



Influencia de factores microbiológicos en la bioconservación de piezas cerámicas

Valery Valencia Hernández

Trabajo de grado presentado para optar al título de Antropólogo

Asesor

Andrés Felipe Villa Restrepo, Doctor (PhD) en Microbiología

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Sociales y Humanas

Antropología

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(Valencia Hernández, 2024)

Referencia

Valencia Hernández, V. (2024). *Influencia de factores microbiológicos en la bioconservación de piezas cerámicas* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



CRAI María Teresa Uribe (Facultad de Ciencias Sociales y Humanas)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
1 Introducción	13
2 Planteamiento del problema	14
3 Justificación.....	16
3.1 Antecedentes	17
3.1.1 Investigaciones en el mundo.....	17
3.1.2 Investigaciones en Latinoamérica.....	18
3.1.3 Investigaciones en Colombia	19
4 Objetivos	21
4.1 Objetivo general	21
4.2 Objetivos específicos.....	21
5 Marco conceptual	22
6 Metodología	25
6.1 Materiales	25
6.2 Métodos.....	26
6.2.1 Prueba física con estereoscopio	26
6.2.2 Prueba de suelos.....	27
6.2.3 Estudios prospectivos.....	28
6.2.4 Unidades experimentales	29
6.3 Procesamiento de las muestras	29
7 Resultados	37
7.1 Guarne	37
7.1.1 Información sobre la zona de vida	37

7.1.2 Caracterización de las piezas cerámicas	38
7.1.3 Análisis de suelo zona de vida Guarne	42
7.1.4 Recolección final de las piezas en las unidades experimentales.....	43
7.1.5 Análisis de las unidades experimentales Guarne	45
7.1.6 Resultados cultivos bacterianos de Guarne.....	47
7.1.7 Resultados cultivos fúngicos.....	55
7.2 Olaya	63
7.2.1 Información sobre la zona de vida	63
7.2.2 Caracterización de las piezas cerámicas	64
7.2.3 Análisis de suelo zona de vida Olaya	67
7.2.4 Recolección final de las piezas en las unidades experimentales.....	68
7.2.5 Análisis de las unidades experimentales Olaya	71
7.2.6 Resultados cultivos bacterianos de Olaya.....	71
7.2.7 Resultados cultivos fúngicos Olaya.....	81
7.3 Microorganismos.....	88
7.3.1 Bacterias.....	88
7.3.1.1 Bacilos	88
7.3.1.2 Cocos	91
7.3.1.3 Streptomyces	93
7.3.2 Hongos	94
7.3.2.1 Mohos.....	94
7.3.2.2 Levaduras	96
8 Discusión.....	98
8.1 Clima y suelo.....	98
8.2 Influencia de los microorganismos en la cerámica	99

8.3 Zona de vida Guarne	100
8.4 Zona de vida Olaya	101
9 Conclusiones	104
10 Recomendaciones.....	106
Referencias	108
Anexos.....	111

Lista de tablas

Tabla 1 Recuento bacteriano en agar nutritivo.....	47
Tabla 2 Cuantificación tipos de microorganismos según cerámica	50
Tabla 3 Descripción morfológica de colonias en AN	50
Tabla 4 Aislamiento de morfotipos bacterianos.....	52
Tabla 5 Cuantificación de colonias de hongos de Guarne en PDA.....	56
Tabla 6 Descripción macroscópica de hongos de Guarne en PDA	58
Tabla 7 Aislamiento de morfotipos fúngicos Guarne	59
Tabla 8 Recuento bacteriano en agar nutritivo Olaya	72
Tabla 9 Cuantificación tipos de microorganismos según cerámica	74
Tabla 10 Reaislamiento de colonias Olaya	74
Tabla 11 Descripción morfológica de colonias en AN	76
Tabla 12 Aislamiento de morfotipos	77
Tabla 13 Cuantificación de colonias de hongos de Olaya en PDA.....	82
Tabla 14 Descripción macroscópica de hongos de Olaya en PDA	85
Tabla 15 Descripción microscópica de hongos Olaya	85
Tabla 16 Distribución de los microorganismos en Guarne	100
Tabla 17 Distribución de los microorganismos en Olaya	101

Lista de figuras

Figura 1 Esquema unidades experimentales	31
Figura 2 UE Guarne	32
Figura 3 Profundidad pozo UE Guarne.....	32
Figura 4 UE Olaya	33
Figura 5 Profundidad pozo UE Guarne.....	33
Figura 6 Esquema gráfico del proceso en el laboratorio para siembra de microorganismos.....	35
Figura 7 Esquema gráfico del proceso de siembra y resiembra.....	36
Figura 8 Coloración previa en la CSUG	38
Figura 9 Coloración previa en la CSUG	38
Figura 10 Coloración previa en la CSUG	39
Figura 11 Coloración previa en la CSUG	39
Figura 12 Cúmulos de grasa en CUG	39
Figura 13 Cúmulos de grasa en CUG	40
Figura 14 Cúmulos de grasa en CUG	40
Figura 15 Núcleo y componentes minerales CUG.....	40
Figura 16 Marcas hendiduras en el diseño CSUG	41
Figura 17 Marcas hendiduras en el diseño CUG	41
Figura 18 Raspaduras previas en CUG	41
Figura 19 Raspaduras previas en CUG	42
Figura 20 Estado de piezas superficiales al momento de recolección	44
Figura 21 Hallazgo de nido de hormigas bajo la pieza cerámica usada.....	44
Figura 22 Presencia de pupas de escarabajo	45
Figura 23 Piezas enterradas.....	45

Figura 24 Cerámicas listas para raspado y remoción de suelo.....	46
Figura 25 Marcas causadas por raíces.....	47
Figura 26 Marcas hendiduras en el diseño CSUO	64
Figura 27 Coloración previa en la CSUO	65
Figura 28 Coloración previa en la CUO	65
Figura 29 Coloración y marca previa en la CUO.....	65
Figura 30 Marcas de grasa en la CUO	66
Figura 31 Marcas hendiduras en el diseño en la CUO.....	66
Figura 32 Marcas de grasa en la CUO	66
Figura 33 Núcleo y componentes minerales CUO.....	67
Figura 34 Pieza superficial cercana al sitio de disposición inicial.....	68
Figura 35 Pozo para la recolección de piezas enterradas	69
Figura 36 Hallazgo piezas enterradas	70
Figura 37 Hallazgo CUSO entre hojarasca	70
Figura 38 Cerámicas listas para raspado y remoción de suelo.....	71

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AN Agar nutritivo

CSU Cerámica sin uso

CU Cerámica usada

CSUO Cerámica sin uso Olaya

CUO Cerámica usada Olaya

CSUOS Cerámica sin uso Olaya superficial

CUOS Cerámica usada Olaya superficial

CSUOE Cerámica sin uso Olaya enterrada

CUOE–CI Cerámica usada Olaya enterrada

CSUOS–CI Cerámica sin uso Olaya superficial cara interna

CSUOS–CE Cerámica sin uso Olaya superficial cara externa

CUOS–CI Cerámica usada Olaya superficial cara interna

CUOS–CE Cerámica usada Olaya superficial cara externa

CSUOE–CI Cerámica sin uso Olaya enterrada cara interna

CSUOE–CE Cerámica sin uso Olaya enterrada cara externa

CUOE–CI Cerámica usada Olaya enterrada cara interna

CUOE–CE Cerámica usada Olaya enterrada cara externa

CSUG Cerámica sin uso Guarne

CUG Cerámica usada Guarne

CSUGS Cerámica sin uso Guarne superficial

CUGS Cerámica usada Guarne superficial

CSUGE Cerámica sin uso Guarne enterrada

CUGE–CI Cerámica usada Guarne enterrada

CSUGS–CI Cerámica sin uso Guarne superficial cara interna

CSUGS–CE Cerámica sin uso Guarne superficial cara externa

CUGS–CI Cerámica usada Guarne superficial cara interna

CUGS–CE Cerámica usada Guarne superficial cara externa

CSUGE–CI Cerámica sin uso Guarne enterrada cara interna

CSUGE–CE Cerámica sin uso Guarne enterrada cara externa

CUGE–CI Cerámica usada Guarne enterrada cara interna

CUGE–CE Cerámica usada Guarne enterrada cara externa

MPE Material polimérico extracelular

PDA Papa dextrosa Agar

SPE Sustancias poliméricas extracelulares

UE Unidad experimental

Resumen

La preservación de los registros arqueológicos es fundamental tanto para la investigación actual como para la conservación del patrimonio en el futuro. Este estudio se enfoca en el biodeterioro de la cerámica, un material que a menudo se pasa por alto a pesar de su abundante presencia en los hallazgos arqueológicos. La investigación explora cómo los factores microbiológicos, climáticos y de temperatura influyen en la conservación de artefactos cerámicos en dos zonas de vida distintas. Con el propósito de identificar los factores que alteran las características de las piezas arqueológicas, se diseñó este estudio prospectivo para analizar la interacción entre agentes microbiológicos, climáticos y de temperatura en el estado de conservación de piezas cerámicas, tanto usadas como sin uso. Durante un período de 8 meses, se evaluó el estado de conservación de las piezas, y se caracterizaron las bacterias y hongos mediante pruebas microbiológicas básicas, como cultivo, aislamiento e identificación macro y microscópica. Además, se realizó un análisis fisicoquímico del suelo en cada zona de vida para evaluar los factores climáticos.

Los resultados revelaron una gran diversidad y cantidad de microorganismos asociados a las cerámicas, incluyendo bacterias Gram positivas y Gram negativas con formas bacilares y cocoides, así como hongos filamentosos (mohos) como *Penicillium*, *Aspergillus* y *Mucor*, y levaduras como *Rhodotorula*. Las diferencias fisicoquímicas de los suelos y los hallazgos microbiológicos aquí descritos proporcionan información valiosa sobre el impacto de los factores biológicos y fisicoquímicos en la conservación de las piezas arqueológicas. Estos resultados preliminares son de gran relevancia para futuros estudios sobre el biodeterioro.

Palabras clave: biodeterioro, registro arqueológico, bioconservación

Abstract

The preservation of archaeological records is essential for both current research and future heritage conservation. This study focuses on the biodeterioration of ceramics, a material often overlooked despite its significant presence in archaeological findings. The research examines how microbiological, climatic, and temperature factors affect the preservation of ceramic artifacts in two distinct life zones.

To identify factors that alter the characteristics of archaeological pieces, this prospective study was designed to analyze the interaction between microbiological, climatic, and temperature agents on the conservation state of both used and unused ceramic pieces. Over an 8-month period, the conservation state of the pieces was evaluated, and bacteria and fungi were characterized through basic microbiological tests, including culture, isolation, and macro and microscopic identification. Additionally, a physicochemical analysis of the soil in each life zone was conducted to assess climatic factors.

The results revealed a great diversity and quantity of microorganisms associated with the ceramics, including Gram-positive and Gram-negative bacteria with bacillary and coccoid shapes, as well as filamentous fungi (molds) like *Penicillium*, *Aspergillus*, and *Mucor*, and yeasts like *Rhodotorula*. The physicochemical differences in the soils and the microbiological findings described here provide valuable information on the impact of biological and physicochemical factors on the preservation of archaeological pieces. These preliminary results are highly relevant for future studies on biodeterioration.

Keywords: biodeterioration, archaeological record, bioconservation

1 Introducción

El registro arqueológico proporciona una ventana invaluable a nuestro pasado, y su preservación es esencial tanto para la investigación actual como para el legado de las generaciones futuras. Sin embargo, diversos factores pueden dañar este patrimonio, borrando información crucial. El biodeterioro, aunque ha sido un tema relativamente inexplorado por la arqueología hasta hace poco, ha cobrado relevancia en estudios recientes que se centran en la arquitectura y el arte mueble e inmueble. Estos estudios han impulsado proyectos de gestión y conservación en yacimientos arqueológicos y museos (Soto et al., 2017; Portillo et al., 2011; Gazulla et al., 2011; Pena-Poza et al., 2018).

Sin embargo, materiales como la cerámica, comunes en el registro arqueológico, han recibido menos atención. La mayoría de los estudios se han centrado en agentes biológicos postdeposicionales, como raíces y animales, que dañan las cerámicas sin afectar su estructura mineralógica (Soto et al., 2017; Soto & Guiamet, 2017).

El suelo, frecuentemente visto solo como un contenedor de objetos, es en sí un elemento arqueológico que interactúa con los artefactos. Estas interacciones varían según las características del suelo, lo que subraya la importancia de tratarlo como un componente clave en la investigación arqueológica.

Investigaciones recientes han identificado agentes biológicos que deterioran la cerámica tanto interna como externamente. La cerámica es particularmente vulnerable a la colonización microbiana debido a sus condiciones físicas y químicas. Además, factores ambientales como el agua, el fuego, y la humedad también contribuyen al desarrollo de microorganismos que aceleran su deterioro (Soto & Guiamet, 2017; Soto, 2020).

Esta investigación se centrará en el biodeterioro de la cerámica en contextos arqueológicos, con un enfoque en cómo los factores microbiológicos presentes en el suelo afectan su conservación. Se llevará a cabo un estudio prospectivo utilizando unidades experimentales en diferentes condiciones ambientales. Para obtener resultados detallados y precisos, se aplicarán métodos de análisis microscópicos y macroscópicos. Esto permitirá evaluar el impacto de los microorganismos en la cerámica arqueológica y comprender su relación con las condiciones naturales del sitio.

2 Planteamiento del problema

El registro arqueológico constituye uno de los testimonios más valiosos de nuestro pasado, y su conservación a lo largo del tiempo es crucial tanto para la investigación actual como para la herencia de futuras generaciones. La acción de diversos agentes sobre el patrimonio cultural genera daños frecuentemente irreversibles, borrando información invaluable para el presente y el futuro.

En el ámbito del patrimonio cultural material, el biodeterioro ha sido un tema relativamente poco explorado por la arqueología hasta tiempos recientes. Las investigaciones sobre biodeterioro en las últimas décadas se han enfocado principalmente en la arquitectura y el arte mueble e inmueble. A partir de estos estudios, se han desarrollado proyectos de gestión de sitios arqueológicos y planes de protección y conservación para museos (Soto et al., 2017; Portillo et al., 2011; Gazulla et al., 2011; Pena-Poza et al., 2018).

Sin embargo, otros materiales que suelen formar parte del registro arqueológico, como la cerámica, han recibido poca atención en los estudios de gestión del patrimonio. Estos materiales carecen de un análisis detallado de sus condiciones de biodeterioro, o en algunos casos, solo se ha evaluado la incidencia de ciertos agentes biológicos de bioturbación postdeposicional externos, como raíces y vertebrados, que generan consecuencias destructivas, pero no forman parte de la estructura mineralógica de la cerámica (Soto et al., 2017; Soto & Guiamet, 2017).

En cuanto al suelo, su importancia ha sido subestimada. Frecuentemente se le ha considerado simplemente como un contenedor de objetos y vestigios, o como una barrera que dificulta el acceso del arqueólogo a los elementos a descubrir. Sin embargo, el suelo es en sí mismo un elemento arqueológico que alberga una gran cantidad de información. Los factores y características del suelo interactúan constantemente con los elementos arqueológicos que contiene. Además, estas características son extremadamente variables, y cada variación implica interacciones únicas entre los elementos arqueológicos y el suelo en el que se encuentran. Por tanto, es esencial tratar el suelo como un componente clave en la investigación arqueológica.

Investigaciones recientes sobre materiales cerámicos han identificado diversos agentes biológicos involucrados en procesos de deterioro mecánico, químico y estético, tanto interna como externamente. Debido a las condiciones físicas y químicas de la cerámica, este material es altamente susceptible a la colonización microbiana. Además, existen factores indirectos que promueven el deterioro físico en combinación con el ambiente y sus componentes, como el agua,

el fuego, la humedad relativa, las radiaciones, los contaminantes, las plagas, la temperatura y la intemperie, que también contribuyen al desarrollo de diversos microorganismos (Soto & Guiamet, 2017; Soto, 2020).

Esta investigación se propone abordar el biodeterioro de la cerámica, uno de los registros materiales con mayores niveles de conservación y presencia en los hallazgos arqueológicos. El enfoque se centrará en el biodeterioro provocado y/o catalizado por factores microbiológicos presentes en el suelo, los cuales varían según ciertos factores edafológicos y ambientales.

3 Justificación

La comprensión del origen y funcionamiento del proceso de biodeterioro en materiales cerámicos ha sido limitada debido a un enfoque sesgado en el análisis de algunos agentes biológicos (factores indirectos), considerados como los únicos causantes del problema. Este enfoque ha dejado de lado la constante interacción de factores microbiológicos que atacan desde el interior y son intrínsecos a estos elementos cerámicos (Soto, 2017; Soto, 2020).

En Colombia, no se han realizado suficientes estudios sobre el biodeterioro cerámico que consideren los factores intrínsecos y los aspectos microbiológicos que interactúan con estos. Esta carencia de investigación ha resultado en la pérdida de información y registro arqueológico. Además, la ubicación geográfica de Colombia, con sus características ambientales, pedológicas y edafológicas únicas propias del trópico, interactúa de manera específica con los factores microbiológicos, afectándolos de forma particular según la zona de estudio.

A esta situación se suma la falta de información a nivel nacional e internacional sobre el biodeterioro causado por microorganismos como bacterias, hongos y líquenes. Se desconocen las consecuencias de su acción sobre diversos materiales, tanto orgánicos como inorgánicos, el tiempo que tarda en hacerse visible el biodeterioro y las marcas que genera en cada material en diversas etapas del proceso.

Es fundamental que los arqueólogos reconozcan que, aunque la cerámica es un material inorgánico, también se ve afectada por el biodeterioro provocado por macro y microorganismos. Este deterioro representa un gran riesgo para la conservación del material y para la realización de estudios presentes y futuros, ya que puede imposibilitar análisis arqueométricos y dificultar la identificación y el estudio de los tipos cerámicos (Soto & Guiamet, 2017).

Comprender cómo interactúan y deterioran estos factores microbiológicos los elementos arqueológicos permite prevenir el deterioro y la pérdida de material. En el caso específico de la cerámica, a través de sus estilos, tecnología, morfología y decoración, se obtiene valiosa información sobre la cultura que la creó y utilizó, así como sobre sus representaciones y cosmovisión. Proteger y salvaguardar estos elementos es crucial, ya que contribuyen a los análisis de datación (Soto, 2020).

Un enfoque multidisciplinario es necesario para abordar la problemática global de la conservación del patrimonio material. El análisis de los factores microbiológicos implicados en el

biodeterioro, tanto postdeposicional como previo a los hallazgos, permite un tratamiento adecuado para la eliminación y control de factores destructivos. A medida que se adquiere mayor conocimiento, esta estrategia se puede aplicar a diversos elementos encontrados, incluyendo su recolección, almacenamiento y procesos de divulgación y salvaguarda, como en museos y parques arqueológicos. Además, el conocimiento de los responsables del biodeterioro de cada material facilita la identificación de los métodos más eficaces para su tratamiento y prevención, aumentando así la eficacia y reduciendo los costos de los procesos de restauración y conservación (Vaillant, 2013).

3.1 Antecedentes

El biodeterioro en cerámica es un campo con poca investigación, tanto a nivel nacional como internacional. La mayoría de los estudios se centran en el deterioro de bienes arqueológicos muebles, inmuebles y arquitectónicos, generalmente impulsados por intereses gubernamentales, políticos y económicos enfocados en la investigación y protección de estos bienes. Muchas de estas investigaciones forman parte de proyectos de gestión de sitios arqueológicos y colecciones de museos, con el objetivo de preservar y divulgar estos bienes. Sin embargo, otras materialidades arqueológicas, como la cerámica, una de las más duraderas y comunes en hallazgos arqueológicos, no han sido suficientemente estudiadas en cuanto a biodeterioro.

En la gestión preventiva y preservación de colecciones, la cerámica no recibe la atención necesaria, o si es considerada, no se realizan estudios detallados sobre sus condiciones de biodeterioro, tanto en el sitio de origen como durante su estudio, resguardo o exposición (Soto et al., 2017).

3.1.1 Investigaciones en el mundo

A nivel mundial, existen aportes significativos en la investigación del biodeterioro de cerámica, especialmente en tejas cerámicas. Se han caracterizado los tipos de tejas colonizadas por microorganismos y se han aislado estos microorganismos para pruebas de bioreceptividad, utilizando metodologías como el uso de fluorómetro modulado en amplitud de pulso, considerando variables como porosidad aparente, rugosidad y recubrimiento. También se han analizado variables

de meteorización como temperatura, humedad, precipitaciones y contaminación. Se concluyó que la bioreceptividad de las tejas aumenta con la porosidad y rugosidad aparente de la cerámica, y que los recubrimientos disminuyen significativamente esta receptividad (Gazulla et al., 2011).

En otros estudios, se analizaron variables de bioreceptividad, materiales de fabricación, recubrimiento y porosidad mediante microscopía de contraste de fases, microscopía de fluorescencia y pruebas de porosidad. Se determinó que las tejas sin esmaltar permiten un mayor crecimiento de microorganismos, como *Oscillatoria*, debido a su mayor porosidad, que favorece la bioreceptividad y la absorción de agua, lo que facilita la colonización primaria y adhesión de microorganismos (Portillo et al., 2011).

Otras investigaciones se han centrado en la colonización por líquenes, un fenómeno común y fácilmente reconocible. Variables como el tipo de arcilla, inclusiones morfológicas, sustrato y porosidad se han analizado mediante técnicas analíticas basadas en espectrometría, microscopía y fluorescencia. Se concluyó que la biometeorización por líquenes en cerámicas sin esmaltar y elaboradas de forma tradicional depende en gran medida de la composición química de la cerámica, siendo las ricas en calcio más susceptibles a la biometeorización que las compuestas por alúmina (Pena-Poza et al., 2018).

Estos estudios representan avances importantes en la investigación del biodeterioro cerámico y establecen las bases para futuros estudios sobre cerámica, biodeterioro y microorganismos, abriendo múltiples interrogantes sobre estos temas y sus interrelaciones.

3.1.2 Investigaciones en Latinoamérica

Latinoamérica es un área de gran interés para el estudio del biodeterioro debido a sus características climáticas, de vegetación, humedad y suelo, que pueden generar resultados variables incluso entre países cercanos. La región cuenta con un rico y diverso patrimonio arqueológico y múltiples estilos cerámicos que merecen ser estudiados para evitar su biodeterioro y promover su divulgación.

En Argentina, se han realizado estudios exhaustivos sobre cerámica arqueológica, considerando factores como el tipo de cerámica, procesos de elaboración, condiciones medioambientales y del suelo. Estos estudios han permitido identificar diversos factores de biodeterioro y desarrollar investigaciones adicionales basadas en los interrogantes surgidos. Uno

de estos estudios menciona el papel del sustrato en el biodeterioro por microorganismos. En soportes inorgánicos, predominan organismos autótrofos que, a través de sus productos metabólicos, permiten la colonización por organismos heterótrofos, formando biocenosis y cadenas tróficas. Los sustratos orgánicos, debido a su alto contenido de carbono, son más susceptibles al biodeterioro, mientras que los sustratos inorgánicos, como la cerámica, requieren condiciones ambientales y estructurales específicas para ser atacados por microorganismos (Soto & Guiamet, 2017).

El biodeterioro es un fenómeno complejo que depende del tipo de material. La porosidad, permeabilidad, morfología y estado de conservación del sustrato son determinantes para entender las interacciones entre los agentes biológicos y las características ambientales, lo que permite desarrollar medidas específicas para el control y prevención del biodeterioro (Soto & Guiamet, 2017).

En Perú, se identificaron bacterias del género *Streptomyces* y *Bacillus* como colonizadoras de cerámica arqueológica, responsables de cambios físicos como manchas blancas. Se concluyó que la fuente de estos microorganismos es el suelo de excavación, ya que los *Streptomyces* son comunes en el suelo y se han identificado en otros elementos patrimoniales, especialmente en ambientes subterráneos (Colonna-Prete & Eeckhout, 2014).

3.1.3 Investigaciones en Colombia

En Colombia, los estudios sobre biodeterioro por microorganismos en cerámica son escasos y se centran principalmente en monumentos y edificaciones patrimoniales. Estos estudios han identificado una relación entre el biodeterioro por microorganismos y la actividad biológica de murciélagos, palomas y roedores, encontrando microorganismos como *Verrucaria tabacina*, *Aspicilia coronata*, *Lecanora dispersa*, *Caloplaca variabilis* y *Xantoria aureola*, que colonizan y degradan las superficies hasta causar fallas estructurales (García et al., s.f).

Se han identificado cuatro tipos principales de bacterias causantes del biodeterioro en rocas calcáreas: oxidantes de sulfuro, nitrificantes, cianobacterias y actinomicetos. Los actinomicetos del género *Streptomyces* son los más comunes y deterioran las rocas al penetrar y excretar enzimas y pigmentos que solubilizan la matriz superficial. Las cianobacterias crean biopelículas que permiten

la entrada de otros organismos, causando solubilización del material calcáreo y pérdida de material (Tatis & Barbosa, 2013).

Las bacterias nitrificantes y oxidantes de azufre también contribuyen al biodeterioro mediante la oxidación del amonio y la producción de ácido sulfúrico, que reacciona con el carbonato de calcio de las rocas, formando sulfato de calcio y causando desprendimiento superficial (Tatis & Barbosa, 2013).

En Colombia, no hay suficiente información sobre el biodeterioro cerámico por acción de microorganismos. Las características climáticas, ambientales y edafológicas del país pueden variar incluso en zonas cercanas, y los diferentes tipos cerámicos en el registro arqueológico colombiano requieren estudios específicos para entender mejor este fenómeno.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar la interacción entre agentes microbiológicos, climáticos y de temperatura en el estado de conservación de piezas cerámicas provenientes de unidades experimentales establecidas en dos zonas de vida distintas.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado de conservación de las piezas cerámicas establecidas en las unidades experimentales en las dos zonas de vida.
- Identificar y caracterizar los tipos de microorganismos que colonizan las piezas cerámicas, utilizando técnicas microbiológicas.
- Estudiar el impacto de los microorganismos en relación con los factores climáticos en el estado de conservación de las piezas cerámicas extraídas de cada zona de vida

5 Marco conceptual

Este marco conceptual explora la interrelación entre las zonas de vida, la composición y función del suelo, y el papel crucial de los microorganismos en procesos arqueológicos, con un enfoque en el biodeterioro de materiales arqueológicos.

Según Holdridge (1971), quien propuso y actualizó el término "zona de vida" en 1947 y 1971 respectivamente, una zona de vida es un grupo de unidades naturales básicas que comprenden regiones con crecimiento similar de plantas y animales dentro de un rango definido de condiciones climáticas. Estas zonas también se conocen como pisos bioclimáticos o regiones biogeográficas y se caracterizan por sus patrones climáticos, temperatura, precipitación, humedad y altitud, los cuales influyen en la distribución de la vida vegetal y animal. Holdridge no solo introdujo el término "zona de vida", sino que también creó un sistema de clasificación para estas zonas basado en variables como la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración potencial, determinando así el tipo de vegetación predominante en cada zona.

Cada zona de vida presenta suelos con características particulares. Vasily Dokuchaev (1883), considerado el padre de las ciencias del suelo, definió el suelo como "el cuerpo natural superficial de la tierra, en la superficie terrestre, en el cual se desarrolla la vida de las plantas". Dokuchaev introdujo conceptos como los horizontes del suelo y sus propiedades distintivas que, junto con las características de la zona de vida, ayudan a definir y delimitar estas áreas. El suelo se compone de minerales (partículas inorgánicas), materia orgánica (restos de plantas y animales en descomposición), agua y aire. Se clasifica según su textura (porcentaje relativo de arena, limo y arcilla), estructura, pH, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua y nutrientes, entre otros factores (Hernández et al., 2008).

En arqueología, el suelo es importante no solo como contenedor de la cultura material, sino también como testigo del tiempo, la historia y los contextos humanos. Uno de los usos más representativos del suelo en la arqueología es la fabricación de cerámica, donde el suelo es un componente principal en la producción de arcillas, materia prima fundamental para estos objetos.

Los microorganismos desempeñan un papel crucial en la formación del suelo. La vegetación, particularmente las plantas y algunos microorganismos autótrofos (bacterias fotosintéticas y algas), contribuyen significativamente a este proceso. Los microorganismos heterótrofos se alimentan de la materia orgánica producida por los primeros, transformándola en el

proceso (Hernández et al., 2008). Sin la acción microbiana, los nutrientes permanecerían concentrados en la materia orgánica sin descomponer, impidiendo su distribución y afectando las formas de vida actuales. Gracias a los microorganismos presentes en el suelo, los elementos liberados durante la mineralización de la materia orgánica se convierten en asimilables para la vegetación, permitiendo el ciclo biológico de las sustancias (Hernández et al., 2008).

La composición y actividad de los microorganismos en el suelo varía geográfica y ecológicamente. Existen diferencias cuantitativas en la relación entre el suelo y los microorganismos presentes, así como en el grado de actividad de cada grupo en particular (Hernández et al., 2008). Los microorganismos son seres vivos diminutos, no visibles a simple vista y observables solo mediante microscopio. Identificados por primera vez en el siglo XVII, pueden ser unicelulares o pluricelulares, y eucariotas o procariotas. La microbiología es la rama de la ciencia que los estudia (Vargas & Villazante, 2014).

Antiguamente, los microorganismos fueron incluidos en diversas clasificaciones de los seres vivos, primero en el reino animal y luego en el reino vegetal. Sin embargo, debido a sus características mixtas, su clasificación se complicaba, hasta que Woese (1978) propuso el sistema de dominios: bacteria, arquea y eukarya (Vargas & Villazante, 2014). Los microorganismos se clasifican en bacterias, virus, hongos y parásitos, y cada grupo posee diversas características en cuanto a morfología, estructura, nutrición y reproducción, además de factores como resistencia a agentes externos, temperatura de supervivencia y medio ambiente (Vargas & Villazante, 2014).

Estos microorganismos no solo interactúan con los componentes orgánicos e inorgánicos del suelo, sino también con elementos externos como los artefactos arqueológicos. Una consecuencia de esta interacción es el biodeterioro, un proceso en el cual las propiedades de un material cambian o se dañan debido a la actividad de organismos como bacterias, hongos y algas (Gómez de Saravia, 2006; Soto et al., 2017; Hueck, 1965).

El biodeterioro depende de factores como la naturaleza del sustrato, condiciones ambientales (temperatura, humedad, contaminación) y la capacidad metabólica de los agentes biológicos presentes. Los principales agentes biológicos del biodeterioro son bacterias, cianobacterias, hongos, diatomeas, algas, líquenes, musgos, plantas vasculares, insectos, aves, murciélagos y roedores (Gómez de Saravia, 2006).

Existen tres tipos principales de biodeterioro: químico, mecánico y ensuciamiento de superficies. El biodeterioro químico ocurre cuando los organismos extraen nutrientes del material

o excretan sustancias que degradan su estructura. El daño mecánico, o cambio físico, involucra organismos que perforan y modifican físicamente el material sin absorber nutrientes de este. El ensuciamiento de superficies implica la acumulación de organismos y sus sustancias metabólicas, que pueden ocasionar deterioros mecánicos y químicos (Soto & Guiamet, 2017).

Las biopelículas o *biofilms*, comunidades microbianas rodeadas por una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (SPE), son factores fundamentales en el biodeterioro. Estas biopelículas están constituidas por células microbianas, material polimérico extracelular, material particulado y agua, formando películas altamente adherentes al sustrato, al cual degradan y afectan estéticamente mediante manchas, cambios de color y degradación de la estructura (Gómez de Saravia, 2006). Las biopelículas alteran valores de pH, concentraciones iónicas y condiciones de óxido-reducción, lo que agrava el biodeterioro (Gómez de Saravia, 2006).

Las alteraciones físicas por biodeterioro incluyen manchas por crecimiento de hongos, lesiones en el material, ahuecamiento, grietas, fisuras y desmoronamiento. A nivel químico, los cambios en las propiedades del material se deben a la degradación o descomposición de sus componentes (Gómez de Saravia, 2006).

En resumen, las zonas de vida establecen un contexto ecológico que influye en la composición del suelo y, a su vez, en los procesos de biodeterioro que afectan los artefactos arqueológicos. La comprensión de estas interrelaciones es esencial para la conservación del patrimonio cultural y la gestión ambiental.

6 Metodología

6.1 Materiales

- Agar nutritivo
- Agar PDA (papa/ dextrosa agar)
- Agitador magnético con calefacción
- Alcohol
- Alcohol acetona
- Asa de ojo y recta
- Asa de Drigalski
- Autoclave
- Bolsas ziploc
- Cabina de bioseguridad
- Cajas Petri
- Cámara
- Cerámica sin uso (2 piezas completas)
- Cerámica usada previamente (2 piezas completas)
- Cristal violeta
- Cuchillas/lancetas
- Encendedor
- Estereoscopio
- Flexómetro
- GPS
- Guantes
- Lugol
- Marcador permanente
- Mechero
- Micropipetas
- Microscopio

- Nevera pequeña
- Palustre/ machete y pala
- Puntas azules y blancas para micropipetas
- Safranina
- Solución salina
- Toallas de papel
- Tubos de ensayo
- Vortex

6.2 Métodos

6.2.1 Prueba física con estereoscopio

La prueba con estereoscopio es un método empleado para examinar objetos en tres dimensiones con un alto nivel de detalle y profundidad. El estereoscopio, también conocido como lupa binocular o microscopio estereoscópico, es un dispositivo óptico que permite la observación de objetos a través de dos oculares, proporcionando una visión estereoscópica. Este instrumento consta de dos sistemas ópticos idénticos colocados uno al lado del otro, cada uno con su propio objetivo y ocular. Los ejes ópticos de los oculares están alineados de manera que coincidan con la distancia interpupilar del usuario, lo que permite una visión binocular cómoda y precisa (Guerrero Giacometti, 2010).

La prueba con estereoscopio incluye los siguientes pasos:

- **Observación de objetos:** El objeto a examinar se coloca debajo del estereoscopio, ya sea directamente sobre la platina del dispositivo o sobre un soporte adecuado. Los objetos examinados pueden incluir detalles en superficies, muestras biológicas, componentes electrónicos, minerales, entre otros.
- **Ajuste y enfoque:** Antes de iniciar la observación, se ajustan los oculares del estereoscopio según la distancia interpupilar del usuario para lograr una visión cómoda y sin fatiga visual.

Luego, se enfoca el objeto moviendo la platina del estereoscopio hacia arriba o hacia abajo hasta obtener una imagen nítida y clara.

- **Visión estereoscópica:** Al observar a través de los oculares del estereoscopio, cada ojo percibe una imagen ligeramente diferente del objeto debido al ángulo de visión proporcionado por los objetivos separados. Esta visión binocular crea una percepción tridimensional del objeto, permitiendo apreciar su estructura, textura y detalles con profundidad.

Las pruebas con estereoscopio se utilizan en diversos campos, como la biología para examinar muestras microscópicas, la geología para estudiar minerales y rocas, la arqueología para analizar artefactos, la electrónica para inspeccionar componentes pequeños, y la joyería para evaluar gemas, entre otros (Cárdenas Quiroga et al., 2015).

6.2.2 Prueba de suelos

La prueba de suelos es un proceso que se realiza para analizar las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo específico y se lleva a cabo de la siguiente manera:

- **Muestreo:** La recolección de muestras representativas del suelo se lleva a cabo seleccionando varios puntos dentro del área de interés y tomando muestras de diferentes profundidades, ya que las propiedades del suelo pueden variar significativamente en función de su ubicación y composición.
- **Preparación de muestras:** Las muestras de suelo recolectadas se preparan para el análisis mediante secado, tamizado para eliminar materiales gruesos o indeseables, y molienda para obtener una muestra homogénea que represente correctamente el suelo en cuestión.
- **Análisis físico:** Se evalúan características como la textura del suelo (arena, limo, arcilla), la densidad aparente y real, la capacidad de retención de agua, la permeabilidad, la estructura del suelo y la presencia de horizontes distintivos (A, B, C).
- **Análisis químico:** Se determinan los nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes como hierro, zinc, cobre, manganeso, entre otros. También se analiza el pH del suelo, la conductividad

eléctrica y la presencia de contaminantes como metales pesados, pesticidas o productos químicos.

- **Análisis biológico:** En pruebas de suelos avanzadas, se evalúa la actividad biológica del suelo, incluyendo la presencia de microorganismos beneficiosos para la fertilidad del suelo, la descomposición de materia orgánica y la presencia de patógenos que puedan afectar la salud de las plantas.
- **Interpretación de resultados:** Una vez completados los análisis, los resultados se interpretan en función de los estándares establecidos para el tipo de suelo y su uso previsto. Se generan informes detallando las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como recomendaciones para su manejo, corrección de deficiencias, fertilización, drenaje, entre otros aspectos (Molina, 2007).

6.2.3 Estudios prospectivos

Los estudios prospectivos son investigaciones en las que se sigue a un grupo de individuos u objetos a lo largo del tiempo para observar y registrar la aparición de ciertos eventos, enfermedades, resultados de intervenciones u otros resultados de interés. A diferencia de los estudios retrospectivos, que analizan eventos pasados, los estudios prospectivos se enfocan en observar y recolectar datos sobre eventos que aún no han ocurrido al momento de iniciar el estudio (Godet & Durance, 2007).

Los estudios prospectivos se llevan a cabo mediante los siguientes pasos:

- **Diseño del estudio:** Se define claramente el objetivo de la investigación, las variables de interés, el objeto de estudio y los criterios de inclusión y exclusión.
- **Selección de la muestra:** Se selecciona una muestra representativa del objeto de estudio que cumpla con los criterios de inclusión del estudio.
- **Recopilación de datos:** Se recopilan datos de línea de base sobre las variables de interés en el momento inicial del estudio. Esto puede incluir información demográfica, antecedentes médicos, exposiciones, comportamientos, etc.

- **Seguimiento a lo largo del tiempo:** Se realiza el seguimiento del objeto de estudio durante el tiempo determinado, recolectando datos periódicamente según lo establecido en el diseño del estudio.
- **Análisis de datos:** Después del período de seguimiento, se analizan los datos recolectados según el objetivo planteado.
- **Interpretación de resultados:** Finalmente, se interpretan los resultados obtenidos y se extraen conclusiones.

6.2.4 Unidades experimentales

Las unidades experimentales son las unidades de análisis asignadas a diferentes grupos o individuos en un experimento. Estas unidades pueden estar conformadas por individuos, grupos de individuos, animales, plantas, objetos o cualquier otra entidad que pueda ser sometida al experimento.

La función principal de las unidades experimentales es proporcionar los datos necesarios para el análisis, permitiendo evaluar si hay o no respuesta o cambios posteriores al proceso de experimentación.

6.3 Procesamiento de las muestras

Observación y análisis inicial de las piezas cerámicas

Una vez se han obtenido las piezas cerámicas, se procede a su observación y análisis mediante un estereoscopio. Este análisis tiene como objetivo identificar manchas, marcas, grietas, colores y tonos en la cerámica, así como cualquier característica que pueda presentar cambios significativos. Esto permite reconocer las condiciones iniciales de las piezas para un correcto seguimiento de los cambios y novedades durante el estudio.

Tipos de piezas cerámicas

En esta investigación se trabajan con dos tipos de piezas cerámicas:

- **Piezas usadas:** Dos piezas utilizadas previamente para cocinar, fabricadas por un alfarero que adquirió su conocimiento trabajando con los indígenas del Cauca. Estas piezas presentan acumulaciones de grasas debido a su uso prolongado en la cocción de alimentos.
- **Piezas nuevas:** Dos piezas fabricadas el año pasado en un curso sobre cerámica y alfarería dirigido por el mismo alfarero mencionado anteriormente. Estas piezas no han sido usadas previamente.

Cada pieza cerámica fue partida en dos partes, de modo que una mitad pudiera ser enterrada durante los experimentos, mientras que la otra mitad se mantuviera en la superficie. Esto permite evaluar las variaciones y cambios al someter las piezas a diferentes ambientes.

Unidades experimentales y zonas de vida

Las unidades experimentales (UE) fueron ubicadas en dos zonas de vida distintas, seleccionadas para ofrecer condiciones ambientales variadas como temperatura, humedad, tipo de suelo y porcentaje de lluvias, entre otros factores. Esto permite analizar los resultados en función de las condiciones específicas de cada lugar.

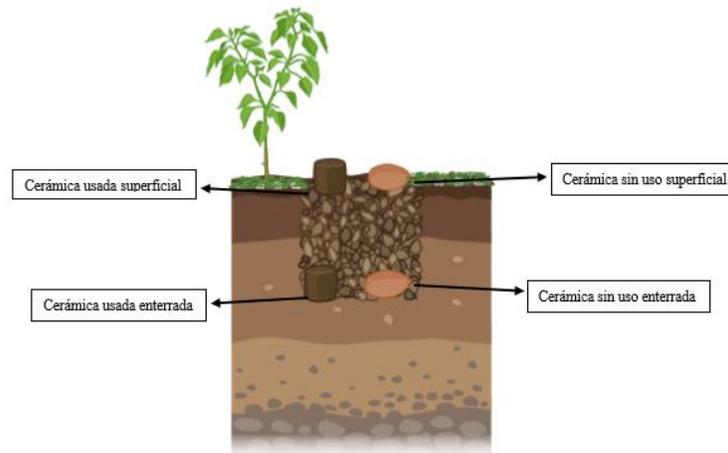
- **Guarne:** Presenta un clima templado a frío, altitud de aproximadamente 2.200 msnm, vegetación de bosque de niebla y alta humedad con constante neblina durante las noches y momentos lluviosos.
- **Olaya (Sucre):** Clima templado a caliente, alta humedad, vegetación de bosque húmedo tropical y altitud de aproximadamente 1.600 msnm.

Cada UE consistió en un pozo de aproximadamente 30 cm x 30 cm y una profundidad entre 35 cm y 45 cm. La vegetación superficial fue despejada con un machete y el capote del suelo se

levantó cuidadosamente con una pala para alcanzar la profundidad necesaria que aún conserva un horizonte A o AB del suelo, similar a los contextos arqueológicos reales (Figura 1).

Figura 1

Esquema unidades experimentales



Implantación de las piezas cerámicas

En cada unidad experimental se colocaron cuatro fragmentos cerámicos:

- Dos fragmentos de una pieza usada previamente.
- Dos fragmentos de una pieza sin uso previo.

Estos fragmentos fueron medidos y fotografiados antes del experimento. Un fragmento usado y uno sin uso se colocaron en el fondo del pozo, se fotografiaron y se cubrieron con la tierra removida. Los otros dos fragmentos se dispusieron en la superficie del pozo y se cubrieron ligeramente con hojas o pasto seco (Figura 2, Figura 3,

Figura 4, Figura 5).

Figura 2
UE Guarne



Figura 3
Profundidad pozo UE Guarne



Figura 4
UE Olaya



Figura 5
Profundidad pozo UE Guarne



Periodo de exposición y recuperación de las piezas

Las piezas cerámicas se dejaron en las unidades experimentales durante ocho meses para permitir la interacción con los factores climáticos, microbiológicos y de temperatura del lugar. Transcurrido este periodo, se retiraron las piezas superficiales con guantes y se guardaron en bolsas Ziploc para evitar contaminación cruzada. Luego, se extrajeron las piezas enterradas con precaución y se almacenaron de la misma manera. Todas las piezas se transportaron al laboratorio y se mantuvieron refrigeradas hasta su análisis.

Análisis en el laboratorio

En el laboratorio, se prepararon los materiales necesarios para el análisis microbiológico:

- 500 mL de agua destilada con 10 g de agar nutritivo (AN).
- 500 mL de agua destilada con 19.5 g de agar papa/dextrosa (PDA).
- 0.09 g de NaCl disueltos en 100 mL de agua destilada para la dilución de muestras.

El material fue esterilizado en autoclave junto con tubos de ensayo, micropuntas de pipeta y cajas Petri. Se dispuso 0.9 mL de la solución salina en los tubos de ensayo y se prepararon las cajas Petri con los medios de cultivo en una cabina de bioseguridad. Se observó cada pieza cerámica para reconocer los cambios postdeposicionales y se realizaron raspados con lanceta estéril en los puntos de interés, obteniendo muestras tanto de la cara interna como de la cara externa de las piezas.

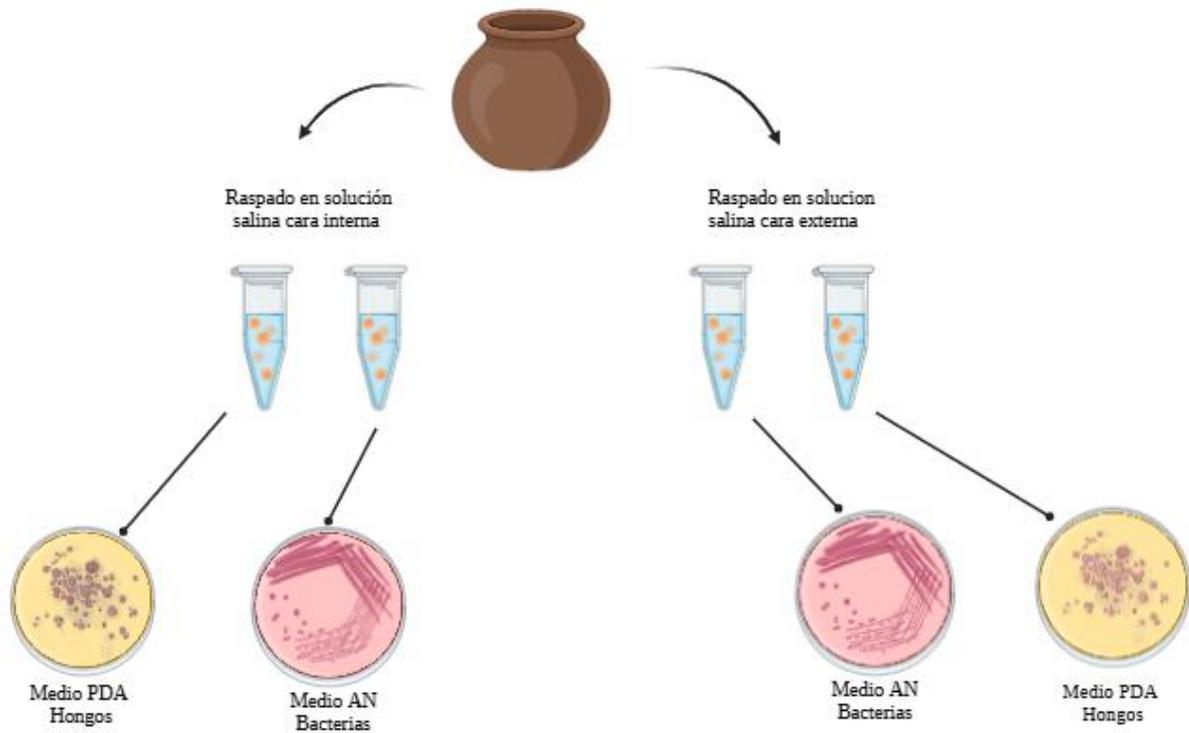
Las muestras se resuspendieron en solución salina 0,9 % utilizando un vortex y se extendieron 100 μ L en las cajas Petri, una con AN para bacterias y otra con PDA para hongos (Figura 6). Este proceso se repitió para todas las muestras. Las cajas fueron incubadas a 30 °C por 24-48 h.

Crecimiento y conteo de microorganismos

Después del periodo de incubación necesario para el crecimiento de microorganismos, se realizó un conteo en cada caja Petri para cuantificar el número de colonias y morfotipos diferentes de microorganismos. Cada morfotipo microbiano se aisló para tener colonias puras de cada una de ellas (Figura 7). Los morfotipos fueron caracterizados según su forma, borde, coloración, textura y elevación.

Figura 6

Esquema gráfico del proceso en el laboratorio para siembra de microorganismos

**Coloración de Gram y observación microscópica**

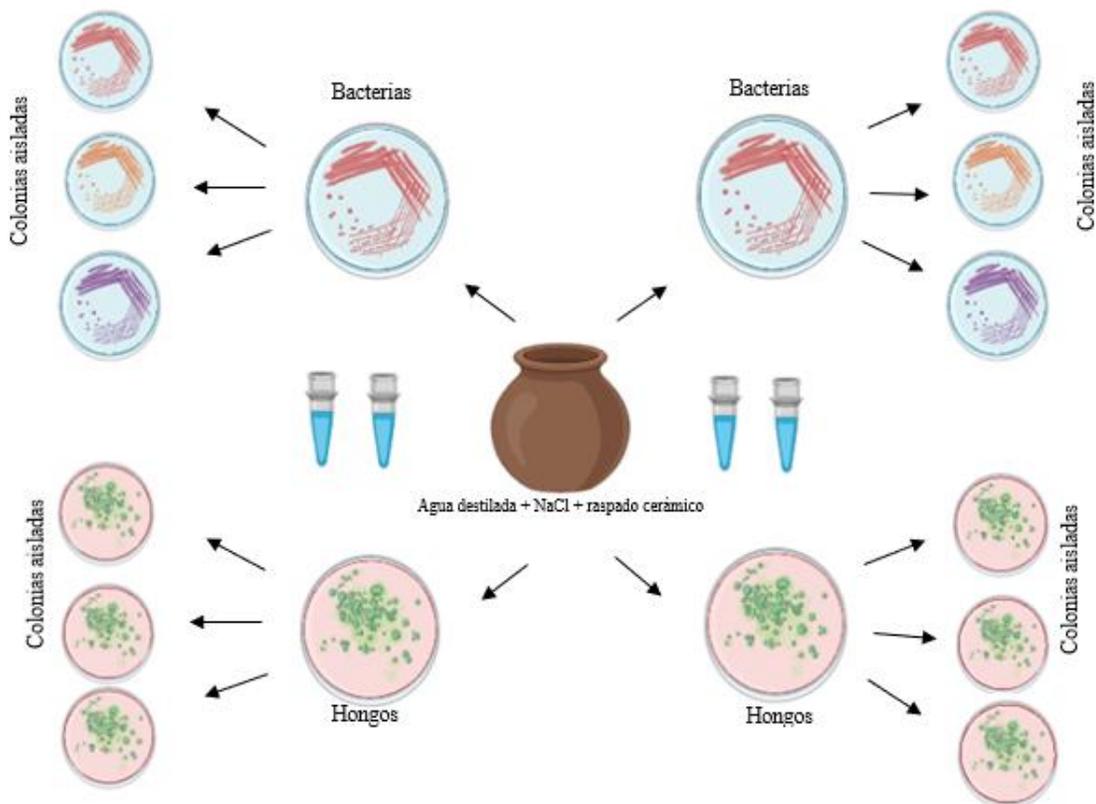
La caracterización microscópica de los morfotipos se realizó mediante las técnicas de coloración de Gram que permite diferenciar la forma (coco, bacilo, cocobacilo, espiroqueta) y la capacidad tintorial de los microorganismos (Gram positivos o Gram negativos), brevemente:

- Se colocó una gota de solución salina o agua destilada en una placa.
- Se mezcló el microorganismo con la gota y se secó la mezcla con calor.
- Se aplicó cristal violeta durante un minuto, se enjuagó y se aplicó lugol.
- Tras un minuto, se enjuagó y se aplicó alcohol acetona por 30 segundos.
- Se enjuagó nuevamente y se aplicó safranina, dejando secar la placa completamente.

Finalmente, las placas se observaron en el microscopio utilizando aceite mineral para determinar las características tintoriales, así como su tamaño y forma.

Figura 7

Esquema gráfico del proceso de siembra y resiembra



7 Resultados

7.1 Guarne

7.1.1 Información sobre la zona de vida

Guarne es un municipio localizado en la subregión oriente del departamento, sus límites son con Copacabana, Girardota y San Vicente por el norte, con San Vicente por el este, con Rionegro por el sur y con el municipio de Medellín por el oeste.

El municipio de Guarne se encuentra ubicado aproximadamente en las coordenadas 6.2807° N -75.4383° O, su cabecera municipal se encuentra en una altitud de 2150 msnm, su temperatura promedio es de 17° C y a una distancia de Medellín de aproximadamente 25 Km (Gobernación de Antioquia, 2023).

Guarne cuenta con una rica historia que se entrelaza desde tiempos antiguos; Guarne es considerado “Un Real de Minas” en el pasado y “La Puerta de Oriente” desde tiempos pasados hasta hoy en día. Los historiadores cuentan que Guarne surge en un punto de explotación aurífera con la presencia de esclavos para extraer minerales, el nombre Guarne proviene de la figura de un cacique del valle de La Mosca, de la tribu Guane que pobló los territorios del actual departamento de Santander y se estableció en la meseta de Rionegro; este cacique junto con su gente contribuyó al intercambio cultural y comercial en el valle, llevando consigo prácticas y manifestaciones de su cultura como lo es el comercio de oro en polvo y la manipulación de objetos de arcilla (Gobernación de Antioquia, 2023).

La palabra “Guarne” aunque parezca extraña para un lugar tan lejano al mar, se refiere a una vuelta que da un cabo alrededor de una pieza. Más allá de su nombre marítimo, el nombre se arraigó en la identidad de la región y en su historia. Sin embargo, durante un breve lapso el municipio llevó el nombre de “Elida” otorgado por el gobernador Dionisio Tejada en 1814, en alusión a la Elida griega, por su clima saludable y tonificante, evocando así un paralelismo entre ambos lugares, sin embargo, en poco tiempo recuperó su primer nombre (Gobernación de Antioquia, 2023).

7.1.2 Caracterización de las piezas cerámicas

Al realizar la observación previa de las piezas cerámicas destinadas a la unidad experimental de Guarne se identifican las siguientes características iniciales (

Figura 8, Figura 9, Figura 10,

Figura 11, Figura 12,

Figura 13, Figura 14, Figura 15,

Figura 16, Figura 17,

Figura 18, Figura 19).

Figura 8

Coloración previa en la CSUG



Figura 9

Coloración previa en la CSUG

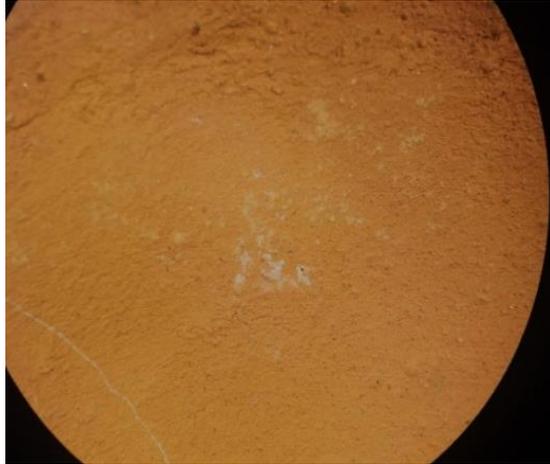


Figura 10
Coloración previa en la CSUG

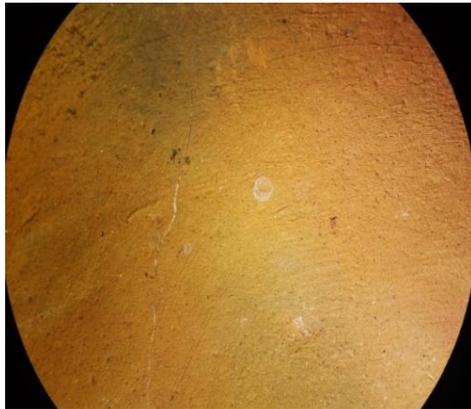


Figura 11
Coloración previa en la CSUG



Figura 12
Cúmulos de grasa en CUG

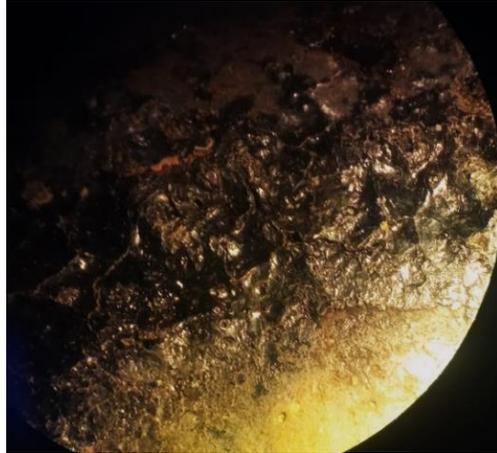


Figura 13
Cúmulos de grasa en CUG

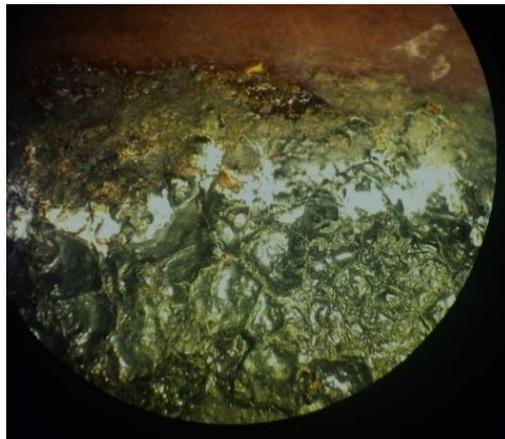


Figura 14
Cúmulos de grasa en CUG

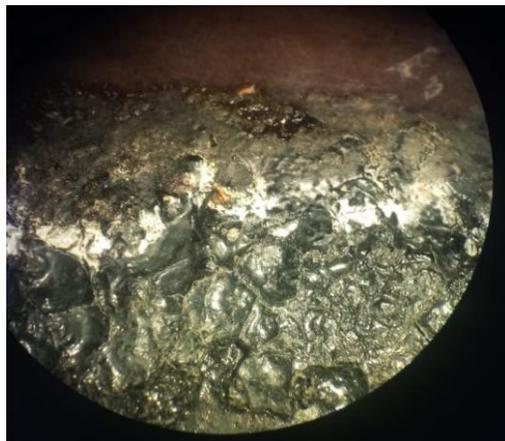


Figura 15

Núcleo y componentes minerales CUG



Figura 16

Marcas hendiduras en el diseño CSUG



Figura 17

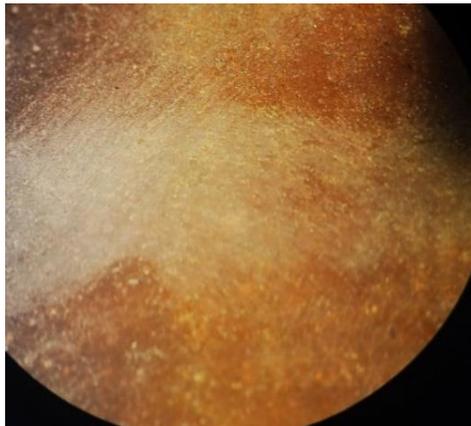
Marcas hendiduras en el diseño CUG



Figura 18
Raspaduras previas en CUG



Figura 19
Raspaduras previas en CUG



7.1.3 Análisis de suelo zona de vida Guarne

El análisis de suelos revela que la zona estudiada presenta una textura predominantemente compuesta por arenas, representando el 79 % del suelo, seguido por limo con un 16 %, y una proporción minoritaria de arcilla, que constituye el 5 %. Esta composición textural influye significativamente en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en su capacidad de retención de agua y nutrientes (Anexos).

En cuanto a la composición química del suelo, se observa un pH ligeramente ácido de 5.8, lo que puede influir en la disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas y microorganismos presentes en el suelo. La presencia de materia orgánica es notable, representando el 14.16 % del suelo, lo que indica un contenido orgánico sustancial. El carbono orgánico constituye el 8.21 % del suelo, lo que sugiere la presencia de materia orgánica en descomposición y la actividad microbiana asociada.

En términos de nutrientes, se registran concentraciones de calcio, magnesio y potasio, con valores de 0.04, 0.10 y 0.12 cmol(+) / kg, respectivamente. Estos nutrientes son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como para mantener la estructura y fertilidad del suelo. La capacidad de intercambio catiónico efectiva se mide en 0.16 cmol(+) / kg, lo que indica la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes para las plantas.

El contenido de fósforo, esencial para el desarrollo de las plantas y la salud del suelo, se registra en 2.02 mg / kg. Esta cantidad puede ser considerada adecuada para el crecimiento vegetal, pero su disponibilidad puede estar influenciada por otros factores del suelo, como el pH y la actividad microbiana.

En resumen, el análisis de suelos proporciona una visión detallada de las características edafológicas de la zona estudiada, incluyendo su textura, composición química y disponibilidad de nutrientes. Estos datos son fundamentales para comprender la salud del suelo, sus capacidades de soporte vegetal, así como para predecir su respuesta a factores de biodeterioro y colonización microbiana.

7.1.4 Recolección final de las piezas en las unidades experimentales

La UE correspondiente a la zona de vida de Guarne se encuentra en las coordenadas GPS 6°20'40"N 75°24'39"O, a una altitud de 2290 msnm. Al llegar al sitio, se observan las piezas superficiales conservadas en su ubicación original y en buenas condiciones. Se procede a

registrarlas fotográficamente para, posteriormente, recolectarlas en bolsas Ziploc utilizando guantes estériles para cada una.

Durante la recolección de la cerámica superficial, se descubre un pequeño nido de hormigas establecido en la concavidad de una de las piezas. Las hormigas son retiradas con precaución y alejadas del lugar antes de la remoción del suelo, con el objetivo de encontrar las cerámicas enterradas (

Figura 20, Figura 21).

Figura 20

Estado de piezas superficiales al momento de recolección



Figura 21

Hallazgo de nido de hormigas bajo la pieza cerámica usada



Durante el proceso de excavación, se destacaron hallazgos importantes, como la presencia de pupas de escarabajo a profundidades de 20 cm y 30 cm aproximadamente. Este descubrimiento es significativo tanto para el estudio del desarrollo biológico del suelo como para las implicaciones arqueológicas y de bioconservación que estos organismos conllevan. La excavación se realiza con

precaución hasta encontrar las piezas cerámicas enterradas, las cuales se extraen siguiendo el mismo procedimiento utilizado para las piezas superficiales (Figura 22, Figura 23).

Figura 22

Presencia de pupas de escarabajo



Figura 23

Piezas enterradas



7.1.5 Análisis de las unidades experimentales Guarne

Utilizando una lanceta, se retiró cuidadosamente la tierra superficial de las piezas cerámicas (Figura 24). Luego, se tomaron registros fotográficos de cada pieza, seleccionando zonas específicas de sus caras interna y externa que mostraron cambios, coloraciones o rasgos

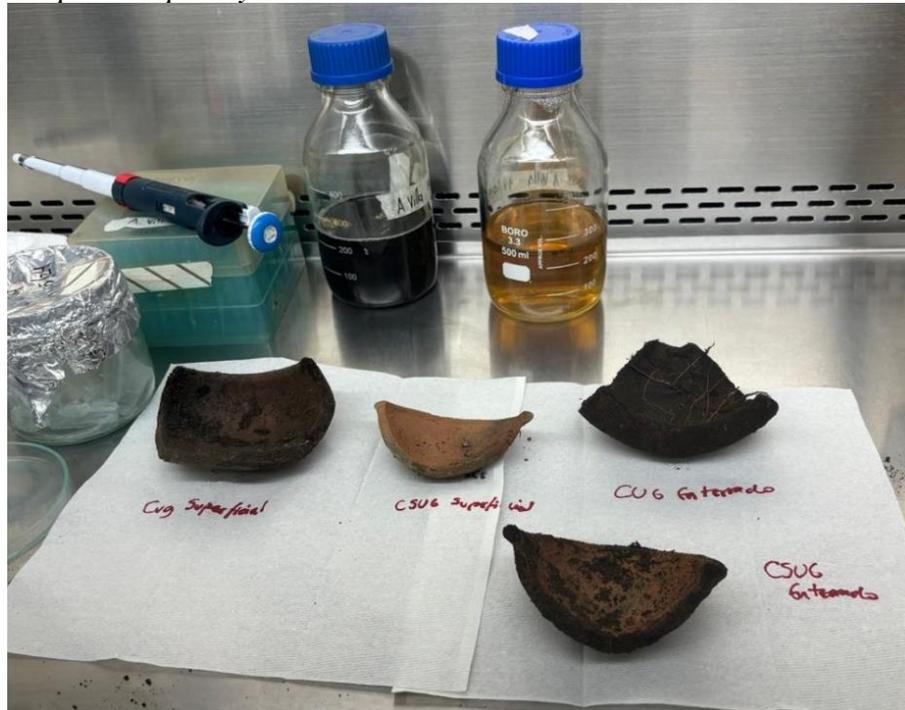
interesantes, tanto nuevos como existentes. En estos puntos seleccionados, se realizó un raspado, depositando el material recolectado en los tubos correspondientes, diferenciando entre la cara interna y externa de cada pieza.

En la pieza cerámica enterrada se observó el crecimiento y la adherencia de pequeñas raíces
(

Figura 25). Una vez retiradas, estas raíces dejaron marcas claramente visibles que evidencian un deterioro de la pieza. Exceptuando este hallazgo, no se presentaron otros cambios visibles o notables en las cerámicas. A continuación, se señalan algunas de las marcas producidas por las raíces en la pieza cerámica.

Figura 24

Cerámicas listas para raspado y remoción de suelo



Nota. Orden: CUS borde superior izquierdo, CSUS centro superior, CUE borde superior derecho, CSUE parte inferior.

Figura 25
Marcas causadas por raíces



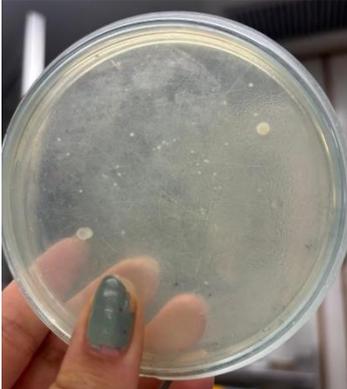
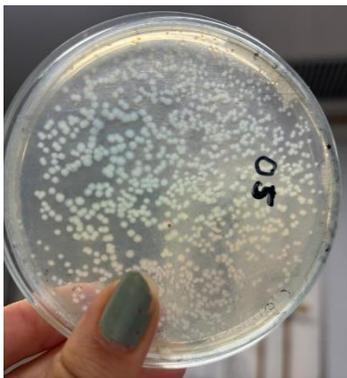
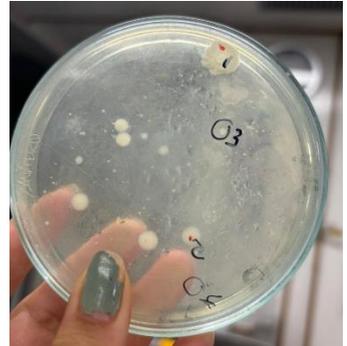
En cada caja Petri con el medio de cultivo correspondiente, se coloca una muestra de raspado de la superficie de cada cerámica. Con la ayuda de un asa de Drigalski, se esparce la muestra por toda la superficie del medio. Posteriormente, se espera un mínimo de 24 horas para revisar las muestras en agar nutritivo y 48 horas para las muestras en PDA. Una vez se ha producido el crecimiento microbiano, se obtienen los siguientes resultados:

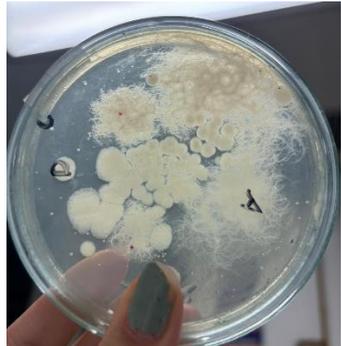
7.1.6 Resultados cultivos bacterianos de Guarne

Transcurridas 24 horas desde la siembra en agar nutritivo (AN) para el crecimiento de bacterias, se procedió a tomar cada muestra y cuantificar tanto el número de colonias de microorganismos presentes como la cantidad de morfotipos diferentes. Los resultados se registran en la Tabla 1 Recuento bacteriano en agar nutritivo.

Tabla 1
Recuento bacteriano en agar nutritivo

Muestra	Imagen	Número de microorganismos adheridos a la muestra	Número de morfotipos microbianos diferentes en la muestra

<p>Cerámica usada superficial cara interna</p>		<p>58×10^1</p>	<p>6</p>
<p>Cerámica usada superficial cara externa</p>		<p>46×10^1</p>	<p>3</p>
<p>Cerámica sin uso superficial cara interna</p>		<p>103×10^1</p>	<p>4</p>
<p>Cerámica sin uso superficial cara externa</p>		<p>200×10^2</p>	<p>3</p>
		<p>118×10^1</p>	<p>4</p>

<p>Cerámica usada enterrada cara interna</p>			
<p>Cerámica usada enterrada cara externa</p>		<p>129 x10¹</p>	<p>4</p>
<p>Cerámica sin uso enterrada cara interna</p>		<p>113 x10¹</p>	<p>3</p>
<p>Cerámica sin uso enterrada cara externa</p>		<p>36 x10¹</p>	<p>4</p>

Una vez finalizado este proceso, se analizaron los resultados de cada cara (interna y externa) de cada pieza para identificar si comparten los mismos morfotipos. Los morfotipos similares de ambas caras se agruparon para cada pieza. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2
Cuantificación tipos de microorganismos según cerámica

Muestra	Número de morfotipos diferentes
Cerámica usada superficial	6
Cerámica sin uso superficial	5
Cerámica usada enterrada	5
Cerámica sin uso enterrada	6

Una vez identificada la cantidad de morfotipos por pieza, se procedió a hacer una descripción macroscópica de cada colonia. Los resultados se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3
Descripción morfológica de colonias en AN

Cultivo	#	Tamaño			Borde		Transparencia		Brillo		Color	Elevación				Nota	
		G	M	P	R	I	T	O	B	S		L	PI	PU	V		
Cerámica usada superficial	1		X		X			X		X	-		X				
	2		X		X			X	X		-	X					Textura cremosa
	3	X				X		X		X	-		X				
	4	X				X		X		X	-		X				Al entrar en contacto con el asa se torna brillante
	5			X	X		X		X		-	X					
	6			X	X			X	X		-			X			
Cerámica sin uso superficial	1	X				X		X		X	-		X				Al entrar en contacto con el asa se torna brillante
	2		X		X			X	X		-		X				
	3			X	X		X		X		-	X					
	4			X	X		X		X		-	X					
	5			X	X			X	X		-	X					

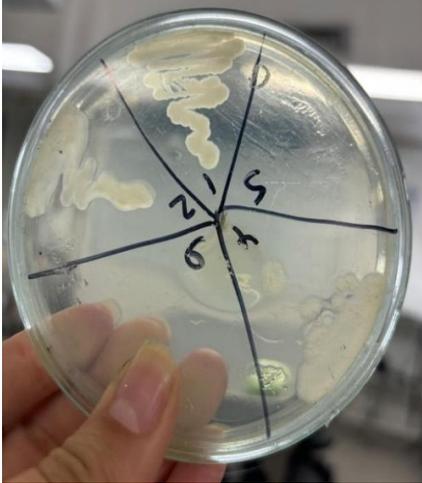
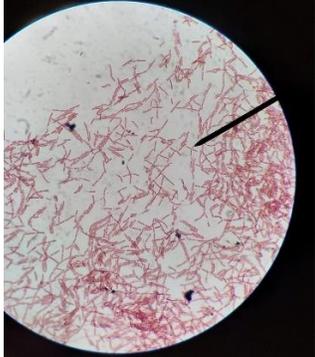
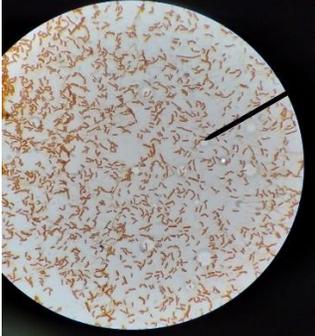
Cerámica usada enterrada	1	X			X		X		X	-		X			
	2		X		X		X		X	-		X			
	3		X		X		X		X	-	X				
	4	X			X		X		X	-		X			
	5		X		X		X		X	-	X				
Cerámica sin uso enterrada	1	X				X		X		X	-		X		Al entrar en contacto con el asa se torna brillante
	2		X		X			X		X	-		X		
	3			X	X		X		X		-	X			
	4			X	X			X	X		-	X			
	5		X			X		X	X		-	X			
	6	X				X		X		X	-		X		

G: Grande. M: Mediana. P: Pequeña. R: Regular. I: Irregular. T: Transparente. O: Opaca. L: Levantada. Pl: Plana. PU: Puntiforme.

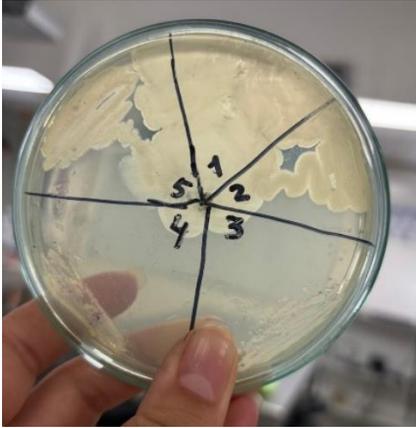
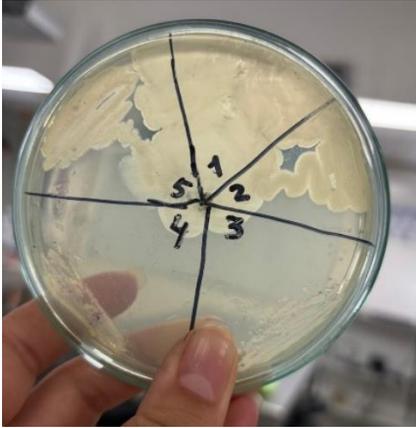
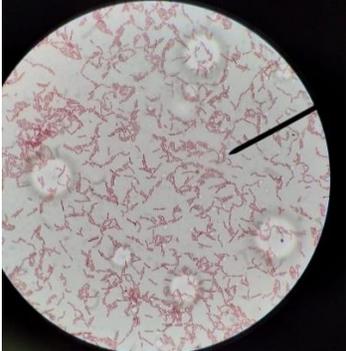
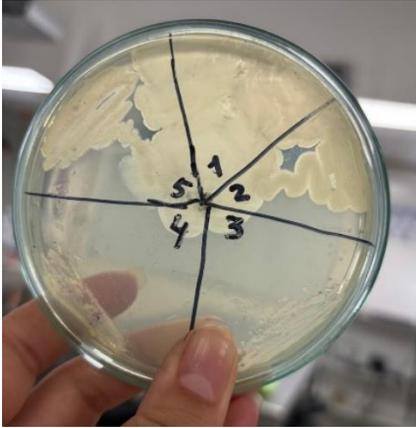
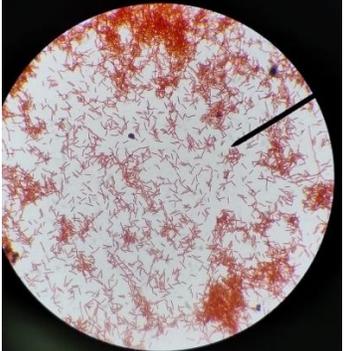
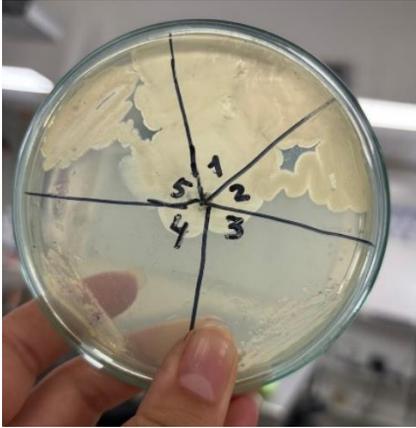
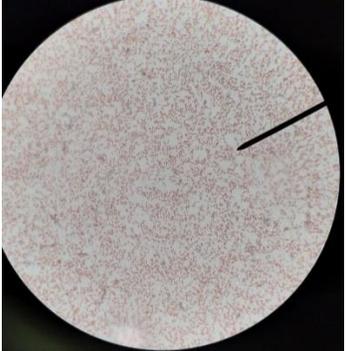
Luego de la caracterización macroscópica de las colonias, se procedió con la caracterización microscópica de los morfotipos. Para esto, se analizaron colonias aisladas puras de los morfotipos mediante la coloración de Gram. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en este proceso en la Tabla 4.

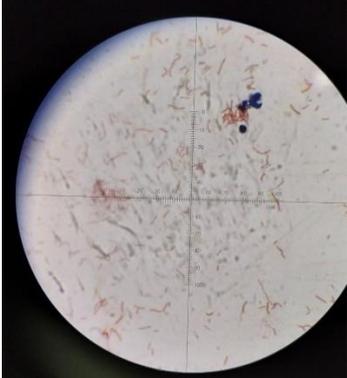
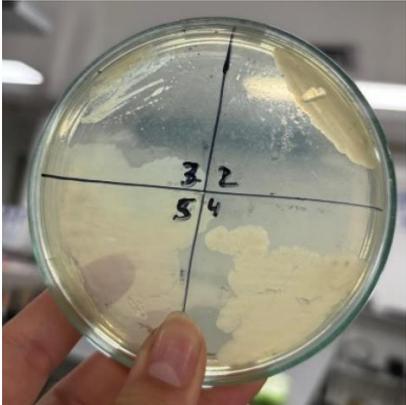
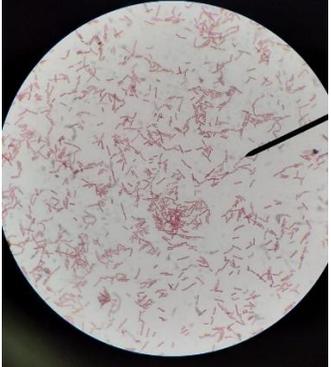
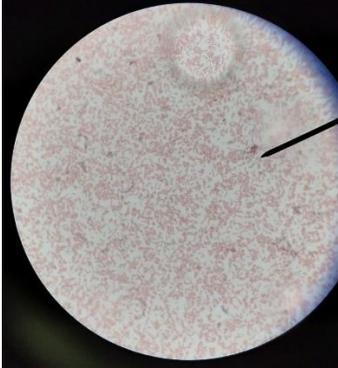
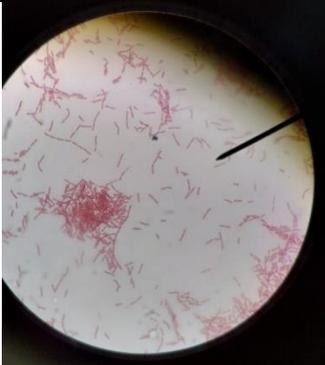
Caracterización microscópica de los morfotipos bacterianos

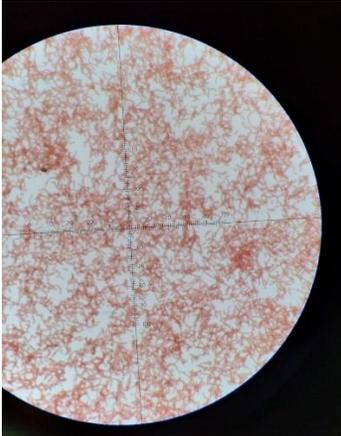
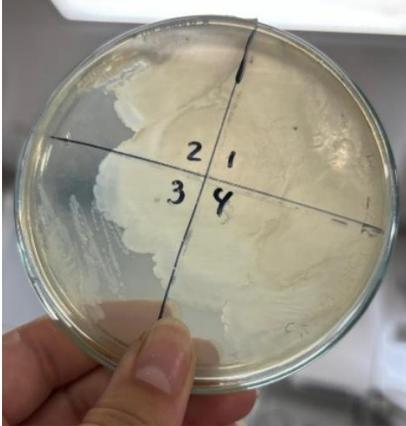
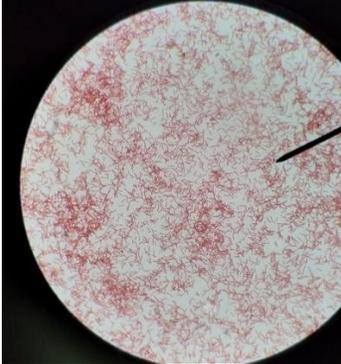
Tabla 4
Aislamiento de morfotipos bacterianos

Muestra	#	Imagen	Características tintoriales y microscópicas	Imagen en microscopio
Cerámica usada superficial	1		Bacilos Gram positivo esporulados grandes	
	2		Bacilos Gram positivo grandes	
	3		<i>Streptomyces</i>	Estructuras filamentosas alargadas
	4		Bacilos Gram positivo	
	5		No presenta crecimiento	-
	6		No presenta crecimiento	-

Cerámica
sin uso
superficial

1		Bacilos Gram positivo	
2		Bacilos Gram positivo esporulados grandes	
3		Bacilos Gram negativo	
4		Bacilos Gram negativo pequeños	

	5		Bacilos Gram positivo esporulados grandes	
Cerámica usada enterrada	1		<i>Streptomyces</i>	Estructuras filamentosas alargadas
	2		Bacilos Gram positivo esporulados grandes	
	3		Bacilos Gram negativo pequeños	
	4		Bacilos Gram positivo esporulados grandes	

	5		Bacilos Gram negativo	
Cerámica sin uso enterrada	1		Mucosa	Indeterminado
	2		Gram positivo esporulados grandes	
	3		Bacilos Gram negativo	
	4		Mucosa	Indeterminado
	5		Mucosa	Indeterminado
	6		<i>Streptomyces</i>	Estructuras filamentosas alargadas

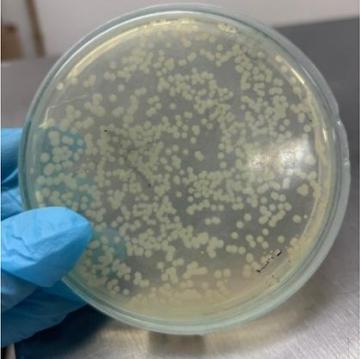
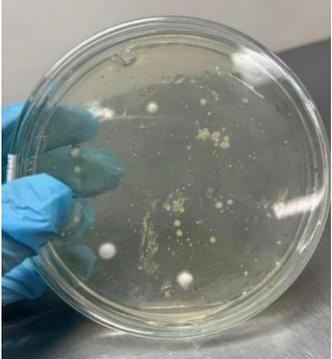
7.1.7 Resultados cultivos fúngicos

Para el análisis de crecimiento de hongos, las muestras fueron sembradas en medio PDA por 48 horas. El recuento y caracterización macroscópica de sus colonias se realizó de la misma manera que el de las bacterias y los resultados se registran en la Tabla 5. Las colonias de los hongos

se caracterizan por ser de crecimiento lento, lo cual genera que sus cualidades macroscópicas cambien en el tiempo. En la tabla se relaciona la variación de dichas colonias pasadas las 48 horas de cultivo (72 horas).

Tabla 5
Cuantificación de colonias de hongos de Guarne en PDA

Muestra	Imagen	Número de microorganismos adheridos a la muestra	Número de morfotipos microbianos diferentes en la muestra
Cerámica usada superficial cara interna		39 x10 ¹ Mohos	1
Cerámica usada superficial cara externa		9 x10 ¹ Mohos 7 x10 ¹ Levaduras	2 3

<p>Cerámica sin uso superficial cara interna</p>		<p>No se presenta crecimiento de hongos</p>	<p>No se presenta crecimiento de hongos</p>
<p>Cerámica sin uso superficial cara externa</p>		<p>7×10^1 Mohos</p>	<p>1</p>
<p>Cerámica usada enterrada cara interna</p>		<p>8×10^1 Mohos</p>	<p>3</p>
<p>Cerámica usada enterrada cara externa</p>		<p>80×10^1 Mohos</p>	<p>4</p>

<p>Cerámica sin uso enterrada cara interna</p>		<p>22 x10¹ Mohos</p>	<p>2</p>
<p>Cerámica sin uso enterrada cara externa</p>		<p>3 x10¹ Mohos</p>	<p>3</p>

La Tabla 6 resume las características macroscópicas de las colonias de cada morfotipo:

Tabla 6

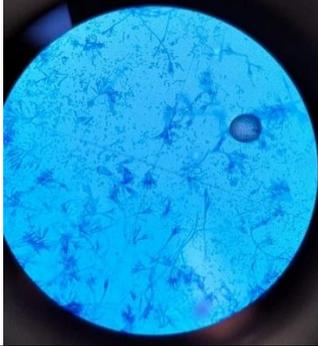
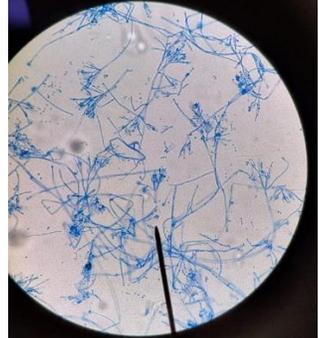
Descripción macroscópica de hongos de Guarne en PDA

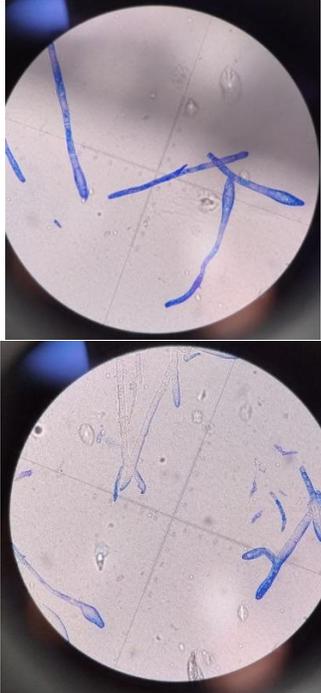
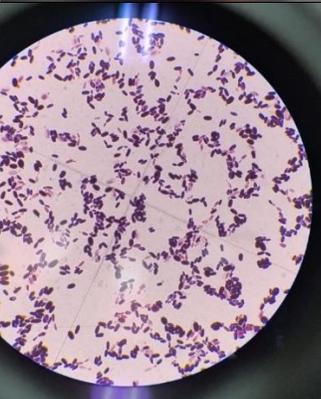
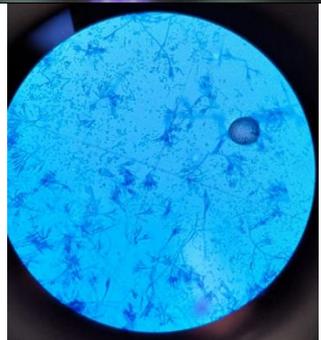
Muestra	#	Tipo		Color	Textura	Brillo		Borde		Información adicional
		M	L			B	S	R	I	
Cerámica usada superficial	1	X		Verde	Aterciopelado					
	2	X		Sin color						Opaco
	3	X		Naranja pastel	Aterciopelado					
	4		X	Fucsia		X		X		Mediana
Cerámica sin uso superficial	1	X		Verde	Aterciopelado					
Cerámica usada enterrada	1	X		Verde	Aterciopelado					
	2	X		Blanco	Aterciopelado					
	3	X		Blanco centro rojizo	Aterciopelado					

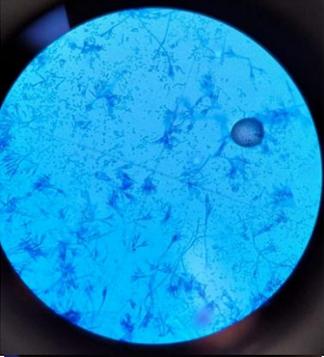
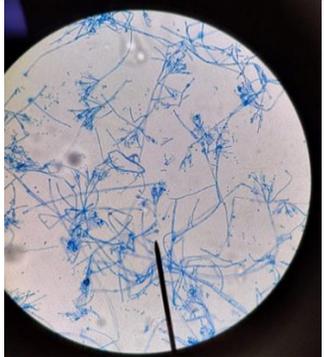
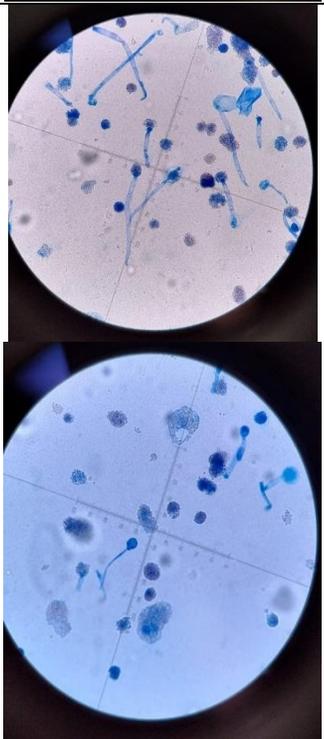
	4			Sin color						Opaco
Cerámica sin uso enterrada	1	X		Verde	Aterciopelado					
	2	X		Sin color						Opaco
	3	X		Naranja pastel						
	4	X		Blanco centro rojizo	Aterciopelado					
	5	X		Blanco	Aterciopelado					

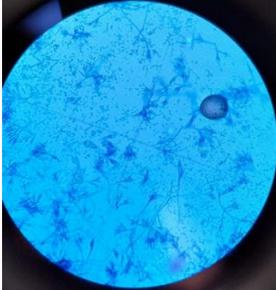
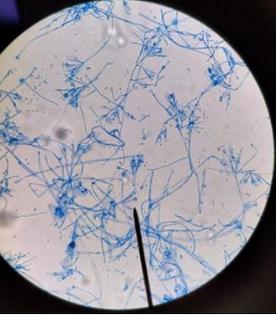
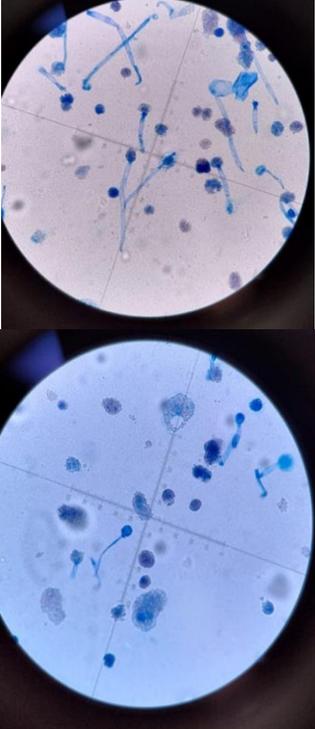
Por las características celulares de los hongos, su caracterización microscópica se realiza mediante una observación directa al microscopio con la coloración de azul de lactofenol. Los resultados muestran que un mismo morfotipo estuvo presente en varias unidades experimentales (Tabla 7). De este proceso se obtienen los siguientes datos:

Tabla 7
Aislamiento de morfotipos fúngicos Guarne

Muestra	#	Características microscópicas	Imagen en microscopio
Cerámica usada superficial	1	<i>Penicillium</i> sp.	
		<i>Penicillium</i> sp.	

	<p>Estructuras fúngicas</p>	
	<p><i>Rodothorula</i> sp.</p>	
<p>Cerámica sin uso superficial</p>	<p><i>Penicillium</i> sp.</p>	

<p>Cerámica usada enterrada</p>		<p><i>Penicillium</i> sp.</p>			
		<p><i>Penicillium</i> sp.</p>			
		<p><i>Mucor</i> sp.</p>			

<p>Cerámica sin uso enterrada</p>		<p><i>Penicillium</i> sp.</p>			
		<p><i>Penicillium</i> sp.</p>			
		<p>Mucor</p>			

	Estructuras fúngicas	
--	----------------------	--

7.2 Olaya

7.2.1 Información sobre la zona de vida

Olaya es un municipio ubicado en la subregión Occidente, con coordenadas 6°37'40"N 75°48'43"O. Limita al norte con Liborina, al este con Belmira y Sopetrán, al sur con Sopetrán y al oeste con Santa Fe de Antioquia. Su cabecera municipal se encuentra a 100 km de distancia de Medellín, y su extensión es de 90 km², lo que lo convierte en el municipio más pequeño de la subregión. Además, es considerado uno de los municipios más antiguos del departamento (Gobernación de Antioquia, 2018).

Desde el punto de vista ecológico, la zona de vida del municipio de Olaya está compuesta por bosque Seco Tropical en la zona baja (cabecera y Sucre), bosque Húmedo Premontano y Bosque muy húmedo Premontano en las partes medias (Piñones y Llanadas). En las zonas montañosas, predomina el bosque muy Húmedo Premontano y el bosque muy Húmedo montano bajo (Gobernación de Antioquia, 2018).

En cuanto a la flora y fauna de la zona, podemos encontrar árboles como algarrobo, almendro, amolao, caracolí, cascarillo, matarratón, uña de gato y diversos frutales. En cuanto a la

fauna, hay ardillas, armadillos o gurre, bagres, barbudos, bocachicos, búhos, conejos de monte, gallinetas, gavilanes, guacharacas, iguanas, lanchos, pavos de agua, torcazas y torrejanos (Gobernación de Antioquia, 2018).

El municipio de Olaya se caracteriza por tener tres grandes unidades productivas: zonas cafeteras, zonas frutícolas y zonas ganaderas. Durante la época de la conquista, este territorio estuvo habitado por los indios Nutabes y Tahamíes, quienes entraron en conflicto con los conquistadores. Tras numerosas batallas y enfrentamientos, los conquistadores lograron expulsar a las comunidades que aún permanecían allí y no habían escapado a las profundidades de las selvas de Sopetrán (Gobernación de Antioquia, 2018).

7.2.2 Caracterización de las piezas cerámicas

Al realizar la observación inicial de las piezas cerámicas destinadas a la unidad experimental de Olaya, se identifican las siguientes características (Figura 26, Figura 27,

Figura 28, Figura 29,

Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33).

Figura 26

Marcas hendiduras en el diseño CSUO



Figura 27

Coloración previa en la CSUO



Figura 28

Coloración previa en la CUO

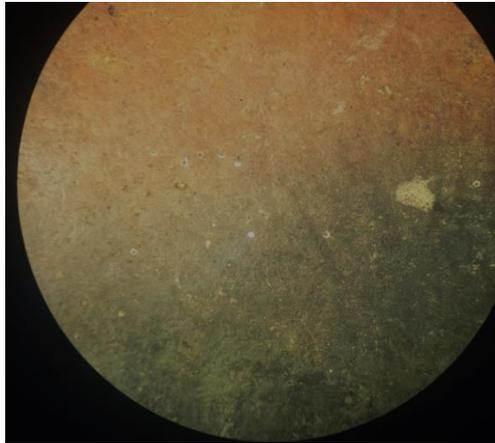


Figura 29

Coloración y marca previa en la CUO



Figura 30

Marcas de grasa en la CUO

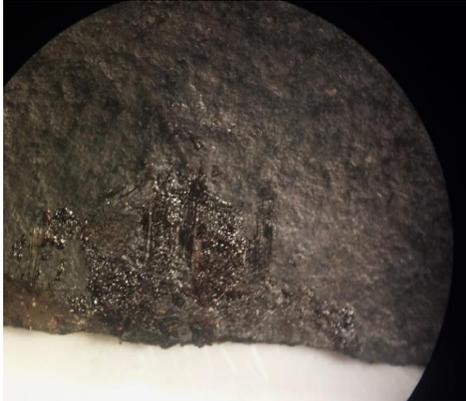


Figura 31

Marcas hendiduras en el diseño en la CUO

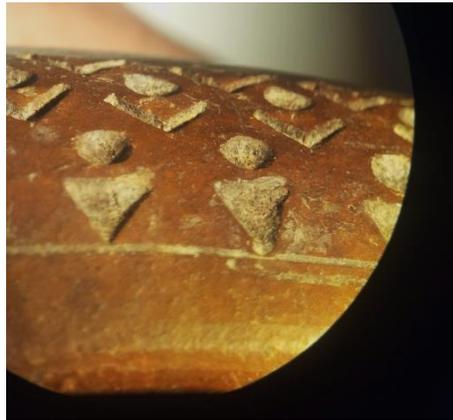


Figura 32

Marcas de grasa en la CUO

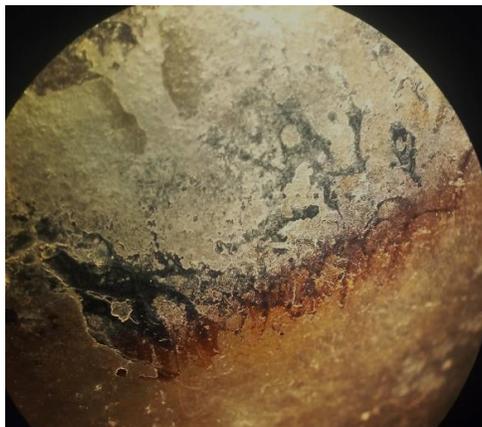
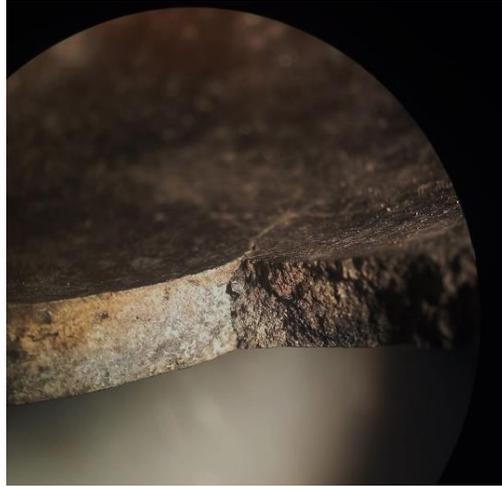


Figura 33

Núcleo y componentes minerales CUO

**7.2.3 Análisis de suelo zona de vida Olaya**

El análisis del suelo revela que la zona estudiada presenta una textura predominantemente compuesta por arenas, representando el 80 % del suelo, seguido por limo con un 14 %, y una proporción minoritaria de arcilla, que constituye el 6 %. Esta composición textural tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en su capacidad de retención de agua y nutrientes (Anexo 2).

En términos de la composición química del suelo, se observa un pH ligeramente ácido de 6.7, lo que puede influir en la disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas y los microorganismos presentes en el suelo. La presencia de materia orgánica es muy reducida, representando solo el 1.09 % del suelo. El carbono orgánico constituye el 0.63 % del suelo, lo que sugiere una baja presencia de materia orgánica en descomposición y actividad microbiana asociada.

En cuanto a los nutrientes, se registran concentraciones de calcio, magnesio y potasio, con valores de 4.60, 1.97 y 0.17 cmol(+) / kg, respectivamente. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como para mantener la estructura y fertilidad del suelo. La capacidad de intercambio catiónico efectiva se mide en 6.74 cmol(+)/kg, lo que indica la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes para las plantas.

El contenido de fósforo, vital para el desarrollo de las plantas y la salud del suelo, se registra en 47.02 mg/kg, lo que representa un beneficio significativo para el crecimiento de la vegetación en el área estudiada.

7.2.4 Recolección final de las piezas en las unidades experimentales

La unidad experimental correspondiente a la zona de vida Olaya/Sucre se encuentra en la ubicación GPS 6°35'43"N 75°47'49"O, a una altitud de 490 msnm. Al llegar al lugar donde se había establecido la unidad experimental, se observa un movimiento de tierra y rocas pequeñas en la zona y sus alrededores, lo que causó que las piezas dispuestas superficialmente ya no se encontraran en su ubicación inicial. La cerámica sin uso superficial (CSUS) fue encontrada a menos de 30 cm del lugar con facilidad, por lo que se procedió, con precaución, a recolectarlas y disponerlas en bolsas Ziploc (Figura 34). Posteriormente, se almacenaron en una nevera para mantenerlas refrigeradas.

Figura 34

Pieza superficial cercana al sitio de disposición inicial



Debido a que no se identificó la pieza superficial faltante (cerámica usada superficial (CUS)) tras un barrido superficial en la zona, se decidió iniciar la excavación para la recolección de las piezas enterradas (Figura 35). La excavación se llevó a cabo con gran facilidad gracias al tipo de suelo presente en la zona, el cual es muy arenoso y poco compacto. Esto permitió que el suelo fuera fácilmente removido. Además, se observó un alto contenido de rocas medianas y grandes, y no se encontraron indicios de otros organismos que habiten este tipo de suelo, como lombrices, escarabajos o sus pupas.

Una vez se han localizado las piezas enterradas, se realiza el registro fotográfico y se procede a su recolección siguiendo los parámetros establecidos previamente y aplicados en las recolecciones anteriores. Después de esto, se rellena el pozo con la tierra removida anteriormente.

Al finalizar esta tarea, se cubre el área con una mezcla de hojas secas y tierra que rodea la zona. Fue durante este proceso que, al mover unas hojas secas aproximadamente a un metro del lugar donde se había realizado el pozo de sondeo de la unidad experimental, se encontró la pieza superficial que faltaba (Figura 34). Como se mencionó previamente, esta pieza había sido arrastrada y desplazada de su ubicación original debido a las lluvias y otros factores externos. Se procedió entonces a su recolección final.

Figura 35

Pozo para la recolección de piezas enterradas



Una vez se han localizado las piezas enterradas, se realiza el registro fotográfico y se procede a su recolección siguiendo los parámetros establecidos previamente y aplicados en las recolecciones anteriores (Figura 36). Después de esto, se rellena el pozo con la tierra removida anteriormente. Al finalizar esta tarea, se cubre el área con una mezcla de hojas secas y tierra que rodea la zona. Fue durante este proceso que, al mover unas hojas secas aproximadamente a un metro del lugar donde se había realizado el pozo de sondeo de la unidad experimental, se encontró la pieza superficial que faltaba (Figura 37). Como se mencionó previamente, esta pieza había sido

arrastrada y desplazada de su ubicación original debido a las lluvias y otros factores externos. Se procedió entonces a su recolección final.

Figura 36

Hallazgo piezas enterradas



Figura 37

Hallazgo CUSO entre hojarasca



7.2.5 Análisis de las unidades experimentales Olaya

Las UE de Olaya fueron analizadas con los mismos procedimientos y protocolos descritos en los puntos 6.1.5 y 6.1.6. Los registros fotográficos y tablas de resumen se detallan a continuación. La Figura 38 muestra un registro fotográfico de Las UE.

Figura 38

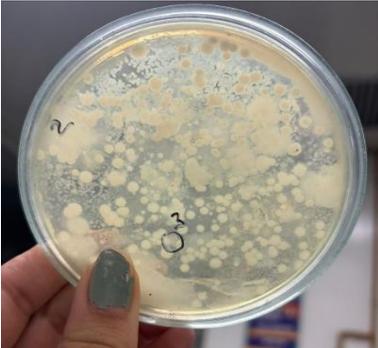
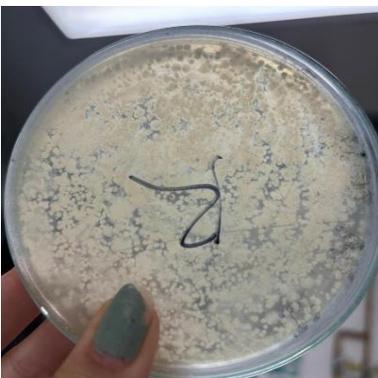
Cerámicas listas para raspado y remoción de suelo



7.2.6 Resultados cultivos bacterianos de Olaya

La Tabla 8 resume el recuento de las colonias bacterianas aisladas en las UE de Olaya siguiente tabla:

Tabla 8
Recuento bacteriano en agar nutritivo Olaya

Muestra	Imagen	Número de microorganismos adheridos a la muestra	Número de morfotipos microbianos diferentes en la muestra
Cerámica usada superficial cara interna		53 x10 ²	3
Cerámica usada superficial cara externa		180 x10 ²	4
Cerámica sin uso superficial cara interna		Incontable x10 ³	Sobrecrecimiento que impide el recuento.
Cerámica sin uso superficial cara externa		Incontable x10 ⁴	Sobrecrecimiento que impide el recuento.

			
<p>Cerámica usada enterrada cara interna</p>		<p>212 x10¹</p>	<p>4</p>
<p>Cerámica usada enterrada cara externa</p>		<p>191 x10¹</p>	<p>4</p>
<p>Cerámica sin uso enterrada cara interna</p>		<p>150 x10²</p>	<p>4</p>

Cerámica sin uso enterrada cara externa



172 x10¹

4

La Tabla 9 muestra un recuento total de morfotipos independiente de la cara de la pieza:

Tabla 9
Cuantificación tipos de microorganismos según cerámica

Muestra	Número de morfotipos diferentes
Cerámica usada superficial	4
Cerámica sin uso superficial	Incontable
Cerámica usada enterrada	4
Cerámica sin uso enterrada	4

Debido al abundante crecimiento de microorganismos en la cerámica sin uso superficial, lo cual dificultaba su identificación y cuantificación, se realizó un reislamiento de los mismos, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 10).

Tabla 10
Reislamiento de colonias Olaya

Muestra	Imagen	Número de morfotipos diferentes
Cerámica sin uso superficial cara externa	A photograph of a petri dish held by a hand. The agar surface shows several distinct, elongated bacterial colonies. Some are yellowish and others are more translucent. There are handwritten markings on the agar, including the name 'Olaya' and some numbers like '30' and '10'.	3

Cerámica sin uso superficial cara externa



2

Una vez se ha identificado la cantidad de morfotipos por pieza, se procede a describir cada uno de ellos de forma cualitativa (Tabla 11). Luego se reúnen los resultados en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 11

Descripción morfológica de colonias en AN

Cultivo	#	Tamaño			Borde		Transparencia		Brillo		Color	Elevación				Nota
		G	M	P	R	I	T	O	B	S		L	P	PU	V	
Cerámica usada superficial	1	X				X	X		X		-		X			Placa presenta velo
	2	X				X	X			X	-		X			Placa presenta velo
	3			X	X		-	-	X		Rojo		X			Placa presenta velo
	4		X		X			X	X		-	X				Placa presenta velo
Cerámica sin uso superficial	1		X		X		X		X		-	X				
	2		X		X			X		X	-		X			
	3	X				X		X		X	-		X			
Cerámica usada enterrada	1	X				X	X		X		-		X			Placa presenta velo
	2		X		X			X		X	-	X				Placa presenta velo
	3	X				X		X		X	-		X			Placa presenta velo
	4		X			X		X		X	-		X			Placa presenta velo
	5		X		X		X		X		-	X				Placa presenta velo
Cerámica sin uso enterrada	1	X				X		X		X	-		X			
	2		X		X			X		X	-				X	
	3		X		X		X		X		-	X				
	4	X				X	X		X		-		X			

G: Grande. M: Mediana. P: Pequeña. R: Regular. I: Irregular. T: Transparente. O: Opaca. L: Levantada. Pl: Plana
 PU: Puntiforme.

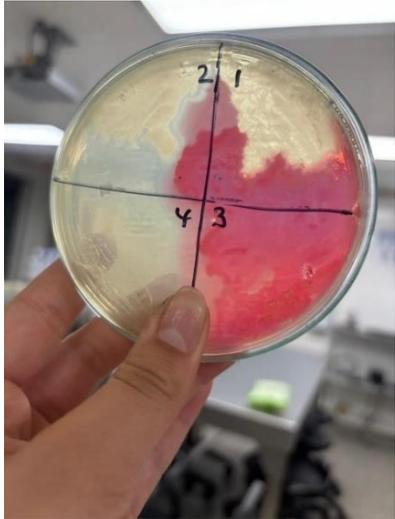
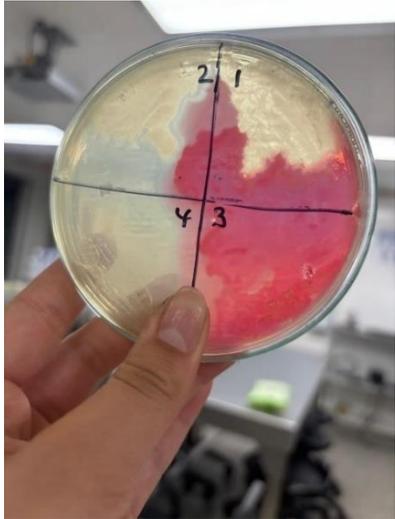
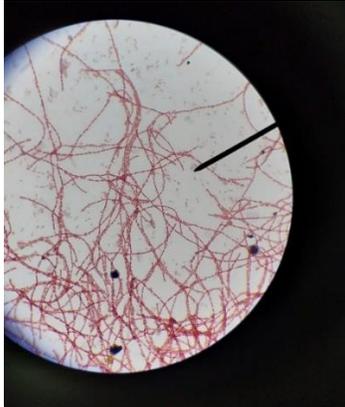
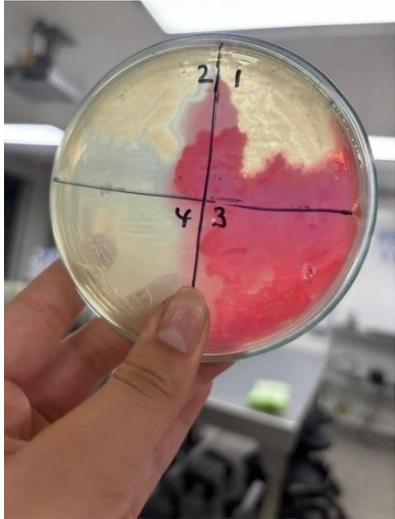
Finalmente, cada uno de estos morfotipos es reaislado en nuevas cajas Petri con AN. Pasadas 24 horas, se realiza el montaje en las placas de cada morfotipo que presenta crecimiento,

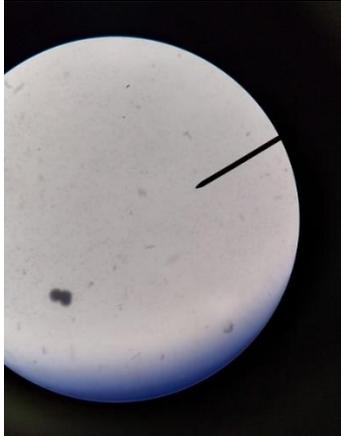
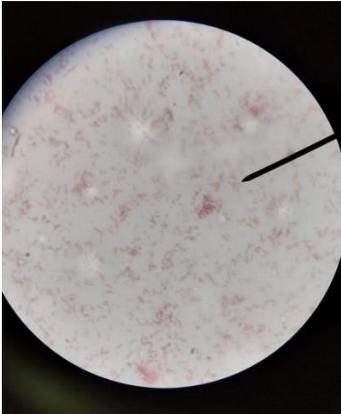
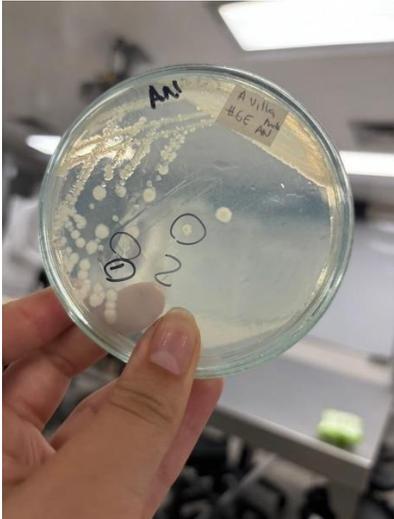
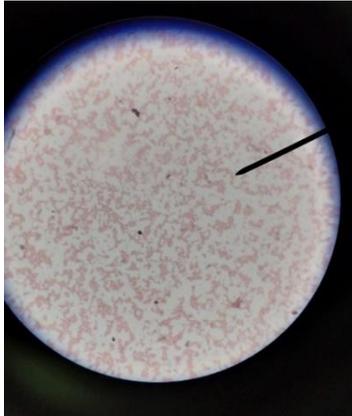
y se lleva a cabo la tinción de Gram (Tabla 12). En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en este proceso:

Aislamiento de los morfotipos

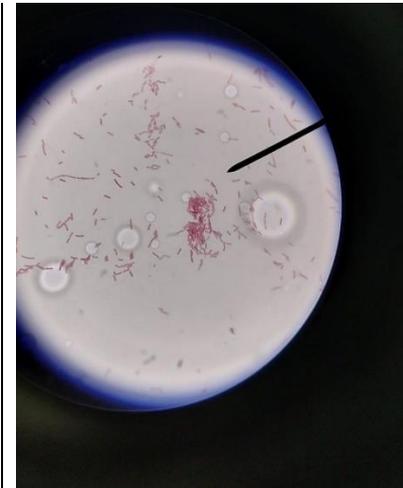
Tabla 12

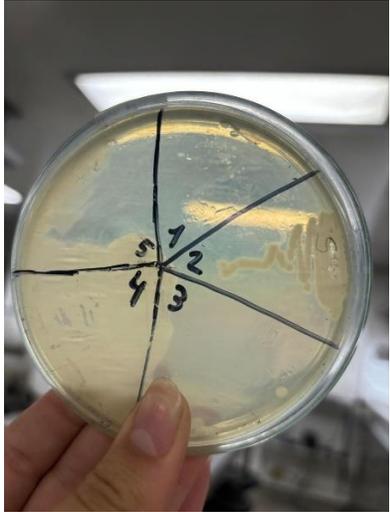
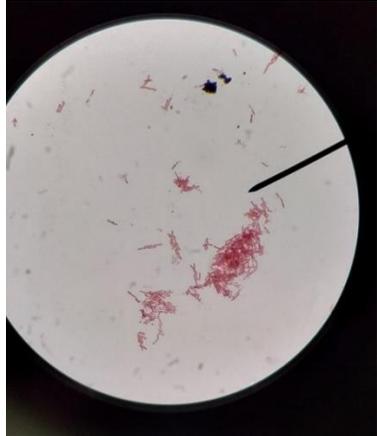
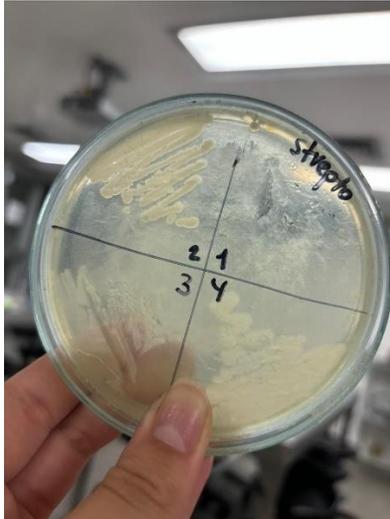
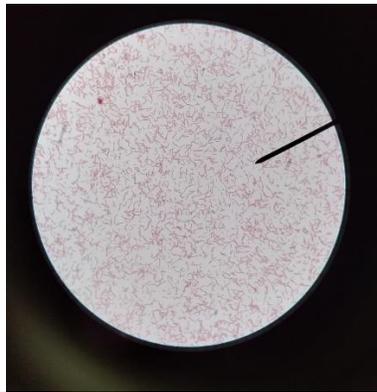
Aislamiento de morfotipos

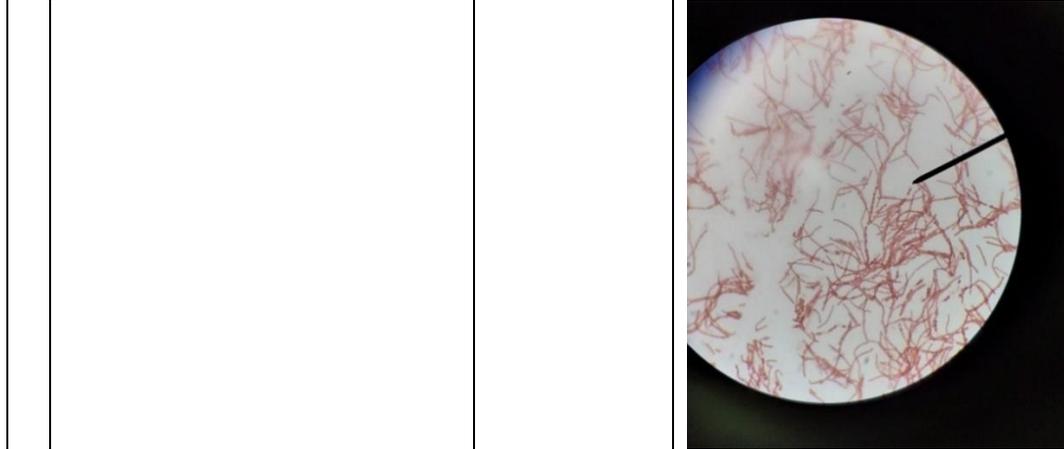
Muestra	#	Imagen	Características tintoriales y microscópicas	Imagen en microscopio
Cerámica usada superficial	1		Bacilos Gram positivo esporulados	
	2		Bacilos Gram positivo esporulados en cadena	
	3		Cocos Gram positivo	

			
4		<p>Bacilos Gram negativos medianos</p>	
1	<p>Cerámica sin uso superficial</p> 	<p>Bacilos Gram negativos pequeños</p>	
2		<p>Bacilos Gram positivo esporulados</p>	

				
				
Cerámica usada enterrada	1		No presenta crecimiento	
	2		<i>Bacillus megaterium</i>	Formas bacilares grandes Gram positivas
	3		<i>Streptomyces</i>	Estructuras filamentosas alargadas
	4		Bacilos Gram positivos esporulados grandes	



5		Bacilos Gram negativos medianos	
1		<i>Streptomyces</i>	Estructuras filamentosas alargadas
2		<i>Bacillus megaterium</i>	Formas bacilares grandes Gram positivas
3		Bacilos Gram negativos pequeños	
4		Bacilos Gram positivos en cadena esporulado	
Cerámica sin uso enterrada			



7.2.7 Resultados cultivos fúngicos Olaya

Para el análisis de los hongos, se procedió de la misma manera en el punto 6.1.7. Los resultados se registran en la Tabla 13.

Tabla 13
Cuantificación de colonias de hongos de Olaya en PDA

Muestra	Imagen	Número de microorganismos adheridos a la muestra	Número de morfotipos microbianos diferentes en la muestra
<p>Cerámica usada superficial cara interna</p>		<p>26 x10¹ Mohos</p>	<p>2</p>
<p>Cerámica usada superficial cara externa</p>		<p>25 x10¹ Mohos</p>	<p>2</p>
<p>Cerámica sin uso superficial cara interna</p>		<p>75 x10² Levaduras 50 x10² Mohos</p>	<p>3</p>

<p>Cerámica sin uso superficial cara externa</p>		<p>110 x10² Levaduras 12 x10¹ Mohos</p>	<p>2</p>
<p>Cerámica usada enterrada cara interna</p>		<p>31 x10¹ Levaduras 5 x10¹ Mohos</p>	<p>4</p>
		<p>23 x10¹ Levaduras 6 x10¹ Mohos</p>	<p>4</p>

<p>Cerámica usada enterrada cara externa</p>			
<p>Cerámica sin uso enterrada cara interna</p>		<p>55×10^1 Levaduras 5×10^1 Mohos</p>	<p>3</p>
<p>Cerámica sin uso enterrada cara externa</p>		<p>52×10^1 Levaduras 3×10^1 Mohos</p>	<p>2</p>

Una vez identificada la cantidad de morfotipos por pieza, se procede a describir cada uno de ellos de forma cualitativa. Los resultados se recopilan y se presentan en la Tabla 14.

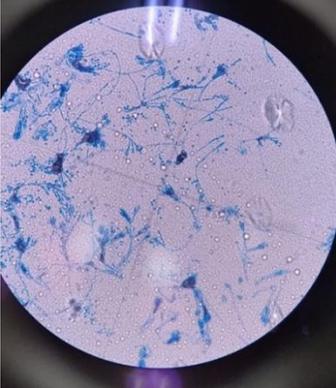
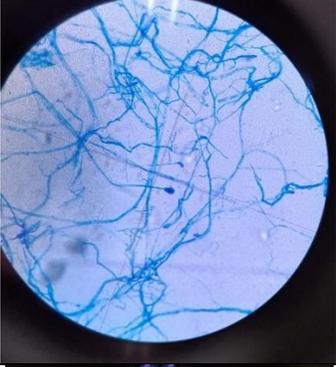
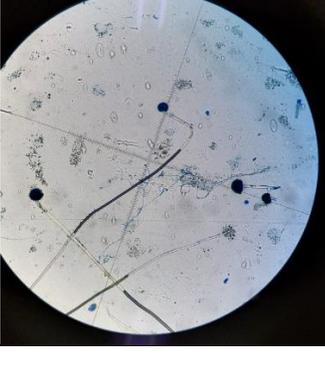
Tabla 14
Descripción macroscópica de hongos de Olaya en PDA

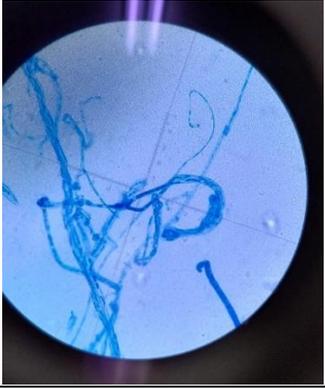
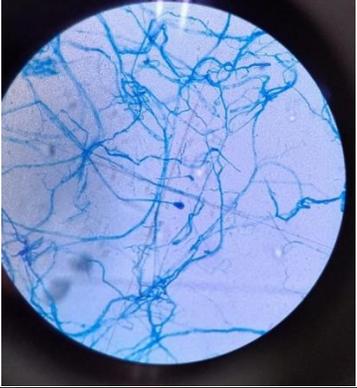
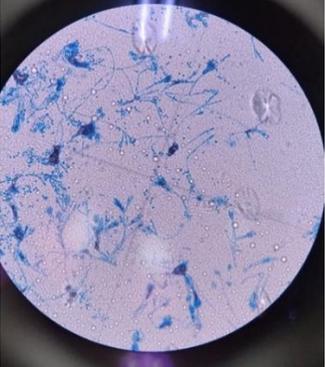
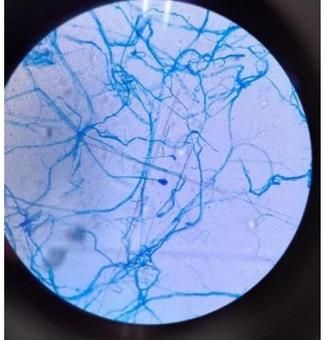
Muestra	#	Tipo		Color	Textura	Brillo		Borde		Información adicional
		H	L			B	S	R	I	
Cerámica usada superficial	1	X		Verde	Aterciopelado					
	2	X		Café	Aterciopelado					
Cerámica sin uso superficial	1	X		Café	Aterciopelado					
	2	X		Blanco	Aterciopelado					
	3		X	Blanco		X				Tamaño grande
Cerámica usada enterrada	1	X		Café	Aterciopelado					
	2	X		Blanco	Aterciopelado					
	3			Sin color	Aterciopelado					
	4		X	Blanco		X		X		
Cerámica sin uso enterrada	1	X		Verde	Aterciopelado					
	2	X		Blanco	Aterciopelado					
	3		X	Blanco		X		X		

Finalmente, se procede a analizar cada uno de los morfotipos diferentes de hongos bajo el microscopio para realizar una descripción cualitativa de estos. Es importante mencionar que, en el caso de las levaduras registradas durante el análisis morfológico, se encontró que estas no corresponden a levaduras como se creía inicialmente. Con respecto al análisis morfológico de los demás hongos, se obtuvieron datos registrados en la Tabla 15.

Tabla 15
Descripción microscópica de hongos Olaya

Muestra	Características microscópicas	Imagen en microscopio
Cerámica usada superficial	<i>Aspergillus</i>	

	<i>Penicillium</i>	
Cerámica sin uso superficial	<i>Penicillium</i>	
	Hifas no septadas	
	<i>Aspergillus</i>	
	Hifas no septadas	

<p>Cerámica usada enterrada</p>		
	<p>Hifas no septadas</p>	
<p>Cerámica sin uso enterrada</p>	<p><i>Penicillium</i></p>	
	<p>Hifas no septadas</p>	

7.3 Microorganismos

7.3.1 Bacterias

7.3.1.1 Bacilos

Bacilos

Las bacterias del género *Bacillus*, también conocidas como bacilos, conforman un grupo diverso y ubicuo de microorganismos que se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente, incluyendo el suelo, el agua y el aire. Estas bacterias se distinguen por su forma de bastón o vara, su capacidad para formar endosporas resistentes y su amplia gama de metabolismos (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

Los *Bacillus* son células procariotas unicelulares que adoptan una forma de bastón o vara, con una longitud que oscila entre 0,5 y 10 micrómetros y un diámetro de 0,8 a 1,5 micrómetros. Su pared celular está constituida por una capa de peptidoglicano que le proporciona rigidez y protección. Estas células pueden encontrarse solitarias, en pares o en cadenas (Madigan et al., 2019).

El género *Bacillus* pertenece al filo Firmicutes, a la clase Bacilli, al orden Bacillales y a la familia Bacillaceae. Hasta la fecha, se han identificado más de 260 especies de *Bacillus*, cada una con características fisiológicas y genéticas distintivas. Entre las especies más reconocidas se encuentran *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* y *Bacillus thuringiensis* (Fink & Prescott, 2010).

El método principal de reproducción de *Bacillus* es la fisión binaria, un proceso en el que la célula madre se divide para dar lugar a dos células hijas idénticas. En condiciones adversas, algunas especies de *Bacillus* tienen la capacidad de formar endosporas, estructuras resistentes que les permiten sobrevivir en ambientes extremos como la sequía, el calor y la exposición a productos químicos (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

En términos nutricionales, *Bacillus* son generalmente heterótrofas, es decir, obtienen energía y nutrientes a partir de compuestos orgánicos. Algunas especies son quimiolitótrofas, utilizando compuestos inorgánicos como el azufre o el hierro para obtener energía, mientras que otras son quimiorganotrofas, empleando compuestos orgánicos como carbohidratos, proteínas o

grasas. Estas capacidades metabólicas hacen que sean fundamentales en diversos ecosistemas. Algunas especies son cruciales en la descomposición de la materia orgánica, liberando nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Otras especies son utilizadas en aplicaciones industriales para la producción de antibióticos, enzimas y biopesticidas (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

Bacilos Gram negativos

Los bacilos Gram negativos, bacterias Gram negativas en forma de bastón, forman un grupo diverso y ubicuo de microorganismos presentes prácticamente en todos los rincones del planeta. A diferencia de sus las Gram positivas, estos microbios se caracterizan por no tener una pared celular que retiene el colorante cristal violeta durante la tinción de Gram, lo que les otorga una apariencia rosada o roja bajo el microscopio (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010; Morales, 2018).

Los bacilos Gram negativos exhiben una forma de bastón o vara, con longitudes que varían entre 0,5 y 10 micrómetros y diámetros de 0,8 a 1,5 micrómetros. Su estructura celular es más compleja que la de las bacterias Gram positivas, ya que presentan una pared celular compuesta por dos capas principales:

- **Peptidoglicano:** Una capa rígida que proporciona soporte estructural a la célula.
- **Membrana externa:** Una barrera adicional que rodea la pared celular y está compuesta por lipopolisacáridos (LPS), moléculas que les confieren resistencia a ciertos antibióticos y les permiten interactuar con el sistema inmunológico del huésped.

Los bacilos Gram negativos forman un grupo diverso en términos de fisiología y metabolismo. Algunas especies son quimiolitótrofas, obteniendo energía de compuestos inorgánicos como el azufre o el hierro, mientras que otras son quimiorganotrofas, utilizando compuestos orgánicos como carbohidratos, proteínas o grasas (Morales, 2018).

Al igual que la mayoría de las bacterias, estos bacilos se reproducen principalmente por fisión binaria, un proceso en el que la célula madre se divide en dos células hijas idénticas. Bajo condiciones ambientales desfavorables, algunas especies pueden formar endosporas, estructuras

resistentes que les permiten sobrevivir en condiciones extremas como la sequía, el calor y la exposición a químicos (Morales, 2018).

Los bacilos Gram negativos desempeñan un papel crucial en diversos ecosistemas terrestres y acuáticos. Algunas especies son comensales que viven en el tracto intestinal humano y de otros animales, contribuyendo a la digestión y la producción de vitaminas. Otras especies son patógenas y causan enfermedades como la diarrea, las infecciones del tracto urinario, la neumonía y la sepsis (Morales, 2018).

Bacilos Gram positivos en cadena esporulados

La esporulación es un proceso complejo que permite a algunas bacterias Gram positivas transformarse en estructuras resistentes llamadas esporas. Estas esporas tienen una pared celular gruesa y deshidratada, lo que las protege de condiciones ambientales adversas como la sequía, el calor, el frío, la radiación y la exposición a químicos (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

Los bacilos Gram positivos en cadena se caracterizan por su capacidad para agruparse en cadenas, lo que le confiere una mayor resistencia al estrés ambiental y les facilita la transferencia de material genético. La formación de cadenas se debe a la adhesión de las células bacterianas entre sí mediante diversas estructuras superficiales.

La principal diferencia entre los bacilos Gram positivos en cadena esporulados y los bacilos Gram positivos no esporulados radica en su capacidad para formar esporas. Los bacilos no esporulados no pueden formar estas estructuras resistentes, lo que limita su capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales extremas (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

Algunos ejemplos de bacilos Gram positivos en cadena esporulados incluyen:

- ***Bacillus subtilis***: Una bacteria común que se encuentra en el suelo y se utiliza en la producción de antibióticos y enzimas.
- ***Clostridium botulinum***: La bacteria responsable del botulismo, una enfermedad grave causada por la toxina botulínica.
- ***Bacillus anthracis***: La bacteria responsable del ántrax, una enfermedad zoonótica potencialmente mortal.

Los bacilos Gram positivos en cadena esporulados desempeñan roles cruciales en diversos ecosistemas. Algunas especies son beneficiosas y se utilizan en la industria para la producción de antibióticos, enzimas y biopesticidas. Otras especies pueden ser patógenas y causar enfermedades en humanos y animales.

Bacillus megaterium

Bacillus megaterium es una bacteria Gram positiva notable por su tamaño relativamente grande en comparación con otras bacterias, de ahí su nombre, derivado del griego "mega" que significa "grande" y "terium" que significa "criatura" (Vary et al., 2007).

Tiene una forma de bacilo (varilla) y es una de las bacterias más grandes conocidas, con dimensiones típicas de 2-5 micrómetros de longitud y aproximadamente 1,5 micrómetros de ancho. Presenta una pared celular gruesa característica de las bacterias Gram positivas, lo que les confiere resistencia y rigidez. Aunque no forma cápsulas, es capaz de formar esporas (que se ubican en el centro de la célula) para sobrevivir en condiciones adversas (Vary, 1994; Vary et al., 2007).

Bacillus megaterium es un organismo heterótrofo que ayuda a la descomposición de materia orgánica. Tiene la capacidad de utilizar una amplia gama de fuentes de carbono y nitrógeno, adaptándose así a diversos entornos. Se encuentra comúnmente en el suelo, en materia orgánica en descomposición y en ambientes acuáticos (Vary, 1994; Vary et al., 2007).

Estas bacterias producen una amplia gama de enzimas, incluyendo enzimas digestivas, industriales y con aplicaciones biotecnológicas. Algunas especies son capaces de degradar la celulosa, un componente importante de las paredes celulares de las plantas, lo que las convierte en potenciales candidatos para la producción de biocombustibles y la biodegradación de residuos (Vary, 1994).

7.3.1.2 Cocos

Los cocos bacterianos, conocidos simplemente como cocos, constituyen un grupo variado y omnipresente de microorganismos que se caracterizan por su forma esférica. Estos organismos se hallan en casi todos los entornos, como el suelo, el agua, el aire y el cuerpo humano, y

desempeñan una amplia gama de funciones biológicas, algunas beneficiosas y otras perjudiciales (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

Estas bacterias se distinguen por su estructura esférica, con un diámetro que oscila entre 0,5 y 1 micrómetro. Pueden presentarse como células aisladas, en pares (diplococos), en cadenas (estreptococos) o en agrupaciones irregulares tridimensionales (estafilococos). La pared celular de los cocos Gram positivos se caracteriza por una capa gruesa de peptidoglicano que les proporciona rigidez y protección (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

Entre los géneros más reconocidos de cocos se encuentra *Staphylococcus*, que engloba especies como *Staphylococcus aureus*, causante de infecciones cutáneas y neumonía, y *Staphylococcus epidermidis*, una bacteria comensal de la piel humana. Otros géneros importantes de cocos incluyen *Streptococcus*, con especies como *Streptococcus pneumoniae*, implicado en neumonía y meningitis, y *Streptococcus pyogenes*, responsable de la faringitis estreptocócica y la escarlatina, y *Micrococcus*, que alberga especies como *Micrococcus luteus*, una bacteria saprofítica común en suelo y agua.

En términos nutricionales, los cocos son mayormente quimioheterótrofos y algunas especies son aerobias y requieren oxígeno para su metabolismo, mientras que otras son anaerobias o anaerobias facultativas, capaces de crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Cocos Gram positivos

Los cocos Gram positivos son distinguibles por su capacidad para retener el colorante cristal violeta durante la tinción de Gram, lo que les confiere un aspecto púrpura o azul al ser observados bajo el microscopio.

Entre sus características se incluyen:

- Una pared celular gruesa compuesta principalmente por peptidoglicano.
- Presencia de una membrana celular plasmática.
- Carencia de membrana externa.
- Presencia de ácidos teicoicos.
- Sensibilidad a antibióticos que afectan la pared celular.

Estos cocos Gram positivos desempeñan papeles vitales en diversos ecosistemas. Algunas especies son benéficas y se emplean en la producción industrial de antibióticos, enzimas y alimentos. Por otro lado, algunas especies pueden ser patógenas y ocasionar enfermedades tanto en seres humanos como en animales (Madigan et al., 2019; Fink & Prescott, 2010).

7.3.1.3 *Streptomyces*

Las bacterias del género *Streptomyces* conforman un grupo fascinante y diverso de microorganismos Gram positivos reconocidos por su habilidad para producir una amplia variedad de metabolitos secundarios, como antibióticos, enzimas, inmunosupresores y pigmentos. Se encuentran mayormente en el suelo, donde desempeñan un papel esencial en la descomposición de la materia orgánica y en el ciclo del carbono (Kaewkla et al., 2024; Amaresan et al., 2020).

Estas bacterias se caracterizan por su forma filamentosa ramificada, con un diámetro que oscila entre 0,5 y 1 micrómetro y una longitud que puede alcanzar varios cientos de micrómetros. Sus filamentos se dividen en compartimentos individuales mediante estructuras denominadas septos. La pared celular de los *Streptomyces* posee una capa gruesa de peptidoglicano y una capa externa de polisacáridos (Kaewkla et al., 2024).

El género *Streptomyces* pertenece al filo Actinobacteria, la clase Actinomycetes, el orden Actinomycetales y la familia Streptomycetaceae. Se han identificado más de 7000 especies de *Streptomyces* hasta el momento, lo que lo convierte en uno de los géneros bacterianos más diversos.

La reproducción de las bacterias *Streptomyces* se realiza principalmente mediante la fragmentación de sus filamentos, proceso en el que los compartimentos individuales se separan y se convierten en nuevas células. Algunas especies también pueden formar esporas como formas de resistencia a condiciones adversas (Kaewkla et al., 2024; Amaresan et al., 2020).

Estos microorganismos cuentan con una diversidad metabólica pues generalmente son quimioheterótrofos aerobias y otras son anaerobias facultativas, pudiendo crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Los *Streptomyces* son reconocidos por su capacidad para producir una amplia gama de antibióticos, como la penicilina, estreptomycinina, tetraciclina y eritromicina, fundamentales en el tratamiento de enfermedades infecciosas y en la conservación de vidas humanas. También

producen una variedad de enzimas, incluyendo enzimas digestivas, industriales y biotecnológicas (Amaresan et al., 2020).

Por sus características metabólicas, estos microorganismos desempeñan un papel crítico en el ciclo del carbono del suelo, contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica y al retorno de dióxido de carbono a la atmósfera. Además, presentan un gran potencial para aplicaciones biotecnológicas, como la producción de nuevos antibióticos, enzimas, biocombustibles y biopesticidas (Amaresan et al., 2020).

7.3.2 Hongos

7.3.2.1 Mohos

Los hongos son un grupo taxonómico microbiano que reviste gran importancia en los procesos ambientales, pues son conocidos como grandes descomponedores de la materia orgánica y se caracterizan por su gran potencial de producir enzimas y pigmentos que secretan al medio como una estrategia de transformar los nutrientes presentes en su entorno.

Los hallazgos fúngicos de este estudio muestran la presencia de hongos que por sus características macroscópicas podrían identificarse como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rodothorula* y *Mucor* y que son microbiota habitual de los suelos.

Penicillium

El género *Penicillium* es un grupo de hongos ascomicetos ampliamente conocidos por su importancia en la naturaleza y en la industria. Son famosos por ser la fuente del antibiótico penicilina, descubierto por Alexander Fleming en 1928, que revolucionó la medicina al ofrecer un tratamiento efectivo contra diversas infecciones bacterianas (Samson & Frisvad, 2004).

Los hongos del género *Penicillium* se caracterizan por su aspecto filamentoso y su reproducción asexual mediante conidios. Estos conidios se forman en estructuras llamadas conidióforos, que a menudo tienen una apariencia ramificada y pincelada, de ahí el nombre "Penicillium" (del latín *penicillus*, que significa "pequeño pincel") (Samson & Frisvad, 2004).

El hongo *Penicillium* se encuentra en una amplia gama de ambientes, incluidos suelos, materia orgánica en descomposición, alimentos y ambientes interiores. Son saprófitos predominantes y juegan un papel crucial en la descomposición de materia orgánica, contribuyendo al ciclo de nutrientes en los ecosistemas (Samson & Frisvad, 2004).

Los Penicillium tiene la capacidad de degradar una amplia variedad de materiales, incluidos compuestos tóxicos y contaminantes ambientales. Esto hace que sean candidatos prometedores para la biorremediación, el proceso de usar organismos vivos para eliminar contaminantes del medio ambiente (Samson & Frisvad, 2004).

Aspergillus

Los hongos del género *Aspergillus* son un grupo diverso de hongos filamentosos, presentes en el medio ambiente. Estos microorganismos se encuentran principalmente en el suelo y en materia orgánica en descomposición, como hojas, paja y otros restos vegetales. Son conocidos por su capacidad para colonizar una variedad de sustratos naturales y artificiales, lo que los convierte en actores importantes en la descomposición y reciclaje de materia orgánica (Sugui et al., 2015; Bennett, 2007).

Los *Aspergillus* incluye aproximadamente 300 especies, de las cuales unas 40 son patógenas para humanos y otros animales. Algunas de las especies más comunes incluyen *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, y *Aspergillus terreus*; estas especies varían en morfología, metabolismo y capacidad de producir toxinas (Sugui et al., 2015; Bennett, 2007).

Estos hongos presentan una estructura filamentososa, compuesta por hifas septadas que forman un micelio. Los conidios, que son sus esporas asexuales, se producen en estructuras especializadas llamadas conidióforos y estas esporas son pequeñas y livianas, lo que facilita su dispersión aérea (Sugui et al., 2015; Bennett, 2007).

La reproducción de los *Aspergillus* puede ser tanto asexual como sexual. En el caso de la reproducción asexual, los conidióforos producen conidios que se dispersan y germinan en condiciones favorables, formando nuevas colonias y en la reproducción sexual, aunque menos común y más compleja, implica la formación de ascosporas dentro de estructuras denominadas cleistotecios (Sugui et al., 2015).

Mucor

El género *Mucor* pertenece a la familia Mucoraceae, dentro del orden Mucorales, es grupo de hongos que se caracteriza por sus esporangios, estructuras esféricas que contienen esporas y que son cruciales para la reproducción y la dispersión del hongo (Karimi & Zamani, 2013).

Los *Mucor* se presentan típicamente como hongos de crecimiento rápido con hifas no septadas, lo que significa que sus filamentos no están divididos en compartimentos. Sus hifas son anchas y ramificadas, y forman un micelio que puede ser visible a simple vista como un moho blanco, gris o marrón sobre diversos sustratos (Alves et al., 2002).

Los esporangios son grandes, esféricos y contienen numerosas esporas, estas estructuras son sostenidas por esporangióforos, que son hifas especializadas que crecen verticalmente desde el micelio (Alves et al., 2002).

Los hongos *Mucor* se reproducen principalmente de manera asexual a través de esporas contenidas en los esporangios, las cuales cuando las condiciones son adecuadas, estas esporas germinan y producen nuevas hifas, que eventualmente forman un nuevo micelio (Alves et al., 2002).

La reproducción sexual también es posible en algunas especies de *Mucor* aunque no es muy común. En este proceso, se forman estructuras sexuales llamadas zigosporas, que resultan de la fusión de dos hifas compatibles. Estas zigosporas son resistentes y pueden sobrevivir en condiciones adversas hasta que encuentren un entorno favorable para germinar lo que le permite a este hongo extenderse con facilidad (Karimi & Zamani, 2013; Alves et al., 2002).

7.3.2.2 Levaduras

Rodothorula

La *Rhodotorula* es un tipo de levadura basidiomiceto, conocida por su coloración distintiva, que suele variar desde tonos rosados hasta naranjas. Es un hongo unicelular que forma parte de la microbiota normal presente en diversos ambientes.

La levadura *Rhodotorula* se reproduce principalmente a través de un proceso llamado gemación. En este proceso, una nueva célula se forma a partir de una célula madre existente y se

desprende cuando ha alcanzado un tamaño adecuado. La reproducción asexual mediante gemación permite a la levadura proliferar rápidamente en condiciones favorables.

Sin embargo, aunque la reproducción sexual en *Rhodotorula* es menos común y menos estudiada, en algunos casos puede presentarse la fusión de dos células sexuales y la formación de esporas.

Esta levadura se encuentra frecuentemente en ambientes húmedos y ricos en materia orgánica, como suelos, aguas residuales y en la superficie de plantas, también puede encontrarse en alimentos en descomposición, superficies húmedas y en algunos procesos industriales e incluso puede hallarse en productos fermentados y en algunos cosméticos.

Morfológicamente las células de *Rhodotorula* son esféricas o elipsoidales, su tamaño es muy variable pero generalmente son de 3 a 6 micrómetros de diámetro; se distinguen con facilidad por su coloración pues especies tienen un color rosa, rojo o naranja debido a la presencia de carotenoides y otros pigmentos.

En los medios de cultivo, las colonias suelen ser redondas, lisas y presentan colores que van desde el rosa pálido hasta el rojo intenso; la *Rhodotorula* es un organismo versátil y de interés tanto para aplicaciones industriales como para estudios en microbiología y biotecnología.

8 Discusión

8.1 Clima y suelo

Con respecto a la textura del suelo en Olaya, se observa que es predominantemente arenoso con pequeñas fracciones de limo y arcilla. Esto sugiere una buena capacidad de drenaje para evitar riesgos de saturación o falta de oxígeno en el suelo, aspecto beneficioso para el crecimiento de diversos organismos. Sin embargo, la baja retención de agua y nutrientes en suelos arenosos limita el crecimiento tanto de plantas como de microorganismos. Mientras que el suelo de Guarne, si bien también se encuentra una textura arenosa franca que favorece el drenaje y reduce el riesgo de encharcamiento, esta característica es ventajosa para una zona con alta humedad. No obstante, la baja retención de nutrientes puede afectar el crecimiento microbiano.

El pH del suelo en Olaya es ligeramente ácido a neutro (6.7), lo cual es óptimo para la mayoría de los cultivos, facilitando la disponibilidad de nutrientes. Este pH equilibrado es esencial en un ambiente cálido y húmedo para evitar problemas de acidificación excesiva que podrían afectar negativamente la disponibilidad de nutrientes. En el caso de Guarne, el pH del suelo es ácido (5.8), lo que puede limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales como fósforo, calcio y magnesio. Sin embargo, la alta cantidad de materia orgánica (14.16%) y carbono orgánico (8.21%) compensa esta limitación al mejorar la retención de agua y nutrientes, brindando así energía y recursos a los microorganismos presentes.

El bajo contenido de materia orgánica y potasio en el suelo de Olaya puede influir en la actividad microbiana relacionada con la descomposición de la materia orgánica y la síntesis de proteínas. Aunque estos factores son limitantes, la presencia significativa de fósforo (47.80 mg/kg), esencial para la energía y la síntesis de ácidos nucleicos en microorganismos, contrarresta estos efectos. En contraste, Guarne presenta una baja presencia de fósforo (2.02 mg/kg) que puede afectar la prevalencia de microorganismos adaptados a suelos con menor cantidad de nutrientes. Esto puede deberse a las diferencias climáticas entre Guarne (18°C – 20°C) y Olaya (25° - 28°C), donde las altas temperaturas en Olaya aceleran la liberación de nutrientes por descomposición de materia orgánica.

La mayor cantidad de materia y carbono orgánico en Guarne puede atribuirse a su clima templado con tendencia a frío, que ralentiza la descomposición de la materia orgánica y promueve

su acumulación en el suelo a pesar del drenaje. La ausencia de acidez intercambiable (aluminio) en ambas zonas es positiva para la actividad microbiana al evitar la toxicidad del aluminio en suelos ácidos.

8.2 Influencia de los microorganismos en la cerámica

Cada microorganismo presente en la cerámica genera cambios o modificaciones específicas. Por ejemplo, los bacilos, que son las bacterias más abundantes en este entorno, pueden provocar alteraciones como cambios de color, manchas, decoloraciones, deterioro estructural, cambios físicos y alteraciones químicas (Branysova et al., 2022; Falkiewicz-Dulik et al., 2015)

En relación con los cambios de color o manchas, podemos mencionar varios ejemplos:

- **Manchas negras o marrones:** Bacilos como *Bacillus subtilis* pueden producir pigmentos oscuros en la cerámica cuando crecen en ambientes húmedos con materia orgánica.
- **Decoloración roja o naranja:** Algunas bacterias del género *Pseudomonas* generan pigmentos rojos o anaranjados que pueden manchar la cerámica.
- **Manchas verdes o azules:** Bacilos como *Pseudomonas aeruginosa* pueden crear pigmentos verdes o azules en ambientes húmedos y ricos en nutrientes.
- **Manchas amarillas:** Bacterias del género *Xanthomonas* son conocidas por producir pigmentos amarillos que pueden manchar la superficie cerámica.
- **Manchas blancas o grises:** Algunos bacilos pueden formar biopelículas que parecen manchas blancas o grises debido a la acumulación de células bacterianas y sus productos.

El deterioro estructural de la cerámica puede manifestarse de diversas formas:

- **Disolución de materiales:** Se observa la lixiviación y disolución de componentes minerales.
- **Formación de microfisuras:** Los ácidos producidos por bacilos acidófilos pueden generar microfisuras en la superficie y el interior de la cerámica.
- **Fragilidad:** La cerámica se vuelve más frágil debido a la pérdida de cohesión interna.
 - **Desintegración:** En casos extremos, la cerámica puede desintegrarse parcialmente, perdiendo fragmentos o capas superficiales.

Además, se pueden observar otros cambios físicos como formación de microfisuras, desintegración superficial, desprendimiento de fragmentos y aumento de porosidad, lo cual afecta la integridad de la cerámica (Branysova et al., 2022; Falkiewicz-Dulik et al., 2015).

A nivel químico, se presentan diversos procesos como la producción de ácidos orgánicos, desmineralización, formación de nuevos minerales y cambio en el pH local. Estos procesos pueden modificar la composición química de la cerámica, provocando la formación de sales solubles, desmineralización y alteración de pigmentos.

Los cocos, al igual que los bacilos, pueden inducir cambios físicos, químicos y estéticos en la cerámica. Por ejemplo, la formación de biopelículas, microfisuras, desmineralización, cambio de pH y producción de pigmentos, todo lo cual puede afectar la apariencia y la integridad estructural de la cerámica (Branysova et al., 2022; Falkiewicz-Dulik et al., 2015).

En resumen, los microorganismos presentes en la cerámica pueden generar una amplia gama de cambios y modificaciones que impactan tanto en su aspecto visual como en su estructura y composición química. Estos procesos son importantes de comprender para el adecuado mantenimiento y conservación de las piezas cerámicas en diversos entornos.

8.3 Zona de vida Guarne

En la Tabla 16, se puede observar la relación entre las UE y la presencia de microorganismos:

Tabla 16
Distribución de los microorganismos en Guarne

Microorganismo	CUS	CSUS	CUE	CSUE
Bacilos Gram +	X	X		
Bacilos Gram + esporulados	X	X	X	X
Bacilos Gram -		X	X	X
<i>Streptomyces</i>	X		X	X

Relación entre Cerámicas Usada vs. Sin Uso

En la tabla 16 se puede observar la relación entre las cerámicas usadas y sin uso revela patrones específicos en la presencia de microorganismos. Los bacilos Gram positivos (Gram +)

están presentes en todas las cerámicas, lo que indica que no existe una diferencia significativa basada en el uso de las cerámicas. Sin embargo, los bacilos Gram positivos esporulados y las bacterias del género *Streptomyces* están más asociados con las cerámicas usadas y con las cerámicas sin uso que se encuentran enterradas. Por otro lado, los bacilos Gram negativos (Gram -) se detectan únicamente en cerámicas enterradas, sin importar si estas han sido usadas previamente o no.

Relación entre Cerámicas Superficiales vs. Enterradas

En cuanto a la relación entre las cerámicas superficiales y enterradas, se observa que los bacilos Gram positivos están presentes en todas las cerámicas, tanto superficiales como enterradas. Los bacilos Gram positivos esporulados y *Streptomyces* muestran una mayor presencia en las cerámicas enterradas, especialmente en aquellas que han sido usadas. Los bacilos Gram negativos se encuentran únicamente en cerámicas enterradas (tanto usadas como sin uso), lo que sugiere que la condición de enterramiento favorece su presencia.

En resumen, existen relaciones específicas entre los tipos de cerámicas y la presencia de ciertos microorganismos. Los bacilos Gram negativos se asocian con condiciones enterradas, mientras que los bacilos Gram positivos esporulados y *Streptomyces* están más presentes en cerámicas usadas y en cerámicas sin uso enterradas. Los bacilos Gram positivos están presentes en todas las condiciones, indicando que no son selectivos en cuanto al uso de las cerámicas o su condición de superficialidad o enterramiento.

8.4 Zona de vida Olaya

En la Tabla 17, se puede observar la relación entre las UE y la presencia de microorganismos:

Tabla 17
Distribución de los microorganismos en Olaya

Microorganismo	CUS	CSUS	CUE	CSUE
Cocos Gram +	X			
Bacilos Gram + esporulados	X	X	X	X

Bacilos Gram -	X	X	X	X
<i>Streptomyces</i>		X		X
<i>Bacillus megaterium</i>		X		X

Relación entre Cerámicas Usada vs. Sin Uso

Al analizar la relación entre cerámicas usadas y sin uso, no se observa una diferencia clara en la presencia de Bacilos Gram + esporulados y Bacilos Gram -, ya que estos microorganismos están presentes en todas las categorías analizadas. Esto indica que el uso previo de la cerámica no influye significativamente en la colonización por estos tipos de bacterias.

Sin embargo, se encontró que *Streptomyces* está presente únicamente en cerámicas sin uso enterradas. Esta exclusividad podría sugerir una relación entre la falta de uso y las condiciones enterradas, que quizás proporcionan un entorno favorable para este género bacteriano.

Por otro lado, los Cocos Gram + fueron detectados únicamente en cerámicas usadas superficiales. Esto sugiere una posible asociación entre el uso de la cerámica y su exposición a condiciones superficiales, lo que podría favorecer la colonización por estos microorganismos.

Relación entre Cerámicas Superficiales vs. Enterradas

Al comparar cerámicas superficiales con enterradas, los Bacilos Gram + esporulados y los Bacilos Gram - se encuentran en todas las categorías. Esto indica que estos microorganismos no tienen una preferencia clara por condiciones superficiales o enterradas, sugiriendo una versatilidad en su capacidad de colonización.

Sin embargo, tanto *Streptomyces* como *B. megaterium* están presentes exclusivamente en cerámicas enterradas. Esto sugiere que las condiciones enterradas, posiblemente por su estabilidad en términos de humedad y temperatura, favorecen la presencia de estos microorganismos específicos.

En contraste, los Cocos Gram + fueron detectados solo en cerámicas usadas superficiales. Este hallazgo refuerza la idea de una posible relación entre el uso de la cerámica, su exposición superficial y la colonización por Cocos Gram +.

En resumen, se observan relaciones específicas entre los tipos de cerámicas y la presencia de ciertos microorganismos. *Streptomyces* y *B. megaterium* están más asociados con cerámicas

enterradas, lo que sugiere que las condiciones de enterramiento son propicias para estos microorganismos. Por otro lado, los Cocos Gram + se asocian principalmente con cerámicas usadas superficiales, lo que sugiere que la combinación de uso y exposición superficial favorece su colonización. Estos hallazgos son cruciales para comprender cómo diferentes condiciones ambientales y el uso previo de cerámicas pueden influir en la colonización microbiana y el biodeterioro.

9 Conclusiones

Después de analizar los suelos de cada zona y compararlos en términos de temperatura, humedad y vegetación desde la perspectiva microbiológica, llegamos a la conclusión de que, a pesar de las diferencias notables entre ambas zonas en cuanto al pH del suelo, el contenido de materia y carbono orgánico, y algunos nutrientes esenciales como el fósforo, que exhiben una diversidad de valores entre los casos estudiados, ambas áreas logran equilibrar ciertas características con otras, creando así un entorno favorable para el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos presentes.

Aunque en este estudio no se encontraron diferencias significativas en los resultados de los análisis de suelo entre las diferentes zonas, a pesar de sus variaciones climáticas y vegetativas, es importante considerar que ambas áreas están ubicadas en el mismo departamento. A una escala geográfica más amplia, podrían surgir variaciones más notorias en los tipos de microorganismos del suelo entre diferentes zonas de vida.

Después de analizar detenidamente los resultados obtenidos en los estudios realizados en Guarne y Olaya, podemos llegar a conclusiones importantes sobre la relación entre el uso de cerámicas y la presencia de microorganismos, así como sobre la influencia de la ubicación superficial o enterrada de las cerámicas en la colonización microbiana.

En primer lugar, se encontró que las bacterias y hongos están presentes de manera generalizada en todas las cerámicas, independientemente de su uso previo. Si bien los bacilos Gram positivos tuvieron una mayor presencia en todas las condiciones, esto sugiere que estos microorganismos no son selectivos en cuanto al estado de las cerámicas, ya sea usadas o sin uso. Sin embargo, se observó una mayor asociación de los bacilos Gram positivos esporulados y las bacterias del género *Streptomyces* con las cerámicas usadas y sin uso que se encuentran enterradas. Por otro lado, los bacilos Gram negativos (Gram -) se detectaron exclusivamente en cerámicas enterradas, lo que indica una preferencia por este entorno.

Al analizar la relación entre cerámicas superficiales y enterradas, se confirmó que los bacilos Gram positivos están presentes en todas las condiciones, mientras que los bacilos Gram positivos esporulados y *Streptomyces* mostraron una mayor presencia en las cerámicas enterradas, especialmente las usadas. En contraste, los bacilos Gram negativos se encontraron exclusivamente en cerámicas enterradas, lo que sugiere que la condición de enterramiento favorece su colonización.

En el caso específico de *Streptomyces*, se identificó su presencia únicamente en cerámicas sin uso enterradas, lo que plantea una posible relación entre la falta de uso y las condiciones enterradas que propician el crecimiento de este género bacteriano. Además, los Cocos Gram positivos fueron detectados exclusivamente en cerámicas usadas superficiales, lo que respalda la idea de una asociación entre el uso de las cerámicas y su exposición superficial con la colonización por estos microorganismos.

Finalmente, los hongos encontrados en este estudio fueron muy similares en todos los suelos y piezas analizadas. Esto se correlaciona con las características de este gran grupo taxonómico que es su capacidad de tolerar ambientes extremos lo que permite su ubicuidad. Adicionalmente, por las características metabólicas descritas de estos hongos, su importante producción de enzimas y colorantes, los convierten en agentes microbianos que aportarían en gran medida al biodeterioro de las piezas arqueológicas.

En conclusión, estos hallazgos revelan relaciones específicas entre los tipos de cerámicas, su estado de uso y su ubicación superficial o enterrada, y la presencia de ciertos microorganismos. Esto es fundamental para comprender cómo diferentes condiciones ambientales y el uso previo de las cerámicas pueden influir en la colonización microbiana y, por ende, en el proceso de biodeterioro de estos materiales arqueológicos.

Es necesario entonces seguir ampliando esta investigación; esto implica comparar una mayor cantidad de ubicaciones con una amplia gama de características distintas, abarcando diversas distancias geográficas. También es crucial considerar una variedad más extensa de usos previos de la cerámica, explorar diferentes tipos cerámicos y, por supuesto, realizar análisis de secuenciación de ADN. Esta técnica que es el siguiente paso en esta investigación nos permitirá identificar con precisión los microorganismos presentes, así como profundizar en las razones subyacentes de su distribución en cada zona y cada pieza cerámica. Además, es fundamental examinar las consecuencias específicas de estos microorganismos en la cerámica para comprender mejor su impacto en el proceso de biodeterioro.

10 Recomendaciones

La arqueología a nivel mundial se encuentra en una etapa donde se hace evidente la necesidad de integrar esfuerzos interdisciplinarios para llevar a cabo investigaciones más integrales y detalladas, con el objetivo de comprender a fondo nuestro pasado como humanidad. En este contexto, el campo de la microbiología en la arqueología emerge como un nuevo horizonte que nos ofrece un vasto terreno de descubrimientos, lleno de información y cuestionamientos que demandan respuestas.

Los microorganismos han sido una parte fundamental de nuestra existencia desde sus inicios, y seguirán desempeñando un papel crucial mientras nuestra historia perdure. Comprender su potencial y su funcionamiento se convierte en una clave indispensable para la preservación de nuestro legado histórico y nuestro registro material. Como arqueólogos, es esencial no solo interpretar las señales del pasado, sino también asegurar su conservación a lo largo del tiempo. Para ello, es imprescindible entender los factores que contribuyen a su deterioro y, a su vez, aquellos que favorecen su preservación.

En el caso del biodeterioro causado por microorganismos, las investigaciones que buscan identificar qué microorganismos participan en este proceso y cómo lo hacen representan apenas un primer paso. Es crucial profundizar en la duración de este deterioro, identificar y definir las etapas en las que ocurre, realizar estudios que comparen datos a lo largo de diferentes períodos de tiempo, en diversas regiones geográficas y en una variedad de materiales arqueológicos.

El establecimiento de las etapas del biodeterioro por microorganismos, la identificación de los microorganismos presentes en cada contexto arqueológico y tipo de material, así como la capacidad de correlacionar estos hallazgos con factores edáficos, climáticos y pre y posdepositacionales específicos de cada material, no solo permitirá desarrollar estrategias efectivas de conservación, sino que también enriquecerá nuestra comprensión de nuestro pasado colectivo.

Por último, junto con el conocimiento sobre el potencial de los microorganismos y su relación con la arqueología, surge la necesidad de abordar la bioseguridad del arqueólogo. Comprender las implicaciones de estos microorganismos en los materiales nos lleva a cuestionar también sus efectos en el propio arqueólogo. Conocer los riesgos biológicos en contextos de rescate, restauración y conservación en museos y centros de investigación subraya la importancia de establecer protocolos y métodos que garanticen la protección del personal que trabaja con estos

materiales, evitando al mismo tiempo la contaminación que pueda afectar la información microbiológica que contienen estos valiosos vestigios.

Referencias

- Alves, M. H., Campos-Takaki, G. M., Porto, A. L. F., & Milanez, A. I. (2002). Screening of *Mucor* spp. for the production of amylase, lipase, polygalacturonase and protease. *Brazilian Journal of Microbiology*, 33, 325-330.
- Amaresan, N., Kumar, M. S., Annapurna, K., Kumar, K., & Sankaranarayanan, A. (Eds.). (2020). *Beneficial microbes in agro-ecology: bacteria and fungi*. Academic Press.
- Bennett, S. E. B. J. W. (2007). An overview of the genus *Aspergillus*. *The Aspergilli*, 23-34.
- Branysova, T., Demnerova, K., Durovic, M., & Stiborova, H. (2022). Microbial biodeterioration of cultural heritage and identification of the active agents over the last two decades. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 245-260.
- Cárdenas Quiroga, E. A., Morales Martín, L. Y., & Ussa Caycedo, A. (2015). La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdova*, 13(16), 201-219.
- Colonna-Prete, K., & Eeckhout, P. (2014). The bacteriological contamination of archaeological ceramics: an example from Pachacamac (Perú). *Recent Advances in Glass, Stained Glass, and Ceramics Conservation*, 205-213.
- Dokuchaev, V. V. (1883). *Russian Chernozem*. En *Selected Works of V.V. Dokuchaev* (Vol. 1, pp. 14–419). Moscú, 1948. Israel Program for Scientific Translations Ltd. (para USDA-NSF), S. Monson, Jerusalén, 1967. (Traducido del ruso al inglés por N. Kaner). Falkiewicz-Dulik, M., Janda, K., & Wypych, G. (2015). *Handbook of material biodegradation, biodeterioration, and biostabilization*. Elsevier.
- Fink, D., & Prescott, L. M. (2010). *Microbiology: An introduction to microbes (9th ed.)*. McGraw-Hill.
- Gazulla, M. F., Sánchez, E., González, J. M., Portillo, M. C., & Orduna, M. (2011). Relationship between certain ceramic roofing tile characteristics and biodeterioration. *Journal of the European Ceramic Society*, 31(15), 2753-2761.
- García, T. A. C., Cardona, J. E. G., & Campos, G. G. (s.f.). *Biodeterioro del patrimonio histórico (iglesias) debido a la acción de líquenes, hongos y microorganismos*. Academia.edu. <https://bit.ly/3XitXz6>
- Guerrero Giacometti, L. A. (2010). *Manual básico sobre la estereoscopia* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2010).
- Gómez de Saravia, S. G. (2006). *Biodeterioro del patrimonio cultural*. En *Jornadas "La calidad del ambiente urbano: tecnologías e instrumentos para su evaluación integral"* (pp. 29-33). Repositorio CIC. <https://bit.ly/3YTXi4i>
- Gobernación de Antioquia. (2018). *Nuestro municipio*. <https://bit.ly/3ySZmie>
- Gobernación de Antioquia. (2023). *Mi municipio*. <https://bit.ly/4dW8u4z>

- Godet, M., & Durance, P. (2007). *Prospectiva Estratégica: problemas y métodos*. Cuadernos de LIPSOR, 104(20), 169-187.
- Hernández, A., Ascanio, M., Morales, M., Bojórquez, I., García, N., & García, D. (2008). *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Univ. Autónoma de Nayarit.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(2727), 367-368.
- Hueck, H. J. (1965). The biodeterioration of materials as part of hylobiology. *Material und Organismen*, 1(1), 5-34.
- Kaewkla, O., Perkins, M., Thamchaipenet, A., Saijuntha, W., Sukpanoa, S., Suriyachadkun, C., ... & Franco, C. M. M. (2024). Description of *Streptomyces naphthomycinicus* sp. nov., an endophytic actinobacterium producing naphthomycin A and its genome insight for discovering bioactive compounds. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1353511.
- Karimi, K., & Zamani, A. (2013). *Mucor indicus*: biology and industrial application perspectives: a review. *Biotechnology advances*, 31(4), 466-481.
- Madigan, M. T., Brock, T. D., Brock, D. P., & Cowan, S. L. (2019). *Brock's microbiology (15th ed.)*. Pearson.
- Menacho, K. A. (2007). Etnoarqueología y estudios sobre funcionalidad cerámica: aportes a partir de un caso de estudio. *Intersecciones en antropología*, (8), 149-161.
- Molina, E. (2007). *Análisis de suelos y su interpretación*. San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International.
- Morales, N. (2018). Diferenciando Bacterias Gram Positivo (+) y Gram Negativo (-) Mediante Tinción de Gram. *Unidades de Apoyo para el Aprendizaje*. CUAED/FES Iztacala-UNAM. <https://bit.ly/3X2sATQ>
- Narváez, I. E. P. (2020). *Microorganismos del suelo*. Siglo del Hombre Editores.
- Pena-Poza, J., Ascaso, C., Sanz, M., Pérez-Ortega, S., Oujja, M., Wierzchos, J., ... & García-Heras, M. (2018). Effect of biological colonization on ceramic roofing tiles by lichens and a combined laser and biocide procedure for its removal. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 126, 86-94.
- Prats, L. (1998). El concepto de patrimonio cultural. *Política y sociedad*, 27(1), 63-76.
- Portillo, M. C., Gazulla, M. F., Sanchez, E., & Gonzalez, J. M. (2011). A procedure to evaluate the resistance to biological colonization as a characteristic for product quality of ceramic roofing tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 31(3), 351-359.
- Sánchez, P. A., & Camacho, E. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo (No. 48)*. IICA Biblioteca Venezuela.
- Samson, R. A., & Frisvad, J. C. (2004). *Penicillium subgenus Penicillium: new taxonomic schemes and mycotoxins and other extrolites*.

- Sánchez, M. C., Vergara, V., Polo, L. D., & Álvarez Aldana, A. (2017). *Primer acercamiento del estudiante de Microbiología a las técnicas de recuento en superficie, profundidad y cámara De Neubauer*.
- Soto, D. M., Guiamet, P. S., & Callegari, A. B. (2017). Biodeterioro de cerámica arqueológica de superficie por microorganismos de climas áridos y semi-áridos en el valle de Antinaco central, La Rioja. *Investigaciones Arqueométricas: técnicas y procesos*, 121-137.
- Soto, D., & Guiamet, P. (2017). Aplicabilidad de la conservación preventiva a la cerámica arqueológica impactada por biodeterioro. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano—Series Especiales*, 5(2), 71-90.
- Soto, D. (2020). Implicancias y reflexiones del impacto de agentes microbiológicos en cerámicas arqueológicas a partir de un estudio de caso (Norte de la Provincia de La Rioja, Argentina). *Anuario de Arqueología*, 12(12), 133-150.
- Soto, D. M. (2020). Biodeterioro de cerámica arqueológica de superficie, valle de Antinaco central, La Rioja. *Arqueología*, 26(1), 233-236.
- Sugui, J. A., Kwon-Chung, K. J., Juvvadi, P. R., Latgé, J. P., & Steinbach, W. J. (2015). *Aspergillus fumigatus* and related species. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 5(2), a019786.
- Tatis Castro, R. D., & Barbosa López, A. L. (2013). Enfoque químico del deterioro y biodeterioro de rocas calcáreas conformantes de monumentos patrimoniales de importancia histórica y cultural. *Luna azul*, (36), 247-284.
- Vaillant, M. (2013). Biodeterioro del patrimonio histórico documental: alternativas para su erradicación y control. *Museo de Astronomía y Ciencias Afines, Fundación Casa de Ruí Barbosa*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Vargas Flores, T., & Villazante Condori, L. G. (2014). Clasificación de los Microorganismos. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 44, 2309.
- Vary, P. S., Biedendieck, R., Fuerch, T., Meinhardt, F., Rohde, M., Deckwer, W. D., & Jahn, D. (2007). *Bacillus megaterium*—from simple soil bacterium to industrial protein production host. *Applied microbiology and biotechnology*, 76, 957-967.
- Vary, P. S. (1994). Prime time for *Bacillus megaterium*. *Microbiology*, 140(5), 1001-1013.

Anexos

Estudio de suelos Guarne

Macroproceso: Gestión de Laboratorios
Proceso: Gestión de Laboratorios
Título del formato: Informe de Resultados

Informe de Resultados	Estado
3816	DEFINITIVO



Información del Cliente			Contratación No.	No. S-P23-4422
Cliente/Empresa		NIT/D.I		Fecha Informe
Valery Valencia				2023-08-25
Contacto	Teléfonos		Email	
Valery Valencia				
Dirección Cliente			Referencia ubicación muestras	Municipio/Departamento
			El Pinar , El Barro	GUARNE, ANTIOQUIA
			Fecha de Recepción	Fecha Análisis
			2023-08-15	2023-08-24

IDENTIFICACION MUESTRA Código / Identificación Cliente	TEXTURA				pH	%			cmol(+)/kg				mg/kg
	A%	L%	Ar%	CTx		MO	CO	Al	Ca	Mg	K	CICE	
SP14627	79	16	5	AF	5,8	14,16	8,21	N.A.	0,04	0,10	0,12	0,26	2,02

Tener en cuenta: N.D.=No detectable N.C.=No cuantificable N.A.=No aplica

El laboratorio no es responsable del muestreo, las muestras son recibidas de conformidad como se establece en las "Condiciones del Servicio" y se procesan tal como se reciben. El laboratorio no es responsable de la validez de la información suministrada por el cliente, especialmente la información del cultivo y condiciones del suelo para el servicio de "Recomendaciones de manejo de la fertilidad del suelo". Este informe no podrá ser modificado. En caso de ser modificado se entenderá como un informe totalmente diferente al emitido por el Laboratorio de Suelos. El laboratorio no aplica declaraciones de conformidad. El responsable de liberar las recomendaciones de manejo de la fertilidad del suelo es el "Agrónomo".
 (Leer condiciones: <http://labsuelos.medellin.unal.edu.co/condiciones/>)

Autorización de resultados: Orlando Ruiz
 Coordinador de Laboratorio

Información de Método

Variable	Unidad	LC	Método
Arena	A%	%	NTC-6299-2018
Limo	L%	%	NTC-6299-2018
Arcilla	Ar%	%	NTC-6299-2018
Clase Textural	CTx	%	NTC-6299-2018

Lugar de realización de los análisis: Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín Laboratorio de Suelos Carrera 65 Nro. 59A – 110 Bloque 14 – 203.

Código: M.LSFC.FT.10.004.005

Versión: 1

1 de 2

Macroproceso: Gestión de Laboratorios
Proceso: Gestión de Laboratorios
Título del formato: Informe de Resultados

Informe de Resultados	Estado
3816	DEFINITIVO



pH	pH		-	NTC 5264-2018
Humedad	pW	%	-	NTC 1495 2013
Materia Orgánica	MO	%	-	NTC 5526-2007
Carbono Orgánico	CO	%	-	NTC 5403-2013
Acidez Intercambiable (Aluminio)	Al	cmol(+)/kg	-	NTC 5263-2017
Calcio	Ca	cmol(+)/kg	-	NTC 5349-2016
Magnesio	Mg	cmol(+)/kg	-	NTC 5349-2016
Potasio	K	cmol(+)/kg	-	NTC 5349-2016
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva	CICE	cmol(+)/kg	-	NTC 5268-2014
Fósforo	P	mg/kg	-	Método interno

Información de Muestras

Código	Identificación Cliente	Ubicación
SP14627		GUARNE, ANTIOQUIA

Estudio de suelos Olaya

Macroproceso: Gestión de Laboratorios
Proceso: Gestión de Laboratorios
Título del formato: Informe de Resultados

Informe de Resultados	Estado
4833	DEFINITIVO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
 DE COLOMBIA

Información del Cliente			Cotización No.	No. S-P24-5389
Cliente/Empresa		NIT/D.I		Fecha Informe
Valery Valencia		1036686071		2024-05-30
Contacto	Teléfonos		Email	
Valery Valencia	3197930721		valery.valencia@udea.edu.co, valeryvalencia32@gmail.com	
Dirección Cliente		Referencia ubicación muestras		Municipio/Departamento
Cra 80 N° 39 – 73 , MEDELLIN,ANTIOQUIA		OLAYA, ANTIOQUIA		Fecha de Recepción Fecha Análisis
				2024-05-20 2024-05-30

IDENTIFICACION MUESTRA Código / Identificación Cliente	TEXTURA				pH	%			cmol(+)/kg				mg/kg
	A%	L%	Ar%	CTx		MO	CO	Al	Ca	Mg	K	CICE	
SP21690	80	14	6	AF	6,7	1,09	0,63	N.A.	4,60	1,97	0,17	6,74	47,80

Tener en cuenta: N.D.=No detectable N.C.=No cuantificable N.A.=No aplica

El laboratorio no es responsable del muestreo, las muestras son recibidas de conformidad como se establece en las "Condiciones del Servicio" y se procesan tal como se reciben. El laboratorio no es responsable de la validez de la información suministrada por el cliente, especialmente la información del cultivo y condiciones del suelo para el servicio de "Recomendaciones de manejo de la fertilidad del suelo". Este informe no podrá ser modificado. En caso de ser modificado se entenderá como un informe totalmente diferente al emitido por el Laboratorio de Suelos. El laboratorio no aplica declaraciones de conformidad. El responsable de liberar las recomendaciones de manejo de la fertilidad del suelo es el "Agrónomo". (Leer condiciones: <http://labsuelos.medellin.unal.edu.co/condiciones/>)

Autorización de resultados: Orlando Ruiz
 Coordinador de Laboratorio

Información de Método

Variable	Unidad	LC	Método
Arena	A%	%	-
Limo	L%	%	-
Arcilla	Ar%	%	-
Clase Textural	CTx	%	-

Lugar de realización de los análisis: Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín Laboratorio de Suelos Carrera 65 Nro. 59A – 110 Bloque 14 – 203.

Código: M.LSFC.FT.10.004.005

Versión 1

1 de 2

Macroproceso: Gestión de Laboratorios
Proceso: Gestión de Laboratorios
Título del formato: Informe de Resultados

Informe de Resultados	Estado
4833	DEFINITIVO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
 DE COLOMBIA

pH	pH	-	NTC 5264-2018
Humedad	pW	%	NTC 1495 2013
Materia Orgánica	MO	%	NTC 5526-2007
Carbono Orgánico	CO	%	NTC 5403-2013
Acidez Intercambiable (Aluminio)	Al	cmol(+)/kg	NTC 5263-2017
Calcio	Ca	cmol(+)/kg	NTC 5349-2016
Magnesio	Mg	cmol(+)/kg	NTC 5349-2016
Potasio	K	cmol(+)/kg	NTC 5349-2016
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva	CICE	cmol(+)/kg	NTC 5268-2014
Fósforo	P	mg/kg	Método interno

Información de Muestras

Código	Identificación Cliente	Ubicación
SP21690		OLAYA, ANTIOQUIA