Figura 25: Resistencia a la flexión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias mixtas en la mezcla	100
Figura 26: Porcentaje de la variación de resistencia a la compresión de las bacterias Bacillus .	105
Figura 27: Porcentaje de la variación de resistencia a la flexión de las bacterias Bacillus	108

RESUMEN

Actualmente, uno de los últimos avances referidos a la construcción ha sido el concreto con bacterias, este tipo de concreto se empezó a desarrollar en Holanda, en la Universidad Técnica de Delft, desde el año 2015 hasta ahora, este diseño tiene el beneficio de lograr “repararse” por sí solo, y en la realidad nacional es un tema aún desconocido.

Por ello, esta investigación tiene un enfoque cualitativo, porque se realizó un análisis documental, donde se clasificó por el tipo de bacteria de la especie Bacillus, el método de inclusión de bacterias en el diseño de mezcla ya sea por sustitución o por adición. Con el propósito de determinar si la incorporación de bacterias al concreto resulta siendo factible, es decir existe una mejora en las propiedades mecánicas.

Finalmente, respecto a lo indagado se resuelve que gran parte de los estudios analizados alcanzan y/o superan las diferentes resistencias evaluadas. Tal es el caso de los estudios que emplearon como método, la sustitución en (%) del peso del cemento, donde los datos en lo que respecta la resistencia a la compresión y flexión superan en casi el 50.00% de mejora.

Palabras clave: Bacillus, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Actualmente, uno de los materiales más empleados en el campo de la construcción es el concreto tradicional porque se emplea en todo tipo de edificaciones. Asimismo, debido al Covid-19, el concreto como material consumido en la construcción, según la Federación Interamericana del Cemento (s.f.), ha disminuido significativamente para 2020, pero en comparación con meses anteriores, la cantidad de concreto para marzo de 2021 en producción y ventas han ido superando. Por esta razón, siempre se requiere tener cierto control en el proceso de elaboración del concreto; como, para poder seleccionar por completo los áridos, cemento, aditivos y un correcto almacenamiento; además, es necesario explorar continuamente la innovación del diseño de mezclas del concreto y utilizar nuevos materiales para mejorar la calidad de este, mejorar la trabajabilidad y reducir el costo de preparación de la mezcla de hormigón.

Sin embargo, en la mayoría de los proyectos de ingeniería civil en todo el mundo, todos tienen un problema común, es decir, el agrietamiento o fisuramiento, cuando el agua ingrese en contacto con la estructura dañada, se comportará de manera agresiva, logrando así una mayor penetración. La humedad entra en las grietas, haciéndolas más grandes y profundas. Por eso, es aquí, que nace este problema y que algunas personas proponen diseñar un hormigón con aditivos bacterianos o el llamado bioconcreto. En la Universidad Tecnológica de Delft en Holanda, Wiktor & Jonkers, (2015) comenzaron a tener un mayor interés por este tipo de concreto. Desde el 2015

hasta la actualidad, este diseño tiene el gran beneficio de ser "reparado" además de mejorar significativamente las propiedades mecánicas. Además, de reducir la porosidad y absorción existentes, los poros y/o posibles fisuras también se pueden rellenar individualmente.

De la misma forma, Wiktor, (2015) investigó el bioconcreto, hormigón con bacterias, e intentó utilizar la bacteria *Bacillus* para reparar tradicionalmente el concreto tradicional, y los resultados obtenidos fueron muy buenos. De igual forma, en la provincia de Tungurahua en Ecuador, utilizaron la cepa bacteriana *Pseudofirmus* en concreto tradicional para el revestimiento de canales de riego. El resultado fue que la construcción no presentaba deterioro ni agrietamiento, por lo que consideraron continuar en su futuro implementarla como una nueva tecnología en diferentes construcciones. Asimismo, en India, el uso de cepas de *Bacillus subtilis* ha logrado resultados muy positivos en cuanto a propiedades mecánicas, y finalmente se determina que el uso de bacterias en el concreto es factible porque aumenta sus propiedades mecánicas. Por tanto, en la búsqueda del desarrollo de un concreto ambientalmente sostenible, las personas buscan recurrir a nuevas tecnologías y materiales de construcción, que deben ser duraderos, pero al mismo tiempo más sostenibles tal como lo menciona Jonkers et al., (2010).

En el Perú también existe este problema, por lo que se realizó la investigación en concreto con bacterias, en Cajamarca, Asenjo, (2019) utilizó la cepa "*Paenibacillus lactis*" y la cepa "*Bacillus Firmus*", y los resultados obtenidos fueron propiedades mecánicas con mejoras significativas y el sellado de fisuras.

De igual manera, en el distrito de Trujillo, las viviendas también presentan los mismos defectos expuestos anteriormente, por lo que en esta investigación se propone realizar un análisis comparativo sobre el empleo de las bacterias *Bacillus*, proporcionada por el ambiente,

comportándose como un aditivo en el concreto convencional. Además, de determinar el medio de cultivo para obtener bacterias y el porcentaje óptimo de adición, así como, brindar a la población una nueva idea para mejorar las construcciones.

La propuesta de este estudio es que a través de este análisis se pueda determinar la factibilidad de utilizar bacterias Bacillus, lo que tendrá un impacto beneficioso en el proceso de construcción, como mejorar sus propiedades mecánicas y el sellado de fisuras y definir cuál es el valor de incorporación bacteriana más favorable para mejorar las propiedades mecánicas.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Una nueva tecnología poco conocida en nuestro país es el “Concreto bacteriano o bioconcreto”, generalmente en investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional, desarrollaron el sistema en hormigón convencional, lo que nos llevó a proponer nuestra ruta de investigación.

Para realizar esta investigación, se incluye el uso de bacterias Bacillus en el concreto convencional. La información seleccionada determina que el concreto convencional tiene buena resistencia a corto y largo plazo, su durabilidad es buena, y cuenta con facilidades de adaptarse para diferentes formas constructivas, pero también existen algunos defectos, como las patologías en el concreto, que pueden ocurrir en la construcción, en su vida útil o como consecuencia de un accidente, por lo tanto, se presentan las grietas o fisuras en los elementos estructurales, por lo que se considera conveniente incorporar a las bacterias Bacillus, porque serán ellas jugarán el papel principal, logrando mejorar las propiedades mecánicas del concreto, cuando existe la aparición de grietas en la estructura, también se encuentran en la capacidad de sellar grietas. Por este motivo, el concreto con bacterias, utilizado como bioreparador es una propuesta ideal, la cual se utilizaría,

por ejemplo, para túneles de residuos peligrosos, puentes, carreteras, presas, canales, etc. Dado que no es necesario reparar las grietas manualmente y la vida humana no quedará expuesta H. Jonkers, (2007).

Por lo tanto, el sector de la construcción está creciendo día a día, y los nuevos materiales deben poder conservarse con el tiempo, por lo que a largo plazo la inversión debe ser factible y tener una relación positiva con el medio ambiente. En la construcción civil, las bacterias se pueden utilizar de dos formas: como material de cimentación o como revestimiento exterior para protección. El bioconcreto es producto del proceso MICP (Microbiologically induced calcite precipitation - Precipitación de Calcita Inducida Microbiana) que realizan las bacterias, lo que les permite producir CaCO_3 (carbonato cálcico). Al entrar en contacto con la humedad, su función principal es reducir los espacios entre partículas del concreto y las grietas provocadas por diferentes patologías, logrando mejorar las propiedades mecánicas Silva et al., (2017).

Esta investigación es un tema innovador porque planeamos presentar en detalle los beneficios de las propiedades mecánicas del concreto con bacterias Bacillus. Al utilizar un nuevo material se está contribuyendo con las construcciones ecológicas, apoyar al medio ambiente y evitar el deterioro de este, asimismo emplear un elemento que nos proporciona el medio ambiente como lo son estos gérmenes. Finalmente, implantar un registro para futuras investigaciones relacionadas con nuestra investigación propuesta.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el distrito de Trujillo las estructuras de concreto se ven afectadas por ciertas patologías una vez culminada la obra, éstas pueden ser: fisuras o grietas. Las cuales se

generan en el concreto debido a que las tensiones son mayores a la capacidad permisible Corral, (2004). Además, entre otros causales que podrían ocasionarlas son las variaciones de temperatura, la degradación del suelo o los movimientos sísmicos, esto debido a que el Perú es un país altamente sísmico ya que se encuentra considerado dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. En consecuencia, de ello hace que la vida útil del concreto se vea afectada, por lo tanto, ante cualquier fenómeno natural o provocado, hace que la vida de las personas se encuentren en riesgo debido a que las construcciones en las que habitan están expuestas como mencionan Mendoza & Sánchez, (2017) por lo anteriormente mencionado las fisuras pueden ser aceptables para un edificio multifamiliar pero no para una estructura que almacenará líquidos, sin embargo, las grietas que poseen mayor abertura no son aceptables para ninguna estructura.

Por lo tanto, nuestro problema principal en este proyecto es que, de acuerdo con los artículos seleccionados, es poder determinar cuál será el efecto de emplear a las bacterias del género *Bacillus* como un aditivo bacteriano en las propiedades mecánicas de un concreto convencional realizado a través de un análisis comparativo.

1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto de emplear a las bacterias del género *Bacillus* como aditivo bacteriano en las propiedades mecánicas de un concreto convencional realizado a través de un análisis comparativo?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis comparativo de los estudios previos de emplear bacterias del género Bacillus como un aditivo bacteriano en las propiedades mecánicas de un concreto convencional.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O.E.1. Investigar, seleccionar y contrastar los estudios seleccionados relacionados con las bacterias del género Bacillus en el concreto.

O.E.2. Detallar que método de incorporación de bacteria favorece a las propiedades mecánicas del concreto convencional con bacterias.

O.E.3. Determinar la mejor edad de curado para la mejora de las propiedades mecánicas del concreto convencional con bacterias.

O.E.4. Definir el valor de incorporación de bacterias que favorece a las propiedades mecánicas del concreto convencional con bacterias.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Al incorporar las bacterias del género Bacillus en el diseño de mezcla del concreto convencional, estas resultan actuando de manera factible en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto convencional, además pueden reparar las fisuras o grietas leves que presentan las construcciones.

1.6. ANTECEDENTES TEÓRICOS

1.6.1. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

Saradha et al., (2019) realizó un estudio en Tamil Nadu, India; en el que se agregó *Bacillus subtilis* al concreto convencional. Las bacterias fueron aplicadas en cantidad de mililitros (ml) dentro del diseño de mezcla. Los resultados obtenidos muestran que la resistencia a la compresión es muy superior a la del concreto sin bacterias, también repararon grietas producto del desarrollo de carbonato cálcico, que actúa reduciendo las grietas de 0,5 mm a 0,35 mm.

El aporte de esta investigación es brindar las condiciones adecuadas para que la bacteria se logre con éxito y produzca la calcita necesaria para reparar fisuras, y como resultado de esto es la obtención de una resistencia a la compresión beneficiosa demostrando así que el uso de este tipo de cepa bacteriana es eficaz.

Wiktor & Jonkers, (2015) Publicaron, en Delft, Holanda; un artículo en el que utilizaron un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) para observar cómo se repara el concreto al incorporar *Bacillus* siendo utilizado como sistema de reparación, fue un proceso basado en líquidos cuya función es sellar grietas y reducir la porosidad debido a la producción de biominerales a base de calcio. Por tanto, el sistema combina las ventajas de los sistemas tradicionales de reparación de hormigón (respuesta rápida y eficiencia a corto plazo) con métodos basados en la sostenibilidad biológica (procesos lentos y eficiencia a largo plazo).. Otra opción de sistema de reparación en bacterias es rociarlas sobre la superficie de fisuras y pavimento de concreto. Sin embargo, el sistema de reparación ha demostrado ser eficaz en soluciones de reparación de grietas.

El aporte de este artículo es que muestra que la forma más adecuada de agregar bacterias a la mezcla de concreto es disolviéndola en la mezcla de concreto para obtener una buena eficiencia de sellado de grietas, y también enfatiza la función del material una vez cementado, además de mejorar permeabilidad al agua.

H. Jonkers, (2007) En Los Países Bajos, utilizó un concreto tradicional y agregó dos cepas bacterianas *Bacillus pasteurii* y *Bacillus pseudofirmus*, que se agregaron como porcentaje (%) del peso del cemento en el diseño de la mezcla., en cuanto a los resultados arrojados por la investigación es que aumentó la resistencia a la flexión y a la compresión, sus cantidades son mayores a los que presenta el concreto patrón.

El aporte de este artículo para nosotros es que cuando hay bacterias en la mezcla de concreto, el concreto mostrará mejores resultados, ya que el proceso que emplean ellas se mantienen escondidas en sus esporas y al momento de presentar fisuras el concreto por humedad, las bacterias actúan mezclándose con el agua, reaccionando con los nutrientes y logren fabricar piedra caliza restaurando las fisuras y/o pequeñas grietas también es posible reducir significativamente la permeabilidad del hormigón y mejorar su durabilidad.

Muhammad et al., (2021) En Karachi, Sindh, Pakistan, evaluó el comportamiento de *Bacillus Subtilis* como agente reparador en morteros de cemento cilíndricos y también se detalló el cultivo de bacterias y su influencia en el comportamiento mecánico, para lo cual se realizaron cuatro tipos de muestras, “N” que contiene cemento y arena, “B” bacteria *Bacillus Subtilis* con cemento y arena, “C” lactato de calcio, que es el alimento para la bacteria y “BC” bacterias y lactato de calcio; estas muestras fueron evaluadas, y finalmente una mezcla obtuvo el mejor desempeño, de 17.57 MPa más alto que la muestra de mezcla

patrón, mientras que la muestra "C" logró el peor desempeño, ya que el lactato en sí debe ser consumido por las bacterias y generar CaCO_3 , si no, el impacto en la muestra es negativo, como en este caso.

El aporte de esta investigación es demostrar los resultados obtenidos al comparar muestras de diferentes composiciones utilizadas en el diseño concreto, y finalmente la resistencia a la compresión más alta la obtuvo la bacteria con el refuerzo de lactato de calcio, es decir el efecto de las bacterias sobre el concreto es de gran beneficio.

Schreiberová et al., (2019) En la Universidad Técnica Checa de Praga, llevaron a cabo un estudio en el que utilizaron un método de adición directa de bacterias y nutrientes que descomponen la urea. Este método se aplicó al diseño del concreto. Además, también utilizaron nutrientes extraído de él. Destacan estos dos: lactato y nitrato de calcio. Las bacterias fueron reemplazadas el peso del cemento, específicamente 3% en conjunto con otros tipos de soluciones de nutrientes, la más destacada es el extracto de levadura; la conclusión es que la muestra de lactato de calcio obtuvo el mayor desempeño en la prueba de resistencia a la compresión, mejoró hasta en 30% en la edad de 28 días superior a la muestra estándar, por otro lado, la prueba de muestras de extracto de levadura se redujeron significativamente, lo que indica que la opción de crecimiento bacteriano más recomendada es el lactato de calcio.

La contribución de esta investigación reúne un resumen completo de los compuestos de nutrientes con bacterias utilizados en el concreto, y las muestras que contienen lactato de calcio lograron la mayor resistencia a la compresión, lo que confirma que las bacterias se desarrollarán mejor cuando se exponen con los nutrientes.

Ghatiya & Pendharkar, (s. f.) En la Facultad de Ingeniería de Ujjain, Madhya Pradesh, India, realizaron una investigación, cuyo propósito es obtener buenos resultados con las propiedades mecánicas del concreto, y luego se propuso reemplazar el porcentaje en peso del cemento con *Bacillus Pseudofirmus*, como resultado obtuvieron que la mejor resistencia a la compresión se logró con la muestra que tenía mayor solución de bacterias, al igual que la resistencia a la flexión se elevó, todo con respecto a la muestra patrón, además, las grietas en el concreto lograron curarse por sí solas después de 14 días.

El aporte de esta investigación radica en el desarrollo exitoso de la incorporación de la bacteria *Pseudofirmus* en el concreto, y los resultados de las propiedades mecánicas son muy significativos, lo que indica que la aplicación de esta cepa al concreto es muy beneficiosa.

Lomsri, Wongkvanklom, Chindaprasirt, et al., (2019) En la Universidad de Khon Kaen, Tailandia, estudiaron el comportamiento de las grietas al incorporar la bacteria *Bacillus pseudofirmus*, estas bacterias se incorporaron en diferentes porcentajes reemplazados en el agua del diseño de mezcla del concreto. Los resultados de resistencia a la compresión obtenidos crecieron con el aumento del contenido bacteriano en la muestra y con el avance del período de curación, dejando por debajo a la muestra estándar.

El aporte de esta investigación se basa en la incorporación de *Bacillus Pseudofirmus* en reemplazo del agua, que es otro método de incorporación, del que se han obtenido resultados ventajosos, como alta resistencia a la compresión. De igual forma, se determinó la formación de CaCO_3 en las fisuras el cual fue confirmado por los análisis de XRD y FTIR.

Rao et al., (2017). En India, evaluaron el comportamiento del concreto desarrollado con *Bacillus Subtilis*. Para realizar este concreto se utilizó una concentración de 10^5 cel./ml de agua en diferentes proporciones, obteniendo un aumento de la resistencia en un 25% en la compresión y un aumento del 20% en la resistencia a la flexión, todos los cuales se compararon con muestras sin bacterias. Luego, al evaluar las propiedades mecánicas, se puede concluir que la incorporación de la concentración de células bacterianas ha aumentado significativamente debido a que se producen minerales de calcita durante el metabolismo para bloquear los poros.

La contribución de este estudio es que el uso de *Bacillus Subtilis* como aditivo puede mejorar las propiedades de compresión y flexión del concreto, además los valores de absorción de agua y porosidad son inferiores a los de las muestras estándar.

Pratap et al., (2010) en India, para determinar las propiedades mecánicas del concreto, además de evaluar la absorción de agua, se utilizó una concentración de 10^6 células/ml de agua. Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas se realizaron con muestras de 160 mm. La evaluación también reveló que las grietas y los poros de la muestra estaban cerradas. En cuanto a la prueba de compresión, la muestra se realizó 28 días de curación, y la muestra agregada de *Bacillus subtilis* de 64.26 MPa tuvo mejor desempeño que la muestra estándar de 62.67 MPa. Además, se verificó que después del agrietamiento, las muestras con adiciones bacterianas recuperaron en un 22% la resistencia a la compresión.

El aporte de esta investigación radica en que la resistencia a la compresión se incrementa porque se debe al asentamiento de la calcita como material de relleno en las

grietas del hormigón, mientras la resistencia a la flexión aumenta debido a la formación de la capa exopolisacárido producida por la cepa bacteriana, finalmente el concreto bacteriano proporciona una mejor resistencia y la porosidad se reduce significativamente.

Sharma et al., (2017) En Bath, Reino unido, realizaron un estudio en el que se investigó el comportamiento de la bacteria Bacillus para sellar las grietas en las muestras preparadas, en el que se utilizaron tres bacterias Bacillus: Bacillus Pseudofirmus, Bacillus Cohnii, Bacillus Halodurans, se cultivó un caldo de Luria Bertani, con proporciones de esporas de 1.21×10^6 g/ml, 1.44×10^6 g/ml, 4.4×10^6 g/ml respectivamente, las muestras con pH más alto o pH neutro tienden a cerrar las grietas en un tiempo más corto. Específicamente en 4 días, además, esto se vio reflejado en la absorción de agua de las muestras, obteniendo así una mejor resistencia a la compresión.

La contribución de esta investigación es mostrar varios tipos de Bacillus, el mejor de los cuales es Bacillus Pseudofirmus, porque fue aislado con éxito y formó esporas en el sellado de las microfisuras.

Beltrán et al., (2016) En Ecuador, realizaron un estudio en el cual, siguiendo la línea de la forma de cultivo, se mencionó que un factor importante es la concentración de bacterias, por lo que la concentración de esporas de 1.7×10^5 g/l de bacterias, aplicadas sobre grietas de 4 y 8 mm, ambas muestras se evaluaron a los 28 días y se obtuvo una buena resistencia a la compresión, en comparación con la muestra patrón, se evaluó la capacidad de autorreparación. En el ensayo de resistencia a la flexión, por lo que se generaron grietas después de realizar el mencionado ensayo, adicionalmente se colocó en contacto con el agua, lo cual a la semana seis se observó mediante microscopio que las grietas se sellaron.

El aporte de esta investigación es que ha logrado buenos resultados en resistencia a la compresión y flexión, lo que determina el éxito de la aplicación de bacterias en el concreto.

Prošek, (2020) En Suiza, realizó un estudio enfocado en la cicatrización de grietas en las muestras, con el mismo género de bacterias Bacillus, en este caso se utilizó Bacillus Pseudofirmus, con tiempos de 2 a 3 meses de edad, cultivado en dos medios diferentes Uno se utiliza para el crecimiento y calcificación, mientras que el otro es un mineral alcalino medio. En ambos casos, las grietas provocadas por el uso de un bisturí en la muestra se cerraron en 2 meses, lo que indica un mejor desempeño de resistencia a la compresión

El aporte de esta investigación es la evaluación de Bacillus Pseudofirmus y sus resultados fueron el relleno de las fisuras y conduce a una mayor resistencia a la compresión, por lo tanto, es favorable la incorporación en el concreto.

Morsali et al., (2019) En Turquía, aplicaron varios tipos de cepas bacterianas Bacillus y, a través del proceso de biomineralización, encontraron que estas cepas pueden llenar grietas considerables en el concreto armado. Y llegó a las siguientes conclusiones: Se elevó en su totalidad la prueba a la compresión a 28 días del mortero de cemento en un 25%, redujeron la permeabilidad y mejoraron la corrosión por absorción de agua.

La contribución de esta investigación es que se mejoraron las propiedades mecánicas logrando que el uso del concreto bacteriana mejora la durabilidad de este.

1.6.2. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

Asenjo, (2019) En Cajamarca, investigó, un concreto tradicional con adición de bacterias, el cual menciona que al analizar un grupo de cepas bacterianas del grupo

Bacillus, se determinó que el grupo de bacterias de “Paenibacillus lactis” incrementó la resistencia a la compresión en 35.68%. Por otro lado, en comparación con el concreto estándar, la familia "Bacillus firmus" se ha incrementado en un 14,08%, por lo que la incorporación de aditivos bacterianos puede reparar el agrietamiento controlado del concreto y aumento su resistencia mecánica.

El aporte de esta investigación es que se han logrado buenos resultados en cuanto a propiedades mecánicas y cierre de fisuras, el resultado es el exitoso aislamiento de bacterias, sobre todo la aplicación es muy buena.

R. H. Mendoza & Sánchez, (2017) Por el contrario, en Cusco, optaron por utilizar Bacillus Subtilis como bioreparador en el estudio, y analizaron en diferentes días (7, 14 y 21 días). Sin embargo, a medida que pasa el tiempo de estudio éstas fueron sintetizando carbonato de calcio y se esperó hasta el día 28 pero no se logró superar la prueba a la compresión de la probeta patrón que emplearon. Además, decidieron analizar el hormigón en forma de fisuración e incorporar bacterias por inyección, en este caso, si logran cerrar las fisuras.

El aporte de este estudio es que se realizó un mal cultivo bacteriano, por lo que no se obtuvieron buenos resultados, sin embargo, una vez que el concreto se agrietó, se lograron buenos resultados al sellar las grietas mediante el proceso de inyección, lo que significa que las bacterias alcanzaron el desarrollo de grietas de esporas y el sellado fue inferior a 0,5 mm.

Palmer & Pulido, (2020) De igual forma, en un estudio en San Martín de Porres, aplicaron Bacillus al hormigón para evaluar sus propiedades mecánicas y permeabilidad.

Utilizaron una dosis celular de *Bacillus sphaericus* y *subtilis* por mililitro. El primer tipo de bacteria aumentó la resistencia compresión en un 20.94 % en el último día de estudio (28 días) con una dosificación 5×10^6 cel. /ml; mientras la resistencia a la flexión se elevó en un 32.42 % con una dosificación de 3×10^6 cel. /ml, por otro lado, la bacteria *subtilis* en una proporción de 4.6×10^6 cel. /ml, aumentó en un 13.64 %.

La contribución de este estudio es que ambas bacterias mostraron buenos resultados, y las bacterias se utilizaron en diferentes dosis y eran de la misma familia *Bacillus Pseudofirmus*.

1.7. BASES TEORICAS

1.7.1. CONCRETO CONVENCIONAL

El concreto convencional es la conformación de es la mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, agua y en determinados casos aditivos, según sea el uso que se le dará a la estructura. Rabanal & Su, (2017).

1.7.2. COMPONENTES DEL CONCRETO CONVENCIONAL

Cemento portland

Se trata de un aglomerante hidráulico, resultado de la calcinación de roca caliza, con la combinación de materiales calizos y arcillosos, obteniendo el Clinker que resulta ser un material deshidratado, siendo molido y adicionando yeso, entre otros materiales, teniendo como producto final, el cemento portland Asenjo, (2019).

- **Tipos de cemento Portland**

Se desarrollan de acuerdo con los requisitos físicos y químicos de aplicaciones específicas. Estos se realizan de acuerdo con las especificaciones *CEMEX Peru*, (2019) ASTM C 150, AASHTO M 85 o ASTM C 1157.

- Tipo I: Uso general.
- Tipo II: Resistencia moderada a los sulfatos y al calor de hidratación.
- Tipo III: Alta resistencia inicial.
- Tipo IV: Consigue un bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos.

Agua

El agua es un elemento importante para la preparación del concreto, porque permite que el cemento se desarrolle como una mezcla ligante, por ello el cemento y el agua deben ser usados en relación adecuada para tener buenos resultados. *NTP 339.088 Concreto*, (2006)

Agregados

Los agregados representan el 60% al 75% de la capacidad del concreto (70% - 85% de la materia) su influencia es muy importante tanto para el concreto fresco como para el endurecido, así mismo las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto Leon & Ramirez, (2010).

- **Agregado Fino**

El agregado fino es aquella piedra finamente triturada que pasa por el tamiz 9.5 mm (3/8”) y los cuales quedan retenidos en el tamiz N° 200, los cuales cumplen con los límites determinados en la norma NTP 400.037 o ASTM C33.

- **Agregado grueso**

Se considera al material retenido en un tamiz 4.75 mm (N°4). Este agregado puede ser piedra chancada, grava, etc. Cumpliendo con la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C33.

1.7.3. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO CONVENCIONAL

Propiedades principales del concreto endurecido

A) Resistencia Mecánica a la Compresión (NTP 339.034)

La resistencia a la compresión es la propiedad mecánica del concreto. Se determina como la capacidad de soportar carga por unidad de área, expresada por tensión, generalmente en kg/cm², MPa y, a veces, por pulgada cuadrada (psi). *CEMEX Peru*, (2019) Además, es calculada a partir de la carga de rotura entre el área de sección resistente.

B) Resistencia a la flexión (NTP 339.079)

Es una escala indirecta de la resistencia a la tracción del hormigón. Es el momento de rotura por momento flector de vigas, losas de hormigón no reforzado. Se mide aplicando una carga, que se describe en detalle como el módulo de ruptura y se determina mediante el método de prueba ASTM C78. Bustamante Tirado, (2018)

C) Módulo de elasticidad (ASTM C 469)

Es la deformación bajo una carga, al no tener deformación permanente el concreto no es un material elástico. Al no tener un comportamiento lineal en su diagrama carga vs deformación en compresión, se acostumbra a definir como “módulo de elasticidad elástico”. Este valor oscila entre 250000 a 350000 Kg/cm² la norma que establece este parámetro es la *ASTM C469*, (s. f.).

1.7.4. DISEÑO DE MEZCLA

Se considero tener en cuenta un posible diseño de mezcla como se muestra en el ANEXO I.

1.7.5. ADITIVO BACTERIANO

El aditivo bacteriano se puede definir como una mezcla homogénea de esporas bacterianas del género *Bacillus* las cuales serán diluidas en un medio de cultivo el cual actúa como intermediario sintetizando carbonato de calcio, teniendo como producto final la mejora de fisuras. Mendoza & Sánchez, (2016).

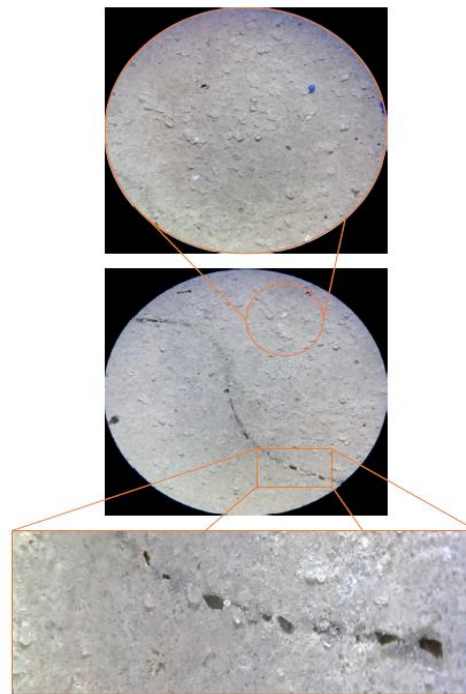
1.7.6. PARTE BIOLÓGICA

Genero Bacillus

El género *Bacillus* es parte de la familia *Bacillaceae*, su género se encuentra dentro está estructurado por microorganismos bacilares. Las células bacterianas de este género manejan un gran rango de tamaños que varían de 0.5 a 2.5 µm x 1.2 a 10 µm. (Ver Fig.1). Este género se puede localizar comúnmente en suelos y plantas donde cumplen una función importante en el ciclo del carbono y nitrógeno. Son huéspedes comunes de

aguas estancadas, lo que los vuelve particularmente activos en sedimentos Cuervo, (2010).

Figura 1
Reparación de fisura evaluada a 28 días



Fuente: Asenjo, (2019)

Determinación de las especies bacterianas

Hay diversos tipos de bacterias que se pueden emplear, las bacterias *Bacillus Subtilis* y *Bacillus pseudofirmus*, por los siguientes motivos: son de fácil adquisición y accesible en el mercado, no son bacterias que pongan en peligro al ser humano y se puede encontrar fácilmente en el medio ambiente.

Bacillus Subtilis.

La bacteria *Bacillus Subtilis* fue una de las primeras bacterias estudiadas, también se conoce como bacilo de heno o bacilo de pasto como hace mención Joshi et al., (2016)

La bacteria *Bacillus Subtilis* se encuentra considerada como una de las mejores bacterias para estudiar, y cuenta con un organismo modelo para realizar un análisis según Joshi et al., (2016)

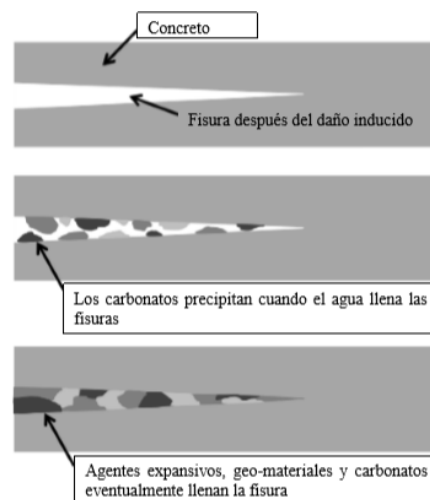
Bacillus Pseudofirmus

La bacteria *Bacillus Pseudofirmus* es una cepa no patógena y fabricante de endosporas que tiene la capacidad de emplear urea y desarrollar iones de carbonato. Asimismo, esta bacteria se desarrolla perfectamente en condiciones alcalinas y puede sobrevivir fácilmente en diversas temperaturas. Al colocar a esta bacteria en un ambiente exagerado, esta bacteria alcalifílica habita y se acomoda en forma de endospora. Lomsri, Wongkvanklom, & Chindapasirt, (2019).

1.7.7. CARBONATO DE CALCIO ($CaCO_3$)

El carbonato de calcio ($CaCO_3$) es uno de los minerales precipitados en la tierra en forma de rocas naturales y existe en ambientes tales como: Agua marina, agua dulce y suelos según Castanier et al., (1999). El mineral reacciona mientras los carbonatos se precipiten, el agua llena las fisuras, actuando como agentes expansivos, geo-materiales y carbonatos eventualmente que logran cerrar la fisura generada en el concreto (Ver Fig. 2).

Figura 2
Enfoque Bioregenerable con carbonato de calcio



Fuente: Li & Herbert, (2012)

1.7.8. MEDIOS DE CULTIVO DE LAS BACTERIAS

Esterilización

Los materiales de vidrio se tendrán que esterilizar por calor seco a una temperatura de $170^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ en hornos Pasteur o estufas de pupinela por un período de 1 h.

Cultivo de bacterias

Para realizar el cultivo de una colonia purificada de bacterias, el laboratorio tendrá que restringir el crecimiento de otras bacterias en los medios, estos son preparados de diferentes composiciones químicas y para que estén en forma sólida, se utilizará el agar-

nutriente y para obtener la homogeneidad adecuada en la mezcla, los medios preferidos se mantendrán en una incubadora.

Siembra en placas Petri

La cepa de bacteria se conservará en la refrigeradora en temperaturas que estén en el rango de 2 – 8 °C. Se trabajará con material abierto, con un mechero para evitar la contaminación de la cepa bacteriana. Posterior se debe esterilizar el asa de siembra y enfriar en lapsos de tiempo de 10 – 20 segundos para evitar la presencia de otro tipo de microorganismo en la muestra, se tomará el inóculo para transferirlo a la superficie de la placa y se extenderá formando zigzag en una porción de la placa, luego se flameará el asa de siembra y se enfría. Por último, se cerrará la placa Petri y se conservará en temperatura entre 4 – 8 °C tal como lo menciona, Rojas, (2011).

Inoculación

Se trabajará con material abierto y mechero Bunsen, el tubo que contendrá el cultivo se colocará de manera inclinada para evitar que microorganismo caigan en la boca de este, los tapones no se deben colocar en la mesa de trabajo o algún otro lugar, también se debe flamear la boca del tubo antes de cerrarlo y esterilizar la aguja que entra en contacto con el medio de cultivo para posteriormente sumergirla sin tocar las paredes del tubo para evitar contaminación. Después de la siembra se esterilizará el asa y flamear nuevamente la boca del tubo para finalmente colocar la tapa a cada uno, se conservará en 2 – 8 °C tal como lo detallan, Mendoza & Sánchez, (2016).

Curva de crecimiento

Se realizará la siembra de un subcultivo de un cultivo bacteriano a una botella de 200 mL, mediante una micropipeta de capacidad de 1000 μL . En el momento de tiempo cero se tomará 1 mL del medio bacteriano para leer la cantidad de concentración de colonias bacterianas mediante el espectrómetro. Posterior a esto llevar el contenido bacteriano a incubadora a 35° C entre 24 – 48 horas. Por último, tomar lecturas cada hora como hace mención Mendoza & Sánchez, (2016).

Obtención de esporas bacterianas

Cuando se tenga la máxima concentración de bacterias, se procederá a retirarlas de la incubadora. El cultivo bacteriano sufrirá cambios bruscos de temperatura, pH, falta de nutrientes. Posteriormente se someterá a baño isotérmico a 80°C por un lapso de 10 minutos. Luego se procede a enfriar a temperatura ambiente, decantar el cultivo bacteriano en tubos de ensayo de 15 mL. seguidamente se desecha el líquido bacteriano y agregar 10 mL de agua destilada a las muestras para obtener el sedimento de esporas tal como lo detalla, Mendoza & Sánchez, (2016).

Para finalizar, se adicionará 10 mL de agua destilada en las muestras que mediante un agitador de tubo de ensayo disolverá el sedimento de esporas quedando así disuelto el líquido. Este proceso se repetirá 4 veces para obtener la cantidad total de esporas.

Acidez y Alcalinidad (pH)

Evaluación de pH

Se introducirá una cinta reactiva medidora de pH dentro del tubo, se tendrá que esperar 30 segundos antes de poder retirarla y finalmente se comparará el color de la tira reactiva con la carta de colores para anotar el resultado.

1.7.9. FISURAS EN EL CONCRETO

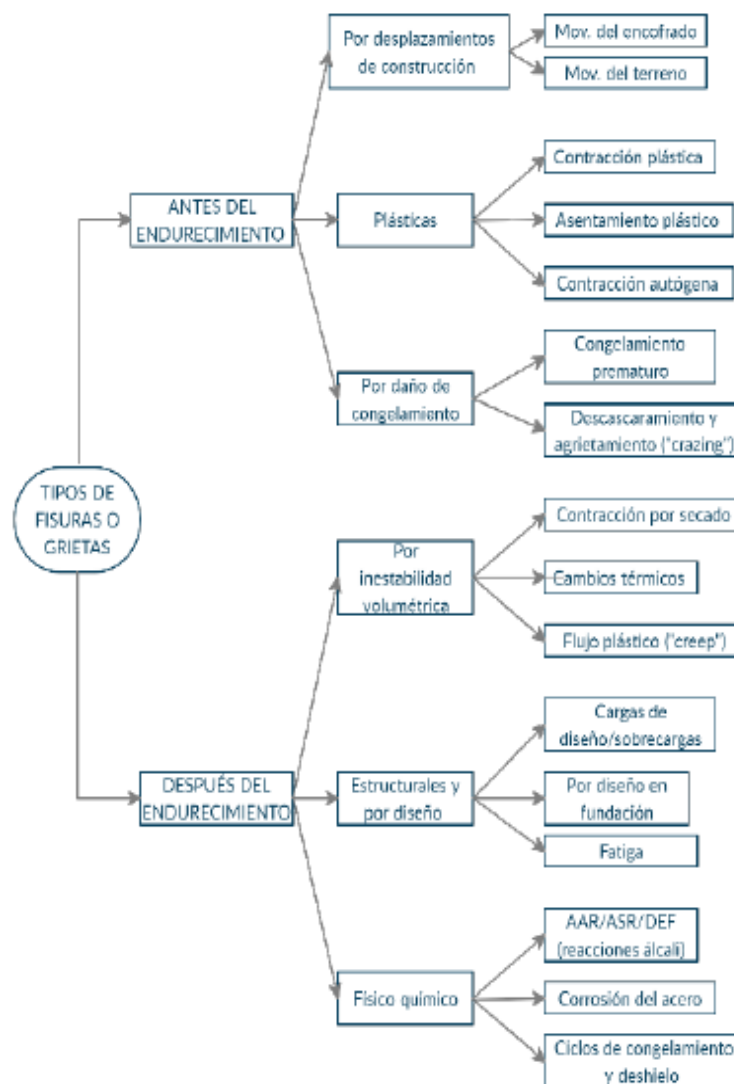
Es importante entender por qué las fisuras o grietas se presentan en la superficie de las estructuras de concreto, las cuales son causas comunes existentes en obras y edificaciones ya que la gran mayoría de estas fisuras y grietas se manifiestan por deficiencia en los procesos del diseño de estructuras y malas prácticas constructivas según Sotomayor, (2020)

- Omisión de juntas de contracción de asentamiento de confecciones de las juntas o malas prácticas.
- Preparación inadecuada de la superficie de colocación del concreto.
- Utilizar un concreto con exceso de finos, con alto asentamiento o con exceso contenido de agua en la mezcla o durante el vaciado en el proyecto.
- Acabado inadecuado
- Curado inadecuado o nulo.

1.7.10. TIPOS DE FISURAS

Un listado general de los tipos de fisuras y grietas que se pueden presentar durante o después del endurecimiento del concreto agregado en las estructuras. (Ver Fig. 3)

Figura 3
Tipos de fisuras o grietas del concreto



Fuente: Sotomayor, (2020)

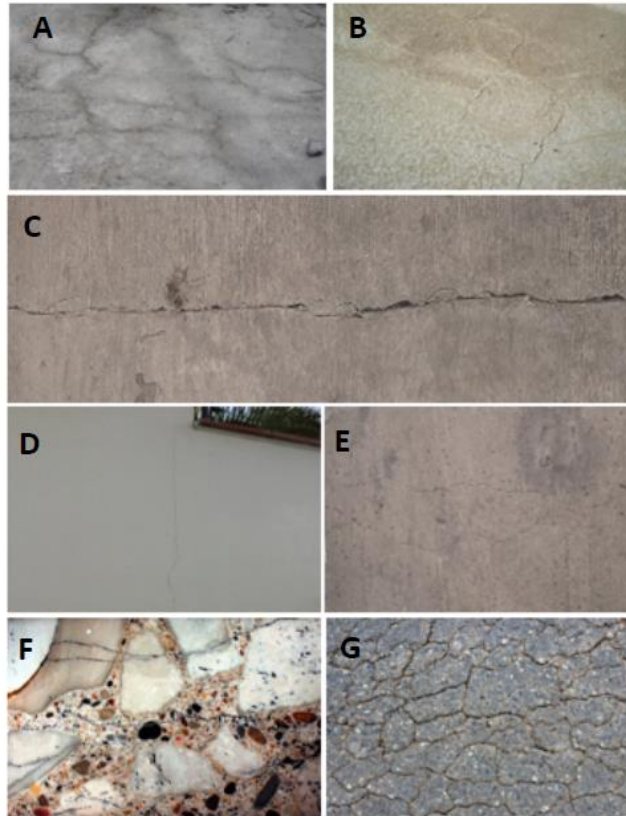
Estas fisuras y grietas tienen la tendencia de aparecer a temprana edad y deben resanarse tan rápido como sea posible, para evitar el ingreso de agentes externos nocivos que puedan comprometer la durabilidad de las estructuras a largo plazo según Sotomayor, (2020).

En la Fig. 4 se muestran las más comunes fisuras en las estructuras de concreto.

- A. Contracción plástica
- B. Asentamiento plástico
- C. Contracción por secado
- D. Restricciones de movimiento
- E. Falta de junta de aislamiento
- F. Por congelamiento y deshielo
- G. Descascaramiento y agrietamiento tipo panal de abeja.

Figura 4

Formas de las fisuras más comunes ubicadas en las estructuras de concreto



Fuente: Sotomayor, (2020)

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. *POR EL FIN Y PROPÓSITO*

En esta investigación se ha considerado que según su propósito es “aplicada” porque lo que se está realizando es la búsqueda de documentos, los cuales a medida que se realiza la investigación y selección se pueden aplicar a la realidad Hernández et al., (2014). Con el fin de presentar una solución ante el problema planteado, se propuso analizar el uso de las bacterias del género Bacillus, quienes buscan actuar como un aditivo bacteriano en las propiedades mecánicas de un modelo de concreto convencional.

2.1.2. *POR EL NIVEL*

Por el nivel esta investigación es descriptiva, ya que se describirán datos y características de la información recolectada, además tiene el fin de especificar las propiedades o características de un objeto para ser sometido a un análisis. De esta manera se garantiza el orden para agrupar los datos en función de una o más variables, en este caso, para evaluar la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

2.1.3. *SEGÚN EL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN*

El tipo de investigación según el diseño es de tipo no experimental transversal, ya que las variables que se analicen especificando sus propiedades y/o características no son tener que ser manipuladas como explica, Hernández et al., (2014). En la tabla 1, se

muestra el diseño de investigación donde se usa el razonamiento analítico de los resultados recopilados.

Tabla 1

Diseño de la investigación

Investigación	T1
T	A

Donde:

T: Título

A: Análisis

2.2. VARIABLES

Clasificación de variables

En la tabla 2 se muestra la identificación de variables donde se han clasificado por su naturaleza, la relación que tiene con la investigación, la dimensión que presenta, la forma y la escala de medición.

Tabla 2

Identificación de las variables

VARIABLE	CLASIFICACIÓN				
	<i>Naturaleza</i>	<i>Relación</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Forma de medición</i>	<i>Escala de medición</i>
<i>Bacteria Bacillus</i>	<i>Mixto</i>	<i>Independiente</i>	<i>Unidimensional</i>	<i>Indirecta</i>	<i>Razón</i>
<i>Resistencia a la compresión</i>	<i>Mixto</i>	<i>Dependiente</i>	<i>Unidimensional</i>	<i>Indirecta</i>	<i>Razón</i>

Resistencia a la flexión Mixto Dependiente Unidimensional Indirecta Razón

Operacionalización de variables

En la tabla 3 se muestra la matriz de operacionalización de variables donde se realizó la definición tanto conceptual como operacional de cada variable, asimismo, definir sus dimensiones, sus indicadores y sus ítems.

Tabla 3

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	La resistencia a la compresión es la característica mecánica del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm ² , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (CEMEX Perú, 2019)	Análisis documental de las investigaciones a la adición de bacterias Bacillus; las cuales pueden tener variaciones en sus propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión) a causa de los distintos tipos de bacterias que se han utilizado para la elaboración del concreto.	Investigaciones previas relacionadas con la bacteria Bacillus en el concreto convencional	Determinar la resistencia a compresión y la resistencia a la flexión del concreto convencional con bacterias Bacillus	Cuadros de caracterización Lista de objetivos
RESISTENCIA LA FLEXIÓN	La resistencia a la flexión es una medida indirecta de la resistencia a la tracción del concreto. Es la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide a través de la aplicación de cargas, se detalla como el módulo de rotura y es determinada mediante los	En conclusión, se analizó la comparación del empleo de la bacteria Bacillus en el concreto convencional.	Resultados de estudios seleccionados relacionados con las bacterias del género Bacillus en el concreto.	En cuanto aumentó la resistencia a la flexión del concreto con bacterias	Gráficos de resultados

métodos de ensayo ASTM
C78. Bustamante et.al., (2018).

**BACTERIA
BACILLUS**

El género Bacillus es una bacteria modelo de laboratorio, que puede producir calcita en medios adecuados complementados con una fuente de calcio según Pratap et al., (2010). Estas bacterias se pueden emplear como aditivo dentro del concreto autocompactante para mejorar las propiedades mecánicas.

Los parámetros mejores de estudios previos sobre bacterias Bacillus para el mejor % de las Cuadros de mejorar las bacterias porcentajes propiedades mecánicas del concreto convencional.

Beneficios obtenidos por las propiedades mecánicas del concreto convencional y las bacterias. Beneficios Análisis de beneficios

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.3.1. POBLACIÓN

En el presente estudio la población está representado por artículos científicos recopilados de bacterias del tipo Bacillus aplicadas en un concreto convencional, basado directamente en la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto, para posteriormente efectuar el análisis comparativo, considerando diferentes fechas de publicación, desde el año 2007 hasta el año 2021.

2.3.2. MUESTRA

El análisis de los estudios recopilados de bacterias, empleando al género Bacillus generando un beneficio en las propiedades mecánicas de un concreto convencional por medio de descarte no probabilístico por conveniencia debido a que se analizaran los ensayos de resistencia a la compresión y de resistencia a la flexión, de resultados de los diversos estudios recopilados.

2.3.3. TAMAÑO DE MUESTRA

Para obtener el tamaño de muestra, teniendo en cuenta las variables en estudio, se tomarán datos recopilados de 42 investigaciones; los cuales se relacionan en cuanto a la forma de adición de bacterias del género Bacillus en el diseño de mezcla para mejorar las propiedades mecánicas del concreto convencional, posteriormente se analizarán, tomando en cuenta la importancia para la investigación realizada.

2.3.4. MATERIALES

- **Recursos Humanos:**
 - Estudiante: Alva Miranda, Karla Daniela
 - Estudiante: Kobayashi Anhuaman, Julio Cesar Hiroshi
- **Recursos Materiales e Instrumentos:**
 - Computadoras
 - Microsoft Excel
 - Microsoft Word

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

2.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Análisis documental: Esta técnica consiste en la recolección sistemática dirigida a estudiar aspectos más significativos del objeto en una situación en particular, en esta investigación, la influencia de las bacterias del género Bacillus en las propiedades mecánicas del concreto (Resistencia a la flexión y resistencia a la compresión). Además, poder brindar información adicional sobre la reparación de grietas y poros de las muestras, así como la disminución de porosidad o absorción.

2.4.2. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El instrumento para considerar en la recolección de datos se basa en emplear una base de datos que nos servirá como registro visual en los cuales se irá actualizando a medida que sea nuestro avance, con información que sea clasificada y óptima para nuestro tema.

Se emplearán distintos filtros como el año de publicación, el idioma, el buscador empleado, el tipo de estudio y el motivo de selección.

2.4.3. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos, las técnicas de estadística descriptiva utilizan el software Microsoft Excel, utilizando tablas y gráficos para ayudarnos a describir las propiedades mecánicas del concreto, como se puede observar en la Tabla 4 y en la Figura 5.

- Tablas estadísticas

Tabla 4

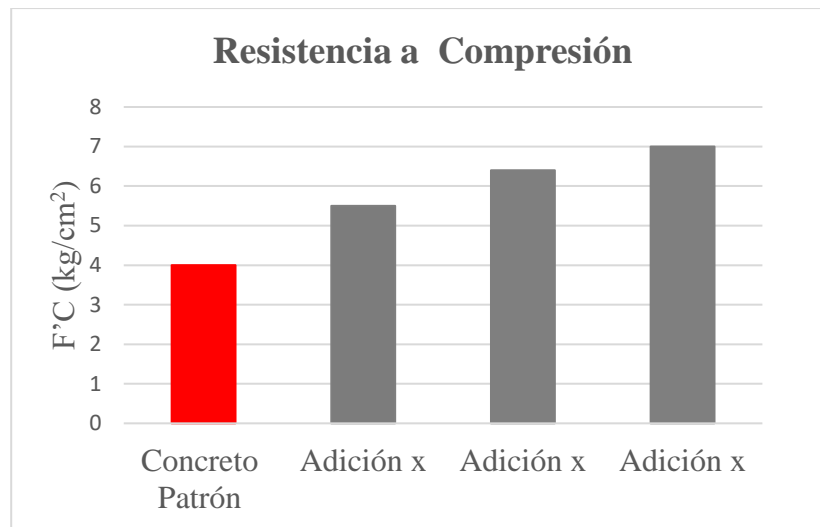
Ejemplo de tabla para los datos de investigación

ESTUDIOS SELECCIONADOS				
<i>Cod</i>	<i>Titulo</i>	<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Bacteria Bacillus</i>
<i>E-001</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
<i>E-002</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
.	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
.	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
<i>E-042</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>

– Gráficos estadísticos

Figura 5

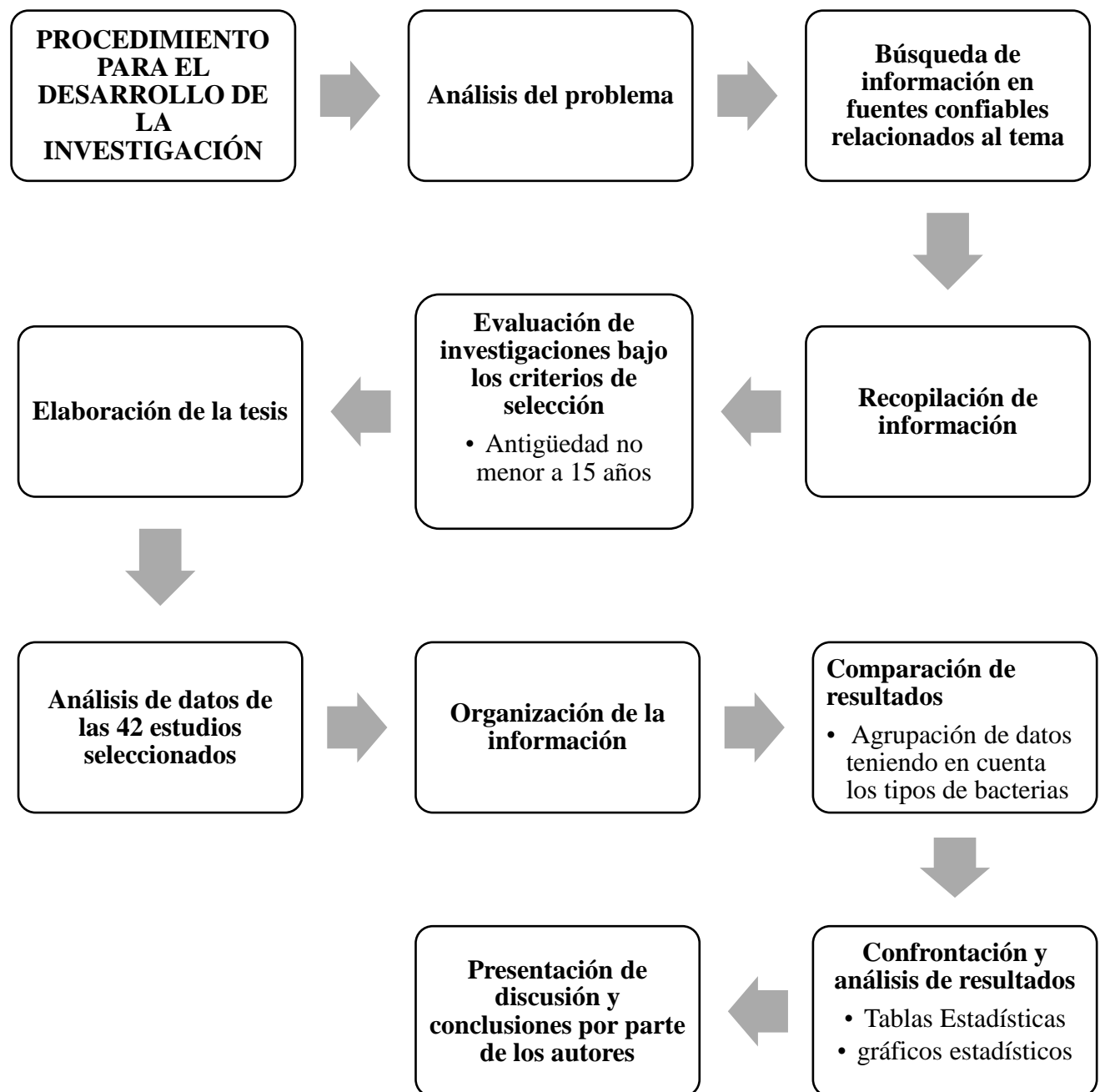
Tipo de gráfico para datos de la investigación



2.5. PROCEDIMIENTO

Figura 6

Procedimiento de la investigación



2.5.1. Desarrollo de tesis

Inicialmente se realizó un análisis a nuestro problema principal para posteriormente poder realizar la búsqueda de información con ayuda de diferentes fuentes de investigación, con el propósito de identificar y determinar la problemática del empleo de bacterias en un concreto convencional si existen mejoras en sus propiedades mecánicas (Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión)

Posteriormente, se seleccionó la recopilación de todos los estudios que se encuentren vinculadas al análisis de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto con bacterias.

Continuando con el procedimiento se realizó la selección siguiendo los criterios pautados por los investigadores. Seguidamente, se colocaron los datos hallados en el software estadístico Microsoft Excel agrupando por tipo de bacterias Bacillus y así realizar un análisis comparativo en las propiedades mecánicas del concreto con bacterias.

Luego, se procedió a comparar los resultados de los estudios mediante tablas y gráficos estadísticos para poder determinar los mejores parámetros y beneficios que presenta.

Para culminar, se interpretaron los resultados de cada gráfico estadístico para cada una de las agrupaciones de tipos de bacterias en el concreto. Procediendo a elaborar las conclusiones de la investigación, respondiendo de esta manera nuestros objetivos y el problema propuesto.

2.6. ASPECTOS ÉTICOS

2.6.1. Código ético del profesional

El presente trabajo de investigación tiene como base al código ético del Ingeniero Civil establecido, regulado y promovido por el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) en el cual se especifica las sanciones que se deben ser aplicadas según sea la falta cometida. *CODIGO_DEONTOLOGICO2012.pdf*, (2012)

También nos basamos en el código ético del Investigador Científico UPN, que tiene como finalidad fortalecer una cultura de principios y valores, regular los deberes y responsabilidades que debemos tener en todo el proceso de investigación *codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf*, (s. f.)

2.6.2. Código bien común

Esta tesis tiene como fin contribuir a la sociedad, así como compartir los resultados que se obtengan para que, en trabajos futuros, esta investigación se pueda usar como referencia, además de dar crédito al autor mediante citas.

2.6.3. Código ético de la investigación

En referencia a la recolección de datos con veracidad, no se extraerá algún resultado, dato, discusión de un trabajo ajeno al presente realizado, pues la información expuesta puede ser utilizada por otros estudiantes y/o investigadores.

Se hará empleo de las guías normativas vigentes por la Dirección de Normalización según las Normas Técnico-peruanas para el año 2019, las cuales estandarizan los procesos a seguir de cómo realizar y que evaluar en cada ensayo, así como las condiciones en que los materiales

deben encontrarse. Se muestra a continuación las normas más relevantes en esta investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. RECOLECCIÓN DE LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS CON BACTERIAS BACILLUS

La selección de estudios con bacterias del género *Bacillus* se llevó a cabo a través del análisis de cada bacteria del tipo *bacillus*, tomando como principal consideración que la bacteria sea añadida o reemplazada en la mezcla del concreto, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Selección de los estudios con bacterias del género Bacillus

N° Estudio	TITULO	AUTOR	AÑO	BACTERIA
E-001	<i>"Bacillus subtilis as self-healing agent in cement mortar: combined and the separate effect of bacteria and calcium lactate on self-healing behavior in cement mortar"</i>	<i>Sohail Muhammad, Humair Ahmed Siddiqui, Muhammad Ishaque Abro, Adil Usmani, Muhammad Amjad Anwar Mallick</i>	2019	<i>Subtilis</i>
E-002	<i>"Impact of the self-healing agent composition on material characteristics of bio-based self-healing concrete"</i>	<i>Hana Schreiberová, Petr Bílý, Josef Fládr, Karel Šeps, Roman Chylik, Tomáš Trtík</i>	2019	<i>Subtilis</i>
E-003	<i>"Bacillus subtilis hu58 immobilized in micropores of diatomite of using in self-healing concrete"</i>	<i>Nguyen Huynh, Nghi Mai, Nguyen Phung, Nguyen Khanh</i>	2017	<i>Subtilis</i>
E-004	<i>"Effect of bacteria subtilis on e-waste concrete"</i>	<i>I. Rohini, R. Padmapriya</i>	2020	<i>Subtilis</i>

E-005	<i>"Experimental investigation on bacterial concrete strength with bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity"</i>	C. Venkata Siva Rama Prasad, T.V.S. Vara Lakshmi	2020	Subtilis
E-006	<i>"An experimental investigation on improvement of concrete serviceability by using bacterial mineral precipitation"</i>	A.T.Manikandan, A.Padmavathi	2015	Subtilis
E-007	<i>"The use of bacteria (bacillus subtilis) in improving the mechanical properties of concrete"</i>	Akindehinde Ayotunde Akindahunsi, Stella M. Adeyemo, Amos Adeoye	2021	Subtilis
E-008	<i>"Microorganism precipitation in enhancing concrete properties"</i>	Afifudin, H., Hamidah, M.S., Noor Hana, H., and Kartini, K.	2011	Subtilis
E-009	<i>"Bio cementation process in the concrete using bacillus subtilis: a statistical modeling study"</i>	Dipika Patnaik, Akshaya K. Verma, Simanchala Panda, Naresh K. Sahoo	2021	Subtilis
E-010	<i>"Microbial participation in the formation of calcium silicate hydrated (csh) from bacillus subtilis"</i>	Afifudin, H., Nadzarah, W., Hamidah M.S, Noor Hana H.	2011	Subtilis
E-011	<i>"Performance of standard grade bacterial (bacillus subtilis) concrete"</i>	Sunil Pratap Reddy, Seshagiri Rao, Aparna, Ch. Sasikala	2010	Subtilis
E-012	<i>"Performance of microbial concrete developed using bacillus subtilis JC3"</i>	Seshagiri Rao, Srinivasa Reddy, Ch. Sasikala	2017	Subtilis
E-013	<i>"Performance studies on rate of self-healing in bio concrete"</i>	Cherreddy Sonali Sri Durga, Nerella Ruben, Madduru Sri Rama Chand, Chava Venkatesh	2019	Subtilis
E-014	<i>"Bacillus subtilis bacteria impregnation in concrete for enhancement in compressive strength"</i>	Koustubh A. Joshi, Madhav B. Kumthekar, Vishal P Ghodake	2016	Subtilis
E-015	<i>"Impact of bacillus subtilis bacterium on the properties of concrete"</i>	Shradha Jena, Bidyadhar Basa, Kishor Chandra Panda, Naresh Kumar Sahoo	2020	Subtilis

E-016	<i>"Crack filling in concrete by addition of bacillus subtilis spores - preliminary study"</i>	<i>Nicole Schwantes-Cezario, Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, Thomas Kehrwald Fruet, Geovana Souza Ferreira Nogueira, Berenice Martins Toralles, Davi De Souza Cezario</i>	2018	<i>Subtilis</i>
E-017	<i>"Compressive strength improvement and water permeability of self-healing concrete using bacillus subtilis natto"</i>	<i>Nguyen Ngoc Tri Huynh, Kei-ichi Imamoto, Chizuru Kiyohara</i>	2020	<i>Subtilis</i>
E-018	<i>"Application of bacillus subtilis bacteria for improving properties and healing of cracks in concrete"</i>	<i>C. Neeladharan, J. Sharpudin, V. Loganath, B. Jagan, C. Chinnarasu, K.R. Vijaykaran</i>	2018	<i>Subtilis</i>
E-019	<i>"Experimental investigation on bacterial concrete using bacillus subtitles"</i>	<i>P.Saradha, K. Vidhya, S. Visali</i>	2019	<i>Subtilis</i>
E-020	<i>"Enhancement in strength parameters of concrete by application of bacillus bacteria"</i>	<i>Nidhi Nain, R. Surabhi, Yathish N.V., V. Krishnamurthy, T. Deepa, Seema Tharannum</i>	2019	<i>Subtilis</i>
E-021	<i>"A study on biomineralization using bacillus subtilis natto for repeatability of self-healing concrete and strength improvement"</i>	<i>Nguyen Ngoc Tri Huynh, Kei-ichi Imamoto, Chizuru Kiyohara</i>	2019	<i>Subtilis</i>
E-022	<i>"An experimental study on effect of bacillus sphaericus bacteria in crack filling and strength enhancement of concrete"</i>	<i>B. Madhu Sudana Reddy, D. Revathi</i>	2019	<i>Sphaericus</i>
E-023	<i>"Mechanical properties of bio self-healing concrete containing immobilized bacteria with iron oxide nanoparticles"</i>	<i>Mostafa Seifan, Ajit K. Sarmah, Ali Khajeh Samani, Alireza Ebrahimezhad, Younes Ghasemi, Aydin Berenjian</i>	2018	<i>Sphaericus</i>

E-024	<i>"Aplicación de bacterias Bacillus pseudofirmus para mejorar las propiedades del concreto f'c = 210 kg/cm², en San Martín de Porres, 2020"</i>	Palmer Lozada Miguel, Pulido Vargas Issac	2020	Sphaericus
E-025	<i>"The application of bacteria as a main factor in the technology of self-healing concrete technology"</i>	Morsali Saeed, Yucel Gamze, Tahni Azade	2019	Sphaericus
E-026	<i>"Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete"</i>	Henk M. Jonkers, Arjan Thijssena, Gerard Muyzer, Oguzhan Copuroglua, Erik Schlangen	2010	Pseudofirmus
E-027	<i>"Pre-crack behaviours of cement paste containing bacillus pseudofirmus atcc 700159"</i>	Rachit Lomsri, Athika Wongvanklom, Prinya Chindaprasirt, Ampol Wongsa, Duangkanok Tanangteerapong	2019	Pseudofirmus
E-028	<i>"Experimental investigation on mechanical properties of self-healing concrete by using bacillus pseudofirmus"</i>	Ankit Ghatiya, Umesh Pendharkar	2017	Pseudofirmus
E-029	<i>"A cost-effective cultivation medium for biocalcification of bacillus pasteurii kctc 3558 and its effect on cement cubes properties"</i>	S. Yoosathaporna, P. Tiangburanathamb, S. Bovonsombut a, A. Chaipanichc, W. Pathom-aree	2016	Pasteurii
E-030	<i>"Crack repair by concrete-immobilized bacteria"</i>	Henk M. Jonkers, Erik Schlangen	2007	Pasteurii
E-031	<i>"Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete"</i>	Arun Kumar Parashar, AnkurGupta	2021	Megaterium
E-032	<i>"Application potential of bacillus megaterium encapsulated by low alkaline sulphoaluminate cement in self-healing concrete"</i>	Yilin Su, Tianwen Zheng, Chunxiang Qian	2020	Megaterium
E-033	<i>"Effect of bacillus flexus in healing concrete structures"</i>	Ravindranatha Rao, Udaya Kumar, Suhas Vokunnaya, Priyodip Paul, Ioannou Orestis	2015	Flexus

E-034	<i>"A preliminary insight into the revolutionary new line in improving concrete properties using an indigenous bacterial strain bacillus licheniformis ak01, as a healing agent"</i>	Ali Vahabi, Ali Akbar Ramezaniapourb, Kambiz Akbari Noghabi	2014	Licheniformis
E-035	<i>"Improvement of mechanical properties of bio-concrete using enterococcus faecalis and bacillus cereus"</i>	Abdullah Faisal Alshalif, Mohd Irwan Juki, Norzila Othman, Adel Ali Al-Gheethi, Faisal Sheikh Khalid	2019	Cereus
E-036	<i>"Evaluation of mechanical parameters of bacterial concrete"</i>	Chereddy Sonali Sri Durga, Nerella Ruben, Madduru Sri Rama Chand, Chava Venkatesh	2019	Subtilis / Halodurans
E-037	<i>"An experimental study on performance of bacillus pumilus kc845305 and bacillus flexus kc845306 in bacterial concrete"</i>	Anand Elumalai, G. Mohan Ganesh, Kalaichelvan Gurumurthy	2020	Pumilus, Flexus
E-038	<i>"Spore-forming bacillus subtilis vis-à-vis non-spore-forming deinococcus radiodurans, a novel bacterium for self-healing of concrete structures: a comparative study"</i>	Sandip Mondal, Aparna (Dey) Ghosh	2020	Subtilis
E-039	<i>"Self-healing concrete – a solution to crack formation"</i>	Rayees Ali Khan	2020	E-coli, Pseudofirmus, Subtilis
E-040	<i>"An experimental study on effects of bacterial strain combination in fibre concrete and self-healing efficiency"</i>	A. Chithambar Ganesh, M. Muthukannan, R. Malathy, and C. Ramesh Babu	2019	Subtilis y Sphaericus
E-041	<i>"Self-healing concrete: a biological approach"</i>	Jonkers, Henk	2007	Pasteurii / Pseudofirmus

E-042 *"Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la
reparación del proceso de fisuración controlada del concreto"* *Asenjo Alarcón, Dennis Edinsson* 2019 *Paenibacillus
lactis /
Firmus*

3.2. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS CON BACTERIAS BACILLUS

3.2.1. RESULTADOS DE ESTUDIOS A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON BACTERIAS BACILLUS

El análisis de los resultados arrojados por la resistencia a la compresión con bacterias bacillus nos permite determinar si cumple o no, con la resistencia patrón, tal como se muestra en la Tabla 6 y posteriormente realizar un gráfico en el cual se muestre en porcentaje lo analizado, como se representa en la Figura 7.

Tabla 6

Análisis de los resultados de los estudios con bacterias de la especie Bacillus en la resistencia a la compresión

<i>N° Estudio</i>	<i>Bacteria</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Resultado</i>
E - 001	Subtilis	7%	cemento	28	17.57	Cumple
E - 002	Subtilis	3%	cemento	28	58.76	Cumple
E - 003	Subtilis	1.26%	cemento	28	52.00	Cumple

E - 004	Subtilis	2%	cemento	28	35.60	Cumple
E - 005	Subtilis	10%	cemento	28	54.86	Cumple
E - 006	Subtilis	0.25%	cemento	28	29.13	Cumple
E - 007	Subtilis	10^5	cel./ml	28	29.90	Cumple
E - 008	Subtilis	10^6	cel./ml	28	40.20	Cumple
E - 009	Subtilis	5×10^6	cel./ml	28	79.00	Cumple
E - 010	Subtilis	10^3	cel./ml	28	47.00	Cumple
E - 011	Subtilis	10^5	cel./ml	28	60.17	Cumple

E - 012	Subtilis	10^5	cel./ml	28	61.79	Cumple
E - 013	Subtilis	10^8	cel./ml	28	65.70	Cumple
E - 014	Subtilis	56×10^6	cel./ml	28	49.77	Cumple
E - 015	Subtilis	10^5	cel./ml	28	59.00	Cumple
E - 016	Subtilis	1.2×10^8	cel./ml	28	50.10	No Cumple
E - 017	Subtilis	3×10^7	cel./ml	28	43.00	Cumple
E - 018	Subtilis	10	ml	28	33.72	Cumple
E - 019	Subtilis	30	ml	28	33.32	Cumple

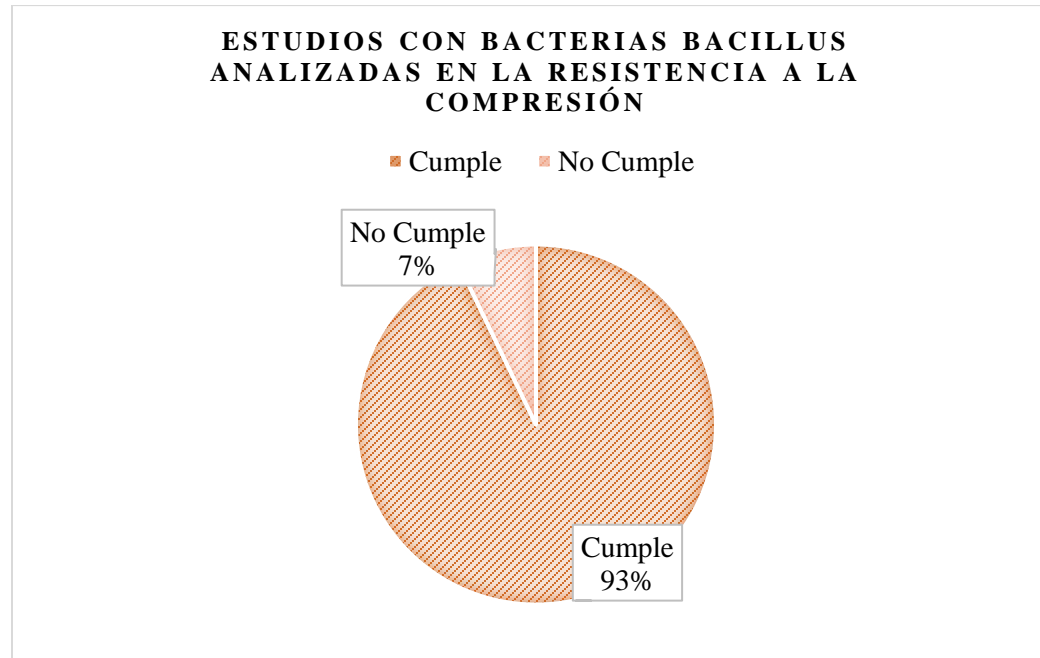
E - 020	Subtilis	100	ml	28	42.00	Cumple
E - 021	Subtilis	0.163	Kg	28	84.00	Cumple
E - 022	Sphaericus	10 ⁵	cel./ml	28	35.00	Cumple
E - 023	Sphaericus	5x10 ⁶	cel./ml	28	72.76	Cumple
E - 024	Sphaericus	10 ⁶	cel./ml	28	52.00	Cumple
E - 025	Sphaericus	250	ml/l	28	24.00	Cumple
E - 026	Pseudofirmus	3x10 ⁷	cel./ml	28	59.00	Cumple
E - 027	Pseudofirmus	30%	agua	28	73.40	Cumple
E - 028	Pseudofirmus	5.00%	cemento	28	24.81	Cumple

E - 029	Pasteurii	5.5 x10 ⁶	cel./ml	28	44.00	Cumple
E - 030	Pasteurii	0.50%	cemento	28	34.78	Cumple
E - 031	Megaterium	10 ⁸	cel./ml	28	59.11	Cumple
E - 032	Megaterium	4%	arena	28	59.00	Cumple
E - 033	Flexus	10 ⁵	cel./ml	28	52.40	Cumple
E - 034	Licheniformis	5x10 ³	cel./ml	28	49.00	Cumple
E - 035	Cereus	5%	agua	28	33.80	Cumple
E - 036	Subtilis	10 ⁵	cel./ml	28	62.00	Cumple
	Halodurans				60.00	
E - 037	Pumilus	10 ⁶	cel./ml	28	39.00	Cumple
	Flexus				37.00	

E - 038	Subtilis	10^5	cel./ml	28	53.00	Cumple
	Radiodurans				60.00	
E - 039	E-coli	5%	cemento	28	30.60	No Cumple
	Pseudofirmus	5%			31.20	
	Subtilis	5%			29.90	
E - 040	Subtilis y Sphaericus	10^5	cel./ml	28	32.35	Cumple
E - 041	Pasteurii	0.50%	cemento	28	30.24	No Cumple
	Pseudofirmus	0.50%			33.69	
E - 042	Firmus	3×10^8	cel./ml	28	28.96	Cumple
	Paenibacillus				34.44	

Figura 7

Porcentaje de cumplimiento de los estudios con bacteria Bacillus analizadas en la resistencia a la compresión



3.2.2. RESULTADOS DE ESTUDIOS A LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BACTERIAS BACILLUS

El análisis de los resultados arrojados por la resistencia a la flexión con bacterias bacillus nos permite determinar si cumple o no, con la resistencia patrón, tal como se muestra en la Tabla 7 y posteriormente realizar un gráfico en el cual se muestre en porcentaje lo analizado, como se representa en la Figura 8.

Tabla 7

Análisis de la resistencia a la flexión los resultados de los estudios con bacterias de la especie Bacillus

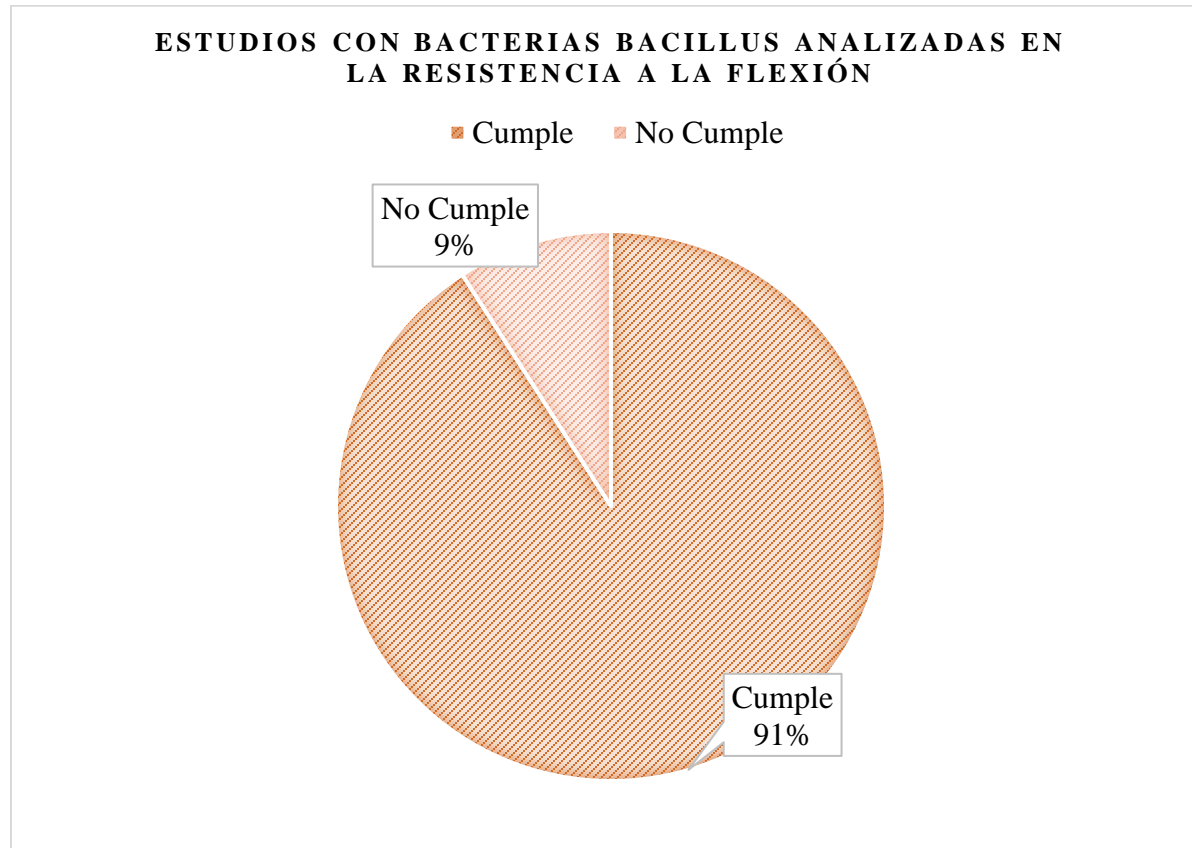
<i>N° Estudios</i>	<i>Bacteria</i>	<i>Forma de adición</i>		<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x %) Adición (MPa)</i>	<i>Resultado</i>
E - 002	Subtilis	3%	cemento	28	6.55	Cumple
E - 003	Subtilis	1.26%	cemento	28	7.80	Cumple
E - 004	Subtilis	2%	cemento	28	10.20	Cumple
E - 005	Subtilis	10%	cemento	28	5.62	Cumple
E - 009	Subtilis	5×10^3	cel./ml	28	6.50	Cumple
E - 011	Subtilis	10^5	cel./ml	28	5.13	Cumple

E - 012	Subtilis	10 ⁵	cel./ml	28	5.27	Cumple
E - 013	Subtilis	10 ⁸	cel./ml	28	6.75	Cumple
E- 015	Subtilis	10 ⁵	cel./ml	28	4.50	Cumple
E - 020	Subtilis	100	ml	28	4.20	Cumple
E - 023	Sphaericus	10 ⁵	cel./ml	28	5.20	Cumple
E - 024	Sphaericus	10 ⁶	cel./ml	28	7.40	Cumple
E - 028	Pseudofirmus	2.50%	cemento	28	7.64	Cumple
E - 030	Pasteurii	0.50%	cemento	28	7.45	No Cumple
E - 031	Megaterium	10 ⁸	cel./ml	28	7.25	Cumple

E - 032	Megaterium	4%	arena	28	9.60	Cumple
E - 035	Cereus	5%	agua	28	3.11	Cumple
E - 036	Subtilis Halodurans	10 ⁵	cel./ml	28	5.80 5.60	Cumple
E - 037	Pumilus Flexus	10 ⁶	cel./ml	28	8.30 7.20	Cumple
E - 039	E-coli Pseudofirmus Subtilis	5% cemento 5% cemento 5% cemento	cemento	28	5.30 5.50 5.10	Cumple
E - 040	Subtilis y Sphaericus	10 ⁵	cel./ml	28	8.55	Cumple
E - 041	Pasteurii Pseudofirmus	0.50% 0.50%	cemento	28	7.10 7.33	No Cumple

Figura 8

Porcentaje de cumplimiento de los estudios con bacteria Bacillus analizados en la resistencia a la flexión



3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS SEGÚN LAS BACTERIAS DE LA ESPECIE BACILLUS

3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN LAS BACTERIAS DE LA ESPECIE BACILLUS

La clasificación de los estudios por resistencia a la compresión se realizó separando a cada tipo de especie del género bacillus y se codificó a cada estudio tal como se muestra en la Tabla 8, asimismo se consideró llevar la información seleccionada a un gráfico el cual muestra en porcentaje en cantidad de estudios de acuerdo con el tipo de bacteria, tal como se detalla en la Figura 9.

Tabla 8

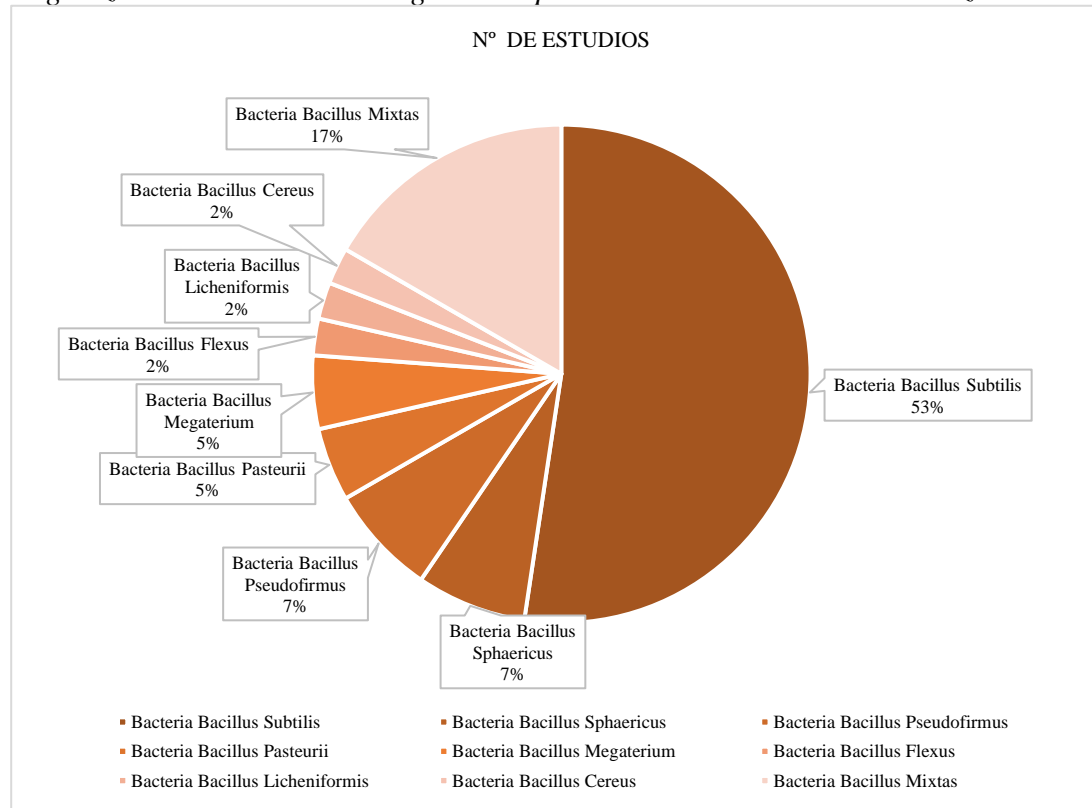
Clasificación de los estudios según las especies de bacterias Bacillus analizados en la resistencia a la compresión

		ESPECIE DE BACILLUS	CANT. ESTUDIOS	Nº ESTUDIOS
BACILLUS		Subtilis	22	E - 001 a E - 021
		Sphaericus	3	E - 022 a E - 025
		Pseudofirmus	3	E - 026 a E - 028
		Pasteurii	2	E - 029 a E - 030
		Megaterium	2	E - 031 a E - 032
		Flexus	1	E - 033
		Licheniformis	1	E - 034
		Cereus	1	E - 035
MIXTAS		Subtilis Halodurans	1	E - 036
		Pumilus Flexus	1	E - 037
		Subtilis Radiodurans	1	E - 038

E-coli	Pseudofirmus	Subtilis	1	E - 039
Subtilis y Sphaericus			1	E - 040
Pasteurii	Pseudofirmus		1	E - 041
Paenibacillus lactis	Firmus		1	E - 042
TOTAL			42	

Figura 9

Organización de los estudios según las especies de bacterias Bacillus analizadas en la resistencia a la compresión



3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SEGÚN LAS BACTERIAS DE LA ESPECIE

BACILLUS

La clasificación de los estudios por resistencia a la flexión se realizó separando a cada tipo de especie del género bacillus y se codificó a cada estudio tal como se muestra en la Tabla 9, asimismo se consideró llevar la información seleccionada a un gráfico el cual muestra en porcentaje en cantidad de estudios de acuerdo con el tipo de bacteria, tal como se detalla en la Figura 10.

Tabla 9

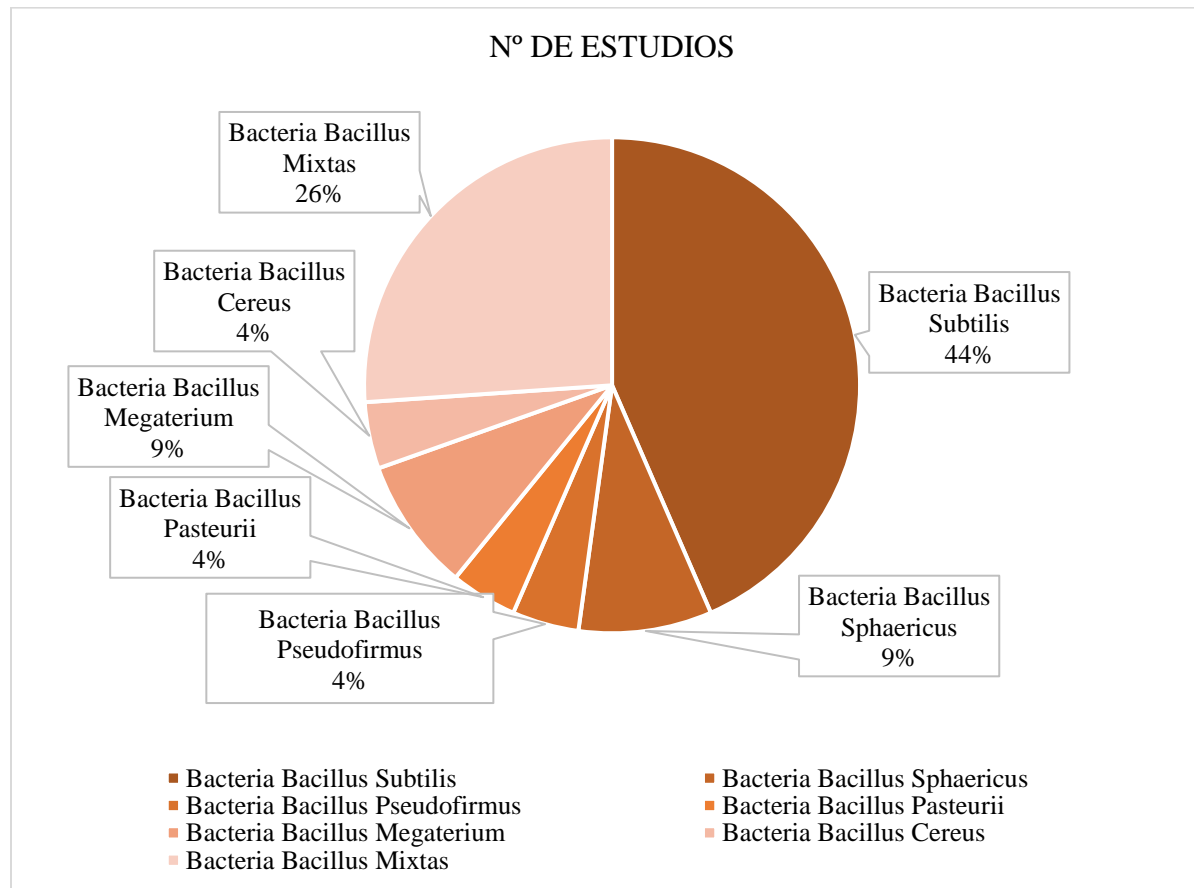
Clasificación de los estudios según las especies de bacterias Bacillus analizados en la resistencia a la flexión

ESPECIE DE BACTERIAS		CANT. ESTUDIOS	Nº ESTUDIOS
BACILLUS	Subtilis	10	E - 001 a E - 005, E - 009, E - 011 a E - 013, E - 015, E - 020
	Sphaericus	2	E - 023, E - 024
	Pseudofirmus	1	E - 028
	Pasteurii	1	E - 030
	Megaterium	2	E - 031 a E - 032
	Cereus	1	E - 035
	MIXTAS	Subtilis Halodurans	1
Pumilus Flexus		1	E - 037
E-coli Pseudofirmus Subtilis		1	E - 039
Subtilis y Sphaericus		1	E - 040

Pasteurii	Pseudofirmus	1	E - 041
Paenibacillus lactis	Firmus	1	E - 042
TOTAL		23	

Figura 10

Organización de los estudios según las especies de bacterias Bacillus analizadas en la resistencia a la flexión



3.4. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR LA FORMA DE COLOCACIÓN DE BACTERIAS EN LA MEZCLA

3.4.1. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON BACTERIAS EN SUSTITUCIÓN

Tabla 10

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 001	7%	cemento	13.32	28	17.57	
E - 002	3%	cemento	45.31	28	58.76	Subtilis
E - 003	1.26%	cemento	49.00	28	52.00	
E - 004	1%	cemento	33.90	28	34.80	
	2%				35.60	

E - 005	5%	cemento	48.12	28	51.46	
	10%				54.86	
	15%				49.22	
E - 006	0.25%	cemento	27.88	28	29.13	
E - 028	2.50%	cemento	19.70	28	21.55	Pseudofirmus
	5.00%				24.81	
E - 030	0.50%	cemento	31.92	28	34.78	Pasteurii

Figura 11

Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

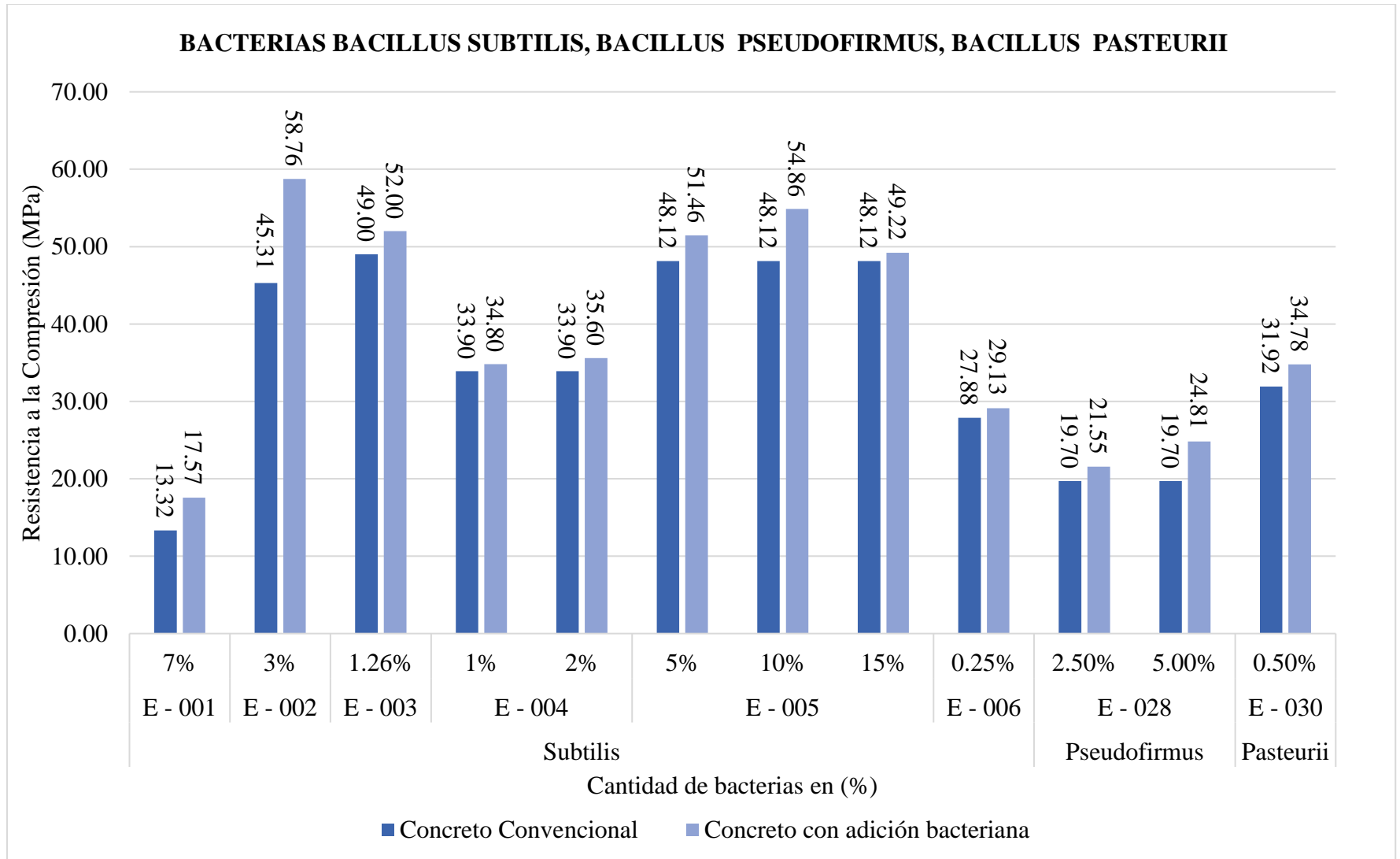


Tabla 11

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 027	30%	agua	57.62	28	73.40	Pseudofirmus
E - 035	1%	agua	29.90	28	31.67	Cereus
	3%				33.40	
	5%				33.80	

Figura 12

Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

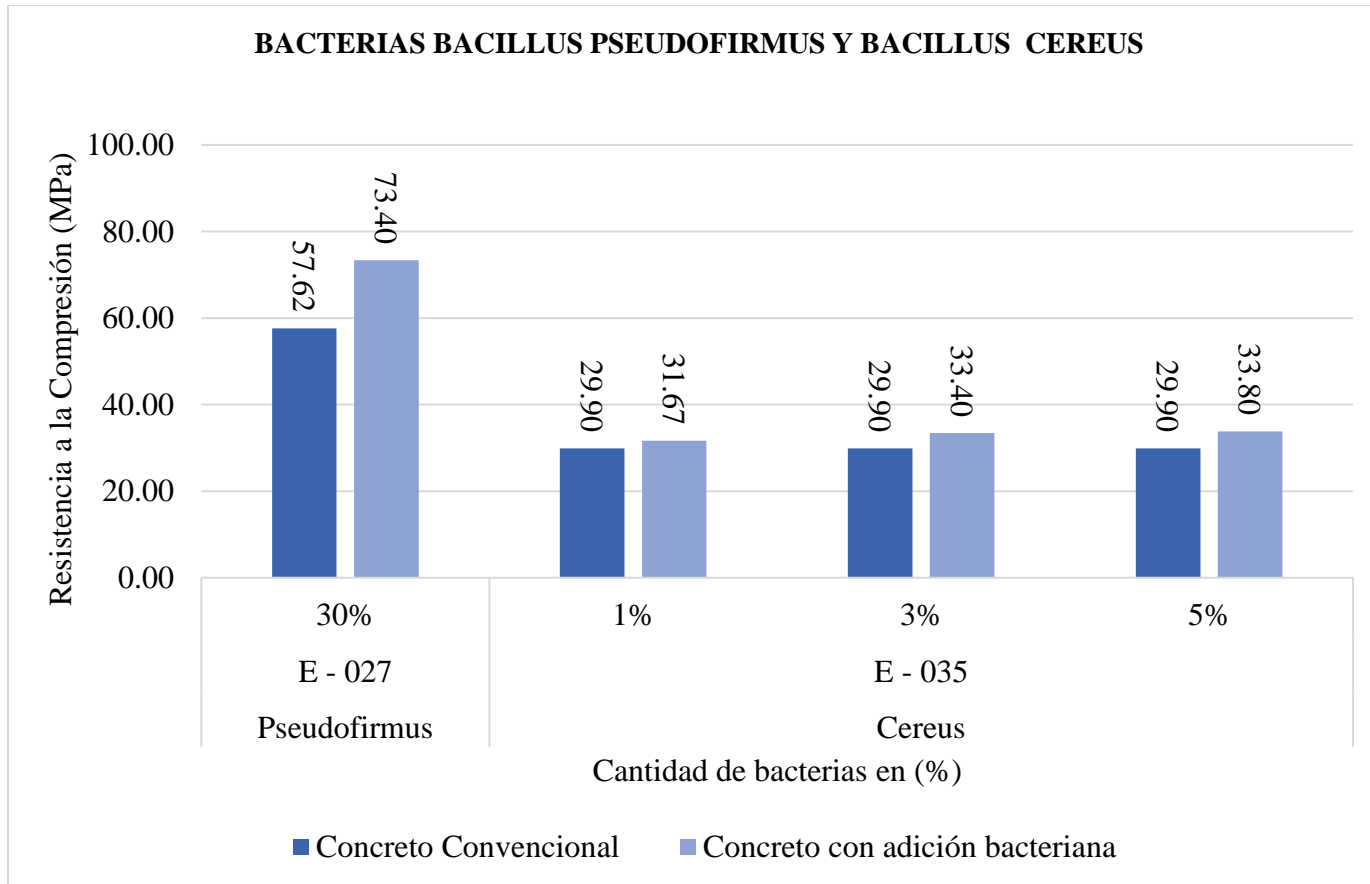


Tabla 12

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 032	4%	arena	56.00	28	59.00	Megaterium

Figura 13

Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

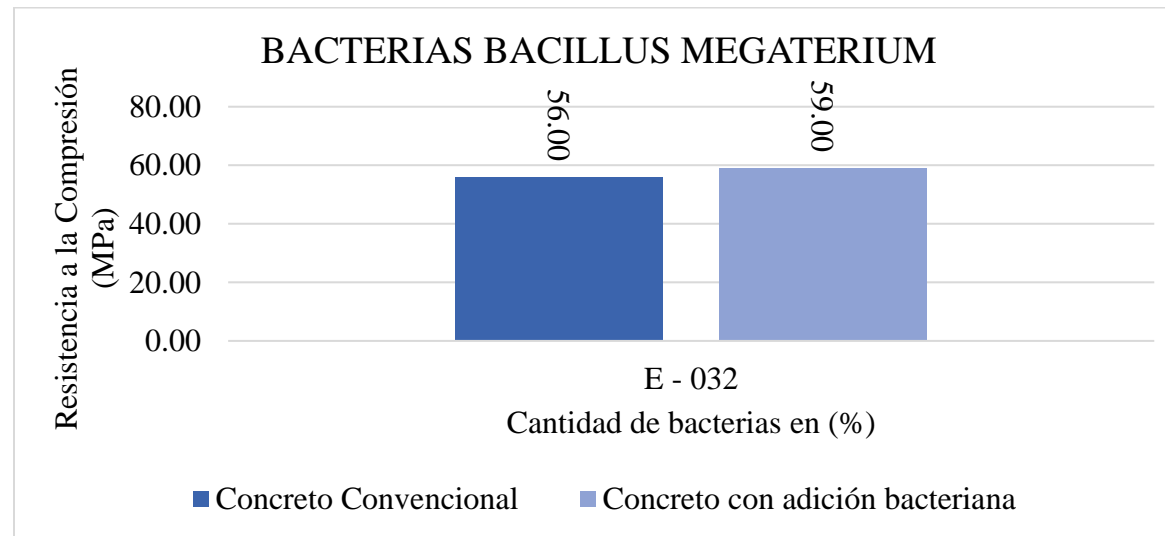


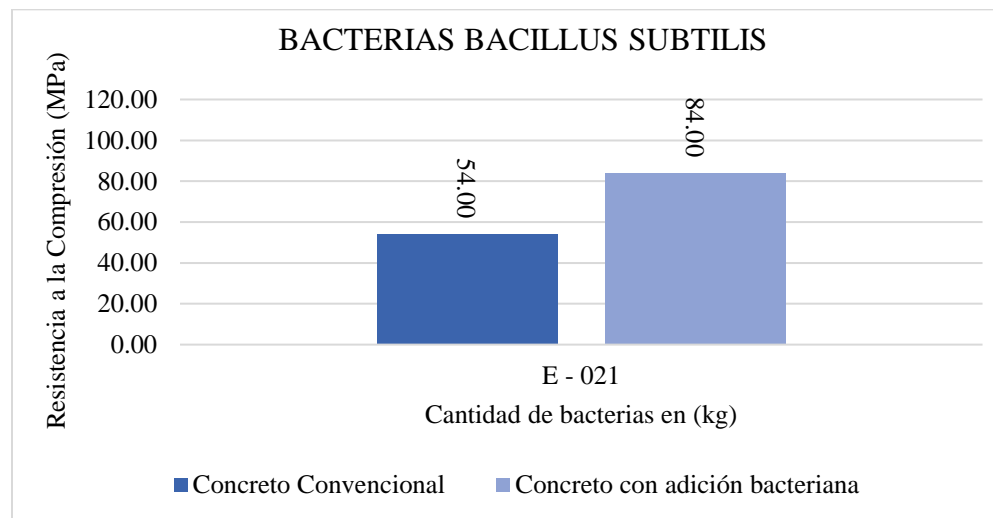
Tabla 13

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de sustitución en kilogramo (Kg) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 021	0.163	Kg	54.00	28	84.00	Subtilis

Figura 14

Resistencia a la compresión en forma de sustitución en kilogramo (Kg) de bacterias en la mezcla



3.4.2. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON BACTERIAS EN ADICIÓN

Tabla 14

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de adición en (ml/l) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 025	0.250	ml/l	21.00	28	24.00	Sphaericus

Figura 15

Resistencia a la compresión en forma de adición en (ml/l) de bacterias en la mezcla

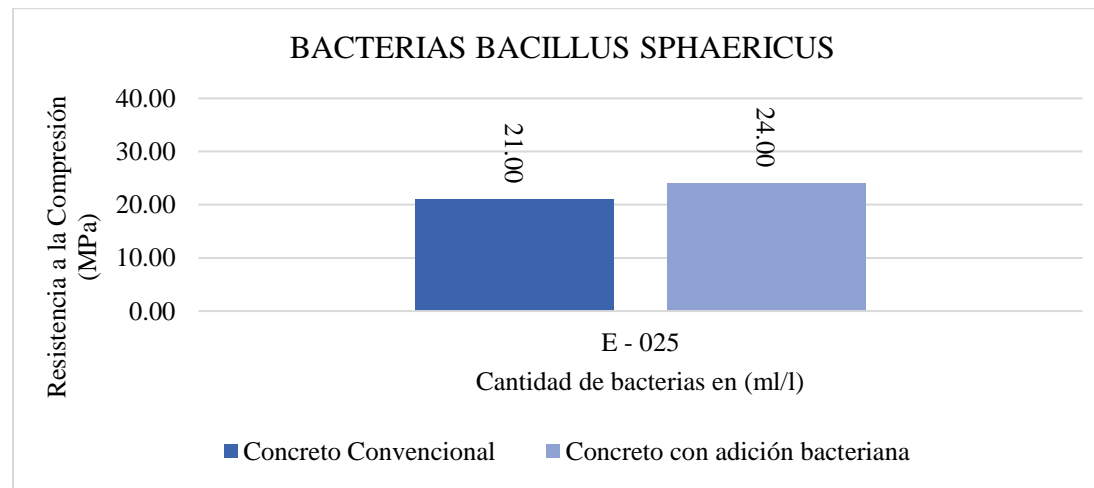


Tabla 15

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 007	10 ⁵	cel./ml	26.20	28	29.90	
E - 008	10 ⁶	cel./ml	33.40	28	40.20	
E - 009	5x10 ³	cel./ml	71.00	28	79.00	
E - 010	10 ³	cel./ml	34.00	28	47.00	Subtilis
	10 ⁴				27.00	
	10 ⁵				33.00	
	10 ⁶				41.00	
	10 ⁷				29.00	
E - 011	10 ⁵	cel./ml	51.19	28	60.17	
E - 012	10 ⁵	cel./ml	51.81	28	61.79	
E - 013	10 ⁸	cel./ml	55.20	28	65.70	

E - 014	56x10 ⁶	cel./ml	32.59	28	49.77	
E - 015	10 ⁵	cel./ml	46.00	28	59.00	
E - 016	<u>3x10⁷</u>	cel./ml	59.00	28	<u>49.40</u>	
	1.2x10 ⁸				50.10	
E - 017	3x10 ⁷	cel./ml	27.00	28	43.00	
E - 022	10 ⁵	cel./ml	29.00	28	35.00	
E - 023	<u>5x10⁵</u>	cel./ml	60.16	28	<u>65.69</u>	Sphaericus
	<u>5x10⁶</u>				<u>72.76</u>	
	<u>5x10⁷</u>				<u>69.30</u>	
	<u>5x10⁸</u>				<u>62.71</u>	
E - 024	10 ⁶	cel./ml	49.00	28	52.00	
E - 026	3x10 ⁷	cel./ml	52.00	28	59.00	Pseudofirmus
E - 029	5.5 x10 ⁶	cel./ml	33.00	28	44.00	Pasteurii
E - 031	10 ⁸	cel./ml	52.35	28	59.11	Megaterium
E - 033	10 ⁵	cel./ml	37.40	28	52.40	Flexus

E - 034	5×10^3	cel./ml	44.00	28	49.00	Licheniformis
----------------	-----------------	---------	-------	----	-------	---------------

Figura 16

Resistencia a la compresión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla

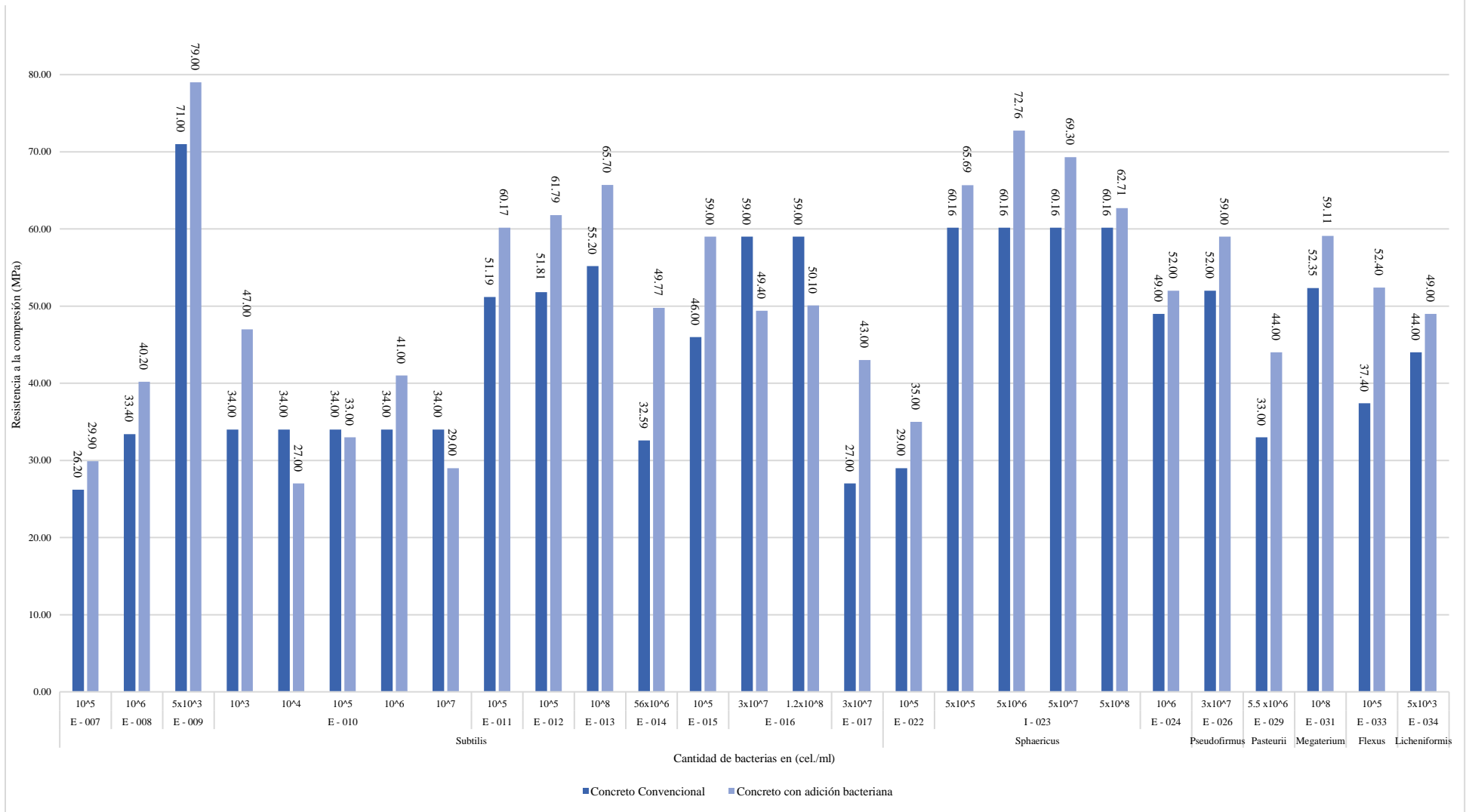


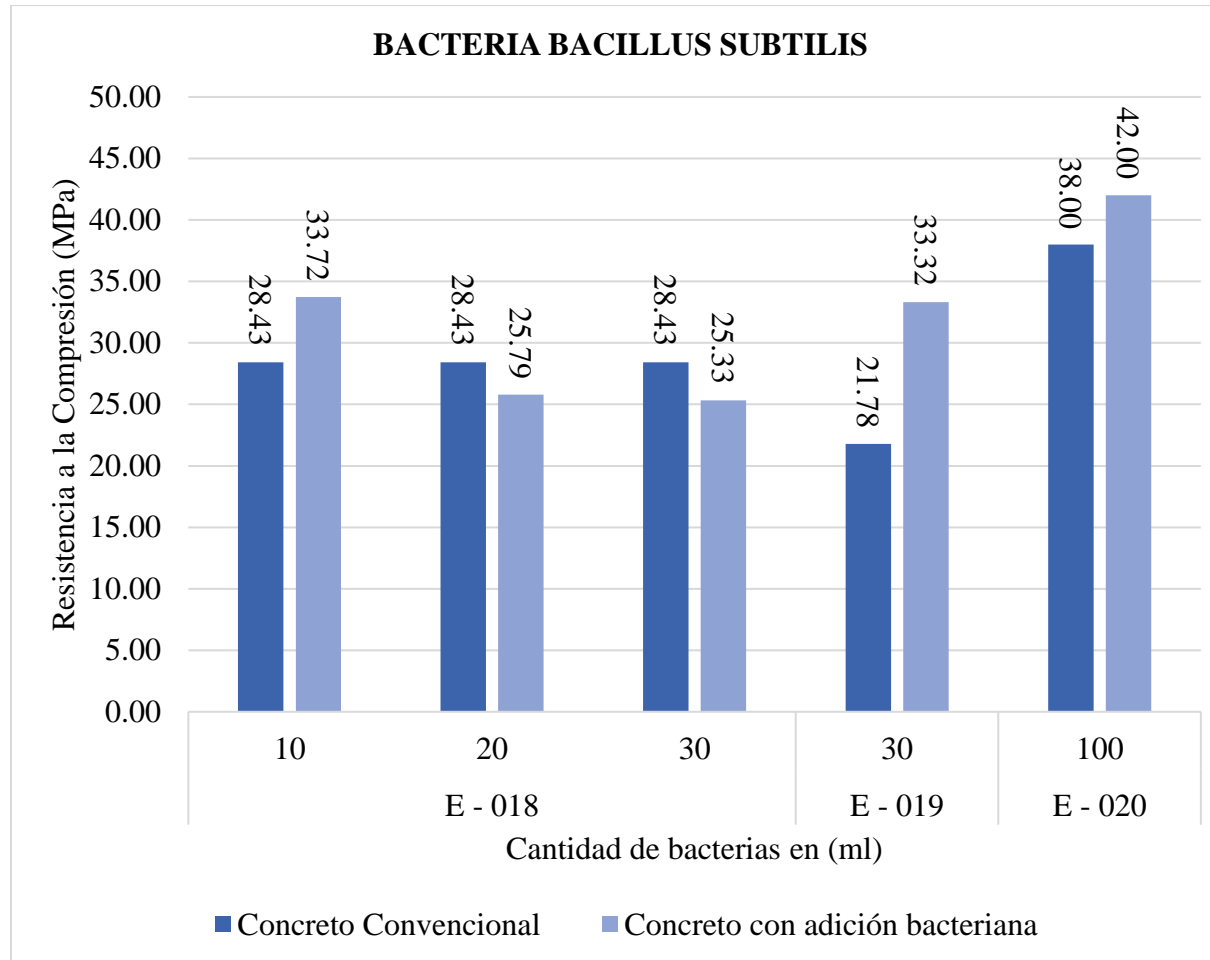
Tabla 16

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de adición en Mililitros (ml) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 018	10	ml	28.43	28	33.72	
	20				25.79	
	30				25.33	
E - 019	30	ml	21.78	28	33.32	Subtilis
E - 020	100	ml	38.00	28	42.00	

Figura 17

Resistencia a la compresión en forma de adición en Mililitros (ml) de bacterias en la mezcla



3.4.3. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON BACTERIAS MIXTAS EN SUSTITUCIÓN

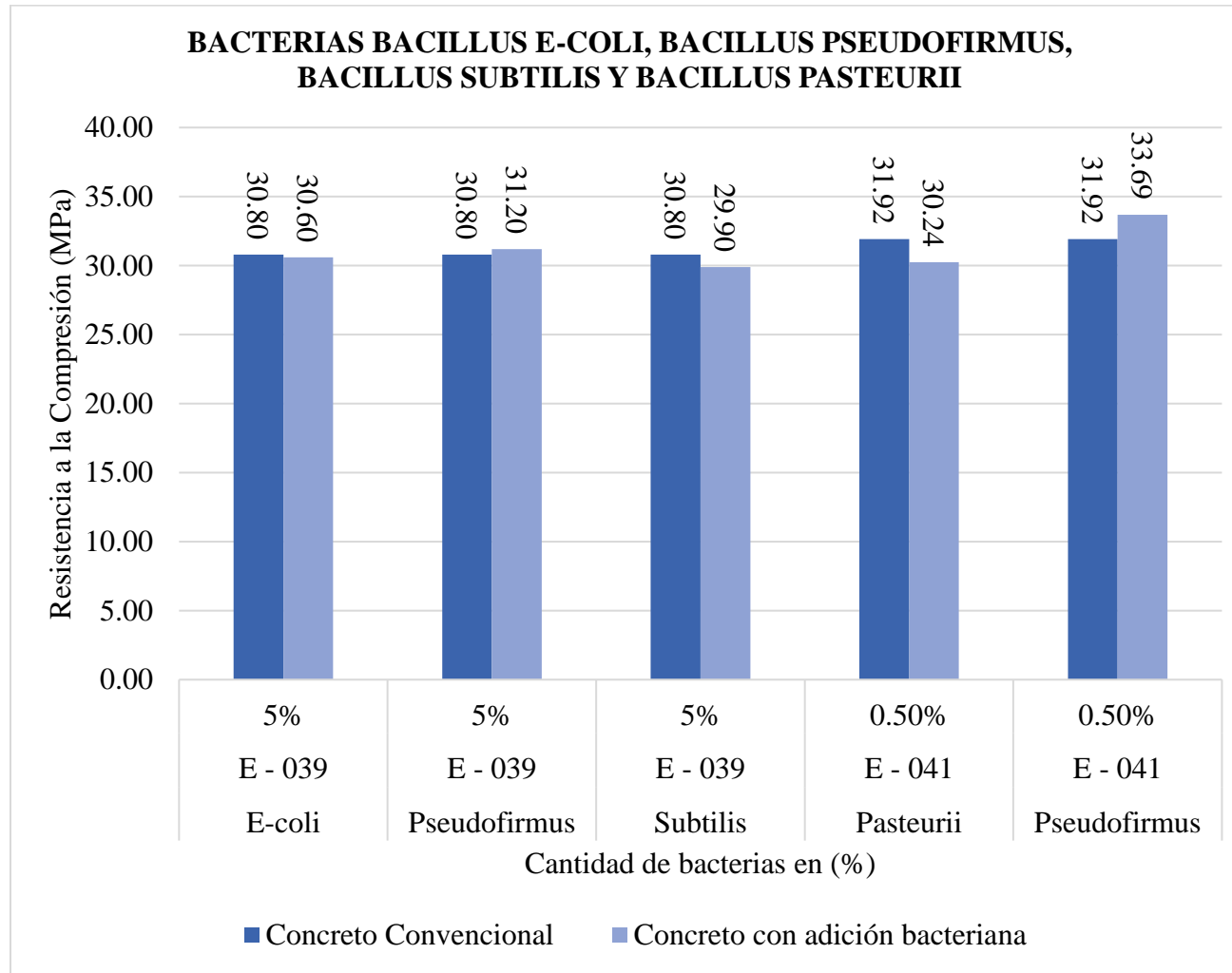
Tabla 17

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de adición en porcentaje (%) de bacterias mixtas en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 039	5%	cemento	30.80	28	30.60	E-coli
	5%				31.20	Pseudofirmus
	5%				29.90	Subtilis
E - 041	0.50%	cemento	31.92	28	30.24	Pasteurii
	0.50%				33.69	Pseudofirmus

Figura 18

Resistencia a la compresión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias mixtas en la mezcla



3.4.4. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON BACTERIAS MIXTAS EN ADICIÓN

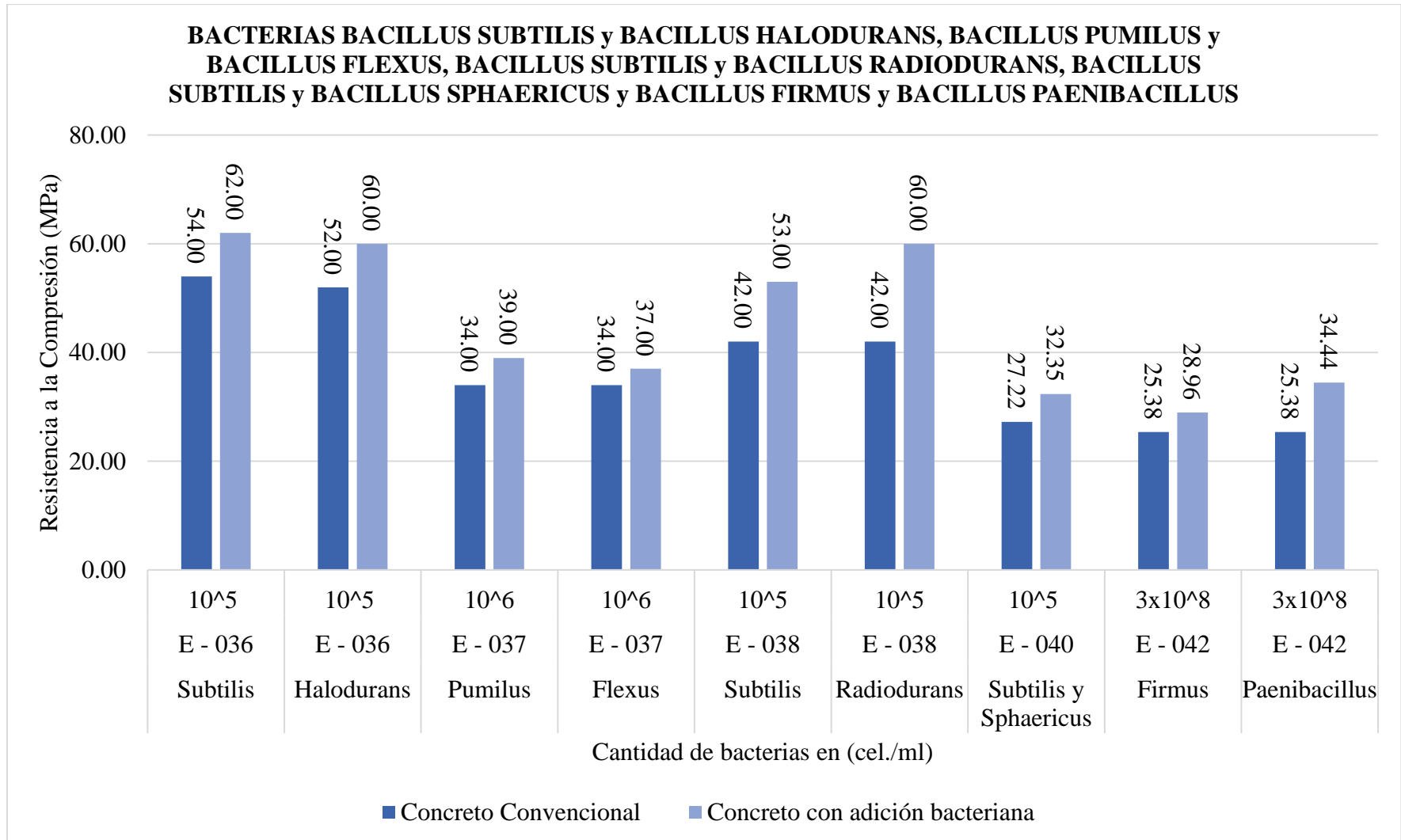
Tabla 18

Resultados de la resistencia a la compresión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias mixtas en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición de bacteria</i>		<i>Resistencia a la compresión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la compresión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 036	10 ⁵	cel./ml	54.00	28	62.00	Subtilis
			52.00		60.00	Halodurans
E - 037	10 ⁶	cel./ml	34.00	28	39.00	Pumilus
					37.00	Flexus
E - 038	10 ⁵	cel./ml	42.00	28	53.00	Subtilis
					60.00	Radiodurans
E - 040	10 ⁵	cel./ml	27.22	28	32.35	Subtilis y Sphaericus
E - 042	3x10 ⁸	cel./ml	25.38	28	28.96	Firmus
					34.44	Paenibacillus

Figura 18

Resistencia a la compresión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla



3.5. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN POR LA FORMA DE COLOCACIÓN DE BACTERIAS EN LA MEZCLA

3.5.1. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BACTERIAS EN SUSTITUCIÓN

Tabla 19

Resultados de la resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición</i>		<i>Resistencia a la flexión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 002	3%	cemento	6.48	28	6.55	
E - 003	1.26%	cemento	7.00	28	7.80	Subtilis
E - 004	1% 2%	cemento	8.40	28	9.60 10.20	
E - 005	5% 10%	cemento	5.26	28	5.46 5.62	

	15%				5.32	
E - 028	2.50%	cemento	6.58	28	7.64	Pseudofirmus
	5.00%				6.92	
E - 030	0.50%	cemento	7.78	28	7.45	Pasteurii

Figura 19

Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

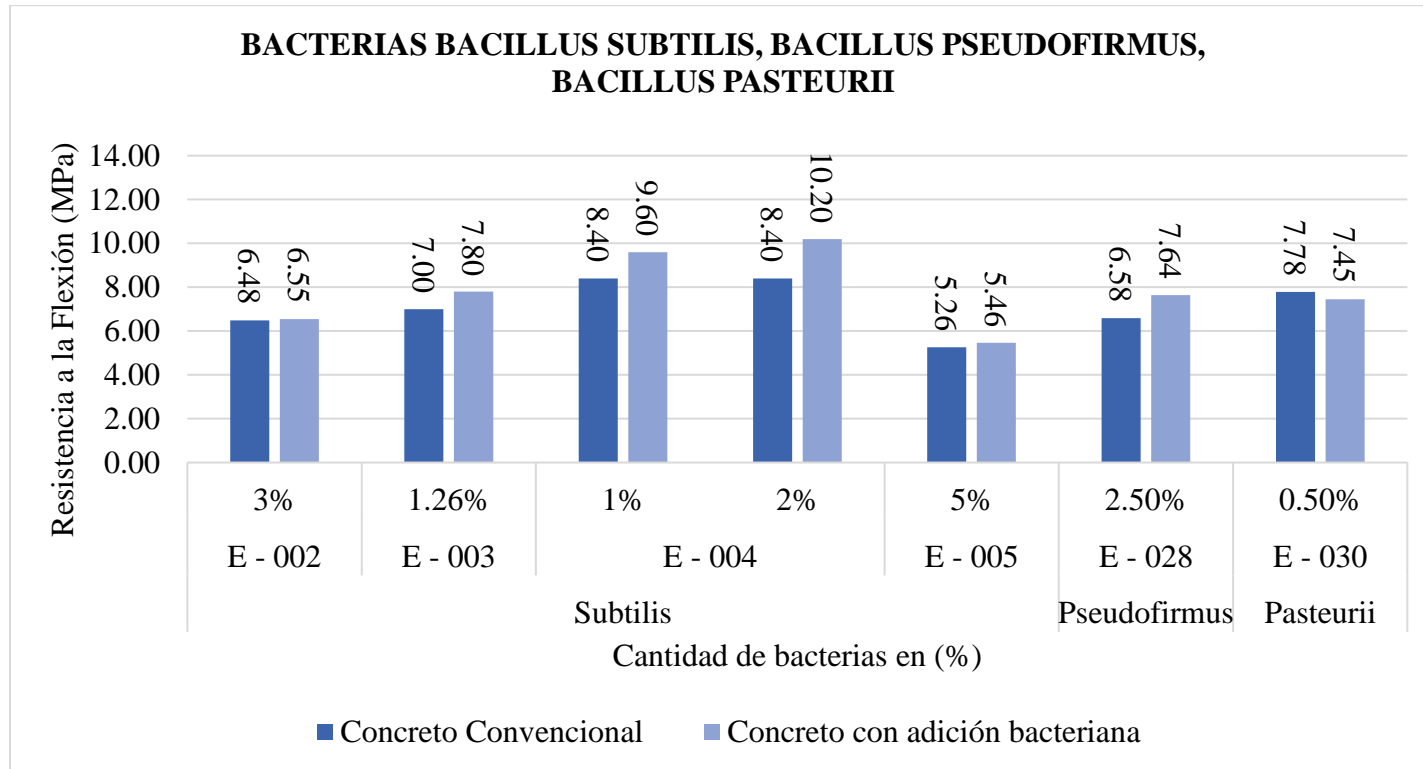


Tabla 20

Resultados de la resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición</i>	<i>Resistencia a la flexión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 032	4%	arena	28	9.60	Megaterium

Figura 20

Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

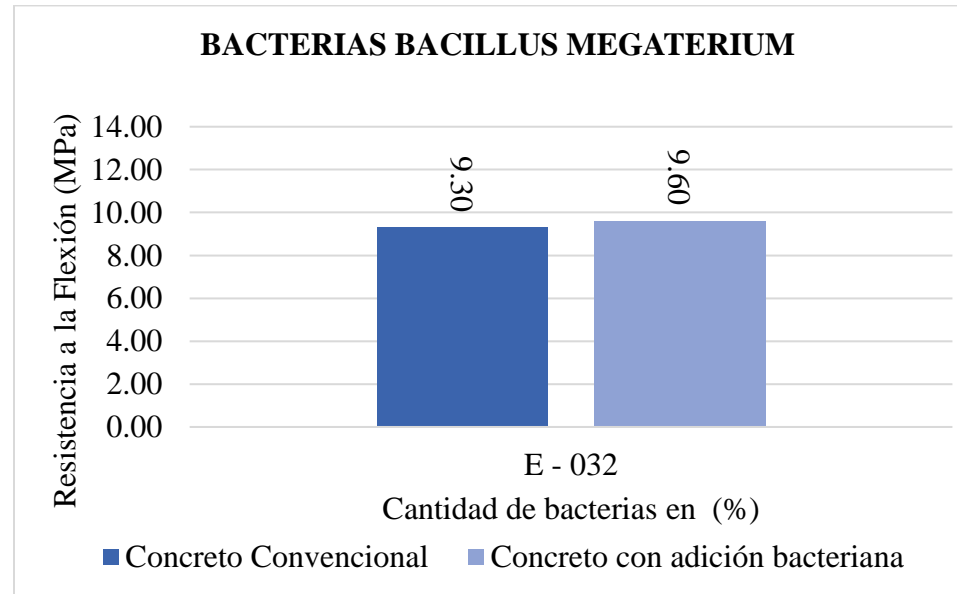


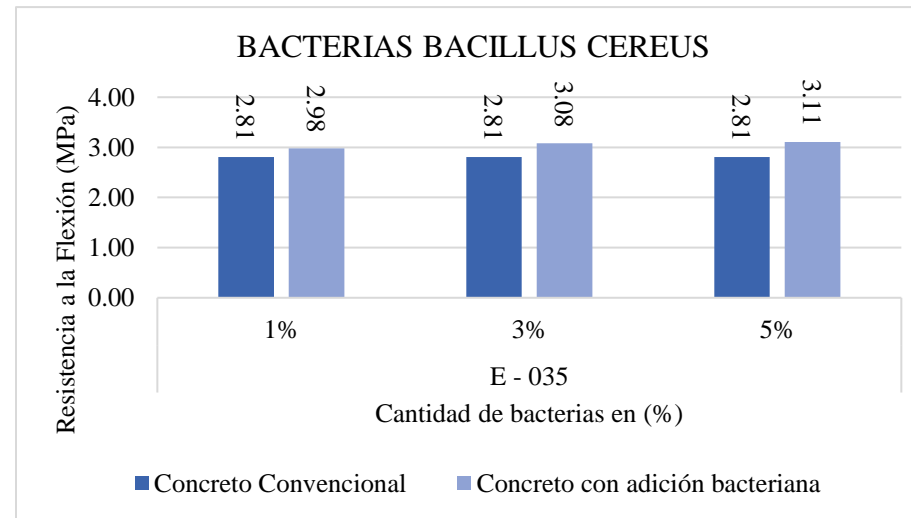
Tabla 21

Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición</i>	<i>Resistencia a la flexión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>	
E - 035	1%			2.98	Cereus	
	3%	agua	2.81	28		3.08
	5%					3.11

Figura 21

Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias en la mezcla



3.5.2. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BACTERIAS EN ADICIÓN

Tabla 22

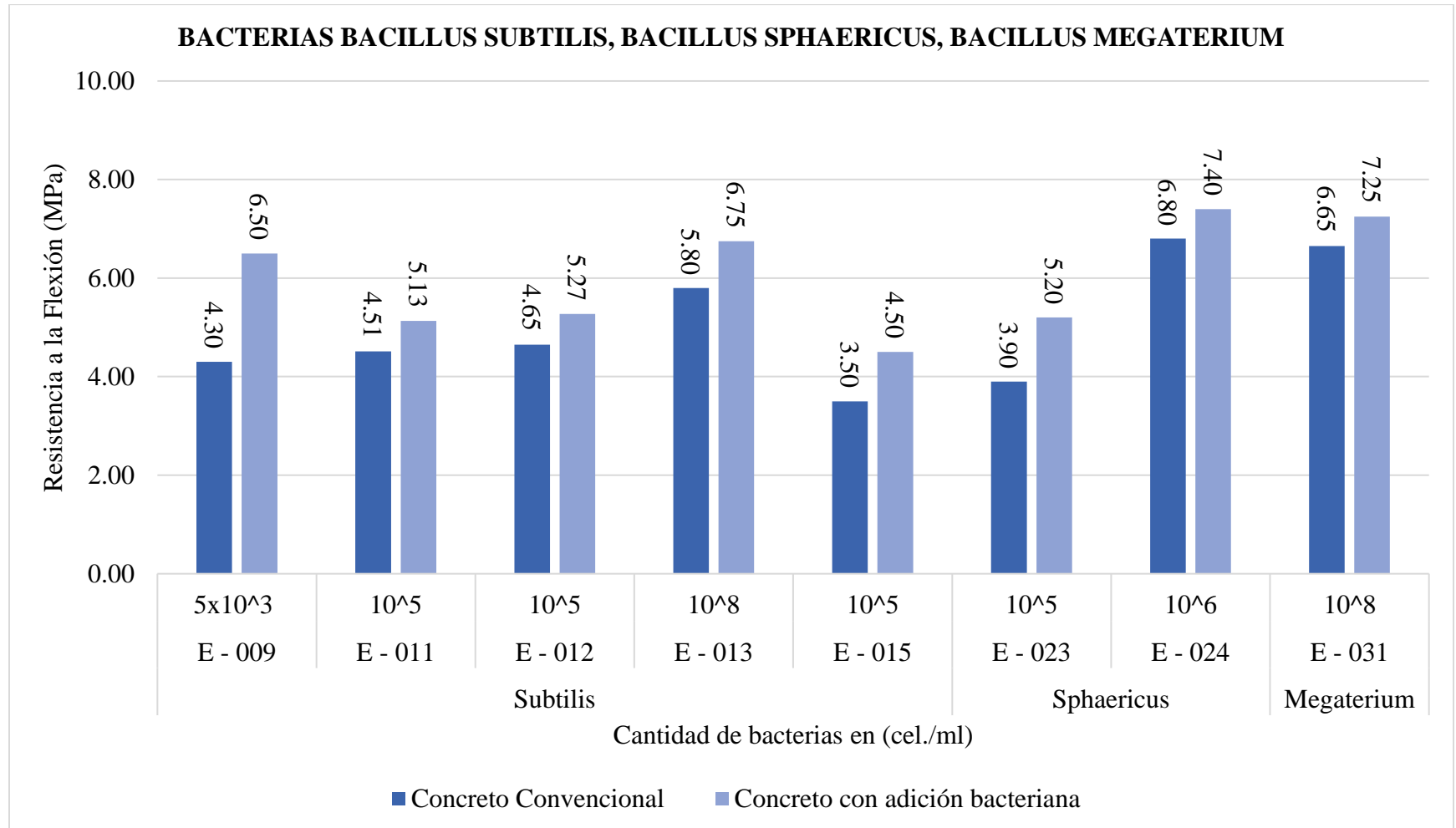
Resultados de la resistencia a la flexión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición</i>		<i>Resistencia a la flexión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 009	5x10 ³	cel./ml	4.30	28	6.50	
E - 011	10 ⁵	cel./ml	4.51	28	5.13	
E - 012	10 ⁵	cel./ml	4.65	28	5.27	Subtilis
E - 013	10 ⁸	cel./ml	5.80	28	6.75	
E - 015	10 ⁵	cel./ml	3.50	28	4.50	

E - 023	10^5	cel./ml	3.90	28	5.20	
E - 024	10^6	cel./ml	6.80	28	7.40	Sphaericus
E - 031	10^8	cel./ml	6.65	28	7.25	Megaterium

Figura 22

Resistencia a la flexión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias en la mezcla



3.5.3. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BACTERIAS MIXTAS EN SUSTITUCIÓN

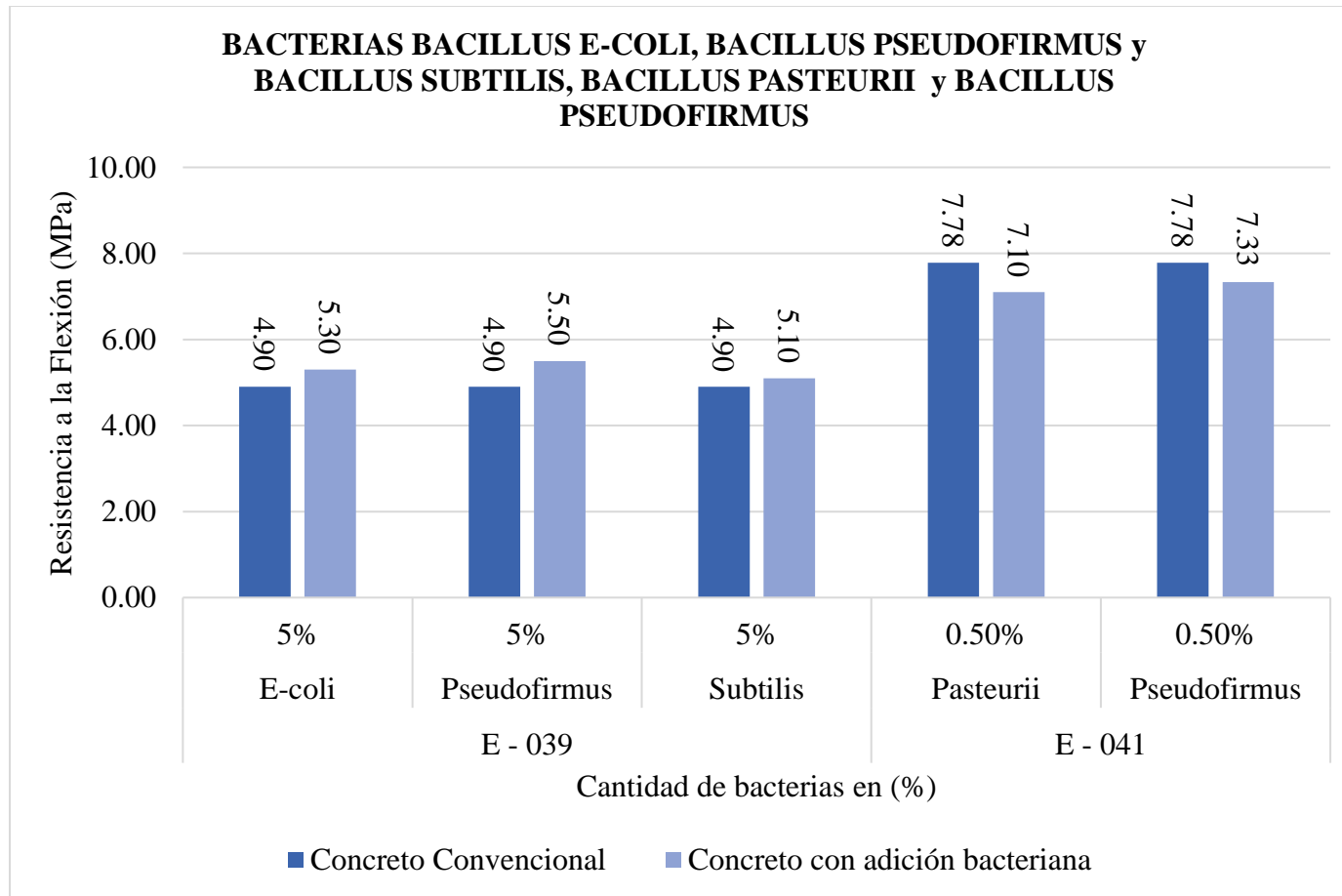
Tabla 23

Resultados de la resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias mixtas en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición</i>		<i>Resistencia a la flexión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 039	5% cemento	cemento	4.90	28	5.30	E-coli
	5% cemento				5.50	Pseudofirmus
	5% cemento				5.10	Subtilis
E - 041	0.50%	cemento	7.78	28	7.10	Pasteurii
	0.50%				7.33	Pseudofirmus

Figura 23

Resistencia a la flexión en forma de sustitución en porcentaje (%) de bacterias mixtas en la mezcla



3.5.4. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BACTERIAS MIXTAS EN ADICIÓN

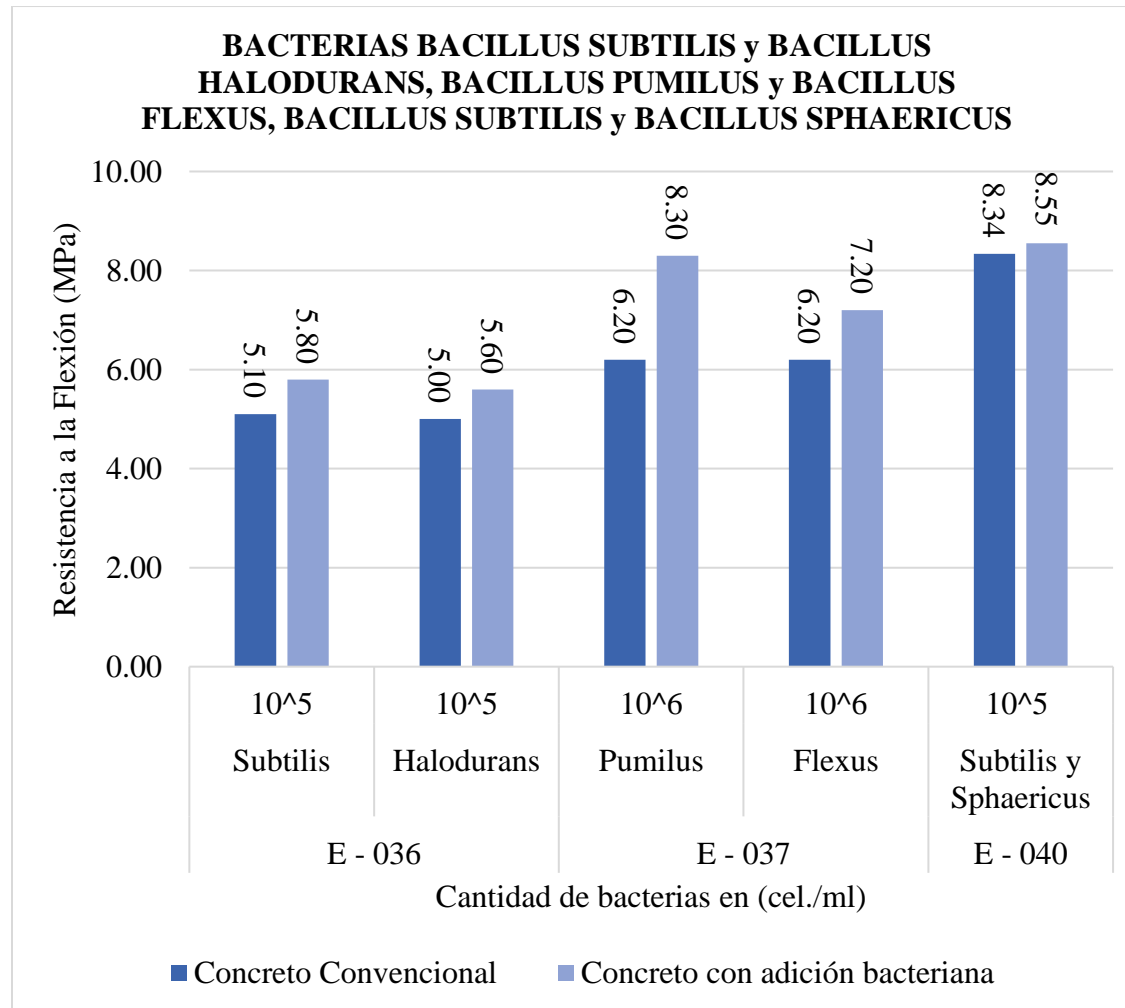
Tabla 24

Resultados de la resistencia a la flexión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias mixtas en la mezcla

<i>N° Estudio</i>	<i>Forma de adición</i>		<i>Resistencia a la flexión de concreto convencional (MPa)</i>	<i># días de curado</i>	<i>Resistencia a la flexión (x bacterias) (MPa)</i>	<i>Bacteria</i>
E - 036	10 ⁵	cel./ml	5.10	28	5.80	Subtilis
			5.00		5.60	Halodurans
E - 037	10 ⁶	cel./ml	6.20	28	8.30	Pumilus
					7.20	Flexus
E - 040	10 ⁵	cel./ml	8.34	28	8.55	Subtilis y Sphaericus

Figura 24

Resistencia a la flexión en forma de adición en (cel./ml) de bacterias mixtas en la mezcla



3.6. RESULTADOS EN PORCENTAJE DE LA VARIACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON BACTERIAS BACILLUS

Tabla 25

Porcentaje de la variación de resistencia a la compresión de las bacterias Bacillus

N° Estudio	Forma de adición de bacteria		Resistencia a	Resistencia	%	Bacteria	
			la compresión de concreto convencional (MPa)	a la compresión (x bacterias) (MPa)	Variación Resist. A la Compresión		
E - 001	7%	cemento	13.32	17.57	32%		
E - 002	3%	cemento	45.31	58.76	30%		
E - 003	1.26%	cemento	49.00	52.00	6%		
E - 004	1%	cemento	33.90	34.80	3%	Subtilis	
	2%			35.60	5%		
E - 005	5%	cemento	48.12	51.46	7%		
	10%			54.86	14%		
	15%			49.22	2%		
E - 006	0.25%	cemento	27.88	29.13	4%		
E - 007	10 ⁵	cel./ml	26.20	29.90	14%		
E - 008	10 ⁶	cel./ml	33.40	40.20	20%		
E - 009	5x10 ³	cel./ml	71.00	79.00	11%		

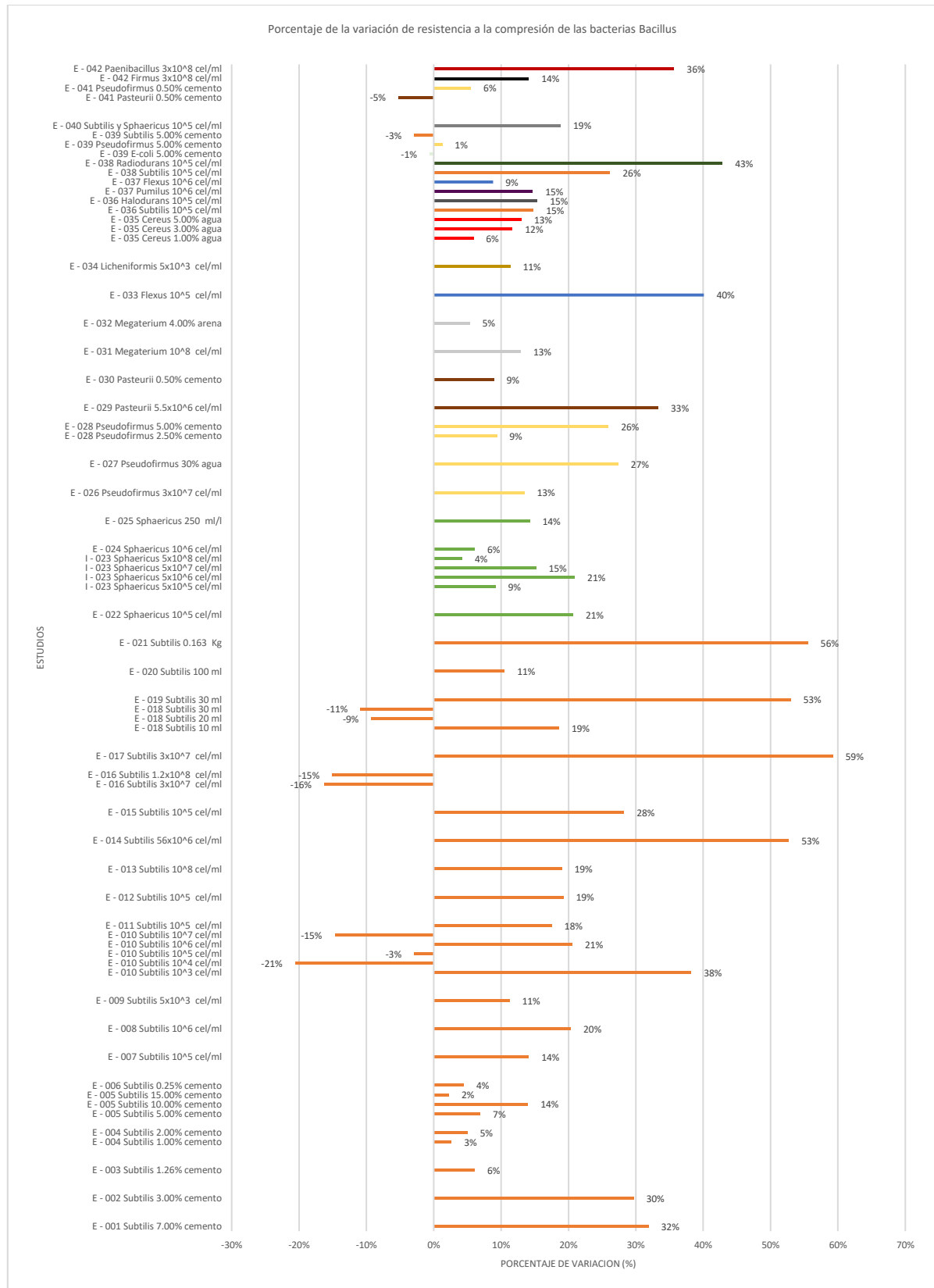
E - 010	10^3	cel./ml	34.00	47.00	38%	
	10^4			27.00	-21%	
	10^5			33.00	-3%	
	10^6			41.00	21%	
	10^7			29.00	-15%	
E - 011	10^5	cel./ml	51.19	60.17	18%	
E - 012	10^5	cel./ml	51.81	61.79	19%	
E - 013	10^8	cel./ml	55.20	65.70	19%	
E - 014	56×10^6	cel./ml	32.59	49.77	53%	
E - 015	10^5	cel./ml	46.00	59.00	28%	
E - 016	3×10^7	cel./ml	59.00	49.40	-16%	
	1.2×10^8			50.10	-15%	
E - 017	3×10^7	cel./ml	27.00	43.00	59%	
E - 018	10	ml	28.43	33.72	19%	
	20			25.79	-9%	
	30			25.33	-11%	
E - 019	30	ml	21.78	33.32	53%	
E - 020	100	ml	38.00	42.00	11%	
E - 021	0.163	Kg	54.00	84.00	56%	
E - 022	10^5	cel./ml	29.00	35.00	21%	Sphaericus
I - 023	5×10^5	cel./ml	60.16	65.69	9%	

	5×10^6			72.76	21%	
	5×10^7			69.30	15%	
	5×10^8			62.71	4%	
E - 024	10^6	cel./ml	49.00	52.00	6%	
E - 025	250	ml/l	21.00	24.00	14%	
E - 026	3×10^7	cel./ml	52.00	59.00	13%	
E - 027	30%	agua	57.62	73.40	27%	Pseudofirmus
E - 028	2.50%	cemento	19.70	21.55	9%	
	5.00%			24.81	26%	
E - 029	5.5×10^6	cel./ml	33.00	44.00	33%	
E - 030	0.50%	cemento	31.92	34.78	9%	Pasteurii
E - 031	10^8	cel./ml	52.35	59.11	13%	
E - 032	4%	arena	56.00	59.00	5%	Megaterium
E - 033	10^5	cel./ml	37.40	52.40	40%	Flexus
E - 034	5×10^3	cel./ml	44.00	49.00	11%	Licheniformis
E - 035	1%	agua	29.90	31.67	6%	Cereus
	3%			33.40	12%	
	5%			33.80	13%	
E - 036	10^5	cel./ml	54.00	62.00	15%	Subtilis
			52.00	60.00	15%	Halodurans

E - 037	10 ⁶	cel./ml	34.00	39.00	15%	Pumilus
				37.00	9%	Flexus
E - 038	10 ⁵	cel./ml	42.00	53.00	26%	Subtilis
				60.00	43%	Radiodurans
E - 039	5%	cemento	30.80	30.60	-1%	E-coli
				31.20	1%	Pseudofirmus
				29.90	-3%	Subtilis
E - 040	10 ⁵	cel./ml	27.22	32.35	19%	Subtilis y Sphaericus
E - 041	0.50%	cemento	31.92	30.24	-5%	Pasteurii
				33.69	6%	Pseudofirmus
E - 042	3x10 ⁸	cel./ml	25.38	28.96	14%	Firmus
				34.44	36%	Paenibacillus

Figura 25

Porcentaje de la variación de resistencia a la compresión de las bacterias Bacillus



3.7.RESULTADOS EN PORCENTAJE DE LA VARIACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BACTERIAS BACILLUS

Tabla 26

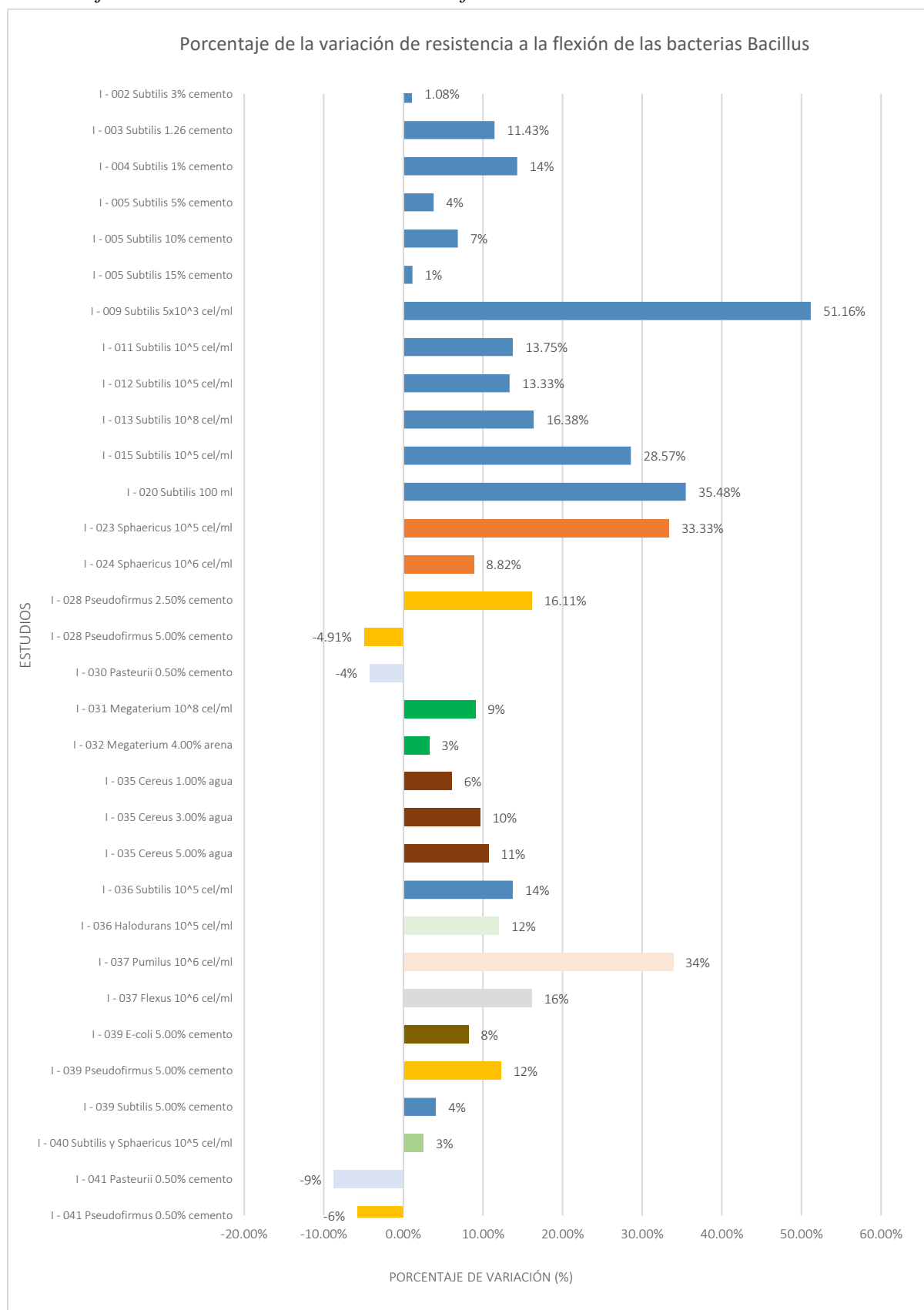
Porcentaje de la variación de resistencia a la flexión de las bacterias Bacillus

N° Estudios	Forma de adición	Resistencia a la flexión de concreto convencional l (MPa)	Resistencia a la flexión (x bacterias)(MPa)	% Variación Resist. A la Flexión	Bacteria
I - 002	3% cemento	6.48	6.55	1.08%	
I - 003	1.26% cemento	7.00	7.80	11.43%	
I - 004	1% cemento	8.40	9.60	14%	
	2% cemento		10.20	21%	
I - 005	5% cemento	5.26	5.46	4%	
	10% cemento		5.62	7%	
	15% cemento		5.32	1%	
I - 009	5x10 ³ cel./ml	4.30	6.50	51.16%	Subtilis
I - 011	10 ⁵ cel./ml	4.51	5.13	13.75%	
I - 012	10 ⁵ cel./ml	4.65	5.27	13.33%	
I - 013	10 ⁸ cel./ml	5.80	6.75	16.38%	
I - 015	10 ⁵ cel./ml	3.50	4.50	28.57%	
I - 020	100 ml	3.10	4.20	35.48%	

I - 023	10 ⁵	cel./ml	3.90	5.20	33.33%	
						Sphaericus
I - 024	10 ⁶	cel./ml	6.80	7.40	8.82%	
I - 028	2.50%	cemento	6.58	7.64	16.11%	Pseudofirmus
	5.00%			6.92	-4.91%	
I - 030	0.50%	cemento	7.78	7.45	-4%	Pasteurii
I - 031	10 ⁸	cel./ml	6.65	7.25	9%	
						Megaterium
I - 032	4%	arena	9.30	9.60	3%	
I - 035	1%	agua	2.81	2.98	6%	Cereus
	3%			3.08	10%	
	5%			3.11	11%	
I - 036	10 ⁵	cel./ml	5.10	5.80	14%	Subtilis
			5.00	5.60	12%	Halodurans
I - 037	10 ⁶	cel./ml	6.20	8.30	34%	Pumilus
				7.20	16%	Flexus
	5%	cemento		5.30	8%	E-coli
I - 039	5%	cemento	4.90	5.50	12%	Pseudofirmus
	5%	cemento		5.10	4%	Subtilis
I - 040	10 ⁵	cel./ml	8.34	8.55	3%	Subtilis y Sphaericus
I - 041	0.50%	cemento	7.78	7.10	-9%	Pasteurii
	0.50%			7.33	-6%	Pseudofirmus

Figura 26

Porcentaje de la variación de resistencia a la flexión de las bacterias Bacillus



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIÓN

En la presente investigación se realizó el análisis comparativo de las investigaciones sobre las variables planteadas de las propiedades mecánicas y bacterias *Bacillus*, obteniendo como resultado, la confirmación de la hipótesis propuesta ya que al incorporar las bacterias del género *Bacillus* dentro de la mezcla del concreto en su mayoría éstas aumentan la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión en porcentajes desde un 10% hasta un 70% con respecto al concreto patrón.

Asimismo, H. Jonkers, (2007), incorpora a las bacterias *Bacillus* en el concreto siendo una propuesta ideal, porque logra excelentes resultados en lo que corresponde resistencia a la compresión y a la flexión, asimismo, Saradha et al., (2019), obtiene resultados similares en su investigación, además de corroborar el sellado de grietas por el desarrollo del carbonato cálcico. Lo que nos permite a nosotros colocar como dato adicional es que en esta investigación, más del 90% de la recolección de estudios se obtiene que las muestras con adición de bacterias tienen mejor desempeño en los ensayos mecánicos estudiados, que se argumentarán con mejor detalle en la subdivisión adjunta.

4.1.1. *DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN*

En la tabla N° 6, se realizó un análisis con resultados de la resistencia a la compresión con bacterias *Bacillus*, asimismo, la forma de colocación de bacterias dentro del concreto, el día de curado que presenta, para así determinar, si cumple o no con la resistencia a la compresión patrón de cada estudio. Y de esta manera, en la Figura N° 7, presenta que el 93% de estudios cumplen con la resistencia a la compresión adecuada, mientras, el 7% no alcanza la resistencia a la compresión patrón.

En la tabla N°7, se realizó una clasificación de los estudios de acuerdo con las especies bacterianas Bacillus de las cuales se determinó mediante la Figura N° 8 que la especie Bacillus subtilis presenta el 53 % de estudios aplicados en la resistencia a la compresión.

4.1.1.1. Discusión de resultados de resistencia a la compresión en sustitución

En la figura N°11, se muestran a las investigaciones las cuales fueron diseñadas concreto con bacterias Bacillus subtilis, Bacillus pseudofirmus y Bacillus pasteurii en sustitución de porcentaje del peso del cemento. Para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso los reemplazos varían desde 0.25% hasta 15.00%. Para el concreto con bacterias Bacillus subtilis, se tiene que todas las muestras con diferentes porcentajes de reemplazo tienen mayor resistencia a la compresión que el concreto convencional, sin embargo, el mejor desempeño con respecto del concreto convencional lo obtuvo la muestra con 3% de reemplazo siendo un resultado de resistencia a la compresión de 58.76 MPa presentando un 29.68% superior que la muestra de concreto convencional, a pesar de que hay muestras con hasta con 15% de reemplazo el resultado que arrojan es de 54.86 MPa, determinando que es 14.00% mejor que la muestra convencional. Continuando, con respecto al concreto con bacterias Bacillus pseudofirmus, se analizó en dos tipos de porcentajes de sustitución, en este caso la que mejor desempeño obtuvo es la muestra con 5.00% que presentó una resistencia a la compresión de 24.81MPa, siendo 25.94% mayor que la muestra convencional. Por último, se analizó las bacterias Bacillus pasteurii en reemplazo de 0.50%, se obtuvo una resistencia a la compresión de 34.78 MPa, teniendo un 9.03% mejor desempeño que la muestra convencional. Por lo que se puede concluir que la

bacteria que presenta mayor resistencia a la compresión con respecto al concreto convencional es la bacteria *Bacillus subtilis*, además de que al reemplazar en exceso el peso del cemento se obtendrá una mayor resistencia a la compresión, pero no será lo óptimo, como ya quedo demostrado en la comparativa de la muestra del 3.00% de bacterias de reemplazo con la de 15.00%.

En la figura N°12, se presentan a las investigaciones las cuales fueron diseñadas concreto con bacterias *Bacillus pseudofirmus* y *Bacillus cereus* en sustitución de porcentaje del peso del agua. Para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado que se empleo fue de 28 días, en este caso los reemplazos van desde 1.00% hasta 30.00%. Para el análisis del concreto con bacterias *Bacillus pseudofirmus*, se obtuvo una resistencia a la compresión de 73.40 MPa, presentando el 27.39% mejor desempeño que el concreto convencional. Por otro lado, para la muestra de concreto con bacterias *Bacillus cereus*, tuvo un análisis en tres diferentes porcentajes, 1.00%, 3.00%, 5.00%, en este caso, la que mejor desempeño presenta es la muestra con 5.00%, obteniendo una resistencia a la compresión de 33.40 MPa, siendo 11.71 mayor que la muestra convencional.

En la figura N°13, se presenta la investigación de concreto con bacterias *Bacillus megaterium* en sustitución de porcentaje del peso de arena. Para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso el reemplazo es de 4.00% y se obtuvo una mayor resistencia a la compresión de 59 MPa presentando un 5.36% mejor desempeño que el concreto convencional. Por lo que se puede afirmar que el reemplazar el peso de la arena por bacterias del género *Bacillus* aporta de manera positiva a la resistencia a la compresión.

En la figura N°14, se presenta la investigación de concreto con bacterias *Bacillus subtilis* en sustitución de Kg del peso total de la muestra. Para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este estudio el reemplazo es de 0.163 Kg y se logró una mayor resistencia a la compresión de 84 MPa, siendo 55.55% mejor que el concreto convencional. Por lo que se puede decir que el reemplazo con respecto al peso total de la mezcla favorece también a la resistencia a la compresión.

En la figura N°18, se muestran a las investigaciones las cuales fueron diseñadas concreto con bacterias *Bacillus E-coli*, *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pasteurii*, en sustitución de porcentaje, del peso del cemento. Para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso los reemplazo van desde 0.50% hasta 5.00%. Para el concreto con bacterias *Bacillus e-coli*, se utilizó el reemplazo de 5% y se determinó que el rendimiento es menor que la resistencia a la compresión del concreto tradicional, de igual manera sucede con la muestra de la bacteria *Bacillus subtilis*. Por otro lado, la bacteria *Bacillus pseudofirmus* tuvo un mejor comportamiento, presento una resistencia a la compresión de 31.20 MPa, presentando 1.30% mejor que la resistencia a la compresión de la muestra convencional, lo mismo sucede con la muestra que tiene reemplazo del 0.50% de bacteria *Bacillus pseudofirmus*, presenta mejor desempeño, en este caso con mayor valor de resistencia a la compresión, 33.69 MPa, por lo que se puede concluir que la bacteria con mejor desempeño es la bacteria *Pseudofirmus*, ya que, con una menor cantidad de bacterias se obtiene una buena resistencia a la compresión.

De las figuras N°11, N°12, N°13, N°14 y N°18 se resuelve que la forma en la que se incorporaron las bacterias fue sustituyendo en peso de algún componente del concreto, ya sea porcentaje o kilogramos, estos aportan de manera significativa a la resistencia a la compresión, puesto que en todos los estudios presentados los valores arrojados se encuentran por encima de lo obtenido por la muestra de concreto convencional. Además, se puede afirmar que el mejor componente para ser sustituido por bacterias es el cemento, ya que, presenta buenos resultados de resistencia a la compresión, asimismo, al ser un material con mayor costo para la elaboración del concreto, convendría desde el punto de vista económico usar una menor cantidad de este e incorporar a las bacterias. Finalmente, de las bacterias utilizadas, la que mejor desempeño obtuvo fue la bacteria *Bacillus Subtilis*, porque presentó un porcentaje de 29.68% siendo el mejor comparándolo con las demás muestras de concreto con bacterias.

Estos resultados caen en concordancia con lo señalado por Prasad & Lakshmi, (2018) ya que en su estudio, menciona que, con un porcentaje óptimo de bacterias se podría mejorar resultados en la resistencia a la compresión, debido a que la permeabilidad de las muestras disminuye, producido por las bacterias que sellan los poros y/o grietas y al tener estas características conduciría a que se obtenga una mayor resistencia a la compresión, sin embargo, también demuestra que reemplazar en exceso el peso del cemento por material bacteriano no favorece óptimamente en compresión, los resultados se ven influenciados también por el medio de crecimiento, en este caso, el autor empleó lactato de calcio. Coincidiendo también con la investigación de Ahiwale & Khartode, (2021) en la que empleó bacterias *Bacillus Subtilis*, con el medio de crecimiento de lactato de calcio, en reemplazo en porcentaje

del peso del cemento pero con diferentes concentraciones de bacterias en cel./ml, en este caso, obteniendo mayores resultados de resistencia a la compresión en las muestras con adición bacteriana que en la muestra de concreto tradicional, además de encontrar un porcentaje óptimo de 0.5%.

4.1.1.2. Discusión de resultados de resistencia a la compresión en adición

En la figura N°15, se presenta la investigación de concreto con bacterias *Bacillus Sphaericus* la incorporación fue en adición, en ml/l, para realizar la comparación de las muestras con concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso la adición es de 0.250 ml/l. y se obtuvo una resistencia a la compresión de 24 MPa, 14.29% mejor que el concreto convencional.

En la figura N°16, se muestran a las investigaciones las cuales fueron diseñadas concreto con bacterias *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus pasteurii*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus flexus* y *Bacillus licheniformis*, la incorporación fue en adición, en cel./ml, para realizar la comparación de las muestras con concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días. En todas las muestras con adición de bacterias se obtuvo el mejor resultado de la resistencia a la compresión que el concreto convencional. Pero, en el caso de la muestra con concreto de adición de bacteria *Bacillus subtilis*, se determinó que el mejor rendimiento se logró con el agregado de bacterias en la concentración de 5×10^3 cel./ml y con 10^5 cel./ml, obteniendo resultados de resistencia a la compresión de 79 MPa y 49.77 MPa respectivamente, ambos resultados son mayores porcentualmente en 11.27% y 52.72% mayores que las muestras patrones, por lo que se resuelve que la mejor concentración en forma de adición al diseño de

mezcla del concreto es la que tiene 10^5 cel./ml, ya que en porcentaje, es mejor su desempeño en la resistencia a la compresión.

En la figura N°17, se presenta la investigación de concreto con bacterias *Bacillus subtilis*, la incorporación fue en adición, en ml, para realizar la comparación de las muestras con concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso la adición es de 10ml, 20ml, 30ml y 100ml. En este análisis hay muestras con adiciones que no tienen mejor desempeño que la muestra convencional, tal es el caso de la muestra de concreto con adición de 20 ml y 30 ml, caso contrario con la adición de 10ml y 100ml, pertenecientes a diferentes estudios y obtuvieron la resistencia a la compresión de 33.72 MPa y 42 MPa respectivamente, representando de esta manera en porcentajes de 18.61% y 10.53% mayor en comparación contra el concreto convencional, por lo que podemos afirmar que la cantidad con mejor desempeño es la que se usa 10ml de bacterias *Bacillus subtilis*.

En la figura N° 19, se muestran a las investigaciones las cuales fueron diseñadas concreto con bacterias *Bacillus subtilis*, *Bacillus halodurans*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus flexus*, *Bacillus radiodurans*, *Bacillus firmus*, *Bacillus Paenibacillus* y en combinación de *Bacillus subtilis* y *Bacillus sphaericus*, la incorporación fue en adición, en ml, para realizar la comparación de las muestras con concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso la adición es de 10^5 , 10^6 , 3×10^8 . En todas las muestras con adición de bacterias, se obtuvo favorables resultados de la resistencia a la compresión en comparación con la muestra convencional. En el caso de la muestra de concreto con adición de bacteria *Bacillus subtilis*, obtuvo una resistencia a la compresión de 62 MPa, lo mismo con la bacteria *Bacillus halodurans* presentó una resistencia a la compresión de 60 MPa, mientras la

bacteria *Bacillus pumilus* obtuvo una resistencia a la compresión de 39MPa, la bacteria *Bacillus flexus*, tuvo una resistencia a la compresión de 37 MPa, la bacteria *Bacillus radiodurans* presentó una resistencia a la compresión de 60 MPa, la bacteria *Bacillus firmus* obtuvo una resistencia a la compresión de 28.96 MPa y por último, la bacteria *Bacillus Paenibacillus* presentó una resistencia a la compresión de 34.44 MPa. Para finalmente determinar que la bacteria *Bacillus radiodurans* es la que más resalta, porque representa el 42.86% con mejor desempeño que la muestra convencional. Por lo que se puede afirmar que la que mayor resistencia a la compresión por valor lo obtuvo la bacteria *Bacillus subtilis*, sin embargo, porcentualmente, quien tuvo un mejor comportamiento fue la bacteria *Bacillus radiodurans*, todo esto en comparación con las demás bacterias analizadas.

De las figuras N°15, N°16, N°17 y N°19, se resuelve que la forma en la que se incorporaron las bacterias fue en adición, ya sea en cel./ml o ml, aportando de esta manera positivamente a la resistencia a la compresión, obteniendo que más del 90% de los estudios analizados arroja valores por encima que las muestras de concreto sin adición bacteriana, además de esto se puede afirmar que la mejor concentración de bacterias es de 5×10^3 cel./ml y 5×10^6 cel./ml, obteniendo una resistencia a la compresión de 79 MPa y 72.76 MPa, respectivamente y representan el 11.27%, 20.94%, por lo que a pesar de tener un mayor valor en la resistencia a la compresión, la que tendría mejor predominancia es la concentración de 5×10^6 cel./ml, porque tiene un buen comportamiento si se analiza porcentualmente en comparación al concreto tradicional. Por otro lado, en el caso de que tipo de bacteria del género *Bacillus* se elegiría para este método de inclusión de las bacterias en el diseño de mezcla, a la bacteria *Bacillus subtilis*, ya que se necesita una menor concentración de bacterias

para obtener resultados por encima de la muestra patrón, además de ser de similar a la resistencia a la compresión que la muestra *Bacillus sphaericus*. Finalmente, considerando la forma en la cual se añade las bacterias en forma de ml, se optaría por la opción de añadir 10ml, como se describe en la figura N°6 ya que una menor cantidad de bacterias ayudan a obtener una mayor resistencia a la compresión.

En cuanto a los resultados expuestos, concuerdan con Mondal et al., (2017), quién estudio las bacterias *Bacillus Cereus* y *Subtilis*, obtuvo valores mayores a la muestra de concreto convencional, además, confirma que los tipos de bacterias, que registra mayor desempeño en la resistencia a la compresión es la bacteria *Bacillus Subtilis*. Además coincide con lo publicado por Akindahunsi et al., (2021) quién evaluó en diferentes concentraciones a las bacterias y obtiene resultados mayores a la muestra patrón, además coincidiendo con lo expuesto, en que no necesariamente una mayor cantidad de concentración de cel./ml presenta una mayor resistencia a la compresión.

Finalmente, para concluir en la figura N° 26, ambas formas de inclusión de bacterias, por sustitución de algún material dentro de la mezcla del concreto o por adición de bacterias, son buenas. Sin embargo, se resuelve que la mejor forma sería emplear el método de sustitución, ya que desde el punto de vista técnico, se obtiene mayores valores en la resistencia a la compresión, además, que todos los estudios analizados presentan datos superiores en comparación con el concreto convencional a diferencia del método de adición de bacterias que al colocar distintas concentraciones, presentan algunos valores de resistencia a la compresión menores al concreto convencional. Por otro lado, otro punto a favor del método de sustitución es que presenta mejor desempeño cuando se reemplaza en el peso del cemento, por lo que

significaría menor costo en la elaboración del concreto. Asimismo, el tipo de bacteria a utilizar sería la bacteria bacillus subtilis, ya que presenta datos con mayor diferencia porcentual con respecto a la resistencia a la compresión del concreto convencional, además de tener los valores más altos en los diferentes diseños descritos.

4.1.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

En la tabla N° 8, se seleccionaron los estudios que presentan resistencia a la flexión, para posteriormente realizar un análisis con los resultados de la resistencia a la flexión con bacterias Bacillus, asimismo, la forma de colocación de bacterias dentro del concreto, el día de curado que presenta, para así determinar, si cumple o no con la resistencia a la flexión patrón de cada estudio. Y de esta manera, en la Figura N° 9 presenta que el 91% de estudios cumplen con la resistencia a la flexión adecuada, mientras, el 9% no alcanza la resistencia a la flexión patrón.

En la tabla N° 9, se realizó una clasificación de los estudios de acuerdo con las especies bacterianas Bacillus de las cuales se determinó mediante la Figura N° 10 que la especie Bacillus Subtillis presenta el 44 % de estudios aplicados en la resistencia a flexión.

4.1.2.1. Discusión de resultados de resistencia a la flexión en sustitución

En la figura N°20, se presentan las investigaciones en las que se diseñó el concreto con bacterias Bacillus subtilis, Bacillus pseudofirmus y Bacillus pasteurii, las cuales fueron colocadas en sustitución de porcentaje del peso de cemento, para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado fue 28 días, en este caso los reemplazo van desde 0.25% hasta 5.00%. Para el concreto con bacterias Bacillus subtilis, se tiene que todas las muestras con diferentes porcentajes de sustitución tuvieron valores favorables, sin embargo, el mejor desempeño con

respecto del concreto convencional lo obtuvo la muestra con 2% de reemplazo presentó una resistencia a la flexión de 10.20 MPa, siendo un 21.43% mejor que la muestra convencional, a pesar de que hay muestras con hasta 5% de reemplazo el valor que se tiene en cuanto a la resistencia a la flexión es de 5.46 MPa, siendo un 3.80% mejor que la muestra convencional lo que indica que no siempre un mayor porcentaje de reemplazo del peso del cemento termina influyendo de mejor manera en la resistencia a la flexión.

En la figura N°21, se presenta la investigación en la que se diseñó el concreto con bacterias *Bacillus megaterium*, la cual fue colocada en sustitución de porcentaje del peso de arena, para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado fue 28 días, en este caso el reemplazo fue de 4.00%. Para el análisis del concreto con bacteria *Bacillus megaterium*, presentó una resistencia a la flexión de 9.60 MPa, lo que representa un 3.23% mejor logro que la muestra de concreto convencional.

En la figura N°22, se presenta la investigación en la que se diseñó el concreto con bacterias *Bacillus Cereus* la cual fue colocada en sustitución de porcentaje del peso del agua, para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado fue 28 días, en este caso el reemplazo considerado es de 1.00%, 3.00% y 5.00%, quien obtuvo mayor resistencia a la compresión fue la muestra de 5.00% de reemplazo, tuvo una resistencia a la flexión de 3.11 MPa, siendo 10.68% mejor que el concreto convencional. Por lo que se puede afirmar que el reemplazar el peso del agua por bacterias del género *Bacillus* aporta de manera significativa a la resistencia a la flexión.

En la figura N°24, se presentan las investigaciones en las que se diseñó el concreto con bacterias *Bacillus E-coli*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pseudofirmus* y *Bacillus pasteurii*, las cuales fueron colocadas en sustitución de porcentaje del peso de cemento, para comparar las muestras con el concreto convencional el tiempo de curado fue 28 días, en este caso el reemplazo fue de 0.50% y 5.00% y se obtuvo una mayor resistencia a la flexión con la muestra de 5% de reemplazo usando la bacteria *Bacillus Pseudofirmus*, teniendo como resultado una resistencia a la flexión de 5.50 MPa, siendo 12.25% mayor que el concreto convencional, caso similar presento el análisis de las muestras con bacterias *Bacillus E-coli* y *Bacillus subtilis*, sin embargo, al emplear las bacterias *Bacillus pasteurii* y *Bacillus pseudofirmus* con un reemplazo de 0.50% presento resultado que van por debajo del concreto patrón convencional. Por lo tanto, se puede deducir que el reemplazo con respecto al peso del cemento favorece también a la resistencia a la flexión, empleando las bacterias *Bacillus E-coli*, *Bacillus pseudofirmus* y *Bacillus subtilis*.

De las figuras N°20, N°21, N°22 y N°24, se determina que la forma en la que se incorporaron las bacterias fue sustituyendo en peso de algún componente del concreto, ya sea porcentaje, estos aportan de manera significativa a la resistencia a la flexión, puesto que en todos los estudios presentados los valores arrojados se encuentran por encima de lo obtenido por la muestra de concreto convencional. Además, se puede afirmar que el mejor componente para ser sustituido por bacterias es el cemento, ya que, presenta buenos resultados de resistencia a la flexión, por ser un material con mayor costo para la elaboración del concreto, convendría desde el punto de vista económico usar una menor cantidad de este e incorporar a las bacterias. Finalmente, de las bacterias utilizadas, la que mejor desempeño obtuvo fue la bacteria

Bacillus subtilis, porque presento un porcentaje de 21.43%, siendo el mejor comparándolo con las demás muestras de concreto con bacterias.

Estos resultados caen en concordancia con lo señalado por Prasad & Lakshmi, (2018) ya que en su estudio, menciona que, con un porcentaje óptimo de bacterias se podría mejorar resultados en la resistencia a la tracción, debido a que la permeabilidad de las muestras disminuye, producido por las bacterias que sellan los poros y/o grietas y al tener estas características conduciría a que se obtenga una mayor resistencia a la compresión, sin embargo, también demuestra que reemplazar en exceso el peso del cemento por material bacteriano no favorece óptimamente en compresión, los resultados se ven influenciados también por el medio de crecimiento, en este caso, el autor empleo lactato de calcio. Coincidiendo también con la investigación de Ahiwale & Khartode, (2021) en la que empleo bacterias *Bacillus Subtilis*, con el medio de crecimiento de lactato de calcio, en reemplazo en porcentaje del peso del cemento pero con diferentes concentraciones de bacterias en cel./ml, en este caso, obteniendo mayores resultados de resistencia a la tracción en las muestras con adición bacteriana que en la muestra de concreto tradicional, además de encontrar un porcentaje óptimo de 0.5%.

4.1.2.2. Discusión de resultados de resistencia a la flexión en adición

En la figura N°23, se presentan las investigaciones en las que se diseñó el concreto con bacterias *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus megaterium*, la incorporación fue en adición, en cel./ml, para realizar la comparación de las muestras con concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días. En todas las muestras con adición de bacterias se obtuvo resultados favorables en cuanto a la resistencia a la flexión en comparación con el concreto patrón convencional. En el

caso de la muestra de concreto con adición de bacteria *Bacillus subtilis* y *Bacillus sphaericus*, se obtuvo que el mejor rendimiento se logró con la concentración de 5×10^3 cel./ml y con 10^5 cel./ml respectivamente, obteniendo una resistencia a la flexión de 6.50 MPa y 7.40 MPa respectivamente, ambos resultados porcentualmente en 51.16% y 8.82% mejor que la muestra sin adición con bacterias. Finalmente, se determina que la mejor concentración en forma de adición al diseño de mezcla del concreto es la que tiene 5×10^3 cel./ml con la bacteria *Bacillus subtilis*, ya que, en porcentaje, obtiene un buen desarrollo en la resistencia a la flexión.

En la figura N°25, se presentan las investigaciones en las que se diseñó el concreto con bacterias *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus halodurans*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus flexus*, y la combinación de *Bacillus subtilis* y *Bacillus sphaericus* la incorporación fue en adición, en cel./ml, para realizar la comparación de las muestras con concreto convencional el tiempo de curado que se utilizó fue de 28 días, en este caso la adición es de 10^5 cel./ml y 10^6 cel./ml y se alcanzó una mayor resistencia a la flexión con la muestra de la combinación de las bacterias *Bacillus subtilis* y *Bacillus sphaericus* y la muestra con bacterias *Bacillus pumilus*, teniendo una resistencia a la flexión de 8.55 MPa y 8.30 MPa respectivamente, siendo 2.52% y 33.87%, mejor que el concreto convencional. Es por ello por lo que, al obtener resultados similares se optaría por el resultado con mayor crecimiento porcentual sobre la muestra de concreto convencional, en este caso sería la muestra con bacterias *Bacillus pumilus*.

De las figuras N° 22 y 24, se determina que la mejor concentración de adición de bacterias en el diseño de mezcla para la elaboración de concreto es la de 5×10^5 cel./ml, ya que a pesar de tener una valor menor en la resistencia a la flexión de

7.40MPa, la muestra con adición bacteriana *Bacillus Pumilus* presenta una resistencia a la flexión de 8.55 MPa presenta un mayor crecimiento porcentual sobre la muestra convencional, por lo que se menciona que es mucho mejor, en cuanto al tipo de bacteria, se seleccionó la bacteria *Bacillus Subtilis*, ya que es la que obtuvo mayor crecimiento porcentual.

Estos resultados caen en concordancia con lo señalado por Rao et al., (2017) con su estudio evaluó el comportamiento del concreto desarrollado con *Bacillus Subtilis*, utilizó una concentración de 10^5 cel./ml de agua en diferentes proporciones, obteniendo un aumento de la resistencia en un 20% en la resistencia a la flexión, todos los cuales se compararon con muestras sin bacterias. Al igual que, Palmer & Pulido, (2020) Utilizaron una dosis celular de *Bacillus sphaericus* y *subtilis* por mililitro y la bacteria *subtilis* en una proporción de 4.6×10^6 cel. /ml, aumentó en un 13.64 % la resistencia a la flexión.

Finalmente, para concluir en la figura N° 27, ambas formas de inclusión de bacterias, por sustitución de algún material dentro de la mezcla del concreto o por adición de bacterias, son favorables. Pero, el método por sustitución es mejor debido a que presenta mayores valores en la resistencia a la flexión (MPa) que los datos obtenidos por el otro método, además tener un mayor crecimiento o desempeño desde el punto de vista porcentual.

4.2. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis comparativo de los estudios de las propiedades mecánicas empleando a las bacterias del género *Bacillus* como aditivo en el concreto convencional y se determinó en efecto que en gran parte de su totalidad las bacterias actúan de manera favorable en el concreto convencional, en lo que es la resistencia a la compresión el 93%

de los estudios cumplen y en cuanto a la resistencia a la flexión el 91% de los estudios cumplen, es decir, aumentan los resultados con respecto a la concreto convencional patrón.

Se realizó una investigación previa de las bacterias del género Bacillus y se seleccionaron los estudios de acuerdo con nuestra línea de investigación y los criterios establecidos para poder realizar posteriormente el análisis correcto de ellos.

Se realizó una contrastación de los resultados obtenidos por los 42 estudios seleccionados de las bacterias Bacillus, previamente a esto se extrajo información importante de cada estudio como; la forma de colocación de la bacteria dentro de la mezcla del concreto, la cantidad de bacterias que se utilizaba, el periodo de tiempo de curado del, el tipo de especie bacteriana que utilizaban, el valor de la resistencia a la compresión patrón y el valor de la resistencia a la compresión con bacterias, asimismo, el resultado de la resistencia a la flexión patrón y el resultado de la resistencia a la flexión con bacterias, estos datos fueron comparados de acuerdo a los parámetros base que se tenía en cada estudio, en este caso los resultados base son las muestras patrones, lo que permitía concluir si el estudio cumplía o no con aumentar favorablemente las propiedades mecánicas del concreto convencional con bacterias.

Se definió los mejores parámetros para obtener un buen concreto con aditivo bacteriano, para la propiedad mecánica de la resistencia a la compresión, la mejor forma de incorporar a la bacteria es en sustitución, es decir reemplazar en porcentaje, el peso del cemento, ya que con ello, se tiene un valor definido de la cantidad de bacterias a incorporar, por lo tanto, se concluye que el tipo de especie de bacteria bacillus en cantidad de que mejor rendimiento tiene y se puede utilizar es la Bacillus Subtilis en una cantidad de 3X, porque presenta un porcentaje de 29.68% siendo superior en comparación al

concreto convencional, asimismo, también es mejor comparándolo con las demás muestras de concreto que tienen bacterias. Por lo tanto, lo mismo sucede con la propiedad mecánica para la resistencia a la flexión la mejor forma de incorporar a la bacteria es en sustitución, es decir reemplazar en porcentaje, el peso del cemento, ya que con ello, se tiene un valor definido de la cantidad de bacterias a incorporar, por lo tanto se concluye que el tipo de especie de bacteria bacillus que mejor rendimiento tiene y se puede utilizar es la Bacillus Subtilis en una cantidad de 2%, porque presenta un porcentaje de 21.43% siendo superior en comparación al concreto convencional, asimismo, también es mejor comparándolo con las demás muestras de concreto que tienen bacterias. Finalmente, la edad de madurez óptima y considerada en nuestra investigación para obtener los mejores resultados es de 28 días.

Los beneficios que se obtiene al utilizar a la bacteria de la especie bacillus, en primer punto aumenta considerablemente las propiedades mecánicas del concreto, es decir, aumenta la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión, asimismo, al aumentar estas propiedades, el concreto posee mayor durabilidad en comparación al concreto convencional, lo que quiere decir que la vida útil de la construcción aumenta, también se logra reducir la permeabilidad ocasionando que las propiedades en estado endurecido mejoren con respecto al concreto convencional, disminuye la porosidad y finalmente las bacterias también son reparadoras de fisuras, por lo tanto si el concreto llega a presentar fisuras en su estructura, ellas al ponerse en contacto con el carbonato de calcio se encuentran en la capacidad de sellarlas.

4.3. RECOMENDACIONES

- A los futuros investigadores se recomienda realizar investigaciones acerca de la forma de reemplazo de bacterias, así como continuar buscando las cantidades adecuadas de incorporación de bacterias en la mezcla del concreto.
- A los futuros investigadores se recomienda realizar investigaciones acerca de la definición de un tipo de especie de bacteria bacillus que presente mejores rendimientos. Como especie definida ya se tiene a la bacteria Bacillus Subtilis.
- Se recomienda realizar tanto investigaciones experimentales como descriptivas ya que ambas ayudan a los lectores a entender el funcionamiento en este caso de las bacterias bacillus como actúan dentro del concreto convencional.

REFERENCIAS

- Ahiwale & Khartode. (2021). Determination of Bacterial Concrete Strength Using Bacillus Subtilis and Lightweight Expandable Clay Aggregate | American Journal of Agricultural Science, Engineering and Technology. <https://journals.epallibd.com/index.php/ajaset/article/view/112>
- 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>
- Asenjo, D. (2019). Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3243>
- ASTM C469. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2020, de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK60392.htm>
- Beltrán, M. G. S., Ortíz, W. V. M., & Jonkers, H. M. (2016). Hormigón autoReparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: Principios y aplicaciones en Ecuador. *Alternativas*, 17(3), 207-214.
- Bustamante Tirado, M. (2018). Análisis de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante, usando el aditivo superplastificante glenium C313. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1836>
- Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J.-P. (1999). Ca-carbonates precipitation and limestone genesis—The microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology*, 126(1), 9-23. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00028-7)

CODIGO_DEONTOLOGICO2012.pdf. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2022, de

https://www.cip.org.pe/publicaciones/2018/CODIGO_DEONTOLOGICO2012.pdf

Codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2022, de

<https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/2020-06/codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf>

Corral, J. T. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72-114.

Cuervo, J. P. (2010). Aislamiento y caracterización de bacillus spp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8434>

Ghatiya, A., & Pendharkar, D. U. (s. f.). Experimental Investigation on Mechanical Properties of Self-healing Concrete by using Bacillus Pseudofirmus. 04(11), 5.

Hernández, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.

Jonkers, H. (2007). Self Healing Concrete: A Biological Approach (pp. 195-204). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6250-6_9

Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering*, 36(2), 230-235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.036>

Joshi, K. A., Kumthekar, M. B., & Ghodake, V. P. (2016). Bacillus Subtilis Bacteria Impregnation in Concrete for Enhancement in Compressive Strength. 03(05), 6.

Leon, & Ramirez. (2010). Caracterización morfológica de áridos de hormigón mediante análisis de imágenes. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732010000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=en

- Li, V. C., & Herbert, E. (2012). Robust Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10(6), 207-218. <https://doi.org/10.3151/jact.10.207>
- Lomsri, R., Wongkvanklom, A., Chindaprasirt, P., Wongs, A., & Tanangteerapong, D. (2019). Pre-Crack Behaviours of Cement Paste Containing *Bacillus pseudofirmus* ATCC 700159. *Key Engineering Materials*, 801, 371-376. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.801.371>
- Lomsri, Wongkvanklom, & Chindaprasirt. (2019). (PDF) Comportamientos previos al agrietamiento de la pasta de cemento que contiene *Bacillus pseudofirmus* ATCC 700159. https://www.researchgate.net/publication/332836931_Pre-Crack_Behaviours_of_Cement_Paste_Containing_Bacillus_pseudofirmus_ATCC_700159
- Mendoza, R. H., & Sánchez, J. M. (2017). Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género bacilus y biopolimeros como bioreparador, Cusco 2016. Universidad Andina del Cusco. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1163>
- Mendoza, R., & Sánchez, J. (2016). Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género bacilus y biopolimeros como bioreparador, Cusco 2016. Universidad Andina del Cusco. <http://repositorio.uandina.edu.pe:8080/xmlui/handle/UAC/1163>
- Mondal, S., Das, P., & Kumar Chakraborty, A. (2017). Application of Bacteria in Concrete. *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9833-9836. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.276>

- Morsali, S., Yucel, G., Zar, Z., & Tahni, A. (2019). The application of bacteria as a main factor in self-healing concrete technology | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41024-019-0045-9>
- Muhammad, S., Siddiqui, H., Abro, M. I., Usmani, A., & Malik, M. (2021). Bacillus Subtilis as Self-Healing Agent in Cement Mortar: Combined and the Separate Effect of Bacteria and Calcium Lactate on Self-Healing Behavior in Cement Mortar. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 40, 426-434. <https://doi.org/10.22581/muet1982.2102.16>
- NTP 339.088 Concreto. (2006). <https://doku.pub/documents/norma-tecnica-peruana-ntp-339088-concreto-pld43758r9ln>
- Palmer, M. A., & Pulido, I. D. (2020). Aplicación de bacterias Bacillus Pseudofirmus para mejorar las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en San Martín de Porres, 2020. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58141>
- ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? | CEMEX Peru. (2019). <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
- Prasad, C. V. S., & Lakshmi, T. V. S. (2018). Effect of Bacillus subtilis on abrasion resistance of Bacterial Concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13, 12663-12666.
- pratap, S., Seshagiri, M., Aparna, P., & ch, S. (2010). Performance of standard grade bacteria (Bacillus Subtilis) concrete. *Asian Journal of Civil Engineers (Building and Housing)*, 11.

- Prošek. (2020). Application of Bacteria as Self-Healing Agent for the Concrete and Microscopic Analysis of the Microbial Calcium Precipitation Process | Scientific.Net. <https://www.scientific.net/KEM.846.237>
- Rabanal, D. C., & Su, A. R. (2017). Diseño de un Concreto Autocompactable. Repositorio Institucional - USS. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/2713>
- Rao, M. V. S., Reddy, V. S., & Sasikala, Ch. (2017). Performance of Microbial Concrete Developed Using Bacillus Subtilus JC3. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 98(4), 501-510. <https://doi.org/10.1007/s40030-017-0227-x>
- Rojas, A. (2011). CONCEPTOS Y PRÁCTICA DE MICROBIOLOGÍA GENERAL. <http://bdigital.unal.edu.co/4999/>
- Saradha, P., Viidhya, K., & Visali, S. (2019). Experimental Investigation on Bacterial Concrete Using Bacillus Subtilis. International Research Journal of Multidisciplinary Technovation, 1, 207-219. <https://doi.org/10.34256/irjmtcon27>
- Schreiberová, H., Bily, P., Fládr, J., Šeps, K., Chylik, R., & Trtík, T. (2019). Impact of the self-healing agent composition on material characteristics of bio-based self-healing concrete. Case Studies in Construction Materials, 11, e00250. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00250>
- Sharma, T., Alazhari, M., Heath, A., Paine, K., & Cooper, R. (2017). Alkaliphilic Bacillus species show potential application in concrete crack repair by virtue of rapid spore production and germination then extracellular calcite formation. Journal of Applied Microbiology, 122. <https://doi.org/10.1111/jam.13421>
- Silva, F. P. C., Passarini, V. de C., & Santos, F. C. S. (2017). BIOCONCRETO: A TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTAVEL. INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797), 5(2), 41-58.

Sotomayor, C. (2020). ENTENDIENDO A LAS FISURAS Y GRIETAS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

<http://www.consultcreto.com/pdf/entendiendo.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>

Wiktor. (2015). Rendimiento de campo del sistema de reparación a base de bacterias: Estudio piloto en un estacionamiento—ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509514000333>

Wiktor, & Jonkers. (2015). Assessment of the functionality of bacteria-based repair system for concrete through ESEM analysis | TU Delft Repositories.

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A56daf2b5-05c9-46f9-9d83-d97333142385>

ANEXO I: DISEÑO DE MEZCLA

Para el caso del diseño de mezcla, asumiremos datos de peso específico de materiales, además de pesos unitarios secos y húmedos, como se detalla en la tabla, además para los datos como la relación agua / cemento la emplearemos según los estudios recopilados, así como el tipo de cemento a usarse, en este caso el TIPO I.

Tabla 27

Datos de características de materiales

MATERIAL	P. ESPECIFICO PE masa	P. ESPECIFICO PE sss	P. ESPECIFICO PE apar	P. UNITARIO PUSS	P. UNITARIO PUSC
CEMENTO	3150	-	-	1500	-
AGUA	1000	-	-	-	-
AG. FINO	2700	2750	2800	1650	1720
AG. GRUESO	2600	2650	2700	1550	1630

Tabla 28

Datos de características de materiales

MATERIAL	Mfinura	%Humedad	% Abs
AG. FINO	2.8	5.1%	2.3%
AG. GRUESO	6.3	0.6%	1.1%

Tabla 29

Resistencia a la compresión requerida

$f'c(kg/cm^2)$	$f'cr(kg/cm^2)$
< 210	$f'cr + 70$
210 a 350	$f'cr + 84$
> 350	$f'cr + 98$

Fuente: ACI – 211

En este caso, se empleará la resistencia a la compresión de 210 kg/cm² ya que los estudios recopilados emplean un concreto convencional sin necesidad de requerir una mayor

resistencia a la compresión. Por lo que la resistencia a la compresión requerida será de 294 kg/cm².

Tabla 30

Cantidad de agua para diferentes TMN

Agua en L/m ³ para los diferentes TMN de agregado grueso								
Slump (pulg.)	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
De 1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
De 3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
De 6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: ACI – 211

En el segundo paso utilizaremos Slump de 4" y con TMN de 1/2" para la aproximación de agua, por lo que la cantidad aproximada será de 216 L.

- **Relación agua/cemento.**

En el tercer paso utilizaremos la relación agua/cemento que con mayor frecuencia emplean diversos autores, de 0.40. Por lo que con este dato podremos obtener la cantidad de cemento.

$$\text{Cantidad de cemento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{216}{0.40} = 540$$

También obtendremos el volumen del cemento y agua en m³

$$\text{Cemento} = \frac{540}{3150} = 0.17143$$

$$\text{Agua} = \frac{216}{1000} = 0.2160$$

$$\text{Aire} = \frac{2.5}{100} = 0.025$$

$$\text{Balance de volumnes} = 0.17143 + 0.2160 + 0.025 = 0.41243$$

$$\text{Saldo a completar} = 1.000 - 0.41243 = 0.58757$$

Tabla 31

Volumen de agregado grueso para diferentes módulos de finura

TMN	Vol. de agregado grueso por unidad de vol. de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
Pulg.	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.8	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI – 211

Usando el módulo de finura del AG. FINO, de 2.8, y el TMN de 1/2" hallaremos el factor a usar, en este caso es de 0.55

$$\text{Peso seco AG. Grueso} = PUSC \times \text{FACTOR AG. GRUESO}$$

$$\text{Peso seco AG. Grueso} = 1630 \times 0.55 = 896.5 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Vol. abs. AG. GRUESO} = \frac{896.5}{2600} = 0.3448 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. AG. FINO} = 0.58757 - 0.3448 = 0.24277 \text{ m}^3$$

$$\text{PESO SECO AG. FINO} = 0.24277 \times 2700 = 655.48 \text{ Kg/m}^3$$

- **CUADRO RESUMEN**

Tabla 32

Cuadro Resumen de pesos de materiales

MATERIAL	PESO SECO (kg/m³)	VOLUMEN (m³)
CEMENTO	540	0.17143
AGUA	216	0.216
AG.FINO	655.48	0.24277
AG.GRUESO	896.5	0.3448
AIRE	2.5%	0.0250
	2307.98	1.000

- CORRECCIÓN POR PORCENTAJE DE ABSORCIÓN**

Tabla 33

Corrección por Porcentaje de Absorción

MATERIAL	PESO SECO (kg/m³)	VOLUMEN (m³)	% ABS		Peso SSS (kg/m³)
CEMENTO	540	0.17143			540
AGUA	216	0.216			216
AG.FINO	655.48	0.24277	2.3	$655.48 \times (1 + 2.3/100)$	670.56
AG.GRUESO	896.5	0.3448	1.1	$896.5 \times (1 + 1.1/100)$	906.36
AIRE	2.5%	0.0250			
	2307.98	1.000			2332.92

- CORRECCIÓN POR PORCENTAJE DE HUMEDAD**

Tabla 34

Corrección por Porcentaje de Absorción

MATERIAL	PESO SECO (kg/m³)	VOLUMEN (m³)	% HUM		Peso SSS (kg/m³)
CEMENTO	540	0.17143			540
AGUA	216	0.216			216
AG.FINO	655.48	0.24277	5.1	$655.48 \times (1 + 5.1/100)$	688.91
AG.GRUESO	896.5	0.3448	0.6	$896.5 \times (1 + 0.6/100)$	901.879
AIRE	2.5%	0.0250			
	2307.98	1.000			2346.789

- **APORTE DE AGUA**

$$\text{Peso Humedo AG. GRUESO} = 896.5 * \left(\frac{1.1 - 0.6}{100} \right) = 4.48m^3$$

$$\text{Peso Humedo AG. FINO} = 655.48 * \left(\frac{2.3 - 5.1}{100} \right) = -18.35m^3$$

$$\text{AGUA EFECTIVA} = 216 + 4.48 - 18.35 = 202.13 \text{ lt}/m^3$$

- **CUADRO RESUMEN**

Tabla 35

Cuadro Resumen final

MATERIAL	PESO SECO (kg/m ³)	PESO SSS (kg/m ³)	PESO HUMEDO (kg/m ³)
CEMENTO	540	540	540
AGUA	216	216	202.13
AG.FINO	655.48	670.56	688.91
AG.GRUESO	896.5	906.36	901.879
AIRE	2.5%	2.5%	2.5%
	2307.98	2332.92	2332.92