



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL CONCRETO INFORMAL UTILIZADO EN
VIVIENDAS PARTICULARES CON ADICIÓN DE BACTERIAS
PARA MEJORAR SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y
REPARAR SUS FISURAS, PUNO 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DIEGO JENKO CRESPO ORTEGA

Bach. LEONEL ROY LÓPEZ RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DEL CONCRETO INFORMAL UTILIZADO EN VIVIENDAS PARTICULARES CON ADICIÓN DE BACTERIAS PARA MEJORAR SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y REPARAR SUS FISURAS, PUNO 2023

AUTOR

DIEGO JENKO CRESPO ORTEGA - LEON EL ROY LÓPEZ RAMOS

RECuento DE PALABRAS

36577 Words

RECuento DE CARACTERES

198800 Characters

RECuento DE PÁGINAS

164 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.3MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 9, 2024 1:57 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 9, 2024 1:59 PM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


 Ing. Samuel Huayguano Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007537

V.R.

14/08/2024
 Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 810345
SIST. EPIC

Resumen



DEDICATORIA

A Dios por brindarme la oportunidad de alcanzar este momento, a mi familia, docentes, amigos y compañeros que aportaron en la ejecución de este proyecto, especialmente a mi madre quien es mi inspiración para continuar día a día.

Leonel Roy López Ramos



DEDICATORIA

A mi tía Milena Ortega Ramos quien siempre me acompaña y apoya incondicionalmente para poder superarme día a día. A mi familia, quienes son mi pilar para seguir.

Diego Jenko Crespo Ortega



AGRADECIMIENTOS

A la universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por impartirnos una formación óptima e impartirnos conocimientos y consejos sobre la formación profesional.

Al Dr. Dante Salas Mercado, quien con su constante apoyo hizo posible la presente investigación.

Al Dr. Samuel Huaquisto Caceres, por sus enseñanzas y guiarnos en el desarrollo de la presente investigación.

A nuestro jurado, compuesto por el D.Sc. Felix Rojas Chahuares, D.Sc. Mariano Roberto Garcia Loayza y M.C. Gino Frank Laque Córdova por su veredicto sapiente y justiciero.

Al Dr. Alberto Ccama Sullca, por su apoyo desprendido y sus constantes ideas para mejorar la realización de la presente investigación.

Al laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y microbiología de la Escuela profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a su personal técnico y administrativo, por su disponibilidad y orientación, haciendo más enriquecedora la presente investigación.

Leonel Roy López Ramos

Diego Jenko Crespo Ortega



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	19
ABSTRACT.....	20
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2.1. Problema general.....	24
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.3.1. Hipótesis general	25
1.3.2. Hipótesis específicas	25
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	25
1.4.1. Justificación social	25
1.4.2. Justificación económica	26
1.4.3. Justificación ambiental.....	26
1.4.4. Justificación tecnológica	27



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
1.5.1. Objetivo general	27
1.5.2. Objetivos específicos	27

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	28
2.2. MARCO TEÓRICO	48
2.2.1. Edificación	48
2.2.1.1. Tipos de edificaciones.....	48
2.2.1.1.1. Edificaciones esenciales	48
2.2.1.1.2. Edificaciones importantes.....	50
2.2.1.1.3. Edificaciones comunes	50
2.2.1.1.4. Edificaciones temporales	50
2.2.2. Viviendas.....	51
2.2.2.1. Viviendas informales	51
2.2.3. Autoconstrucción	52
2.2.3.1. Maestros de obra	53
2.2.4. Concreto	53
2.2.4.1. Composición del concreto.....	54
2.2.4.1.1. Cemento.....	54
2.2.4.1.2. Agregados	56
2.2.4.1.3. Agregado fino	57
2.2.4.1.4. Agregado grueso.....	57
2.2.4.1.5. Hormigón.....	58
2.2.4.1.6. Agua.....	58



2.2.4.1.7. Aditivos.....	58
2.2.4.2. Tipos de concreto	59
2.2.4.2.1. Concreto simple	59
2.2.4.2.2. Concreto armado.....	60
2.2.4.2.3. Concreto estructural.....	60
2.2.4.2.4. Concreto ciclópeo	60
2.2.4.2.5. Concretos livianos	60
2.2.4.2.6. Concretos normales	61
2.2.4.2.7. Concretos pesados	61
2.2.4.2.8. Concreto premezclado	61
2.2.4.2.9. Concreto prefabricado	61
2.2.4.3. Propiedades del concreto	62
2.2.4.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco	62
2.2.4.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido	63
2.2.4.4. Dosificación del concreto.....	65
2.2.4.5. Dosificación informal	66
2.2.4.6. Concreto informal	66
2.2.5. Bacterias	67
2.2.5.1. Tipos de bacterias.....	68
2.2.5.1.1. Bacterias del género Bacillus.....	69
2.2.5.2. Estado.....	73
2.2.5.2.1. Ciclo vegetativo de Bacillus	73
2.2.5.2.2. Esporulación en Bacillus	74
2.2.5.3. Biomineralización	75
2.2.6. Bioconcreto	76



2.2.6.1. Aplicaciones prácticas, ventajas y limitaciones	77
2.2.6.2. Selección de bacterias	77
2.2.6.3. Proceso de autoreparación	78
2.2.6.4. Carbonato de calcio (CaCO ₃)	78
2.2.6.4.1. Vía autótrofa	80
2.2.6.4.2. Vía heterótrofa	80
2.2.7. Fisuras	82
2.2.7.1. Origen de las fisuras.....	83
2.2.7.2. Causas de las fisuras	84
2.2.7.2.1. Fisuras en estado fresco del concreto	84
2.2.7.2.2. Fisuras en estado endurecido del concreto	85
2.2.7.3. Tipos de fisuras	87
2.2.7.3.1. Fisuras estructurales.....	87
2.2.7.3.2. Fisuras no estructurales.....	87
2.2.7.4. Consecuencias de las fisuras	87
2.2.7.5. Evaluación de fisuras	88
2.2.7.5.1. Observaciones directas	88
2.2.7.5.2. Cuadriculación de la superficie	89
2.2.7.5.3. Pachómetro	89
2.2.7.5.4. Ensayos no destructivos.....	89
2.2.7.5.5. Ensayos destructivos.....	89
2.2.7.5.6. Evaluación de la calidad del concreto	89
2.2.7.5.7. Criterios de corrección.....	90
2.2.7.6. Reparación de fisuras	90
2.2.7.6.1. Inyección en fisuras	90



2.2.7.6.2. Aplicación de grout.....	90
2.2.7.6.3. Aplicación de capas o sobrecapa	91
2.2.7.6.4. Selladores.....	91
2.2.7.7. Auto reparación de fisuras	91
2.2.7.7.1. Reparación autógena.....	92
2.2.7.7.2. Encapsulación de polímeros	92
2.2.7.7.3. Producción microbiana de carbonato de calcio	93
2.2.7.8. Características ideales de tratamiento de auto reparación	93
2.2.7.8.1. Calidad.....	93
2.2.7.8.2. Vida útil prolongada	93
2.2.7.8.3. Penetración efectiva.....	93
2.2.7.8.4. Capacidad de reparación repetida.....	93

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.2. LUGAR DE ESTUDIOS	94
3.3. POBLACIÓN	95
3.4. MUESTRA.....	95
3.4.1. Primer objetivo.....	96
3.4.2. Segundo objetivo.....	96
3.4.3. Tercer objetivo	97
3.4.4. Cuarto objetivo.....	97
3.5. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	98
3.5.1. Tipo de investigación	98
3.5.2. Nivel de investigación.....	99
3.5.3. Diseño de investigación	99



3.6. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	99
3.6.1. Identificación de la dosificación usualmente utilizada en el concreto informal para la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023.....	99
3.6.1.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	99
3.6.1.1.1. Variable	99
3.6.1.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.....	100
3.6.1.3. Aplicación de prueba estadística.....	102
3.6.2. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023.....	102
3.6.2.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	102
3.6.2.1.1. Variable	102
3.6.2.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.....	103
3.6.2.2.1. Elaboración de probetas.....	103
3.6.2.2.2. Ensayo de resistencia a la compresión.....	105
3.6.2.3. Aplicación de prueba estadística.....	106
3.6.3. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023.	106



3.6.3.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	107
3.6.3.1.1. Variable	107
3.6.3.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.....	107
3.6.3.2.1. Obtención de bacterias.....	108
3.6.3.2.2. Prueba Piloto.....	110
3.6.3.2.3. Elaboración de probetas.....	112
3.6.3.2.4. Ensayo de resistencia a la compresión.....	113
3.6.3.3. Aplicación de prueba estadística.....	114
3.6.4. Determinación del porcentaje de reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023.....	115
3.6.4.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	115
3.6.4.1.1. Variable	115
3.6.4.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.....	115
3.6.4.3. Aplicación de prueba estadística.....	117

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DOSIFICACIÓN USUALMENTE UTILIZADA EN EL CONCRETO INFORMAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS PARTICULARES.....	118
4.1.1. Social.....	118



4.1.2. Experiencia laboral.....	119
4.1.3. Conocimiento sobre la elaboración de concreto	121
4.1.4. Nivel de asociación de las variables en estudio	124
4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO INFORMAL	125
4.3. EFECTO PRODUCIDO POR LA ADICIÓN DE BACTERIAS EN EL CONCRETO INFORMAL EN RELACIÓN A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	128
4.4. EFECTO PRODUCIDO POR LA ADICIÓN DE BACTERIAS EN EL CONCRETO INFORMAL EN RELACIÓN A LA REPARACIÓN DE FISURAS.....	132
V. CONCLUSIONES.....	139
VI. RECOMENDACIONES	141
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
ANEXOS.....	160

TEMA: Tecnología del concreto

ÁREA: Construcciones y Gerencia

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de los materiales en la construcción

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de agosto del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura del género Bacillus	71
Figura 2 Ciclo entre estado vegetativo y esporulado de la bacteria Bacillus subtilis	75
Figura 3 Producción de carbonato de calcio en la estructura bacteriana.....	76
Figura 4 Proceso de autoreparación mediante precipitación de Carbonato de Calcio por bacterias	79
Figura 5 Espeleotemas de carbonato de calcio.....	82
Figura 6 Comparación entre resistencias a la compresión del concreto informal ...	128
Figura 7 Comparación entre resistencias a la compresión del concreto con adición de bacterias al concreto informal	130



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tipos de cemento	55
Tabla 2 Número de muestras para el segundo objetivo	96
Tabla 3 Número de muestras para el tercer objetivo	97
Tabla 4 Número de muestras para el cuarto objetivo.....	98
Tabla 5 Análisis químico de cemento yura marca Rumi IP.....	103
Tabla 6 Características del agregado - hormigón cantera Cutimbo	104
Tabla 7 Asentamientos obtenidos en el ensayo de Slump para el concreto informal	105
Tabla 8 Cantidad de solución bacteriana por concentración de bacterias.....	110
Tabla 9 Número de muestras cubicas para la prueba piloto	111
Tabla 10 Resumen de resultados de ensayos de resistencia a la compresión de la prueba piloto	112
Tabla 11 Asentamientos obtenidos en el ensayo de Slump para el bioconcreto.....	113
Tabla 12 Resultados de aspecto social de las encuestas realizadas	119
Tabla 13 Resultados de experiencia laboral de las encuestas realizadas	120
Tabla 14 Resumen de datos recolectados de conocimientos de elaboración de concreto	122
Tabla 15 Conversión de volumétrica de paladas	123
Tabla 16 Resultados dosificación para un concreto con resistencia a la compresión de diseño de 210 kg/cm ² para una columna.....	123
Tabla 17 Dosificaciones mayormente usadas por los maestros de obra.....	124
Tabla 18 Prueba de Chi- cuadrado de Pearson	125
Tabla 19 Asentamiento obtenido en las dosificaciones 01 y 02	126



Tabla 20	Asentamientos obtenidos en el ensayo de Slump del bioconcreto	129
Tabla 21	Tabla de análisis estadístico de la reparación de las fisuras	133
Tabla 22	Tabla de resultados de la reparación de las fisuras	135
Tabla 23	Costo de bacterias por placa petri	135
Tabla 24	Costos de producción del concreto informal por m3	136
Tabla 25	Costos de producción del bioconcreto por m3	136
Tabla 26	Costo de reparación de fisuras	137
Tabla 27	Comparación de costos de producción	138



ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1 Encuesta realizada a los maestros de obra
- ANEXO 2 Validación de expertos
- ANEXO 3 Memorándum emitido por la Municipalidad Provincial de Puno
- ANEXO 4 Constancia de uso de equipos y laboratorio de construcciones
- ANEXO 5 Certificados de ensayos de laboratorio
- ANEXO 6 Constancia de identificación bioquímica de bacterias
- ANEXO 7 Constancia de uso de estereoscopio
- ANEXO 8 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión
- ANEXO 9 Resultados de porcentaje de reparación de fisuras
- ANEXO 10 Panel fotográfico



ACRÓNIMOS

RENACYT:	Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
MTPE:	Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo
SENCICO:	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción
CAPECO:	Cámara Peruana de la Construcción
RNE:	Reglamento Nacional de Edificaciones
NTP:	Norma Técnica Peruana
ASTM:	American Society for Testing and Materials
ACI:	American Concrete Institute
AND:	Ácido Desoxirribo Nucleico
B.S.:	<i>Bacillus subtilis</i>
B.C.:	<i>Bacillus cereus</i>
ufc:	Unidades formadoras de colonias
SEM:	Microscópio electrónico de barrido
EDS:	Espectroscopio de rayos x de dispersión de energía
XRD:	Difracción de rayos X
a/c:	Relación agua – cemento
f'c:	Resistencia a la compresión del concreto, kg/cm ²



RESUMEN

En Puno, para la construcción de viviendas, la población generalmente toma los servicios de maestros de obra empíricos, los cuales utilizan un concreto sin diseño previo, lo que genera incertidumbre sobre su resistencia y seguridad estructural. Para abordar este problema, se investigó el efecto de la adición de bacterias en la resistencia a la compresión y reparación de fisuras del concreto informal utilizado en viviendas particulares. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel explicativo y un diseño experimental puro, utilizándose muestras no probabilísticas por conveniencia. Se recolectaron dosificaciones de concreto utilizadas por los maestros de obra mediante encuestas, seleccionando la dosificación más resistente. Luego, se cultivaron bacterias y se incorporaron en diferentes concentraciones a la mezcla de concreto. Se midió la resistencia a la compresión y capacidad de reparación de fisuras en las muestras. Los resultados mostraron que la dosificación más resistente alcanzó 120.01 kg/cm² a los 28 días, utilizada como muestra control. La adición de *Bacillus subtilis* con una concentración de 10³ ufc/ml produjo un aumento del 6.57% en la resistencia a la compresión y una reparación de fisuras del 19.01%. *Bacillus cereus*, con una concentración de 10⁷ ufc/ml, incrementó la resistencia en un 36.91% a los 28 días, con la mayor reparación de fisuras lograda con una concentración de 10⁵ ufc/ml, alcanzando un 12.86%. En conclusión, la adición de ambas bacterias mejora la resistencia a la compresión y permite la reparación de fisuras en el concreto utilizado en viviendas de Puno.

Palabras clave: Bioconcreto, Concreto, Reparación de fisuras, Resistencia a la compresión, Viviendas.



ABSTRACT

For constructing houses in Puno, the population generally takes the services of empirical master builders, who use concrete without prior design, which generates uncertainty about its resistance and structural safety. To address this problem, the effect of adding bacteria on the compressive strength and crack repair of informal concrete used in private homes was investigated. The study adopted a quantitative, applied, explanatory approach and a pure experimental design, using non-probabilistic samples for convenience. Concrete dosages used by the construction managers were collected through surveys, selecting the most resistant dosage. Bacteria were then cultured and incorporated in different concentrations into the concrete mix. The compressive strength and crack repair capacity in the samples were measured. The results showed that the most resistant dosage reached 120.01 kg/cm² at 28 days, used as a control sample. Adding *Bacillus subtilis* with a concentration of 10³ cfu/ml produced a 6.57% increase in compressive strength and a crack repair of 19.01%. *Bacillus cereus*, with a concentration of 10⁷ cfu/ml, increased resistance by 36.91% at 28 days, with the greatest fissure repair achieved with a concentration of 10⁵ cfu/ml, reaching 12.86%. In conclusion, the addition of both bacteria improves compressive strength and allows the repair of cracks in the concrete used in homes in Puno.

Keywords: Concrete, Bioconcrete, Crack repair, Compressive strength, Housing.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 80% de las viviendas en el país son construidas sin la intervención de profesionales. Existe la creencia errónea de que el maestro de obra es competente como diseñador y constructor (CAPECO, 2018). Es crucial investigar las características de estas construcciones, incluida la resistencia a la compresión del concreto, para verificar su seguridad y evitar vulnerabilidades.

Incrementar la resistencia del concreto mediante el uso de bacterias puede aminorar los costos de mantenimiento hasta en un 50% y aunque el costo de producción del bioconcreto puede exceder en un 6-20% al del concreto convencional, este incremento es insignificante en comparación con los costos de reparación y mantenimiento a largo plazo. Según CAPECO (2018), los gastos asociados con la reparación de viviendas informales pueden alcanzar hasta el 100% del costo inicial de la construcción.

Las bacterias utilizadas en la presente investigación están presentes de forma natural en el suelo, manantiales y desechos, no generan residuos contaminantes, además, tienen un nivel de bioseguridad 1, lo que indica que representan un mínimo o ningún riesgo para las personas, medio ambiente y comunidad que este en contacto con ellas (Mazzali de Ilja, 2003).

La importancia de la presente investigación radica en contribuir al conocimiento científico con respecto a la integración de bacterias a la mezcla del concreto elaborado por maestros de obra en la ciudad de Puno y estudiar las posibles incidencias que se producen en la resistencia a la compresión y la reparación de sus fisuras, fomentando así la investigación para explorar su aplicabilidad en zonas andinas de gran altitud y bajas temperaturas.



Recientemente se consideró la opción de añadir microorganismos como las bacterias debido a su propiedad de generar minerales (Ferra y Galicia, 2020), dentro de estas se destacaron las bacterias *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus* como buenas opciones debido a los resultados que mostraron en cuanto al aumento en la resistencia a la compresión (Mondal et al., 2017), y la capacidad de producir minerales como la calcita regerando de esta manera fisuras y vacíos dentro del concreto (Yamasmit et al., 2023). Resaltando además como concentraciones idóneas 10^3 cells/ml, 10^5 cells/ml y 10^7 cells/ml (Mondal y Ghosh, 2018), dejando como resultado un insumo que puede sellar microfisuras en el concreto (Ahmed et al., 2021) y por ende mostrando una elevación significativa en la resistencia a la compresión (Nain et al., 2019).

El propósito de la presente investigación radica en determinar la resistencia a la compresión del concreto informal empleado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno durante el año 2023. Además, se busca evaluar cómo la incorporación de bacterias impacta en la mejora de la resistencia a la compresión y en la reparación de fisuras en dicho concreto.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La construcción informal es un fenómeno significativo a nivel global, especialmente en América Latina, observándose en las viviendas urbanas (Biderman et al., 2023). Por lo general en este tipo de construcciones se utiliza mano de obra no calificada, es decir, no se incluye la participación de un ingeniero, en cambio sí de maestros de obra, los cuales trabajan de acuerdo a su criterio y sus conocimientos adquiridos, de manera empírica (Rivera, 2020).

Esto se ve reflejado en el concreto y su dosificación, que es variable durante su preparación de acuerdo a la experiencia e inspección visual de cada maestro de obra,



repercutiendo directamente en su calidad, durabilidad y resistencia (Garay y Quispe, 2015). Según Pasquel (2010) este concreto producido sin dirección profesional es denominado como concreto informal. En el Perú existe la convicción, entre la población de bajos ingresos, que el maestro de obra es un diseñador y constructor competente, incluso superior al arquitecto o al ingeniero, cobrando menos y aparentemente conociendo mejor las necesidades del cliente. (CAPECO, 2018).

Mamani y Huarcaya (2018) encontraron que más del 50% de estas viviendas autoconstruidas tienen fallas, defectos y deterioros, observándose que los daños que presentan las columnas, pisos y techos son desprendimiento del material de recubrimiento por ascensión capilar y el curado inadecuado del concreto, pandeo excesivo en techos por el paso del tiempo y goteras o filtraciones de agua en techos por el inadecuado mantenimiento, fisuras por contracción, grietas por deflexión y corte en muros, cuyos daños son de un nivel moderado.

La presencia de fisuras puede afectar significativamente la resistencia a la compresión del concreto, dado que se reduce la sección transversal y se crean planos de debilidad, lo que puede disminuir su capacidad para soportar cargas de compresión. (Neville, 2011).

Antes este escenario, si el fenómeno de la construcción informal continua, las consecuencias serían potencialmente fatales ante un sismo. Un estudio del 2017, del Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú (Indeci) predijo hasta 110.000 muertes, lo que lo haría casi el doble de mortal que el apocalíptico terremoto de magnitud 7,8 que azotó Turquía y Siria en febrero del 2023 (Arce, 2023).

Así pues, con el propósito de mejorar la resistencia a la compresión del concreto y reparar sus fisuras se han desarrollado diferentes estudios alrededor del mundo que



incorporan microorganismos como bacterias naturales y bacterias artificiales desarrollando así el bioconcreto. Debido a que este es un método eficiente, eco amigable, sostenible y puede contribuir a una construcción de mayor calidad para los ciudadanos, se hace necesario realizar estudios acerca de la reparación de las fisuras y mejora de la resistencia a la compresión del concreto que se presenta en las viviendas construidas por los maestros de obra en la ciudad de Puno.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto producido por la adición de bacterias en la resistencia a la compresión y reparación de las fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno durante el año 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la dosificación del concreto informal usualmente utilizada para la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023?
- b. ¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023?
- c. ¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023?
- d. ¿Cuál es el porcentaje de reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023?



1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

El efecto producido por la adición de bacterias es la mejora de la resistencia a la compresión y la reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno durante el año 2023.

1.3.2. Hipótesis específicas

- a. La dosificación usualmente utilizada en el concreto informal para la construcción de viviendas particulares es variable.
- b. La resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares es menor a la requerida.
- c. La resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares mejora con la adición de bacterias.
- d. El porcentaje de reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias es mayor que 0%.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.4.1. Justificación social

El presente estudio aborda el tema de la construcción de viviendas particulares con un concreto informal, un fenómeno recurrente que ocupa el 32% del total de viviendas en América Latina (Vergara-Perucich et al., 2022). En el Perú, se estima que el 80% de las viviendas del país no han sido construidos por un profesional (CAPECO, 2021), y aunque no es posible explicar del todo la



magnitud y su persistencia pues depende de diversos factores sociales como: índices de pobreza, insuficiente inversión pública, tolerancia de los gobiernos, idiosincrasia de la población, entre otros (Biderman et al., 2023), se analiza como dichos factores pueden afectar a la resistencia a la compresión del concreto utilizado.

1.4.2. Justificación económica

Al mejorar la resistencia del concreto con bacterias se disminuyen los costos de mantenimiento que incluyen mano de obra y materiales hasta en un 50% comparado con el concreto convencional (EPO, 2015), y a pesar que los costos de producción promedio del bioconcreto superan entre un 6% a 20% al costo de un concreto convencional (Hernández et al., 2022), se espera que esta diferencia se vuelva insignificante cuando se compara el costo de reparación y mantenimiento que necesitan las estructuras construidas con ambos tipos de material, cabe indicar que según CAPECO la reparación de viviendas informales pueden llegar a costar hasta el 100% del costo de la vivienda.

1.4.3. Justificación ambiental

Al ser estas bacterias, microorganismos que se encuentran de manera natural en el suelo, manantiales, desechos, etc., su utilización, en la mejora del concreto, no genera residuos contaminantes que puedan afectar de manera negativa al entorno natural. Asimismo, el tratamiento de las bacterias estudiadas en la presente investigación se enmarca dentro del nivel de bioseguridad 1 (Mazzali de Ilja, 2003), lo cual significa que representan un mínimo riesgo o ninguno, tanto para las personas como para el medio ambiente y la comunidad.



1.4.4. Justificación tecnológica

Esta investigación es importante porque se determinan los efectos que pueden tener los microorganismos como bacterias al ser incorporadas a un concreto informal preparado por los maestros de obra en la ciudad de Puno, de esta manera contribuir al conocimiento sobre la adición de bacterias en el concreto y así promover la investigación sobre su utilización en otro tipo de construcciones.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar el efecto producido por la adición de bacterias en la resistencia a la compresión y reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno durante el año 2023.

1.5.2. Objetivos específicos

- a. Identificar la dosificación usualmente utilizada en el concreto informal para la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023.
- b. Determinar la resistencia a la compresión de concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023.
- c. Determinar la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023.
- d. Determinar el porcentaje de reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Mondal et al. (2017), estudiaron la incorporación de dos clases de bacterias: *Bacillus cereus* (B.C.) y *Bacillus subtilis* (B.S.) con el fin de mejorar la resistencia a la compresión de un concreto convencional con una resistencia de 25 MPa de acuerdo a la norma IS 516 (1959), el nivel de esta investigación es explicativo, para ello dichas bacterias fueron cultivadas, para posteriormente ser añadidas a la mezcla de cubos de concreto de 150mm x 150 mm x 150 mm y en 3 concentraciones las cuales fueron 10^3 cells/ml, 10^5 cells/ml y 10^7 cells/ml para cada bacteria, dichos cubos fueron curados en agua (rango de temperatura 25°-29°C) por 28 días. Para cuantificar la resistencia a la compresión se empleó un martillo de rebote, obteniendo los siguientes resultados: Para la bacteria B.C. la óptima concentración fue de 10^3 cells/ml incrementando la resistencia a la compresión un 20% a las edades de 7 y 28 días en relación a la del concreto convencional y, para la bacteria B.S. fue de 10^5 cells/ml incrementando la resistencia a la compresión un 32% y 25% a las edades de 7 y 28 días respectivamente en relación a la del concreto convencional. Se determinó que la incorporación de ambos tipos de bacterias al concreto tuvo un resultado favorable en la resistencia a la compresión llegando a incrementar hasta 1/3 de la resistencia de un concreto convencional.

Mondal y Ghosh (2018) investigaron la concentración bacteriana óptima, con la finalidad de elevar la resistencia a la compresión del concreto debido a que diversos estudios demostraron que una mayor concentración de bacterias no implica un mayor incremento de esta propiedad mecánica, el nivel de esta investigación es explicativo, para esto se utilizó la bacteria *Bacillus subtilis* la cual fue cultivada y utilizada en tres



concentraciones las cuales fueron 10^3 cells/ml, 10^5 cells/ml y 10^7 cells/ml, siendo estas añadidas a la mezcla de mortero con una proporción de agua a cemento de 0.4 (en peso), luego moldeado en cubos de 70.6 mm x 70.6 mm x 70.6 mm, y posteriormente ser curados durante 28 días (a 27°C). Para medir la resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días, dando como resultado que a los 28 días hubo un incremento de la resistencia en 15%, 27% y 19%, respectivamente, a las concentraciones anteriormente mencionadas. Para estudiar la reparación de fisuras, se originaron fisuras a partir del ensayo de resistencia a compresión, ensayando los cubos hasta que se presenten fisuras y detener la carga, generándose anchos de fisuras de 0.1 a 1.2 mm, resultando que, a los 28 días se pueden regenerar anchos de 0.6, 0.9 y 1.2mm a las concentraciones de 10^3 cells/ml, 10^5 cells/ml y 10^7 cells/ml respectivamente. Los investigadores demostraron que la concentración bacteriana óptima para la mejora en la resistencia a la compresión es de 10^5 cells/ml con un aumento del 25% del concreto control a una edad de 28 días, sin embargo, para reparación de fisuras la concentración óptima es de 10^7 cells/ml regenerando un ancho de 1.2 mm a los 28 días.

Alonso et al. (2018) estudiaron la adición de bacterias ureolíticas ACRN3 y ACRN5 con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión del concreto, el nivel de esta investigación es explicativo, dichas bacterias fueron aisladas, cultivadas y luego añadidas en concentraciones 10^5 cells/ml, 10^6 cells/ml y 10^7 cells/ml, a muestras de mortero 1:2.75 (en peso), posteriormente fueron moldeadas en forma cúbica de 50 mm x 50 mm x 50 mm, luego curadas durante 90 días. El ensayo de resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 7, 21, 28, 36, 56 y 90 días, dando como resultados que el mortero hecho con ACRN3 con una concentración de 10^5 cells/ml obtuvo su mayor aumento de la resistencia a la compresión a los 36 días con 7.1%; por otro lado, el mortero adicionado con la bacteria ACRN5 tuvo su mayor incremento a la edad de 36 días con las



concentraciones de 10^5 cells/ml y 10^6 cells/ml en 14.94% y 10.3% respectivamente, concluyendo que la incorporación de ambas bacterias aumenta la resistencia a la compresión del concreto hasta en 14.94%.

Nain et al. (2019) estudiaron la adición de dos tipos de bacterias: *Bacillus subtilis* (B.S.), *Bacillus megaterium* (B.M.) y su consorcio a un concreto de características convencionales y una resistencia de 30 MPa con la intención de mejorar su resistencia a la compresión de acuerdo a la norma IS 10262-2009, el nivel de esta investigación es explicativo, para ello dichas bacterias fueron cultivadas, para posteriormente ser añadidas a la mezcla de cubos de concreto de 150mm x 150 mm x 150 mm y en la concentración de 10^8 cells/ml para cada bacteria y el consorcio, dichos cubos fueron curados en agua por 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días, dando como resultado que a los 28 días hubo un incremento de la resistencia en 14.36%, 22.58% y 15.86% respectivamente. El estudio indicó de manera concluyente que los microorganismos demostraron una influencia positiva en el aumento de la resistencia del concreto, esto debido al llenado de los vacíos por la formación de calcita en las muestras de concreto.

Prasad y Lakshmi (2020), estudiaron la integración de la bacteria *Bacillus subtilis* a un concreto grado M40 de acuerdo a la norma IS 516 (1959) con miras a mejorar su resistencia a la compresión de un concreto, el nivel de esta investigación es explicativo, para ello dicha bacteria fue aislada y cultivada, posteriormente añadida en porcentajes del peso del cemento, los cuales son 5, 10 y 15%, a la mezcla de cubos de concreto de 150mm x 150mm x 150mm en la concentración de 10^5 ufc/ml, con un tiempo de curado en agua de 90 días, se han utilizado 2 tipos de agregados finos para elaborar dicho concreto, arena de río local y arena de piedra triturada. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 3, 7, 28 y 90 días, dando como



resultado que para el concreto con arena de río local, a los 28 días hubo un incremento de la resistencia en 8.98%, 17.02% y 4.65% respectivamente a los porcentajes en peso del cemento anteriormente mencionados, a los 90 días hubo una elevación de la resistencia en 8.49%, 12.27% y 2.59% respectivamente. Para el concreto con arena de piedra triturada, a los 28 días hubo un incremento de la resistencia en 6.94%, 14% y 2.28% respectivamente y a los 90 días hubo un incremento de la resistencia en 9.0%, 14.9% y 3.09% respectivamente. Los investigadores demostraron que los valores de resistencia a la compresión crecieron hasta un 10% con el incremento en la concentración de la solución bacteriana, sin embargo, más allá de esta dosis los resultados de resistencia a la compresión fueron menores al control.

Mokhtar et al. (2021), estudiaron la adición de dos tipos de bacterias: *Bacillus wiedmannii* (B.W.), *Bacillus paramycoides* (B.P.), a un concreto estándar de resistencia de 23 MPa con la intención de mejorar su resistencia a la compresión de acuerdo a los estándares del Código de Práctica Egipcio (ECP) Y de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), el nivel de esta investigación es explicativo, dichas bacterias fueron aisladas, cultivadas y añadidas a la mezcla de mortero de proporciones agua a cemento de 0.43 (en peso), luego moldeado en cubos de 150 mm x 150 mm x 150 mm, y posteriormente ser curados durante 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días, dando como resultado que a los 28 días hubo un incremento de la resistencia en 46.52% y 23.91% respectivamente a las bacterias anteriormente mencionadas. Para estudiar la reparación de fisuras, se fisuraron muestras de concreto, luego de 28 y 90 días de curado en agua se registró la reparación completa de las fisuras mediante la precipitación de calcita. Los investigadores demostraron ambas especies bacterianas pueden actuar como agentes



biocurativos y mejorar la resistencia a la compresión, pueden incluirse en estructuras acuáticas para protegerlas de las fisuras y grietas que sufren.

Franchis et al. (2021), estudiaron la incorporación de residuos viales de vidrio médicos y la integración de la bacteria *Bacillus sphaericus* a un concreto convencional con el objetivo de analizar su capacidad de autocuración y su mejora de la resistencia a la compresión y la flexión, el nivel de esta investigación es explicativo, para ello utilizaron un concreto control con una resistencia de 25 MPa con una dosificación de 1:1.28:2.3. La primera mezcla a evaluar fue reemplazando el 15% del agregado fino por los residuos de vidrio médicos viales triturados, las siguientes mezclas a evaluar fue reemplazando también el 15% del agregado fino por los residuos de vidrio médicos viales triturados y añadiendo la bacteria *Bacillus sphaericus*, que fue obtenida de la colección de cultivos tipo microbiano (MTCC) de Chandigarh, y añadida en las concentraciones de 10^3 cells/ml, 10^5 cells/ml, 10^7 cells/ml, 10^9 cells/ml y 10^{11} cells/ml, a la mezcla de cubos de concreto de 150 mm x 150 mm x 150 mm, con un tiempo de curado en agua de 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, dando como resultado que la concentración óptima fue de 10^7 cells/ml con aumentos en la resistencia a la compresión de 35%, 27%, 26% y 22% respectivamente a las edades anteriormente mencionadas. Para la resistencia a la flexión se utilizaron prismas de concreto de tamaño de 10 cm x 10 cm x 50 cm, y fueron devastadas en la máquina de ensayo de flexión dando como resultado que la concentración optima también fue de 10^7 cells/ml aumentando la resistencia a la flexión en 6%, 15%, 35% y 33% respectivamente a las edades antes mencionadas. Para la capacidad de autocuración se generaron grietas de contracción en un prisma de concreto y se dejó curar, la capacidad de curación fue realizada mediante una evaluación visual concluyendo que a los 21 días la fisura estaba casi reparada. El estudio concluyó con que



la mezcla que utiliza un 15% de residuos de viales médicos de vidrio y una concentración de bacterias de 10^7 cells/ml proporciona propiedades mejoradas en el concreto y soluciones a problemas medioambientales y ecológicos, además de rentables.

Shashank et al. (2019), estudiaron la incorporación de una nueva bacteria precipitadora de calcita a un concreto grado M25 con el objetivo de mejorar sus parámetros resistentes comparando la resistencia con las muestras control para diferentes concentraciones bacterianas de la bacteria *Bacillus sphaericus*, el nivel de esta investigación es explicativo. La Bacteria *sphaericus* (BS) fue extraída del Banco de Genes del CSIR - Institute of Microbial Technology, Chandigarh y las bacterias NI se desarrollaron en el Biotechnology Department, R.V.C.E. El diseño de mezcla utilizado fue hecho de acuerdo a los códigos IS 456-2000 e IS 10262-2009, ambas bacterias BS y NI fueron añadidas en las concentraciones de 10^6 cells/ml y 10^7 cells/ml a la mezcla de concreto, que fue curado en agua por 56 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 28 y 56 días, dando como resultado que para la concentración de 10^6 cells/ml, para las bacterias NI y BS se incrementó la resistencia en 13.9 y 7.9% a los 28 días y de manera similar, incrementó en 20.5 y 12.64% a los 56 días con respecto al concreto control. Con la concentración de 10^7 cells/ml, para las bacterias NI y BS se incrementó ligeramente la resistencia a los 28 días, sin embargo, incremento en 22.5 y 16.87% a los 56 días con respecto al concreto control. Los investigadores concluyeron que la incorporación de la Bacteria No Identificada incrementó la resistencia a la compresión del concreto con respecto al control y al concreto con la Bacteria *Bacillus sphaericus*.

Reyad y Mokhtar (2023), estudiaron nuevas unidades portadoras con el fin de aumentar la eficacia de curación en el concreto con la adición de la bacteria *Bacillus cereus*, el nivel de esta investigación es explicativo, con este propósito se utilizó cenizas



de madera como unidad portadora agregándole una concentración de esporas de la bacteria de 1.3×10^7 esporas/cm³ combinado con 2.5% w/w de urea y fue añadido a la mezcla de concreto que fue moldeada en cubos de 100 mm x 100 mm de acuerdo a la ISO 4012 y posteriormente ser curados durante 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, dando como resultado que hubo un aumento en la resistencia de 24.7% con comparación a un concreto control sin cenizas de madera y bacterias. Para estudiar la reparación de fisuras, se originaron fisuras en vigas hechas con morteros bacterianos de 40 x 40 x 160 mm, resultando que, a las edades de 7, 14 y 28 días hubo una curación completa, teniendo mejores resultados que una inoculación directa. Los investigadores demostraron que utilizar la ceniza de madera como una técnica de inmovilización y protector de las bacterias ante las condiciones del concreto tienen un efecto positivo en la curación de fisuras y la optimización de las propiedades mecánicas del concreto a comparación de una inoculación directa.

Pacheco et al. (2022), estudiaron el potencial de curación del concreto agregando soluciones químicas y bacterianas, en este estudio se empleó la bacteria *Bacillus subtilis*, el nivel de esta investigación es exploratorio, para su encapsulación se utilizó arcilla y perlita expandida, obteniendo así 2 mezclas las cuales son BAC.AE. (Solución bacteriana encapsulada en arcilla expandida) y BAC.PE. (Solución bacteriana encapsulada en perlita expandida), dichas formulaciones reemplazaron el 30% de la masa de arena de la mezcla a utilizarse, estas fueron añadidas a la mezcla de mortero con una proporción agua a cemento de 0.36 (en peso), luego moldeado en cilindros de 50 mm x 100 mm, y posteriormente ser curados durante 35 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 35 días, dando como resultado que a los 35 días la formulación BAC.EC tuvo un mejor desempeño con 53.1 Mpa en comparación con 42.5 MPa de la formulación BAC.EP. Para estudiar la reparación de



fisuras, se indujeron fisuras en muestras prismáticas con ensayos a flexión y se realizaron análisis visuales de autocuración a las edades de 0, 7, 14 y 35 días, para la formulación BAC.EP se observó que la apertura de la fisura limitó la curación debido a que no se observaron productos de curación en las fisuras principales. Para la formulación BAC.EC se observó que la fisura más grande de 0.57 mm quedó completamente sellada, y hay un progreso de curación con una fisura de 0.48 mm reduciéndose a 0.17 mm. En general se demostró que la formulación BAC.EC fue la más eficaz en términos de resistencia y curación.

Yamasmit et al. (2023), estudiaron la incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis*, con el objetivo de analizar la capacidad de autocuración del mortero y su mejora de la resistencia a la compresión, el nivel del presente estudio es explicativo, para ello utilizaron un mortero control de relación agua-cemento de 0.5. Para ello dicha bacteria fue aislada de suelos en Tailandia y luego cultivadas, para posteriormente ser añadidas a la mezcla de cubos de concreto de 50mm x 50 mm x 50 mm y en la concentración de 10^8 cells/ml, dichos cubos fueron curados en agua por 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días, dando como resultado que a los 28 días la resistencia del mortero normal y bio mortero fue de 45.1 y 49.1 Mpa, hubo un incremento de 8.9%. El estudio indicó de manera concluyente que los microorganismos demostraron un papel positivo en la mejora de la resistencia del concreto debido al llenado de vacíos por la precipitación de calcita en las muestras de concreto. Para estudiar la reparación de fisuras, se dejó caer la *B. subtilis* en caldo de CaCl_2 y solución urea cada 24 horas, directamente sobre la superficie del mortero y se encubo a una temperatura de 30°C durante 28 días, se originaron fisuras controladas con una lámina de cobre de 0.3, 0.5 y 1.0 mm, dando como resultado que, a los 28 días se tiene un ratio de curación de 77.78%, 76.67% y 63.33% respectivamente a los anchos



anteriormente mencionados. Los investigadores demostraron que la *B. subtilis* precipita carbonato de calcio inducido por microbios y tiene el potencial de autocurar grietas, además de mejorar la resistencia a la compresión.

Ahmed et al. (2021), estudiaron la adición de dos tipos de bacterias: *Bacillus subtilis* (B.S.), *Bacillus megaterium* (B.M.), a un concreto convencional con el objetivo de mejorar su resistencia a la compresión de acuerdo a las Egyptian Standard Specifications (ESS), el nivel de esta investigación es explicativo, dichas bacterias fueron aisladas, cultivadas y añadidas con una densidad celular de 2×10^9 UFC/ml en dos concentraciones (0.5% y 1%) a la mezcla de mortero con una proporción agua a cemento de 0.45 (en peso), luego moldeado en cubos de 7 cm x 7 cm x 7 cm, y posteriormente ser curados durante 180 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 28, 120 y 180 días, dando como resultado que los resultados más significantes fue a los 28 días con un incremento de la resistencia de 21.4% en comparación con el control. Para estudiar la reparación de fisuras, se hicieron análisis SEM que confirmaron la deposición de CaCO_3 dentro de las microfisuras de las muestras bacterianas. Los investigadores concluyeron que las técnicas de autocuración bacteriana de base biológica son prometedoras para sellar microfisuras internas, ambas bacterias estudiadas mejoraron las propiedades mecánicas del concreto y logran una bioprecipitación de nanopartículas de cristales de CaCO_3 .

Mahmood et al. (2022), estudiaron la adición de la bacteria *Bacillus subtilis* (B.S.) con el objetivo de medir la eficacia en la reparación de fisuras, el nivel de esta investigación es explicativo, dichas bacterias fueron inmovilizadas con nanopartículas de óxido de hierro. En concreto de diseño fue de 20Mpa, para ello las bacterias fueron obtenidas mediante el método de la placa rayada, luego fueron añadidas a la mezcla de cubos de concreto de 150mm x 150 mm x 150 mm y en 3 concentraciones las cuales



fueron 10^3 cells/ml, 10^6 cells/ml y 10^9 cells/ml para cada bacteria, las cuales fueron curadas por 28 días. Posteriormente se les realizó el ensayo de resistencia a la compresión, donde se pudo observar que la concentración 10^9 cells/ml obtuvo un incremento de 25.9% la cual fue mayor respecto a las otras concentraciones (10^6 cells/ml – 19.9% y 10^3 cells/ml – 14%), de igual manera se encontró que la concentración 10^9 cells/ml pudo regenerar fisuras más anchas de hasta 1.71mm mientras que las otras concentraciones alcanzaron 1.47mm y 1.34mm respectivamente. Se concluye que el mayor incremento en la resistencia a la compresión y la reparación de fisuras está relacionado proporcionalmente a una mayor concentración de bacterias.

Ferral y Galicia (2020), tuvieron como objetivo estudiar la biomineralización, esto a través de bacterias que nuclean (La nucleación es la formación de un núcleo o partícula inicial con las propiedades de un cristal) iones de calcio y forman minerales, dentro de estas bacterias esta la especie del género *Bacillus*, produciendo estas cristales de CaCO_3 con diferentes morfologías, estudiaron la formación de cristales de *Bacillus subtilis* en un sistema semisólido no ureolítico, el nivel de esta investigación es descriptivo, esto mediante la cultivación de *Bacillus subtilis* ATCC 23875 en placas Petri por triplicado incubándolas a 37° por 3 días, posteriormente se lavaron las placas con 11 ml de agua ultrapura y se raspo suavemente la superficie para obtener los cristales, luego se recuperó el agua y se obtuvo los cristales mediante decantación. Los cristales fueron observados mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), se realizó un mapeo EDS (espectroscopio de rayos x de dispersión de energía) para verificar la composición de los cristales y se detectaron las formas alotrópicas de carbonato de calcio mediante difracción de rayos X (XRD) de 0 a $40 2\Theta$ grados con radiación de molibdeno, mediante estos ensayos se produjeron 2 formas alotrópicas (Calcita y Vaterita), la morfología indicó que las bacterias influyendo en la nucleación mineral alrededor de su pared celular, con esto



se espera implementar estas bacterias para la creación de materiales sostenibles y su implementación en restauración y refuerzo de monumentos además de otras aplicaciones dentro de la construcción.

Schwantes et al. (2018), estudiaron la adición de esporas de *Bacillus subtilis* (B.S.), a un concreto convencional con el objetivo de analizar la capacidad de relleno de fisuras, el nivel de esta investigación es explicativo, estas bacterias fueron aisladas en Brasil a partir de hojas de arroz, posteriormente cultivadas y luego refrigeradas a 8°C para que puedan esporular. Posteriormente fueron añadidas en probetas cilíndricas de 100mm x 200mm en concentraciones de 0.3x10⁸ esporas/mL y 1.2x10⁸ esporas/mL, las cuales fueron curados en agua (rango de temperatura 20°C ± 2°C) durante 28 días para la posterior prueba de resistencia a la compresión y 43 días para el monitoreo de fisuras. El concreto tuvo 2 dosificaciones de agregados y relación agua-cemento (1:1:2 – 1:2:3 / 0.33 – 0.45). Se observó la precipitación de carbonato de calcio a partir del día 15 y se pudieron reparar fisuras de hasta 0.19mm, todo esto se analizó de manera visual. Respecto a la resistencia a la compresión se encontró las muestras con la adicción de esporas presentaron una menor resistencia en 20.06 y 16.58% para las concentraciones 0.3x10⁸ esporas/mL y 1.2x10⁸ esporas/mL en la mejor dosificación. Los investigadores concluyeron que la adicción de bacterias puede reparar fisuras, pero disminuye la resistencia a la compresión, aunque esto podría corregirse con una mayor concentración de bacterias.

Asenjo (2019), tuvo como objetivo estudiar la eficacia entorno a la reparación de fisuras mediante la adicción de 17 cepas bacterianas, esto en concretos con una resistencia de diseño de 250 kg/cm² y cumplían con la normativa NTP 339.183 y NTP 339.078, el nivel del presente estudio es explicativo, para iniciar se las 17 cepas con presencia de endosporas, incorporando estas a probetas prismáticas de 7.5 x 2.5 x 2.5 cm con una



concentración cercana a 3×10^8 cepas bacterianas por ml, diluidas en caldo de cultivo, se aplicó superficialmente y durante la elaboración, se encontró la precipitación carbonato de calcio de acuerdo al software ABIS en 2 cepas las cuales fueron *Paenibacillus lactis* y *Bacillus firmus*, estas 2 fueron utilizadas en la misma concentración para elaborar probetas cilíndricas de 6" x 12". El porcentaje de reparación encontrado a los 28 días en la cepa *Paenibacillus lactis* fue de 70% y 80.6% en fisuras de 2 y 1mm respectivamente y en la cepa *Bacillus firmus* fue del 68.3% en una fisura de 1mm. En cuanto a la resistencia a la compresión se observó un crecimiento del 35.68% y 14.08% con la adicción de las la cepa *Paenibacillus lactis* y *Bacillus firmus* respectivamente. Concluyendo que la adicción de ambas cepas de bacterias es positiva en la reparación de fisuras e incrementando la resistencia a la compresión.

Oblitas (2023), tuvo como objetivo analizar la reparación de fisuras, resistencia a la compresión, trabajabilidad, permeabilidad y módulo de elasticidad en el concreto con la adición de la bacteria *Bacillus megaterium* en concreto con una resistencia de diseño de 210 kg/cm², el nivel de esta investigación es explicativo, para ello las bacterias fueron obtenidas de GenLab Perú, y posteriormente añadidas en probetas cilíndricas., en 2 concentraciones las cuales fueron de 1×10^5 y 1×10^6 cel/ml, las probetas fueron curadas según las NTP 339.033 con diferencia de que al bioconcreto se le añadió 50g/L de Cal (OH)₂ + 20 g/L de urea, de esto se obtuvo testigos a edades de 7, 14, 28, 56 y 84 días. Se observo que a una mayor concentración de bacterias la trabajabilidad disminuye, la resistencia a la compresión fue medida según la NTP 339.034 y dio como resultado a los 28 días que la concentración 1×10^5 cel/ml aumento la resistencia a la compresión en un 24.6% y 1×10^6 cel/ml solo en 13%, de igual manera en cuando a absorción la muestra con 1×10^5 cel/ml presento menor absorción que la muestra control y la concentración 1×10^6 cel/ml, en cuanto al mayor módulo de elasticidad lo presento la muestra con 1×10^5 cel/ml



y para la reparación de fisuras a los 28 días, tuvo un mejor resultado la concentración 1×10^5 cel/ml recuperando hasta un 50% en una fisura de 0.40mm. Con lo anterior se concluye que la incorporación de la bacteria *Bacillus megaterium* en una concentración de 1×10^5 cel/ml brinda mejores resultados en contraste a la muestra control y la concentración 1×10^6 cel/ml en los ámbitos estudiados.

Pariona (2021), estudio la adicción de la bacteria alcalofila *Bacillus cohnii* DMS 6307 en un concreto de resistencia de diseño de 280kg/cm² con el propósito de analizar su disposición a la auto reparación de fisuras, el nivel de esta investigación es explicativo, las bacterias fueron cultivadas en distintos medios de cultivo para encontrar el más eficiente y posteriormente encapsuladas en perlita expandida. Estas fueron agregadas al concreto como un reemplazo del agregado fino en probetas cilíndricas de 10cm x 20 cm y discos de concreto 10 cm x 5 cm, se elaboraron probetas control, probetas auto reparables, probetas control con lactato y probetas control sin lactato. Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión en las probetas cilíndricas a los 3, 7, 14, 21 y 28 días para la resistencia inicial y para la recuperación de resistencia, la reparación de fisuras fue realizada en los discos de concreto. Se determinó que el medio de cultivo más efectivo fue MC02, y que la bacteria encapsulada en perlita expandida, utilizada como sustituto del 50% del agregado fino, logra reparar fisuras de hasta 0.30 mm de ancho, recupera el 80.9% de la resistencia a la compresión y aumenta esta resistencia en un 5.7%, manteniendo al mismo tiempo su capacidad de bombeo. Concluyendo que la adicción bacteriana es positiva en la reparación de fisuras e incremento en la resistencia a la compresión.

Mendoza y Sánchez (2017), tuvieron la intención de determinar si la bioreparación con bacterias *Bacillus subtilis* mantiene la resistencia a la compresión en concretos fisurados de diseño 210kg/cm², el nivel de esta investigación es explicativo, para ello se



utilizó 2 soluciones bioreparadoras A (Silicato de sodio g/L, Gluconato de sodio g/L, Extracto de levadura g/L y bacterias 1.6×10^8 esporas/L) y B (Lactato de calcio o nitrato de calcio 500g/L y bacterias 1.6×10^8 esporas/L), las cuales fueron añadidas a probetas cilíndricas de concreto de 10cm x 20 cm de acuerdo a la norma ASTM C-31 y ASTM C-39. Se aplicó las soluciones mediante el curado en dosificaciones de 200ml y con inyecciones de manera variable a los 0, 7, 14 y 28 días además dividieron en grupos curados con bioreparador y otros curados en agua hasta los 28 días. Se ejecutaron ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días y el control de fisuras de 0.3mm a 1.5mm fue a través de microscopios y estereoscopios. Se encontró que mediante la aplicación de las soluciones bioreparadoras no se alcanzó la resistencia de las muestras control a 28 días (228 kg/cm^2), pero en cierta medida las muestras con solución bioreparadora mostraron un mejor comportamiento a los 28 días ($99.79 - 139.58 \text{ kg/cm}^2$) que la muestra control fisurada (67.61 kg/cm^2), por parte de las fisuras se observó que no hubo una reparación visual de las fisuras, solo a los 21 días en el mejor escenario se pudo observar una precipitación de carbonato de calcio. Concluyéndose que la incorporación de ambas soluciones bacterianas no mejoró la resistencia a la compresión del concreto ni repararon sus fisuras, sin embargo, se pudo observar la precipitación de carbonato de calcio.

Quevedo y Sánchez (2021), tuvieron como finalidad analizar el impacto de la bacteria *Bacillus subtilis* en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto con una resistencia de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Esta investigación tiene un enfoque explicativo., para ello las bacterias fueron adquiridas en forma de suspensión concentrada con una concentración de al menos $2.5 \times 10^9 \text{ ufc/ml}$ y serán añadidas a probetas cilíndricas (0.15m x 0.30m) y prismáticas (0.50m x 0.15m x 0.15m) en porcentajes de 0.5%, 0.75% y 1% del total de agua a usar. ensayos de resistencia a la compresión y flexión fueron realizados



a los 7, 14 y 28 días. La resistencia a la compresión hallada en control fue 215.63 kg/cm², con 0.5% de bacteria 229.88 kg/cm², con 0.75% de bacteria 232.17 kg/cm², con 1% de bacteria 222.74 kg/cm²; la resistencia a la flexión en control fue 36.49 kg/cm², con 0.5% de bacteria 40.67 kg/cm², con 0.75% de bacteria 41.20 kg/cm², con 1% de bacteria 39.72 kg/cm². En conclusión, el mejor resultado se alcanzó con un porcentaje del 0.75% de la cantidad total de agua utilizada, tanto para la resistencia a la flexión como a la compresión.

Santos (2021), estudió la incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis* con el fin de aumentar la resistencia a la compresión de un concreto convencional, el nivel de esta investigación es explicativo, esta bacteria fue obtenida en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y luego adicionada en la concentración de 10⁹ cells/ml en la mezcla de concreto moldeada de forma cilíndrica de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un tiempo de curado de 28 días de acuerdo al método ACI 211. El ensayo a la resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, dando como resultado que la resistencia del concreto tradicional o patron siempre fue mayor a la resistencia del bioconcreto en las diferentes edades, esto se dio de la siguiente manera: a los 07 días un 4%, a los 14 días un 18%, a los 21 días un 23% y a los 28 días un 25%. Para estudiar la reparación de fisuras, se originaron fisuras a partir del ensayo de resistencia a compresión, ensayando los cilindros hasta que se presenten fisuras y detener la carga, generándose anchos de fisuras de 1.00 mm, resultando que, a los 140 días el ancho midió 0.03 mm. El investigador obtuvo resistencias a la compresión inferiores a las del estándar, probablemente porque quiso simular los decantadores de la planta de tratamiento de agua la Atarjea agregándole cloro a las pozas de curación, este afecta el correcto desarrollo de las bacterias o incluso las elimina por lo que, en lugar de generar calcita, se generaron vacíos.



Siancas y Saldaña (2021), estudiaron la integración de la bacteria *Bacillus subtilis* a un concreto de 210 kg/cm^2 con el objetivo de mejorar su resistencia a la compresión, el nivel de esta investigación es explicativo, para ello dicha bacteria fue aislada y cultivada, para posteriormente ser añadida en porcentajes del concreto los cuales son 4%, 8% y 12%, a la mezcla de cilindros de concreto de 10 cm x 20 cm, con un tiempo de curado en agua de 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, resultando que para un porcentaje del 12% hubo un incremento de la resistencia del 50%. Los investigadores demostraron que la adición de bacterias es beneficioso en cuanto a las propiedades mecánicas del concreto.

Ascate y Miranda (2019), estudiaron la adición de la bacteria *Bacillus subtilis* a un concreto de 210 kg/cm^2 con el objetivo de mejorar su resistencia a la compresión, el nivel de esta investigación es explicativo, para ello dicha bacteria fue aislada y cultivada, para posteriormente ser añadida en porcentajes del concreto los cuales son 4%, 8% y 12%, a la mezcla de cilindros de concreto de 10 cm x 20 cm, con un tiempo de curado en agua de 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, dando como resultado que para el porcentaje del 12% hubo un incremento de la resistencia del 17%. Los investigadores indicaron que para que se alcance una resistencia de 240 kg/cm^2 el porcentaje idóneo de solución bacteriana es de 11.95% a los 28 días de curado.

Flores y Peñares (2023), estudiaron el reemplazo del agua potable para la elaboración de concreto, por aguas residuales tratadas en la PTAR Aclara, y la incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis*, esto con el objetivo de mejorar sus propiedades físico mecánicas, el nivel de esta investigación es explicativo. Dicha bacteria fue obtenida en el laboratorio microbiológico Innova Biotech Agro SAC. en una concentración de 10^9 cel/ml además se le añadió Lactato de Calcio (alimento para la



bacteria) en la proporción de 109.1 g/l, estos aditivos fueron añadidos a la mezcla de cilindros de concreto de 10 cm x 20 cm, con un tiempo de curado de 28 días. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión de acuerdo a la norma NTP 339.034 a las edades de 7, 14 y 28 días, dando como resultado que para el concreto con agua residuales más la adición de bacterias resultó mayor que el concreto con solo aguas residuales en 17% y 24% respectivamente. Los investigadores concluyeron que el uso del aditivo bacteriano no es desfavorable a en la mezcla de concreto y mejora sus propiedades físico – mecánicas.

Puellas (2021), estudió la integración de fibras de acero con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión de un concreto convencional, el nivel de esta investigación es explicativo, este material fue adicionado al 0.5%, 1% y 1.5% respecto del peso del agregado fino en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un tiempo de curado de 28 días. El ensayo a la resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 14, 21 y 28 días, mostrando que con la dosificación del 1.5% y a la edad de 28 días, se obtuvo el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 16.1% con respecto al concreto convencional. La investigadora concluyó que la adición de fibra de acero influye significativamente mejorando las propiedades mecánicas de acero incrementando su resistencia a la compresión, estima que la adición de este material incrementa en S/ 28.30, siendo compensable los beneficios que proporciona.

Alor y Alfaro (2020), estudió la incorporación de virutas de acero con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión de un concreto convencional, el nivel de esta investigación es exploratorio, este material fue adicionado al 8%, 10% y 12% respecto del peso del agregado fino en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un



tiempo de curado de 28 días. El ensayo a la resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, mostrando que con la dosificación del 10% y a la edad de 28 días, se logró el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 22.38% con respecto al concreto convencional. Los investigadores concluyeron que la inclusión de virutas de acero mejora las propiedades mecánicas del concreto. Además, el costo de producción al utilizar este material disminuye teniendo un ahorro de S/10.08 por metro cúbico para una adición del 10% de Virutas.

Osorio (2021), estudió la integración de un aditivo superplastificante con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión del concreto utilizado por los maestros de obra en la construcción de losas aligeradas de viviendas, el tipo de esta investigación es aplicada, con la finalidad de no afectar la relación de agua y cemento, este material fue adicionado al 0.7% y 1.4% respecto de una bolsa de cemento en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura con una resistencia de diseño de 280 kg/cm^2 y un tiempo de curado de 28 días. El ensayo a la resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 7, 14 y 28 días, mostrando que con la dosificación del 1.4% y a la edad de 28 días, se obtuvo el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 41.85% con respecto al concreto sin adición. El investigador concluyó que la cantidad de agua que utilizan los maestros de obra es muy alta por lo que hace que la resistencia a la compresión del concreto sea baja con valores desde los 30 kg/cm^2 hasta los 138 kg/cm^2 y el uso del aditivo super plastificante mejora significativamente la resistencia a la compresión.

Quispe (2018), estudió la incorporación de la ceniza de cascara de arroz con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión de un concreto convencional, el nivel de esta investigación es explicativo, este material fue adicionado al 5%, 10% y 20% respecto del cemento en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 15cm



de diámetro x 30 cm de altura y 10 cm de diámetro x 20 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un tiempo de curado de 56 días a una temperatura promedio de 13°C. Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron a los 14, 28 y 56 días. Mostrando que las muestras que tuvieron un 85% o 80% de cemento mostraron una disminución del 3.55% hasta el 25.35% respecto a la muestra control, en cambio con la dosificación del 10% y a la edad de 28 días, se obtuvo el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 4.96% con respecto al concreto convencional, pero la combinación que provee una disminución de costo mayor con 5.82% sería el de 90% de cemento y el 5% de ceniza. Concluyéndose que la inclusión de la ceniza de cascara de arroz logro una mejora del 4.96% de la resistencia a la compresión con un descenso del costo de 5.82%.

Quenta (2019), estudió la adición de las fibras de las botellas PET con la finalidad de mejorar la resistencia a la compresión de un concreto convencional con una relación agua – cemento de 0.50, el nivel de esta investigación es explicativo, este material fue adicionado al 2%, 4%, 6% y 8% respecto del cemento en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un tiempo de curado de 28 días. Mostrando que con la dosificación del 2% y a la edad de 28 días, se obtuvo el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 2.6% con respecto al concreto convencional. El investigador concluyó que para el concreto con hasta 4% de fibras PET se obtendrán resistencias superiores a 210 kg/cm² y se reducirá el asentamiento hasta un 48.03% generando una mejor trabajabilidad, sin embargo, para mayores porcentajes de PET se disminuirá más la trabajabilidad y se tendrán resistencias a la compresión menores; la densidad seca tiende a disminuir con respecto al concreto normal por lo que lo hace más ligero siendo una posible opción para la disminución de cargas muertas en construcción de viviendas.



García (2017), estudió la incorporación de las fibras de vidrio con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión de un concreto convencional, el nivel de esta investigación es explicativo, este material fue adicionado al 0.025%, 0.075% y 0.125% respecto del peso de los materiales, en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un tiempo de curado de 28 días. El ensayo a la resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 7, 14 y 28 días, mostrando que con la dosificación del 0.025% y a la edad de 28 días, se obtuvo el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 6.68% con respecto al concreto convencional. Se concluyó que la resistencia a la compresión es mayor en todos los grupos de control, y que añadir un 0.025% de fibra de vidrio al concreto normal con una resistencia de 210 kg/cm² reduce su costo de producción en un 2.94%.

Ccopa (2017), estudió la adición de grafeno con el objetivo de potenciar la resistencia a la compresión de un concreto estándar, el nivel de esta investigación es explicativo, este material fue adicionado al 0.5%, 1% y 1.5% respecto del peso del cemento en la mezcla de concreto moldeada de formas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y un tiempo de curado de 28 días. El ensayo a la resistencia a la compresión fue realizado a las edades de 7, 14 y 28 días, mostrando que con la dosificación del 1.5% y a la edad de 28 días, se obtuvo el mayor incremento de la resistencia a la compresión con un valor del 26% con respecto al concreto convencional. El investigador concluyó en que, la adición de grafeno aumenta la resistencia a la compresión, a su vez mejora la trabajabilidad del concreto incrementando el slump en 1 plg., en términos de costos, el uso del grafeno incrementa en un 47% con respecto al de un concreto patrón.



Mendoza (2021), tuvo como finalidad estudiar la influencia de la incorporación de nanosílice para un concreto de alta resistencia de 350 kg/cm^2 , el nivel de esta investigación es explicativo, este material sustituyó en 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3% al cemento del concreto patrón con una relación agua – cemento de 0.42, el cual fue moldeado en cilindros de 6” x 12” y tuvo un tiempo de curado de 28 días de acuerdo al ACI 211.4. Para medir su resistencia se utilizó el ensayo de resistencia a la compresión en edades de 7, 14 y 28 días, dando como resultado que hubo un incremento de 14.50%, 19.95%, 29.51%, 19.33% y 5.33% respectivamente a los porcentajes de sustitución mencionados y en contraste con el concreto control. La resistencia a la tracción por compresión diametral tuvo una variación positiva de 7.05%, 8.87%, 9.74%, 10.63%, 8.95% y 8.46% respectivamente. El investigador concluyó que el porcentaje idóneo de sustitución es de 2% teniendo una resistencia a la compresión a los 28 días de 453.28 kg/cm^2 .

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Edificación

Una edificación es una estructura construida para ser habitada o utilizada con diversos fines. Puede referirse a cualquier tipo de construcción, desde viviendas y edificios de oficinas hasta puentes y monumentos. La norma G.040 (2021) del Reglamento Nacional de Edificaciones lo define como el proceso de construcción de una obra permanente con el fin de refugiar a individuos y el desarrollo de sus actividades.

2.2.1.1. Tipos de edificaciones

2.2.1.1.1. Edificaciones esenciales



De acuerdo con las disposiciones de la norma E.030 (2019) del Reglamento Nacional de Edificaciones, las construcciones esenciales son aquellas que deben ser contempladas durante el diseño y la construcción de estructuras para asegurar su resistencia y funcionalidad en situaciones de desastre, como los sismos. Estas edificaciones se dividen en tres categorías, dependiendo de su importancia y particularidades.

Categoría A1. Incluyen establecimientos de salud (tanto públicos como privados) de segundo y tercer nivel, de acuerdo con las normativas del Ministerio de Salud. Además, incluyen puertos, aeropuertos, estaciones de tren para pasajeros, sistemas de transporte masivo, edificios municipales, centros de comunicación, estaciones de bomberos, cuarteles de las Fuerzas Armadas y de la Policía, instalaciones para la generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua, así como instituciones educativas, tecnológicas y universitarias.

Categoría A2. Engloban edificaciones cruciales para la gestión de emergencias, el funcionamiento gubernamental y aquellas que pueden utilizarse como refugio luego de un desastre. Esto incluye establecimientos de salud que no se encuentran dentro de la categoría A1, estaciones de bomberos, instalaciones de generación y transformación de electricidad, cuarteles de las Fuerzas Armadas y Policía, reservorios y plantas de tratamiento de agua, así como instituciones educativas, tecnológicas y universitarias.



Categoría A3. Se refieren a instalaciones que almacenan archivos e información crucial del Estado, así como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.

2.2.1.1.2. Edificaciones importantes

Son construcciones que, aunque podrían experimentar daños considerables debido a movimientos sísmicos moderados para la ubicación del proyecto, tienen el potencial de colapsar y causar daños graves a las personas. Estas edificaciones requieren consideraciones especiales para asegurar que permanezcan operativas después de un sismo severo, son, estadios, coliseos, cines, establecimientos penitenciarios, teatros, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.

2.2.1.1.3. Edificaciones comunes

Corresponden a edificaciones comunes tales como hoteles, viviendas, restaurantes, oficinas, depósitos e instalaciones industriales, pueden experimentar daños reparables dentro de límites aceptables debido a movimientos sísmicos moderados para la ubicación del proyecto. El diseño y la construcción de estas edificaciones también deben incluir consideraciones especiales.

2.2.1.1.4. Edificaciones temporales

Son construcciones temporales, provisionales o similares, como depósitos, casetas y estructuras afines.



En la planificación y construcción de cada tipo de edificación, se siguen los sistemas estructurales y especificaciones particulares indicadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, teniendo en cuenta la ubicación geográfica y las características sísmicas del terreno.

2.2.2. Viviendas

Según la norma G.040 (2021) del Reglamento Nacional de Edificaciones, la vivienda es una edificación compuesta por espacios destinados al alojamiento de una o varias personas, con la capacidad de atender sus necesidades para descansar, alimentarse, preparar alimentos, higienizarse, entre otras actividades.

Las viviendas en el Perú son diversas y variadas y se adaptan a las diferentes regiones geográficas y culturales del país. La construcción de viviendas ha sido un tema importante en la política pública en Perú, con el objetivo de mejorar la calidad de las viviendas y reducir el déficit habitacional en el país (Quispe, 2005).

En la costa peruana las viviendas suelen ser de adobe o ladrillo, mientras que, en las regiones andinas, las viviendas pueden estar hechas de piedra o adobe con techos de paja o tejas de barro (Aranda y Caldas, 2023). En la selva amazónica, las viviendas pueden estar hechas de madera y hojas de palma (Cisneros, 2016).

2.2.2.1. Viviendas informales

Las viviendas informales son un fenómeno significativo que presenta desafíos tanto en términos de seguridad estructural como de cumplimiento de normativas legales. Estas viviendas se caracterizan por



su construcción sin licencia y a menudo carecen de la supervisión técnica adecuada, lo que las hace más susceptibles a daños en caso de desastres naturales, como terremotos o avalanchas (Idencity, 2018; Perez, 2023).

La construcción informal de viviendas representa un riesgo significativo para sus habitantes, ya que la falta de supervisión técnica puede conducir a la utilización de materiales de construcción inadecuados o a la adopción de prácticas constructivas inseguras (Jolmem, 2021).

La autoconstrucción de viviendas informales es a menudo la principal alternativa para los sectores empobrecidos, y la falta de opciones asequibles en el mercado inmobiliario formal impulsa esta práctica (Aranda y Caldas, 2023). Sin embargo, la falta de supervisión técnica y el incumplimiento de normativas de construcción representan un riesgo significativo para la seguridad y el bienestar de los habitantes de estas viviendas (Jolmem, 2021).

2.2.3. Autoconstrucción

La autoconstrucción en el Perú es una práctica común y es llevada a cabo por una gran parte de la población, en especial zonas urbanas y rurales. De acuerdo con la Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios del Perú (ADI Perú), el 80% de las residencias en el país son construcciones realizadas de manera autónoma y presentan una notable vulnerabilidad frente a fenómenos naturales, como terremotos, lluvias e inundaciones. La autoconstrucción se define como la manera en que una persona o familia construye su vivienda con sus propios recursos, sin contar necesariamente con asesoría profesional en la etapa del diseño y la ejecución (Ybañez, 2023).



La práctica de construir por cuenta propia generalmente se manifiesta en estratos socioeconómicos más bajos, ya que las limitaciones financieras y el anhelo de poseer una residencia propia motivan a estas personas a buscar ayuda de individuos con experiencia constructiva, aunque sin formación técnica. Estos constructores no especializados ofrecen servicios de diseño y construcción a un costo significativamente inferior al de contratar profesionales especializados en el campo (Canahualpa et al., 2021).

2.2.3.1. Maestros de obra

Según el Manual de Construcción para Maestros de Obra de Aceros Arequipa (2022), estos constructores son los responsables de dirigir y coordinar las actividades de construcción en el sitio, asegurando que se cumplan los estándares de calidad y seguridad; deben poseer competencias en campos como albañilería, procedimientos constructivos, evaluación de la calidad del concreto y garantizar la seguridad y la higiene en el lugar de trabajo, entre otras áreas.

Falconi et al. (2022) señalan que, A pesar de su relevancia, solo el 44% de los maestros de obras en el país tienen estudios técnicos, lo que crea una brecha significativa que necesita ser abordada. Es crucial destacar la necesidad de que los maestros de obras realicen sus tareas basados en una formación que les brinde las habilidades necesarias para la industria.

2.2.4. Concreto

El concreto es un material de construcción compuesto típicamente por una mezcla de agua, cemento y agregados. Se puede considerar una piedra conglomerada artificial que presenta propiedades semejantes a las de una roca,



como una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a los esfuerzos de tracción. (Foti, 2018).

Las múltiples investigaciones en concreto se centran en mejorar sus propiedades y aplicaciones, incluyendo la creación de concretos sostenibles, biotecnológicos, de alta resistencia, etc.

2.2.4.1. Composición del concreto

2.2.4.1.1. Cemento

Es un componente principal del concreto y es un material utilizado en la construcción para unir materiales y formar estructuras. El cemento es un polvo fino que se combina con agua y otros materiales para formar una pasta que se endurece con el tiempo. El cemento Portland es el cemento más común utilizado en la construcción, principalmente, se compone de silicato hidráulico de calcio, obtenido a su vez mediante la molienda del clinker enfriado con un reducido contenido de sulfato de calcio (yeso), fluctuando entre un 4% y un 6% (Harmsen, 2018).

De acuerdo con Harmsen (2018), el cemento está compuesto por diversos elementos, siendo los principales los siguientes:

- Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (C_3S) (Alita): Este componente confiere al cemento su resistencia inicial y tiene un impacto directo en la generación de calor durante la hidratación.
- Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (C_2S) (Belita): Precisa la resistencia a largo plazo del cemento y tiene una influencia menor en la generación de calor durante la hidratación.

- Aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) (C_3A): Actúa como catalizador en la reacción de los silicatos y provoca un fraguado rápido. Para retardar este proceso, es necesario agregar yeso durante la fabricación del cemento.
- Alumino-Ferrito Tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) (C_4AF) (Celita): Afecta en la velocidad de hidratación y, de manera secundaria, en la generación de calor durante este proceso.

Además de estos componentes principales, el cemento contiene elementos menores como óxidos de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. Estos elementos complementan la composición del cemento que, cuando se mezcla con agua y agregados forma el material fundamental para la construcción.

La norma ASTM C150 (2001) y NTP 334.090 (2020) clasifican el cemento en distintos grupos generales de acuerdo a su finalidad.

Tabla 1

Tipos de cemento

Tipo de cemento comerciales en Perú	Características
Tipo I	Portland normal
Tipo IP	Portland puzolánico
Tipo GU	Cemento hidráulico para construcciones generales
Tipo HE	Cemento hidráulico de alta resistencia inicial
Tipo MS	Cemento hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos
Tipo HS	Cemento hidráulico de alta resistencia a los sulfatos
Tipo MH	Cemento hidráulico de moderado calor de hidratación
Tipo LH	Cemento hidráulico de bajo calor de hidratación

Fuente: Adaptado de las normas ASTM C150 (2001), NTP 334.090 (2020) y NTP 334.082 (2020).



2.2.4.1.2. Agregados

Son materiales granulares esenciales en la fabricación del concreto, ejerciendo un impacto sustancial en las propiedades mecánicas y físicas, tanto en su estado fresco como endurecido. Los aspectos clave de los agregados que inciden en las propiedades del concreto son: su forma, gradación, textura, capacidad de absorción, composición mineralógica, módulo de elasticidad, resistencia, tamaño máximo, gravedad específica, dureza, resistencia a la corrosión por sulfato, etc (Patricia y Ramírez, 2010).

Existen dos categorías principales de agregados: finos y gruesos. Los agregados finos, que incluyen arena natural o artificial, ceniza volante, polvo de piedra y escoria de alto horno, se utilizan para llenar los vacíos entre los agregados gruesos y mejorar la trabajabilidad del concreto. Mientras que, los agregados gruesos, como grava, piedra triturada, escoria de alto horno y piedra partida, proporcionan resistencia y estabilidad al concreto (Patricia y Ramírez, 2010).

Los agregados finos y gruesos desempeñan un papel sustancial al ocupar aproximadamente el 60% al 75% del volumen total del concreto, lo que equivale a un rango del 70% al 85% de su masa. Tienen un impacto considerable en las propiedades del concreto tanto en su estado fresco como endurecido, afectando notablemente las proporciones de la mezcla y la eficiencia económica del material (Kosmatka et al., 2004).



2.2.4.1.3. Agregado fino

Es un material granular que se utiliza en la fabricación de concreto y mortero. Se precisa como aquel que pasa por el tamiz No. 4 (4,76 mm) y es retenido en el tamiz No. 200 (0,075 mm). Está compuesto principalmente por arena, pero también puede contener otros materiales como arcilla, limo y polvo de piedra (Martínez y Torres, 2013).

Es importante la calidad del agregado fino para la resistencia y durabilidad del concreto y mortero, ya que afecta la trabajabilidad, la densidad, la porosidad y la adherencia del material (Catañeda, 2015).

Para conocer sus propiedades físicas se realizan diversos ensayos de acuerdo a normativas como se detallan a continuación:

- Contenido de humedad (NTP 339.185, 2013)
- Granulometría (NTP 400.012, 2018)
- Peso unitario (NTP 400.017, 2011)
- Peso específico y absorción (NTP 400.022, 2013)

2.2.4.1.4. Agregado grueso

Es un componente clave en la mezcla de concreto, que junto con el cemento, el agua y el agregado fino, forma el material compuesto. Consiste en grava, piedra triturada o escoria, y su función principal es proporcionar resistencia a la mezcla de concreto (Cruz y Ramírez, 2022). Es el material retenido en el tamiz 4.75 mm (No. 4) (NTP 400.037, 2002). La calidad y las propiedades del agregado grueso pueden afectar significativamente las



características del concreto, como su resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

Para conocer sus propiedades físicas se realizan diversos ensayos de acuerdo a normativas como se detallan a continuación:

- Contenido de humedad (NTP 339.185, 2013)
- Granulometría (NTP 400.012, 2018)
- Peso unitario (NTP 400.017, 2011)
- Peso específico y absorción (NTP 400.021, 2018)

2.2.4.1.5. Hormigón

Está compuesto por la combinación que contiene piedra y arena gruesa en proporciones similares. Su aplicación se limita a la preparación de concretos de baja resistencia, destinados, por ejemplo, a cimientos, sobrecimientos y falsos pisos.

2.2.4.1.6. Agua

En el contexto del concreto es el componente que facilita las reacciones químicas en el cemento, permitiéndole fraguar y endurecer, resultando en la formación de una masa sólida con los agregados, según lo explicado por Sánchez (2001). Cabe destacar que se rige bajo las especificaciones establecidas por la normativa NTP 339.088 (2006).

2.2.4.1.7. Aditivos

Los aditivos en el contexto del concreto son sustancias, ya sean inorgánicas u orgánicas, que se incorporan a la mezcla con la finalidad de



modificar específicamente ciertas características del concreto, según la explicación de Pasquel (1998). La normativa NTP 334.088 (2015) y la (ASTM C494, 2017) clasifican los aditivos según su función de la siguiente manera:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua.
- Tipo B: Aditivos retardantes.
- Tipo C: Aditivos acelerantes.
- Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardantes.
- Tipo E: Aditivos reductores de agua y aceleradores.
- Tipo F: Aditivos reductores de agua de alto rango.
- Tipo G: Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes.

2.2.4.2. Tipos de concreto

De acuerdo a Abanto (2009), el concreto se puede clasificar en:

2.2.4.2.1. Concreto simple

Se refiere a una combinación de cemento Portland, agregado grueso, agregado fino y agua. En esta combinación, se requiere que el agregado grueso esté completamente cubierto por la pasta de cemento, mientras que el agregado fino debe llenar los espacios dejados por el agregado grueso y, al mismo tiempo, estar revestido por dicha pasta.

Cemento + A. Fino + A. Grueso + Agua = Concreto Simple



2.2.4.2.2. Concreto armado

Este término se refiere al concreto común que incluye refuerzos de acero, basado en la premisa de que ambos materiales colaboran conjuntamente. En este diseño, el acero se encarga de resistir los esfuerzos de tracción y de incrementar la resistencia a la compresión del concreto.

Concreto Simple + Acero = Concreto Armado

2.2.4.2.3. Concreto estructural

Se llama así al concreto común cuando es dosificado, mezclado, transportado y colocado siguiendo especificaciones detalladas que garantizan una resistencia mínima establecida en el diseño y una durabilidad adecuada.

2.2.4.2.4. Concreto ciclópeo

Se refiere al concreto simple que se complementa con piedras desplazadoras, con un tamaño máximo de 10", cubriendo hasta un máximo del 30% del volumen total. Estas piedras, seleccionadas y lavadas previamente, deben estar totalmente rodeadas de concreto simple en su ubicación final.

Concreto Simple + Piedra Desplazadora = Concreto Ciclópeo

2.2.4.2.5. Concretos livianos

Estos concretos se elaboran utilizando agregados livianos, y su peso unitario varía en el rango de 400 a 1700 kg/m³.



2.2.4.2.6. Concretos normales

Son preparados con agregados convencionales y su peso unitario varía entre 2300 y 2500 kg/m³, dependiendo del tamaño máximo del agregado, con un peso promedio de 2400 kg/m³.

2.2.4.2.7. Concretos pesados

Se elaboran utilizando agregados pesados, logrando un peso unitario que oscila entre 2800 y 6000 kg/m³. Estos pueden incluir materiales como baritas, minerales de fierro, como la magnetita, limonita y hematita, así como agregados artificiales como partículas de acero y fósforo de hierro. Se utilizan principalmente en aplicaciones como protección biológica contra radiaciones nucleares, cajas fuertes, paredes de bóveda, pisos industriales y contenedores para desechos radiactivos.

2.2.4.2.8. Concreto premezclado

Se refiere al concreto que se dosifica en planta y puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores, siendo luego transportado a la obra.

2.2.4.2.9. Concreto prefabricado

Se refiere a los elementos de concreto simple o reforzado que se fabrican en un lugar distinto al de su ubicación final en la estructura.



2.2.4.3. Propiedades del concreto

2.2.4.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco

- *Trabajabilidad.* Se refiere a la facilidad con la que el material fresco puede ser colocado, consolidado y acabado, así como a su capacidad para resistir la segregación. Es esencial que el concreto sea lo suficientemente trabajable para su manipulación, transporte y colocación, pero al mismo tiempo, los ingredientes no deben separarse durante estos procesos. En resumen, la trabajabilidad busca un equilibrio entre la manejabilidad del concreto y la prevención de la segregación de sus componentes durante su manipulación (Kosmatka et al., 2004).
- *Exudación.* De acuerdo con Kosmatka et al. (2004), también conocida como sangrado, se refiere al desarrollo de una capa de agua en la parte superior o en la superficie del concreto recién colocado. Este fenómeno se origina debido a la sedimentación o asentamiento de las partículas sólidas, como el cemento y los agregados, acompañado paralelamente por la migración del agua hacia la superficie. Es importante destacar que la exudación es un proceso normal y, cuando el concreto se coloca, se termina y se cura adecuadamente, no debería comprometer la calidad del material resultante.
- *Segregación.* Propiedad del concreto fresco que supone la división del material en sus componentes constituyentes, o de manera equivalente, la separación del agregado grueso del mortero, se conoce como segregación. Este fenómeno resulta perjudicial para el concreto, ya



que puede dar lugar a la formación de bolsas de piedra, capas arenosas, cangrejeras, entre otros efectos no deseables, especialmente durante el proceso de vertido y colocación del elemento (Abanto, 2009).

- *Contracción.* Propiedad considerada muy significativa, especialmente en relación con los problemas frecuentes de fisuración. La pasta de cemento experimenta inevitablemente una contracción debido a la reducción del volumen original del agua por reacciones químicas, fenómeno conocido como contracción intrínseca, el cual es un proceso irreversible (Pasquel, 1998).

2.2.4.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

- *Elasticidad.* Se refiere a su capacidad para deformarse bajo carga sin experimentar deformación permanente. Aunque el concreto no exhibe un comportamiento elástico estricto, ya que no presenta una relación lineal entre carga y deformación en compresión, se suele definir convencionalmente como el "módulo de elasticidad estática". Los módulos de elasticidad suelen variar entre 250,000 y 350,000 kg/cm², y la norma ASTM C-469 establece los procedimientos para calcular el módulo de elasticidad estático del concreto. (Pasquel, 1998).
- *Extensibilidad.* Se define en relación con la deformación unitaria máxima que el material puede experimentar sin llegar a fisurarse, específicamente en el nivel de microfisuración (Pasquel, 1998).
- *Durabilidad.* Hace referencia a su habilidad para soportar la influencia de factores externos como bajas temperaturas, retracción al secado, penetración de agua, desgaste por abrasión, agentes corrosivos,



eflorescencias, choques térmicos, entre otros, sin que sus propiedades físicas y químicas se deterioren con el tiempo. El concreto debe tener la capacidad de resistir la exposición a condiciones climáticas adversas, sustancias químicas y desgaste durante su servicio. Gran parte de los daños en el concreto debido a la intemperie pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La capacidad del concreto para resistir estos daños puede mejorarse incrementando su impermeabilidad, ya sea añadiendo entre un 2% y 6% de aire mediante un agente incorporador de aire o aplicando un revestimiento protector en la superficie. (Abanto, 2009).

- *Resistencia a la compresión.* Propiedad fundamental del concreto que evalúa su capacidad para resistir fuerzas de compresión. Se identifica como la carga máxima que puede tolerar un espécimen de concreto antes de que falle por compresión (Hernández et al., 2018). Esta propiedad es crucial en el diseño de estructuras de concreto, debido a que determina la capacidad de la estructura para soportar cargas pesadas, como las que se encuentran en edificios, puentes y presas (Gonzales, 2017).

Para determinar este parámetro, se recurre a las normas ASTM C39 (2021) y NTP 339.034 (2021).

- *Resistencia a la flexión.* Podría contemplarse como una forma indirecta de medir la resistencia a la tracción del concreto, ya que evalúa la resistencia a la falla por momento en una viga o losa de



concreto sin refuerzo. (Masías, 2018). Es controlada por la norma NTP 339.079 (2012).

- *Resistencia a la tracción.* Propiedad importante que evalúa su potencial para resistir fuerzas de tracción, es decir, fuerzas que tienden a estirar o alargar el material. A diferencia de la resistencia a la compresión, el concreto tiene una resistencia a la tracción muy baja, por lo que esta propiedad no se considera en el diseño de estructuras convencionales. Sin embargo, la tracción es relevante en la formación de grietas en el concreto debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o la disminución de temperatura (Masías, 2018). Es controlada por la norma NTP 339.084 (2017).

2.2.4.4. Dosificación del concreto

Es un proceso fundamental en la elaboración del concreto, ya que permite calcular la cantidad de materiales esenciales para obtener una mezcla con las propiedades deseadas. Se realiza mediante la determinación de las proporciones de los materiales que lo componen, tales como el cemento, la arena, la grava y el agua. Estas proporciones se expresan en términos de volumen o peso, y se establecen en función de las características del proyecto y las propiedades del concreto requeridas (Aceros Arequipa, 2022).

La dosificación del concreto es un proceso crítico que no puede ser realizado de manera empírica, ya que intervienen varias variables precisas, por lo que se requiere una cuidadosa planificación y ejecución para



garantizar la calidad y la resistencia del concreto (Marín, 2022; Ortiz, 2015). Existen diversas metodologías para la dosificación del concreto.

2.2.4.5. Dosificación informal

Se refiere a la mezcla de materiales que se realiza de manera empírica o no técnica, comúnmente llevada a cabo por maestros de obra en construcciones informales. Esta práctica puede implicar el uso de proporciones no adecuadas de cemento, arena, grava y agua, lo que resulta en mezclas de concreto de baja calidad y con propiedades no óptimas. La dosificación informal puede ser común en construcciones informales o autoconstrucciones, donde la falta de conocimientos técnicos y la limitación de recursos pueden llevar a la improvisación en la preparación del concreto.

De acuerdo a Garay y Quispe (2015), la dosificación informal del concreto en construcciones informales implica un alto consumo de agua y cemento, lo que conduce a resultados bajos de resistencia a la compresión y a un mayor costo en el proceso constructivo. Esta situación se ve agravada por la ausencia de conocimiento técnico de los maestros de obra y propietarios, quienes a menudo priorizan la economía sobre la calidad en la preparación del concreto.

2.2.4.6. Concreto informal

Es un tipo de concreto que se produce sin dirección profesional, utiliza materiales cuya calidad no siempre está controlada y no está obligado a cumplir con ninguna normativa. El concreto informal es un fenómeno común en el contexto de la construcción en Perú, especialmente



en áreas donde la falta de conocimientos técnicos, la limitación de recursos y la improvisación en la preparación del concreto son frecuentes. (Pasquel, 2010).

El concreto informal se refiere a la producción y uso de concreto de manera no técnica o empírica, comúnmente observada en construcciones informales o autoconstrucciones. Esta práctica puede implicar la utilización de mezclas de concreto con proporciones inadecuadas, lo que resulta en la obtención de mezclas de baja calidad y con propiedades no óptimas. Este tipo de material es muy utilizado en las diferentes regiones del Perú como en Arequipa en donde el concreto informal representa entre el 70% y 80% del total de las construcciones (CAPECO, 2021).

2.2.5. Bacterias

Son microorganismos unicelulares que pertenecen al reino Monera. Tienen una estructura celular simple, que consiste en una membrana plasmática, citoplasma y material genético dispuesto en una región llamada nucleóide. Pueden presentar diversas morfologías, como cocos, bacilos o espirilos, y se reproducen principalmente por fisión binaria. Las bacterias son ubicuas y se encuentran en diversos ambientes, desde el suelo hasta el cuerpo humano. Algunas bacterias son beneficiosas, como las que participan en la descomposición de la materia orgánica, la producción de alimentos y medicamentos, y la fijación de nitrógeno, mientras que otras son patógenas y causan enfermedades en plantas, animales y seres humanos (Bisang et al., 2009; Enrique et al., 2007).



El estudio de las bacterias está teniendo una gran incidencia en la biotecnología y es un tema de gran relevancia, ya que la manipulación genética de bacterias puede conducir al desarrollo de nuevas herramientas para aplicaciones biotecnológicas, así como a la identificación de enzimas y metabolitos de interés industrial (Bayas et al., 2019), la investigación en biotecnología bacteriana se está centrando en el uso de bacterias para generar conocimiento de calidad que sea útil para identificar y desarrollar bacterias, enzimas y metabolitos para la mejora de los procesos de producción de alimentos, la biorremediación de suelos, la resistencia antibiótica de comunidades microbianas, mejoramiento de las propiedades del concreto, entre otros campos.

2.2.5.1. Tipos de bacterias

De acuerdo a lo descrito por Merino (n.d.), las bacterias exhiben una estrategia altamente exitosa que les permite sobrevivir en diversos ecosistemas, destacando su capacidad para producir esporas como un mecanismo de escape frente a condiciones adversas.

Según los requerimientos de oxígeno y dióxido de carbono, las bacterias se clasifican en:

- Bacterias aerobias: requieren el 21% de oxígeno para su desarrollo.
- Bacterias microaerófilas: necesitan el 5% de oxígeno para su desarrollo.
- Bacterias anaerobias: no dependen de oxígeno y no sobreviven en ambientes con este gas.
- Bacterias anaerobias aerotolerantes: toleran niveles bajos de oxígeno, alrededor del 0,5%.



- Bacterias anaerobias facultativas: poseen la capacidad de sobrevivir con o sin oxígeno.
- Bacterias capnófilas: requieren dióxido de carbono y oxígeno para su desarrollo.

En función de una temperatura óptima, se clasifican en:

- Bacterias Psicrófilas: toleran temperaturas bajas entre 0 a 20°C.
- Bacterias Mesófilas: tienen un desarrollo mejor a temperaturas entre 20 a 45°C.
- Bacterias Termófilas: pueden tolerar ambientes con temperaturas superiores a 55°C.
- Bacterias Estenotérmicas: solo pueden sobrevivir a temperaturas que oscilan entre 35 y 36°C.
- Bacterias Euritérmicas: pueden prosperar en ambientes que van desde 0 a 44°C.

En relación con el pH, las bacterias se dividen en:

- Neutrófilas: con un pH dentro de 5,5 y 8.
- Acidófilas: con pH inferior a 5,5.
- Alcalófilas: con pH dentro de 8 y 11,5.

2.2.5.1.1. Bacterias del género Bacillus

El género Bacillus, perteneciente a la familia Bacillaceae, engloba más de 60 especies de bacterias con morfología bacilar. Estas son Gram positivas formadoras de endosporas son quimioheterótrofas, móviles y rodeadas de flagelos peritricos. Presentan la capacidad de adaptarse tanto



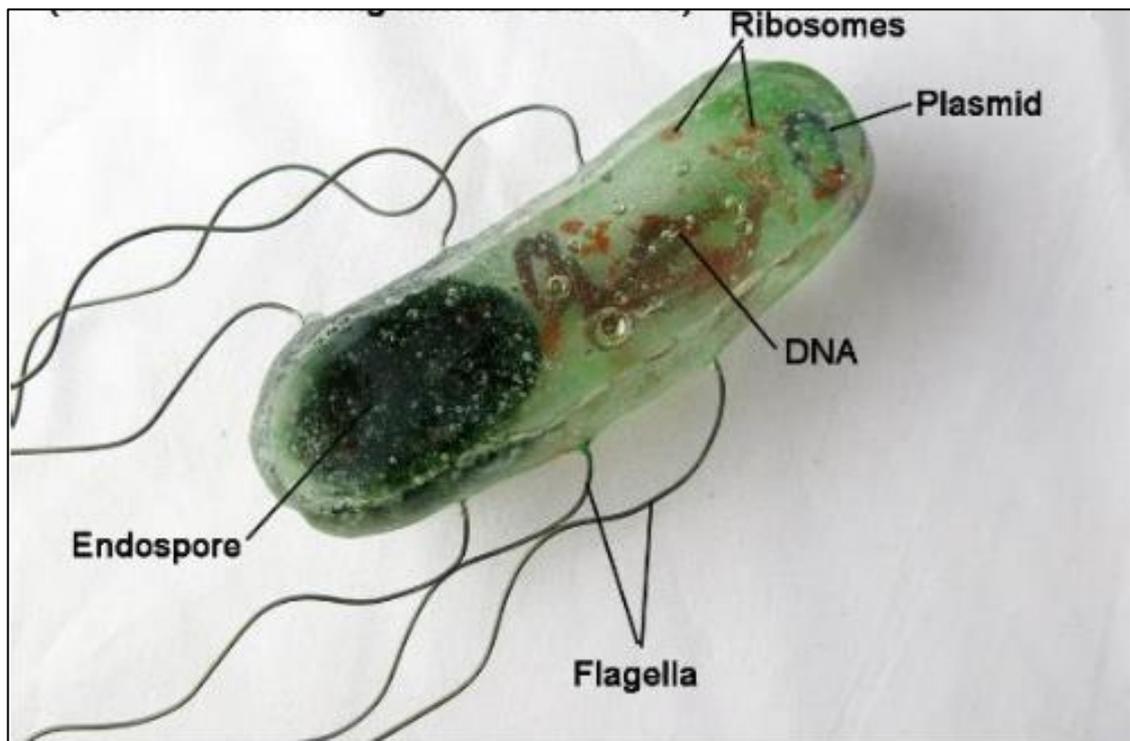
como anaerobios como aerobios facultativos y son positivos para la catalasa. Las células de este género tienen un rango de tamaño amplio, variando de 0,5 a 2,5 μm x 1,2 a 10 μm . *Bacillus* se encuentra frecuentemente en suelos y plantas, desempeñando un papel crucial en el ciclo del carbono y del nitrógeno. También es frecuente en aguas frescas y estancadas, siendo particularmente activos en sedimentos (Cuervo, 2010; Koneman et al., 2006).

Desde una perspectiva taxonómica, el género *Bacillus* se clasifica en la familia Bacillaceae, el orden Bacillales, la clase Bacilli y el filo Firmicutes, dentro del dominio Bacteria, según el Manual Bergey de Bacteriología Sistemática (Goodfellow et al., 2012). Este género presenta diversidad tanto fenotípica como genotípica. La distinción fenotípica entre especies de *Bacillus* se fundamenta en resultados como la fermentación de lactosa, manitol, sorbitol y melibiosa, la hidrólisis de urea y la descarboxilación de lisina (Anderson, 2003; Cuervo, 2010).

En la actualidad, las secuencias nucleotídicas del ARN ribosomal (16S) se utilizan para clasificar el género *Bacillus* en al menos cinco grupos distintos. Entre las especies más representativas de *Bacillus* se encuentran *B. alkalophilus*, *B. azotoformans*, *B. anthracis*, *B. brevis*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *B. coagulans*, *B. insolitus*, *B. firmus*, *B. licheniformis*, *B. turingiensis* y *B. polimyxa*, entre otros (Cuervo, 2010; Goodfellow et al., 2012).

Figura 1

Estructura del género *Bacillus*



Fuente: Obtenido de <https://transgenicosforlife.wordpress.com/2015/12/02/el-bioplaguicida-mas-famoso-bacillus-thuringiensis/>

Bacillus Subtilis. Históricamente, el término "*B. subtilis*" se asignaba a todos los bacilos aeróbicos que forman endosporas. Este organismo fue una de las primeras bacterias estudiadas, inicialmente nombrada *Vibrio subtilis* en 1835 y posteriormente renombrada *Bacillus subtilis* en 1872. Su descubrimiento fue accidental durante la Segunda Guerra Mundial, cuando soldados alemanes investigaban las altas tasas de disentería entre las tropas. Después de estudios exhaustivos, se identificó esta bacteria en estiércol de camello (Kramer et al., 1982).

B. subtilis es una bacteria Gram positiva aeróbica, su capacidad para diferenciarse y formar endosporas ha sido una característica de gran interés. Estas esporas son altamente resistentes a factores ambientales



como el calor, el ácido y la sal, lo que les permite persistir en el ambiente durante períodos prolongados. Antes de decidir la formación de esporas, la bacteria puede ser móvil mediante la producción de flagelos y también puede adquirir ADN del entorno a través de un sistema de competencia (Kramer et al., 1982).

Su hábitat común se encuentra en el suelo y en la proporción de residuos vegetales. *B. subtilis* produce diversas proteasas y enzimas que le permiten degradar una variedad de sustratos naturales, contribuyendo así a los ciclos de nutrientes (Chen et al., 2008).

Bacillus cereus. Es una bacteria grampositiva que forma esporas y produce toxinas termoestables, y se encuentra ampliamente distribuida en el medio ambiente (International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 1996).

Este bacilo es Grampositivo, móvil, con flagelos distribuidos en toda su superficie celular. Tiene la capacidad de crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno atmosférico. Su formación de esporas implica la generación de una spora única central o paracentral sin destrucción del esporangio. A nivel morfológico, *Bacillus cereus* presenta similitudes con *Bacillus anthracis*, pero a diferencia de este último, no es susceptible a la penicilina (Zagaceta, 2017).

En términos genéticos, *Bacillus cereus* contiene un solo plásmido grande que comparte similitudes en contenido y organización con el gen pXO1 de *B. anthracis*. Sin embargo, carece de la patogenicidad asociada



que se encuentra en el ántrax, específicamente, los genes del complejo de la toxina mortal y del edema (EFSA, 2005).

De acuerdo con Mazzali de Ilja (2003) la manipulación de la bacteria *Bacillus subtilis* se encuentra dentro del nivel de bioseguridad 1 es decir que no ocasionan enfermedad y que representan un mínimo riesgo o ninguno, tanto para el personal de laboratorio como para el medio ambiente y la comunidad.

Así también lo indica Sri Durga et al. (2021), quien se centró en seleccionar bacterias mediante estudios microbiológicos para la regeneración de fisuras utilizando las bacterias no patógenas *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus licheniformis* y *Bacillus halodurans*.

2.2.5.2. Estado

2.2.5.2.1. Ciclo vegetativo de *Bacillus*

Según el Manual de Prácticas e Introducción al Análisis Bacteriológico (Castillo et al., n.d.), las bacterias en estado vegetativo son células activas que se reproducen y crecen en condiciones favorables. Estas células poseen metabolismo endógeno y son sensibles a condiciones ambientales adversas, como la desecación, la alta irradiación UV y la temperatura alta. A diferencia de las bacterias en estado esporulado, las bacterias en estado vegetativo no forman esporas y son menos resistentes a condiciones extremas. Sin embargo, siguen siendo capaces de resistir al calor, a la desecación y a agentes químicos más que la correspondiente célula esporulada.



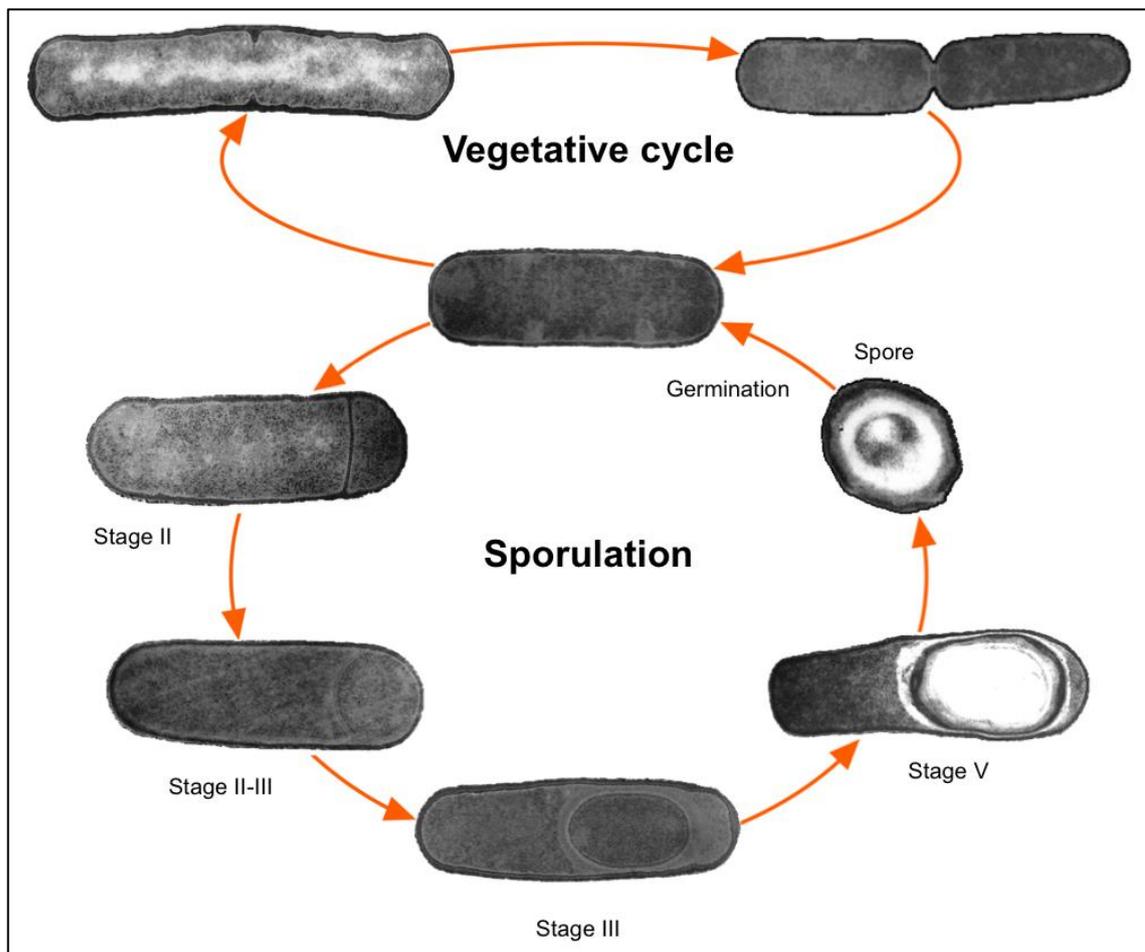
2.2.5.2.2. Esporulación en *Bacillus*

Las bacterias en estado esporulado son aquellas que se encuentran en un estado de metabolismo reducido y actividad celular mínima. Este estado es comúnmente inducido por condiciones ambientales desfavorables, como la escasez de nutrientes o la presencia de sustancias tóxicas. En este estado, las bacterias son capaces de sobrevivir durante largos períodos de tiempo, a la espera de que las condiciones mejoren para reanudar su crecimiento y división celular (Cerra et al., 2013; González, 2010).

Cuando las bacterias se encuentran en estado esporulado, su metabolismo se ralentiza significativamente. La síntesis de proteínas, el crecimiento celular y la replicación del ADN se detienen o se reducen al mínimo, lo que permite a las bacterias conservar energía y recursos. A pesar de su inactividad aparente, las bacterias en estado vegetativo siguen siendo viables y son capaces de recuperar su actividad metabólica normal cuando las condiciones lo permiten (González, 2010; Montaña et al., 2010).

Figura 2

Ciclo entre estado vegetativo y esporulado de la bacteria Bacillus subtilis



Nota: Una célula en crecimiento vegetativo se clasifica como etapa 0. Los cambios morfológicos clave durante la esporulación son la división asimétrica (etapa II), la incorporación de la prespora en la célula madre (etapas II-III), el ensamblaje de las capas protectoras (etapas IV-V), maduración de las esporas (etapa VI), lisis de la célula madre y liberación de la espora madura (etapa VII). En condiciones adecuadas, la espora germina y el estado vegetativo se restablece. Tomado de Dissecting the function of the SpoIIIJ and YqjG membrane protein insertases during bacterial spore development por Côrte (2013).

2.2.5.3. Biomineralización

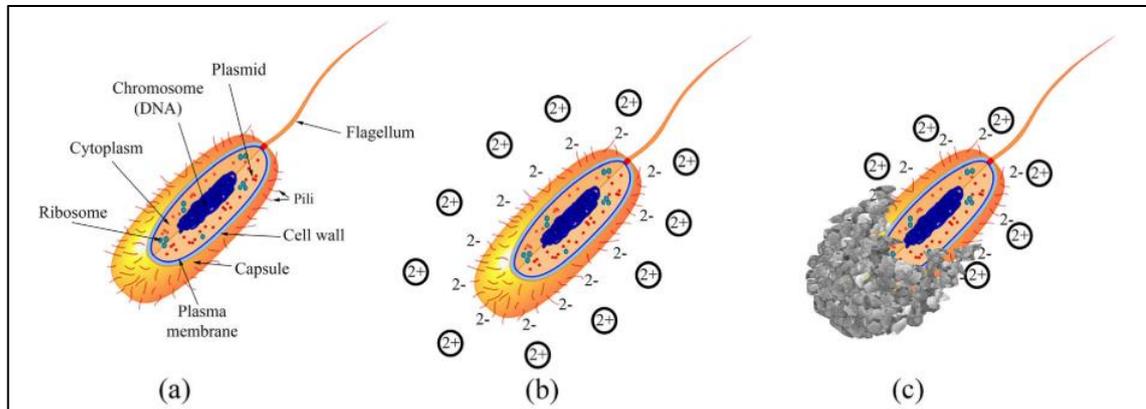
La mineralización inducida biológicamente es un proceso natural en el cual organismos vivos crean minerales. Este proceso, que ocurre generalmente en ambientes abiertos, es una consecuencia no controlada de la actividad metabólica de los microorganismos. Durante la

biomineralización, los biominerales se forman mediante la reacción entre los productos metabólicos producidos por los microorganismos y su entorno circundante (Seifan et al., 2016).

El depósito de minerales ocurre cuando los iones cargados positivamente se unen con éxito a las paredes celulares de los microorganismos, que tiene cargas negativas. Entre los productos precipitados mediante biomineralización, como sulfuros, fosfatos y silicatos, la precipitación de carbonato de calcio es particularmente notable debido a su compatibilidad con los componentes del concreto (Seifan et al., 2016).

Figura 3

Producción de carbonato de calcio en la estructura bacteriana



Nota: a) Estructura de la bacteria. B) Pared celular cargada negativamente y presencia de iones cargados positivamente. c) Producción de biominerales mediante iones enlazantes. Tomado de Bioconcrete: next generation of self-healing concrete por Seifan et al. (2016).

2.2.6. Bioconcreto

El bioconcreto, también conocido como concreto bacteriano o concreto autoreparable, representa una innovación en el ámbito de la construcción al



incorporar microorganismos capaces de producir carbonato de calcio. Este componente tiene la capacidad única de llenar fisuras y grietas en el concreto, posibilitando así su autoreparación. Este material ha generado un notable interés en la industria de la construcción por su capacidad para aumentar la durabilidad y prolongar la vida útil de las estructuras de concreto (Cuadros, 2018).

2.2.6.1. Aplicaciones prácticas, ventajas y limitaciones

El bioconcreto ha sido objeto de investigación y desarrollo en diversas aplicaciones prácticas, como la reparación de grietas en estructuras de concreto, la construcción de estructuras marinas y la mitigación de la corrosión del concreto. Estas aplicaciones evidencian el potencial del bioconcreto para incrementar la durabilidad y la sostenibilidad de las estructuras de concreto (Calleja, n.d.).

El bioconcreto ofrece diversas ventajas, como su habilidad para autorepararse, su potencial para extender la durabilidad de las estructuras de concreto y su naturaleza sostenible al utilizar microorganismos naturales (Santos Estrada, 2021). No obstante, presenta limitaciones, como la necesidad de condiciones específicas de humedad y temperatura para mantener la actividad bacteriana, así como la requerida aportación continua de nutrientes para las bacterias (Cuadros, 2018).

2.2.6.2. Selección de bacterias

La selección de bacterias se basa en su capacidad para sobrevivir en un entorno alcalino. Gran parte de los microorganismos no pueden subsistir en un entorno con un pH de 10 o superior (Luhar y Gourav, 2015). Sin embargo, existen varios tipos de bacterias que logran tolerar un pH

cercano a 12 en el concreto, como *Bacillus cohnii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus pasturii*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus halodurans*, entre otros.

2.2.6.3. Proceso de autoreparación

El bioconcreto se fundamenta en la capacidad de bacterias específicas, como el *Bacillus subtilis*, para generar carbonato de calcio a partir de compuestos orgánicos presentes en el concreto y en el entorno. Cuando el concreto experimenta grietas, estas bacterias se activan y empiezan a producir carbonato de calcio, el cual rellena las grietas y fisuras, permitiendo la autoreparación del concreto (Cuadros, 2018).

2.2.6.4. Carbonato de calcio (CaCO₃)

Es uno de los minerales más comunes en la Tierra, este mineral forma rocas naturales y se encuentra en diversos entornos como agua dulce, agua marina y suelos (Castanier et al., 1999; Ehrlich, 1998). La precipitación de calcita es especialmente promovida por bacterias en medios con un pH alcalino. Esto es debido a la enzima ureasa que hidroliza la urea para producir amonio disuelto, carbono inorgánico disuelto y dióxido de carbono (1), este último reacciona con el hidróxido de calcio presente en el concreto para producir carbonato de calcio y agua (2) (Pacheco-Torgal & Labrincha, 2013; Shashank et al., 2019).

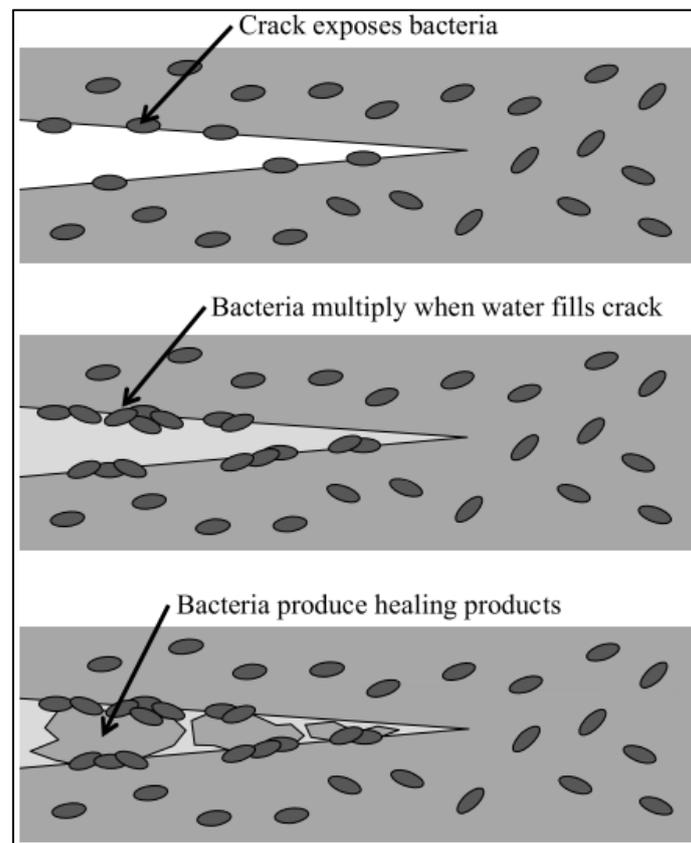


La formación in situ de carbonato de calcio, también conocida como biocementación o BioGrout, exhibe superioridad con respecto a los materiales arenosos cementados químicamente en términos de resistencia a factores de intemperismo, conservación de permeabilidad y una disminución insignificante en porosidad (Al-Thawadi et al., 2011).

Gráficamente, el proceso de biocementación, según lo propuesto por Li y Herbert (2012), se presenta en la figura 4:

Figura 4

Proceso de autoreparación mediante precipitación de Carbonato de Calcio por bacterias



Fuente: Robust self-healing concrete for sustainable infrastructure por Li y Herbert, 2012).



El carbonato de calcio producido por bacterias se lleva a cabo de dos maneras:

2.2.6.4.1. Vía autótrofa

Los organismos autótrofos son capaces de producir compuestos orgánicos complejos desde sustancias simples, utilizando energía proveniente de la luz (fotosíntesis) o reacciones químicas (quimiosíntesis) (Vijay et al., 2017). En este proceso, en presencia de dióxido de carbono, los microorganismos transforman el dióxido de carbono en carbonato mediante tres métodos distintos (Castanier et al., 1999):

- Metanogénesis no metilotrófica, llevada a cabo por arqueas
- Fotosíntesis oxigenada, realizada por cianobacterias
- Fotosíntesis anoxigenada, llevada a cabo por bacterias moradas

2.2.6.4.2. Vía heterótrofa

Los organismos heterótrofos no tienen la capacidad de fijar carbono para formar independientemente sus compuestos orgánicos y dependen de fuentes de carbono orgánico para su crecimiento (Vijay et al., 2017). El desarrollo heterótrofo de diversos géneros de bacterias como *Bacillus*, *Rhodococcus* y *Arthrobacter* en sales de ácidos orgánicos (acetato, citrato, lactato, succinato, glioxilato, oxalato y malato) conduce a la generación de minerales carbonatados como carbonato de magnesio y carbonato de calcio (Seifan et al., 2016).

La bacteria inicia su acción al reaccionar con los cationes de calcio existentes en el concreto. Estos cationes son captados a la pared celular de



la bacteria, que está cargada negativamente, y posteriormente reaccionan con los aniones de carbonato.

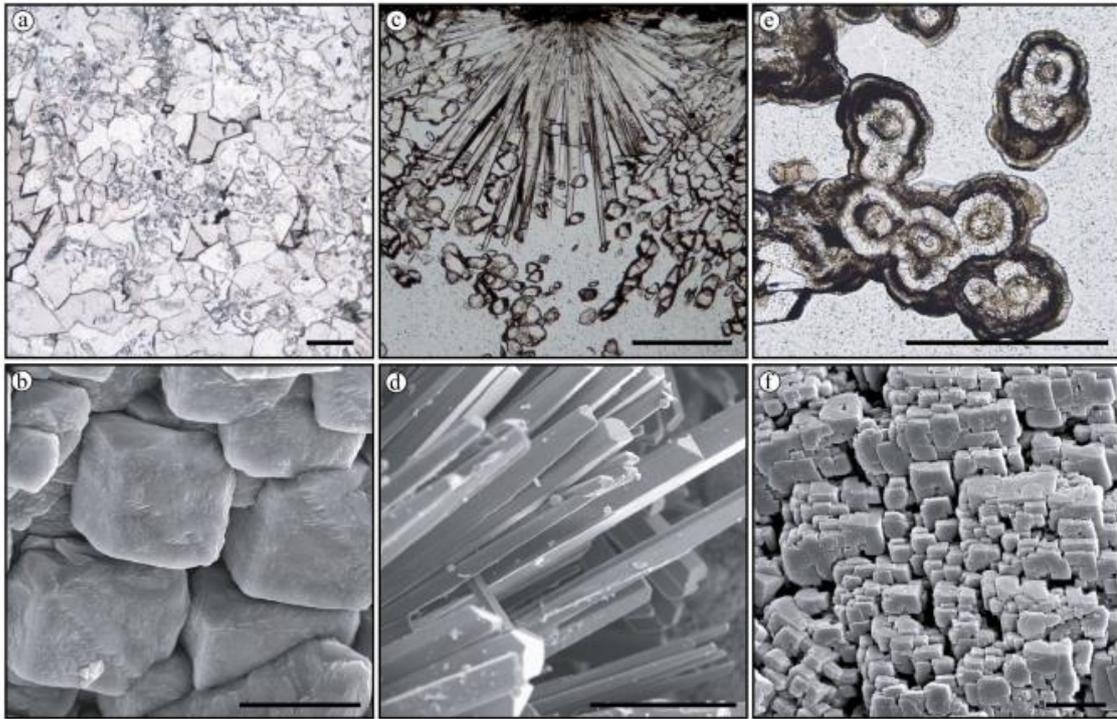
A pesar de que la presencia bacteriana puede ser vista como el punto de nucleación para la biomineralización del carbonato de calcio, diversos aspectos inciden en la precipitación de dicho carbonato inducida por las bacterias.

- a. El pH de la solución
- b. La existencia de cationes de calcio
- c. La presencia de agua
- d. El equilibrio de carbonato en la solución

La presencia de ácido orgánico como fuente de carbono calcio y energía confiere un beneficio significativo para la ruta heterótrofa. Las propiedades químicas de la pared celular, proteínas y sustancias extracelulares bacterianas ejercen una influencia crucial en la morfología del carbonato de calcio resultante, como se ilustra en la Figura 5, donde se pueden observar la calcita (cristal en forma de romboedro), la vaterita (cristal con estructura hexagonal) o la aragonita inducida (cristal con forma de aguja) (García y Zarza, 2008).

Figura 5

Espeleotemas de carbonato de calcio



Nota: a) Mosaico equidimensional de calcita. b) Mosaico de cristales idiomorfos de calcita. c) Abanico formado por fibras de aragonito, los cristales pequeños son fibras cortadas transversalmente. d) Fibras de aragonito. e) Esferoides de dolomita mostrando el bandeo interno característico. f) Cristales romboédricos de dolomita que constituyen los esferoides. Tomado de Geoquímica isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$) de los espeleotemas de aragonito, calcita y dolomita de la Cueva de Castañar de Ibor (Cáceres) por (García y Zarza, 2008).

2.2.7. Fisuras

Las fisuras en el concreto son aberturas que aparecen en el material, lo que puede afectar su integridad estructural y durabilidad, pueden iniciar sus dimensiones en 0,1 mm/m a los siete días, y alcanzar 0,3 mm/m al cabo de un año (De Miguel, 2015). Estas fisuras son un síntoma común de patología en la construcción, y su prevención y corrección son fundamentales para garantizar la funcionalidad y durabilidad de las estructuras (Toirac, 2004).



2.2.7.1. Origen de las fisuras

La incapacidad de un elemento estructural para cumplir con su función se origina en cuatro categorías principales durante el proceso de construcción.

- Proyectos: Ocurre cuando no se establecen adecuadamente las condiciones de ejecución en la fase de diseño.
- Ejecución: Se relaciona con malas prácticas constructivas durante la realización de la obra.
- Materiales: Surge cuando no se realiza un control adecuado de la calidad de los materiales utilizados en la construcción.
- Uso y mantenimiento: Implica condiciones de servicio y prácticas de mantenimiento que pueden afectar la integridad de la estructura.

Según la distribución de fallos, una gran cantidad de problemas se presenta en la fase de ejecución, seguida por la etapa previa, específicamente en el diseño del proyecto. Las deficiencias en el diseño del proyecto tales como análisis de suelo inadecuado, planos deficientes, subestimación de cargas sísmicas, diseño deficiente de elementos portantes son identificadas como la principal causa de fallos (Pariona, 2021).

En el contexto de esta investigación, se destaca que las fisuras son el principal tipo de fallo observado en estructuras de concreto, lo cual motiva el enfoque de este estudio en el análisis y comprensión de dicho fenómeno.



2.2.7.2. Causas de las fisuras

Las fisuras pueden manifestarse tanto en el estado fresco como en el estado endurecido del concreto, dependiendo de las condiciones de esfuerzo a las que esté sometido. Estos daños pueden tener consecuencias que van desde afectar únicamente la apariencia superficial hasta indicar daño estructural significativo. La relevancia de las fisuras está determinada por el tipo de estructura y las dimensiones de la fisura en cuestión (ACI 224.1, 2007).

2.2.7.2.1. Fisuras en estado fresco del concreto

- a. *Fisuras por contracción plástica.* De acuerdo con Aire (2011) y Colmenarez Villegas (2018), las fisuras por contracción plástica son un fenómeno común en el concreto que puede afectar su apariencia y durabilidad. Estas fisuras se forman en la superficie del concreto mientras aún se encuentra en estado plástico, es decir, durante las primeras horas después de ser colocado. La principal causa es la evaporación de agua en la superficie del concreto, provocada por factores como el sol y el viento, lo que genera esfuerzos internos en la superficie del concreto.
- b. *Fisuras por asentamiento plástico.* El concreto fresco tiende a asentarse después de ser colocado. Durante este tiempo, el concreto en estado plástico puede experimentar restricciones locales debido a la presencia de acero corrugado, a la presencia de concreto previamente vaciado o al encofrado mismo. Estas restricciones locales



pueden dar lugar a fisuras que tiene poca importancia estructural (Calavera, 2005).

2.2.7.2.2. Fisuras en estado endurecido del concreto

- a. *Fisuras por contracción por secado.* Cuando el concreto se encuentra de alguna manera restringido, la contracción por secado puede ocasionar esfuerzos de tensión, estos esfuerzos, al superar la resistencia a la tensión del concreto conducirán a la formación de fisuras. La disminución de la contracción por secado no garantiza la prevención del fisuramiento, ya que este también está influenciado por sus restricciones, el diseño y los detalles específicos del elemento de concreto (IMCYC, 2006).
- b. *Fisuras por tensión térmica.* La contracción por tensión térmica es un fenómeno físico-químico que da lugar a fisuras e incluso grietas con un ancho apreciable de 0,15 a 0,3 mm. Estas fisuras suelen manifestarse entre un día y una semana después de verter el concreto sobre el elemento. Las principales causas de este fenómeno incluyen el enfriamiento excesivamente rápido, temperaturas elevadas debido a la lenta disipación del calor de hidratación y el uso de tipos de cemento inadecuados (TOXEMENT, 2019).
- c. *Fisuras por reacciones químicas.* Se produce como resultado de los materiales empleados en la mezcla de concretos o por el contacto con algún producto en una superficie ya endurecida. La mayoría de estas fisuras son originadas por reacciones expansivas que generan



tensiones de tracción superiores a las que el concreto puede tolerar (Bardales, 2021).

- d. *Fisuras por condiciones climáticas.* Las variaciones climáticas, como humedecimiento y secado, el hielo y deshielo, calentamiento y enfriamiento, pueden provocar fisuras debido a las presiones hidráulicas generadas por los cambios de volumen al congelar agua en la pasta o en el agregado (ACI 224.1, 2007).
- e. *Fisuras por corrosión del acero.* La corrosión del acero puede provocar un aumento en el volumen alrededor del acero debido a las tensiones elevadas, lo que da lugar a la formación de fisuras. Este fenómeno puede ser ocasionado por la presencia de elementos perjudiciales, como los cloruros, o por una reducción del pH del concreto (Hernández et al., 2016).
- f. *Fisuras por deficientes prácticas de construcción.* Estas prácticas deficientes pueden dar lugar a la formación de fisuras debido al uso de materiales de calidad inadecuada (cemento, agregados, agua) y a problemas en la dosificación, producción, transporte, colocación y curado (Carreño y Serrano, 2005).
- g. *Fisuras por sobrecargas de construcción.* Las fisuras ocasionadas por cargas excesivas durante la construcción pueden surgir cuando el concreto no ha alcanzado la resistencia necesaria (Pineda, 2015).
- h. *Fisuras por error en el detalle y diseño.* carencia de criterios estructurales o constructivos, pueden ocasionar interferencias y poner



en peligro la rigidez de la estructura, lo que a su vez puede dar lugar a la formación de grietas significativas (Cucariano y Higuera, 2018).

- i. *Fisuras por cargas externas.* Este tipo de fisura se produce cuando no se tienen en cuenta de manera adecuada las condiciones externas de carga durante el proceso de diseño (Meneses et al., 2016).

2.2.7.3. Tipos de fisuras

2.2.7.3.1. Fisuras estructurales

Este tipo de fisuras se deben a una excesiva tensión en tracción o compresión generados por cargas externas. Pueden originarse por alargamientos excesivos, tensiones de tracción o compresión excesiva del concreto. Las grietas estructurales son estrechas y se orientan en paralelo a la dirección de la compresión (Calavera, 2005).

2.2.7.3.2. Fisuras no estructurales

Estas fisuras son resultado de características inherentes a los materiales constituyentes del concreto. Se relacionan con el desarrollo y características de la resistencia y deformabilidad del concreto a tracción. Incluyen fibras producidas por retracción plástica, asentamiento plástico, contracción térmica y contracción por secado (Calavera, 2005).

2.2.7.4. Consecuencias de las fisuras

Conforme con TOXEMENT (2019) y Vidaud (2013), las fisuras en una estructura pueden tener varias implicaciones negativas:



- Pueden generar preocupación y sensación de inseguridad entre los ocupantes de la estructura.
- Ante la presencia de fisuras, es crucial realizar un diagnóstico inmediato para determinar la causa subyacente y evaluar el impacto en la integridad estructural.
- Pueden afectar la durabilidad de la estructura, ya que facilitan la entrada de agentes externos como agua y aire, lo que puede acelerar la degradación de los materiales.
- La presencia de fisuras puede contribuir a una reducción del tiempo de durabilidad de la estructura de no ser abordada adecuadamente.
- La reparación de fisuras puede ser costosa, especialmente si no se aborda a tiempo y se permite que evolucionen a problemas más graves. Además, el mantenimiento continuo puede ser necesario para prevenir la recurrencia de fisuras.

2.2.7.5. Evaluación de fisuras

De acuerdo a Pariona (2021), la evaluación de fisuras en una estructura es un paso crucial para determinar el uso de reparaciones y garantizar la integridad a largo plazo. Unos puntos clave sobre la evaluación de costura:

2.2.7.5.1. Observaciones directas

- Registre la ubicación, longitud, ancho y dirección de las fisuras durante inspecciones visuales directas.
- Utilice una tarjeta de fractura para clasificar y comparar el ancho de las fisuras.



2.2.7.5.2. Cuadrícula de la superficie

- La cuadrícula de la superficie ayuda a documentar la distribución de las costuras de manera sistemática.
- Proporciona una representación visual que puede ser útil para el análisis.

2.2.7.5.3. Pachómetro

- Utilice un pachómetro para determinar la ubicación y la profundidad del acero de refuerzo.
- Esto es esencial para comprender cómo las fisuras pueden afectar la integridad estructural en relación con el refuerzo.

2.2.7.5.4. Ensayos no destructivos

- Métodos como la esclerometría, el ultrasonido y la termografía pueden proporcionar información sobre la calidad del concreto y la presencia de defectos sin dañar la estructura.

2.2.7.5.5. Ensayos destructivos

- Los ensayos de núcleos de concreto permiten obtener muestras para valorar la resistencia del concreto y analizar fisuras internas.
- Las pruebas de resistencia a la compresión son fundamentales para evaluar la capacidad de carga del concreto.

2.2.7.5.6. Evaluación de la calidad del concreto

- Las pruebas de resistencia a la compresión proporcionan indicadores de la calidad general del concreto.



- Estas pruebas no solo son útiles para comprender la resistencia del concreto, sino también para evaluar su durabilidad.

2.2.7.5.7. Criterios de corrección

- La decisión de reparar fisuras debe basarse en criterios específicos, como la reducción de resistencia, rigidez o durabilidad a niveles inaceptables, o si la función de la estructura se ve gravemente afectada.

2.2.7.6. Reparación de fisuras

De acuerdo con (Quispe, 2018) se pueden identificar las siguientes alternativas de reparación:

2.2.7.6.1. Inyección en fisuras

La inyección en fisuras muertas o pasivas tiene como objetivo restaurar la integridad monolítica del elemento. En este caso, se pueden utilizar resinas epoxi o microcementos. Por otro lado, en el caso de fisuras vivas o activas, la inyección busca lograr estanqueidad en el elemento. En este contexto, se emplean productos flexibles a base de acrílico, poliuretano, silicona o gomas de PVC (policloruro de vinilo).

2.2.7.6.2. Aplicación de grout

Este método de reparación para fisuras inactivas destaca por su elevada resistencia, fluidez y cohesión. Su aplicación requiere un encofrado hermético, el cual debe contar con una ventana en la parte superior para facilitar la introducción del material. Se utiliza comúnmente



en entornos agresivos donde hay exposición a elementos como sulfatos, cloruros, carbonatos, entre otros, así como en áreas sujetas a abrasión.

2.2.7.6.3. Aplicación de capas o sobrecapa

Este método de reparación para fisuras inactivas implica la aplicación de una capa superpuesta sobre la superficie, utilizando resina o cemento modificado con polímeros. Se utiliza ampliamente para mejorar la capacidad de carga y proporcionar protección contra agentes agresivos. Este enfoque se aplica comúnmente en losas, pavimentos y otras estructuras similares.

2.2.7.6.4. Selladores

Cuando las fisuras son causadas por cargas externas, a menudo son de tipo activo o viva. En tales casos, se busca garantizar la estanqueidad de la fisura para prevenir el deterioro del concreto armado debido a la acción de agentes externos. Al aplicar un sellador, se trata la fisura de manera similar a una junta, ya que un sellador actúa en dos direcciones. La tercera dirección se aísla típicamente con un fondo de junta, siendo común el uso de espuma de poliuretano para este propósito.

2.2.7.7. Auto reparación de fisuras

El concepto de auto reparación en el concreto se basa en la capacidad natural de ciertos organismos y procesos para curarse. Los tratamientos activos, o métodos de auto reparación, buscan proporcionar al concreto la habilidad de reparar daños internos de manera autónoma.



Los mecanismos de auto reparación se clasifican en tres grupos principales (Van y De Belie, 2013).

2.2.7.7.1. Reparación autógena

La reparación autógena es un proceso natural que puede acontecer en el concreto en presencia de humedad o agua y no hay fuerzas de tracción presentes. Este proceso de reparación se lleva a cabo mediante la hidratación de partículas de cemento sin hidratar o mediante la carbonatación del hidróxido de calcio disuelto en el concreto. Ambos mecanismos contribuyen a cerrar fisuras y grietas en el material (Seifan et al., 2016).

2.2.7.7.2. Encapsulación de polímeros

El concepto fundamental consiste en dispersar microcápsulas en la formulación inicial, las cuales contienen un líquido reactivo. Además, se incorpora un catalizador para desencadenar la reacción del líquido encapsulado. El material resultante, como un recubrimiento, es un polímero entrecruzado que contiene la dispersión de microcápsulas, con el catalizador presente fuera de ellas. Cuando se produce una pequeña fisura, se produce la ruptura de las microcápsulas que encuentra en su trayectoria, llenándose con el líquido reactivo. El catalizador se disuelve en el líquido, iniciando la polimerización y formando un material sólido que sella la fisura (Williams, 2013).

2.2.7.7.3. Producción microbiana de carbonato de calcio

Se fundamenta en la habilidad de ciertos microorganismos para generar carbonato de calcio en presencia de sales de calcio orgánicas. Además, los cristales de calcita formados pueden sellar fisuras y prolongar la durabilidad del concreto. La precipitación de carbonato de calcio inducida por bacterias resulta ser un método más eficiente para sellar fisuras mediante la formación de cristales de calcita (Muñoz et al., 2023).

2.2.7.8. Características ideales de tratamiento de auto reparación

Según Seifan et al. (2016), las características ideales de tratamientos de auto reparación son:

2.2.7.8.1. Calidad

- Los tratamientos deben ser efectivos y duraderos.

2.2.7.8.2. Vida útil prolongada

- Se busca que la capacidad de auto reparación perdure a lo largo del tiempo.

2.2.7.8.3. Penetración efectiva

- Deben tener la capacidad de penetrar en las fisuras para abordar daños internos.

2.2.7.8.4. Capacidad de reparación repetida

- Idealmente, deberían poder reparar las fisuras en múltiples ocasiones, sin limitaciones.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.2. LUGAR DE ESTUDIOS

El lugar de estudios está enmarcado en la ciudad de Puno, el cual se encuentra situado a una altitud de 3825 m.s.n.m. con coordenadas latitud sur 15°50'15" longitud oeste 70°01'18" (Mamani, 2022). Durante los meses de octubre a diciembre el clima es templado con una temperatura promedio diaria de 10°C, noviembre es el mes más cálido del año registrando temperaturas máximas promedio de hasta 17°C, las temperaturas más bajas se registran durante los meses de junio a agosto con una temperatura promedio diaria de 6°C, el mes más frío es Julio el cual presenta temperaturas mínimas promedio de hasta -4°C, el resto de meses la temperatura promedio diaria es de 9°C. Durante todo el año en la ciudad de Puno la humedad es seca y permanece constante. (Cedar Lake Ventures Inc., 2023)

Según el INEI (2022) la ciudad de Puno se posiciona como la vigésima ciudad con mayor población en el Perú, en el año 2017 la ciudad albergaba a 145 179 habitantes. El total de viviendas particulares es de 36 644 de las cuales 28 554 son de ladrillo o bloque de cemento, 461 de piedra, 7280 de adobe, 8 de tapia, 10 de quincha, 150 de piedra con barro, 49 de madera, 130 de triplay calamina o estera y 2 de otro material (INEI, 2018). De acuerdo a los datos recopilados por el INEI, en el año 2020 se han otorgado 745 licencias de edificación para viviendas en el departamento de Puno (INEI, 2021). Dentro de estas, la mayor parte de las construcciones de viviendas en la región Puno suelen utilizar el hormigón como agregado global dejando de lado la adecuada proporción de arena gruesa y piedra chancada (Pancca, 2018).



3.3. POBLACIÓN

Para identificar adecuadamente la población de estudio se ha tenido en cuenta la problemática principal que es la elaboración de concreto informal, donde la responsabilidad de edificar recae en maestros de obra, que fundamentan sus labores principalmente en experiencias prácticas o conocimientos adquiridos de manera empírica Garay y Quispe (2015). Con el fin de adquirir información acerca de estos maestros de obra en la ciudad de Puno se recurrieron al órgano del gobierno promotor del desarrollo local.

La Municipalidad Provincial de Puno se rige bajo el amparo de la Ley N° 27972 “Ley Orgánica de Gobiernos Locales”, quien es el ente encargado de impulsar el desarrollo local de la ciudad de Puno (Larico, 2018), y a través de la Subgerencia de Obras Públicas y Mantenimiento, tiene la función de programar y aplicar una correcta ejecución las obras de infraestructura civil en concordancia con la normatividad vigente, de acuerdo a todo lo diseñado en los expedientes técnicos definitivos y el Plan Director de Desarrollo Urbano (Reglamento de Organización y Funciones, 2012), desde el 31 de mayo del 2023 la Municipalidad Provincial de Puno tuvo en ejecución 17 obras, dentro de las cuales se encontraba 1 maestro por cada proyecto, resaltando que estos maestros tienen experiencia en la construcción de viviendas particulares que desarrollaron de manera independiente, antes de trabajar para la Municipalidad, por lo tanto la población de la presente investigación es el concreto elaborado por estos 17 maestros de obra.

3.4. MUESTRA

La muestra se dividió de acuerdo a los objetivos planteados teniendo para el primer objetivo: 17 encuestas a maestro de obra registrados en la Municipalidad Provincial de Puno, para el segundo objetivo: 18 probetas de concreto, para el tercer



objetivo: 54 probetas de concreto y para el cuarto objetivo: 18 probetas de concreto. Dando un total de 17 encuestas a maestros de obra y 90 probetas de concreto.

3.4.1. Primer objetivo

Para la muestra del primer objetivo se tuvo en cuenta la población finita anteriormente mencionada, por lo que se determinó el tipo de muestreo censal debido a que se hace necesario saber las dosificaciones de todos los maestros de obra y teniendo en cuenta además la accesibilidad de la información (Bellos, 2017). Por lo cual se utilizará un total de 17 maestros de obra para el desarrollo del primer objetivo.

3.4.2. Segundo objetivo

El tipo de muestreo es no probabilístico - intencional, debido a que los especímenes son seleccionados según la frecuencia de la dosificación más utilizada, teniendo en cuenta lo que indican los lineamientos del ACI - 318 (2019), que los resultados de resistencia deben ser el promedio de tres repeticiones en probetas de 100 mm x 200 mm por edad (7, 14, 28 días).

Por lo tanto, para el presente objetivo se utilizaron 18 especímenes, 9 por cada dosificación (3 por cada edad).

Tabla 2

Número de muestras para el segundo objetivo

Descripción	Edad			Sub total
	7 días	14 días	28 días	
Primera dosificación	3	3	3	9
Segunda dosificación	3	3	3	9

Descripción	Edad			Sub total
	7 días	14 días	28 días	
TOTAL				18

3.4.3. Tercer objetivo

El tipo de muestreo es no probabilístico – intencional según los parámetros ya descritos en el segundo objetivo teniendo en cuenta lo que indican los lineamientos del ACI - 318 (2019), se consideraron 54 especímenes, 27 por cada bacteria (9 por cada concentración y 3 por edad) como se detalla seguidamente:

Tabla 3

Número de muestras para el tercer objetivo

Descripción	Concentración	Edad			Sub total
		7 días	14 días	28 días	
Concreto con <i>Bacillus subtilis</i>	10 ³ ufc/ml	3	3	3	27
	10 ⁵ ufc/ml	3	3	3	
	10 ⁷ ufc/ml	3	3	3	
Concreto con <i>Bacillus cereus</i>	10 ³ ufc/ml	3	3	3	27
	10 ⁵ ufc/ml	3	3	3	
	10 ⁷ ufc/ml	3	3	3	
TOTAL				54	

3.4.4. Cuarto objetivo

El tipo de muestreo es no probabilístico – intencional según los parámetros ya descritos en el segundo objetivo teniendo en cuenta lo que indican los lineamientos del ACI - 318 (2019), se consideraron 18 probetas cilíndricas de concreto, 9 por cada bacteria y 3 por cada concentración.

Tabla 4*Número de muestras para el cuarto objetivo*

Descripción	Concentración	Edad de	Sub total
		fisuración 7 días	
Concreto con <i>Bacillus subtilis</i>	10 ³ ufc/ml	3	9
	10 ⁵ ufc/ml	3	
	10 ⁷ ufc/ml	3	
Concreto con <i>Bacillus cereus</i>	10 ³ ufc/ml	3	9
	10 ⁵ ufc/ml	3	
	10 ⁷ ufc/ml	3	
TOTAL			18

3.5. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo, según (Fernández y Baptista, 2014) debido a que se retrata las dosificaciones usualmente utilizadas y su resistencia a la compresión, para luego establecer tratamientos al concreto informal, antes mencionado, incorporándole bacterias con el fin de contrastar las resistencias a la compresión y porcentaje de reparación de fisuras de estos tratamientos entre sí y con el testigo.

3.5.1. Tipo de investigación

Para el primer y segundo objetivo la investigación es de tipo básica por estudiar el conocimiento existente sin alterar sus condiciones, para el tercer y cuarto objetivo es de tipo aplicada por manipular las variables y conocer sus resultados (Nicomedes, 2018).



3.5.2. Nivel de investigación

Para el primer y segundo objetivo el nivel es descriptivo correlacional debido a que se retrata las dosificaciones existentes con el fin de conocer su comportamiento y determinar el grado de relación entre sus variables. Para el tercer y cuarto objetivo el nivel es explicativo porque se pretende establecer las causas o fenómenos que se estudian (Arias, 2012; Hernández et al., 2006).

3.5.3. Diseño de investigación

Para el primer y segundo objetivo se tiene un diseño de campo no experimental debido a que se realiza una investigación a un nivel descriptivo y explicativo, para el tercer y cuarto objetivo un diseño del tipo experimental puro ya que se manipula una variable independiente para analizar su influencia en una o más variables dependientes (Arias, 2012; Hernández et al., 2006).

3.6. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.6.1. Identificación de la dosificación usualmente utilizada en el concreto informal para la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023.

3.6.1.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.

Para identificar la dosificación usualmente utilizada por los maestros de obra se realizaron entrevistas durante el mes de junio del 2023.

3.6.1.1.1. Variable:



- Conocimiento de los maestros de obra (V): Esta variable es de tipo cualitativo ordinal ya que depende de la experiencia y la enseñanza empírica que tuvieron los maestros de obra.

3.6.1.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

El procedimiento para desarrollar el objetivo es el siguiente:

- Se elaboró una encuesta teniendo en cuenta 3 aspectos principales: **Sociales** (edad, sexo, lugar de nacimiento y estado civil) (Salas-Mercado et al., 2022); **Experiencia** (años de experiencia, certificación, institución, grado de estudio alcanzado y viviendas construidas por año) y **Conocimientos sobre la elaboración del concreto** (materiales para elaborar concreto en viviendas, tipo de cemento, procedencia de los agregados, aditivos en caso se utilice, la proporción de materiales para la construcción de columnas, vigas, losas y zapatas con un diseño de 210, 175 y 140 según corresponda, método de mezcla de concreto, tiempo de curado, intervalo y herramienta para realizar el curado) (Osorio Loyola, 2021). Los participantes de esta investigación suscribieron un consentimiento informado, en el que acreditan que su participación es voluntaria y que su identidad será tratada de manera anónima.

La encuesta realizada es presentada en el Anexo A, la misma que fue sometida a un procedimiento de validación de expertos, en el cual se escogieron jurados pertenecientes a los investigadores Renacyt



inscritos en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Anexo B).

- Para obtener el número de maestros de obra certificados en la ciudad de Puno se recurrió a varias instancias, las cuales fueron: SENCICO, Sindicato de Construcción Civil PUNO, Dirección Regional de Trabajo y Promoción del Empleo Puno, Gobierno Regional de Puno y la Municipalidad Provincial de Puno, la respuesta que se obtuvo fue que esta información la tenían desactualizada o no la poseían, salvo la última institución en la que se informó que en cada obra en ejecución hay un maestro de obra laborando; por lo tanto, se presentó una solicitud a la Municipalidad Provincial de Puno con atención a la Gerencia de Ingeniería para saber el número de obras en ejecución y tener autorización de ingreso a las mismas, la cual fue respondida de manera satisfactoria con el Memorandum N°0339-2023-MPP/GIM (Anexo C) en el que se adjuntó una lista de las obras en ejecución y así poder encuestar a los maestros de obra.
- Se realizaron visitas a las 17 obras, de acuerdo a la lista obtenida, se procedió con la realización de las encuestas a través de entrevistas a los maestros de obra previa coordinación con los residentes a cargo.
- Como último paso, para cumplir con el objetivo, se procesaron los datos de las encuestas, obteniendo así las dosificaciones usualmente utilizadas en el concreto informal para la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, escogiendo las 2 dosificaciones con mayor frecuencia.



3.6.1.3. Aplicación de prueba estadística.

El análisis estadístico comprende de 2 partes, la primera es de manera descriptiva para determinar las frecuencias de las preguntas de la encuesta, la segunda aplica la correlación de chi-cuadrado de Pearson para evaluar la relación que existe entre los conocimientos de los maestros (experiencia) y la dosificación que usualmente utilizan para elaborar concreto. Todo lo descrito se llevó a cabo utilizando el software libre R (R Core Team, 2021).

3.6.2. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno, 2023.

3.6.2.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.

Para determinar si el concreto informal alcanza la resistencia a la compresión requerida para la construcción de viviendas particulares se realizaron ensayos de laboratorio durante los meses de julio y agosto del 2023.

3.6.2.1.1. Variable:

- Resistencia a la compresión (VD): Esta variable es cuantitativa ya que se puede medir y es de tipo continua debido a que se utilizaron instrumentos para su obtención.
- Dosificación (VI): Esta variable es cuantitativa ya que se puede medir y continua debido a que se utilizaron instrumentos para su obtención.

3.6.2.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

3.6.2.2.1. Elaboración de probetas

El procedimiento para desarrollar el objetivo es el siguiente:

- Como primer paso, se adquirieron los materiales que emplean los maestros de obra para preparar concreto, indicados en la encuesta realizada en el objetivo 1:

Cemento. Cemento Portland ordinario marca Rumi IP, utilizado habitualmente en la construcción de viviendas en la ciudad de Puno, es controlada por la norma NTP 334.090 (2020), tiene las siguientes propiedades químicas:

Tabla 5

Análisis químico de cemento yura marca Rumi IP

Componentes y compuestos		%
Dióxido de Silicio	(SiO ₂)	20.62
Oxido de Hierro	(Fe ₂ O ₃)	3.08
Oxido de Calcio	(CaO)	60.50
Oxido de Magnesio	(MgO)	3.40
Trióxido de Azufre	(SO ₃)	2.10
Calo Libre		0.45
Resid. Insolubles		6.90

Fuente: Datos proporcionados por Cemento del Sur S.A.

Agregado. Hormigón de la cantera Cutimbo, se encuentra a Km 23+500 de la ciudad de Puno, es material de río comúnmente utilizada en la construcción de viviendas en la ciudad de Puno, tiene las siguientes características:

Tabla 6*Características del agregado - hormigón cantera Cutimbo*

Descripción	Unidad	Agregados	
		Fino	Grueso
Tamaño máximo nominal	pulg	N°4	1”
Peso específico	gr/cm ³	2.45	2.49
Peso unitario suelto (seco)	kg/m ³	1470	1460
Peso unitario compactado (seco)	kg/m ³	1582	1572
Contenido de humedad	%	3.81	2.93
Absorción	%	3.93	3.28
Módulo de fineza		3.49	6.56

Agua. El agua utilizada por los maestros de obra proviene de la red pública, el agua utilizada en la presente investigación proviene de la misma fuente con el punto de obtención en el laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano.

- Posteriormente, se efectuaron los ensayos de laboratorio usuales acordes al diseño de mezclas para obtener las propiedades físicas del agregado; peso unitario (NTP 400.017, 2011), peso específico y absorción del agregado fino y grueso (NTP 400.021, 2018; NTP 400.022, 2013) y análisis granulométrico (NTP 400.012, 2018), los datos obtenidos se presentan en la Tabla 6 y la documentación de estos ensayos se encuentra detallada en el Anexo E.
- De acuerdo a las 2 dosificaciones con mayor frecuencia, se realizaron las mezclas de concreto, obteniendo el asentamiento del concreto (NTP 339.035, 2009) y la temperatura (NTP 339.184, 2021).

Tabla 7

Asentamientos obtenidos en el ensayo de Slump para el concreto informal

Dosificación	Asentamiento (pulg)
D1	8
D2	3

- La obtención de la dosificación se realizó en función a 1 bolsa de cemento, y se procesó los datos para obtener una dosificación en volumen, con el propósito de que la mezcla sea lo más parecida a la que utilizan los maestros de obra.
- Se prepararon un total de 18 probetas de concreto (9 por cada dosificación) utilizando el cemento Portland Rumi IP con hormigón como agregado. Se prepararon cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Las muestras se mantuvieron en los moldes durante un lapso de 24 horas y posteriormente fueron introducidas en un proceso de curado en agua hasta el momento de los ensayos de resistencia a la compresión, la temperatura de curado promedio fue de 13 °C durante este proceso.

3.6.2.2.2. Ensayo de resistencia a la compresión

- Los ensayos de resistencia a la compresión de las probetas se realizaron a las edades de 7, 14 y 28 días de acuerdo a la norma NTP 339.034 (2015), en una máquina de ensayo de compresión marca PINZUAR PC-42 de 1500 kN de capacidad.



- Para el cálculo de la resistencia a la compresión se aplicó la siguiente expresión:

$$f'_c = \frac{4P}{\pi D^2}$$

Donde:

f'_c : Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P: Carga máxima resistida por la probeta (kg)

D: Diámetro de la muestra cilíndrica (cm)

- Los datos fueron registrados en una hoja de control con los parámetros necesarios para la obtención de la resistencia a la compresión, posteriormente fueron procesados para obtener la diferencia de f'_c que existen entre las dos dosificaciones y escoger la mayor para proceder con el aditivo bacteriano.

3.6.2.3. Aplicación de prueba estadística

Para identificar las diferencias entre la resistencia a compresión obtenidas del conocimiento de los maestros de obra, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Antes del análisis mencionado se comprobaron los supuestos de normalidad utilizando la prueba de Shapiro wilks para evaluar la normalidad de los datos. Así mismo, se aplicó la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianza. Todo lo descrito se llevó a cabo utilizando el software libre R (R Core Team, 2021).

3.6.3. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023.

3.6.3.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.

La obtención de bacterias y sus respectivas concentraciones, realización de probetas de concretos y ensayos biológicos y mecánicos se realizaron durante los meses de agosto a noviembre del 2023.

3.6.3.1.1. Variable:

- Resistencia a la compresión (VD): Esta variable es cuantitativa ya que se puede medir y de tipo continúa debido a que se utilizó instrumentos de medición; la unidad de medida está en milímetros (kg/cm²).
- Dosificaciones con concentraciones de bacterias (VI): Esta variable es cuantitativa ya que se puede medir, de tipo discreta puesto que se utilizaron valores específicos e invariables, tiene como unidad de medida a la unidad formadora de colonias por mililitro (ufc/ml).

3.6.3.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

El diseño es por bloques completamente al azar, se tienen 2 factores y un bloque: Un factor con la integración de la bacteria *Bacillus subtilis* y *cereus* y otro con las concentraciones planteadas y el bloque con las edades de rotura.

$$y = u + t_i + \beta_j + B_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijkn}$$

Donde:

y : Resistencia a la compresión

u : Media



t_i : Factor 1, tratamiento con la bacteria *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus*

β_i : Factor 2, concentraciones

β_{ij} : Interacción entre factores

γ_k : Bloque (por edad)

ε_{ijkn} : Error

3.6.3.2.1. Obtención de bacterias

Con el fin de obtener las cepas bacterianas *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus* se siguieron varios procesos, los cuales se detallan a continuación:

- ***Aislamiento e identificación de las bacterias***

Para el aislamiento de las bacterias, se utilizaron muestras de suelos existentes dentro del campus de la ciudad universitaria.

Se colocó aproximadamente 1 gramo de la muestra de suelo obtenida, en 9 ml de agua destilada, esterilizada, para posteriormente homogenizarla, dejar que sedimente y el sobrenadante resultante se cultivó en una placa de petri con Agar Tripticosa Soya, para aislar solo la cepa bacteriana requerida, siendo identificada mediante sus características culturales, tales como el color y la forma, tamaño, superficie, bordes, altura y si ninguna de las colonias cuenta con las características correspondientes a las cepas buscadas se procedió a repetir el proceso con otras muestras de suelo.

Las colonias de bacterias que presentaban las características de cultivo de las bacterias de nuestro interés, fueron sometidas a la coloración



de Gram para identificarlas microscópicamente, observando la forma, tamaño, tipo de agrupación y si las bacterias aisladas son Gram positivas o Gram negativas de acuerdo al color que presentaron.

Una vez identificadas las cepas bacterianas de acuerdo a sus características culturales y microscópicas, se realizaron pruebas bioquímicas las mismas que están en el Anexo F.

- ***Obtención de concentraciones***

Para encontrar las concentraciones deseadas para ambas bacterias (10^3 , 10^5 y 10^7 ufc/ml) se realizó el método de diluciones seriadas y la medición de la turbidez para identificar una relación entre las concentraciones y su turbidez, la medición fue realizada en el espectrofotómetro de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zoología, pero se obtuvieron valores incoherentes para concentraciones menores, por lo que se procedió con otro método.

Para obtener las concentraciones de las diluciones seriadas, se sembró 1 ml de estas diluciones en una placa de petri, incubar y obtener así las concentraciones por el método de conteo en un cuenta colonias. Este proceso es iterativo hasta obtener las concentraciones deseadas.

- ***Cultivo y obtención de solución bacteriana***

Se sembraron las bacterias utilizando diferentes medios de cultivo (Muller Hinton, Recuento en placa y Agar base) para identificar en cual tienen una mejor reproducción y suspensión para ser extraídas y diluidas.



Se procedió a sembrar y cultivar ambas bacterias en aproximadamente 40 placas de petri, cada una, para extraerlas, diluirlas e incorporarlas en aproximadamente 7 litros de agua destilada (por concentración), comparar visualmente la turbidez con la obtenida en las diluciones seriadas, posteriormente cultivar y realizar el conteo de ufc para conocer con certeza la concentración que posee.

Tabla 8

Cantidad de solución bacteriana por concentración de bacterias

Bacteria	Concentración (ufc/ml)	Cantidad (l)
Bacillus subtilis	10^3	7
	10^5	7
	10^7	7
Bacillus cereus	10^3	7
	10^5	7
	10^7	7

3.6.3.2.2. Prueba Piloto

Como se mencionó anteriormente, las bacterias tienen dos estados vegetativo y esporulado; ante la incertidumbre de saber en cual estado es que estas bacterias se desempeñarían mejor, se realizó un pre-test en muestras cubicas de mortero con solución bacteriana y sometimiento a ensayos de resistencia a la compresión.

- *Materiales*

Cemento. Cemento Portland ordinario marca Rumi IP.

Agregado. Arena fina (pasante la malla N°40) de la cantera Cutimbo.

Agua. Agua obtenida de las instalaciones universitarias.

Bacterias. Bacterias *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus* en estados esporulado y vegetativo cada una, con una concentración de $10^6 - 10^9$ ufc/ml de acuerdo a los patrones de McFarland (0.5 MacFarland).

Se elaboraron 6 muestras cúbicas de, 2 de control y 4 con *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus*, en estado esporulado y vegetativo tomando como referencia la norma ASTM C109 (2020).

Tabla 9

Número de muestras cubicas para la prueba piloto

Bacterias		N° de cubos	Concentración (ufc/ml)
Tipo	Estado		
<i>Bacillus subtilis</i>	Esporulada	1	$10^6 - 10^9$
	Vegetativo	1	$10^6 - 10^9$
<i>Bacillus cereus</i>	Esporulada	1	$10^6 - 10^9$
	Vegetativo	1	$10^6 - 10^9$
Control		2	-
Total			6

Las muestras se mantuvieron en los moldes durante un lapso de 24 horas y posteriormente fueron introducidas en un proceso de curado en agua hasta el momento de los ensayos de resistencia a la compresión, la temperatura de curado promedio fue de 20 a 25 °C durante este proceso.

Se realizaron los ensayos de compresión a la de edad de 28 días, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10

Resumen de resultados de ensayos de resistencia a la compresión de la prueba piloto

Especimen		Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
Tipo	Estado	
Bacillus subtilis	Esporulada	45.56
	Vegetativo	39.58
Bacillus cereus	Esporulada	68.45
	Vegetativo	56.64
Control		40.78
		43.29

De acuerdo a los resultados obtenidos, las muestras con solución bacteriana en estado esporulado mostraron una mejora en la resistencia a la compresión, en comparación con las muestras con solución bacteriana en estado vegetativo, por cual en la presente investigación se opta por emplear las bacterias en estado esporulado como aditivo bacteriano.

3.6.3.2.3. Elaboración de probetas

- Los materiales a utilizar para la elaboración de las probetas fueron los mismos que en el objetivo 2, cemento portland Rumi IP y como agregado el hormigón de la cantera Cutimbo.

Agua. Solución bacterial (*Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus* en las concentraciones de 10^3 , 10^5 y 10^7 ufc/ml)

- De acuerdo a las 6 concentraciones bacterianas, se realizaron las mezclas de concreto, obteniendo el asentamiento del concreto (NTP 339.035, 2009) y la temperatura (NTP 339.184, 2021).

Tabla 11

Asentamientos obtenidos en el ensayo de Slump para el bioconcreto

Dosificación	Asentamiento (pulg)
BS10 ⁷	2.5
BS10 ⁵	4
BS10 ³	4
BC10 ⁷	2
BC10 ⁵	3.5
BC10 ³	3.5

- La obtención de la dosificación se realizó en función a 1 bolsa de cemento, y se procesó los datos para obtener una dosificación en volumen, con el propósito de que la mezcla sea lo más parecida a la que utilizan los maestros de obra.
- Se prepararon un total de 54 probetas de concreto (9 por cada concentración) utilizando el cemento Portland Rumi IP con hormigón como agregado. Se prepararon cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Las muestras se mantuvieron en los moldes durante un lapso de 24 horas y posteriormente fueron sometidas a un proceso de curado separado en agua hasta el momento de los ensayos de resistencia a la compresión, se tuvo una temperatura promedio de una 20 °C durante este proceso.

3.6.3.2.4. Ensayo de resistencia a la compresión

- Los ensayos de resistencia a la compresión de las probetas se realizaron a las edades de 7, 14 y 28 días de acuerdo a la norma NTP



339.034 (2015), en una máquina de ensayo de compresión marca PINZUAR PC-42 de 1500 kN de capacidad.

- Para el cálculo de la resistencia a la compresión se utilizó la siguiente expresión:

$$f'_c = \frac{4P}{\pi D^2}$$

Donde:

f'_c : Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P: Carga máxima resistida por la probeta (kg)

D: Diámetro de la muestra cilíndrica (cm)

- Los datos fueron registrados en una hoja de control con los parámetros necesarios para la obtención de la resistencia a la compresión, posteriormente fueron procesados para obtener la diferencia de f'_c que existen entre las 6 mezclas con diferentes concentraciones y discutir los resultados.

3.6.3.3. Aplicación de prueba estadística.

Para identificar las diferencias en la resistencia a compresión de cada probeta con distintas bacterias, se utilizó el test de Tukey. Antes de este análisis, se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de los datos. También se aplicó la prueba de Bartlett para comprobar la homogeneidad de varianza. En caso de no cumplir estos supuestos, se recurrió a pruebas no paramétricas. Todo lo descrito se llevó a cabo utilizando el software libre R (R Core Team, 2021).

3.6.4. Determinación del porcentaje de reparación de fisuras del concreto informal utilizado en la construcción de viviendas particulares con la adición de bacterias en la ciudad de Puno, 2023.

3.6.4.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.

La realización de probetas de concretos y mediciones de fisuras se realizaron durante de los meses octubre a noviembre del 2023.

3.6.4.1.1. Variable:

- Porcentaje de reparación de fisuras (VD): Esta variable es cuantitativa ya que se puede medir, continua ya que se utilizó instrumentos de medición, tiene como unidad de medida el porcentaje de reparación en función del ancho de la fisura en milímetros (mm).
- Dosificaciones con concentraciones de bacterias (VI): Esta variable es cuantitativa ya que se puede medir, de tipo discreta puesto que se utilizaron valores específicos e invariables, tiene como unidad de medida a la unidad formadora de colonias por mililitro (ufc/ml).

3.6.4.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

El diseño es por bloques completamente al azar, se tienen 2 factores y un bloque, un factor con la integración de la bacteria *Bacillus subtilis* y *cereus* y otro con las concentraciones planteadas, y el bloque con las edades de medición.

$$y = u + t_i + \beta_j + B_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijkn}$$



Donde:

y : Porcentaje de regeneración de fisuras

u : Media

t_i : Factor 1, tratamiento con la bacteria *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus*

β_i : Factor 2, concentraciones

β_{ij} : Interacción entre factores

γ_k : Bloque (por edad)

ε_{ijkn} : Error

- En la ejecución de las probetas de concreto y posterior curado se tuvo los mismos materiales que para el tercer objetivo, se empleó el equipo de resistencia a la compresión para generar fisuras como lo hizo Mondal (2018), a los 7 días de vaciado.
- Para determinar el ancho de las fisuras generadas en las probetas de concreto se utilizó un fisurómetro (Jedidi y Benjeddou, 2018). Los anchos de las fisuras fueron marcados con la ayuda de un plumón indeleble, además se obtuvo imágenes estereoscópicas (Asenjo, 2019) para registrar la curación de las fisuras debido a la precipitación de carbonato de calcio. Este proceso fue realizado cada semana durante 1 mes (Schwantes et al., 2018). Adicionalmente durante la última semana se evaluó la reparación de las micro fisuras presentes en las probetas (Pacheco et al., 2022).



3.6.4.3. Aplicación de prueba estadística.

Para determinar las diferencias entre el porcentaje de reparación de fisuras de cada probeta con diferentes bacterias, se utilizó la prueba de Shapiro wilks para identificar la normalidad de los datos. Así como también se aplicó la prueba de Bartlett para determinar la homogeneidad de varianza, lo antes mencionado fue ejecutado en el software libre R. (R Core Team, 2021).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DOSIFICACIÓN USUALMENTE UTILIZADA EN EL CONCRETO INFORMAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS PARTICULARES

La colaboración entre el equipo de investigación y los maestros de obra se mantuvo delimitada dentro de un proceso de comunicación horizontal durante la recopilación de la información requerida.

Se encuestaron a 17 maestros de obra de la Municipalidad Provincial de Puno, en aspectos sociales de experiencia laboral y conocimiento sobre la elaboración de concreto.

4.1.1. Social

Durante las entrevistas se observó que el 100% de la población encuestada fue del género masculino, esto es contrastado por el MTPE (2020) que señala que en el 2020 la concentración de trabajadoras mujeres en el rubro de la construcción fue de solo es 0.4%, esto podría deberse a que, en este sector, las mujeres se enfrentan a múltiples discriminaciones socioeconómicas (Mogrovejo y Rodríguez, 2017). En la Tabla 12 se mencionan los resultados del aspecto social de la encuesta, donde la edad predominante es de 46-65 años con un porcentaje de 58.82%, así también lo encontraron Falconi et al. (2022) quienes en su encuesta a maestros de obra encontraron que el 59% de ellos tienen una edad entre 36 a 55 años, con respecto al lugar de nacimiento, el 94.12% menciona que es del departamento de Puno y la mayoría es casado.

Tabla 12*Resultados de aspecto social de las encuestas realizadas*

Variable	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Edad			
25-45	7	41,18	41,18
46-65	10	58,82	100,00
Lugar de Nacimiento			
Departamento de Puno	16	94,12	94,12
Otro	1	5,88	100,00
Estado Civil			
Casado	8	47,06	47,06
Soltero	5	29,41	76,47
Conviviente	4	23,53	100,00

4.1.2. Experiencia laboral:

De acuerdo con Falconi et al. (2022), el 90% de los maestros de obra pertenecen a los niveles socioeconómicos D y E, que de acuerdo a Ipsos (2020) tienen un grado de instrucción entre primaria y secundaria completa, contrastando esto con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede apreciar en la Tabla 13, que el 76.47% menciona que tiene un grado de instrucción superior técnica, esto podría deberse a que los maestros de obra tienden a expresar que tienen un nivel de instrucción mayor al que en realidad tienen, con el fin de conseguir más oportunidades laborales. También se observa que el 47.06% tiene de 16 a 30 años de experiencia, y se encontró que solo el 29.41% de los maestros de obra esta certificado, dentro de los cuales el 80% por instituciones particulares, sin embargo las certificaciones que presentan son de trabajo en dichas entidades mas no por instituciones que puedan acreditar una formación como maestros de obra, este aspecto de experiencia está estrechamente ligada con lo social puesto

que estos maestros de obra al tener un nivel socioeconómico bajo y a pesar de tener experiencia, no puede permitirse seguir una especialización; también, como se aprecia en la **Tabla 1** /Tabla 12 el 70.59% tienen un estado civil entre casados y convivientes, siendo estos los jefes del hogar priorizan una formación profesional para sus hijos antes que a ellos (Falconi et al., 2022), por lo que siguen en el sector de la construcción informal, cabe resaltar que el 70.59% participa en las construcciones de 1 a 3 viviendas de acuerdo a recomendaciones.

Tabla 13

Resultados de experiencia laboral de las encuestas realizadas

Variable	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Años de experiencia			
1-15	7	41,18	41,18
16-30	8	47,06	88,24
31-45	2	11,76	100,00
Certificación			
Si	5	29,41	29,41
No	12	70,59	100,00
Grado de instrucción			
Primaria completa	1	5,88	5,88
Secundaria completa	1	5,88	11,76
Superior técnica	13	76,47	88,24
Universidad incompleta	1	5,88	94,12
Universidad completa	1	5,88	100,00
N° de viviendas construidas por año			
1-3	12	70,59	70,59
4-6	5	29,41	100,00



4.1.3. Conocimiento sobre la elaboración de concreto

Para las dosificaciones se tomó en cuenta la resistencia de 210 kg/cm^2 , utilizada en columnas, puesto que los maestros de obra suelen dosificar el concreto de acuerdo al elemento estructural a elaborar, además que la dosificación que realizan es en función a 1 bolsa de cemento, encontrándose que como se muestra en la Tabla 14 el 82.35% utiliza como agregado el hormigón de la cantera Cutimbo, resaltando que el 100% de los maestros de obra utiliza el cemento de marca RUMI, por otro lado se evaluaron otros aspectos dentro de la dosificación, el 76.47% de los maestros de obra utiliza aditivos, el 100% utiliza una maquina mezcladora, el 52.94% cura el concreto haciendo uso de una manguera y el resto utiliza un balde (cachirulo).

Tabla 14*Resumen de datos recolectados de conocimientos de elaboración de concreto*

N° Maestro	Cemento		Hormigón		Agua (l)	Curado	
	N° bolsas	Marca	Procedencia	N° Paladas		Tiempo (día)	Herramienta
01	1.00	Rumi	Cutimbo	30.00	19.00	7	Manguera
02	1.00	Rumi	Cutimbo	32.00	27.00	3	Manguera
03	1.00	Rumi	Cutimbo	36.00	19.00	5	Balde
04	1.00	Rumi	Cutimbo	30.00	19.00	10	Manguera
05	1.00	Rumi	Cutimbo	40.00	19.00	11	Balde
06	1.00	Rumi	Cutimbo	35.00	24.00	7	Balde
07	1.00	Rumi	Laraqueri	36.00	24.00	25	Balde
08	1.00	Rumi	Cutimbo	30.00	19.00	8	Manguera
09	1.00	Rumi	Cutimbo	35.00	28.00	3	Manguera
10	1.00	Rumi	Cutimbo	30.00	19.00	7	Manguera
11	1.00	Rumi	Cutimbo	27.00	28.00	7	Balde
12	1.00	Rumi	Cutimbo	30.00	23.00	21	Balde
13	1.00	Rumi	Cutimbo	28.00	25.00	7	Balde
14	1.00	Rumi	Cutimbo	30.00	19.00	15	Balde
15	1.00	Rumi	Cutimbo	32.00	21.00	7	Manguera
16	1.00	Rumi	Laraqueri	30.00	19.00	7	Manguera
17	1.00	Rumi	Jayllihuaya	35.00	19.00	3	Manguera

Durante la recolección de la información, los maestros indicaron que la cantidad de agua no es siempre la misma, ésta depende del contenido de humedad del hormigón y, generalmente se dejan guiar por la consistencia que tiene la mezcla de concreto. Además, que no utilizan controles de calidad en el hormigón y la mezcla de concreto que producen. Este tipo de elaboración de concreto y sus falencias también fue encontrado en Lima, Garay y Quispe (2015) concluyeron que, en las construcciones informales, los materiales no se someten a una

cuantificación ni calificación precisa; en el proceso de producción del concreto, la constante única es la cantidad de cemento, con una bolsa por cada tanda.

Con el objetivo de asemejar la mezcla lo más posible a la del concreto utilizado por los maestros de obra se usó una dosificación en volumen, es por esto que, para obtener los volúmenes, se utilizó una caja cubica de 0.50 x 0.50 x 0.50 m y una pala igual a la utilizada por los maestros de obra, teniendo como resultado que para llenar el volumen de la caja (0.125 m³) se necesitaron 29 paladas, teniendo entonces la conversión presentada en la Tabla 15:

Tabla 15

Conversión de volumétrica de paladas

Paladas	Pie ³	m ³
1	0.152	0.125

Para obtener las 2 dosificaciones usualmente utilizadas, se escogió el número de paladas en función a su frecuencia, teniendo que la mayor parte de los maestros de obra utiliza 30 o 35 paladas por bolsa de cemento para un concreto de resistencia 210 kg/cm², como se indica en la Tabla 16.

Tabla 16

Resultados dosificación para un concreto con resistencia a la compresión de diseño de 210 kg/cm² para una columna

N° de paladas de hormigon*	Conversión a pie ³ de paladas	Frecuencia	Porcentaje
27	4.10	1	5.88
28	4.26	1	5.88
30	4.56	7	41.18
32	4.86	2	11.76
35	5.32	3	17.65

N° de paladas de hormigon*	Conversión a pie ³ de paladas	Frecuencia	Porcentaje
36	5.47	2	11.76
40	6.08	1	5.88

Nota: *Número de paladas de hormigón por bolsa de cemento

Finalmente, en la Tabla 17 se aprecian las dos dosificaciones usualmente utilizadas por los maestros de obra, cabe resaltar que el agua utilizada es variable dependiendo de la dosificación teniendo un promedio de 20 litros para 30 paladas y 27 litros para 35 paladas

Tabla 17

Dosificaciones mayormente usadas por los maestros de obra

Dosificación	Cemento (bol)	Hormigón (pie ³)	Agua (l)
01	1	5.32	27
02	1	4.56	20

4.1.4. Nivel de asociación de las variables en estudio

En la Tabla 18 se observa que las 5 variables no tienen una relación al 95% de confianza ($p \text{ value} \leq 0.05$), mientras que los años de experiencia tienen una relación al 90% de confianza ($p \text{ value} \leq 0.10$). Lo cual indicaría que la dosificación es variada por los maestros constructores según van ganando experiencia en la construcción de viviendas.

Este escenario podría ocasionar un impacto significativo en el proceso de construcción de viviendas, dado que los maestros de obra suelen edificar basándose en la experiencia acumulada a lo largo de los años, en lugar de disponer de una formación técnica o profesional específica (Falconi et al., 2022). Además, Crispín et al., (2012), docentes de la Universidad Iberoamericana, afirmaron que

el conocimiento obtenido mediante la experiencia laboral no resulta suficiente por sí solo, debe ser complementado con un proceso formativo que implique un aprendizaje profundo.

Tabla 18

Prueba de Chi- cuadrado de Pearson

Chi-cuadrado de Pearson y (dt*)	Valor (X²)	gl	p-valor
Procedencia & Dosificación	52.417	70	0.9424
Edad & dt*	44.814	40	0.277
Estado Civil & dt*	22.525	20	0.3127
Años de Experiencia & dt*	112.15	90	0.057
Curado & dt*	78.524	80	0.5258
Nº de Casos	17		

4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO INFORMAL

Se utilizaron las dos dosificaciones con mayor frecuencia en volumen indicadas en la Tabla 17 para realizar las mezclas de concreto, conocer sus resistencias a la compresión y comprobar si estas cumplen con lo necesario.

La consistencia de los asentamientos de las dosificaciones 01 y 02 de frecuencia 41.17% y 17.64% respectivamente, fueron plástica y fluida respectivamente como se expone en la Tabla 19, en contraste con lo previsto por el comité 211 del ACI – 318 (2019) que recomienda asentamientos de 75 - 100mm o 2.95 – 3.94 plg, se puede indagar que la primera dosificación está muy alejada del rango en comparación de la segunda dosificación que cumple con lo recomendado, esto se puede deber a que la relación agua – cemento usada es excesivamente alta, lo cual lleva a un concreto con exceso de agua y un slump elevado, como lo menciona Osorio (2021) en su investigación, encontró que la relación a/c usada por los maestro de obra en San Juan de Lurigancho era de 0.95 y 1.27,

con el ello se entiende que el concreto preparado por los maestros de obra suele tener una cantidad alta de agua.

Tabla 19

Asentamiento obtenido en las dosificaciones 01 y 02

Dosificación	Cemento (pie3)	Hormigón (pie3)	Agua (l)	Relación a/c	Asentamiento (pulg)
01	1	5.32	27	0.95	8
02	1	4.56	20	0.67	3

En cuanto al análisis estadístico primero se corrobora la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk debido a que el número de muestras es menor a 50, teniendo un p-valor de 0.04029, por lo que los datos se ajustan a una distribución normal, a su vez se aplica la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de los datos, dando un p-valor de 0.1492, por lo que los datos son homogéneos. Debido a lo anterior, se procedió a realizar pruebas no paramétricas de Wilcoxon donde se obtuvo el p-valor de 0.0004123 lo que indica una diferencia significativa entre las dosificaciones 1 y 2, tal como se muestra en la Figura 6.

Además, se observó que el concreto elaborado por los maestros de obra, a los 7 días presento las resistencias promedio de 39.75 kg/cm² y 78.63 kg/cm², a los 14 días las resistencias promedio fueron 42.67 kg/cm² y 83.44 kg/cm² y a los 28 días las resistencias promedio fueron de 50.76 kg/cm² y 120.01 kg/cm² para la dosificación 01 y 02 respectivamente, estos concretos no alcanzaron el valor de diseño de 210 kg/cm² indicado.

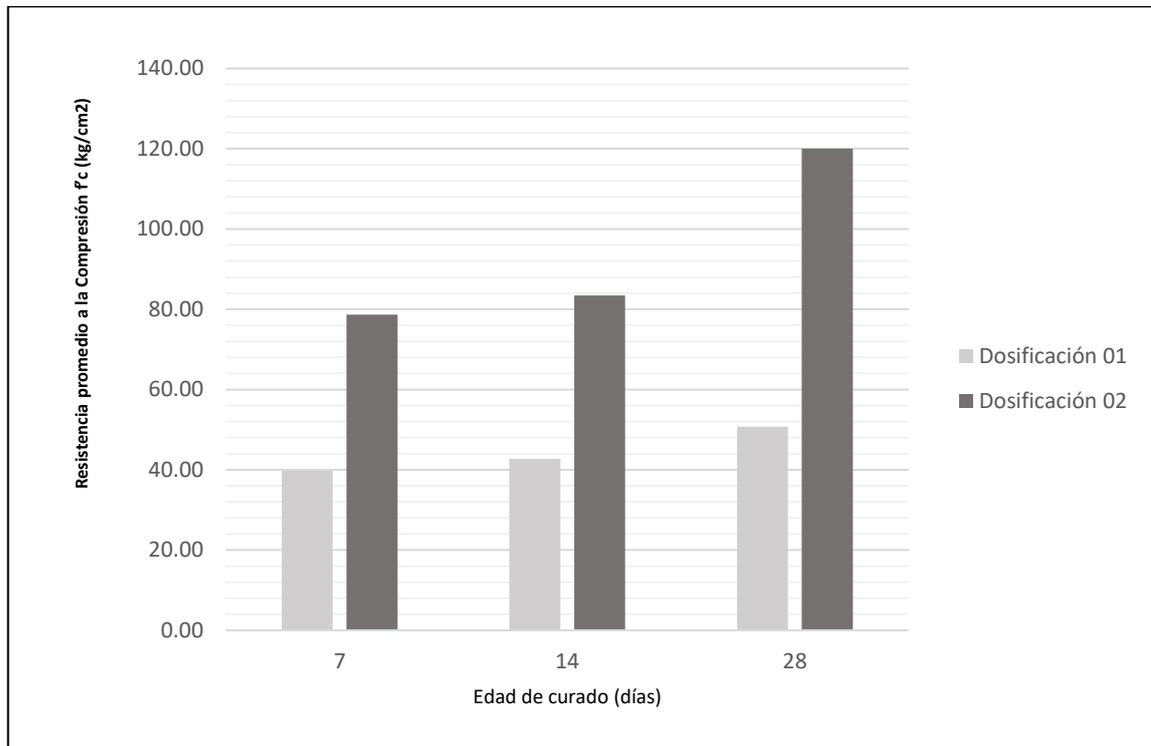
Indagando sobre resultados deducimos que es debido a la granulometría y/o la relación a/c, la granulometría obtenida de la cantera Cutimbo en el Anexo E mostro que



la cantidad de agregados finos y gruesos estaba casi en igual proporción además de ello, la dosificación recomendada por CAPECO (2003) para las condiciones de nuestra dosificación es 1:2:2, por ello podemos deducir que el problema no recae de manera directa en los agregados utilizados, Osorio (2021) identificó una relación agua/cemento (a/c) demasiado elevada, ya que se recomienda que esté entre 0.45 y 0.55, siendo ideal 0.5. Esta situación resulta en un descenso de la resistencia a la compresión, con valores que oscilan entre 30 kg/cm² y 138 kg/cm² en el distrito de San Juan de Lurigancho. Además, según Garay y Quispe (2015) la resistencia promedio a la compresión del concreto de las losas aligeradas en viviendas construidas por maestros de obra en Lima es de 138 kg/cm², considerando una relación a/c promedio de 0.9. En consecuencia, el uso excesivo de agua parece asociarse con la disminución en la resistencia a la compresión. Además, se denota que ningún concreto preparado por los maestros de obra alcanza los 17 Mpa como lo indica la norma E.060.

Figura 6

Comparación entre resistencias a la compresión del concreto informal



Para continuar con la investigación se seleccionó la segunda dosificación por mostrar una mayor resistencia a la compresión.

4.3. EFECTO PRODUCIDO POR LA ADICIÓN DE BACTERIAS EN EL CONCRETO INFORMAL EN RELACIÓN A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para el presente objetivo, se resalta que el concreto control es el producido por la dosificación 02 de los objetivos 1 y 2.

Las consistencias de los asentamientos de las concentraciones 10^3 ufc/ml, 10^5 ufc/ml y 10^7 ufc/ml de ambas bacterias, fueron secas y plásticas, como se expone en la Tabla 20:

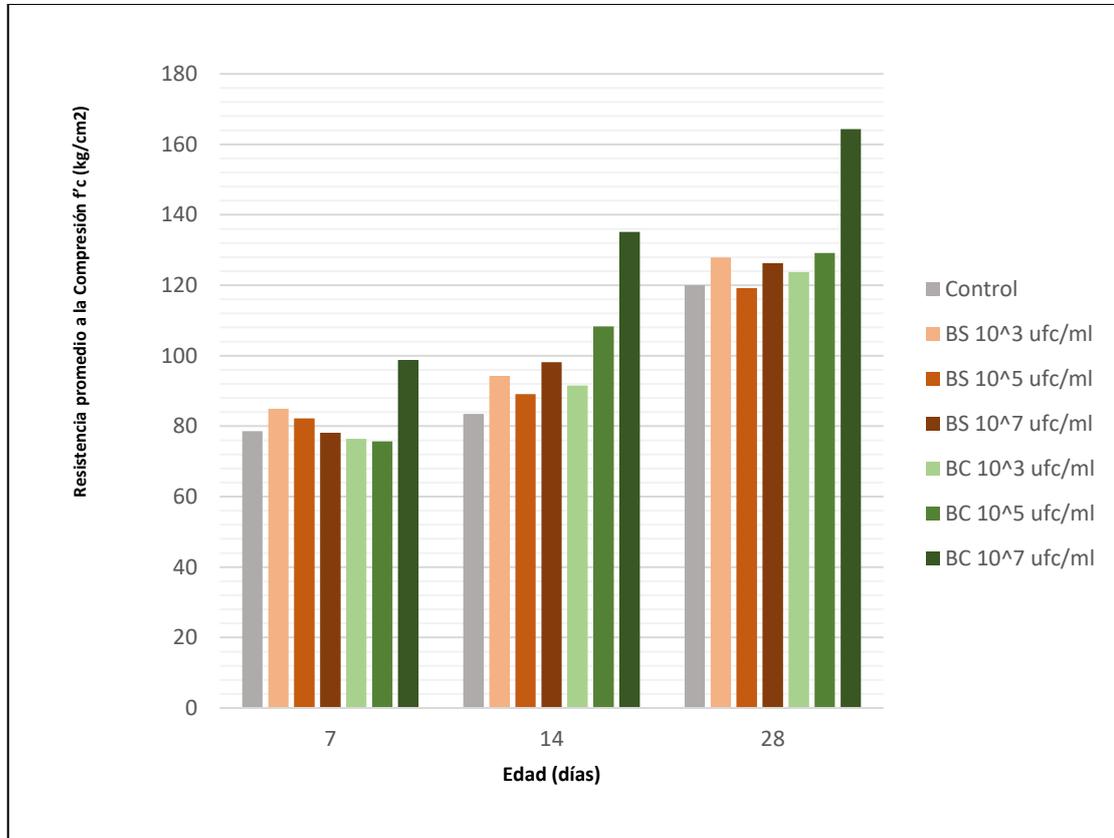
Tabla 20*Asentamientos obtenidos en el ensayo de Slump del bioconcreto*

Bacteria	Concentración	Cemento (pie3)	Hormigón (pie3)	Relación a/c	Asentamiento (pulg)
<i>Bacillus subtilis</i>	10 ³ ufc/ml	1	4.56	0.67	4
	10 ⁵ ufc/ml	1	4.56	0.67	4
	10 ⁷ ufc/ml	1	4.56	0.67	2.5
<i>Bacillus cereus</i>	10 ³ ufc/ml	1	4.56	0.67	3.5
	10 ⁵ ufc/ml	1	4.56	0.67	3.5
	10 ⁷ ufc/ml	1	4.56	0.67	2

Luego de un curado de 28 días, se prosiguió con los ensayos de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, como se muestra en la Figura 7. Para la bacteria *Bacillus subtilis* se tuvo como resultado que a los 28 días se presentaron resistencias de 127.90 kg/cm², 119.17 kg/cm² y 126.25 kg/cm² para las concentraciones 10³ ufc/ml, 10⁵ ufc/ml y 10⁷ ufc/ml respectivamente, teniendo una mejora de 6.57 % y 5.2 % para las concentraciones 10³ ufc/ml y 10⁷ ufc/ml, a la edad de 14 días se tuvieron mejoras de 13.03%, 6.81% y 17.67% correlativamente a las concentraciones de menor a mayor, por ultimo a la edad de 7 días no se tuvo mejoras significativas. Para la bacteria *Bacillus cereus* se tuvo como resultado que a los 28 días se presentaron resistencias de 123.75 kg/cm², 129.20 kg/cm² y 164.30 kg/cm² para las concentraciones 10³ ufc/ml, 10⁵ ufc/ml y 10⁷ ufc/ml respectivamente, teniendo una mejora de 3.12%, 7.66% y 36.91% respectivamente, a la edad de 14 días se tuvieron mejoras de 9.77%, 29.79% y 61.92% respectivamente, por último, a la edad de 7 días se tuvo una mejora de 25.65% para la concentración de 10⁷ ufc/ml.

Figura 7

Comparación entre resistencias a la compresión del concreto con adición de bacterias al concreto informal



En cuanto al análisis estadístico se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov teniendo un p-valor de 0.9873, posteriormente se realizó la prueba de Bartlett, teniendo un p-valor de 0.1308, entonces los datos corresponden a una distribución normal y son homogéneos, por lo que se procede a realizar la prueba paramétrica de test de Tukey para la comparación de medias, obteniendo que la resistencia a la compresión del concreto con adición de la bacteria *Bacillus subtilis* no es significativamente variable con respecto al concreto control, sin embargo la adición de la bacteria *Bacillus cereus* es significativamente variable con respecto al concreto con adición de la bacteria *Bacillus subtilis* y el concreto control.



Según los resultados encontrados se puede determinar que hubo un incremento con la adición de ambas bacterias, sin embargo, no a las mismas concentraciones, para la bacteria *Bacillus subtilis* la concentración óptima fue de 10^3 ufc/ml, esto se puede contrastar con lo encontrado por Mondal et al. (2017), quienes también estudiaron la bacteria *Bacillus subtilis* y obtuvieron una concentración óptima de 10^5 cells/ml con una mejora en la resistencia a la compresión de 25%, esta diferencia en la concentración óptima podría deberse a que diversos factores, como por ejemplo la unidad de medida, cuando se hacen mediciones en cell/ml se incluyen todas las células, tanto vivas como muertas sin embargo cuando se utiliza la unidad de medida ufc/ml solo se incluyen las células vivas (en estado vegetativo o esporulado) y esta diferencia se hace significativa a mayores concentraciones como 10^5 cells/ml. Franchis et al. (2021), estudiaron la integración de la bacteria *Bacillus sphaericus* y obtuvieron una concentración óptima de 10^3 cells/ml con una mejora de 35% presentando resultados similares a los de la presente investigación.

Para la bacteria *Bacillus cereus*, Mondal et al. (2017), encontraron que la concentración idónea es de 10^3 cell/ml con un incremento en la resistencia a la compresión de 20%, en la presente investigación se observó que la concentración óptima es de 10^7 ufc/ml, esta diferencia podría deberse, además de la unidad de medida, a la fuente de extracción de la bacteria, como se mencionó anteriormente, las bacterias varían su metabolismo cambiando de enzimas en sus mitocondrias adaptándose a los medios donde se encuentran, para la presente investigación la bacteria B.C. se extrajo del suelo presente en las instalaciones del campus universitario, al ser incorporados a la mezcla de concreto no hubo un cambio notable en su metabolismo pudiendo desenvolverse de mejor manera en menos tiempo y a mayores concentraciones, obteniendo mejores resultados.



Reyad y Mokhtar (2023), también estudiaron la bacteria *Bacillus cereus*, obteniendo una mejora de 24.7% con respecto a un concreto control.

Cabe resaltar que además de los factores antes mencionados, se encuentran los factores de sitio, como la altitud de los lugares de investigación, las bacterias al ser seres vivos están condicionados por su medio ambiente (Grupo SM, 2015), Mondal et al. (2017), Franchis et al. (2021) y Reyad y Mokhtar (2023) estudiaron las bacterias a una altitud de 0 a 250 m.s.n.m., en la presente investigación se tiene una altitud de 3825 m.s.n.m., dicho de otra manera, a pesar de que las bacterias sean del mismo tipo (*Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus*), estas tienen un comportamiento a diferentes condiciones ambientales, además de la altitud, otro factor importante es la temperatura de curado del concreto, los investigadores anteriormente mencionados tuvieron una temperatura controlada de entre 20°C y 30°C, acentuando que la temperatura natural que tienen sus países como India, Tailandia o Egipto, permite que las bacterias puedan desarrollarse adecuadamente, sin embargo en la región andina en la que se desarrolló la presente investigación tiene temperaturas de entre -4°C a 17°C, todos estos factores ralentizarían la acción de las bacterias.

Las bacterias al ser seres vivos, se adecuan al ambiente en el que se encuentran, teniendo diferentes comportamientos no solo entre tipos de bacterias sino además entre las diferentes regiones del mundo, y su influencia, en este caso sobre la resistencia a la compresión del concreto, es variable, sin embargo, se pudo constatar en la presente investigación que se tuvo resultados positivos.

4.4. EFECTO PRODUCIDO POR LA ADICIÓN DE BACTERIAS EN EL CONCRETO INFORMAL EN RELACIÓN A LA REPARACIÓN DE FISURAS

Realizadas las probetas por concentraciones de 10^3 ufc/ml, 10^5 ufc/ml y 10^7 ufc/ml, se procedió a la realización de fisuras con la máquina de ensayo a la compresión, posteriormente se procedió a medir las fisuras con ayuda de un fisurómetro, donde se encontraron fisuras de 0.05 mm hasta 0.75 mm, las cuales pueden visualizarse en el panel fotográfico del anexo J.

Posteriormente se fue evaluando la reparación de las fisuras a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, donde finalmente se cuantifico la reparación en porcentajes de acuerdo al ancho reparado.

En cuanto al análisis estadístico primero se verifico la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk, a su vez se aplica la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de los datos, dando como resultado que los datos son normales y homogéneos. Con lo anterior se puede deducir que hubo mejoras en algunas concentraciones, pero estas no fueron significativas, como se puede apreciar en la Tabla 221.

Tabla 21

Análisis estadístico de la reparación de las fisuras

Tratamiento	Concentración (ufc/ml)	Normalidad	Homogeneidad	p value
Control	0			----
B. Subtilis	10^3	0.001	0.042	>0.05
B. Subtilis	10^5	0.464	0.042	>0.05
B. Subtilis	10^7	0.296	0.042	>0.05
B. Cereus	10^3	0.464	0.464	>0.05
B. Cereus	10^5	0.296	0.042	>0.05
B. Cereus	10^7	0.472	0.042	>0.05



También, como se aprecia en la Tabla 22 de los resultados, que la Bacteria *Bacillus subtilis* fue más eficiente en una concentración menor incrementando hasta un 19.01%, mientras en concentraciones altas no mostro ninguna mejora, por el lado de la bacteria *Bacillus cereus* se podría decir lo contrario ya que presento mejores resultados con mayores concentraciones, aunque resalta un poco más la concentración 10^5 ufc/ml con un 12.86%.

Estos resultados podrían deberse al ancho promedio de fisuras creadas y su profundidad, ya que se observa que para las concentraciones 10^5 ufc/ml y 10^7 ufc/ml de *Bacillus subtilis* en ancho es el triple que para la concentración 10^3 ufc/ml, de igual manera se puede observar que para *Bacillus cereus* la reparación aumenta conforme aumenta la concentración de bacterias, pero se estanca en la mayor concentración, pero como se mencionó esto puede deberse a que el ancho en este es mayor al doble de la concentración 10^5 ufc/ml. Contrastando en India Mondal y Ghosh (2018), logro cerrar fisuras de 0.6 mm hasta 1.2 mm con *Bacillus subtilis* con concentraciones de 10^3 ufc/ml y 10^7 ufc/ml respectivamente, a su vez en Colombia Schwantes et al. (2018), logro cerrar de 0.13 a 0.40 mm recién hasta los 100 días con *Bacillus subtilis* en concentraciones 10^8 ufc/ml, en Cusco Mendoza y Sánchez (2017), logro presentar precipitaciones parciales en fisuras de 0.5mm de ancho, esto con *Bacillus subtilis* en concentración de 1.6×10^8 ufc/ml además de incluir medios de cultivo en el aditivo bacteriano, por lo mencionado se puede relacionar que en climas tropicales como la India y Colombia que poseen temperaturas promedio de 21.6°C (Rodriguez y Gallo, 2022), favorecen a la crecimiento de las bacterias en comparación a Cusco con temperatura promedio de 12°C al igual que Puno que tiene temperaturas promedio de 10°C (Cedar Lake Ventures Inc., 2023), recalando que según Álava y Velásquez (2023), en el género bacillus la temperatura de crecimiento puede ir entre los $25 - 37^\circ\text{C}$ y $37 - 41^\circ\text{C}$, el pH puede situarse entre $4 - 7$ y $7 - 10$, y la

revolución por minuto se establecería de 50 – 150 rpm y 150 – 200 rpm. Con ello se puede concluir que la temperatura es un factor redundante en el desarrollo de las bacterias bacillus, lo cual podría explicar el poco porcentaje de recuperación en las zonas alto andinas.

Tabla 22

Resultados de la reparación de las fisuras

Tratamiento	Concentración (ufc/ml)	Recuperación (%)	Ancho (mm)
Control	0	0.00	
<i>B. subtilis</i>	10 ³	19.01	0.15
<i>B. subtilis</i>	10 ⁵	0.00	0.45
<i>B. subtilis</i>	10 ⁷	0.00	0.45
<i>B. cereus</i>	10 ³	6.85	0.23
<i>B. cereus</i>	10 ⁵	12.86	0.1
<i>B. cereus</i>	10 ⁷	11.86	0.24

Se comparó los costos de producción entre el concreto producido por maestros de obra y el bioconcreto, ambos según la segunda dosificación encontrada, para las bacterias se consideró el costo de producción de cada placa petrie con bacterias, el cual se estableció en 10 soles cada una, el cálculo de costo de detalla en la Tabla 23.

Tabla 23

Costo de bacterias por placa petri

Concentración (ufc/ml)	N° de placas por litro	N° de placas para la dosificación (160 litros)	Redondeo	Costo
10 ³	0.14	22.86	23	S/.230.00
10 ⁵	0.71	114.29	114	S/.1140.00
10 ⁷	3.57	571.43	572	S/.5720.00

En la Tabla 24 se expone el costo de producción por m³ del concreto informal, para el precio de la bolsa de cemento Rumi se consideró el precio estándar de mercado siendo S/.26.00, el costo de 1 m³ de hormigón es de S/.41.66, la tarifa de agua según EMSAPUNO S.A. para uso doméstico varía desde 1.19 a los 2.82 soles/m³ según el uso.

Tabla 24

Costos de producción del concreto informal por m³

Materiales	Concreto informal		
	Cantidad	CU (S/)	Costo Parcial (S/)
Cemento (bol)	8	26.00	208.00
Hormigón (pie3)	36.48	1.18	43.04
Agua (l)	160	0.00282	0.45
Costo total	de producción de concreto informal por m ³		251.49

A continuación, se presenta el costo de producción del bioconcreto por el método de dilución de placas y con el uso de un fermentador, se puede observar así en la Tabla 25 que el precio de fabricación de bioconcreto es mayor debido al costo de las bacterias, además este valor incrementa en relación a la concentración.

Tabla 25

Costos de producción del bioconcreto por m³

Materiales	Bioconcreto			Bioconcreto con fermentador		
	Cantidad	CU (S/)	Costo Parcial (S/)	Cantidad	CU (S/)	Costo Parcial (S/)
Cemento (bol)	8	26	208.00	8	26	208.00
Hormigón (pie3)	36.48	1.18	43.04	36.48	1.18	43.04
Agua (l)	160	0.00282	0.45	160	0.00282	0.45
Bacterias 10 ³ ufc/ml	23	10	230.00	23	1	23.00

Materiales	Bioconcreto			Bioconcreto con fermentador		
	Cantidad	CU (S/)	Costo Parcial (S/)	Cantidad	CU (S/)	Costo Parcial (S/)
(placa)						
Bacterias 10 ⁵ ufc/ml (placa)	114	10	1140.00	114	1	114.00
Bacterias 10 ⁷ ufc/ml (placa)	572	10	5720.00	572	1	572.00
	Costo total de producción de 1 m ³ de bioconcreto con concentración 10 ³ ufc/ml		481.49	Costo total de producción de 1 m ³ de bioconcreto con fermentador, concentración 10 ³ ufc/ml		274.49
Costo total	Costo total de producción de 1 m ³ de bioconcreto con concentración 10 ⁵ ufc/ml		1391.49	Costo total de producción de 1 m ³ de bioconcreto con fermentador, concentración 10 ⁵ ufc/ml		365.49
	Costo total de producción de 1 m ³ de bioconcreto con concentración 10 ⁷ ufc/ml		5971.49	Costo total de producción de 1 m ³ de bioconcreto con fermentador, concentración 10 ⁷ ufc/ml		823.49

Posteriormente se evaluó la el costo de reparación de fisuras mediante adhesivo epoxico y resina inyectable de baja plasticidad en fisuras, como se expone en la Tabla 26:

Tabla 26

Costo de reparación de fisuras

Sellado de fisuras con aditivos	Costos (S/)
Mano de obra	100.00
Adhesivo epóxico - Sikadur -31	220.00
Resina inyectable de baja viscosidad – Sikadur -52	93.00
Equipo	300.00
Total	713.00



Finalmente se realizó una comparación entre el costo del concreto elaborado por maestros de obra añadiendo un costo de reparación por fisuras y el bioconcreto en la Tabla 27, donde se puede apreciar que el costo reparación con el uso del bioconcreto es significativamente menor al uso de adhesivo epoxico y resina inyectable.

Tabla 27

Comparación de costos de producción

Concreto	Costo	Porcentaje
Concreto elaborado por maestros de obra y reparación de fisuras.	S/.964.49	100%
Bioconcreto (placas) – concentración 10^3	S/.481.49	49.92%
Bioconcreto (placas) – concentración 10^5	S/.1391.49	144.27%
Bioconcreto (placas) – concentración 10^7	S/.5971.49	619.13%
Bioconcreto (fermentador) – concentración 10^3	S/.274.49	28.46%
Bioconcreto (fermentador) – concentración 10^5	S/.365.49	37.89%
Bioconcreto (fermentador) – concentración 10^7	S/.823.49	85.38%



V. CONCLUSIONES

- La adición de bacterias *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus* en el concreto informal logro incrementar su resistencia a la compresión en todas las concentraciones añadidas, de igual manera se logró una reparación parcial de las fisuras presentes en las muestras.
- De las encuestas realizadas se puede concluir que el 100% de los maestros encuestados son del género masculino, dentro de los cuales el 58.82% tiene entre 46-65 años, además el 47.06% tiene entre 16 a 30 años de experiencia, sin embargo, solo el 29.41% presenta una certificación y la mayor parte de estas certificaciones son de trabajo como maestro de obra y no por instituciones que los acrediten como maestros de obra. En cuanto a la dosificación, el 100% de los maestros de obra utiliza el cemento Rumi, el 82.35% utiliza el hormigón de la cantera Cutimbo y además indicaron que la cantidad es variada acorde a la consistencia del concreto en estado fresco, por último, la dosificación es variada de acuerdo a la experiencia de los maestros de obra teniendo que las dos dosificaciones mayormente utilizadas por los maestros de obra para elaborar concreto para la construcción de viviendas particulares en la ciudad de Puno son de $1:5.32 + 27l$ y $1:4.56 + 20l$ (Cemento: Hormigón + agua).
- La resistencia a la compresión a los 28 días de ambas dosificaciones (1 y 2) fueron de 50.76 kg/cm^2 y 120.01 kg/cm^2 respectivamente, la relación agua – cemento utilizada por lo maestro de obra suele ser muy elevado superando en algunos casos por mucho lo recomendado, lo cual con lleva a un descenso en la resistencia a la compresión y en consecuencia no alcance a lo establecido en la normativa. Esto comprueba que las viviendas construidas por los maestros de obra pueden verse



susceptibles a problemas estructurales o en casos extremos amenaza la salud de los habitantes de dichas viviendas en caso de movimientos telúricos.

- La adición de la bacteria *Bacillus subtilis* incrementó la resistencia a la compresión en 6.57% a la edad de 28 días y 13.03% a la edad de 14 días del concreto control para la concentración de 10^3 ufc/ml, sin embargo, para las demás concentraciones no se tuvo variaciones significativas, por lo que se puede concluir que la adición de la bacteria *Bacillus subtilis* no afecta de manera significativa la resistencia a la compresión del concreto informal. Por otro lado, la adición de la bacteria *Bacillus cereus* incrementó la resistencia a la compresión en 36.91% a la edad de 28 días y 61.92% a la edad de 14 días del concreto control para la concentración de 10^7 ufc/ml, para las concentraciones de 10^3 ufc/ml y 10^5 ufc/ml, se tuvo una mejora del 3.12%, 7.66% a la edad de 28 días con respecto al concreto control concluyéndose que la adición de la bacteria *Bacillus cereus* afecta de manera significativa la resistencia a la compresión del concreto informal y es considerablemente mayor a la resistencia del concreto informal y del concreto con adición de la bacteria *Bacillus subtilis*.
- La bacteria *Bacillus cereus* demostró ser un mejor espécimen para la reparación de fisuras superando a la *Bacillus subtilis*. Además, las concentraciones de bacterias más altas suelen conducir a una mayor cantidad y velocidad en la precipitación de calcita, aunque de igual manera se debe considerar el ancho y la profundidad de las fisuras, además de controlar la temperatura y pH del agua donde será curadas las muestras.



VI. RECOMENDACIONES

- En cuanto a la recolección de información, se recomienda incluir más variables que puedan dar más información acerca de la situación del maestro de obra como si tiene hijos, cuantos hijos tiene, cual es el ingreso que percibe, cual es el último grado de instrucción acreditado que posee, cuantos años de experiencia tuvo como peón, operario, oficial y maestro de obra, en que lugares se desempeñó como maestro de obra y cómo fue su proceso de aprendizaje sobre la elaboración de concreto. Todos estos factores podrán dar más información acerca de los maestros de obra y conocer mejor la realidad de las construcciones en la ciudad de Puno, teniendo en cuenta que este tipo de información ha sido poco tratada.
- La presente investigación se ha enfocado en cómo las bacterias influyen en las propiedades físico-mecánicas del concreto y la reparación de fisuras, sin embargo es recomendable incluir a personas conocedoras de la rama de microbiología en el estudio de las bacterias, debido a que como se ha discutido en la presente investigación, las bacterias adoptan diferentes comportamientos de acuerdo al ambiente en las que se encuentran y su proceso de adaptabilidad es generacional por lo que puede conllevar un largo tiempo hasta que puedan contribuir a los resultados esperados, es por esto que antes de incluirlas a la mezcla del concreto se recomienda el estudio del metabolismo de las bacterias y si estas podrían ser eficaces, por consiguiente tener mayores incrementos en la resistencia a la compresión y la reparación de las fisuras.
- Se propone evaluar la viabilidad de la aplicación del bioconcreto en las construcciones en la ciudad de Puno, ello a través de una o más encuestas que se enfoque en dicho ámbito.



- Se sugiera considerar un método de medición de fisuras más efectivo, ya que el visual a través de fotos puede ser engañoso debido a la angularidad presente a tomar las fotografías en días distintos, además de que bajo este método se ignora la profundidad que pueden tener la fisuras, lo cual con lleva a una mala cuantificación de las fisuras.
- Se recomienda que en futuras investigaciones se analice en profundidad los costos producción de las bacterias, puesto que se podría utilizar como medio cultivo caldos nutritivos basados en extracto de tomate, solución de melaza, etc., que junto con el fermentador se podrían optimizar los costos significativamente, pudiendo hacer del bioconcreto un material mucho mas viable.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto (teoría y problemas)* (2nd ed.). Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Aceros Arequipa. (2022). *Manual de construcción para maestros de obra*.
- ACI - 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*.
- ACI 224.1. (2007). *Causes, evaluation, and repair of cracks in concrete structures*. American Concrete Institute.
- Ahmed, S., Nasser, A., Abbas, R., Kamal, M. M., Zahran, M. A., & Sorour, N. M. (2021). Production of bioconcrete with improved durability properties using Alkaliphilic Egyptian bacteria. *3 Biotech*, 11(5). <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02781-0>
- Aire, C. (2011). Fisuras por contracción plástica del concreto. *Construcción y Tecnología En Concreto*. <https://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>
- Álava, S. G., & Velásquez Catagua, C. A. (2023). Evaluación de bacillus sp. antárticos en la biodegradación de polietileno PET.
- Alonso, M. J. C., Ortiz, C. E. L., Perez, S. O. G., Narayanasamy, R., Fajardo San Miguel, G. del J., Hernández, H. H., & Balagurusamy, N. (2018). Improved strength and durability of concrete through metabolic activity of ureolytic bacteria. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(22), 21451–21458. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9347-0>
- Alor, J. S., & Alfaro, J. C. (2020). Mejoramiento a la compresión, flexión y tracción del concreto con agregado grueso reciclado, fino natural y virutas de acero para el uso de viviendas en Lima Metropolitana. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*.
- Al-Thawadi, S., Al-Thawadi, S. M., & Info, A. (2011). Ureolytic Bacteria and Calcium Carbonate Formation as a Mechanism of Strength Enhancement of



- Sand. In *Journal of Advanced Science and Engineering Research* (Vol. 1).
<https://www.researchgate.net/publication/230603500>
- Al-Thawadi, S., Cord-Ruwisch, R., & Info, A. (2012). Calcium Carbonate Crystals Formation by Ureolytic Bacteria Isolated from Australian Soil and Sludge. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 2, 12–26.
<https://www.researchgate.net/publication/230603445>
- A.M. Neville. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.).
- Anderson, T. H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98(1–3), 285–293.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00088-4)
- Aranda Dioses, E., & Caldas Torres, P. (2023). La vivienda de interés social en ciudades intermedias del Perú Representaciones sociales y prácticas de innovación social. *Revista de Ciencias Sociales*, 36(52).
<https://doi.org/10.26489/rvs.v36i52.6>
- Arce, J. (2023, November 8). “Será una catástrofe”: el apocalíptico terremoto que ‘acecha’ Lima y la predicción de 110 mil muertes. *Infobae*.
<https://www.infobae.com/peru/2023/11/08/terremoto-en-lima-2023-fuerte-sismo-se-avecina-con-consecuencias-mortales/>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación*. Editorial Episteme.
<https://www.researchgate.net/publication/301894369>
- Ascate Mego, C. P., & Miranda Torres, M. A. de J. (2019). Diseño de bioconcreto con *Bacillus Subtilis* para mejorar la resistencia en un concreto $f'c=210$ kg/cm², Tarapoto - 2019. Universidad César Vallejo.
- Asenjo Alarcón, D. E. (2019). Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto. Universidad Nacional de Cajamarca.
- ASTM C39. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.



- ASTM C109. (2020). Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando muestras de cubos de 2 pulgadas o [50 mm]).
- ASTM C150. (2001). Standard Specification for Portland Cement. https://doi.org/10.1520/C0150_C0150M-12
- ASTM C494. (2017). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- Bardales Soriano, O. R. (2021). Determinación y evaluación de las fisuras y grietas de la residencial los cipreses II en la ciudad de Cajamarca - 2019. Universidad Privada del Norte.
- Bayas Villagómez, K. M., Segarra Zambrano, V. L., Siguachi Quinteros, J. A., & Obando Cuero, K. M. (2019). Biotecnología y su incidencia en el estudio de las bacterias. RECIAMUC, 3(3), 3–21. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/3.\(3\).julio.2019.3-21](https://doi.org/10.26820/reciamuc/3.(3).julio.2019.3-21)
- Belloso Chacín, R. (2017). Metodología de la investigación.
- Biderman, C., Smolka, M. O., & Sant'Anna, A. (2023). Informalidad de la vivienda urbana. Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.lincolninst.edu/es/publications/articles/informalidad-la-vivienda-urbana>
- Bisang, R., Campi, M., & Cesa, V. (2009). Biotecnología y desarrollo.
- Calavera Ruíz, J. (2005). Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado (2a.ed.). INTEMAC.
- Calleja, J. (n.d.). Panorama futuro de la investigación en el campo del cemento. <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Canahualpa Nakamatsu, E. A., Martínez Montoya, M., Moreno Alonzo, S. K., Ospino Alva, M. A., Rodríguez Salazar, C. F., & Toledo Aranda, D. S. (2021). El problema de la autoconstrucción en Lima Metropolitana. Universidad de Lima.
- CAPECO. (2003). Costos y presupuestos en edificación.



- CAPECO. (2018). Nueva iniciativa de CAPECO por la construcción responsable: Construyendo formalidad.
- CAPECO. (2021). El 80% de las viviendas en el Perú son informales y serían vulnerables ante un terremoto.
- Carreño Carreño, J. L., & Serrano Rodriguez, R. A. (2005). Metodología de evaluación en patología estructural. Universidad Industrial de Santander.
- Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J.-P. (1999). Ca-carbonates precipitation and limestone genesis-the microbiogeologist point of view. In *Sedimentary Geology* (Vol. 126).
- Catañeda Alarcon, J. M. (2015). Análisis de agregados finos y resistencia de mezclas de morteros con arenas obtenidas de los almacenes de la localidad de Usme en la ciudad de Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ccopa Mamani, H. (2017). Efecto del grafeno como aditivo nanotecnologico en la resistencia del concreto. Universidad Nacional del Altiplano.
- Cedar Lake Ventures Inc. (2023, November 15). Weather Spark.
- CEMENTOS. Cementos Hidráulicos. Requisitos de Desempeño. (2020).
- Cerra, H., Fernández, M. C., Horak, C., Lagomarsino, M., Torno, G., & Zarankin, E. (2013). Manual de microbiología aplicada a las industrias farmacéutica, cosmética y de productos médicos. Asociación Argentina de Microbiología.
- Chen, H., Wang, L., Su, C. X., Gong, G. H., Wang, P., & Yu, Z. L. (2008). Isolation and characterization of lipopeptide antibiotics produced by *Bacillus subtilis*. *Letters in Applied Microbiology*, 47(3), 180–186. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02412.x>
- Cisneros, C. (2016, December 13). Perú: Diseñan viviendas bioclimáticas contra heladas en Puno. Pro Ciencia. <https://portalanterior.prociencia.gob.pe/ciencia-al-dia/cientificos-utilizan-tecnicas-naturales-para-mejorar-la-produccion-del-frijol-peruano-3>



- Colmenarez Villegas, R. A. (2018). ¿Qué es el agrietamiento por contracción plástica? <https://www.linkedin.com/pulse/qué-es-el-agrietamiento-por-contracción-plástica-colmenarez-villegas/?originalSubdomain=es>
- Cordero Estévez, G. D., Cárdenas Gutiérrez, J. A., & Rojas Suárez, J. P. (2019). Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI (ECOEDICIONES).
- Côrte, L. (2013). Dissecting the function of the SpoIIIJ and YqjG membrane protein insertases during bacterial spore development. Universidade Nova de Lisboa.
- Crispín Bernardo, M. L., Gómez Fernández, T., Ramírez Robledo, J. C., & Ulloa Herrero, J. R. (2012). Guía del docente para el desarrollo de competencias.
- Cruz Zúñiga, N., & Ramírez Picado, D. (2022). Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos. *Métodos & Materiales*, 12.
- Cuadros Portales, J. A. (2018). Bioconcreto un material con vida propia. *CienciaCierta*.
- Cucariano Morales, P. A., & Higuera Cuervo, M. E. (2018). Estudio de caso del domo Kiddies análisis de protección por diseño contra las lesiones atmosféricas. Universidad la Gran Colombia.
- Cuervo Lozada, J. P. (2010). Aislamiento y caracterización de bacillus spp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Pontificia Universidad Javeriana.
- De Miguel, J. L. (2015). Fisuras y grietas.
- E.030. (2019). Diseño Sismorresistente. www.vivienda.oob.pe
- EFSA. (2005). Opinion of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) on *Bacillus cereus* and other *Bacillus* spp in foodstuffs. *EFSA Journal*, 3(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.175>
- Ehrlich, H. L. (1998). Geomicrobiology: its significance for geology. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 45).



- Enrique Mirón, C., Cabo Hernández, J. M., & Cortiñas Jurado, J. R. (2007). La presencia de la bio tecnología dentro y fuera de la escuela. primeros resultados de un estudio diagnóstico. <http://europa.eu.int/comm/public>
- EPO. (2015). “Bio-concrete” set to revolutionize the building industry: Dutch inventor of self-healing concrete named finalist for European Inventor Award.
<https://www.epo.org/newsevents/press/releases/archive/2015/20150421.html>.
- Falconi Cornejo, K. E., Révolo Gutarra, C. E., Valerio Suárez, E. A., & Vargas Velásquez, V. A. (2022). YACHACHIQ: Un programa de formación para maestros de obras [Pontificia Universidad Católica del Perú - Escuela de Posgrado]. <https://orcid.org/0000-0002-6374-8062>
- Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación.
- Ferral Pérez, H., & Galicia García, M. (2020). Bioprecipitation of calcium carbonate by *Bacillus subtilis* and its potential to self-healing in cement-based materials. *Journal of Applied Research and Technology*, 18(05), 245–258. <https://doi.org/10.14482/indes.30.1.303.661>
- Flores Villa, G. E., & Peñares Crispin, Y. Y. (2023). Evaluación de concreto armado con resistencia 280 kg/cm² con aguas residuales tratadas de la PTAR ACLARA y la implementación de microorganismos en elementos estructurales (vigas y columnas) para minimizar el alto uso de agua potable en la producción del concreto en la región de Ica. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Foti, D. (2018). Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete. In *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete* (pp. 387–410). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00018-9>
- Franchis David, M., Mohan kumar, G., Raambalaji, C. B., Subaranjani, S., Muthusivashankar, A., & Chandra Bose, J. (2021). Experimental investigation on bio-concrete with medical vial glass waste. *Asian Journal of*



- Civil Engineering, 22(1), 59–71. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00298-0>
- G.040. (2021). Definiciones del reglamento nacional de edificaciones. www.gob.pe/vivienda
- Garay Pichardo, L. Y., & Quispe Cotrina, C. E. (2015). Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- García Chambilla, B. F. (2017). Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'_c=210$ kg/cm² en la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales Medrano, R. L. (2017). Análisis comparativo de la resistencia a compresión de un concreto convencional utilizando muestras cilíndricas y cúbicas. Universidad Señor de Sipán.
- González Jiménez, Y. T. (2010). Los actinomicetos: una visión como promotores de crecimiento vegetal. Pontificia Universidad Javeriana.
- Goodfellow, M., Kampf, P., Busse, H.-J., Trujillo Martha E., Suzuki, K., Ludwig, W., & Whitman, W. B. (2012). Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology. In Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology (Vol. 5). EDITORIAL BOARD. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68233-4>
- Grupo SM. (2015). El ambiente y los seres vivos.
- Harmsen, T. E. (2018). Diseño de estructuras de concreto armado. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernández Pérez, L. D., Gómez Chimento, J., Contreras Bravo, A., & Padilla Ruiz, L. S. (2018, October). Resistencia a la compresión del concreto. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16390.63044>
- Hernández Sampieri, Roberto., Fernández Collado, Carlos., & Baptista Lucio, Pilar. (2006). Metodología de la investigación. McGraw Hill.



- Hernández, Y., De Rincón, O., Torres, A., Delgado, S., Rodríguez, J., & Morón, O. (2016). Relación entre la Velocidad de Corrosión de la Armadura y el Ancho de Fisuras en Vigas de Concreto Armado Expuestas a Ambientes que Simulan el Medio Marino. <https://doi.org/10.21041/ra>
- Hernández-Piedrazul, E., Castañeda-Robles, I. E., & Lizárraga-Mendiola, L. (2022). El bioconcreto como agente reparante en estructuras de concreto. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial2), 176–183. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iespecial2.8667>
- Idencity. (2018, June 21). El alto riesgo de las viviendas informales en Perú. Idencity Transforming Citites. <https://www.idencityconsulting.com/viviendas-informales-en-el-peru/>
- IMCYC. (2006). Contracción por secado del concreto. *El Concreto En La Obra: Problemas, Causas y Soluciones*, 7.
- INEI. (2018). Tomo XII, Cuadros estadísticos de población, vivienda y hogar - Características de la Vivienda.
- INEI. (2021). Licencias de edificación (construcción) otorgadas por las municipalidades por tipo, según departamento, 2020.
- INEI. (2022, January 30). Portal del INEI: Población y vivienda. <https://www.inei.gob.pe/>.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (1996). *Bacillus cereus*. In *Micro-Organisms in Foods*. 5. Characteristics of Microbial Pathogens. Roberts, T.A., Baird Parker, A.C. and Tompkins, R.B., 20–35.
- Jedidi, M., & Benjeddou, O. (2018). Chemical causes of concrete degradation. *MOJ Civil Engineering*, 4(1), 40–46. <https://doi.org/10.15406/mojce.2018.04.00095>
- Joel Castillo Castillo, A., Ma Gurrola Togasi, A., Teresa Herrera Islas, M., & Islas Fonseca, Y. (n.d.). *Introducción al Análisis Bacteriológico Manual de Prácticas Introducción al Análisis Bacteriológico*.



- Jolmem. (2021, January 7). El Grave Peligro de las Construcciones Informales en el Perú. Jolmem Ingeniería e Inmobiliaria. <https://jolmem.com/el-grave-peligro-de-las-construcciones-informales-del-peru/>
- Koneman, E. W., Winn, W. C. W., Allen, S. D., Janda, W. M., Procop, G. W., Schreckenberger, P. C., & Woods, G. L. (2006). *Koneman Diagnóstico Microbiológico* (6th ed.). Editorial Medica Panamericana.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff Beatrix, Panarese William C., & Tanesi Jussara. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.
- Kramer, J. M., Turnbull, P. C. B., Munshi, & Gilbert, R. J. (1982). Identification and characterization of *Bacillus cereus* and other *Bacillus* species associated with foods and food poisoning. . *Isolation and Identification Methods for Food Poisoning Organisms.*, 261–286.
- Larico Mamani, P. F. (2018). Evaluación de la gestión financiera y presupuestal e incidencia en el cumplimiento de metas institucionales de la Municipalidad Provincial de Puno, periodos 2015 y 2016. Universidad Nacional del Altiplano.
- 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>
- Luhar, S., & Gourav, S. (2015). A Review Paper on Self Healing Concrete. *Journal of Civil Engineering Research*, 2015(3), 53–58. <https://doi.org/10.5923/j.jce.20150503.01>
- Mahmood, F., Kashif Ur Rehman, S., Jameel, M., Riaz, N., Javed, M. F., Salmi, A., & Awad, Y. A. (2022). Self-Healing Bio-Concrete Using *Bacillus subtilis* Encapsulated in Iron Oxide Nanoparticles. *Materials*, 15(21), 7731. <https://doi.org/10.3390/ma15217731>
- Mamani Gomez, J. A. (2022). Determinación del valor económico del agua para una mejora en el abastecimiento de agua potable de uso doméstico en la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.



- Mamani Ramos, L. A., & Huarcaya Ccamapaza, R. (2018). Identificación y evaluación de patologías en viviendas autoconstruidas en los barrios urbano marginales de la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano.
- Marín Alvis, Y. A. (2022). Análisis técnico y experimental para la determinación de una mezcla de concreto que cumpla solicitaciones de carga del orden de 35 MPa [Universidad de Antioquia]. www.udea.edu.co
- Martínez Zamora, L., & Torres Fuentes, M. (2013). Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(3), 1–79.
- Martín-García, R., & Alonso-Zarza, A. M. (2008). Geoquímica isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$) de los espeleotemas de aragonito, calcita y dolomita de la Cueva de Castañar de Ibor (Cáceres). <https://www.researchgate.net/publication/42537615>
- Masías-Mogollón, K. (2018). Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso. Universidad de Piura.
- Mazzali de Ilja, R. (2003). Nivel 1 de bioseguridad. *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, 23(1).
- Mendoza Almonte, H. (2021). Influencia del nanosílice por sustitución parcial al cemento en el diseño de mezcla de concreto de alta resistencia, en la ciudad de Puno, 2017. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Mendoza Nina, R. H., & Sánchez Quijano, J. M. (2017). Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género *Bacillus* y Biopolímeros como bioreparador, Cusco - 2016. Universidad Andina del Cusco.
- Meneses, R. S., Moro, J. M., Aveldaño, R. R., & Ortega, N. F. (2016). Influencia del espesor del recubrimiento de elementos de hormigón armado expuestos a procesos de corrosión y sometidos a cargas externas. <https://doi.org/10.21041/ra>
- Merino, L. A. (n.d.). Fisiología bacteriana.



- Mogrovejo, R., & Rodríguez, M. (2017). Mujeres del sector de la construcción en Bolivia.
- Mokhtar, G., Ahmed, A. A. E. A., & Reyad, A. M. (2021). The effect of isolated *Bacillus ureolytic* bacteria in improving the bio-healing of concrete cracks. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00142-7>
- 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>
- Mondal, S., & Ghosh, A. (Dey). (2018). Investigation into the optimal bacterial concentration for compressive strength enhancement of microbial concrete. *Construction and Building Materials*, 183, 202–214. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.176>
- Montaño Arias, N. M., Sandoval Pérez, A. L., Camargo Ricalde, S. L., & Sánchez Yáñez, J. M. (2010). Redalyc Sistema de Información Científica. Elementos: Ciencia y Cultura, 17, 15–23. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411989003>
- MTPE. (2020). Informe anual de la mujer en el mercado laboral.
- Muñoz-Pérez, S., Carlos-Sánchez, J., & Peralta-Sánchez, M. (2023). Influencia de las bacterias en la autocuración del concreto. *Revista UIS Ingenierías*, 22(1). <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n1-2023007>
- Nain, N., Surabhi, R., Yathish, N. V., Krishnamurthy, V., Deepa, T., & Tharannum, S. (2019). Enhancement in strength parameters of concrete by application of *Bacillus* bacteria. *Construction and Building Materials*, 202, 904–908. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059>
- Nicomedes Teodoro, E. N. (2018). Tipos de investigación.
- NTP 334.088. (2015). Cementos. Aditivos químicos en pastas, morteros y concreto. Especificaciones.
- NTP 334.090. (2020). Cementos. Cementos Portland adicionados. Requisitos.



- NTP 339.034. (2015). Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. In Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.034. (2021). Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- NTP 339.035. (2009). Hormigón (Concreto). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. In Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.079. (2012). Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo.
- NTP 339.084. (2017). Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.
- NTP 339.088. (2006). Hormigón (Concreto). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos.
- NTP 339.184. (2021). Concreto. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. In Norma Técnica Peruana. Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.185. (2013). Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 400.012. (2018). Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. In Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.017. (2011). Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. In Norma Técnica Peruana.



- NTP 400.021. (2018). Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. In Norma Técnica Peruana. www.inacal.gob.pe
- NTP 400.022. (2013). Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. In Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.037. (2002). Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).
- Oblitas Benavides, J. E. (2023). Efecto de la bacteria *Bacillus megaterium* en la capacidad autorreparable del concreto [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>
- Ortiz Cangrejo, Á. E. (2015). Análisis y descripción de la producción de concretos en obra de cinco proyectos de vivienda en Colombia. Universidad Militar Nueva Granada.
- Osorio Loyola, E. L. (2021). Alternativa para mejorar la resistencia a compresión del concreto, elaborado por maestros de obra, en la autoconstrucción de losas aligeradas para viviendas del distrito de San Juan de Lurigancho. Universidad Privada Del Norte.
- Pacheco, F., Loeff, A., Müller, V., Ehrenbring, H. Z., Christ, R., Modolo, R. C. E., Oliveira, M. F., & Tutikian, B. F. (2022). Evaluation of concrete self-healing with different insertion techniques of chemical and bacterial solutions. *Revista Alconpat*, 12(1), 32–46. <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.559>
- Panca Cruz, W. M. (2018). Estudio comparativo del diseño, costo, producción y calidad del concreto dosificado un situ vs. premezclado, para zonas accesibles de las ciudades de Puno y Juliaca. Universidad Nacional del Altiplano.
- Pariona Tunque, J. F. K. (2021). Bacterias alcalófilas en la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (2nd ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.



- Pasquel Carbajal, E. (2010). Mitos y realidades del concreto informal en el Perú.
- Patricia León, M., & Ramírez, F. (2010). Morphological characterization of concrete aggregates by means of image analysis. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(2), 215–240. www.ing.puc.cl/ric
- Perez Saldaña, J. (2023, June 10). Construcciones informales son bombas de tiempo y ponen en peligro a los limeños en caso de sismo. Infobae. <https://www.infobae.com/peru/2023/06/10/construcciones-informales-son-bombas-de-tiempo-y-ponen-en-peligro-a-los-limenos-en-caso-de-sismo/>
- Pineda Rodriguez, J. A. (2015). Utilización de fibra sintética para la reducción de fisuras por contracción térmica en losas de concreto reforzado. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Prasad, C. V. S. R., & Lakshmi, T. V. S. V. (2020). Experimental investigation on bacterial concrete strength with *Bacillus subtilis* and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1111–1117. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.478>
- Pucllas Gutierrez, M. (2021). Influencia de la adición de fibra de acero en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Universidad Peruana los Andes.
- Quenta Flores, D. (2019). Efectos del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal, Puno. Universidad Nacional del Altiplano.
- Quevedo Iwamatsu, H. C. A., & Sánchez Guevara, E. O. (2021). Efecto de la bacteria (*bacillus subtilis*) en la resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'_c=210$ kg/cm². Universidad César Vallejo.
- Quispe Napanga, K. G. (2018). Aplicación de técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado en edificaciones.
- Quispe Romero, J. (2005). El Problema de la Vivienda en el Perú, Retos y Perspectivas. *Revista INVI*, 20(53), 20–44.



- Quispe Vilca, Y. W. (2018). Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por ceniza de cascara de arroz en la zona Altiplánica. Universidad Nacional del Altiplano.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. In *The Journal of Open Source Software* (Vol. 3, Issue 22). R Foundation for Statistical Computing.
- Reglamento de Organización y Funciones (2012).
- Reyad, A. M., & Mokhtar, G. (2023). Impact of the immobilized *Bacillus cereus* MG708176 on the characteristics of the bio-based self-healing concrete. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27640-1>
- Rivera Rivera, E. (2020). Análisis comparativo según costos, tiempos y rendimientos entre viviendas formales con el sistema módulo ductilidad limitada y viviendas informales. urb. Las Fresas, Puente Piedra, Lima 2020. Universidad Privada del Norte.
- Rodriguez Estrada, M. A., & Gallo Martinez, J. D. (2022). Evaluación de la temperatura superficial en el puente vehicular Primera de Mayo con Avenida Boyacá de la ciudad de Bogotá. Universidad Antonio Nariño.
- Salas-Mercado, D., Meza-Duman, R., Hermoza-Gutierrez, M., & Maldonado, I. (2022). Percepción Social de la Calidad del Agua y la Expansión Territorial de la Minería en Ollachea, Puno, Perú. *Comuni@cción: Revista de Investigación En Comunicación y Desarrollo*, 13(1), 16–28. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.13.1.580>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Santos Estrada, A. J. (2021). *Aplicación del bioconcreto para reparar agrietamientos de los decantadores de la planta de tratamiento de Agua Atarjea - Lima*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Schwantes-Cezario, N., Peres, M. V. N. D. N., Fruet, T. K., Nogueira, G. S. F., Toralles, B. M., & Cezario, D. D. S. (2018). Crack filling in concrete by



- addition of bacillus subtilis spores – Preliminary study. *DYNA (Colombia)*, 85(205), 132–139. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68591>
- Seifan, M., Samani, A. K., & Berenjian, A. (2016). Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 100, Issue 6, pp. 2591–2602). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7316-z>
- Shashank, B. S., Dhannur, B., Ravishankar, H. N., & Nagaraj, P. S. (2019). Study on development of strength properties of bio-concrete. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 25, pp. 423–437). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0_38
- Siancas Aguilar, M. A. S., & Saldaña Enriquez, H. F. (2021). Bio-concreto con la Bacteria Bacillus Subtilis para el Diseño Estructural de Vivienda, Comas, 2021. Universidad César Vallejo.
- Sri Durga, C. S., Ruben, N., Sri Rama Chand, M., Indira, M., & Venkatesh, C. (2021). Comprehensive microbiological studies on screening bacteria for self-healing concrete. *Materialia*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101051>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción. grietas y fisuras en obras de hormigón. origen y prevención. *ciencia y sociedad*, 19(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87029104>
- TOXEMENT. (2019). Guía de especificación para el tratamiento de fisuras en el concreto.
- Van Tittelboom, K., & De Belie, N. (2013). Self-healing in cementitious materials-a review. *Materials*, 6(6), 2182–2217. <https://doi.org/10.3390/ma6062182>
- Vergara-Perucich, F., Fuster-Farfán, X., Rubio, I. R., Dattwyller, R. H., Rincón Quiroz, S., Camilo Álvarez, J., Peterson, V. A., Meseguer Ruiz, O., & Lizana Vásquez, F. (2022). Vivienda informal y las organizaciones territoriales en América Latina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 81, 5–14.



- Vidaud, E. (2013). Fisuras en el concreto ¿Síntoma o enfermedad? Construcción y tecnología en concreto. www.imcyc.com
- Vijay, K., Murmu, M., & Deo, S. (2017). Bacteria based self healing concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 152, 1008–1014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.040>
- Williams, R. J. (2013). Materiales autorreparables basados en polímeros entrecruzados. *Ciencia e Investigación*, 63(2).
- Yamasamit, N., Sangkeaw, P., Jitchaijaroen, W., Thongchom, C., Keawsawasvong, S., & Kamchoom, V. (2023). Effect of *Bacillus subtilis* on mechanical and self-healing properties in mortar with different crack widths and curing conditions. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34837-x>
- Ybañez, I. (2023, February 18). 80% de las viviendas en el Perú son autoconstruidas y altamente vulnerables ante desastres naturales. Infobae. <https://www.infobae.com/peru/2023/02/18/80-de-las-viviendas-en-el-peru-son-autoconstruidas-y-altamente-vulnerables-ante-desastres-naturales/>
- Zagaceta García, J. F. (2017). Actividad antibacteriana in vitro del extracto etanólico de hojas de *chamaesyce thymifolia* frente a cepas bacterianas por los métodos de difusión en agar y macrodilución. Iquitos, 2017. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.



ANEXOS

ANEXO 1. Encuesta realizada a los maestros de obra.

ANEXO 2. Validación de expertos.

ANEXO 3. Memorándum emitido por la Municipalidad Provincial de Puno.

ANEXO 4. Constancia de uso de equipos y laboratorio de construcciones.

ANEXO 5. Certificado de ensayos de laboratorio.

ANEXO 6. Constancia de identificación bioquímica de bacterias.

ANEXO 7. Constancia de uso de estereoscopio.

ANEXO 8. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión.

ANEXO 9. Resultados de reparación de fisuras.

ANEXO 10. Panel Fotográfico.



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Diego Jenko Crespo Ortega,
identificado con DNI 70404246 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“EVALUACIÓN DEL CONCRETO INFORMAL UTILIZADO EN VIVIENDAS PARTICULARES CON ADICIÓN DE BACTERIAS PARA MEJORAR SU RESISTENCIA A LA CONDENSACIÓN Y REPARAR SUS FISURAS, PUNO 2023”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

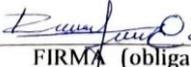
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 06 de agosto del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Diego Jenko Crespo Ortega,
identificado con DNI 70404246 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN DEL CONCRETO INFORMAL UTILIZADO EN VIVIENDAS
PARTICULARES CON ADICIÓN DE BACTERIAS PARA MEJORAR SU
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y REPARAR SUS FISURAS, PUNO 2023"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 06 de agosto del 2024

Diego Jenko Crespo Ortega
FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Leonel Roy López Ramos identificado con DNI 73249533 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Evaluación del concreto informal utilizado en viviendas particulares con adición de bacterias para mejorar su resistencia a la compresión y reparar sus fisuras, Puno 2023"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 06 de Agosto del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Leonel Roy López Ramos
identificado con DNI 73249533 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Evaluación del concreto informal utilizado en viviendas particulares
con adición de bacterias para mejorar su resistencia a la compresión
y reparar sus fisuras, Puno 2023”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 06 de Agosto del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella