UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"Estudio de especies fúngicas para ser incorporadas en morteros autorreparables"

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:
Muñoz León, Marco Andrés

Tutor:
Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Marco Andrés Muñoz León** con cédula de ciudadanía 0604572818, autor del trabajo de investigación titulado: **ESTUDIO DE ESPECIES FÚNGICAS PARA SER INCORPORADAS EN MORTEROS AUTORREPARABLES**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgasción y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 07 de Agosto del 2025.

Marco Andrés Muñoz León

C.I: 060457281-8

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Andrea Natalí Zárate Villacrés, Mgs catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **"ESTUDIO DE ESPECIES FÚNGICAS PARA SER INCORPORADAS EN MORTEROS AUTORREPARABLES"**, bajo la autoría de, Marco Andrés Muñoz León; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 24 días del mes de julio de 2025

Ing. Andrea Natalí Zárate Villacrés, Mgs

C.I: 060407977-2

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **"ESTUDIO DE ESPECIES FÚNGICAS PARA SER INCORPORADAS EN MORTEROS AUTORREPARABLES"**, presentado por **Marco Andrés Muñoz León** con cédula de ciudadanía 0604572818, bajo la tutoría de Ing. Andrea Natalí Zárate Villacrés, Mgs; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 07 de Agosto de 2025.

Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velasquez PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Tito Oswaldo Castillo Campoverde PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Marco Javier Palacios Carvajal MGs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento
SGC
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **MUÑOZ LEÓN MARCO ANDRÉS** con CC: **0604572818**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado" ESTUDIO **DE ESPECIES FÚNGICAS PARA SER INCORPORADAS EN MORTEROS AUTORREPARABLES"**, cumple con el 10%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **C.NET MAGISTER** , porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 06 de agosto de 2025

Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés
TUTORA

DEDICATORIA

A mi padre, Marco por ser el ejemplo más claro de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Gracias, papá, por estar presente en cada paso de mi vida, por creer en mi en los momentos más duros. Has sido mi guía silenciosa, y mi refugio en cada desafío. Sin ti, nada de esto habría sido posible. Este logro es tan tuyo como mío.

A mi madre, Fernanda, por estar presente en cada etapa de mi vida, llevándome de la mano desde mi primer día de escuela hasta hoy, mi último día de universidad. Gracias por acompañarme con tu ternura y amor, por celebrar mis logros como si fueran tuyos y por ser siempre mi mayor apoyo. Gracias, mamá.

A Dayana, gracias por tu paciencia y amor, por estar a mi lado en cada paso de este proceso, te has convertido en mi compañera de vida, dedico este logro a ti, que, con amor y entrega, te convertiste en una de las protagonistas de este triunfo y sé que juntos lograremos muchos más.

Finalmente dedico este triunfo a toda mi familia, a mi hermana Alejandra por ser un ejemplo en mi vida, a las negritas, y a nuestro ángel en el cielo; cada uno de ustedes han sido un apoyo y con su granito de arena han contribuido en mi formación y como no también a mis fieles compañeros Leo y Alaska.

Marco Andrés Muñoz León

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía constante y estar presente en cada paso de este camino. Gracias por escuchar mis oraciones, por darme fuerza en los momentos de duda y por iluminar mi camino.

A mi tutora, Ingeniera Andrea Zárate, mi más sincero agradecimiento por su apoyo, paciencia y compromiso a lo largo del desarrollo de este proyecto. Su orientación y confianza fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo con responsabilidad y enfoque.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por abrirme las puertas a una formación académica de calidad. Agradezco profundamente a todos los docentes que fueron parte de mi formación, quienes, con su conocimiento y dedicación, me guiaron no solo en lo académico, sino también en mi crecimiento personal y profesional.

Marco Andrés Muñoz León

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL
CERTIFICADO ANTIPLAGIO
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
ÍNDICE GENERAL
ÍNDICE DE TABLAS
ÍNDICE DE FIGURAS
RESUMEN
ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN. 15

1.1. Antecedentes 15

1.2. Planteamiento del problema 15

1.3. Justificación 16

1.4. Objetivos 16

1.4.1. Objetivo General 16

1.4.2. Objetivo específico 16

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO. 17

2.1. Marco teórico 17

2.1.1. Autorreparación del mortero 17

2.1.2. Biomineralización fúngica 17

2.1.3. Propiedades del micelio 17

2.1.4. Requisitos ambientales para el crecimiento del hongo ostra blanco 18

2.2. Estado Del Arte 18

2.3. Marco conceptual 20

2.3.1. Mortero 20

2.3.2. Fisuras del mortero 20

2.3.3. Material cementante 21

2.3.4. Mortero autorreparable 21

2.3.5. Carbonato de calcio 21

2.3.6. Tipos de agregados 21
2.3.7. Hongo de pudrición blanca 21
2.3.8. Hongo ostra 22
2.3.9. Tipos de hongos ostra 22
2.3.10. Hongo ostra blanco 23
2.3.11. Morfología del hongo ostra blanco 24
2.3.12. PDA 24
2.3.13. Solución de esporas 24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 25
3.1. Tipo de Investigación 25
3.2. Diseño de Investigación 26
3.2.1. Metodología de Revisión Bibliográfica – Método SALSA 26
3.2.2. Etapas del método SALSA 26
3.2.3. Elección de especies fúngicas adecuadas 26
3.2.4. Crecimiento y cultivo del hongo seleccionado 27
3.2.5. Recolección y almacenamiento de esporas 27
3.2.6. Determinación de las formas de incorporación del hongo al mortero 27
3.2.7. Búsqueda experimental de la dosificación del mortero 28
3.2.8. Elaboración de probetas prismáticas de mortero 28
3.2.9. Análisis de resultados 28
3.2.10. Interpretación de resultados 28
3.3. Población de estudio 28
3.4. Métodos de análisis, y procesamiento de datos 29
3.4.1. Crecimiento del hongo ostra 29
3.4.2. Cosechas de hongos 32
3.4.3. Recolección de esporas 33
3.4.4. Métodos de impresión de esporas 33
3.4.5. Preparación de la suspensión de esporas 38
3.4.6. Preparación de PDA (POTATO AGAR DEXTROSA) 41
3.4.7. Impresión de esporas en PDA 48
3.4.8. Recolección de esporas en el PDA inoculado 50
3.4.9. Elaboración de moldes de acero 50
3.4.10. Dosificación del mortero 52
3.4.11. Elaboración de probetas de mortero 54

3.4.12. Preparación de probetas 59
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 60
4.2. Caracterización macroscópica del hongo ostra 60
4.3. Registro fotográfico 64
4.4. Análisis de resultados. 69
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN 72
5.1. Conclusiones 72
5.2. Recomendaciones 73
BIBLIOGRAFÍA 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de hongos ostra. 22
Tabla 2. Probetas de mortero a realizarse. 29
Tabla 3. Pasos para la impresión de esporas, método 1. 33
Tabla 4. Pasos para la impresión de esporas, método 2. 35
Tabla 5. Pasos para la impresión de esporas, método 3. 36
Tabla 6. Preparación de la suspensión de esporas. 39
Tabla 7. Preparación del extracto de papa. 42
Tabla 8. Fabricación del PDA. 43
Tabla 9. Vertido de PDA en las cajas Petri. 46
Tabla 10. Impresión de esporas en el PDA. 48
Tabla 11. Elaboración de probetas de mortero. 54
Tabla 12. Matriz método SALSA. 60
Tabla 13. Caracterización morfológica del hongo. 62
Tabla 14. Fotografías de las probetas de mortero fragmentadas. 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fisura en un mortero. 20
Figura 2. Hongo ostra blanco. 23
Figura 3. Metodología del proyecto de investigación. 25
Figura 4. Kit de cultivo inoculado. 29
Figura 5. Crecimiento del hongo. 30
Figura 6. Crecimiento del hongo día 7. 31
Figura 7. Crecimiento del hongo día 10. 31
Figura 8. Crecimiento del hongo día 12. 32
Figura 9. Crecimiento del hongo día 15. 32
Figura 10. Cosecha de hongos. 33
Figura 11. Plano de molde de acero, vista tridimesional. 51
Figura 12. Plano del molde de acero vista superior. 51
Figura 13. Molde de acero fabricado. 51
Figura 14. Probeta de mortero fragmentada. 59
Figura 15. Eporas de hongo incubadas. 62
Figura 16. Prueba de crecimiento dentro de la probeta. 69
Figura 17. Prueba de crecimiento dentro de la probeta. 70
Figura 18. Filamentos dentro de la probeta. 70
Figura 19. Muestra testigo sin incorporación de hongo. 71

RESUMEN

En este estudio se buscó explorar una alternativa para enfrentar uno de los problemas más comunes de los morteros que son las fisuras. Estas fisuras, aunque a veces parecen inofensivas, pueden comprometer la durabilidad, la estética y estabilidad de una estructura. En respuesta a esta situación, se propuso el estudio de especies fúngicas para ser incorporadas en morteros, con la finalidad de que se desarrollaran propiedades autorreparables.

Debido a limitaciones locales para acceder al hongo Trichoderma reesei, se optó por trabajar con el hongo ostra blanco (Pleurotus ostreatus), una especie accesible en el país y conocida por su rápido crecimiento y adaptabilidad. A lo largo del estudio, se cultivó el hongo en diferentes medios, como PDA (Potato, Agar, Dextrosa) con miel y azúcar, y se probaron varias formas de integrarlo en la mezcla del mortero. Se experimentó con diferentes proporciones de esporas y tipos de arena para observar su comportamiento en un ambiente alcalino como el que presenta el mortero fresco.

Los resultados mostraron signos visibles de crecimiento micelial en algunas muestras. Este hallazgo sugiere que Pleurotus ostreatus tiene la capacidad de desarrollarse en este tipo de entorno, lo que lo convierte en un candidato viable para futuras investigaciones sobre morteros autorreparables. Esta propuesta no solo abre el camino hacia materiales más sostenibles, sino que también representa un puente entre la ingeniería y la naturaleza, aprovechando las capacidades regenerativas de los organismos vivos.

PALABRAS CLAVE: mortero autorreparable, especies fúngicas, fisuras, hongo ostra, esporas.

ABSTRACT

This study aimed to explore an alternative solution for addressing cracks, which are among the most common and problematic issues in mortars, as they can lead to significant structural and maintenance challenges. These cracks, although sometimes seemingly harmless, can compromise the durability, aesthetics, and stability of a structure. To address this pressing concern, we proposed studying fungal species for incorporation into mortars, aiming to develop self-healing properties.

We were unable to access the fungus Trichoderma reesei, so we used the white oyster mushroom (Pleurotus ostreatus), which is commonly found in the country and grows rapidly. We cultivated fungus on different media, such as PDA with honey and sugar, and tested various methods of mixing it into mortar. We experimented with different spore amounts and types of sand to observe their behavior in the alkaline environment of fresh mortar.

Some samples showed visible mycelial growth, suggesting that Pleurotus ostreatus can survive in this environment. This result makes it a strong candidate for future research on self-healing mortars. This proposal could lead to the development of more sustainable materials and connect engineering with nature by harnessing the regenerative abilities of living organisms.

Keywords: Self-healing mortar, fungal species, cracks, oyster mushroom, spores.

Firmado electrónicamente por:
SOFIA FERNANDA FREIRE CARRILLO
Validar únicamente con FirmaEC

Reviewed by:

Mgs. Sofía Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes

Durante su vida útil, las estructuras de hormigón y mortero sufren fisuras por diversos factores y es a través de estas fisuras que, oxígeno, agua, cloruros y otros agentes agresivos pueden penetrar para disminuir la durabilidad del hormigón, de su comportamiento y de su vida útil. El hormigón posee una capacidad innata de reparación. Sin embargo, esta capacidad es limitada y dependen de las condiciones ambientales a las que se exponga el material Sierra (Beltran et al. 2017).

Los hormigones y morteros autorreparables constituyen una interesante vía de investigación con relación a la posibilidad de mejora, sin embargo, es necesario un estudio más profundo y se debe analizar especies que sean capaces de llenar las fisuras con los filamentos provenientes de su crecimiento natural del hongo Marín et al. (2015). Para que el mortero pueda ser autorreparable según Jin et al. (2018), existen tres métodos posibles que consisten en la curación autógena, la encapsulación de material polimérico y la mineralización biológicamente inducida del carbonato de calcio.

Con lo antes mencionado ha nacido la esperanza de poder crear un mortero autorreparable con especies fúngicas, según Jin et al. (2018), los hongos pueden promover la formación de grandes cantidades de precipitados de carbonato de calcio en periodos cortos de tiempo lo que indica que pueden servir como candidatos para crear un mortero autorreparable.

La presente investigación buscó estudiar especies fúngicas candidatas para la elaboración de un mortero autorreparable, esto mediante búsqueda bibliográfica, con esta información posterior se determinó la forma de incorporación en la mezcla de alguna de estas especies, para finalmente encontrar una dosificación correcta, esto permitirá que futuras investigaciones puedan seguir estos procedimientos y realizar más evaluaciones que esta investigación no contempla.

1.2. Planteamiento del problema

El mortero es un material que se puede fisurar muy fácilmente, esto puede deberse principalmente a contracción plástica, que es cuando el mortero pierde agua rápidamente poco después de ser colocado o por contracción por secado, a medida que se endurece y disminuye su volumen, factores como altas temperaturas, baja humedad, viento, exceso de agua en la mezcla, movimientos del encofrado, mala compactación y cambios bruscos de temperatura aumentan la aparición de fisuras (Lentzkow, 2018).

A pesar de que existen numerosos avances para poder arreglar o minimizar este problema de las fisuras en el mortero como el uso de selladores superficiales, resinas, grapados y demás métodos que necesitan de intervención manual especializada lo cual puede llevar a que los costos para solucionar este problema sean elevados y poco prácticos ante

ello se ve la necesidad de la exploración de nuevos materiales como los morteros autorreparables con inclusión de especies biológicas, mismos que han sido muy poco estudiados a nivel local. No obstante, aún existen vacíos de conocimiento sobre qué especies son más adecuadas, el cómo se pueden incorporar en las mezclas, y en qué condiciones logran crecer.

1.3. Justificación

Actualmente, existen diversas técnicas para reparar grietas, sin embargo, muchas de ellas requieren mantenimiento continuo, son costosas o poco sostenibles. Frente a esta problemática, ha surgido una línea de investigación para el desarrollo de materiales autorreparables, que buscan extender la vida útil del concreto y reparar las fisuras sin la necesidad de una intervención externa.

En este contexto, el uso de agentes biológicos como hongos representa una propuesta prometedora. Algunos hongos, como Trichoderma reesei o Pleurotus ostreatus, han demostrado la capacidad de formar carbonato de calcio ($CaCO_3$) en condiciones alcalinas es decir con PH superior a 12, lo que podría permitir el sellado natural de grietas.

Por ello esta investigación buscó estudiar las especies fúngicas para ser incorporadas en morteros autorreparables, cabe recalcar que se usó un mortero y no un hormigón ya que el proyecto se encuentra en una etapa preliminar, donde el objetivo principal fue seleccionar las especies fúngicas, caracterizarlas, e identificar la forma para ser incorporada en el mortero, además se buscó una dosificación experimental, cabe recalcar que el mortero al estar compuesto únicamente por cemento, arena y agua, permite un mayor control para hacer muestras pequeñas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Estudiar especies fúngicas para su incorporación en morteros autorreparables.

1.4.2. Objetivo específico

- Caracterizar las especies fúngicas.
- Determinar la forma de incorporación en la mezcla de mortero autorreparables.
- Dosificar el mortero autorrecuperable utilizando las especies fúngicas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1.Marco teórico

2.1.1. Autorreparación del mortero

La autorreparación de un mortero se da cuando el material es capaz de sellar por sí mismo fisuras de manera parcial o total, esto sin intervenir cuando estas ya han aparecido, es decir se puede colocar alguna variante a la mezcla inicial que haga que un mortero se vuelva autorreparable, para que un mortero se pueda autorreparar es necesaria la precipitación de carbonato de calcio (CaCo3) dentro de las fisuras, con los hongos la precipitación se da cuando el hongo se metaboliza ante la presencia de humedad y oxígeno, y las especies fúngicas capaces de pudrición blanca, disponibles en el ámbito local (Van Wylick et al. 2021).

2.1.2. Biomineralización fúngica

La biomineralización es un proceso mediante el cual organismos vivos pueden producir minerales, y esto como parte de su estructura (biomineralización biológica) o como producto de su metabolismo. En el caso de los hongos es más común como producto de su metabolismo, esto manifiesta principalmente en la formación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) y es propicio en este caso ya que el mortero es un ambiente rico en calcio. De acuerdo con Gadd (2007), manifiesta que los hongos pueden modificar su entorno mediante la liberación de metabolitos ácidos, amonio, y CO_2, lo que altera el pH local y facilita la precipitación de minerales. En medios alcalinos como el mortero, esta capacidad les puede permite sobrevivir y promover la formación de cristales minerales que pueden rellenar fisuras estructurales.

Las esporas de hongos como Pleurotus ostreatus o Trichoderma reesei activan su metabolismo es decir que las esporas que estaban inactivas comienzan a crecer y desencadenan procesos de biomineralización, mediante los cuales se forma carbonato de calcio ($CaCO_3$). Este compuesto se precipita en las fisuras del mortero, actuando como un agente de reparación natural (Jiang et al. 2021).

2.1.3. Propiedades del micelio

El micelio es la estructura vegetativa del hongo, está compuesta por una red de filamentos ramificados llamados hifas, son filamentos muy finos. Esta red puede crecer de forma expansiva en medios porosos como la del mortero y hormigón, lo que le podría permitir penetrar microfisuras y adherirse a superficies internas. El micelio está compuesto principalmente por quitina, este es un polisacárido resistente. Esta composición le otorga al micelio una resistencia mecánica, flexibilidad y cierta capacidad de absorción de humedad. Estas propiedades pueden resultar muy importantes para su uso en materiales de construcción, ya que podría actuar como una barrera física que impida el paso de agentes nocivos para el mortero (Jones et al. 2020).

En caso de que la precipitación de carbonato de calcio de no sea posible, las hifas (filamentos muy pequeños) al estar dentro de las fisuras empiezan a crecer y pueden impedir el paso de oxígeno ocupando el espacio disponible y rellenar parcialmente micro fisuras (Rakenth et al. 2018)

2.1.4. Requisitos ambientales para el crecimiento del hongo ostra blanco

El crecimiento de hongos depende de varios factores ambientales, tales como la temperatura, la humedad, la disponibilidad de nutrientes que contenga el sustrato y el pH del medio. el hongo ostra por ejemplo, tiene un rango de temperatura de crecimiento entre 15 y 25 °C y requiere ambientes húmedos como los que se encuentran en la amazonia ecuatoriana con buena ventilación y sin demasiado luz solar (Harvey, 2021).

Aunque varios tipos de hongos suelen preferir medios con Ph neutro o ligeramente ácido, algunas especies como las de pudrición blanca como el hongo ostra blnaco han demostrado tolerancia a medios alcalinos con Ph superior a 12, como los del mortero fresco.

2.2. Estado Del Arte

Se revisaron varias investigaciones que han estudiado el uso de especies biológicas para crear morteros autorreparables, por ejemplo según Villareal et al. (2024), en su revisión bibliográfica señala que los compuestos a base de micelio tienen propiedades prometedoras para una amplia gama de aplicaciones en el sector de la construcción, sin embargo, señala que son pocos los autores que han mostrado interés en probar este material debido a la falta de información y de diseños experimentales realizados, las especies de micelio más empleadas en las investigaciones son las correspondientes al Pleurotus Ostreatus, que son cepas de hongos muy comunes alrededor del mundo, debido a sus características de adaptación al medio ambiente y fácil reproducción, motivo por el cual Ecuador posee gran disponibilidad de dichas especies con nombres comerciales hongo ostra blanco, rosa entre otros. Tras realizar consultas a negocios especializados en el cultivo y comercialización de hongos comestibles, se identificó que la variedad Pleurotus ostreatus (hongo ostra blanco) es considerada por los productores como la más adecuada para las condiciones climáticas de la región andina del Ecuador, debido a su alta adaptabilidad y estabilidad en ambientes de altitud y clima más fríos.

Según Garzon et al. (2024), especies de hongos como el Pleurotus Ostreatus, han demostrado ser efectivos en la precipitación de carbonato de calcio para la autocuración natural del mortero sin embargo en dicha investigación también se señala también que no existe un procedimiento estándar a seguir para que estos hongos sean añadidos en morteros, por ello, en el presente trabajo se intentó replicar algunos de estos métodos de incorporación, con el objetivo de observar empíricamente con cuál de estos métodos se evidencian signos de crecimiento micelial ya sea de forma visible a simple vista o mediante signos de crecimiento del hongo como tal dentro del mortero, es muy importante señalar que también en esta investigación se habla del hongo en el medio de crecimiento PDA, donde señala que

el crecimiento del micelio es muy bueno en este medio, además detalla que se forman cepas en las cajas Petri de una forma de algodón típico de las especies de pudrición blanca.

En la investigación de Illana (2011) se señala que los hongos al igual que las bacterias, son capaces de precipitar CaCO3, por lo que podrían ser una alternativa como agentes biológicos para autorreparar las grietas que se producen en las estructuras de hormigón, las especies de hongos a considerar como agentes autorreparantes del hormigón deben cumplir los siguientes criterios

- No pueden ser especies patógenas para los humanos, animales o plantas.
- Se deben emplear hongos productores de esporas que sean resistentes al medio.
- Deben ser capaces de precipitar CaCO3.

En la investigación también se señala que el hormigón es un entorno rico en calcio, lo que representa un ambiente estresante para las células fúngicas por su alto pH, además se realizaron pruebas donde se mezclaron esporas de diferentes especies de hongos para comprobar cuáles son las más adecuadas para tapar grietas en el hormigón. El objetivo fue que cuando aparecieran grietas y el agua se filtre, las esporas de los hongos germinen y forman un micelio que promoviera los precipitados de CaCO3. Una vez que la grieta se cierra, los hongos al haber producido esporas estarían listos para comenzar nuevas autorreparaciones. Igualmente, para estructuras ya agrietadas se pueden inyectar esporas de hongos, esta investigación confirma que además esta investigación destaca un aspecto fundamental que es que el hormigón representa un entorno hostil por su alto pH superior a 12, su contenido de calcio lo convierte en un medio favorable para la biomineralización, siempre que las esporas sobrevivan y germinen en presencia de humedad.

Gregori et al. (2019) llevaron a cabo un estudio utilizando Trichoderma reesei en morteros con adiciones puzolánicas. Su investigación demostró que el micelio seco del hongo en cuestión puede sobrevivir en el entorno alaclino del mortero, estos principios facilitan la aparición de precipitados como carbonato de calcio en las fisuras. Sin embargo, también se identificó una reducción en la resistencia mecánica debido al aumento de la porosidad generada por el crecimiento micelial del hongo dentro de las probetas, sin embargo, para la presente investigación no se podrá usar el hongo Trichoderma reesei debido a las limitaciones locales.

En el estudio de Jurado et al. (2019) los autores exploraron el uso de Ganoderma lucidum en forma de micelio encapsulado, introduciendolo en morteros reforzados con fibras. Los resultados de este estudio presentaron un sellado parcial de las grietas y la viabilidad del crecimiento del hongo bajo las condiciones alcalinas que este presenta, sin embargo, este proceso de encapsulado requiere equipo especializado y conocimientos más avanzados en biología y química lo que limita su aplicabilidad en contextos de baja tecnología.

En la investigación de Zhang et al. (2019) trabajaron con Aspergillus niger en morteros autocompactantes, donde se incorporaron esporas en suspensión. Sin embargo, despues de pruebas de laboratorio se observó una reducción significativa en la resistencia a la compresión, esto podría estar atribuido a la reacción resultante del metabolismo del hongo. A pesar de ello, se identificaron formaciones de carbonato de calcio en las fisuras, lo que confirma su potencial como agente autorreparador, aunque requiere un mayor control de dosificación, de esta investigación podria resultar interesante la forma de incorporación del hongo ya que detalla una suspensión de esporas.

2.3.Marco conceptual

2.3.1. Mortero

El mortero es una mezcla de cemento arena (agregados finos) y agua, el mismo puede tener una función estructural o no, se usa para unir elementos para recubrir superficies y demás, el mortero es la base donde se evaluó si es viable la incorporación de los agentes biológicos en este caso hongos, el mortero presenta una alta alcalinidad con un Ph superior a 12 (Salamaca, 2020).

2.3.2. Fisuras del mortero

Las fisuras en el mortero son discontinuidades que aparecen en la superficie o en el interior del mortero, se crean debido a diversos factores tales como cambios de temperatura, malos curados o dosificaciones, una fisura no debe superar los 0.3 mm y su profundidad puede variar desde superficiales, profundas, hasta estructurales esto según la norma ACI 224 (2015), estas aberturas causan el deterioro del material debido a que permite el paso de gases, agua y otros agentes agresivos.

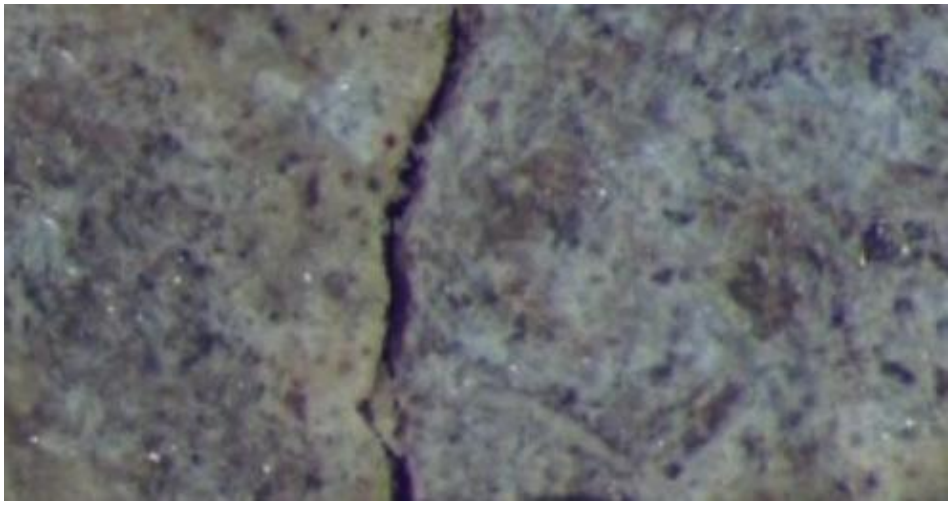


Figura 1. Fisura en un mortero.

Nota: Recuperado de: Imartin. (2024).

2.3.3. Material cementante

El cemento es el principal componente que aglomera los materiales utilizados para la fabricación de morteros y concretos, funciona de tal manera que al hidratarse forma una mezcla rígida la cual proporciona la resistencia que necesitan las estructuras, la rapidez por la cual el material se vuelve rígido hacen que el mismo sea muy propenso a desarrollar fisuras debido a la contracción por secado (ACA, 2017).

2.3.4. Mortero autorreparable

Un mortero autorreparable es un material capaz de repararse por sí mismo tras la aparición de fisuras, esto sin intervención directa, pero si se puede alterar la mezcla inicial para incorporar otros materiales que puedan cumplir con este hecho, en este caso al incorporar hongos (Luo et al. 2018).

2.3.5. Carbonato de calcio

El carbonato de calcio (CaCo3), es un tipo de sal inorgánica que se forman naturalmente a partir de procesos químicos o biológicos, el carbonato de calcio es el principal agente que debe actuar ya que actúa como agente de sellado, el carbonato de calcio tiene la capacidad de precipitarse dentro de las fisuras , en sistemas formados por agentes biológicos en este caso hongos, el carbonato de calcio se da como un resultado del metabolismo de los hongos y el cual se activa ante la presencia de agua y oxígeno (Van Wylick et al. 2021).

2.3.6. Tipos de agregados

Los morteros se elaboran únicamente con agregados finos, en este contexto estos juegan un papel muy importante para determinar la resistencia, la porosidad y permeabilidad del mismo, en esta investigación se usó arena de río y arena de mina esto ya que la arena de río es origen natural por lo que mejora la trabajabilidad de la mezcla sin embargo reduce la adherencia del mismo, la baja angularidad de los granos favorece que por los espacios vacíos circule mejor el agua y el oxígeno lo cual facilita el metabolismo del hongo.

Por otro lado, los agregados de mina tienen granos con más angulación y rugosos esto mejora la adherencia del mortero lo cual podría hacer que éste retenga más humedad lo cual es beneficioso para el metabolismo del hongo (Lentzkow. 2018).

2.3.7. Hongo de pudrición blanca

Las especies de pudrición blanca son hongos ligninolíticos, principalmente hemicelulosa en materiales lignocelulósicos como la madera, estos hongos son especialmente seleccionados en este contexto ya que tienen la capacidad de formar redes densas de micelio llamadas hifas los cuales pueden colonizar ambientes alcalinos como los del mortero, algunas de las especies que forman parte de esta familia son capaces de precipitar carbonato de calcio dentro de las fisuras y en el caso de que no se pueda, estos pueden llenar las fisuras al crecer el micelio (Garzón et al. 2024).

2.3.8. Hongo ostra

El hongo ostra es una especie de hongo de pudrición blanca, esta familia de hongos tiene una capacidad adaptativa para crecer en diversos lugares como en morteros y precipitar carbonato de calcio sin embargo la elección del mejor se basa en diversos factores como la adaptabilidad al clima, y demás factores que se pueden evidenciar a continuación.

2.3.9. Tipos de hongos ostra

- Blanco
- Rosado
- Gris
- Rey
- Dorado

A continuación, se detalla un resumen con las características de los tipos de hongos ostra disponibles en el mercado.

Tabla 1. Comparativa de hongos ostra.

Nombre	**Crecimiento micelial**	**Tolerancia a pH alcalino**	**Velocidad de colonización**	**Precipita carbonato de calcio ($CaCO_3$)**	**Temperatura de crecimiento(°C)**	**Compatibilidad climática**
Hongo ostra blanco	Muy bueno	Alta	Rápida	Demostrada	12–24	Alta
Hongo ostra rosado	Bueno	Moderada	Muy rápida	No suficientemente estudiada	20–30	Baja
Hongo ostra gris	Bueno	Buena	Media	Poca evidencia	18–26	Media
Hongo ostra rey	Lento	Baja	Lenta	No estudiado	18–24	Media
Hongo ostra dorado	Medio	Desconocida	Rápida	No respaldada	24–30	Muy baja

Se muestra una comparativa de los distintos tipos de hongos ostras disponibles en el país donde se evidencia que el más apto es el tipo blanco, ya que el que más se adapta al tipo de temperatura de la ciudad de Riobamba, además es el que ha demostrado ser el más estudiado y comprobado que puede precipitar carbonato de calcio (Fungiturism, 2019).

2.3.10. Hongo ostra blanco

- El hongo conocido como Pleurotus ostreatus, comúnmente llamado hongo ostra, presenta un sombrero cuya forma se asemeja a una concha y cuyo tamaño puede variar entre 5 y 15 cm de diámetro, es un hongo de muy rápido crecimiento. A medida que se desarrolla, su morfología pasa de ser lisa a convexa, e incluso puede adquirir una forma aplanada en su madurez con forma de algodón en su cabeza. Su coloración es distinta dependiendo de la zona y de factores como el sol, abarca tonalidades que van desde el gris claro hasta el gris plateado, pasando por colores azulados, e incluso anaranjados o cafés. Las láminas ubicadas bajo el sombrero llamado típicamente libro del hongo son densas, desiguales y finas, estas tienen tonos blancos a crema con el paso del tiempo. El pie de este hongo suele ser corto o incluso ausente, emergiendo directamente del sustrato sobre el que crece. Este tipo de hongo se desarrolla principalmente sobre madera en descomposición, donde genera un tipo de descomposición conocida como pudrición blanca. Habitualmente, aparece en agrupaciones densas y unidas en la base, este hongo es capaz de colonizar materiales cementantes, el micelio de este puede crecer dentro de las fisuras del mortero y en condiciones favorables puede precipitar carbonato de calcio (Zervakis et al. 2002).

En la siguiente imagen (figura 2) se muestra una fotografía del hongo ostra blanco en crecimiento natural, en el cual se destaca sus partes constitutivas.

Figura 2. Hongo ostra blanco.
Nota: Adaptado de: (SIB, 2019).

2.3.11. Morfología del hongo ostra blanco

- **Sombrero**
  Parte superior y carnosa de la seta, contiene y resguarda al himenio para facilitar el adecuado desarrollo de las esporas. Su superficie está cubierta por la cutícula, fina capa protectora que puede presentar múltiples formas, colores y texturas en los diversos tipos de hongos, debajo de esta se encuentra el libro parte primordial ya que almacena las esporas del hongo que son necesarias para este estudio.
- **Pie**
  Punto de sujeción y soporte físico del himenio y el sombrero. Eleva la zona fértil de la seta sobre la maleza y favorece la dispersión de las esporas.
- **Libro**
  Se encuentra en la parte inferior de la cabeza del hongo su nombre hace referencia al parecido con hojas de un libro y se encuentran muy juntas, estas membranas son delgadas pero fuertes y son las encargadas de contener y liberar las esporas del hongo.

- **Micelio**
  Tejido orgánico de aspecto lanoso compuesto de delgados filamentos tubulares llamados hifas. Es el hongo propiamente dicho, el ser vivo que crece bajo la superficie de la tierra y que, en momentos puntuales, genera setas para reproducirse sexualmente (Fungiturism, 2019).

2.3.12. PDA

El medio PDA (Papa Dextrosa Agar) es uno de los medios de cultivo más utilizados para el crecimiento de hongos como el hongo ostra, como sus iniciales lo indica está compuesto de una emulsión de papa, con dextrosa que es el nutriente y agar el cual actúa como agente solidificante, la composición nutricional y su facilidad de preparación hacen que este sea el más adecuado para mantener y multiplicar las esporas antes de que estas sean incorporadas en la mezcla de mortero (Sagar, 2022).

2.3.13. Solución de esporas

Una solución de esporas es una suspensión acuosa que contiene esporas viables del hongo seleccionado previamente en este caso el hongo ostra y está preparada con agua destilada estéril con esporas previamente recolectadas y utilizada como aditivo biológico en la mezcla del mortero. Su incorporación permite que las esporas se mantengan latentes dentro del material y, al presentarse fisuras y condiciones favorables como humedad y oxígeno, se activan, desarrollan micelio y contribuyan a la autorreparación del mortero ya sea mediante la precipitación de carbonato de calcio o el relleno físico de las fisuras existentes (Sagar, 2022).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1. Tipo de Investigación

Esta investigación tiene un alcance explicativo, ya que se centra en observar y documentar el comportamiento de la especie de hongo seleccionada al ser mezclada con el mortero, a través de un experimento se analizaron diferentes formas de incorporación de esporas previamente cultivadas en medio PDA o en solución acuosa y se varió el efecto de distintas dosificaciones y tipos de agregados (arena de río y arena de mina) sobre la capacidad del hongo para crecer dentro de las probetas de mortero.

Tiene un enfoque cuantitativo, ya que los resultados se basan principalmente en la observación visual documentada a través de fotografías del crecimiento del hongo ostra blanco en las probetas de mortero. Se analizaron las características morfológicas del hongo y la capacidad del hongo para colonizar el mortero sin cuantificar numéricamente el grado de crecimiento o precipitación mineral.

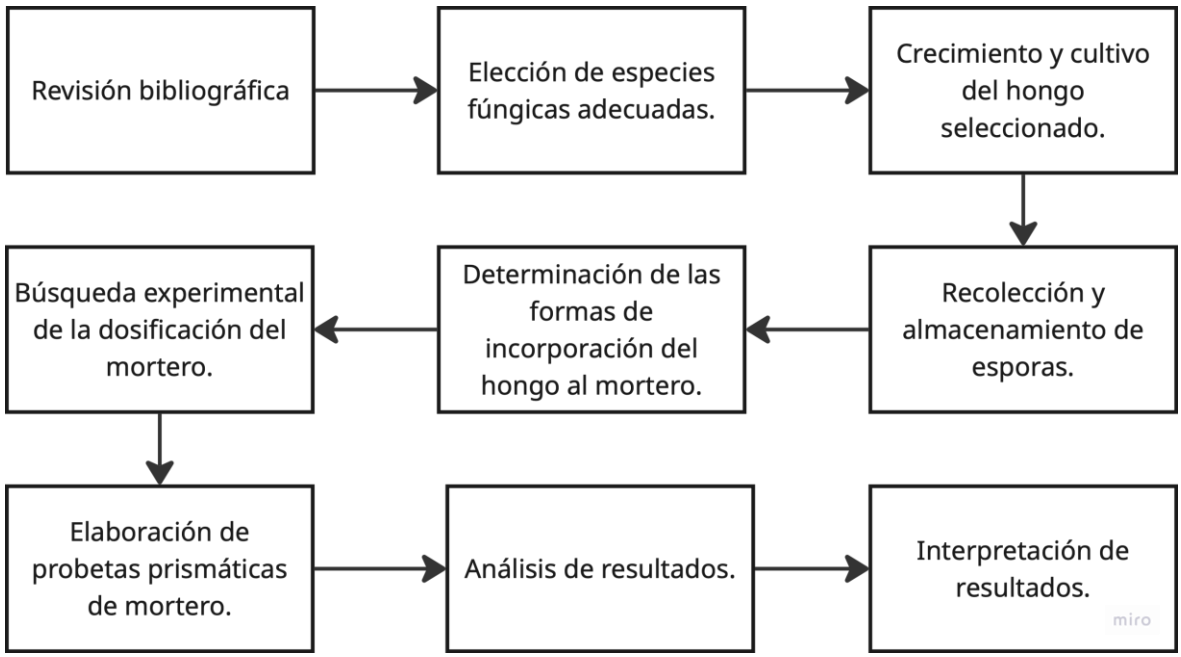


Figura 3. Metodología del proyecto de investigación.

3.2. Diseño de Investigación

3.2.1. Metodología de Revisión Bibliográfica – Método SALSA

Para la revisión bibliográfica de esta investigación se utilizó el método SALSA (Search, Appraisal, Synthesis, and Analysis), un método que permite sintetizar de forma ordenada y crítica la información científica existente. Este método resultó muy útil para revisar literatura académica sobre temas poco estudiados con el uso de hongos en morteros autorreparables.

La elección del método SALSA se basó en identificar su carácter sistemático, que al mismo tiempo resulta flexible, lo cual lo hace el más adecuado para investigaciones exploratorias.

3.2.2. Etapas del método SALSA

- **Búsqueda (Search)**

En esta etapa se definieró las palabras clave a utilizarse para la busqueda, las mismas deben estar relacionadas con el tema propuesto se usaron palabras como "hongos en mortero", "fisuras", "mortero autorreparable", entre otros. Se consultó en las bases datos científicas disponibles tales como Scopus, Google Scholar y ScienceDirect. La búsqueda tambien incluyó artículos en español e inglés y se tuvo una preferencia en árticulos con maximo 10 años de antigüedad.

- **Evaluación (Appraisal)**

Después de la búsqueda inicial, se aplicaron criterios de selección para filtrar los artículos más relevantes tales como qué tipo de especié se usó, la forma de incorporación. Se descartaron tambien los estudios duplicados y las investigaciones que hayan usado otros agentes biológicos diferentes a los hongos.

- **Síntesis (Synthesis)**

Los artículos seleccionados se analizaron con los criterios de selección antes encionados y se organizaron en una mátriz para su facil entendimiento, la matriz permitió comparar aspectos como la especie de hongo utilizada, la forma de incorporación, el tipo de mortero, los resultados observados y las limitaciones reportadas.

- **Análisis (Analysis)**

Finalmente, analizaron hallazgos que se obtuvieron después de la búsqueda bibliográfica en donde se evidenció la especie que puede ser utilizada, esta información se contrasta con un análisis local para determinar la viabilidad de la especie, además de la especie se pudo descartar formas de incorporación que de igual manera resultan imposibles de realizar debido a las limitaciones tecnológicas.

- **Criterios de inclusión y exclusión**

3.2.3. Elección de especies fúngicas adecuadas

La elección de la especie más adecuada para la investigación se realizó después de un proceso de selección de especies capaces de precipitar carbonato cálcico, destacando especialmente los pertenecientes al género Trichoderma Resii y Ostra (Pleurotus spp.). Sin embargo, la investigación se centró exclusivamente en la evaluación del hongo ostra ya que no fue posible adquirir la clase Trichoderma Reesie, su disponibilidad en el contexto local presenta limitaciones importantes. Durante el desarrollo de esta investigación, se realizó un sondeo a través de múltiples canales con productores nacionales de hongos, y centros de cultivo, sin lograr obtener cultivos ni cepas viables de esta especie. Esta ausencia puede atribuirse a varios factores, entre ellos, la baja demanda comercial del hongo en el país debido a que sus principales aplicaciones están orientadas a la producción industrial de enzimas, un sector aún desconocido a nivel local, la dificultad para importar cepas controladas que requieren condiciones de bioseguridad o permisos específicos, además indicaron productores de hongos que esta especie es perjudicial para los demás hongos.

Dado que no fue posible conseguir cepas de Trichoderma reesei en el país, se consideró oportuno explorar especies disponibles localmente que pudieran cumplir una función similar. En este contexto, se eligió el hongo ostra blanco (Pleurotus ostreatus), especie mencionada en la investigación de Garzón et al. (2024), este hongo es ampliamente cultivado en Ecuador y de fácil acceso. Así, la elección de este hongo corresponde tanto a su accesibilidad local como a la evidencia científica que avala su viabilidad para ser incorporado en morteros autorreparables.

3.2.4. Crecimiento y cultivo del hongo seleccionado

Para poder obtener el fruto del hongo ostra necesario para recolectar esporas, se optó en primera instancia por adquirir el hongo ya cultivado y germinado, disponible en la ciudad del Puyo sin embargo al estar manipulado, el transporte, el tiempo que pasa entre ser recolectado el hongo hacen que la recolección con un fruto ya cultivado previamente sea imposible de realizar.

Se optó por adquirir un kit de cultivo, que es un sistema previamente preparado es decir inoculado por el hongo ostra en un sustrato orgánico rico para el hongo en este caso aserrín listo para que después de unos días de riego el hongo pueda fructificar, el mismo se pudo adquirir en la misma empresa que comercializa el hongo en forma de fruto.

3.2.5. Recolección y almacenamiento de esporas

Para la recolección y almacenamiento de las esporas se optó por usar tres métodos investigados, estos métodos se explican a detalle más adelante en la investigación.

3.2.6. Determinación de las formas de incorporación del hongo al mortero

Las formas de incorporación de las esporas al mortero fueron investigadas y se hicieron a través de medios de cultivo, en este caso se usaron dos medios con diferentes variables, esto para identificar cual de estos es el más rico en nutrientes y por consiguiente el mejor para las esporas.

3.2.7. Búsqueda experimental de la dosificación del mortero

Se realizaron dosificaciones experimentales variando el contenido de solución con respecto al agua y se escogieron 2 tipos de agregados para la realización de las probetas.

- Arena de río
- Arena de mina

Para este estudio se decidió trabajar con estos dos tipos distintos de arena: arena de río y arena de mina. La intención fue observar si el tipo de agregado fino podía influir en el comportamiento del mortero y en la interacción del hongo ostra blanco dentro de la mezcla. La arena de río, que suele tener una textura más suave y partículas redondeadas, facilita una mejor trabajabilidad del mortero y podría generar una estructura más porosa, lo cual beneficiaría el crecimiento del micelio. En cambio, la arena de mina, de origen triturado, presenta una forma más angular y una mayor cantidad de partículas finas, lo que puede alterar la compactación y la distribución del agua dentro de la mezcla. Al usar ambas arenas, se buscó comparar cómo estas diferencias afectan el entorno físico del mortero y si alguna de ellas resulta más adecuada para favorecer el desarrollo del hongo y su posible aporte a la autorreparación del material.

3.2.8. Elaboración de probetas prismáticas de mortero

Las probetas de mortero se realizaron en moldes de acero elaborados especialmente para esta investigación.

3.2.9. Análisis de resultados

Se realizó un examen visual detallado de los datos obtenidos durante la experimentación, enfocándose en identificar patrones, tendencias y comportamientos de las probetas. Se evaluó el crecimiento del hongo ostra con todas las variables que se impusieron.

3.2.10. Interpretación de resultados

Se interpretó el significado de los resultados analizados, relacionándolos con los fundamentos teóricos y con investigaciones previas. Se discutió si los resultados son favorables es decir si se evidenció crecimiento y con qué tipo de variables fue posible el mismo.

3.3. Población de estudio

La población de estudio está determinada por conveniencia debido a que se desea obtener información preliminar y exploratoria, es así como se optó por realizar 3 muestras por cada variación de elemento, además por falta de recursos y de tiempo no existe una muestra y se analizó toda la población, que consta de 20 probetas prismáticas de mortero, se optó por la realización de este número de probetas ya que según Montgomery (2012) detalla que 3 muestras pueden ser suficientes para una estimación representativas cuando los recursos son limitados.

Tabla 2. Probetas de mortero a realizarse.

Probeta	CONTENIDO
1	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE RIO, 30% DE HONGO
2	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE RIO, 50% DE HONGO
3	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE RIO, 70% DE HONGO
4	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE MINA, 30% DE HONGO
5	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE MINA, 50% DE HONGO
6	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE MINA, 70% DE HONGO
7	PDA AZUCAR, AGREGADO ARENA DE RIO, 30% DE HONGO
8	PDA AZUCAR, AGREGADO ARENA DE RIO, 50% DE HONGO
9	PDA AZUCAR, AGREGADO ARENA DE RIO, 70% DE HONGO
10	PDA AZUCAR, AGREGADO ARENA DE MINA, 30% DE HONGO
11	PDA AZUCAR, AGREGADO ARENA DE MINA, 50% DE HONGO
12	PDA AZUCAR, AGREGADO ARENA DE MINA, 70% DE HONGO
13	AGUA ESTERIL, AGREGADO ARENA DE MINA, 30% DE HONGO
14	AGUA ESTERIL, AGREGADO ARENA DE MINA, 50% DE HONGO
15	AGUA ESTERIL, AGREGADO ARENA DE MINA, 70% DE HONGO
16	AGUA ESTERIL, AGREGADO ARENA DE RIO, 30% DE HONGO
17	AGUA ESTERIL, AGREGADO ARENA DE RIO, 50% DE HONGO
18	AGUA ESTERIL, AGREGADO ARENA DE RIO, 70% DE HONGO
19	MUESTRA TESTIGO CON ARENA DE MINA
20	MUESTRA TESTIGO CON ARENA DE RIO

Se determinaron diferentes tipos de probetas en total 18 con mezcla de hongos y diferentes tipos de agregados y 2 muestras testigos con 2 diferentes agregados, en total entonces se tiene 60 prismas de mortero realizados.

3.4. Métodos de análisis, y procesamiento de datos

3.4.1. Crecimiento del hongo ostra

Figura 4. Kit de cultivo inoculado.

Se puede observar el kit de cultivo con el sustrato colonizado, el sustrato está hecho a base de aserrín, se denota en blanco lo que es el micelio del hongo lo cual indica un buen crecimiento, además, se lo coloca sobre una bandeja de aluminio para poder regar el cultivo con un atomizador de agua, esto se lo realiza 2 o 3 veces al día. El hongo ostra crece típicamente en zonas húmedas como bosques, la temperatura óptima es de 15° a 25° C. La temperatura en Riobamba es similar, sin embargo, no se tiene humedad por lo cual es de suma importancia que el cultivo permanezca húmedo.

Figura 5. Crecimiento del hongo.

Después de 5 días aproximadamente se puede evidenciar pequeños signos de crecimiento del hongo, en los mismos se hace unos pequeños agujeros para que el mismo pueda salir y crecer correctamente.

Figura 6. Crecimiento del hongo día 7.

Se evidencia múltiples signos de crecimiento en el kit cabe recalcar que es muy rápido, aproximadamente a los 7 días el hongo está listo para recolectar las esporas.

Figura 7. Crecimiento del hongo día 10.

Aproximadamente al día 10 se evidencia que el hongo está creciendo de forma correcta y sana se debe seguir regando agua a través de un atomizador.

Figura 8. Crecimiento del hongo día 12.

Se puede observar al día 12 un crecimiento importante, el color del hongo denota buena salud de este ya que no se presenta colores oscuros que podrían sugerir un contaminante externo o quemaduras por sol.

Figura 9. Crecimiento del hongo día 15.

Al día 15 la mayoría de los hongos están listos para ser cosechados y poder obtener la impresión de esporas, esto porque el sombrero de estos empieza a curvarse hacia arriba.

3.4.2. Cosechas de hongos

Una vez que el hongo esté listo se cosecha, este proceso se lo debe hacer de forma delicada para evitar contaminar el hongo.

Figura 10. Cosecha de hongos.

El proceso de cosecha consiste en cortar el hongo por el pie de este evitando tocar el libro del hongo que es donde se encuentran alojadas las esporas del hongo.

3.4.3. Recolección de esporas

Para obtener esporas de hongos, se necesita un hongo maduro. Los hongos maduros son aquellos que han alcanzado su máximo desarrollo y están listos para liberar sus esporas, los hongos maduros tienen las siguientes características:

- Sombrero: El sombrero del hongo debe estar completamente abierto y tener una textura lisa.
- Laminillas: Las laminillas debajo del sombrero deben tener un color oscuro y estar bien desarrolladas.

3.4.4. Métodos de impresión de esporas

Método 1

Materiales:

1. Un hongo maduro
2. Un papel blanco o de color claro
3. Un recipiente pequeño

Pasos para la impresión

Tabla 3. Pasos para la impresión de esporas, método 1.

Paso	Descripción	Imagen

1	Cortar el sombrero del hongo con un cuchillo afilado.	
2	Colocar el sombrero del hongo hacia arriba, sobre un papel.	
3	Cubrir el hongo con el recipiente para protegerlo de la luz, dejando una abertura para ventilación.	

4	Dejar que el hongo permanezca en el papel durante 12 – 24 horas.	

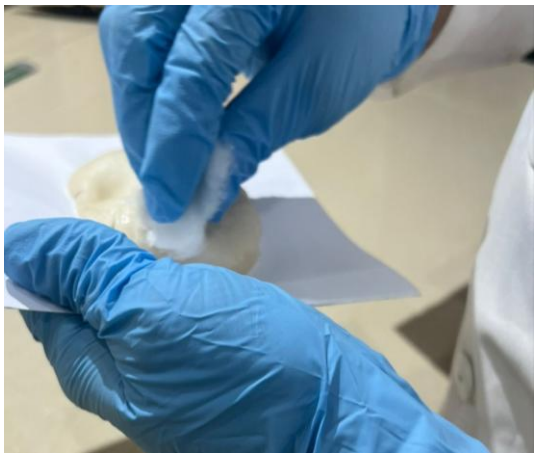
Las esporas de los hongos aparecen como un polvo fino de color oscuro, se deben guardar las impresiones en un lugar oscuro y fresco AgronoGuia. (2022).

Método 2

Materiales:

Pasos para la impresión

Tabla 4. Pasos para la impresión de esporas, método 2.

Paso	Descripción	Imagen
1	Desinfectar la zona de trabajo, los recipientes, instrumentos y el hongo con el alcohol.	

2	Colocar el papel aluminio dentro del recipiente dando la forma de este con el papel.	
3	Colocar el hongo con el sombrero hacia	
4	Cerrar el recipiente dejando una abertura para que se pueda ventilar la humedad y dejar reposar 24 horas.	

Método 3

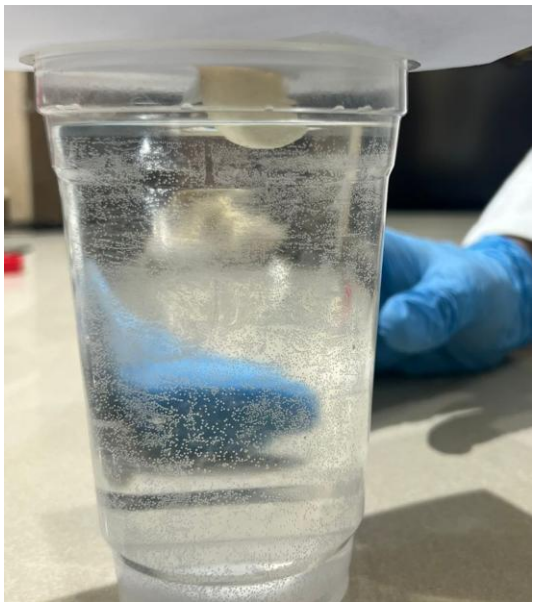
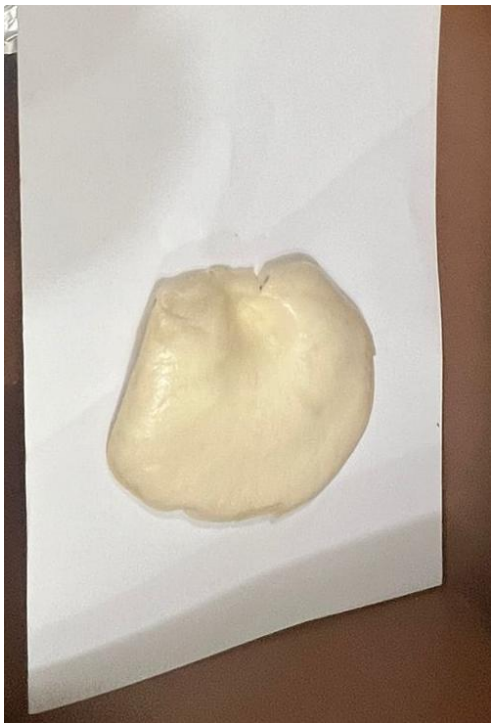
Materiales:

1. Un hongo maduro con pie
2. Un cuadrado de papel aluminio
3. Un recipiente con agua

Pasos para la impresión

Tabla 5. Pasos para la impresión de esporas, método 3.

Paso	Descripción	Imagen
1	Abrir una pequeña abertura en el centro del papel aluminio de tal manera que entre el pie del hongo pero que la cabeza no pase por el mismo	
2	Colocar el pie del hongo en la abertura del papel.	

3	Colocar el pie del hongo dentro del vaso con agua de tal manera que toque el agua.	
4	Esperar de 24 a 48 horas para poder ver la impresión de esporas en la hoja.	

Se puede utilizar cualquiera de estos tres métodos para preparar la suspensión de esporas (Mundo Esporas, 2019).

3.4.5. Preparación de la suspensión de esporas

Materiales:

1. Esporas previamente recolectadas
2. Agua destilada
3. Jeringa estéril
4. Bisturí estéril

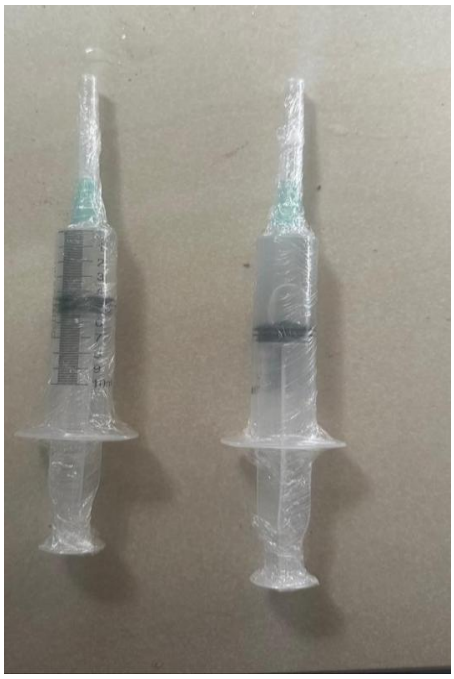
5. Recipiente de cristal
6. Alcohol para desinfectar

Tabla 6. Preparación de la suspensión de esporas.

Paso	Descripción	Imagen
1	Se coloca 10 ml de agua destilada en el recipiente con una pequeña cantidad de azúcar.	
2	Con el bisturí se rasca el papel aluminio hasta desprender las esporas del papel.	

3 Se introducen las esporas en el recipiente y se agita para mezclar

4 Se succiona con la jeringuilla la solución y se sella la jeringa

5	Almacenar de tal manera que se trate de que esté lo más hermético posible.	

Esta suspensión de esporas esta lista para ser incorporadas en el mortero se recomienda en proporciones de 10^6 a 10^8 esporas/ml, sin embargo, esto no puede ser cuantificado ya que no existen los materiales necesarios.

3.4.6. P**reparación de PDA (POTATO AGAR DEXTROSA)**

Materiales

1. Papas
2. Dextrosa
3. Agar - agar
4. Agua destilada
5. Olla de presión

Preparación de extracto de papa 500 ml:

Tabla 7. Preparación del extracto de papa.

Paso	Descripción	Imagen
1	Pelar y cortar papas de tamaños pequeño (100 g).	
2	Hervir los trozos de papas en agua destilada (250 ml) aproximadamente 18 minutos.	

3	Filtrar la emulsión con un colador de tal manera que se eliminen los sólidos.	

Fabricación del PDA:

Tabla 8. Fabricación del PDA.

Paso	Descripción	Imagen
1	Pesar 8 gr de agar agar.	

2	Pesar 10 gr de dextrosa (miel, azúcar o jarabe de maíz).	
3	Mezclar el extracto de papa filtrado con el agar y con la dextrosa.	

4 Verter el PDA en un frasco de vidrio resistente al calor.

5 Hacer un pequeño orificio en las tapas de los frascos y taparlos con una pequeña tira de cinta,

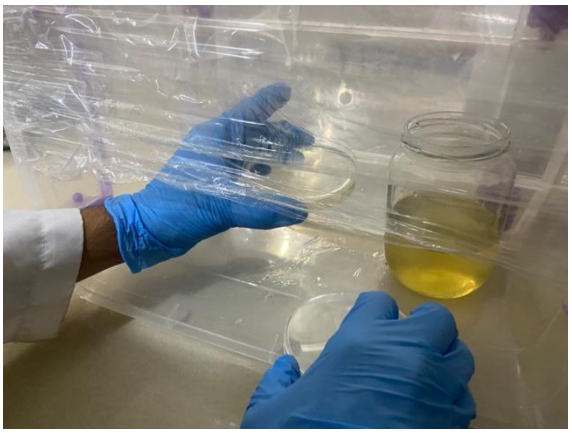
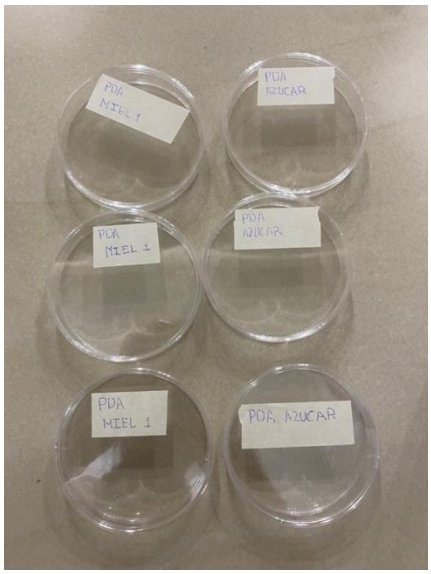
6 Colocar una base en el fondo de la olla a presión para evitar el contacto directo de los frascos con la base.

7	Añadir agua suficiente para cubrir unos 3-5 cm del fondo.	
8	Calentar hasta que la válvula comience a liberar vapor y mantener la presión durante 15 a 20 minutos.	

Preparación final

Tabla 9. Vertido de PDA en las cajas Petri.

Paso	Descripción	Imagen

1	Se debe verter el contenido en una zona en la que no exista flujo de aire, para ello se usó una caja cubierta.	
2	Verter la mezcla en placas Petri estériles cuando la mezcla haya alcanzado 45° C aproximadamente para evitar que se solidifique.	
3	Etiquetar las placas Petri con el nombre de la dextrosa seleccionada en este caso azúcar y miel y sellarlas con papel para evitar contaminantes.	

4	Colocar las placas base una encima de otra para evitar la condensación rápida y que se empañen y esperar 48 horas a que solidifiquen.	

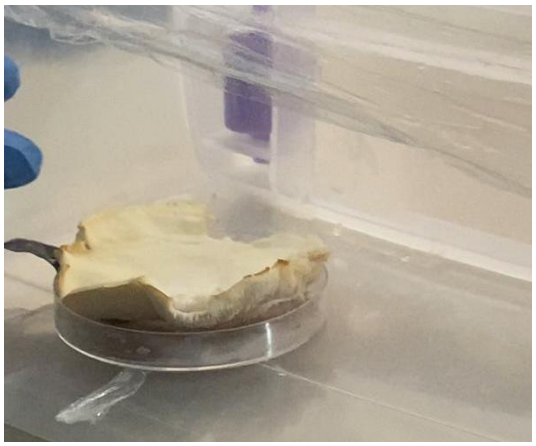
3.4.7. Impresión de esporas en PDA

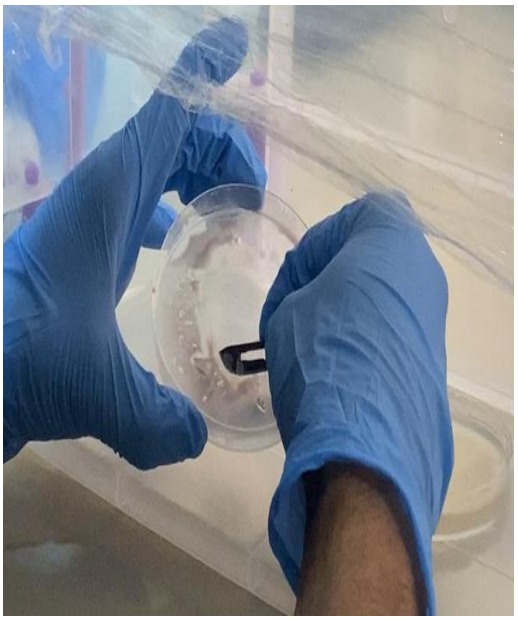
Materiales

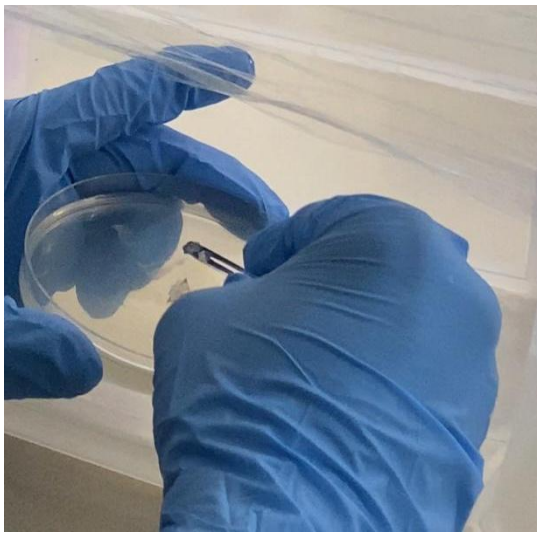
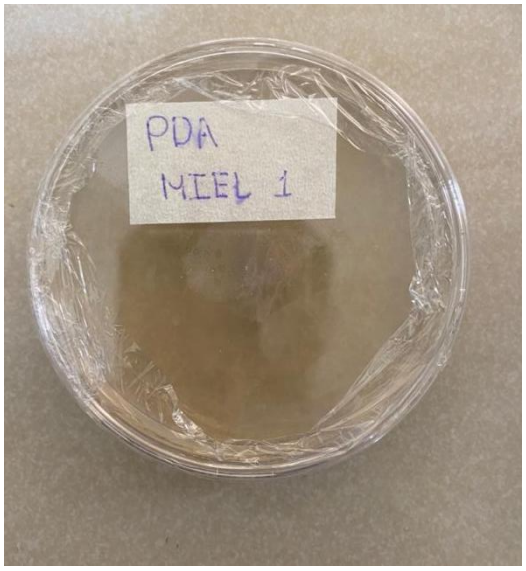
1. Placas Petri con PDA
2. Esporas recolectadas
3. Bisturí

Proceso:

Tabla 10. Impresión de esporas en el PDA.

Paso	Descripción	Imagen
1	Seleccionar una muestra de las impresiones de esporas.	

2	Cortar un pequeño pedazo del PDA con el bisturí estéril.	
3	Frotar este pedazo de PDA en la muestra de esporas de hongos, de tal manera que se impregnen en la misma.	

4	Volver a colocar la parte desprendida de PDA en la caja Petri.	
5	Cerrar la caja Petri y volverla a sellar para evitar contaminantes.	

3.4.8. Recolección de esporas en el PDA inoculado

1. Cuando el hongo haya crecido en el PDA se debe raspar la superficie del agar con una espátula estéril para recolectar las esporas.
2. Estas esporas se deben suspender en agua destilada estéril para su conservación, aproximadamente 10 A 20 ml por cada placa de PDA, sin embargo, se puede ajustar para tener más o menos concentración (Aguilar-Ulloa et al. 2016)

3.4.9. Elaboración de moldes de acero

Para la elaboración de las probetas se construyó un molde especial con las medidas de 6x1x1cm de acuerdo con Marcillo (2021) y considerando las cantidades necesarias para las muestras. La elaboración del molde inició realizando los planos necesarios, además se eligió

material acero inoxidable debido a su alta resistencia ante la corrosión, además será más trabajable a la hora de ajustar dimensiones pequeñas como las que se necesitan en este caso.

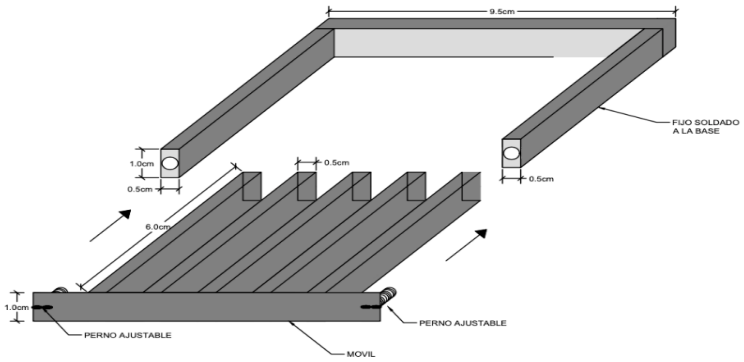


Figura 11. Plano de molde de acero, vista tridimesional.

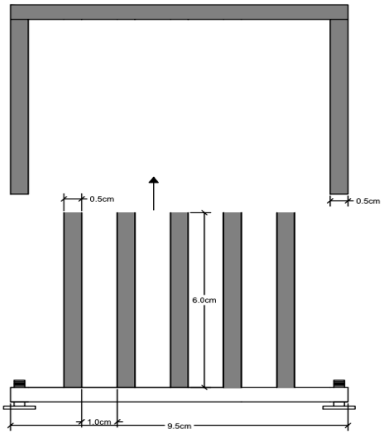


Figura 12. Plano del molde de acero vista superior.

Figura 13. Molde de acero fabricado.

Se observa el molde final, el cual se elaboró en acero inoxidable y con seis espacios para verter el mortero, se escogió un número este número ya que generalmente se elaboran las probetas en números pares para su evaluación**.**

3.4.10. Dosificación del mortero

Según la ACI 318, los morteros se pueden clasificar de la siguiente manera y relación de cemento – arena.

- Tipo M: 1:3. Alta resistencia (≥ 17.2 MPa).
- Tipo S: 1:2.25 a 1:3. Resistencia moderada (≥ 12.4 MPa).
- Tipo N: 1:4. Resistencia estándar (≥ 5 MPa).
- Tipo O: 1:5. Baja resistencia (≥ 2.5 MPa).

La relación de agua es generalmente el del 0.4 al 0.6 del peso del cemento y esto depende de la trabajabilidad que se desee llegar a tener en el mortero.

Medidas de la caja Petri que se usaron para las pruebas:

Diametro:8.8 cm

Altura: 1.8 cm

Volumen:

$$\text{vol} = \pi * r^2 * h$$
$$\text{vol} = \pi * (4.4\text{cm})^2 * 1.8\text{cm}$$
$$\text{vol} = 109.48\ \text{cm}^3$$

Proporciones de mortero tipo N (Resistencia estándar)

La relación es:

- Cemento: 1 parte
- Arena: 2.4 partes
- Agua: 0.55 partes

Volumen total del mortero

El volumen del recipiente es 109 cm^3 simplificado, lo que equivale al volumen total de la mezcla de cemento, arena y agua.

Relación volumétrica y pesos

Ya que se tiene el volumen de la caja Petri, se consideró las densidades de los materiales.

- Cemento: 1.4 g/cm^3

- Arena seca: 1.6 g/cm³
- Agua: 1 g/cm³

Relación de partes:

$$1 \text{ parte de cemento} + 4 \text{ de arena} + 0.5 \text{ de agua} = 5.5 \text{ partes}$$

Volumen por parte:

$$\frac{109}{5.5} = 19.82 \ \text{cm}^3/\text{parte}$$

Volúmenes individuales:

- **Cemento**

$$19.82 \frac{\text{cm}^3}{\text{parte}} * 1 \text{ partes} = 19.82 \text{ cm}^3$$

- **Arena**

$$19.82 \frac{\text{cm}^3}{\text{parte}} * 4 \text{ partes} = 79.27 \text{ cm}^3$$

- **Agua**

$$19.82 \frac{\text{cm}^3}{\text{parte}} * 0.5 \text{ partes} = 9.91 \text{ cm}^3$$

Pesos individuales:

- **Cemento**

$$19.82 \ \text{cm}^3 * 1.4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 27.75 \text{ g}$$

- **Arena**

$$79.27 \text{ cm}^3 * \ 1.6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 126.83 \text{ g}$$

- **Agua**

$$9.91 \text{ cm}^3 * 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 9.91 \text{ g}$$

Resultados finales:

Para un mortero tipo N con agua al 50% en un recipiente de 109 cm³:

- Cemento: 27.75 g
- Arena: 126.83 g

- Agua: 9.91 ml

3.4.11. **Elaboración de probetas de mortero**

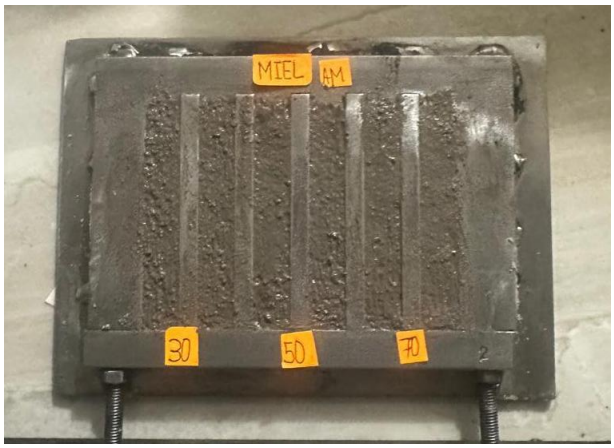
Tabla 11. Elaboración de probetas de mortero.

N° Paso	Descripción	Imagen
1	Se vierte todo el contenido de la caja Petri en una batidora de inmersión.	
2	Se vierte aproximadamente 20 ml de agua purificada para que se pueda mezclar correctamente.	
3	Se bate para que la mezcla quede sedosa y sin grumos para su correcta incorporación con el mortero.	

	4	Pasados aproximadamente 1 minuto la mezcla esta lista para ser incorporada al mortero.	
	5	Se pesan 7 gr de cemento.	
	6	A continuación, se pesan 16.8 gr de arena.	

7	Se miden la cantidad de agua correcta para la mezcla, 3.85 ml que se reparten en dos jeringas dependiendo de la concentración de esporas que se requiera.	
7	Se agregan las jeringas con agua a la mezcla.	
8	Se revuelve la mezcla hasta que quede homogénea y pareja.	

9	Se engrasa el molde con un isopo de algodón y se usa vaselina en lugar de aceite para proteger al molde además facilita que los prismas de hormigón se desprendan fácilmente.	
10	Se vierte la mezcla de mortero en el molde y se introduce una pequeña varilla de madera para evitar vacíos.	
11	Se utiliza un enrazador para que la mezcla quede liza.	

12	Se repite el proceso para cada una de las concentraciones y se etiquetan.	
13	Pasadas 48 horas se desmoldan los prismas.	
14	Finalmente se etiquetan las muestras y se almacenan.	

3.4.12. Preparación de probetas

Después de 15 días como paso final se procedió a fragmentar las probetas de mortero por la mitad, cabe recalcar que únicamente se fragmentó la probeta de manera manual sin usar cuchillos u otros tipos de artefactos esto con el fin de no dañar el posible crecimiento interno del hongo, una vez fragmentadas las probetas se realizó la inspección visual para poder evidenciar si estas contenían signos de crecimiento micelar, para ello se optó por usar fotografías para documentar ya que no fue posible el análisis con microscopio debido a que el mortero no deja pasar la luz para su análisis.

Figura 14. Probeta de mortero fragmentada.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Matriz método de revisión bibliográfica SALSA

Se muestra la matriz resultante de la aplicación del método SALSA para la revisión bibliográfica.

Tabla 12. Matriz método SALSA.

Autor(es)	Especie de hongo	Formas de icorporación	Tipo de mortero	Resultados clave	Limitaciones
Garzon et al. (2019)	Pleurotus ostreatus	Esporas en solución	Mortero Portland tradicional	Crecimiento micelial superficial en fisuras	Bajo crecimiento en zonas internas
Gregori et al. (2013)	Trichoderma reesei	Micelio seco incorporado	Mortero con adiciones puzolánicas	Producción de celulasa incrementó porosidad	Especie no disponible
Jurado et al. (2020)	Ganoderma lucidum	Micelio en cápsulas	Mortero reforzado con fibras	Sellado parcial de grietas con micelio	El método de encapsulado no se puede hacer sin equipo avanzado
Zhang et al. (2018)	Aspergillus niger	Esporas en suspensión	Mortero autocompactante	Reducción de resistencia a compresión	Reducción significativa de propiedades mecánicas, esoecie no disponible
Villareal et al. (2022)	Pleurotus ostreatus	PDA incorporado en mortero	Mortero artesanal sin aditivos	Presencia de micelio observado con SEM	Condiciones ambientales no controladas

Se presenta la matriz resultante en donde se destacan las investigaciones realizas con el método SALSA, aquí se detalla la forma de incorporación, el tipo de mortero y las limitaciones que tiene cada uno de los estudios.

4.2.Caracterización macroscópica del hongo ostra

La caracterización macroscópica del hongo Pleurotus ostreatus se realizó mediante observación directa tanto del crecimiento micelial en medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa

Agar) como del desarrollo de estructuras fructíferas a partir de un kit comercial de cultivo, este kit contiene un sustrato inoculado a base de residuos aserrín lo cual permitió obtener un micelio viable en estado activo y garantizar condiciones homogéneas de cultivo. La incubación se llevó a cabo en un ambiente con temperatura ambiente, y debido al frio de la zona se realizó baños de vapor para que pueda crecer correctamente simulando un poco su hábitat natural que es la zona oriental, el hongo presenta un crecimiento micelial rápido en medio PDA, con una textura algodonosa y color blanco a blanco grisáceo, características que fueron observadas también en este estudio. Del mismo modo, el patrón de crecimiento circular con márgenes definidos que evolucionan a bordes irregulares es típico de este género estos datos son proporcionales a la investigación de Zervakis et al. (2002), donde destaca que el hongo ostra tiene un rápido crecimiento, así mismo indica que crece en condiciones de humedad por lo cual fue necesario hacer baños de vapor para poder simular el ambiente cálido en el que crece.

Los cuerpos fructíferos se desarrollaron a partir del sustrato contenido en el kit entre los días 14 y 21, bajo condiciones de alta humedad y adecuada ventilación. El píleo presentó forma de abanico o concha, con tamaños que variaron entre 5 y 20 cm de diámetro. Su superficie fue lisa, seca y de color gris claro a gris oscuro, dependiendo de la edad del ejemplar. Los márgenes se observaron enrollados en estados juveniles, desplegándose conforme avanzaba la maduración. Las láminas fueron decurrentes, finas y de color blanco a crema, dispuestas densamente bajo el sombrero. El estipe, cuando estuvo presente, fue lateral o excéntrico, corto, blanco y fibroso, con longitudes promedio de 1 a 4 cm. Finalmente, se registró una espora blanca a lila pálido sobre superficies oscuras, lo cual confirmó la viabilidad reproductiva del hongo, finalmente los resultados obtenidos en la caracterización macroscópica del Pleurotus ostreatus son consistentes con lo descrito por Gregori et al. (2008) quienes observaron un desarrollo micelial rápido y la formación de cuerpos fructíferos funcionales bajo condiciones de cultivo en residuos agroindustriales. Aunque en el presente estudio se utilizó un kit comercial con sustrato a base de aserrín, la morfología de los hongos descritos coincide con lo reportado por estos autores.

En medio PDA, la colonia presentó una forma circular con márgenes definidos en las primeras etapas, que luego evolucionaron a contornos levemente irregulares. El micelio fue de color blanco a blanco-grisáceo, sin pigmentaciones exógenas ni exudados visibles. Su textura fue algodonosa, densa y compacta en la zona central, mientras que en los márgenes activos mostró una apariencia aérea y aterciopelada. El reverso de la colonia se mantuvo con tonalidades blanco-cremosas, sin signos de contaminación. El crecimiento micelial fue rápido, cubriendo placas de Petri de 90 mm en un período de 6 a 10 días. El olor detectado fue leve.

Figura 15. Esporas de hongo incubadas.

Se evidencia el crecimiento de las esporas del hongo en la caja Petri, se denota un color semejante al morado, así mismo crecimiento en tonos oscuros como negros y grises, lo cuál podría sugerir una contaminación.

Tabla 13. Caracterización morfológica del hongo.

Parámetro	Descripción técnica
Medio de cultivo	PDA (Papa Dextrosa Agar).
Forma de la colonia	Circular al inicio; puede tornarse irregular al madurar.
Tasa de crecimiento	Rápida: 5–8 cm de diámetro en 6–10 días a 16–22 °C.
Color del micelio	Blanco a blanco-grisáceo, sin pigmentación difusa.
Textura del micelio	Algodonosa y aterciopelada; densa en el centro, más aérea en los bordes activos.
Margen de la colonia	Liso en fase joven, ondulado al madurar.
Reverso de la colonia	Blanco cremoso a ligeramente amarillo, sin exudados.
Fructificación	Aparece en condiciones húmedas y aireadas, entre 14 y 21 días.
Sombrero	Forma de ostra o abanico, 5–20 cm de diámetro; color gris claro a gris oscuro, superficie seca y lisa.
Márgenes del sombrero	Enrollados en estado joven, extendidos o ligeramente ondulados al madurar
Láminas	Decurrentes, densas, delgadas, color blanco a crema.
Estipe (tallo)	Corto, lateral o excéntrico, blanco, fibroso, 1–4 cm de largo y 0.5–2 cm de diámetro.
Consistencia del cuerpo	Carnosa en estado joven, fibrosa en madurez.

Esporas (impresión visible)	Esporada blanca a lila pálida, observable sobre papel oscuro.

Se observan las principales características macroscópicas observadas en Pleurotus ostreatus, tanto en su fase micelial sobre medio PDA como en su etapa de fructificación. Se detallan aspectos como morfología, coloración, textura y tasa de crecimiento, los cuales fueron fundamentales para confirmar preliminarmente la identidad del hongo. Esta información complementa la observación directa y aporta criterios comparativos frente a lo reportado en la literatura.

La caracterización macroscópica del hongo ostra blanco que se obtuvo en este estudio coincide ampliamente con lo reportado en la literatura consultada, como en la de Garzón et al. (2024), donde se se detalla que se puede observar colonias de crecimiento rápido en medio PDA, con micelio blanco denso y textura algodonosa, estos resultados obtenidos confirman la capacidad de esta especie para formar colonias circulares inicialmente, tornándose irregulares al madurar, y con márgenes ondulados, lo que coincide con lo encontrado en la mayoría de trabajos dedicados a hongos comestibles de este tipo.

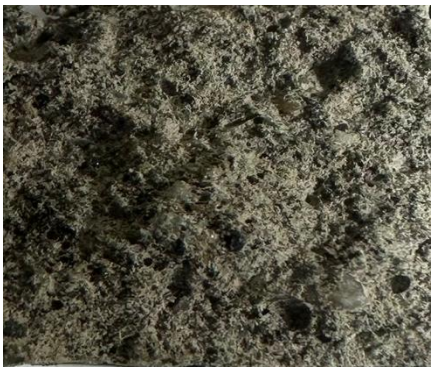
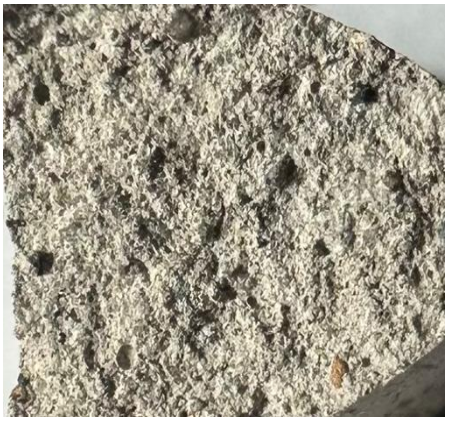
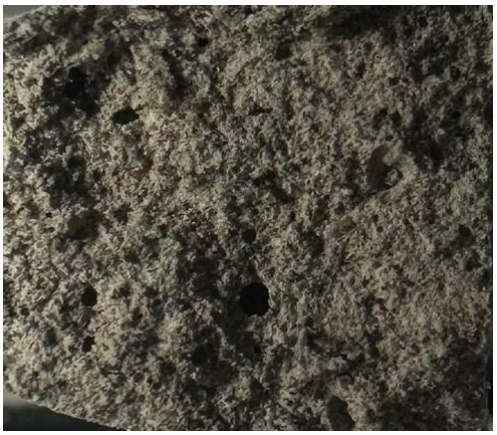
Por otro lado , la aparición de estructuras de frutos del hongo fue acorde a la morfología típica es decir con sombrero en forma de concha muy carnoso, el libro de igual manera se encontró con se esperaba con las laminillas juntas y resistentes, esta observación fue realizada entre los días 14 y 21 bajo condiciones de alta humedady similar a lo repprtado en Fungiturism (2019), donde se señala las partes del hongo y se describe su morfología, siendo coincidentes con lo explicado anteriormente denotanddo que el sombrero del hongo es carnoso, las laminillas se presentan de forma muy junta y el micelio en forma de filamentos.

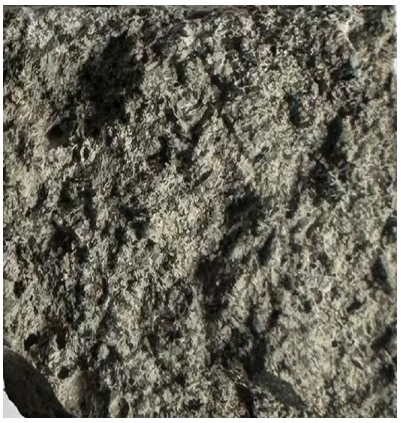
4.3. Registro fotográfico

Tabla 14. Fotografías de las probetas de mortero fragmentadas.

N°	CÓDIGO	CONTENIDO	FOTOGRAFÍA
1	MAR30	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE RIO, 30% DE HONGO	
2	MAR50	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE RIO, 50% DE HONGO	
3	MAR70	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE RIO, 70% DE HONGO	
4	MAM30	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE MINA, 30% DE HONGO	

N°	CÓDIGO	CONTENIDO	FOTOGRAFÍA
5	MAM50	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE MINA, 50% DE HONGO	
6	MAM70	PDA MIEL, AGREGADO ARENA DE MINA, 70% DE HONGO	
7	AAR30	PDA AZÚCAR, AGREGADO ARENA DE RIO, 30% DE HONGO	
8	AAR50	PDA AZÚCAR, AGREGADO ARENA DE RIO, 50% DE HONGO	

N°	CÓDIGO	CONTENIDO	FOTOGRAFÍA
9	AAR70	PDA AZÚCAR, AGREGADO ARENA DE RIO, 70% DE HONGO	
10	AAM30	PDA AZÚCAR, AGREGADO ARENA DE MINA, 30% DE HONGO	
11	AAM50	PDA AZÚCAR, AGREGADO ARENA DE MINA, 50% DE HONGO	
12	AAM70	PDA AZÚCAR, AGREGADO ARENA DE MINA, 70% DE HONGO	

N°	CÓDIGO	CONTENIDO	FOTOGRAFÍA
13	AEAM30	AGUA ESTÉRIL, AGREGADO ARENA DE MINA, 30% DE HONGO	
14	AEAM50	AGUA ESTÉRIL, AGREGADO ARENA DE MINA, 50% DE HONGO	
15	AEAM70	AGUA ESTÉRIL, AGREGADO ARENA DE MINA, 70% DE HONGO	
16	AEAR30	AGUA ESTÉRIL, AGREGADO ARENA DE RIO, 30% DE HONGO	

N°	CÓDIGO	CONTENIDO	FOTOGRAFÍA
17	AEAR50	AGUA ESTÉRIL, AGREGADO ARENA DE RIO, 50% DE HONGO	
18	AEAR70	AGUA ESTÉRIL, AGREGADO ARENA DE RIO, 70% DE HONGO	
19	TAM	MUESTRA TESTIGO CON ARENA DE MINA	
20	TAR	MUESTRA TESTIGO CON ARENA DE RIO	

4.4.Análisis de resultados.

Se muestra la fotografía con la fragmentación de la probeta con el código MAR70, la cual contiene PDA miel y arena de río.

Figura 16. Prueba de crecimiento dentro de la probeta.

Durante el análisis con mortero experimental compuesto por agar PDA (figura 15), miel como nutriente, agregado fino (arena de río), una solución con esporas al 70 % y 30 % de agua filtrada, se observó el inicio del desarrollo micelial. Se evidenció una coloración amarillenta tenue similar a la registrada en las primeras fases de crecimiento en kits comerciales, lo cual sugiere una germinación activa de las esporas y posible viabilidad del hongo.

También es importante resaltar que la dosificación utilizada corresponde al de un mortero tipo N de resistencia estándar con 1 parte de cemento, 2,4 partes de arena y 0,55 partes de agua, siendo la dosificación que señala crecimiento en la cual se reemplaza el 70% del agua por PDA con miel, esta dosificación resulto de una cuantificación arbitraria, sin embargo la forma de incorporación con el medio PDA siendo la que resultó exitosa coincide con lo encontrado en Sagar (2022), donde se señala que este un medio idóneo de crecimiento para hongos de este tipo ya que proporcionan una fuente ideal de nutrientes.

Figura 17. Prueba de crecimiento dentro de la probeta.

Al continuar fragmentando la probeta de mortero experimental (figura 16), se observó que la coloración amarillenta no se limitaba a la superficie, sino que se extendía en el interior del material, siguiendo una trayectoria continua. Esta disposición sugiere que podría tratarse del desarrollo subterráneo del micelio o incluso del inicio de formación de una estructura con características similares a un estípite (tronco), lo cual indicaría una colonización activa desde el interior de la matriz hacia el exterior.

Figura 18. Filamentos dentro de la probeta.

En otras muestras como por ejemplo la formada por agua estéril (figura 17), con agregado arena de mina, 30% de hongo se denota a simple vista unos pequeños filamentos parecidos a hilos, lo cual sugiere crecimiento de hifas, esto presenta similitudes con lo reportado en la investigación de Rakenth et al. (2018), donde se señala que en efecto cuando no sea posible por algún factor la síntesis de carbonato de calcio, al crecer el hongo internamente puede rellenar las fisuras podrían estar dentro del mortero.

Figura 19. Muestra testigo sin incorporación de hongo.

En contraste en esta muestra testigo (figura 18) elaborada con arena de mina no se observan estas formaciones, lo cual indica que las hifas se están formando de manera satisfactoria en las probetas de mortero.

Los resultados obtenidos y que se pueden visualizar en el registro fotográfico señalan que las metodologías empleadas para la inclusión de las esporas fueron exitosas en permitir la germinación y expansión del micelio dentro del material mortero. Esto coincide con lo encontrado en la mayoría de los estudios que han explorado la viabilidad de hongos filamentosos en matrices alcalinas como la que podemos encontrar en el mortero, como lo reportan Gregori et al. (2013) y Garzón et al. (2024), quienes también documentaron crecimiento visible en algunos especímenes bajo condiciones controladas, esto con el uso de PDA como medio de cultivo de las esporas.

Además, como se constata en este estudio y recomiendan otros trabajos como el de Jurado et al. (2020), la visualización directa del crecimiento micelial es una herramienta diagnóstica útil para verificar la viabilidad fúngica, por ello fue fundamental la recopilación fotográfica de la fragmentación de todas las probetas. Aunque no todas las probetas presentaron este comportamiento, en la mayoría de ellas se observó una especie de filamentos lo cual sugiere crecimiento micelar, tampoco puede decirse que este resultado sea inesperado, ya que hay una evidencia empírica acumulada que demuestra que especies como Pleurotus ostreatus pueden resistir ambientes alcalinos como lo señala (Garzón et al. 2024).

La propuesta presenta similitudes con investigaciones anteriores, pero se diferencia principalmente de investigaciones como la de Jurado et al. (2020) en el uso de técnicas más accesibles (sin encapsulados ni microcápsulas) por las limitaciones tecnológicas descritas, sin embargo, se usó este estudio para la preselección de especies y métodos, aunque al final no hayan sido utilizados.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

5.1.Conclusiones

- La investigación permitió identificar al Pleurotus ostreatus (hongo ostra blanco) como una especie fúngica viable para su incorporación en mezclas de mortero con potencial autorreparable, considerando su disponibilidad en el entorno local, su adaptabilidad a la zona y lo más importante la prueba de crecimiento que se mostró dentro de las probetas.
- La caracterización morfológica del hongo, complementada con información de estudios previos, confirmó que se trata de una especie perteneciente al grupo de los hongos de pudrición blanca, de rápido crecimiento con el fruto de color blanco algodonoso, además se pudo constatar su ambiente ideal de crecimiento que es húmedo a una temperatura mínima aproximada de 16 grados centígrados, finalmente se confirma después de observación visual su capacidad para formar micelio en ambientes alcalinos similares a los del mortero fresco.
- Se evaluaron diferentes formas de incorporación del hongo al mortero, siendo una de las más viables el uso del medio de cultivo PDA enriquecido con azúcar y miel como sustitutos de dextrosa, adaptando así el protocolo de cultivo a materiales disponibles localmente, así mismo se encontró una dosificación la cuál podría ser la ideal para el crecimiento del hongo comprendida en un 70% de PDA cultivado y un 30% de agua potable, esto con la relación agua cemento indicada.
- Adicionalmente se denota en las demás probetas el crecimiento de unos pequeños filamentos lo cual sugiere el crecimiento de hifas en las probetas, estas tienen un aspecto blanquecino parecidos a hilos muy finos.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda experimentar con otras formas de incorporación del hongo, como el uso de microcápsulas, portadores porosos o materiales absorbentes, que podrían ofrecer una mayor protección al hongo durante la mezcla y el curado del mortero, permitiendo que mantenga su viabilidad en condiciones más exigentes.
- Si bien no se realizaron ensayos estructurales ni pruebas de activación fúngica post-fraguado, los resultados preliminares evidencian un acercamiento válido hacia el diseño de morteros autorreparables basados en hongos, abriendo paso a futuras investigaciones más profundas sobre su rendimiento mecánico y durabilidad a largo plazo.
- Se sugiere ampliar este tipo de investigaciones incluyendo otras especies fúngicas, comparando su velocidad de crecimiento, resistencia al entorno cementico y potencial para formar micelio. Esto permitiría identificar organismos aún más eficientes o adaptables para este tipo de aplicaciones.
- Se recomienda una caracterización biológica del hongo ya que en la presente investigación no se logró debido a la falta de resultados por parte del laboratorio.
- Se recomienda estudios con tiempos mayores de espera, esto se debe a que la posible precipitación de carbonato de calcio es un proceso que no siempre se da en un lapso corto y no existe un tiempo aproximado para esperar resultados favorables
- Se recomienda realizar un estudio químico de las probetas de mortero para registrar la posible en la formación del carbonato de calcio.
- Se sugiere también realizar un análisis de las muestras mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), esto para observar con mayor detalle el desarrollo de las hifas del hongo y el mortero, este análisis confirma de manera exacta la colonización fúngica dentro del mortero.

BIBLIOGRAFÍA

ACA. (2017, February 12). Cement. 2017. https://www.cement.org/2025/05/07/association-representing-u-s-cement-manufacturing-industry-takes-a-new-name/

ACI 224. (2015). Control of Cracking in Concrete Structures. https://www.researchgate.net/.../224R_01

AgronoGuia. (2022, February). Cómo Recolectar Esporas de Hongos: Guía Completa para Cultivadores. AgronoGuia. https://agronoguia.com/como-cosechar-esporas-de-hongos/

Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., & Torres-Cruz, T. J. (2016). Spore isolation and evaluation of inoculation methods in the production of mycorrhizae in trap crops. https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29s3/0379-3982-tem-29-s3-5.pdf

Fungiturism. (2019, January 19). Partes de la seta. Fungiturism. https://www.fungiturismo.com/todas-partes-de-seta

Garzón, J., & Ambuludi, J. (2024). Estado de la investigación del uso de materiales alternativos para el diseño de hormigones y morteros autorreparables. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14056

Gregori, A., Švagelj, M., Pahor, B., Berovič, M., & Pohleven, F. (2008). The use of spent brewery grains for Pleurotus ostreatus cultivation and enzyme production. New Biotechnology, 25(2–3), 157–161. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2008.08.003

Illana, C. (2011). Hongos como reparadores de cemento. https://www.researchgate.net/publication/365301799

Imartin. (2024, February 13). capacidad carbonatogénica de ciertas bacterias para mejorar las propiedades autoregeneradoras de los morteros. https://actualidad.aidimme.es/2025/02/03/morty-corrobora-la-capacidad-carbonatogenica-de-ciertas-bacterias-para-mejorar-las-propiedades-autoregeneradoras-de-los-morteros/

Iossi, M. R., Cobos, J. D. V., Alegria, F. J. G., & Zied, D. C. (2018). Pleurotus spp. cultivation on Brachiaria sp. straw treatment with alkaline water: Oyster mushroom and substrate treatment. Brazilian Journal of Microbiology, 49, 64–67. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.003

Jiang, S., Lin, Z., Tang, C., & Hao, W. (2021). Preparation and mechanical properties of microcapsule-based self-healing cementitious composites. Materials, 14(17). https://doi.org/10.3390/ma14174866

Jin, C., Yu, R., & Shui, Z. (2018). Fungi: A neglected candidate for the application of self-healing concrete. Frontiers in Built Environment, 4. https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00062

Lentzkow, M. (2018, January 26). Retracción del concreto: minimizar/eliminar el potencial de agrietamiento.

Luo, J., Chen, X., Crump, J., Zhou, H., Davies, D. G., Zhou, G., Zhang, N., & Jin, C. (2018). Interactions of fungi with concrete: Significant importance for bio-based self-healing concrete. Construction and Building Materials, 164, 275–285. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.12.233

Marcillo, A. (2021). Resistencia al ataque ácido de matrices activadas alcalinamente de escoria de alto horno fabricadas con activadores alternativos basados en ceniza de biomasa. https://riunet.upv.es/entities/publication/188fc4e2-9980-4d56-aced-8ff3ee26dde9

Marín, J. A., Parra Costa, C. J., Marín, J. A., & Parra Costa, C. J. (2015). Hormigones auto-regenerantes: Mecanismos y procesos de autosellado de fisuras. In Anuario de Jóvenes Investigadores (Vol. 8).

Mundo esporas. (2019). Cómo preparar esporas de hongos de manera efectiva [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=Inw7B8YtkMI

Rakenth, M., Jing, L., Xiaobo, C., Zhiyong Liu, & Guangwen Zhou. (2018). Fungi-Mediated Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure.

Sagar, A. (2022, August 10). Agar patata dextrosa (PDA): principio, usos, composición, procedimiento y características de las colonias. https://microbiologyinfo.com/potato-dextrose-agar-pda-principle-uses-composition-procedure-and-colony-characteristics/?utm_source=chatgpt.com

Salamaca, R. (2020). Dialnet-LaTecnologiaDeLosMorteros-5313892. Morteros Dialnet https://dialnet.unirioja.es

SIB (Sistema de Información de Biodiversidad). (2019). Pleurotus ostreatus. https://sib.gob.ar/especies/pleurotus-ostreatus

Sierra Beltran, G., Mera Ortiz, W., & Jonkers, H. M. (2017). Hormigón autoRreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: Principios y aplicaciones en Ecuador. Alternativas, 17(3), 207–214. https://doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.229

Van Wylick, A., Vieira, A., Elsacker, E., & Vandelook, S. (2021). Una revisión sobre el potencial de los hongos flamígeros para la autocuración microbiana del hormigón. https://doi.org/doi.org/10.1186/s40694021001227

Villareal, D., & Villafuerte, D. (2024). Estado De La Investigación Del Uso De Elementos Biológicos En Mampuestos Y Hormigón. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12787

Zervakis, G., & Venturella, G. (2002). 32 Mushroom Breeding and Cultivation Enhances ex situ Conservation of Mediterranean Pleurotus Taxa. https://cabidigitallibrary.org