



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE  
LA ROCA IGNIMBRITA**

Tesis para obtener el grado de maestro en diseño avanzado

Presenta: Arq. Franklin Sánchez Pérez

Director de Tesis: Dr. Juan Alberto Bedolla Arroyo

Co-Director: Dr. Hugo Luis Chávez García

Sinodal: Dr. Axel Becerra Santacruz

Sinodal: Dr. Habid Becerra Santacruz

Sinodal: Mta. Alejandra Murillo García

Morelia Michoacán, febrero 2024





## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mis estudios de maestría, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

No menos importante, quiero agradecer a mi familia, por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mi esposa e hijos, así como a mis padres y hermanos, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

De igual forma quiero agradecer a mi tutor el Dr. Juan Alberto Bedolla Arrollo a mis sinodales el Dr. Axel Becerra Santacruz, AL Dr. Hugo Luis Chávez García, Dr. Habid Becerra Santacruz Y A LA Mta. Alejandra Murillo García, así como a todos mis maestros durante estos dos años de estudio, por compartir sus conocimientos y apoyo que me guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

Gracias a mis amigos y compañeros por los buenos momentos que hemos compartido; aprendiendo continuamente de todos, tanto profesional como personalmente. En especial un cariñoso reconocimiento a los que me han demostrado su apoyo, brindado sus ánimos y consejos durante esta etapa que hoy concluye con este trabajo

Muchas gracias a todos.

## RESUMEN

Cuando el humano comenzó a construir, siempre busco materiales que tuviera a su alcance. De modo que, la **cantera** es desde la antigüedad uno de los materiales preferidos para cualquier obra, ya sea por su belleza, singularidad y durabilidad. No obstante, aunque las rocas que se extraen de las canteras son de los materiales más resistentes en cualquier proyecto de construcción, también pueden llegar a ser frágiles, sobre todo si se encuentran expuestas a factores ambientales, antrópicos y en el propio uso de estas.

Tomando en cuenta su posible desgaste, es necesario protegerla, pues su cualidad más importante, sin duda, es su belleza. En el caso contrario, el edificio o espacio donde se instalaron puede llegar a tener un aspecto abandonado e incluso sombrío.

El objetivo de la investigación es la creación de un biomaterial que permita conservar las características propias de la roca ignimbrita (cantera) ayudando así a la conservación de esta roca, tomando en cuenta que esta la podemos encontrar en construcciones contemporáneas como en edificaciones que cuentan con catalogación histórica, enfocando el biomaterial a la protección de esta roca ante los agentes bióticos, abióticos y antrópicos a los que se encuentra expuesta la roca.

Lo anterior se podrá lograr mediante el establecimiento de una metodología que involucre la investigación y apoyo de otros documentos, que permitan conocer las características físicas de la cantera, así como la recolección y estudio de factores ambientales, entendiendo los efectos que tienen sobre la roca y técnicas de análisis de los materiales propuestos en laboratorio. La investigación para la obtención de este biomaterial, se basará en el análisis y experimentación tomando como base, materiales de origen natural.

**Palabras clave: Biomaterial, Experimentación, Protección, Roca, Innovación**

## **ABSTRACT**

When humans began to build, they always looked for materials that were within their reach. So, since ancient times, quarry has been one of the preferred materials for any work, due to its beauty, uniqueness and durability. However, although the rocks extracted from quarries are some of the most resistant materials in any construction project, they can also become fragile, especially if they are exposed to environmental, anthropogenic factors and in their own use.

Taking into account its possible wear, it is necessary to protect it, since its most important quality, without a doubt, is its beauty. Otherwise, the building or space where they were installed may have an abandoned and even gloomy appearance.

The objective of the research is the creation of a biomaterial that allows preserving the characteristics of the ignimbrite rock (quarry), thus helping to conserve this rock, taking into account that we can find it in contemporary constructions such as in buildings that have historical cataloging, focusing the biomaterial on the protection of this rock against the biotic, abiotic and anthropic agents to which the rock is exposed.

The above can be achieved through the establishment of a methodology that involves the investigation and support of other documents, which allow knowing the physical characteristics of the quarry, as well as the collection and study of environmental factors, understanding the effects they have on the rock and analysis techniques of the proposed materials in the laboratory. The research to obtain this biomaterial will be based on analysis and experimentation based on materials of natural origin.

**Keywords: Biomaterial, Experimentation, Protection, Rock, Innovation**



# INDICÉ

**INTRODUCCIÓN**

**HIPÓTESIS**

**OBJETIVOS**

**ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS**

## **CAPITULO 01**

---

- **USOS DE LA IGNIMBRITA EN LA HISTORIA ..... 19**
- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 23**

## **CAPITULO 02**

---

- **ESTADO DEL ARTE ..... 27**
- **ANALISIS Y DIAGNOSTICO DE CASOS DE ESTUDIO ..... 37**
- **MARCO REFERENCIAL ..... 43**
- **METODOLOGÍA ..... 48**

## **CAPITULO 03**

---

- **CARACTERIZACIÓN DE LA IGNIMBRITA LOCAL ..... 59**
- **OBTENCIÓN DE MUESTRAS..... 69**
- **PRIMICIAS DE LA INVESTIGACIÓN..... 74**
- **PROPUESTA Y ELABORACIÓN DE BIOMATERIAL ..... 80**
- **EXPERIMENTACIÓN ..... 95**

## **CAPITULO 04**

---

- CONCLUSIONES ..... 161**
- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS ..... 169**

## Introducción

Los usos de la cantera abarcan tanto a la industria de la construcción como a la artística, la cantera o toba volcánica es una roca ígnea compuesta por cenizas y otros fragmentos de rocas o materiales resultantes de erupciones volcánicas violentas. Su color y textura varían de acuerdo a los elementos que la conforman. La cantera se encuentra en diversas partes del país; se trata de un tipo de roca que los mexicanos utilizaron en trabajos de arquitectura y escultura desde la época previa a la colonización y a lo largo del período colonial. Oaxaca, por ejemplo, destaca por el uso de cantera verde en su arquitectura barroca; en San Miguel el Alto, Morelia, San Luis Potosí y Zacateca, sus edificios históricos exhiben cantera rosa.

La roca ignimbrita, comúnmente conocida como “cantera”, es una roca natural que ha asumido un papel muy importante dentro de los procesos de construcción de edificios históricos y contemporáneos en diversas ciudades de México. La composición de la cantera es imprecisa, intervienen en ellas factores como el tipo de erupción y el lugar de formación de la roca madre. Sin embargo, entre sus características físicas destaca su ligereza, porosidad y suavidad. Puede ser trabajada sin mayores complicaciones, pero es susceptible a los cortes. Se asocia a otras rocas con propiedades neutras o ácidas, derivadas de la lava, mientras que su velocidad de enfriamiento es mayor que la de otras rocas volcánicas, como el granito.

Como se ha escrito con anterioridad, esta roca es empleada en el campo de la construcción para la elaboración de bloques en muros de carga y placas para el revestimiento de paredes, se trata de un material suave, poroso, liviano y resistente. Además, es un aislante térmico y acústico natural, útil en pequeñas y grandes edificaciones. A partir de estas características, se han desarrollado bloques y placas de cantera.

El tema del deterioro del material pétreo ocasionado por el intemperismo a la que está sometido, además de las diferentes manifestaciones urbanas, así como la falta de elementos de protección ha permitido la alteración y el deterioro de la ignimbrita empleada en las fachadas principales. El deterioro del material en gran parte se debe al vínculo entre los elementos y factores que se viven en su contexto. La presencia de contaminantes ambientales, la humedad constante y cíclica sobre la base de las fachadas principales de los inmuebles, así como la presencia de sales minerales y su efecto son en conjunto el fenómeno de alteración continuo y paulatino del material.

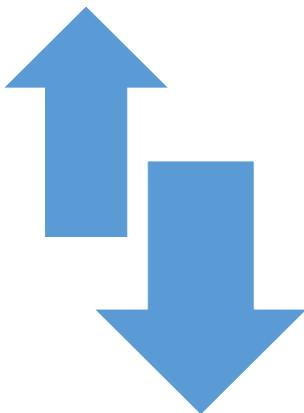
Es así que, en este trabajo de investigación, se busca crear un biomaterial que permita conservar las características físicas y mecánicas de la ignimbrita, estableciendo una metodología sistemática que involucre la investigación y la experimentación con materiales naturales. Esto permitirá que, a partir de una idea innovadora, se experimente para la obtención de un material biológico que sea compatible con la roca y que al mismo tiempo pueda cumplir con las características requeridas para la aplicación sobre esta.

## OBJETIVO

El objetivo de la investigación es la creación de un biomaterial que permita conservar las características propias de la roca ignimbrita (cantera) ayudando así a la conservación contemporáneas como históricas, donde es empleada esta roca en las diferentes edificaciones de la ciudad de Morelia, enfocando el biomaterial a la protección de la cantera de los agentes bióticos, abióticos y antropológicos a los que se encuentra expuesta la roca. Lo anterior se podrá lograr mediante el establecimiento de una metodología que involucra la investigación y apoyo de otros estudios realizados al respecto, que permitan conocer las características físicas de la cantera, así como la recolección y estudio de factores ambientales, estudiando los efectos que tienen sobre la roca y técnicas de análisis de los materiales propuestos en laboratorio. La investigación para la obtención de este biomaterial, se basará en el análisis y experimentación tomando como base la cola de conejo.

## OBJETIVO GENERAL

- La Creación de un biomaterial que permita conservar las características propias de la roca ignimbrita (cantera) a base de polimeros organicos



## OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer las características físicas de la cantera
- Establecer una metodología sistemática que involucra la investigación y la experimentación de biomateriales.
- Recolección y estudio de factores medio-ambientales.

ESQUEMA 1 OBJETIVOS, AUTOR FSP

## RESULTADOS

I

Crear un biomaterial base, con la finalidad de experimentar para la creación de un material de protección de la roca ignimbrita (cantera), contra los agentes antropocóicos, específicamente contra las pinturas en aerosol.

---

II

Creación de un biomaterial que sirva como sellador para la roca ignimbrita (cantera) para la protección de los agentes bióticos y abióticos.

---

III

Conocer las características físicas de la cantera, así como la recolección y estudio de factores ambientales, entendiendo los efectos que tienen sobre la piedra y técnicas de análisis de los materiales propuestos en laboratorio.

---

## ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1 Palacio Clavijero de Morelia Mich, autor FSP.....	19
IMAGEN 2 Templo Maya, autor desconocido. ....	20
IMAGEN 3 DETERIOROS ABIOTICOS, AUTOR FSP .....	23
IMAGEN 4 DETERIOROS ABIOTICOS, AUTOR FSP .....	23
IMAGEN 5 DETERIOROS ANTROPICOS, AUTOR FSP .....	24
IMAGEN 6 Hy-Fi Mushroom Tower pavilion at the museum of modern art in New York Photograph .....	31
IMAGEN 7 Visitors' centre in Cuerden Valley Park Trust during the construction (November 2017 .....	32
IMAGEN 8 Wooden façade with the signs of moulds growth. Images courtesy of Lone Ross Gobakken, NIBIO.....	32
IMAGEN 9 Algae growth on the building façadeP.....	33
IMAGEN 10, Iglesia de San Charbel, Tres Marías, Morelia, autor FSP .....	39
IMAGEN 11, Iglesia de San Charbel, Tres Marías, Morelia, autor FSP .....	39
IMAGEN 12, Casa Habitación, Av. Acueducto, Morelia, FSP.....	40
IMAGEN 13, Casa Habitación, Av. Acueducto, Morelia, FSP.....	40
IMAGEN 14, Oficinas SCOP Col. Chapultepec, Morelia, FSP.....	40
IMAGEN 15, Oficinas Col. Vasco de Quiroga, Morelia, FSP. ....	40
IMAGEN 16, Departamentos Col. Chapultepec, Morelia, FSP .....	40
IMAGEN 17 Diseño descriptivo, autor FSP .....	47
IMAGEN 18, Roca ignimbrita, autor FSP.....	60
IMAGEN 19, Roca ignimbrita, autor FSP.....	60
IMAGEN 20, Algas en ignimbrita, autor FSP.....	63
IMAGEN 21, Algas en ignimbrita, autor FSP.....	64
IMAGEN 22, Deterioros en ignimbrita, autor FSP. ....	65
IMAGEN 23, Deterioros en ignimbrita, autor FSP. ....	66
IMAGEN 24, Muestras de ignimbrita, FSP. ....	69
IMAGEN 25, Muestras bancos de roca ignimbrita, FSP. <b>TEJOCOTE</b> .....	70
IMAGEN 26, Muestras de ignimbrita, FSP. ....	70

IMAGEN 27, Estructura de capas estratosféricas de suelo para ubicar la roca ignimbrita, autor desconocido. ....	73
IMAGEN 28, Banco de roca ignimbrita, Autor FSP. ....	73
IMAGEN 29, Primer experimentación, absorción de agua, FSP.....	74
IMAGEN 30, Primer experimentación, absorción de agua, FSP.....	74
IMAGEN 31, Primer experimentación, absorción de agua, FSP.....	75
IMAGEN 32, Proceso de producción de Cola de Conejo, Autor FSP.....	82
IMAGEN 33, Materiales para la producción de Cola de Conejo, Autor FSP. ....	83
IMAGEN 34, Materiales para la producción de Cola de Conejo, Autor FSP. ....	83
IMAGEN 35, Producción de diferentes dosificaciones de Cola de Conejo, Autor FSP. ....	83
IMAGEN 36, División de muestras de roca de diferentes bancos, Autor FSP .....	84
IMAGEN 37, Enmascarillado de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP. ...	84
IMAGEN 38, Ubicación de la aplicación de diferentes dosificaciones en muestras de roca, Autor FSP. <b>30%</b> .....	84
IMAGEN 39, Ubicación de la aplicación de diferentes dosificaciones en muestras de roca, Autor FSP. <b>30%</b> .....	84
IMAGEN 40, Ubicación de la aplicación de diferentes dosificaciones en muestras de roca, Autor FSP. <b>30%</b> .....	84
IMAGEN 41, Aplicación de biomaterial en muestras de roca ignimbrita de diferentes dosificaciones, Autor FSP. ....	85
IMAGEN 42, Resistividad en rocas, Autor FSP.....	102
IMAGEN 43, Resistividad en rocas, Autor FSP.....	102
IMAGEN 44, Resistividad en rocas, Autor FSP.....	102
IMAGEN 45, Resistividad en rocas, Autor FSP.....	102
IMAGEN 46, Resistividad en rocas, Autor FSP.....	102
IMAGEN 47, Materiales para la realización de experimentación, Autor FSP. ....	103
IMAGEN 48, Etiquetado y dimensiones de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP. ....	104

IMAGEN 49, Proceso de experimentación, Roca al natural Cointzio, Autor FSP.  
..... 106

IMAGEN 50, Proceso de experimentación, Roca al natural Tlalpujahuá, Autor FSP.  
..... 107

IMAGEN 51, Proceso de experimentación, Roca al natural Jamaica, Autor FSP.  
..... 108

IMAGEN 52, Medición de peso inicial y final de recipientes de experimentación de roca al natural, Autor FSP.  
..... 109

IMAGEN 53, Aplicación de biomaterial en rocas, Autor FSP.  
..... 110

IMAGEN 54, Probetas con aplicación de biomaterial, Autor FSP.  
..... 110

IMAGEN 55, Etiquetado de muestras, Autor FSP.  
..... 110

IMAGEN 56, Probetas con aplicación de biomaterial, Autor FSP.  
..... 110

IMAGEN 57, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 58, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 59, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 60, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 61, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 62, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 63, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 64, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 65, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.  
..... 111

IMAGEN 66, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	113
IMAGEN 67, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	113
IMAGEN 68, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Cointzio, Autor FSP. ....	115
IMAGEN 69, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Cointzio, Autor FSP. ....	115
IMAGEN 70, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Jamaica, Autor FSP. ....	117
IMAGEN 71, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Jamaica, Autor FSP. ....	117
IMAGEN 72, Muestras para la obtención de láminas delgadas, Autor, FSP. ....	138
IMAGEN 73, sierra de precisión alimentada por gravedad IsoMet Low Speed, Autor FSP. ....	139
IMAGEN 74, Proceso láminas delgadas, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 75, Proceso láminas delgadas, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 76, Proceso láminas delgadas, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 77, Proceso láminas delgadas, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 78, Proceso láminas delgadas, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 79, Proceso láminas delgadas, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 80, Láminas delgadas Cointzio, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 81, Láminas delgadas Jamaica, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 82, Láminas delgadas Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	140
IMAGEN 83, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP. ....	141
IMAGEN 84, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP. ....	141
IMAGEN 85, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP. ....	141

IMAGEN 86, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.....	141
IMAGEN 87, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.....	141
IMAGEN 88, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.....	141
IMAGEN 89, Pérdida de humedad en roca con aplicación de biomaterial, 12 hrs, Autor FSP.....	151
IMAGEN 90, Pérdida de humedad en roca al natural, 12 hrs, Autor FSP... ..	151
IMAGEN 91, Pérdida de humedad en roca con aplicación de biomaterial, 48 hrs, Autor FSP.....	151
IMAGEN 92, Pérdida de humedad en roca con aplicación de biomaterial, 48 hrs, Autor FSP.....	151
IMAGEN 93, Pérdida de humedad en roca al natural, 48 hrs, Autor FSP... ..	151
IMAGEN 94, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 95, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 96, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 97, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 98, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 99, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 100, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 101, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 102, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 103, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 104, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 105, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159
IMAGEN 106, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP. ....	159

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1, Uso de la ignimbrita en la historia, Autor FSP. ....	21
DIAGRAMA 2 Metodología Driven Design .....	50
DIAGRAMA 3, Metodología Bruno Munari, FSP. ....	52
DIAGRAMA 4, Ejemplo de metodología de Brumo Munari para resolver un problema. ....	55
DIAGRAMA 5, Metodología, autor FSP. ....	57
DIAGRAMA 6 Características de la ignimbrita, autor FSP. ....	61
DIAGRAMA 7, Experimentación, autor FSP. ....	93
DIAGRAMA 8, Proceso de experimentación, Autor FSP. ....	105
DIAGRAMA 9, Procedimiento para la obtención del porcentaje de humedad en roca ignimbrita, Autor FSP. ....	122
DIAGRAMA 10, Procedimiento para la obtención del contenido de humedad máxima en roca ignimbrita, Autor FSP. ....	126
DIAGRAMA 11, Procedimiento para la obtención de la humedad de absorción en roca ignimbrita, Autor FSP.5 cm .....	129
DIAGRAMA 12, Procedimiento para la obtención de la humedad de absorción en roca ignimbrita, Autor FSP. ....	130
DIAGRAMA 13, Procedimiento para la determinación de humedad de absorción por capilaridad, Autor FSP.Datos de roca con aplicación de biomaterial .....	131
DIAGRAMA 14, Procedimiento para la determinación de humedad de absorción por capilaridad, Autor FSP. ....	133
DIAGRAMA 15, Procedimiento para la obtención de la humedad de absorción en roca ignimbrita, Autor FSP.5 cm .....	153

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1, Filtración de agua ml/min, Autor FSP.....	76
GRÁFICA 2, Filtración de agua ml/hrs, Autor FSP.....	76
GRÁFICA 3, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Jamaica, Autor FSP ....	77
GRÁFICA 4, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Cointzio, Autor FSP.....	77
GRÁFICA 5, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Barreno, Autor FSP.....	77
GRÁFICA 6, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Tejocote, Autor FSP. ...	78
GRÁFICA 7, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Tlalpujahua, Autor FSP. .....	78
GRÁFICA 8, Comparativa de absorción de agua en horas de bancos de roca ignimbrita, Autor FSP. ....	79
GRÁFICA 9, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Cointzio, Autor FSP.....	86
GRÁFICA 10, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Jamaica, Autor FSP.....	86
GRÁFICA 11, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Barreno, Autor FSP .....	87
GRÁFICA 12, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Tejocote, Autor FSP .....	87
GRÁFICA 13, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Tlalpujahua, Autor FSP .....	88
GRÁFICA 14, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Jamaica, Autor FSP.....	89
GRÁFICA 15, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Tejocote, Autor FSP. ....	90
GRÁFICA 16, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Barreno, Autor FSP. ....	90
GRÁFICA 17, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Tlalpujahua, Autor FSP. ....	91

GRÁFICA 18, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Cointzio, Autor FSP. ....	91
GRÁFICA 19, Resistividad eléctrica en roca, Autor FSP. ....	98
GRÁFICA 20, Comparativa resistividad en roca del banco de Tlalpujahua, Autor FSP. ....	99
GRÁFICA 21, Comparativa resistividad en roca del banco de Jamaica, Autor FSP. ....	100
GRÁFICA 22, Comparativa resistividad en roca del banco de Cointzio, Autor FSP. ....	101
GRÁFICA 23, Etiquetado y dimensiones de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP.4 cm ....	104
GRÁFICA 24, Etiquetado y dimensiones de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP.4 cm ....	104
GRÁFICA 25, Etiquetado y dimensiones de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP.4 cm ....	104
GRÁFICA 26, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Cointzio, Autor FSP ....	106
GRÁFICA 27, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Tlalpujahua, Autor FSP. ....	107
GRÁFICA 28, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Jamaica, Autor FSP. ....	108
GRÁFICA 29, Comparativa peso inicial y final de recipientes de experimentación de ropa al natural, Autor FSP. ....	109
GRÁFICA 30, Comparativa peso inicial y final de recipientes de experimentación de ropa al natural, Autor FSP. <b>0.830 kg</b> ....	109
GRÁFICA 31, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 0%, Roca Tlalpujahua, Autor FSP. ....	112
GRÁFICA 32, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 10%, Roca Tlalpujahua, Autor FSP. ....	112
GRÁFICA 33, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 20%, Roca Tlalpujahua, Autor FSP. ....	113

GRÁFICA 34, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 0%, Roca Cointzio, Autor FSP. ....	114
GRÁFICA 35, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 10%, Roca Cointzio, Autor FSP. ....	114
GRÁFICA 36, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 20%, Roca Cointzio, Autor FSP. ....	115
GRÁFICA 37, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 0%, Roca Jamaica, Autor FSP. ....	116
GRÁFICA 38, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 10%, Roca Jamaica, Autor FSP. ....	116
GRÁFICA 39, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 20%, Roca Jamaica, Autor FSP. ....	117
GRÁFICA 40, Determinar el porcentaje de humedad en rocas, Autor FSP. ....	123
GRÁFICA 41, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Banco Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	135
GRÁFICA 42, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Banco Cointzio, Autor FSP. .	136
GRÁFICA 43, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Banco Jamaica, Autor FSP. .	137
GRÁFICA 44, Pérdida de humedad en roca a temperatura ambiente, Banco Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	149
GRÁFICA 45, Pérdida de humedad en roca a temperatura ambiente, Banco Jamaica, Autor FSP. ....	150
GRÁFICA 46, Pérdida de humedad en roca a temperatura ambiente, Banco Cointzio, Autor FSP. ....	150
GRÁFICA 47, Compresión de simple en rocas, Autor FSP. ....	155
GRÁFICA 48, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	156
GRÁFICA 49, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Cointzio, Autor FSP. ....	157

GRÁFICA 50, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Jamaica, Autor FSP. .... 158

GRÁFICA 51, Determinar el porcentaje de humedad en rocas, Autor FSP. 159

GRÁFICA 52, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Bancos de Cointzio y Jamaica, Autor FSP. .... 159

GRÁFICA 53, Penetración de biomaterial en roca ignimbrita, Autor FSP. ... 159

## **ÍNDICE DE ESQUEMAS**

ESQUEMA 1 OBJETIVOS, AUTOR FSP ..... 3

ESQUEMA 2, Agentes de deterioro bióticos, autor FSP..... 66

ESQUEMA 3, Agentes de deterioro Abióticos, autor FSP. .... 67

ESQUEMA 4, Agentes de deterioro Antrópicos, autor FSP..... 67

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 MAPA DE LA ZONA DE MONUMENTOS DE LA CIUDAD DE MORELIA, INHA..... 37

Ilustración 2, Mapa de ubicación de casos de estudio en la ciudad de Morelia, Autor FSP. .... 41

Ilustración 3, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP. ... 143

Ilustración 4, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP. ... 144

Ilustración 5, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP. ... 145

Ilustración 6, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP. ... 146

Ilustración 7, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP. ... 147

Ilustración 8, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP. ... 148

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1, Filtración de agua por minuto. Autor FSP. ....	76
TABLA 2, Filtración de agua por horas, Autor FSP. ....	76
TABLA 3, Resistividad eléctrica en roca, Autor FSP. ....	97
Tabla 4, Comparativa de datos de resistividad en roca, banco de Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	99
Tabla 5, Comparativa de datos de resistividad en roca, banco de Jamaica, Autor FSP. ....	100
Tabla 6, Comparativa de datos de resistividad en roca, banco de Cointzio, Autor FSP. ....	100
Tabla 7, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Cointzio, Autor FSP. ....	106
TABLA 8, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	107
TABLA 9, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Jamaica, Autor FSP. ....	108
Tabla 10, Datos de peso inicial y final de recipiente de roca al natural, Autor FSP. ....	109
Tabla 11, Datos de aplicación de biomaterial en tres distintas dosificaciones aplicadas en tres capas en roca ignimbrita, banco Tlalpujahuá, Autor FSP. ....	112
TABLA 12, Datos de aplicación de biomaterial en tres distintas dosificaciones aplicadas en tres capas en roca ignimbrita, banco Cointzio, Autor FSP. ....	114
TABLA 13, Datos de aplicación de biomaterial en tres distintas dosificaciones aplicadas en tres capas en roca ignimbrita, banco Jamaica, Autor FSP. ....	116
Tabla 14, Comparativa de datos de absorción de roca al natural y las tres dosificaciones del biomaterial, Roca Cointzio, Autor FSP. ....	118
TABLA 15, Comparativa de datos de absorción de roca al natural y las tres dosificaciones del biomaterial, Roca Jamaica, Autor FSP. ....	119

TABLA 16, Comparativa de datos de absorción de roca al natural y las tres dosificaciones del biomaterial, Roca Tlalpujahua, Autor FSP.....	120
Tabla 17, Datos para determinar el porcentaje de humedad en rocas, Autor FSP.....	123
TABLA 18, Datos de humedad máxima en rocas con aplicación de tres capas de biomaterial, Autor FSP.....	127
TABLA 19, Datos de humedad máxima en rocas al natural, Autor FSP. ....	127
TABLA 20, Datos de humedad de absorción en rocas al natural, Autor FSP. ....	131
TABLA 21, Datos de humedad de absorción en rocas con la aplicación de tres capas de biomaterial, Autor FSP. ....	131
Tabla 22, Compresión de simple en rocas, Autor FSP. ....	155
Tabla 23,Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Tlalpujahua, Autor FSP. ....	156
Tabla 24, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Coitzio, Autor FSP. ....	157
Tabla 25, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Jamaica, Autor FSP. ....	158

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA



USOS DE LA ROCA IGNIMBRITA

# CAPITULO 01

---

---

- **USOS DE LA IGNIMBRITA EN LA HISTORIA**
- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## USOS DE LA IGNIMBRITA EN LA HISTORIA

El empleo de la roca ignimbrita (cantera) ha tenido diferentes usos, sin embargo, uno de los más recurrentes desde tiempos ancestrales es en el campo de la construcción para la elaboración de bloques en muros de carga y placas para el revestimiento de paredes, debido a sus características físico mecánicas; se trata de un material suave, poroso, liviano y resistente, además, de ser un aislante térmico y acústico natural, utilizada en pequeñas y grandes edificaciones. La cantera es útil como un material base para construcciones de poco peso, económicas y duraderas.

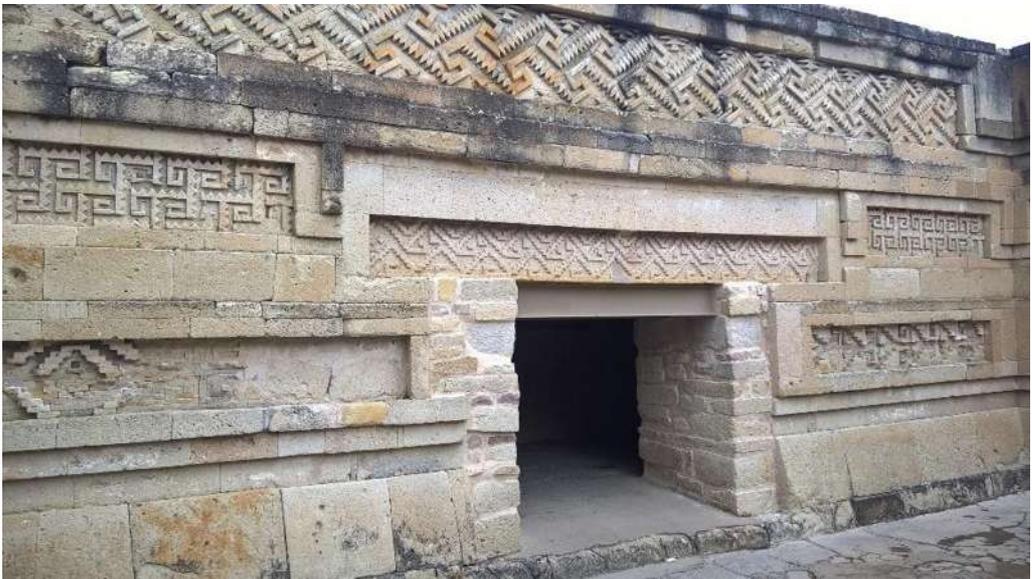


IMAGEN 1 Palacio Clavijero de Morelia Mich, autor FSP.

Como ya se ha mencionado, este material ha sido implementado en la construcción de grandes recintos o edificaciones desde tiempos inmemoriales. Esto se debe a que desde entonces se conocían los beneficios de trabajar con este tipo de minerales. No sólo las culturas prehispánicas descubrieron las ventajas de erigir grandes estructuras con esta clase de material, en las culturas clásicas, por ejemplo, también se recurría a los minerales como materia prima para la construcción de muchas de las piezas arquitectónicas más impresionantes de la historia de la humanidad. Así pues, tanto en Grecia como en Roma todavía se conservan en muy buen estado grandes construcciones, monumentos y piezas de arte que fueron hechas con diferentes tipos de cantera.

En el caso de México, varias de las pirámides, entre otros tipos de construcciones prehispánicas, también fueron hechas con diferentes clases de rocas o minerales. La mayoría de las culturas que se desarrollaron antes de la llegada de los españoles, implementaron el uso de las rocas calizas para la elaboración de monumentos o piezas que, en la actualidad, son emblemáticas

de cada una de ellas. Sin embargo, la cultura maya fue la más destacada en el labrado de piedras con fines arquitectónicos y ornamentales. Hoy en día, en el estado de Yucatán todavía se le da un peso sumamente importante al arte del labrado en piedra.



*IMAGEN 2 Templo Maya, autor desconocido.*

La apariencia de este material le da un acabado de alta belleza, elegancia y sobriedad inigualable, razón por la que en la actualidad esta roca natural continúa siendo muy solicitada, en especial para recubrimientos de espacios interiores. Sin embargo, es precisamente por su resistencia y durabilidad que es excelente para revestir exteriores, y es precisamente de esta aplicación de la que hablaremos.

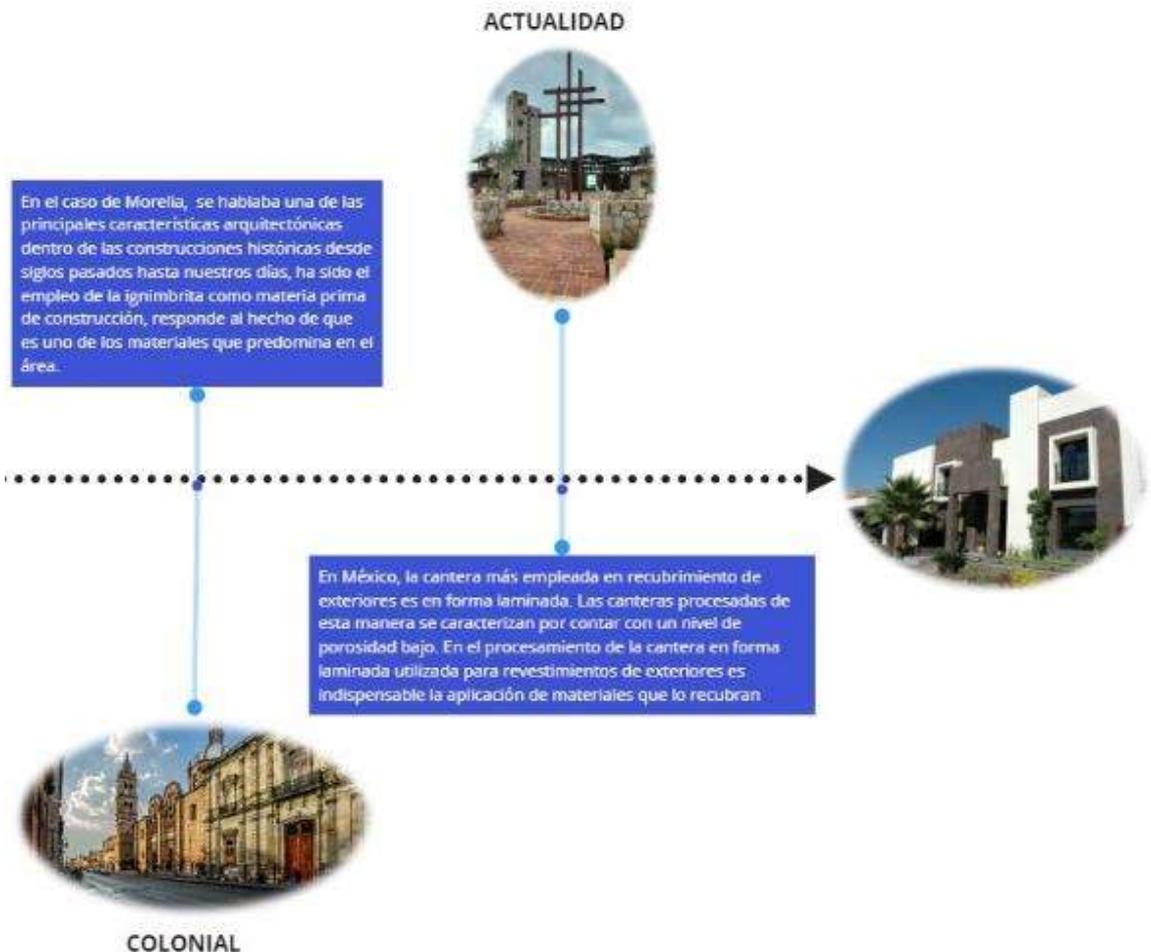
Es gracias a las excelentes propiedades que presenta esta roca, como su resistencia, su capacidad de aislante térmico, acústico, así como su valor estético, hacen que esta roca siga empleándose, ya que es muy difícil que otros materiales de origen natural o sintético, iguallen todas estas características. La cantera se compone de rocas calizas y minerales que la hacen resistente a los impactos, a la abrasión e incluso al fuego, por lo que es la más recomendada como recubrimiento en espacios exteriores y según su procesó de formación, puede emplearse para alto tráfico, para laminados y para decoración.

## USOS DE LA IGNIMBRITA EN LA HISTORIA



DIAGRAMA 1, Uso de la ignimbrita en la historia, Autor FSP.

En México, la cantera más empleada en recubrimiento de exteriores es en forma laminada. Las canteras procesadas de esta manera se caracterizan por contar con un nivel de porosidad bajo. En el procesamiento de la cantera en forma laminada utilizada para revestimientos de exteriores es indispensable la aplicación de materiales que lo recubran, en particular porque este tipo de piedra se puede deteriorar por la humedad, que propicia no solo la aparición de manchas en la superficie, sino también malos olores y el desarrollo de hongos, que en suma reducen su tiempo de vida útil.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Morelia podemos encontrar en el área denominada como Zona de Monumentos Históricos el uso de ignimbrita (cantera) como material base en la construcción original de sus inmuebles, a través de los años, por tendencias y modismos arquitectónicos, sus fachadas principales han quedado expuestas a la intemperie. Estos edificios construidos en su gran mayoría de roca ignimbrita, han estado sometidos a procesos de degradación a lo largo del tiempo, debido a factores naturales y/o antropogénicos, perdiendo su valor estético e histórico y su integridad estructural; están expuesto a una serie de elementos que condicionan su conservación.

Hoy en día existe un importante proceso de deterioro presente en la ignimbrita utilizada en esta zona de monumentos históricos de Morelia. Sin embargo, las mismas condiciones que identifican esta zona, también se presenta en las rocas utilizadas en construcciones modernas donde se emplea. Las alteraciones se deben en gran medida al efecto que ha provocado el intemperismo del material, situación que se agudiza por el retiro de los recubrimientos de la ignimbrita en fachadas en algunos casos y a la falta de materiales que puedan proteger a la roca de los diferentes agentes a los que se enfrenta esta roca a través de los años, con la finalidad de apreciar las características estéticas de la misma.<sup>1</sup>



IMAGEN 3 DETERIOROS ABIOTICOS, AUTOR FSP



IMAGEN 4 DETERIOROS ABIOTICOS, AUTOR FSP

---

<sup>1</sup> MANUEL GONZÁLEZ GALVÁN, "MORELIA: AUTENTICIDADES Y OCULTAMIENTOS" EN MORELIA 460, CUATRIMESTRAL MAYO-AGOSTO, No. 2, 2001, pp. 23-28.

El efecto de intemperismo de la ignimbrita ha originado la existencia de diversas patologías, producto de la suma entre los contaminantes ambientales, de los procesos cíclicos de pérdida y acumulación de humedad y el efecto de la cristalización de sales, en conjunto forman el mecanismo de deterioro actual de la ignimbrita. Los diferentes factores bajo los cuales se encuentra sometida la ignimbrita, desde el punto de vista ambiental, son: la humedad relativa, temperatura, precipitación pluvial, vientos dominantes, insolación, contaminación ambiental, entre otros.



IMAGEN 5 DETERIOROS ANTROPICOS, AUTOR FSP

Existen otros factores que contribuyen a su alteración, tales como: reparto no uniforme de esfuerzos y tensiones, así como la mezcla de diferentes materiales dentro de los sistemas constructivos.

Aunado a lo anterior, el vandalismo se suma a una de las principales problemáticas a las que se enfrenta la conservación de esta roca sedimentaria, como lo son los grafitis, pintas y pegatinas. Mediante datos obtenidos por parte del H. Ayuntamiento de Morelia, solo en el área de las Capuchinas se retiraron grafitis, pintas y pegatinas en más de mil 400 metros cuadrados de cantería y 200 metros cuadrados de fachadas aplanadas en los últimos tres años<sup>2</sup>.

Es así que, en la ciudad de Morelia, específicamente en el centro de la ciudad, debido a las características constructivas de sus edificios, es donde podemos encontrar las diferentes patologías que contribuyen al deterioro de la ignimbrita, pero que facilitan el estudio y análisis de estas patologías, con la finalidad de poder proponer el biomaterial objeto de este trabajo.

---

*2 H. AYUNTAMIENTO DE MORELIA 2023.*

El efecto de intemperismo de la ignimbrita ha originado la existencia de diversas patologías, producto de la suma entre los contaminantes ambientales, de los procesos cíclicos de pérdida y acumulación de humedad y el efecto de la cristalización de sales, en conjunto forman el mecanismo de deterioro actual de la ignimbrita. Los diferentes factores bajo los cuales se encuentra sometida la ignimbrita, desde el punto de vista ambiental, son: la humedad relativa, temperatura, precipitación pluvial, vientos dominantes, insolación, contaminación ambiental, entre otros.



BIOMATERIAL PARA LA  
PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA



ESATADO DEL ARTE

# CAPITULO 02

---

---

- **ESTADO DEL ARTE**
- **ANALISIS Y DIAGNOSTICO DE CASOS DE ESTUDIO**
- **MARCO REFERENCIAL**
- **METODOLOGÍA**

## **ESTADO DEL ARTE**

Como parte del esfuerzo por hacer más sostenible el sector de la construcción ante la crisis climática, se ha destacado la bioeconomía. Si bien el camino hacia la arquitectura neta cero sigue siendo muy complejo, el cambio emergente en la cultura y el pensamiento general es evidente, la innovación parece estar impulsando esta transformación. Es en este contexto que surgen los biomateriales, es decir, materiales de construcción derivados de organismos vivos, incluyendo plantas, animales y hongos.

Lo anterior basado en las teorías de los biomateriales empleados en la arquitectura, entendiendo que, un biomaterial es aquel material que tiene un origen y constitución natural; fabricado con ingredientes presentes en la naturaleza y deja una huella ecológica mínima durante su tratamiento y también después, como residuo. Los científicos investigan la creación de nuevos materiales a partir de los residuos agrícolas o los hongos. Está claro que se impone buscar una alternativa a los materiales tradicionales usados en la construcción.

En el campo de la construcción, algunos biomateriales como la madera y el cáñamo se pueden utilizar en su estado bruto, mientras que otros, como el micelio y los restos de comida, se mezclan con otros materiales para luego transformarlos en útiles compuestos. Como reflejo de la innovación de la industria, particularmente en las investigaciones en bioquímica y bioingeniería, los biomateriales ofrecen oportunidades para impulsar la capacidad de crear una forma verdaderamente circular y sostenible de construcción para el futuro. Esto se debe a que son biodegradables y almacenan CO<sub>2</sub> durante su vida útil, lo que reduce la huella de carbono de los edificios y productos. Además, varios estudios sugieren los considerables beneficios del uso de biomateriales en la construcción civil, no solo relacionados con la agenda de sustentabilidad, sino también para el bienestar de los usuarios.

En la práctica, existen numerosos ejemplos de edificios que utilizan biomateriales, tanto de forma tradicional como con usos innovadores, ya sea en detalles arquitectónicos o sistemas constructivos. En este sentido, los materiales derivados de plantas han sido los que más han destacado. Hemp House, por ejemplo, utiliza hormigón de cannabis para construir sus recintos. También conocido como hempcrete<sup>3</sup>, este biomaterial se puede moldear en paneles fibrosos, revestimientos, láminas e incluso ladrillos. Además, la Casa Regional, un centro de educación ambiental en Bélgica, también es un ejemplo de esta aplicación. De igual forma el cáñamo y el lino también se han utilizado en diferentes etapas de la construcción, como es el caso de Brass House Amsterdam, en Holanda<sup>4</sup>, que utiliza este biomaterial en la estructura de sellado para garantizar el aislamiento térmico.

Un caso análogo es el que se emplea para la protección de la roca ignimbrita, es el que plantea el Departamento Académico de Química de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNAS); en conjunto con el Laboratorio de preparación, caracterización e identificación de nanomateriales de la UNSA en el centro histórico de Arequipa, que derivado del problema causado por el intemperismo, emisión de contaminantes industriales y biológicos, que afectan la preservación de esta roca; aplicaron a la ignimbrita, polisiloxano fusionado con nanopartículas de plata, como recubrimiento para disminuir su porosidad, con la finalidad de evitar su degradación y darle un efecto protector a su superficie.

Plantean que las nanopartículas de plata se mezclaron con otras soluciones acuosas, obteniendo un gel de color amarillo lechoso. Este gel se aplicó a la superficie de la ignimbrita y se realizaron pruebas de adsorción con solución de azul de metileno 1ppm, que se contrastó con ignimbrita sin la aplicación de este gel. Encontrando en la ignimbrita con gel, un porcentaje de recubrimiento del 85,98 % y

---

3 "QUÉ ES EL HEMPCRETE?: TODO SOBRE EL HORMIGÓN DE CAÑAMO/ FLOWERTOWN" JULIO 2020. [HTTPS://ELPLANTEO.COM/HEMPCRETE-HORMIGON-DE-CANAMO/#:~:TEXT=EL%20HEMPCRETE%2C%20U%20HORMIG%2C%20DE,POR%20C%3%A1%20C%20B1%20AMO%2C%20CAL%20Y%20AGUA](https://elplanteo.com/hempcrete-hormigon-de-canamo/#:~:TEXT=EL%20HEMPCRETE%2C%20U%20HORMIG%2C%20DE,POR%20C%3%A1%20C%20B1%20AMO%2C%20CAL%20Y%20AGUA).

4 BRASS HOUSE ÁMSTERDAM / MOJO/ARCHITECTEN + DAMAST ARCHITECTS, 2018, [HTTPS://WWW.ARCHDAILY.COM/896781/BRASS-HOUSE-AMSTERDAM-MOPET-ARCHITECTEN](https://www.archdaily.com/896781/brass-house-amsterdam-mopet-architecten)

en la ignimbrita sin el gel un porcentaje de recubrimiento del 61,04%, existiendo una diferencia de 36,65% de adsorción, demostrando que, con este gel, se mejora la protección de la ignimbrita<sup>5</sup>.

Sin embargo, aunque la industria de la bioarquitectura ofrece materiales innovadores, algunos de los más tradicionales también pueden incluirse en la categoría de biomateriales. Entre ellos se encuentra la madera, un método constructivo muy conocido, pero que actualmente se está explorando de diferentes formas, como en las construcciones en altura del Edificio de Oficinas Tamedia y el Centro de Diseño de Innovación de la Madera. En esta lista también se incluye el bambú, tanto de los tejados tradicionales indonesios, como los de las pistas de bádminton de Kura, como de aquellos con un lenguaje más contemporáneo, como es el caso de la Casa de Mas Nou, España. En esta línea, todavía es posible mencionar la paja como un biomaterial muy conocido y sus diferentes aplicaciones, como el proyecto del Refugio II.

El profesor y autor David F. Williams, quien dirigió la revista científica 'Biomaterials', define los biomateriales llanamente como aquellos "que interactúan con sistemas vivos". Pero edificar con un menor impacto medioambiental no permite utilizar cualquier material biológico, debe cumplir varios requisitos fundamentales: que provenga de recursos naturales y su producción sea sostenible, que cumpla su función constructiva (es decir, que sea resistente, seguro, no tóxico y duradero) y, una vez concluida su vida útil, pueda reciclarse y sumarse a la economía circular o que sea biodegradable.

El césped es uno de los materiales renovables más difundidos y disponibles. Henos derivados de plantas de pradera a menudo se almacenaban en áticos para ser utilizados como materia prima para animales domésticos, pero que a su vez proporcionar aislamiento térmico en edificios rurales. Actualmente, varios ensayos

---

*5 "PASLINDA RODRÍGUEZ CRUZ, JULIA ZEA ÁLVAREZ, CORINA VERA GONZALES, MARÍA ELENA TALAVERA NÚÑEZ, EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE LA IGNIMBRITA CON POLISILOXANO FUNCIONALIZADO CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA"/FEBRERO DEL 22. [HTTP://WWW.SCIOLO.ORG.PE/PDF/RSQP/V87N4/2309-8740-RSQP-87-04-353.PDF](http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v87n4/2309-8740-rsqp-87-04-353.pdf)*

de laboratorio para la fabricación de materiales compuestos y aislamiento a base de hierba están en curso. Por lo tanto, se espera que los productos a base de hierba lleguen al mercado y obtengan un mayor interés en un futuro próximo<sup>6</sup>.

El uso de lana y otros pelos de animales en el sector de la construcción es actualmente limitado para aislamiento térmico y acústico. Atributos térmicos, prevención de vapor condensación y mitigación del calentamiento global, que están relacionados con dichos materiales, hacerlos útiles tanto en construcciones tradicionales como modernas. La lana tiene un efecto amortiguador de la humedad en interiores, donde las fibras capaces de absorber la humedad, liberándola cuando la humedad relativa ambiental es baja<sup>7</sup>.

El bambú y el ratán son abundantes, renovables, reciclables y biodegradables, disponibles en grandes cantidades, especialmente en Asia. El bambú es una de las plantas de más rápido crecimiento en el mundo, teniendo simultáneamente baja densidad y alta resistencia mecánica y rigidez. La durabilidad natural del bambú es relativamente baja, pero varía entre diferentes especies y procedencias. Fibras de bambú y ratán son ampliamente utilizados en la fabricación de materiales compuestos. En este caso, las fibras se pueden utilizar en la forma nativa, así como modificados química o térmicamente para mejorar las propiedades del compuesto<sup>8</sup>.

Las últimas tendencias en el desarrollo de materiales de construcción alternativos han resultado en el desarrollo de materiales compuestos a base de micelio, para el uso en diseño y arquitectura. La capacidad natural de los hongos saprofitos para unirse y digerir la lignocelulosa se utiliza para fabricar embalajes, textiles, películas comestibles y materiales de construcción y aislamiento<sup>9</sup>.

---

<sup>6</sup> ENGINEERED WOOD GLASS COMBINATION—INNOVATIVE GLAZING FAÇADE SYSTEM. MASTER THESIS, KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. ISBN 978-91-7729-476-4

<sup>7</sup> MANSOUR E, ORMONDROYD GA (2017) WOOL. IN: JONES D, BRISCHKE C (EDS) PERFORMANCE OF BIO-BASED BUILDING MATERIALS. WOODHEAD PUBLISHING, PP 128–141

<sup>8</sup> KNAPIC S, BAIRAKTARI A, NUNES L (2017) BAMBOO AND RATTAN. IN: JONES D, BRISCHKE C (EDS) PERFORMANCE OF BIO-BASED BUILDING MATERIALS. WOODHEAD PUBLISHING, PP 120–124

<sup>9</sup> ATTIAS N, DANAI O, EZOV N ET AL (2017) DEVELOPING NOVEL APPLICATIONS OF MYCELIUM BASED BIOCOMPOSITE MATERIALS FOR DESIGN AND ARCHITECTURE. IN: FINAL COST FP1303 CONFERENCE "BUILDING WITH BIO-BASED MATERIALS: BEST PRACTICE AND PERFORMANCE SPECIFICATION", ZAGREB

Otro material experimental es el tablero compuesto comercial (Myco-board) se puede utilizar de forma similar al tablero de fibra de densidad media (MDF) con la gran ventaja de no contener formaldehído. Hy-Fi de reciente diseño Pabellón Mushroom Tower en el Museo de Arte Moderno de Nueva York por David Benjamin es la primera estructura a gran escala en utilizar la tecnología de ladrillos tipo hongo.

La torre de 13 m de altura se creó con el fin de proporcionar una nueva definición de sostenibilidad. Los ladrillos livianos son una combinación innovadora de tallo de maíz desechos y hongos vivos devueltos a la tierra a través del compostaje al final del ciclo de vida de la estructura. A diferencia de la típica arquitectura temporal, Hy-Fi fue diseñado tanto para “aparecer como para desaparecer”.



*IMAGEN 6 Hy-Fi Mushroom Tower pavilion at the museum of modern art in New York Photograph courtesy of Amy Barkow*

El Cuerden Valley Park Trust es un excelente ejemplo de un edificio que fue erigido usando recursos naturales locales. Fue diseñado por Straw Works según el estándar Living Building Challenge. Tiene un portante híbrido de paja y un marco de madera construido por materiales naturales como la paja, madera, tejas de cedro, yeso de cal, lana de oveja y cáñamo. El edificio Trust es un centro de visitantes que permite estrecha conexión con la naturaleza.



IMAGEN 7 Visitors' centre in Cuerden Valley Park Trust during the construction (November 2017)

Aunque el moho no afecta a las propiedades estructurales de las fachadas de madera, tiene un gran efecto en la vida útil estética del revestimiento. Los principales factores para su crecimiento son el agua, la fuente de nutrientes y la temperatura adecuada. La presencia de moho cambia significativamente la apariencia de la fachada, el color del moho varía de blanco, amarillo, verde, rosa, marrón a negro, algunos mohos (por ejemplo, *Trichoderma*, *Aspergillus*) pueden dejar una mancha o decoloración permanente en la superficie de la fachada incluso después de quitarla.



IMAGEN 8 Wooden façade with the signs of moulds growth. Images courtesy of Lone Ross Gobakken, NIBIO

Los revestimientos de este tipo pueden prevenir ciertas estructuras, sin embargo, muy diferente cuando se expone al aire libre dependiendo de la formulación y el rango dado que los mohos y sus esporas son ampliamente presentes en el medio ambiente, el manejo adecuado del agua, ventilación adecuada, y las barreras de vapor son necesarias para proteger las envolventes de los edificios<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> GOBAKKEN LR, HØIBØ OA, SOLHEIM H (2010) MOULD GROWTH ON PAINTS WITH DIFFERENT SURFACE STRUCTURES WHEN APPLIED ON WOODEN CLADDINGS EXPOSED OUTDOORS. *INT BIODETERIOR BIODEGRADATION* 64:339–345

Además de los mohos, las algas aerofílicas crecen con frecuencia en las fachadas de los edificios. Las algas pueden desarrollarse en ambientes con altos niveles de humedad (hasta 100% HR), amplio rango de temperatura (0–40 °C) y disponibilidad de luz limitada. La mayoría de las algas pueden soportar condiciones extremas, incluidas temperaturas severas y temporales de sequía. Las algas crecen con mayor frecuencia en las fachadas norte, donde la luz solar directa es mínima<sup>11</sup>. Según Gobakken y Vestol, el crecimiento de algas y líquenes, agrietamiento, descamación y cambios de color también puede influir en la apariencia estética, pero por lo general en menor medida que moho y hongos de la mancha azul<sup>12</sup>. La imagen 7 presenta un ejemplo de un revestimiento de madera con una cobertura de algas que apareció inesperadamente en la fachada norte después de solo 2 años de vida útil.



IMAGEN 9 Algae growth on the building façade<sup>P</sup>

Pero los biomateriales no tienen por qué proceder solamente de sofisticados procesos tecnológicos. La cola de conejo es una solución acuosa de cola (adhesivo y/o pegamento) natural que existe desde tiempos inmemoriales, aunado a algunos conservadores naturales, impiden el ataque de microorganismos (hongos, bacterias y otros gérmenes). La cola de conejo presenta un aspecto translucido y gelatinoso

---

<sup>11</sup> LENGSELD K, KRUS M (2004) MICROORGANISM ON FAÇADES—REASONS, CONSEQUENCES AND MEASURES. IEA ANNEX 41 MEETING, GLASGOW, SCOTLAND

<sup>12</sup> GOBAKKEN LR, VESTØL GI (2012) SURFACE MOULD AND BLUE STAIN FUNGI ON COATED NORWAY SPRUCE CLADDING. *INT BIODETERIOR BIODEGRADATION* 75:181–186

de color meloso y posee una gran fuerza adherente superior a las colas de hueso y colas de pescado, es equiparable a las denominadas colas de pieles o de Colonia.

Se emplea principalmente como apresto de telas, como aglutinante de imprimaciones al yeso, creta o blanco de España y como componente aglutinante de imprimaciones en emulsión, como las llamadas imprimaciones a la media creta y al aceite. También se emplea como aislante de imprimaciones al yeso, creta o blanco de España, como aglutinante en pintura a la cola y como componente aglutinante en pintura en emulsión como los llamados temples de cola.<sup>13</sup>

Este trabajo busca la creación de un biomaterial basándose principalmente en las teorías y técnicas para la creación de nuevos materiales, que puedan abonar a la protección, en este caso de la roca ignimbrita, con la finalidad de aminorar los efectos de los diferentes agentes que provocan el deterioro acelerado de este material pétreo. Sin embargo, queda claro que el material que se propone tiene, que cumplir con ciertas características enfocándose hacia la materia de restauración, en otras palabras, este trabajo se basa en la colaboración interdisciplinar de la innovación de los biomateriales y la restauración, llegando así a un fin común, que es la protección de la ignimbrita (cantera).

Para lograr lo anteriormente descrito, es necesario realizar una investigación a fondo de las características propias de la cantera, con la finalidad de poder estar en condiciones de proponer diferentes materiales naturales que en conjunto y tomando en cuenta que estos tendrían que ser compatibles en muchos aspectos, para poder lograr la creación de un biomaterial que cumpla con los objetivos trazados.

---

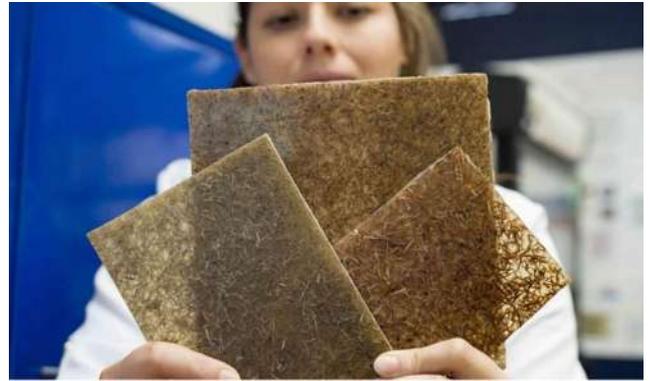
<sup>13</sup> TOTENART, "¿QUÉ ES LA COLA DE CONEJO Y CÓMO SE USA?", NOVIEMBRE 2020, [HTTPS://TOTENART.COM/TUTORIALES/QUE-ES-LA-COLA-DE-CONEJO/](https://TOTENART.COM/TUTORIALES/QUE-ES-LA-COLA-DE-CONEJO/)

Fabricar un biomaterial implica reutilizar materiales de forma creativa, combinando ciencia, tecnología y arte para poder generar un producto que resuelva las necesidades del usuario.

- Bioplásticos
- Biotextiles
- Bloques para construcción
- Etc.



También están los biomateriales que son extraídos directamente de la naturaleza y que **no pasan por ningún proceso de fabricación**, como la madera, el corcho, bambú o cáñamo.



**El diseño con biomateriales implica un proceso de investigación y desarrollo de conjunto, lo que genera infinitas posibilidades dentro del quehacer arquitectónico.**



## ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE CASOS DE ESTUDIO.

Como se ha mencionado con anterioridad la ciudad de Morelia, cuenta con un área denominada de monumentos, donde podemos encontrar diferentes patologías que afectan y deterioran la roca ignimbrita, estas patologías se clasifican en agentes biológicos, abióticos y antrópicos. Estos tres agentes los podemos encontrar en diferentes construcciones de esta zona; derivado de las características constructivas de las edificaciones que conforman esta zona y que, para fines de este trabajo, se tomara como estudio para conocer a mayor profundidad los características, orígenes y afectaciones de estos agentes sobre la roca ignimbrita.

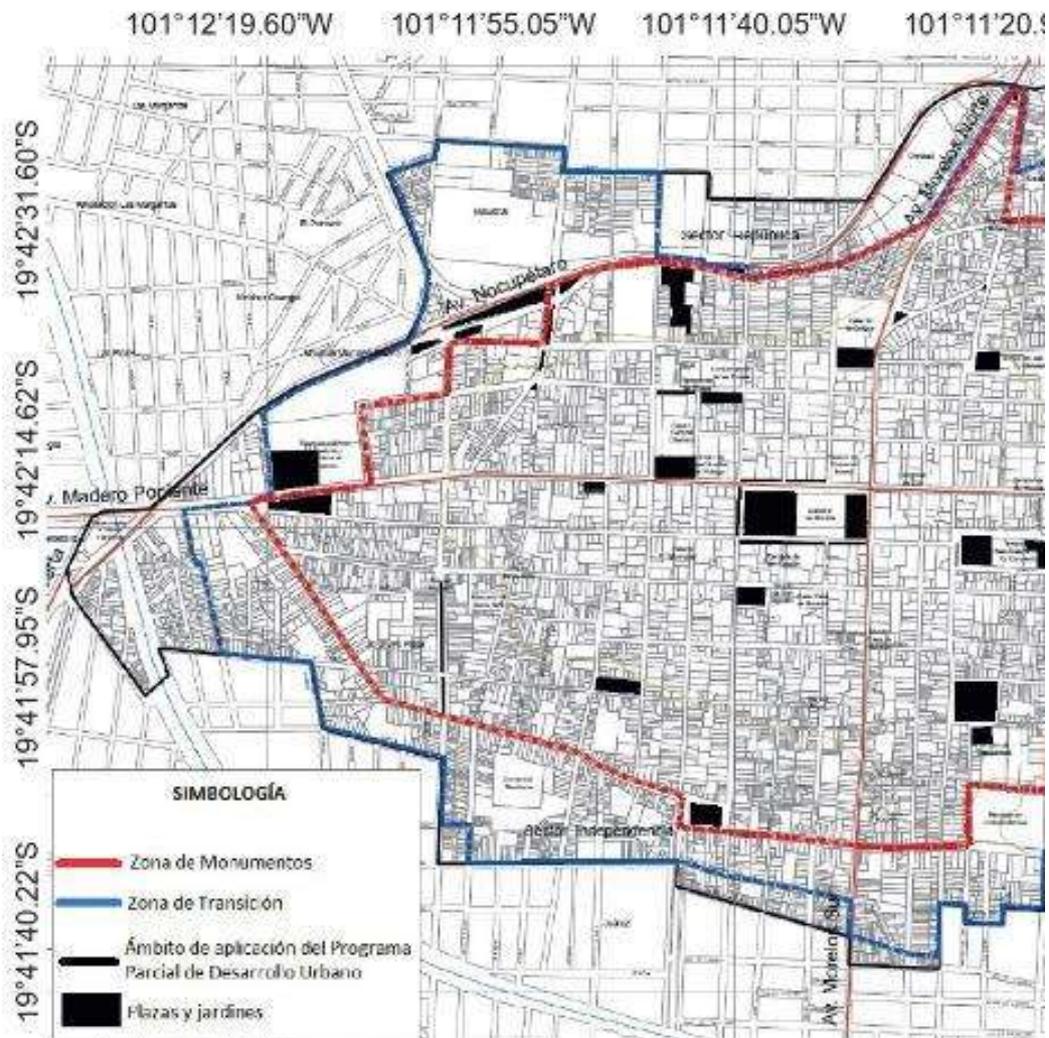
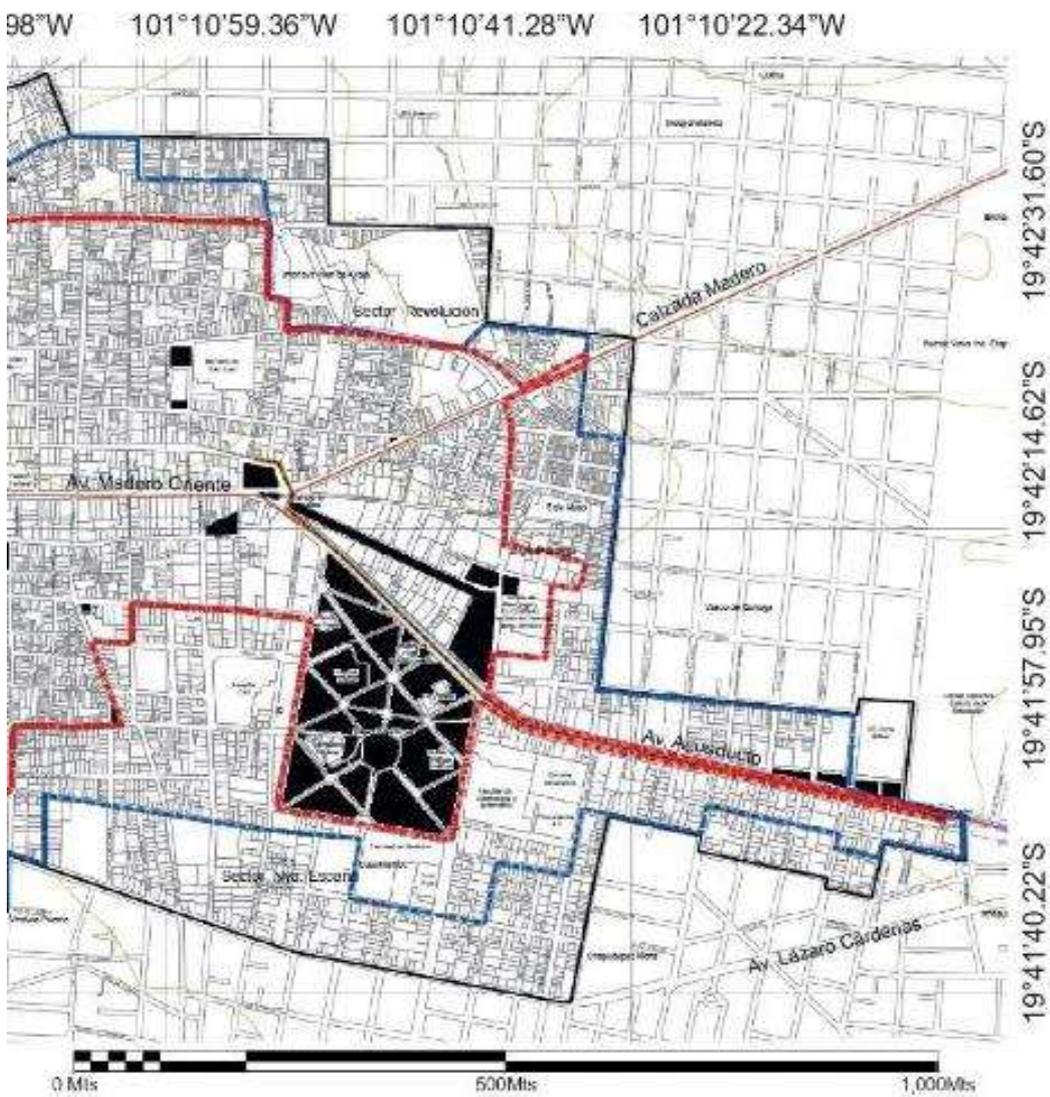
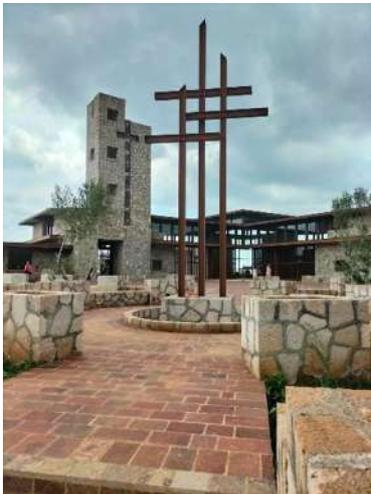


Ilustración 1 MAPA DE LA ZONA DE MONUMENTOS DE LA CIUDAD DE MORELIA, INHA

La ciudad de Morelia se fundó por órdenes del virrey Antonio de Mendoza en el siglo XVI bajo el nombre de Valladolid, la ciudad fue, al principio del siglo XIX, uno de los principales centros de lucha por la independencia del país. Sus monumentos ponen de manifiesto la magistral y ecléctica fusión del espíritu medieval con elementos renacentistas, barrocos y neoclásicos. La parte central del centro histórico de Morelia comprende 249 construcciones de primera importancia, entre los que se encuentran 21 iglesias y 20 construcciones civiles, que cristalizan la historia arquitectónica de la ciudad.



Por otro lado, podemos encontrar en las diferentes colonias y fraccionamientos de la ciudad de Morelia, diferentes edificaciones de estilos arquitectónicos distintos que hacen uso de esta roca de diferentes formas, desde cuestiones constructivas, como de forma decorativa en fachadas, jardines, esculturas etc. Estas edificaciones serán parte importante en nuestro estudio de caso, si bien esta roca empleada en estas construcciones no es del mismo origen (banco o cantera) que la empleada en otras edificaciones como las históricas, mencionadas con anterioridad, presentan de igual forma deterioros significativos, razón por la que se toman como referencia para la creación del biomaterial motivo de este trabajo.



*IMAGEN 11, Iglesia de San Charbel, Tres Marías, Morelia, autor FSP*



*IMAGEN 10, Iglesia de San Charbel, Tres Marías, Morelia, autor FSP*

Es así que, en el presente trabajo, se analizaron los diferentes agentes que deterioran a la roca de estudio y que es empleada en distintas edificaciones de la ciudad, sin olvidar que esta roca es empleada para la ornamentación de diferentes espacios públicos, privados y construcciones.



IMAGEN 16, Departamentos Col. Chapultepec, Morelia, FSP



IMAGEN 14, Oficinas SCOP Col. Chapultepec, Morelia, FSP.



IMAGEN 15, Oficinas Col. Vasco de Quiroga, Morelia, FSP.



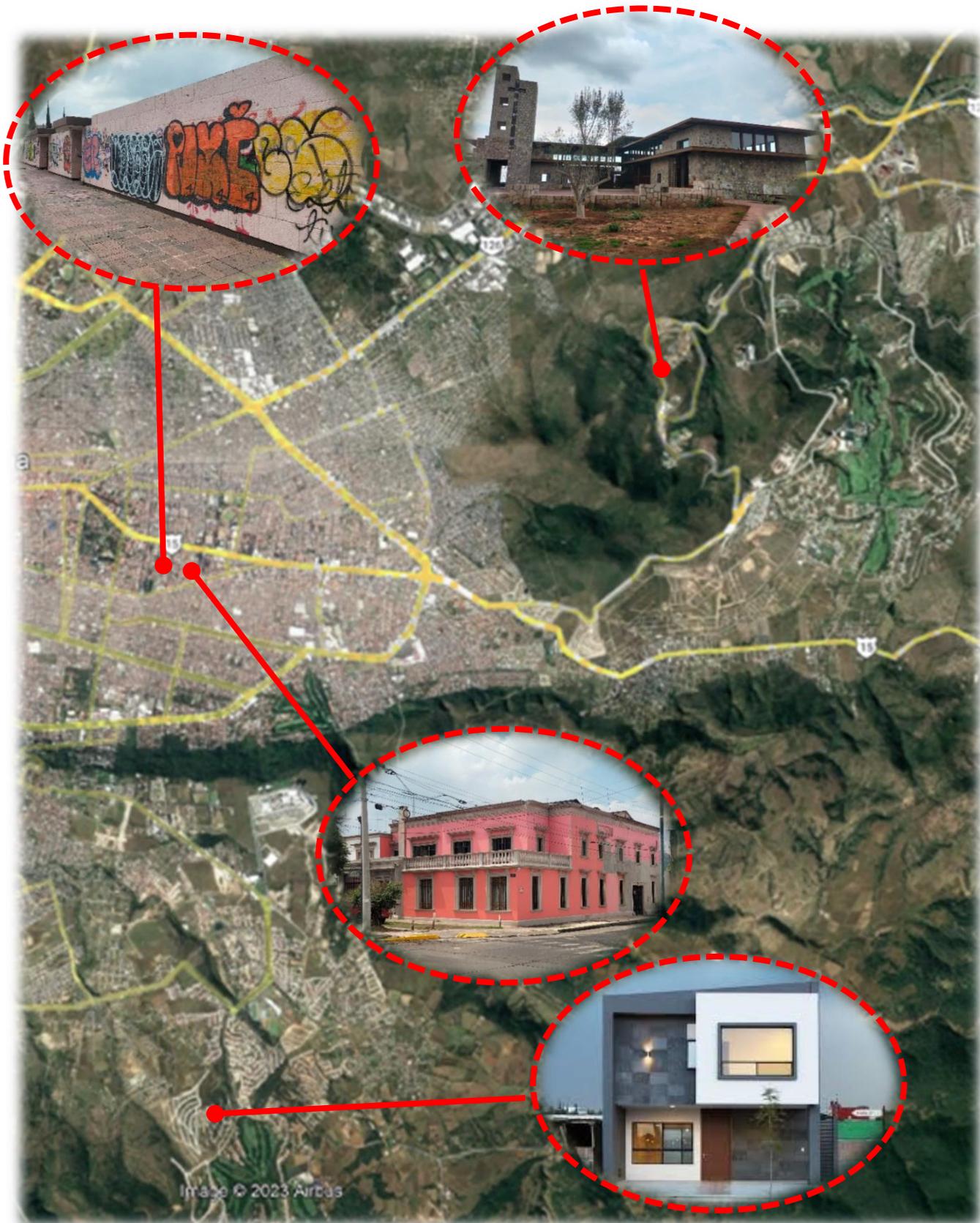
IMAGEN 13, Casa Habitación, Av. Acueducto, Morelia, FSP.



IMAGEN 12, Casa Habitación, Av. Acueducto, Morelia, FSP.



Ilustración 2, Mapa de ubicación de casos de estudio en la ciudad de Morelia, Autor FSP.



## MARCO REFERENCIAL

### Definiciones básicas de biomaterial

Dentro de la literatura podemos encontrar diferentes definiciones de lo que son los biomateriales, definiéndolo de una forma general como: Material diseñados con una composición en su mayoría o total de materia orgánica, que, al ser empleados de diferentes formas, se transforman en objetos o materiales, aplicados a diferentes campos, áreas e industrias<sup>14</sup>. Estos pueden integrarse en una economía circular, que pretende dar solución a sistemas que aborda desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los desechos y la contaminación<sup>15</sup>.

Sin embargo, podemos encontrar otras definiciones donde ven a los biomateriales como, Materiales compuestos por recursos naturales locales que integran los principios de la economía circular y de la química sustentable, asegura cuando un biomaterial se deja de usar, se biodegradan, reintegrando sus nutrientes al ecosistema local. Siendo una alternativa de entender los sistemas y ciclos naturales, insertándose de manera sostenible con el medio ambiente, mediante la aplicación de un diseño experimental<sup>16</sup>.

El diseño experimental, se trata de una técnica que pertenece al ámbito de la estadística que permite valorar las causas y los efectos que tiene una variable sobre otra dentro de una investigación experimental. Es así que, el investigador, al aplicar esta técnica, modifica intencionalmente la variable independiente para cuantificar los efectos que ella tiene en la variable dependiente. Si es posible demostrar que un

---

14 [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=WU1ZK7WQG&AB\\_CHANNEL=LABVABIOMA-TERIALES](https://www.youtube.com/watch?v=wU1Zk7wQg&ab_channel=LABVABIOMATERIALES)

15 ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (S.F.). WHAT IS A CIRCULAR ECONOMY?. [HTTPS://ELLEN-MACARTHURFOUNDATION.ORG/TOPICS/CIRCULAR-ECONOMY-INTRODUCTION/OVERVIEW](https://ellen-macarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview) MATERIOM. (2018). INICIO. [HTTPS://MATERIOM.ORG/](https://materiom.org/)

16 LAVBA BIOMATERIALES. (2020). LABVA PREGUNTA: ¿QUÉ SON LOS BIOMATERIALES?. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=WU1-EZK7WQG&AB\\_CHANNEL=LABVABIOMA-TERIALES](https://www.youtube.com/watch?v=wU1-EZk7wQg&ab_channel=LABVABIOMATERIALES)

cambio en la variable independiente modifica a la dependiente, entonces la investigación experimental tendrá validez<sup>17</sup>.

Es así que, podemos encontrar dentro de la gran cantidad de variables que existen, dos que se pueden considerar como fundamentales. En primer lugar, la variable independiente es aquella que se manipula y pone a prueba en una investigación para corroborar la veracidad o falsedad de una hipótesis. Específicamente, una variable es una cualidad, aspecto o característica que afecta a otra variable. Como el nombre lo indica, es una variable cuyos valores no se modifican durante la investigación.

En segundo lugar, una variable dependiente es aquella cualidad o característica que se ve afectada como consecuencia de la manipulación de la variable independiente. Estas son, precisamente, las variables que se miden para interpretar los datos de una investigación. Un diseño experimental determina de qué manera hay que manipular las variables para conseguir resultados confiables. Además, es un método que trata con datos cuantitativos, ya que, a diferencia de los cualitativos, aquellos se pueden medir y estudiar mediante las matemáticas.

Por lo tanto, un diseño experimental siempre se aplica en una investigación cuantitativa. El objetivo de la aplicación de un diseño experimental es extraer conclusiones sobre un problema de investigación estudiado bajo un marco conceptual determinado.

De acuerdo a lo escrito por Velázquez en su libro investigación experimental: Qué es, tipos y cómo realizarla, se pueden reconocer 3 tipos de diseños:

---

<sup>17</sup> VELÁZQUEZ, A. (2018A, SEPTIEMBRE 27). INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL: QUÉ ES, TIPOS Y CÓMO REALIZARLA. QUESTIONPRO. [HTTPS://WWW.QUESTIONPRO.COM/BLOG/ES/INVESTIGACION-EXPERIMENTAL/](https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/)

## **Diseño preexperimental**

Es el diseño más sencillo y consiste en observar una variable en distintos grupos de individuos para tener una primera aproximación a ellos. Por eso, no se manipula la variable independiente. Existen, a su vez, tres tipos: investigación de una instancia; investigación de un grupo y, por último, de comparación de dos grupos estáticos.

## **Diseño experimental**

Este es el diseño experimental propiamente dicho, el cual consiste en realizar un análisis estadístico para validar o refutar una hipótesis. Así, se pretende conocer las causas y efectos de dos variables. Uno de los ejemplos más conocidos es el estudio de un medicamento en grupos de control.

A un grupo se le suministra el medicamento y al otro un placebo, sin informar a los participantes. Luego, se comparan los efectos para extraer conclusiones respecto del medicamento. De este modo, se manipula una variable independiente en un solo grupo, no en los dos.

## **Diseño cuasi-experimental**

Es muy similar al diseño experimental que explicamos anteriormente. La única diferencia consiste en los criterios para seleccionar a los grupos de control. Mientras que, en el caso anterior, el grupo se conforma de manera aventurada; en este diseño cuasiexperimental los grupos no se arman al azar<sup>18</sup>.

Es así que, el diseño ha estado ligado con la naturaleza desde tiempos antiguos, en la arquitectura desde la cabaña primitiva, formalmente en la época griega. La relación del hombre con la naturaleza se renueva continuamente. Cualquier ser humano se estremece al observar todas las formas, colores ritmosy todos los diseños naturales, en cualquier tipo de escala, desde las más grandes; bosques, arrecifes de corales, bancos de peces, pájaros, alas, telarañas hasta las colonias de microorganismos.

---

<sup>18</sup> 18 VELÁZQUEZ, A. (2018A, SEPTIEMBRE 27). INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL: QUÉ ES, TIPOS Y CÓMO REALIZARLA. QUESTIONPRO. [HTTPS://WWW.QUESTIONPRO.COM/BLOG/ES/INVESTIGACION-EXPERIMENTAL/](https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/)

En este contexto, cabe mencionar que es de suma importancia para las nuevas generaciones de arquitectos y de las escuelas que los prepara, de cambiar la forma tradicional de concebir la arquitectura y crear iniciativas que permitan 'abrir la mente' a sus estudiantes frente a las nuevas posibilidades constructivas con biomateriales: aquellos que son más respetuosos con el Medio Ambiente.

Los materiales derivados de la naturaleza –también llamados materiales biológicos o biomateriales– como el micelio, el cáñamo, la paja y el corcho, se han utilizado durante mucho tiempo en la industria de la arquitectura y el diseño. A pesar del desarrollo continuo, tienden a asociarse con revestimientos y acabados en lugar de sistemas resistentes, duraderos y autoportantes. Junto con las nuevas tecnologías, la investigación ha avanzado enormemente, dando como resultado innovaciones biológicas que muestran un gran potencial en diferentes aplicaciones.

La investigación cuasi experimental proviene del ámbito educativo, donde la investigación de ciertos fenómenos no podía llevarse a cabo siguiendo los procedimientos experimentales. Comparte la lógica del paradigma experimental (VI antecede a la VD, existe covariación entre variables, descarta explicaciones alternativas) pero en ningún caso se da la asignación aleatoria de los sujetos a los grupos (criterio de asignación) por lo que estos no son equivalentes, y no se puede establecer un control riguroso (no se puede controlar la varianza sistemática secundaria causada por las amenazas a la validez interna). Tienen más validez externa que el experimento (se lleva a cabo en situaciones naturales) y un gran protagonismo en el área de investigación social, salud, educación, servicios sociales y de evaluación de programas.

La cultura “maker” y los movimientos como “hágalo usted mismo” son uno de los grandes impulsores en la actualidad de que se usen los biomateriales. Es así que fomentan que los diseñadores puedan crear nuevos u variados biomateriales. Existe mucha información sobre cómo actúan estos biomateriales en una producción artesanal y muy poca cuando hablamos de una producción a gran escala. Algunos

autores coinciden en que falta un método de estandarización de producción del material, pero igualmente se enfocan en métodos artesanales y a baja escala.

Un tema importante que no menciona la mayoría de los investigadores es la parte económica, hay poca información sobre si pueden ser económicamente competitivos con el resto de los materiales que existen en el mercado. Al ser aún una práctica emergente todavía falta que se investigue mucho más sobre el tema. No obstante, la mayoría de los autores que mencionamos están de acuerdo en que los biomateriales tienen un gran futuro. El gran desafío que existe hoy en día es saber si estos materiales van a poder ser reproducidos a gran escala y así poder satisfacer las grandes demandas de los mercados, y no quedar solamente como una práctica de producción artesanal.

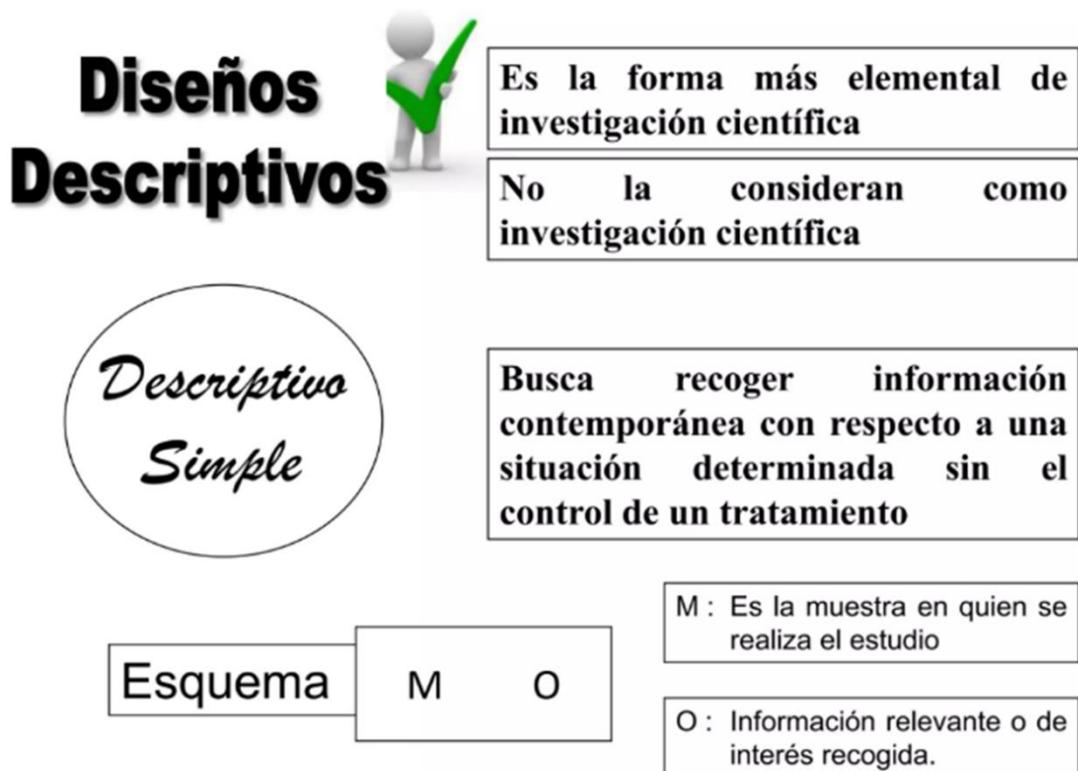


IMAGEN 17 Diseño descriptivo, autor FSP

Los materiales vienen ganando cada vez más terreno en la industria. Sobre todo, cuando hablamos de sustentabilidad. Cada vez son más los profesionales que exploran y trabajan con proyectos que incluyen estas materialidades. Estos materiales, como por ejemplo el micelio, pueden llegar a ser un competidor del poliuretano y el poliestireno expandido. Son una interesante opción cuando hablamos mayormente de envases descartables, packaging, e-commerce y take away, productos donde usualmente abundan los plásticos.

El objetivo no es que los biomateriales replacen en un cien por ciento a los convencionales, sino que ofrezcan a la industria la posibilidad de poder reducir este uso. Es decir que ambos puedan convivir mutuamente. Se puede encontrar gran información acerca de los materiales derivados de los hongos, como vimos en los artículos mencionados. Sin embargo, unos pocos hablan de otros materiales biodegradables que no sean el micelio, como pueden ser los derivados de las algas y las bacterias.

### **METODOLOGÍA**

La metodología abordada para el desarrollo del presente proyecto de investigación consistirá en una serie de técnicas de tipo cualitativas y cuantitativas. Cabe señalar que la metodología desarrollada tiene como objetivo generar un plan de apoyo tanto para la investigación histórica como a la investigación científica, teniendo dos etapas principales.

La primera etapa consistirá en la investigación de las características físicas que componen la ignimbrita (cantera), así como la realización de un estudio y análisis casos de estudio, mediante la revisión de antecedentes de investigación, que permitirán realizar un diagnóstico de las condiciones actuales de la roca ignimbrita en las diferentes edificaciones, tanto contemporáneas como las declaradas como patrimonio cultural, lo anterior permitirá sentar las bases para llevar a cabo la experimentación del material orgánico propuesto, estudiando y analizando los

efectos que tiene en la aplicación de este sobre la roca ignimbrita, para llegar a los objetivos planteados.

La segunda parte se basa en los modelos de diseño de experimental, siendo estos modelos estadísticos clásicos, cuyo objetivo es definir determinados factores que influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia. La metodología del diseño experimental se basa en la prueba y el error, analizando las diferentes variables que puedan surgir. Es sabido que, si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan una cierta variabilidad; mientras que, si la experimentación se realiza en un laboratorio donde la mayoría de las causas de variabilidad están muy controladas, el error experimental será pequeño y habrá poca variación en los resultados del experimento. Pero si se experimenta en procesos industriales o administrativos la variabilidad será mayor en la mayoría de los casos.

Para poder definir adecuadamente el diseño experimental del presente trabajo de investigación, debemos tener un profundo conocimiento del campo de investigación. Asimismo, también es importante ser capaces de adaptarnos a las rigurosas exigencias del método científico, a los recursos económicos y técnicos disponibles y a los requerimientos específicos impuestos por el tema investigado.

Material Driven Design es una metodología de diseño en base a experiencias materiales. Hoy en día la investigación de nuevas materialidades ofrece novedades y perfección de alternativas convencionales. La propiedad funcional de un material no es suficiente. Sino que también debe incitar experiencias dentro y más allá de su utilidad. Analizando el material no solo desde la perspectiva de lo que es, sino también lo que hace, lo que promueve y lo que obliga a hacer. El método Material Driven Design (MDD) hace más fácil las experiencias materiales; mediante cuatro pasos cíclicos.

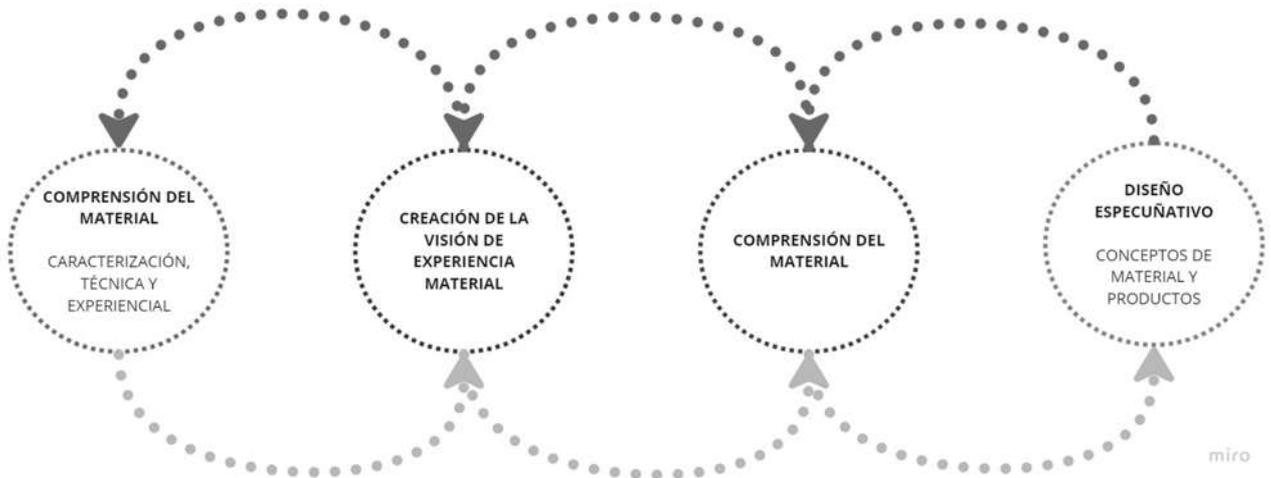


DIAGRAMA 2 Metodología Driven Design

El objetivo del diseño experimental, es estudiar los resultados al utilizar un determinado tratamiento, determinando si se produce una mejora en el proceso o no. Para ello se debe experimentar aplicando el tratamiento y no aplicándolo. Si la variabilidad experimental es grande, sólo se detectará la influencia del uso del tratamiento cuando éste produzca grandes cambios en relación con el error de probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta; de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés observación.

La metodología del diseño experimental, estudia cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso empírico para aumentar la.

El diseño experimental es la determinación de cómo vamos a desarrollar nuestro experimento u observación. De este modo, se trata de definir las variables que deben ser observadas, la relación entre elementos, cómo van a ser las variables medidas y cómo procederemos a analizar los datos obtenidos.

## El método de Bruno Munari para resolver problemas.

En su libro «¿Cómo nacen los objetos?» Bruno Munari explicó su método para la resolución de problemas enfocados al diseño. Recordaba Bruno Munari, en ocasiones, la frase de su amigo Antonio Rebolini: «Cuando un problema no puede resolverse, no es un problema. Cuando un problema puede resolverse, no es un problema»<sup>19</sup>

El diseño surge para resolver necesidades y problemas. El Diseño resuelve las necesidades y problemas que detectamos en nuestra vida cotidiana. Como decía Munari en dicho libro: «Hay que detectar y evitar las ocasiones en que la industria inventa necesidades falsas para vender nuevos productos.»

Siguiendo el método y partiendo de la frase de Antonio Rebolini: **Todo problema tiene solución.** Tendremos que observar convenientemente el problema para extraer todas las indicaciones que nos lleven a la solución. Sólo así conseguiremos un Diseño acertado. Un problema no se resuelve sólo, pero indica cuál es la solución si se observa y desmenuza adecuadamente. Una vez que se detecta un problema, se puede determinar cómo se entiende desde diferentes perspectivas, sin embargo, debemos ser cuidadosos y no seguir la idea romántica de encontrar enseguida una solución general al mismo. Esto nos indica y nos da la pauta para, dejémonos guiar por el método.

Lo primero que hay que hacer es definir el problema en su conjunto. Muchos diseñadores creen que los problemas ya han sido suficientemente definidos por sus clientes, Por tanto, es necesario empezar por la definición del problema, que servirá también para definir los límites en los que deberá moverse el proyectista.

---

<sup>19</sup> MUNARI, BRUNO, ¿“CÓMO NACEN LOS OBJETOS? APUNTES PARA UNA METODOLOGÍA PROYECTUAL”, EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 1983, 2016.

Cualquier problema puede ser descompuesto en sus elementos. Esta operación facilita la proyección porque tiende a descubrir los pequeños problemas particulares que se ocultan tras los subproblemas. Una vez resueltos los pequeños problemas de uno en uno (y aquí empieza a intervenir la creatividad abandonando la idea de buscar una idea), se recomponen de forma coherente a partir de todas las características funcionales de cada una de las partes y funcionales entre sí, a partir de las características materiales, psicológicas, ergonómicas, estructurales, económicas y, por último, formales.



DIAGRAMA 3, Metodología Bruno Munari, FSP.

Como los problemas, sobre todo hoy en día, se han convertido en muy complejos y a veces en complicados, es necesario que el proyectista tenga toda una serie de informaciones sobre cada problema particular para poder diseñar con mayor seguridad. Tal vez sea oportuna una definición de "complejidad" para poder distinguir lo complejo de lo complicado. Para Abraham A. Moles "un producto es complicado cuando los elementos que lo componen pertenecen a numerosas clases diferentes; mientras que es complejo si contiene un gran número de elementos reagruparles no obstante en pocas clases.

Descomponer el problema en sus elementos quiere decir descubrir numerosos subproblemas. "Un problema particular de diseño es un conjunto de muchos subproblemas. Cada uno de ellos puede resolverse obteniendo un campo de soluciones aceptables".

Cada subproblema tiene una solución óptima que no obstante puede estar en contradicción con las demás. La parte más ardua del trabajo del diseñador será la de conciliar las diferentes soluciones con el proyecto global. La solución del problema general consiste en la coordinación creativa de las soluciones de los subproblemas.

Es evidente que, antes de pensar en cualquier posible solución, es mejor documentarse. No vaya a ser que alguien se nos haya adelantado. Carece completamente de sentido ponerse a pensar en un tipo de solución sin saber si la solución a un problema detectado ya existe. Por supuesto se encontrarán muchos ejemplos que habrá que descartar, pero al final, eliminando los duplicados y los tipos que nunca podrán ser competitivos, tendremos una buena recopilación de datos. El análisis de todos los datos recogidos puede proporcionar sugerencias sobre qué es lo que no hay que hacer para diseñar bien un producto, objeto etc. Orientando al diseñador hacia otros materiales, otras tecnologías, otros costes.

**La creatividad reemplazará a la idea intuitiva**, vinculada todavía a la forma artístico-romántica de resolver un problema. Así pues, la creatividad ocupa el lugar de la idea y procede según su método. Mientras la idea, vinculada a la fantasía, puede proponer soluciones irrealizables por razones técnicas, materiales o económicas, la creatividad se mantiene en los límites del problema, límites derivados del análisis de los datos y de los subproblemas.

La sucesiva operación consiste en otra pequeña recopilación de datos relativos a los materiales y a las tecnologías que el diseñador tiene a su disposición en aquel momento para realizar su proyecto. La industria que ha planteado el problema al diseñador dispondrá ciertamente de una tecnología propia para fabricar determinados materiales y no otros. Por tanto, es inútil pensar en soluciones al margen de estos dos datos relativos a los materiales y a las tecnologías.<sup>20</sup>

El proyectista realizará una experimentación de los materiales y las técnicas disponibles para realizar su proyecto. Muy a menudo materiales y técnicas son utilizados de una única forma o de muy pocas formas según la tradición. En cambio, la experimentación permite descubrir nuevos usos de un material o de un instrumento.

Estas experimentaciones permiten extraer muestras, pruebas, informaciones, que pueden llevar a la construcción de modelos demostrativos de nuevos usos para determinados objetivos. Estos nuevos usos pueden ayudar a resolver subproblemas parciales que, a su vez, junto con los demás, contribuirán a la solución.

Como se desprende de este esquema de método, todavía no hemos hecho ningún dibujo, ningún boceto, nada que pueda definir la solución. Todavía no sabemos qué forma tendrá lo que hay que proyectar. Pero en cambio tenemos la seguridad de que el margen de posibles errores será muy reducido. Ahora podemos empezar a

---

<sup>20</sup> MUNARI, BRUNO, ¿"CÓMO NACEN LOS OBJETOS? APUNTES PARA UNA METODOLOGÍA PROYECTUAL", EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 1983, 2016.

establecer relaciones entre los datos recogidos e intentar aglutinar los subproblemas y hacer algún boceto para construir modelos parciales. Estos bocetos hechos a escala o a tamaño natural pueden mostrarnos soluciones parciales de englobamiento de dos o más subproblemas. De esta forma obtendremos un modelo de lo que eventualmente podrá ser la solución del problema.

El esquema del método de diseño, no es un esquema fijo, no está completo y no es único y definitivo. Es lo que la experiencia nos ha dictado hasta ahora. Insistimos sin embargo en que, a pesar de tratarse de un esquema flexible, es mejor proceder, de momento, a las operaciones indicadas en el orden presentado: igual que en la proyección del arroz verde, no se puede poner la cazuela al fuego sin el agua ni preparar el condimento una vez cocido el arroz.



DIAGRAMA 4, Ejemplo de metodología de Bruno Munari para resolver un problema.

No obstante, si hay alguien capaz de demostrar objetivamente que es mejor cambiar el orden de alguna operación, el diseñador está siempre dispuesto a modificar su pensamiento frente a la evidencia objetiva, y es así como cada uno puede aportar su contribución creativa a la estructuración de un método de trabajo que tiende, como es sabido, a obtener el máximo resultado con el mínimo esfuerzo.

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia. La metodología del diseño de experimentos se basa en la experimentación. Es sabido que, si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan una cierta variabilidad. Si la experimentación se realiza en un laboratorio donde la mayoría de las causas de variabilidad están muy controladas, el error experimental será pequeño y habrá poca variación en los resultados del experimento. Pero si se experimenta en procesos industriales o administrativos la variabilidad será mayor en la mayoría de los casos.

El objetivo del diseño de experimentos es estudiar si cuando se utiliza un determinado tratamiento se produce una mejora en el proceso o no. Para ello se debe experimentar aplicando el tratamiento y no aplicándolo. Si la variabilidad experimental es grande, sólo se detectará la influencia del uso del tratamiento cuando éste produzca grandes cambios en relación con el error de observación.

La metodología del diseño de experimentos estudia cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso empírico para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta; de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés

Como propuesta de solución al problema de diseño que se enfrenta en este trabajo de investigación y aplicando los conocimientos adquiridos con respecto a los procesos correspondientes al diseño experimental, adquiridos durante los estudios de la maestría en diseño avanzado, así como lo aprendido en otros talleres de otras carreras. Basado en lo anteriormente descrito y la investigación realizada, me permitió diseñar un método práctico.

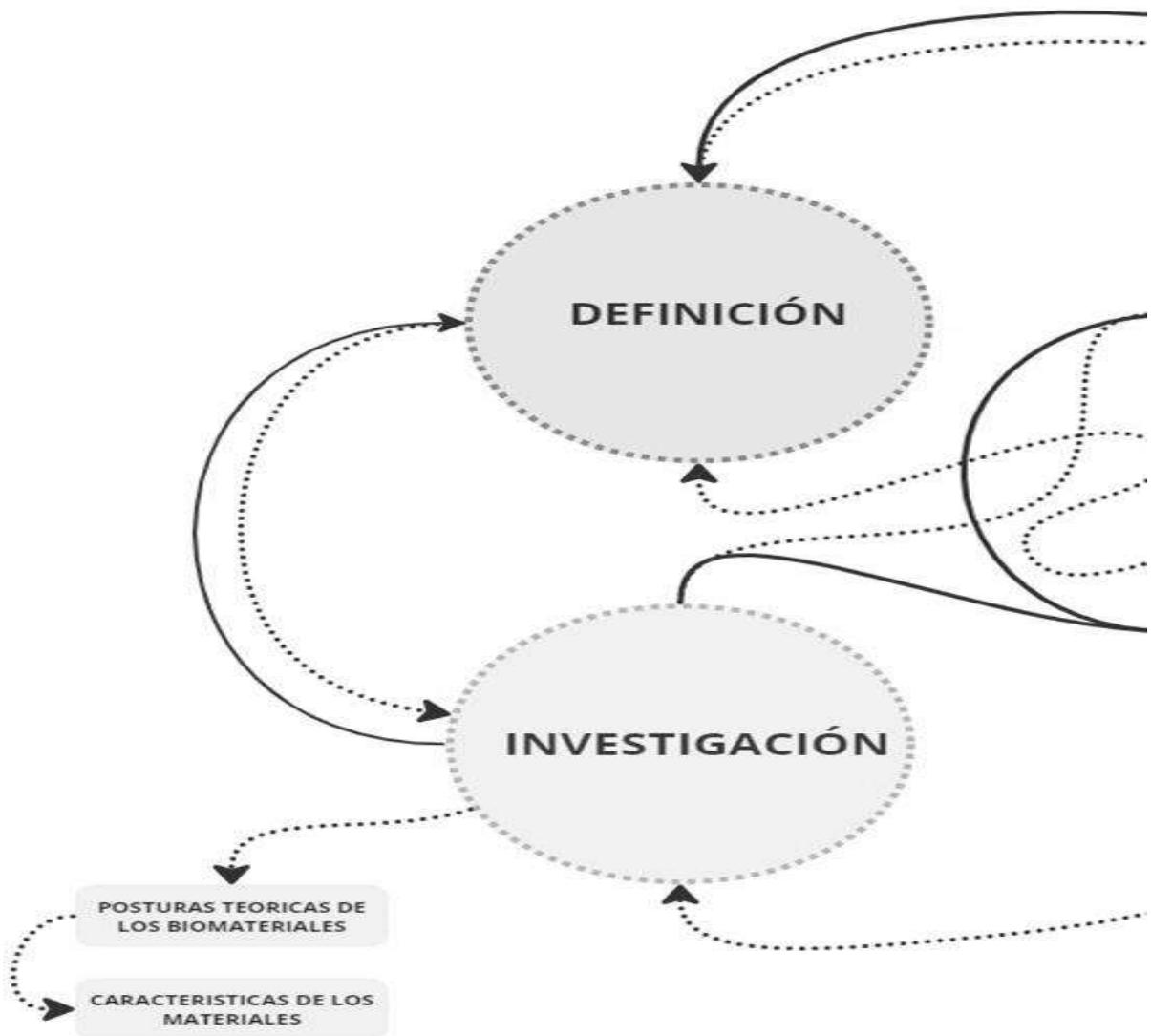
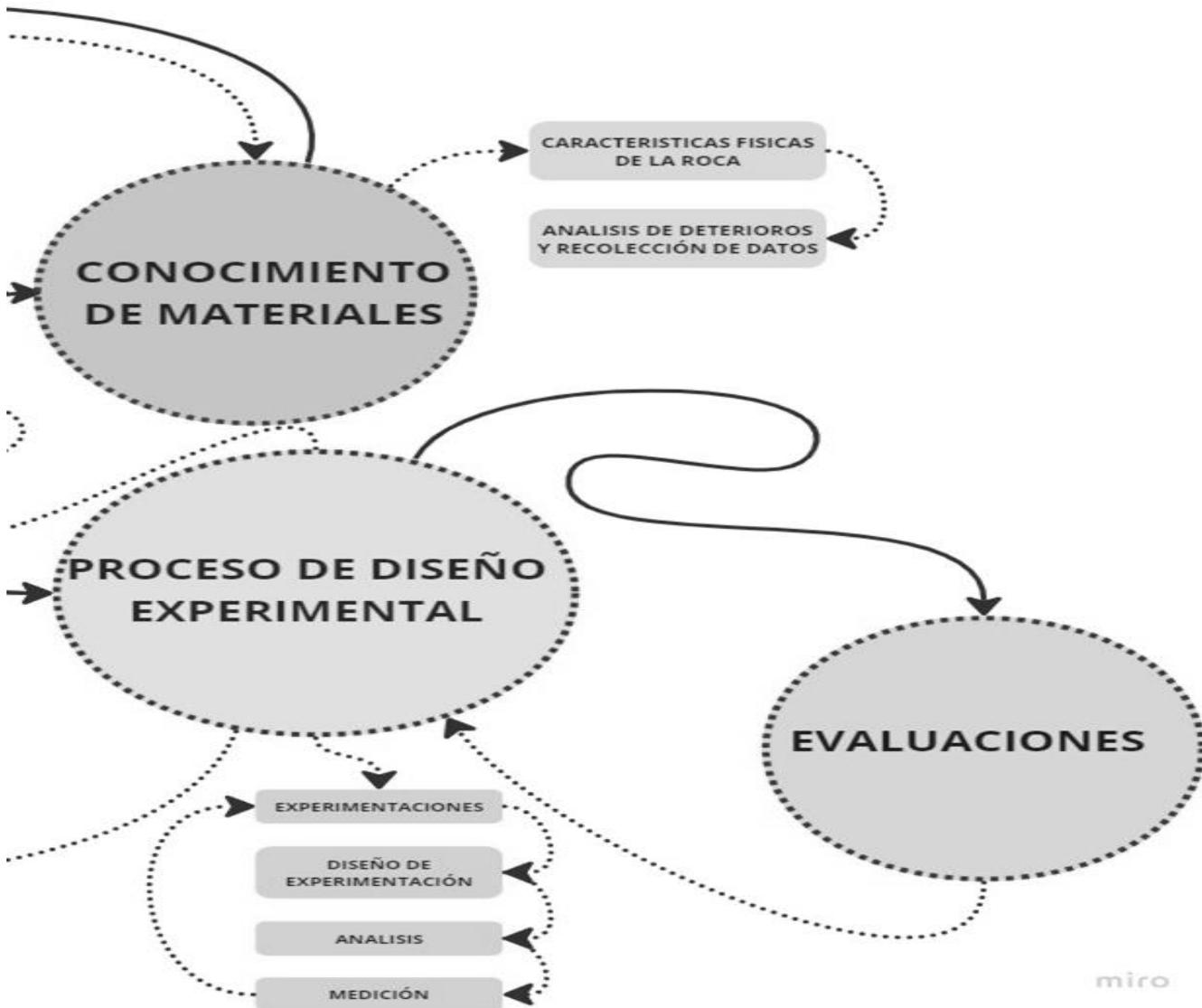


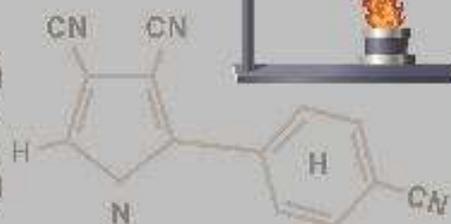
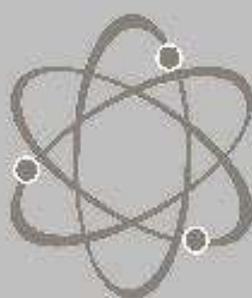
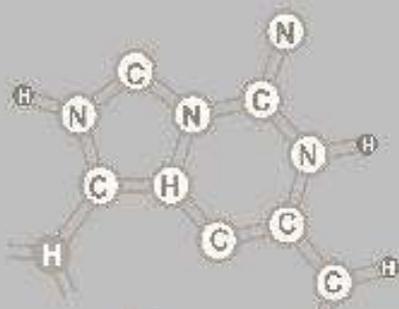
DIAGRAMA 5, Metodología, autor FSP.

Este método, tiene como características principales la investigación, definición, conocimiento de materiales, experimentación y la evaluación de resultados. Lo anterior contemplando un proceso que no es lineal, que permite la interacción constante entre los elementos teórico y la experimentación interactuando de forma constante estas dos primicias, permitiendo un aprendizaje constante, reflejándose en la obtención de resultados.



miro

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA



PLANTEAMIENTO METOLÓGICO

# CAPITULO 03

- 
- **CARACTERIZACIÓN DE LA IGNIMBRITA LOCAL**
  - **OBTENCIÓN DE MUESTRAS**
  - **PRIMICIAS DE LA INVESTIGACIÓN**
  - **PROPUESTA Y ELABORACIÓN DE BIOMATERIAL**
  - **EXPERIMENTACIÓN**

## **CARACTERIZACIÓN DE LA IGNIMBRITA**

La ignimbrita está compuesta principalmente por una matriz de ceniza volcánica, la cual, está compuesta por fragmentos de vidrio volcánico, fragmentos de piedra pómez y cristales. Los fragmentos provienen de erupciones volcánicas totalmente explosivas. Una ignimbrita es una roca piroclástica soldada que contiene abundantes clastos juveniles aplanados a menudo originalmente de piedra pómez. Los clastos aplanados dentro de las ignimbritas pueden variar desde el tamaño de lapilli (> 2 mm) hasta el tamaño de bloque (> 64 mm). La composición mineralógica de una roca de ignimbrita se debe principalmente a la composición química del magma fuente. Los fenocristales más comunes son: cuarzo, biotita, sanidina u otro feldespatos alcalino, ocasionalmente hornblenda y rara vez piroxeno.

La ignimbrita es una roca piroclástica, es decir, que se forma por deposición y consolidación de materiales magmáticos producidos por erupciones volcánicas explosivas. Su nombre deriva de dos voces latinas; ignis, "fuego", e imber, "lluvia", que indican la naturaleza y las características de los fragmentos volcánicos, incandescentes que al enfriarse forman esta roca. Aunque se originan de fenómenos volcánicos, las rocas piroclásticas, a las que pertenecen las ignimbritas, se clasifican como rocas sedimentarias debido a su tipología genética, esencialmente relacionada con un fenómeno sedimentario.

## **ASPECTO GENERAL DE LA IGNIMBRITA**

Las ignimbritas son rocas coherentes y solidas (característica que les ha asignado el nombre de tobas soldadas), provistas de una estructura maciza granular constituida por clastos de cristales muy bien cementados, lo anterior significa que las ignimbritas pueden presentar una amplia gama de granulometrías. Son generalmente de un tono claro, de un color que puede variar del gris al pardo-rojizo y, a veces, también al violáceo. Es frecuente la presencia de estructuras fluidales, que revelan un desarrollo semiparalelo de clastos, partículas de vidrio y/o de burbujas gaseosas. Gracias a sus modalidades genéticas, es bastante habitual que se encuentren cavidades en las caras inferiores de esta roca.

## MINERALES PRINCIPALES DE LA IGNIMBRITA

Los principales minerales que constituyen los clastos visibles de las ignimbritas son el cuarzo, la sanidina, la albita, la biotita y varios feldespatoides, pero se pueden observar también fragmentos de materiales sedimentarios. La masa de fondo cinerítica (es decir, con un grano muy fino, similar a la ceniza) es vítrea.

## PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA IGNIMBRITA

Químicamente, las ignimbritas son rocas ácidas o intermedias, con un contenido en dióxido de silicio alto o relativamente alto. Desde el punto de vista petrográfico, estas rocas pueden asemejarse a riolitas o a andesitas que se han formado a consecuencia de exposiciones muy violentas que han triturado el material expulsado. Las características físicas de las ignimbritas son muy similares a las de las tobas. De hecho, se trata de rocas bastante ligeras porosas o muy porosas, permeables y poco resistentes a la compresión.



IMAGEN 19, Roca ignimbrita, autor FSP.

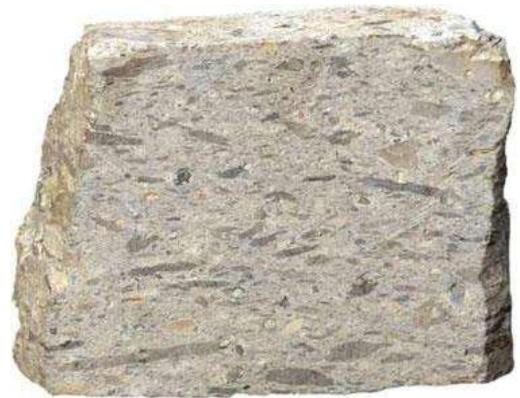


IMAGEN 18, Roca ignimbrita, autor FSP



miro

DIAGRAMA 6 Características de la ignimbrita, autor FSP.

## **FORMACIÓN DE LA IGNIMBRITA**

Las ignimbritas se encuentran en depósitos piroclásticos que se forman por compactación y solidificación de emulsiones (una especie de "aerosol" muy denso) a temperaturas que pueden alcanzar incluso los 1.100 °C, constituidas por gases y fragmentos de lava en estado de fusión. Este material es producto de erupciones explosivas que se manifiestan en volcanes presentes en las zonas de subducción de la litosfera. El material se expande desde las bocas del volcán y discurre por sus laderas a gran velocidad (hasta 160 km/h), llenando todas las cavidades y depresiones del terreno; así se forma la temible "nube ardiente", una avalancha de gases y lava en polvo incandescente. Una vez que se han depositado, estos materiales forman las ignimbritas, que adoptan el aspecto de capas inclinadas.

## **MATERIAL PÉTREO Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN**

La acción de los agentes ambientales sobre materiales de construcción es tal que puede inducir a la degradación, la alteración de los mismos ocurre de forma natural a partir del momento de su extracción, a partir de ello para que el material adquiera nuevas propiedades, tanto físicas como mecánicas, López Jaén expone que conforme pasa el tiempo y los materiales pétreos se encuentran bajo el efecto del intemperismo estos comienzan a verse influidos por procesos de deterioro.<sup>21</sup>

---

*21 JAVIER REYES, ET AL, "LA DEGRADACIÓN DE MATERIALES METÁLICOS Y PÉTREOS EN SAN FRANCISCO DE CAMPECHE" EN ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN (COORD.) CONSERVACIÓN DE MATERIALES DE INTERÉS HISTÓRICO Y ARTÍSTICO, MORELIA, UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO, 2013, P. 118.*

## AGENTES DE DETERIORO DE LA IGNIMBRITA

En el estudio de los deterioros que afectan a la roca ignimbrita, vamos a encontrar en su mayoría colonización biológica por las condiciones de emplazamiento de las construcciones que emplean este material natural (exposición al sol, acción de las lluvias, contenido en nutrientes, etc.), que son favorables para la presencia de vida. Los principales grupos de organismos que aparecen en las construcciones son los líquenes (asociación de alga+hongo), algas verdes (cloríficas), musgos (briofitos) y plantas superiores:

**Los líquenes** ejercen un daño químico y físico sobre el sustrato además de un efecto estético negativo. La descomposición mecánica se produce porque los líquenes incrementan su masa conforme crecen, por otro lado, cambian de volumen la humedad ambiental. Los fenómenos de contracción (período seco)-expansión (período húmedo) provocan el deterioro físico del sustrato. Químicamente, los líquenes producen ácidos orgánicos que son responsables de la degradación de la roca. Estos organismos favorecen la condensación de agua y su retención sobre la superficie pétreo.

**Las algas verdes** aparecen en lugares iluminados y húmedos, pero al abrigo del sol directo y se asientan en superficies porosas. Su crecimiento está promovido por un alto grado de humedad en el sustrato que colonizan y forman una pátina superficial que, a su vez, puede mantener la humedad del material favoreciendo su



IMAGEN 20, Algas en ignimbrita, autor FSP.

disolución. Provocan una intensa coloración y cambios texturales, así como favorecen la deposición de polvo, semillas, esporas, etc., y, por consiguiente, el crecimiento de otros organismos. Pueden provocar alteraciones físicas en el sustrato favoreciendo la gelifracción y pueden ejercer una acción de corrosión y perforante.



IMAGEN 21, Algas en ignimbrita, autor FSP.

**Los musgos o briofitos** necesitan de un depósito previo de materia para anclarse al sustrato, además de la presencia continua de agua sobre el sustrato preferiblemente poroso. Deterioran los materiales pétreos por mecanismos físicos y químicos.

**La acción de las plantas superiores** es de tipo puntual. La alteración es de tipo mecánico y su aparición viene precedida por la acción de la microflora. La presión ejercida por las raíces y el crecimiento y engrosamiento radial pueden causar la fisuración y resquebrajamiento del sustrato.

En cuanto a la humedad de un material pétreo, ésta ubicada en el interior de su sistema poroso. Las humedades detectadas humedades higroscópicas, la obtienen los materiales del aire al atraer las cargas negativas de la superficie del material a las moléculas de vapor de agua del aire y humedad capilar, la cual necesita de una fuente de agua líquida.

La humedad causa el desarrollo de plantas, hongos y bacterias que generan ácidos orgánicos y contribuyen al deterioro. También favorece las transformaciones físicas del material (expansión hídrica, reblandecimiento, entumecimiento y heladicidad) y la alteración química de algunos componentes originales (arcillas, óxidos, sulfatos, etc.). El máximo deterioro se produce en situaciones de alternancia de humectación-secado. Los depósitos superficiales que se han encontrado son; eflorescencias salinas y costras negras.

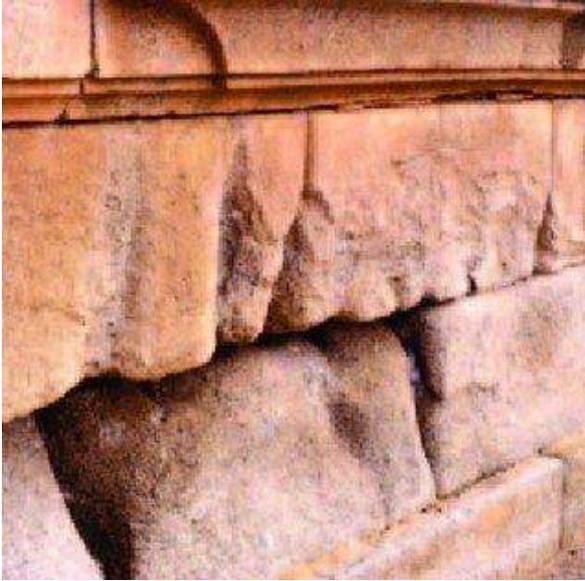


IMAGEN 22, Deterioros en ignimbrita, autor FSP.

Las eflorescencias salinas son productos asociados a las humedades y son el resultado de la evaporación del agua contenida en la fábrica y por ello se concentran en las zonas de máxima evaporación (banda de ascenso capilar y en los centímetros superficiales de la fábrica). Las sales producen la degradación mecánica de la roca por efecto de la presión de cristalización ejercida sobre las paredes del material al crecer en el interior de sus poros. Las sales son materiales

fuertemente higroscópicos y cambian de fase con los cambios de humedad del aire. En la zona próxima a la fuente de agua, el material se deteriora por alteración y disolución de sus componentes originales con precipitación de sales en toda la superficie, esto produce amenización/ pulverización de la roca que se deteriora homogéneamente y de forma paralela a la superficie de contacto con el aire.

Las costras negras se forman en zonas al abrigo del impacto directo de la lluvia (bajo los rebordes de las ventanas, en cavidades o ángulos y en las proximidades de las zonas lavadas) pero que reciben agua indirectamente y en las que no existe escorrentía. Existen también zonas de alta porosidad que separan la roca de la costra negra y que se llaman costras grises. Éstas son depósitos de carbonillas y partículas en zonas secas. La diferencia con las costras negras, es que en las grises las reacciones químicas están muy reducidas por falta de humedad. Las zonas grises se encuentran en lugares al abrigo de la lluvia y de la escorrentía, pero no de la condensación y de las nieblas; hay pues tránsitos graduales hacia las zonas negras. Esta etapa se basó en la investigación de las características principales de la roca ignimbrita, con la finalidad de saber el comportamiento de esta con respecto a los diferentes agentes que la atacan y permiten el deterioro de esta.



IMAGEN 23, Deterioros en ignimbrita, autor FSP.

Al análisis de las características de la ignimbrita le siguió una investigación de los principales bancos de los cuales se suministró la roca ignimbrita y que se encuentran presentes en los casos de estudio, con la finalidad de poder

obtener o conseguir muestras de estas rocas para poder realizar las experimentación y caracterización del biomaterial que se pretende obtener.

## AGENTES BIÓTICOS

ORGANISMOS SUPERIORES

VEGETAL

ANIMAL

ORGANISMOS INFERIORES

INSECTOS

Microorganismos

ALGAS

BACTERIAS

MUSGOS

HONGOS

LÍQUENES



ESQUEMA 2, Agentes de deterioro bióticos, autor FSP.

# AGENTES ABIÓTICOS

## FÍSICOS

- TEMPERATURA
- LUZ
- ELECTRICIDAD

## QUÍMICOS

- AGUA
- SALES
- CONTAMINANTES
- ATMOSFÉRICOS



ESQUEMA 3, Agentes de deterioro Abióticos, autor FSP.

# AGENTES ANTRÓPICOS

## MALAS INTERVENCIONES

### DESTRUCCIÓN

### TURISMO

### FALTA DE MANTENIMIENTO



ESQUEMA 4, Agentes de deterioro Antrópicos, autor FSP.

Conociendo los distintos agentes que deterioran la estructura tanto física como estética de la ignimbrita, es pertinente saber que la investigación realizada en este trabajo, se enfocó en tres agentes principales que atacan y deterioran a la roca, es así que la experimentación se atender los agentes de la humedad de la roca, el intemperismo y los agentes antrópicos como lo son los pintas (grafitis) con distintas pinturas sobre las caras de la ignimbrita.

---

## HUMEDAD

El estudio de la humedad en la roca, es de suma importancia, ya que por medio del agua filtrada en la roca, ingresan también a la estructura interna de la roca, sales, minerales, etc, además de ser el agua uno de los principales agentes para la producción de micro flora en la roca.

---

## INTEMPERISMO

Al estar expuesta la roca al medio ambiente donde se ubica, queda a merced de las condiciones propias de este medio, donde podemos encontrar contaminantes en el aire, exposición al medio natural con el sol, lluvia, aire, etc, así como la flora y fauna que puede llegar a afectar la estructura de la ignimbrita.

---

## PINTURAS Y AEROSOLES

Estos agentes antropicos, que en los últimos años han sido empleados como una forma de expresión social, es uno de los agentes que más puede llegar a dañar a la roca, derivado de la composición química de estas, así como el grado de penetración que puede llegar a tener hacia la estructura interna de la roca.

---

Como se ha mencionado con anterioridad, es de suma importancia que el material que se propone para la protección de la roca ignimbrita, cumpla con las características de protección que permita la protección de estos tres principales agentes que lo atacan, ya que estos son por sus características los agentes que más atacan o agilizan el deterioro de la roca.

## OBTENCIÓN DE MUESTRAS

Para la obtención de muestras, como una primera etapa, se visitaron los bancos principales de ignimbrita (cantera) los cuales al no estar ya en funcionamiento, fue una tarea difícil de conseguir, sin embarco se buscó el apoyo de talleres dedicados al labrado de esta roca, encontrando un taller de bastante tradición en la ciudad, el cual y gracias a él, se pudo obtener muestras de cinco diferentes bancos, cuatro cercanos a la ciudad de Morelia como lo son, Barreno, Jamaica, Tejocote, Cointzio y uno más que es de fuera de los límites de la ciudad, Tlalpujahuá.



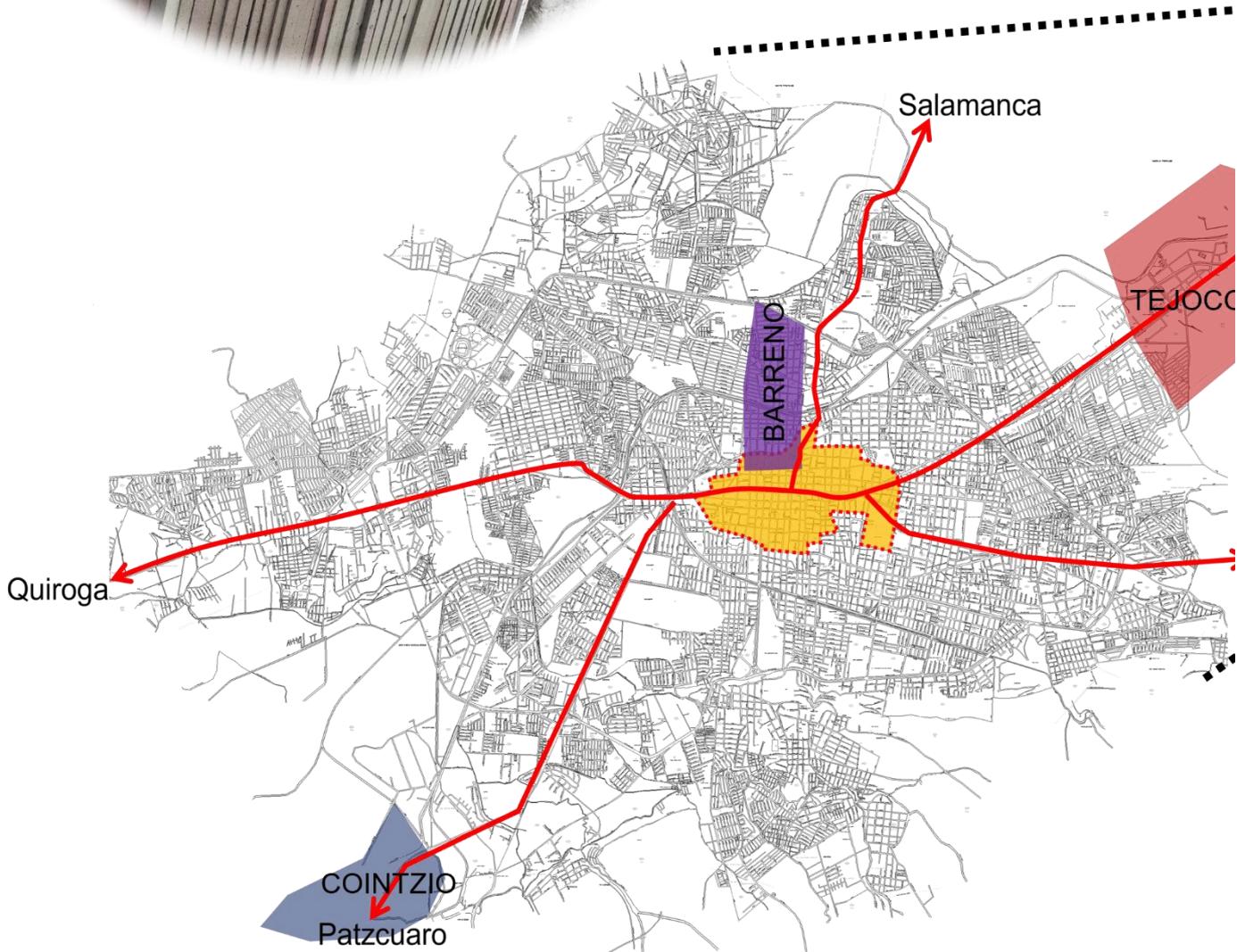
IMAGEN 24, Muestras de ignimbrita, FSP.

Las muestras de estos cinco bancos de cantera, se definió basado en la investigación del origen de la roca ignimbrita que se puede encontrar en las construcciones de la zona de estudio, teniendo sus características físicas y mecánicas parecidas en un gran porcentaje. Obteniendo cuatro muestras de cada banco con una sección de 20 x 20 cms y 4 cms de espesor.

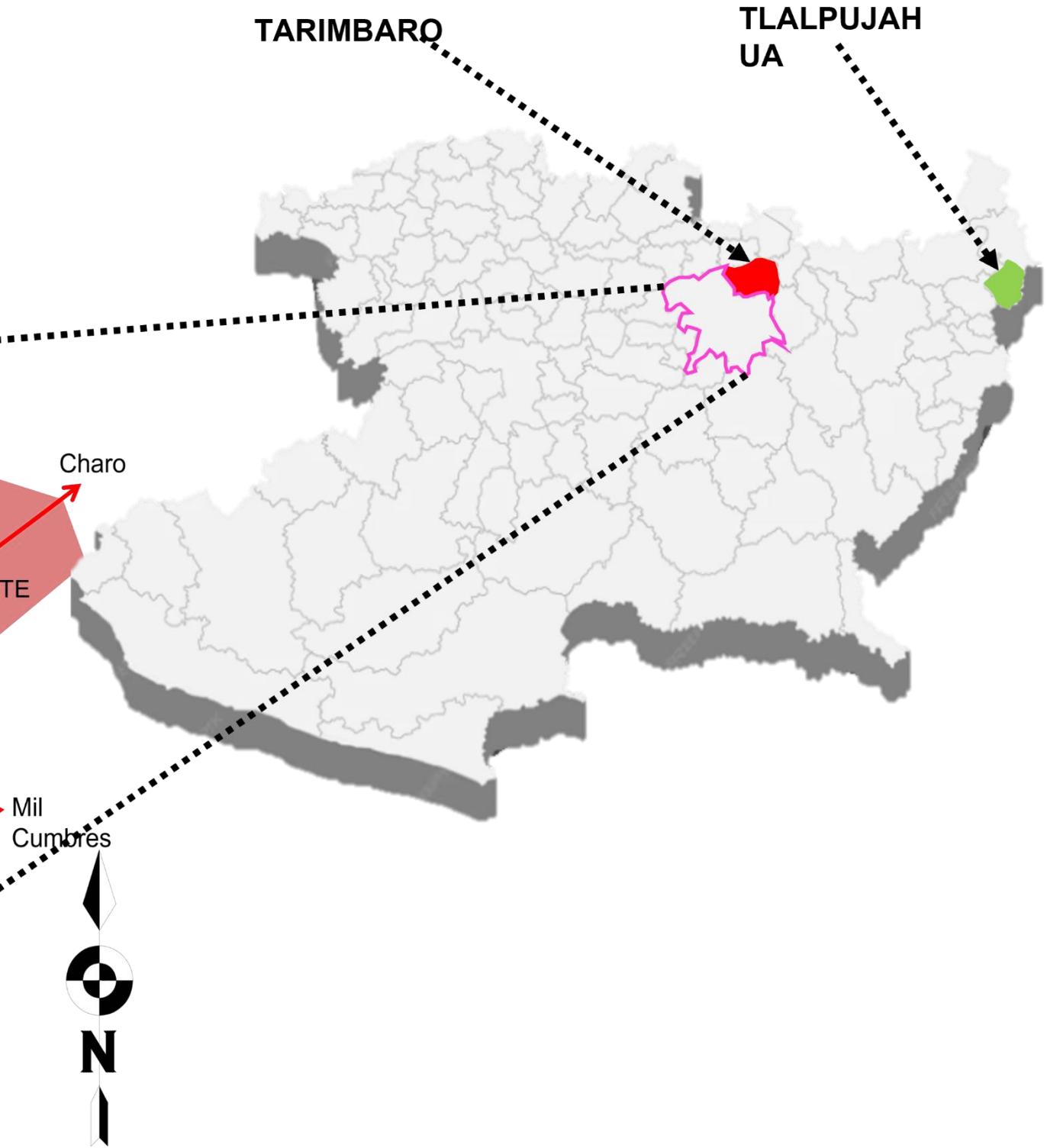


IMAGEN 26, Muestras de ignimbrita, FSP.

## MAPA DE BANCOS DE IGNIMBRITA EN MORELIA



MAPA 1, Ubicación de bancos de roca ignimbrita en la ciudad de Morelia, Autor FSP



En la ciudad de Morelia se pueden identificar siete estratos de una columna estratigráfica, uno de los principales es el complejo andesítico de Mil Cumbres son rocas volcánicas que se encuentran aflorando en la región de Ocolusen, donde se pueden observar estructuras que se intercalan con brechas y productos piroclásticos de color rojo o amarillo. Las rocas se alteran a color gris o bien en colores verdosos. Muchos de ellos tienen vetillas de calcita o bien de calcedonia (variedad microcristalina del cuarzo)<sup>22</sup>

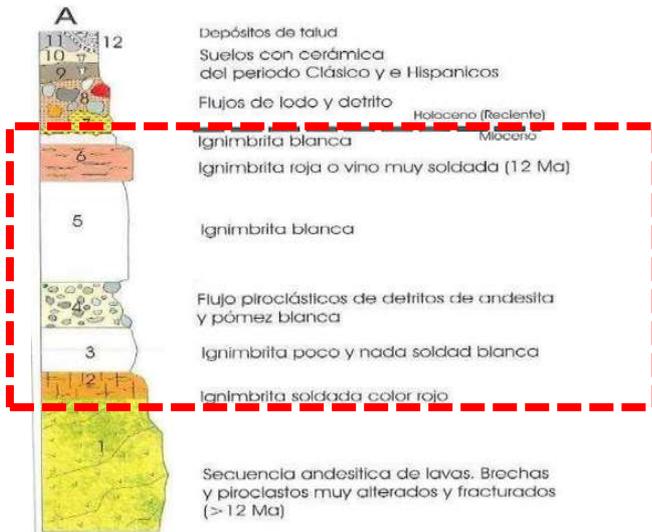


IMAGEN 27, Estructura de capas estratosféricas de suelo para ubicar la roca ignimbrita, autor desconocido.



IMAGEN 28, Banco de roca ignimbrita, Autor FSP.

<sup>22</sup> GARDUÑO-MONROY, V. & ISRADE-ALCÁNTARA, I.; (1999). LACUSTRINE RECORD IN VOLCANIC INTRA-ARC SETTING. THE EVOLUTION OF THE LATE NEOGENE CUITZEO BASIN SYSTEM( CENTRAL WESTERN MICHACAN, MEXICO). PALEOGEOGRAPHY, PALEOCLIMATOLOGY, PALEOECOLOGY. VOL. 15, VOL. 15

## PRIMICIAS DE LA INVESTIGACIÓN

El agua, en sí misma, actúa como transporte de contaminantes y como medio donde se desarrollan la mayor parte de las reacciones químicas, procesos fisicoquímicos y desarrollo de seres vivos. Lo anterior debido a que la característica porosa de la roca de estudio, absorbe de manera continua el agua, la cual penetra hasta las capas más profundas de la misma, donde al momento de que el agua se evapora o seca, deja sales que son perjudiciales para la piedra.

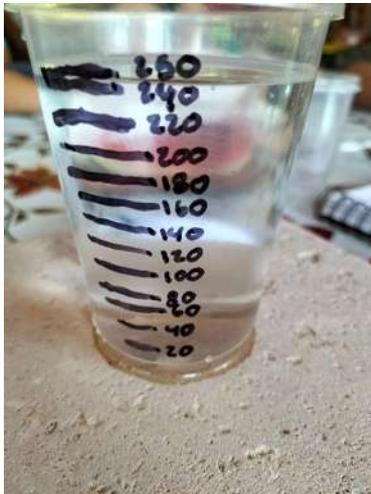


IMAGEN 29, Primer experimentación, absorción de agua, FSP.



IMAGEN 30, Primer experimentación, absorción de agua, FSP.

Derivado de lo anterior, una de las primeras exploraciones que se realizó fue medir la absorción de cada una de las rocas de los diferentes bancos, con la finalidad de identificar este grado de absorción para obtener un parámetro de comparación al momento de la aplicación del biomaterial. Es así que, en esta experimentación se colocó un vaso de 250 ml, al cual se le retiró la tapa plástica de su base, para tener una concentración puntual de agua sobre la roca, posteriormente se pegó este vaso a una cara de las muestras de la roca, con un pegamento epóxico para evitar fugas de agua y obtener la concentración de agua sobre las muestras.

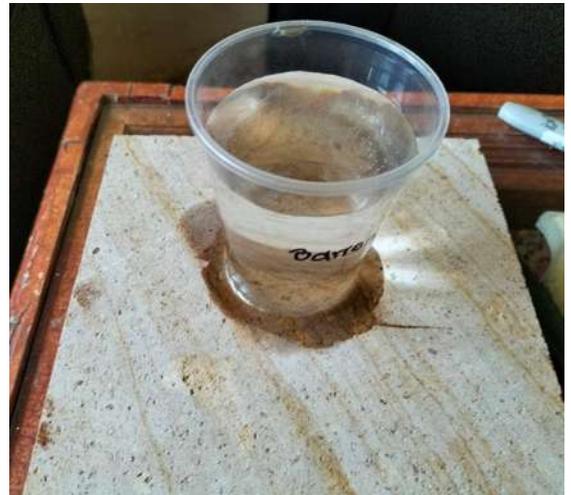
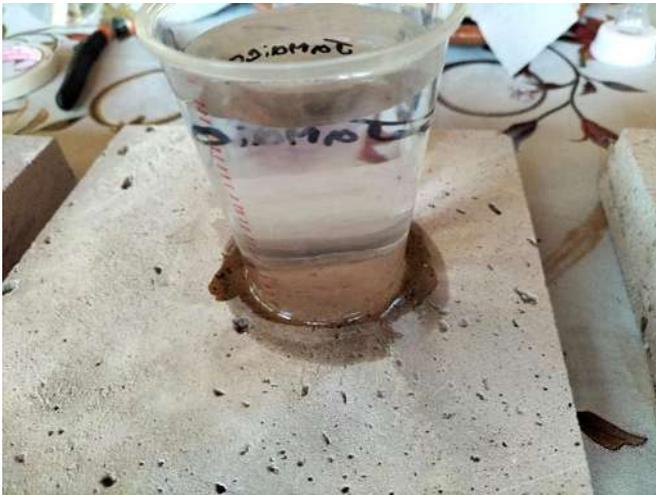


IMAGEN 31, Primer experimentación, absorción de agua, FSP.

### REGISTRO CADA HORA

Se realizaron dos tipos de mediciones, la primera medición se registraron los milímetros de absorción de cada piedra, mientras que, en la segunda medición, se registró la absorción cada hora, obteniendo los siguientes datos:

### REGISTRO CADA 20 MINUTOS

	FILTRACIÓN DE AGUA ml/min								
	20 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120min	140 min	160 min	PROMEDIO
JAMAICA	10	15	20	25	30	40	45	50	29.375
COINZIO	70	100	120	150	170	190	210	220	153.75
BARRENO	10	12	15	20	20	22	27	30	19.5
TEJOCOTE	5	7	20	20	20	20	20	20	16.5
TLALPUJAHUA	5	10	10	12	15	15	15	15	12.125

TABLA 1, Filtración de agua por minuto. Autor FSP.

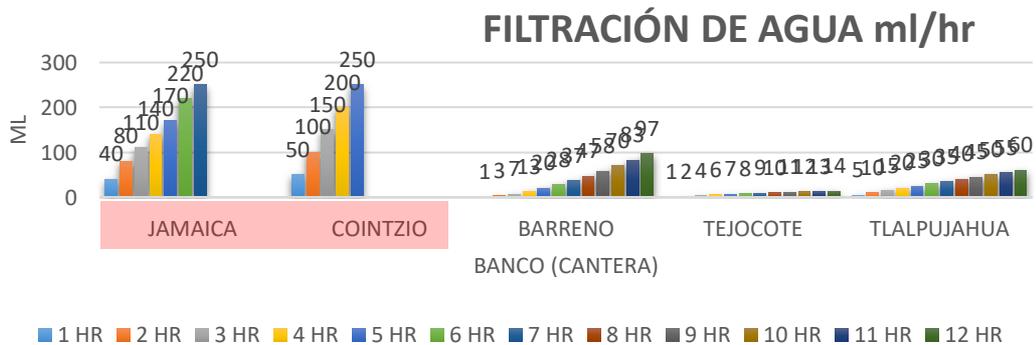


GRÁFICA 1, Filtración de agua ml/min, Autor FSP.

### REGISTRO CADA 12 HORA

	FILTRACIÓN DE AGUA ml/hrs											
	1 HR	2 HR	3 HR	4 HR	5 HR	6 HR	7 HR	8 HR	9 HR	10 HR	11 HR	12 HR
JAMAICA	40	80	110	140	170	220	250					
COINTZIO	50	100	150	200	250							
BARRENO	1	3	7	13	20	28	37	47	58	70	83	97
TEJOCOTE	1	2	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TLALPUJAHUA	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

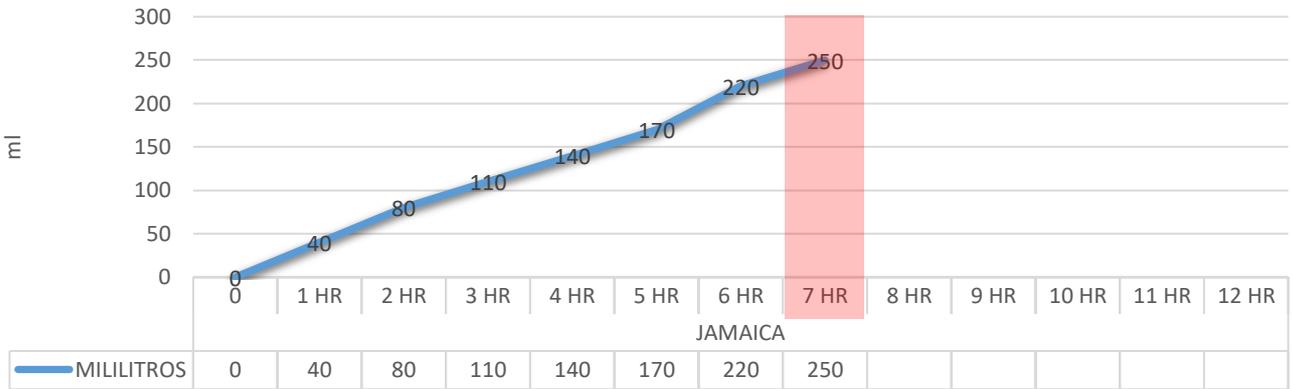
TABLA 2, Filtración de agua por horas, Autor FSP.



GRÁFICA 2, Filtración de agua ml/hrs, Autor FSP.

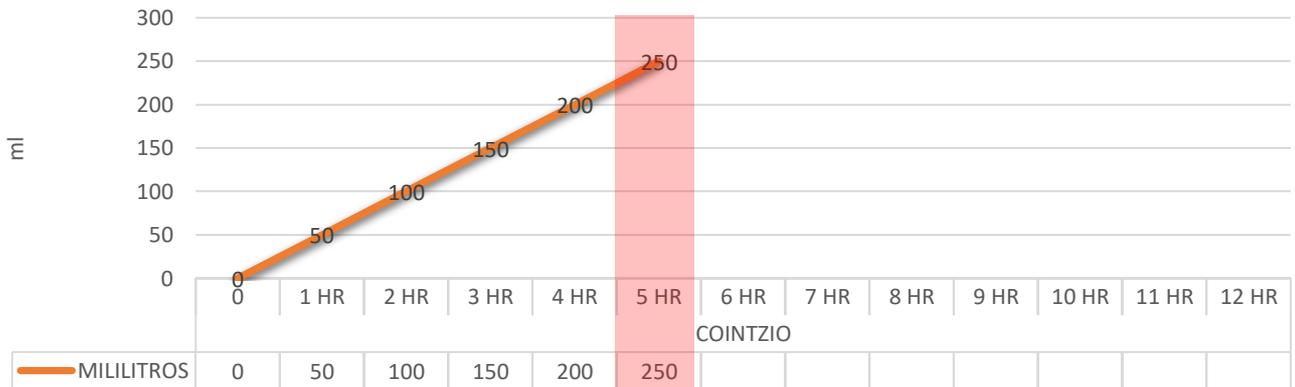
**REGISTRO CADA HORA**

**JAMAICA**



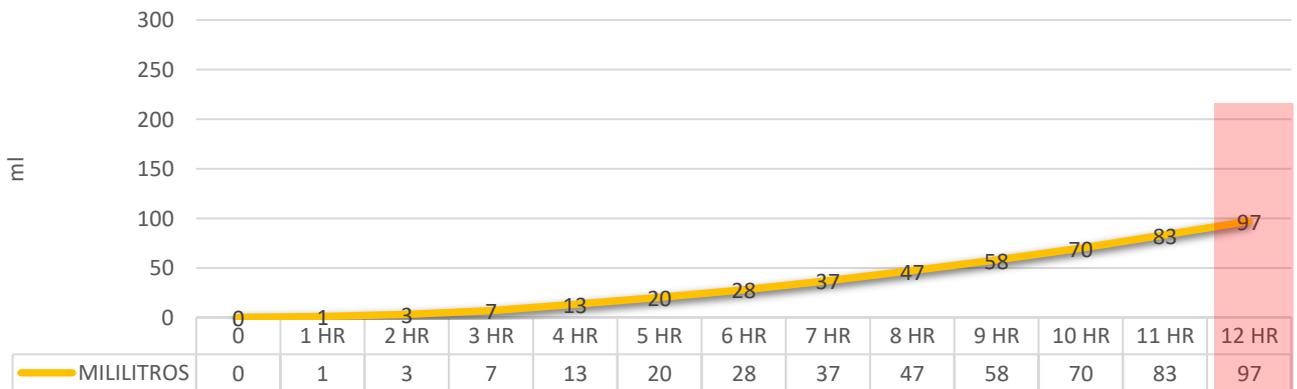
GRÁFICA 3, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Jamaica, Autor FSP

**COINTZIO**



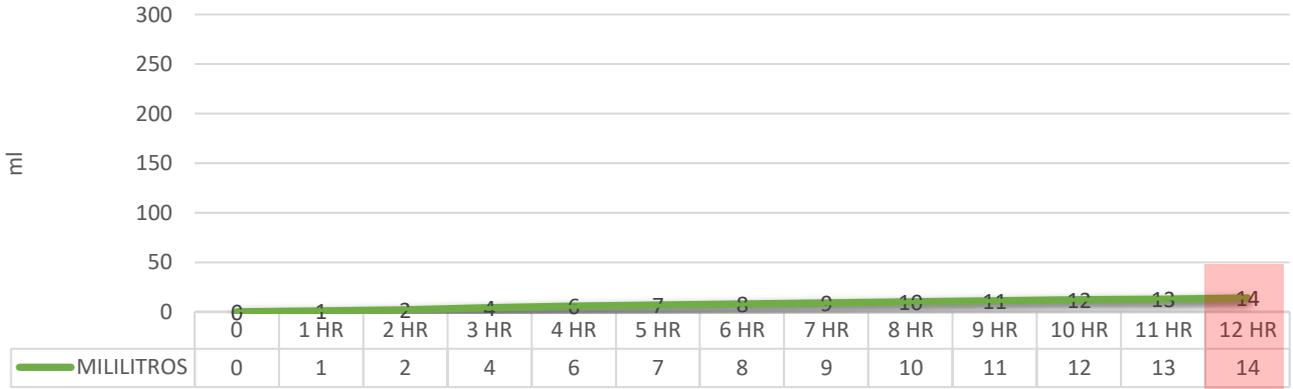
GRÁFICA 4, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Cointzio, Autor FSP.

**BARRENO**



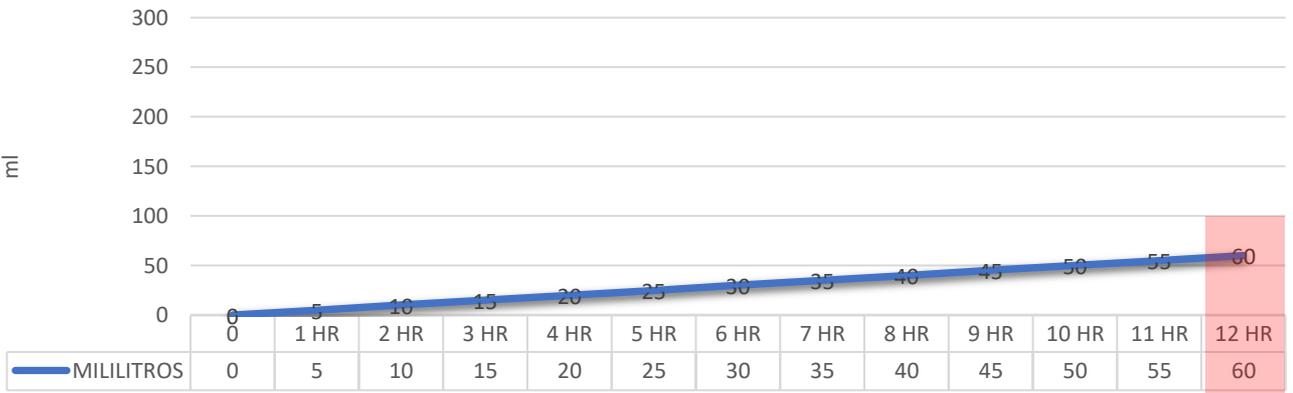
GRÁFICA 5, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Barreno, Autor FSP.

### TEJOCOTE



GRÁFICA 6, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Tejocote, Autor FSP.

### TLALPUJAHUA

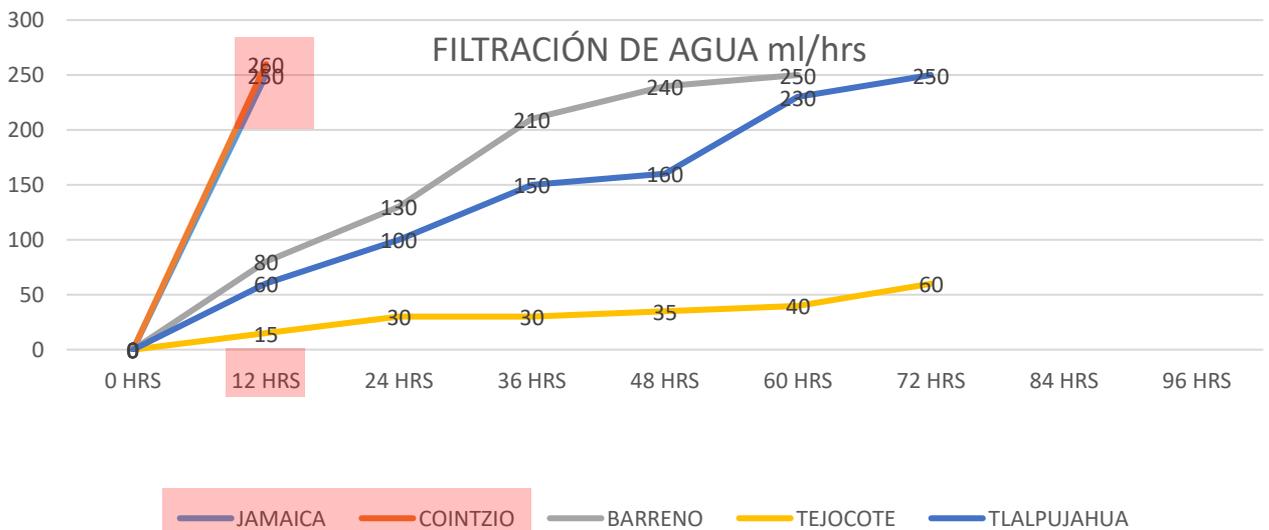


GRÁFICA 7, Filtración de agua ml/hrs, Roca banco Tlalpujahuá, Autor FSP.

## CONCLUSIONES

En este primer acercamiento con las características de absorción de la roca y luego de analizar los resultados arrojados, podemos ver como las rocas de los bancos de Jamaica y Cointzio, son las probetas que absorben el contenido total de agua de la muestra, que corresponde a 250 ml en prácticamente 12 hrs.

Con lo anteriormente descrito, podemos determinar que Cointzio y Jamaica, son las rocas que contienen una mayor porosidad, motivo por el cual la absorción de agua se realiza de una forma más acelerada, caso contrario son las rocas de los bancos de Barreno y Tlalpujahuá, las cuales son rocas más duras y de menor porosidad, absorbiendo el agua de las muestras en un tiempo mayor, como lo muestra la gráfica número 8.



GRÁFICA 8, Comparativa de absorción de agua en horas de bancos de roca ignimbrita, Autor FSP.

## **PROPUESTA Y ELABORACIÓN DE BIOMATERIAL.**

La cola de conejo es un extracto proteico obtenido fundamentalmente de pieles de conejos destinados al consumo humano. Para obtenerlas se limpian y acondicionan las pieles por medio de un sofisticado procedimiento de extracción de proteínas se obtiene la cola que se filtra y deseca.

En realidad, la cola de conejo se prepara a partir de restos de distintos animales, entre los que se encuentran obviamente los conejos. Huesos, cartílagos y pieles se cocinan con una mezcla de sales hasta obtener una pasta viscosa, que no es más que una disolución de colágeno en agua. Una vez seca, esta pasta se vende lista para rehidratar. El proceso, que en principio te puede resultar un poco asqueroso, es similar al de obtención de la gelatina.

### **Características**

A demás de como adhesivo la cola de conejo se utiliza en la preparación de las superficies pictóricas, así como de diversos materiales tales como el temple o el estuco. Y... ¿cómo después de tanto tiempo se continúa comercializando? te preguntarás. Esto es debido a las ventajas que presenta la utilización de la cola de conejo son:

- No son tóxicas ni nocivas para el medio ambiente.
- No interactúa con otros elementos del soporte.
- Son fáciles de eliminar.
- Son vitales en restauración para no interactuar con los materiales originales y conseguir el mismo aspecto.

La disolución así obtenida se encuentra lista para su uso. Presenta un aspecto translucido y gelatinoso de color pegajoso y que posee una gran fuerza adherente superior a las colas de hueso, colas de pescado y equiparable a las denominadas colas de pieles o de Colonia. La disolución de cola de conejo es soluble en agua y

seca por evaporación del agua, endureciéndose y forma una película adhesiva, que mantiene sus propiedades originales.

Se emplea principalmente como preparación de telas, como aglutinante de imprimaciones al yeso, creta o blanco de España y como componente aglutinante de imprimaciones en emulsión, como las llamadas imprimaciones a la media creta y al aceite. También se emplea como aislante de imprimaciones al yeso, creta o blanco de España, como aglutinante en pintura a la cola y como componente aglutinante en pintura en emulsión como los llamados temples de cola.

Para su empleo simplemente hay que fundir la disolución de cola calentándola al baño maría y removiendo hasta lograr la completa fluidez, lo que se logra manteniendo la temperatura entre los 35 y 60°C. Superando los 60-65°C la cola pierde rápidamente sus propiedades.

La cola de conejo al 8 % aproximadamente, posee la concentración adecuada para su empleo como capa de apresto, para el encolado de las telas, o para la preparación de imprimaciones. Para otro tipo de aplicaciones es aconsejable reducir la concentración, lo que se logra fácilmente por incorporación de agua. En ocasiones, para el encolado e imprimación de lienzos de pequeño formato se recomienda una concentración menor. En estos casos puede añadirse 1/6 parte de agua.

También se utiliza como aislante para papel o fondos de yeso, creta o blanco de España, las proporciones pueden variar mucho dependiendo del grado de absorción del soporte o fondo y del grado al que se desee llegar. En cualquier caso, conviene tener presente que siempre es necesario un cierto grado de absorción para que la pintura pueda "agarrar" bien.

Como vehículo de pinturas a la cola y como emulsionante de pinturas al temple puede ser conveniente añadir 1/3 de agua, así como añadir le pequeñas cantidades de glicerina que le aportará flexibilidad, y dextrina, que le dará solidez o

reforzamiento estructural al gel, reducirá el encogimiento y favorecerá la adhesión permanente. En cualquier caso, debe tenerse presente que estas indicaciones son orientativas y siempre será necesario realizar las pruebas y ensayos pertinentes.

## **Materiales para la elaboración de la cola de conejo**

75 gr Cola de conejo

1 lt Agua

### **1.- Hidratación la cola de conejo**

Como la presentación de la cola de conejo en grano o placas, esta se encuentra deshidratada, por lo que el primer paso es hidratarla de nuevo. El procedimiento que se realizó para la hidratación de la cola, fue el siguiente; Se utilizo cola granulada, de la cual se debe dejar reposar 70 gr en un 1 litro de agua tibia durante ocho horas.



IMAGEN 32, Proceso de producción de Cola de Conejo, Autor FSP.

### **2.- Para preparar la mezcla**

Una vez obtenido la cola hidratada se preparó la mezcla. Para ello se puso a calentar la mezcla de cola y agua al Baño María mientras se remueve, continuando este procedimiento hasta conseguir un líquido uniforme. Es importante que la temperatura del agua a baño maría suba gradualmente, teniendo en cuenta que la temperatura de esta no sobrepase los 60 grados la mezcla dejará de ser útil. Más vale que vayas poco a poco sin que el frasco en el que introduces la cola llegue a quemar.



IMAGEN 33, Materiales para la producción de Cola de Conejo, Autor FSP.



IMAGEN 34, Materiales para la producción de Cola de Conejo, Autor FSP.

Se obtuvieron cuatro muestras de la producción de cola de conejo, 0%, 10%, 20%, 30%.



IMAGEN 35, Producción de diferentes dosificaciones de Cola de Conejo, Autor FSP.

## APLICACIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS

Para la aplicación del biomaterial, se prepararán las baldosas de cantera de la siguiente forma:

### División de área de superficie de cantera en cuatro partes iguales

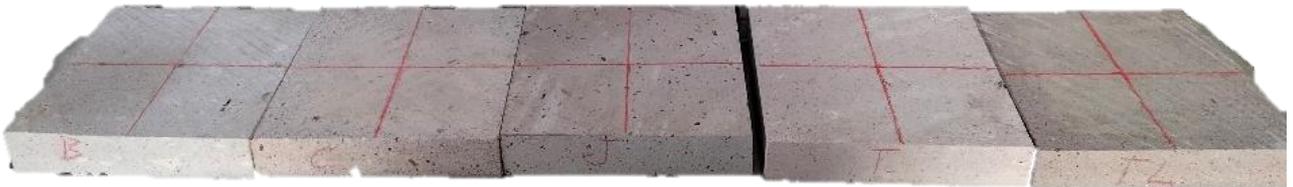


IMAGEN 36, División de muestras de roca de diferentes bancos, Autor FSP

### Etiquetado y enmascarillado

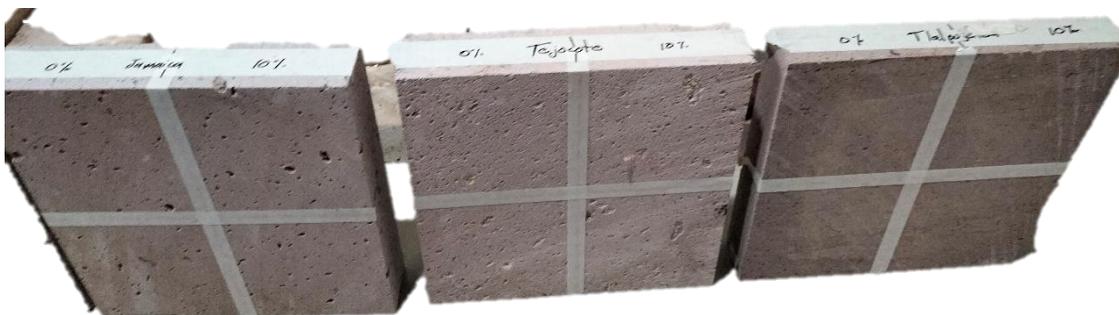
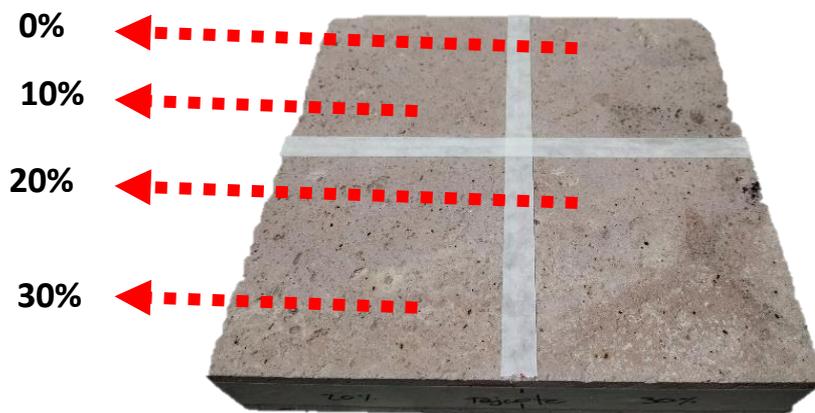


IMAGEN 37, Enmascarillado de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP.



## Aplicación del biomaterial en sus distintas dosificaciones

Cada uno de los cuadrados que contienen la probeta, se le aplico una de las cuatro proporciones producidas del biomaterial, correspondientes al 0, 10, 20 y 30 por ciento, según sea el caso, cabe mencionar que cada una de las divisiones y aplicación de las dosificaciones fueron etiquetadas respectivamente, como se muestra en las siguientes imágenes.

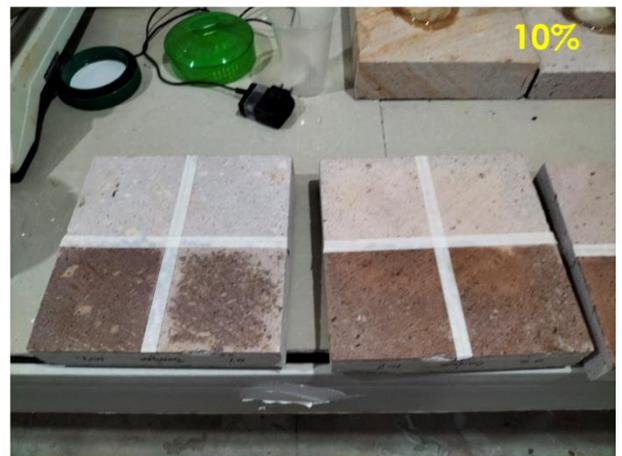
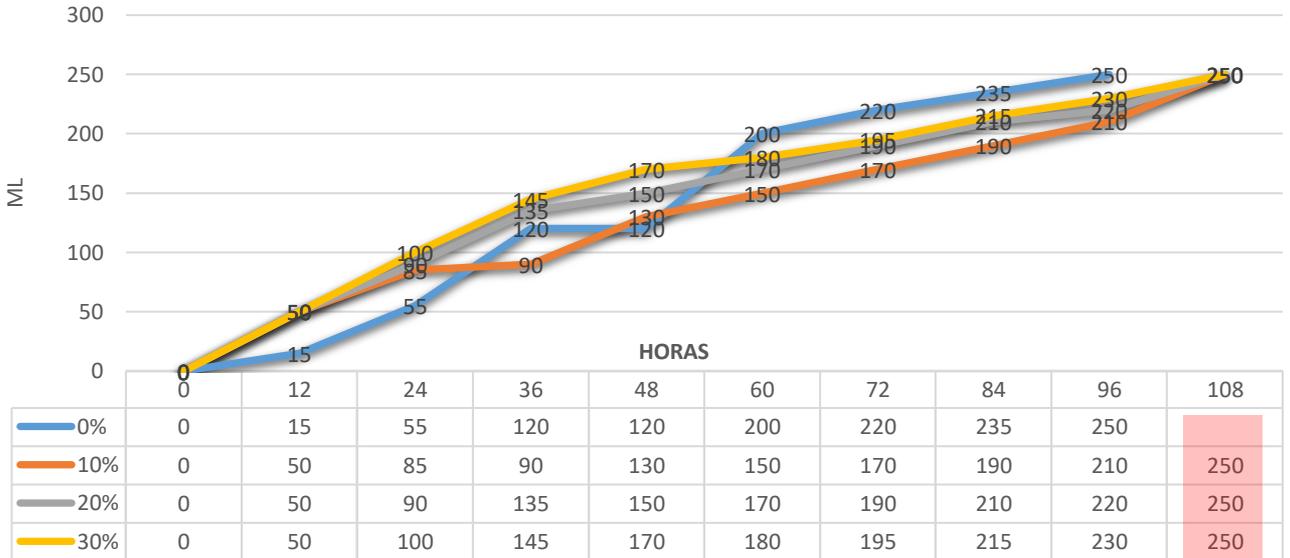


IMAGEN 41, Aplicación de biomaterial en muestras de roca ignimbrita de diferentes dosificaciones, Autor FSP.

### Obtención de datos

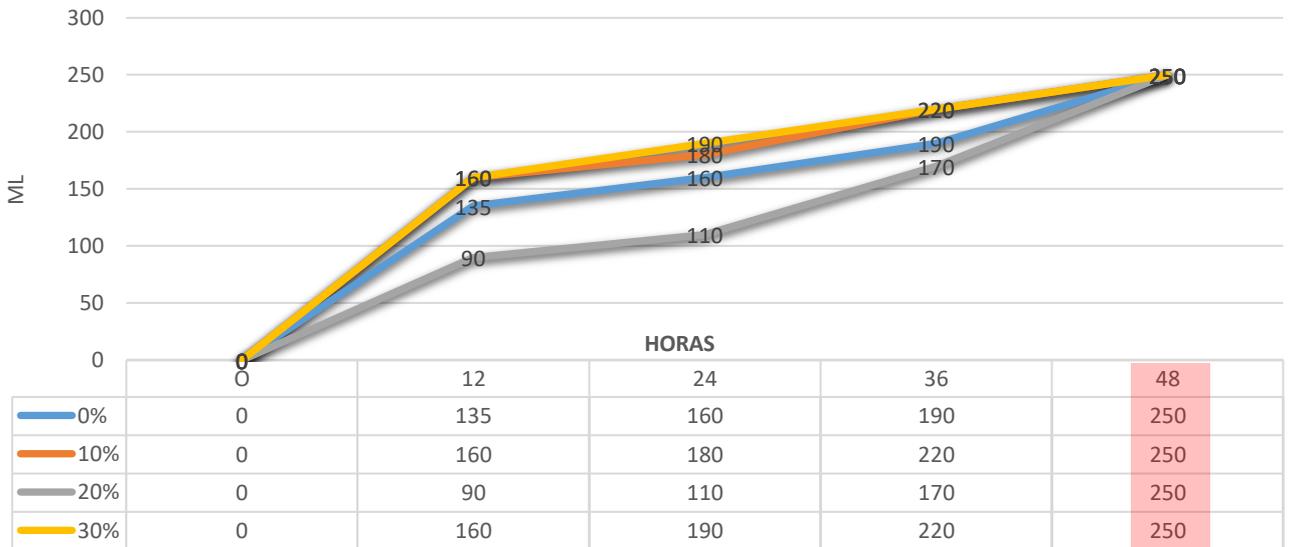
Se tomaron datos de la absorción concentrada de agua sobre las placas de cantera, cada doce horas, obteniendo los siguientes datos:

#### JAMAICA



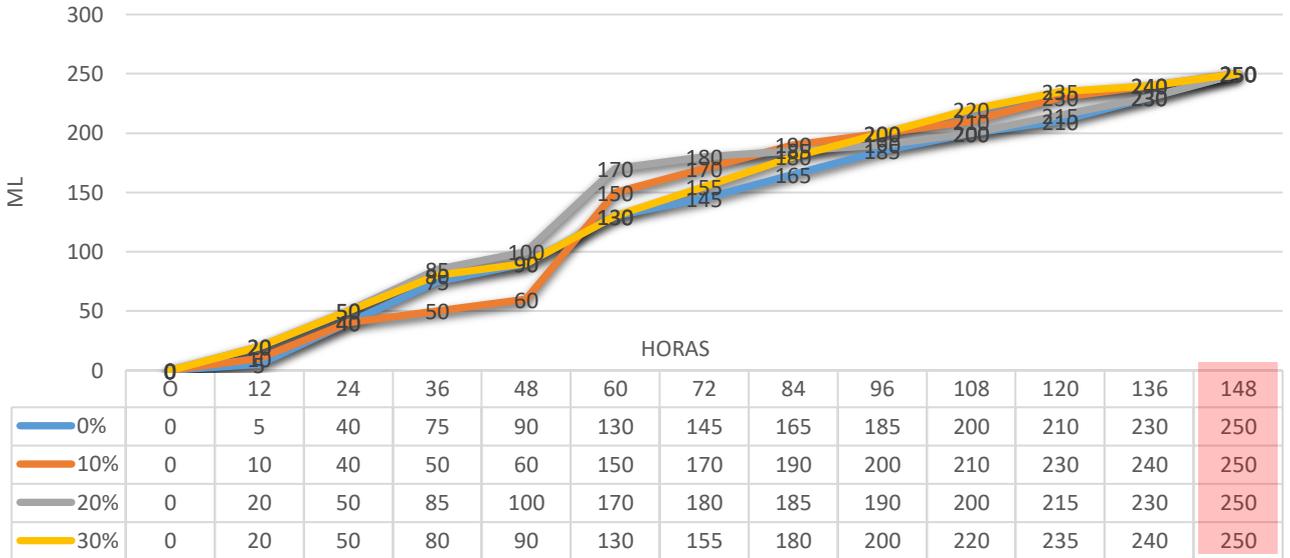
GRÁFICA 10, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Jamaica, Autor FSP.

#### COINTZIO



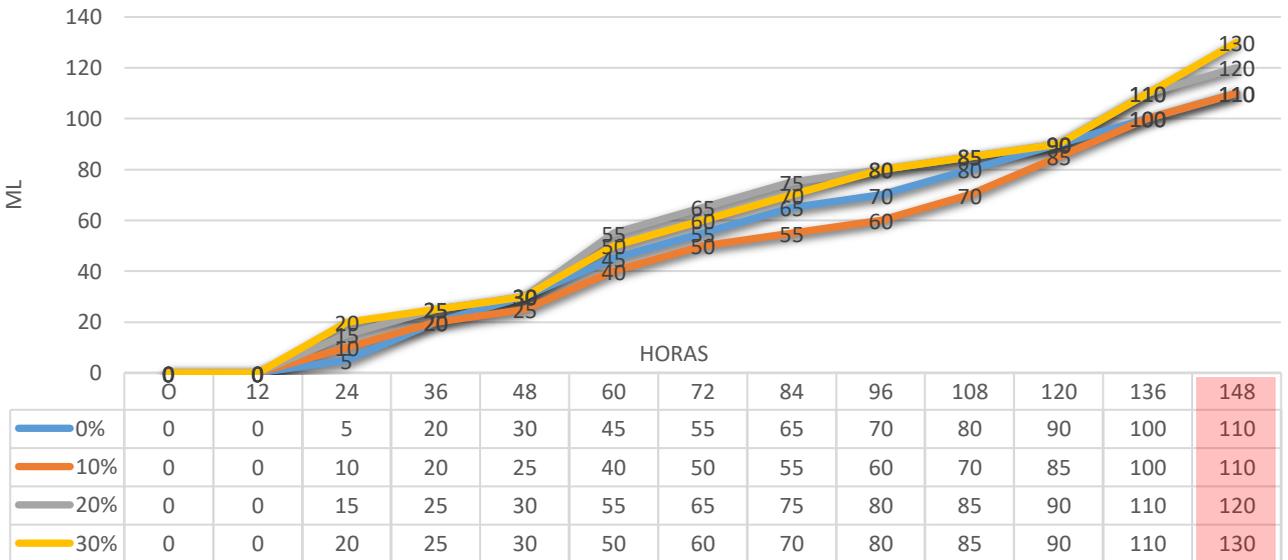
GRÁFICA 9, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Cointzio, Autor FSP.

### BARRENO



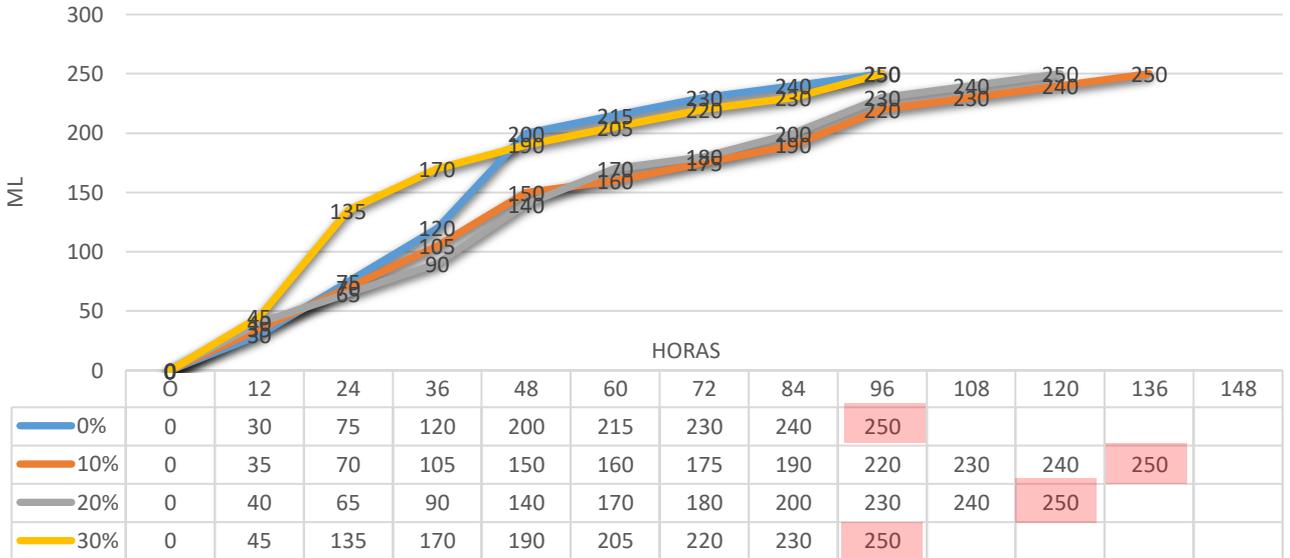
GRÁFICA 11, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Barreno, Autor FSP

### TEJOCOTE



GRÁFICA 12, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Tejocote, Autor FSP

### TLALPUJAHUA

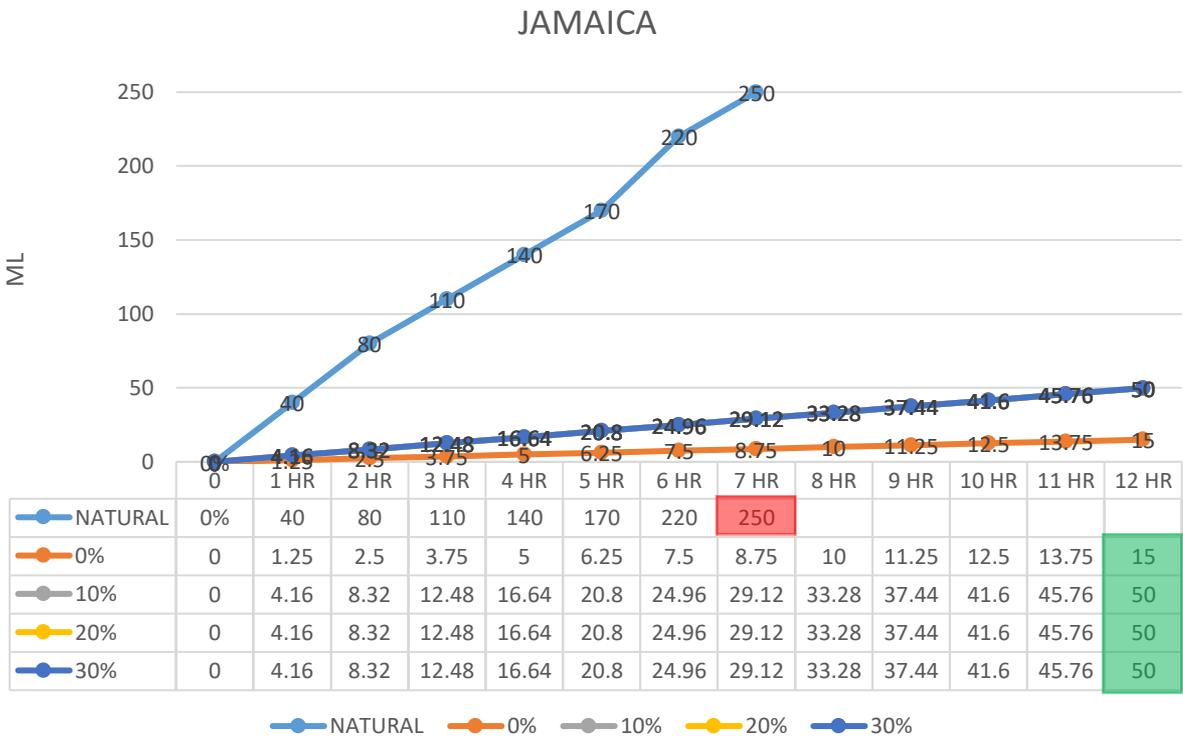


GRÁFICA 13, Filtración de agua ml/hrs con aplicación de biomaterial, Roca banco Tlalpujahuá, Autor FSP

## COMPARATIVA ABSORCIÓN DE AGUA EN 12 HORAS

Con la obtención de datos de absorción de agua de las probetas de los diferentes bancos de roca ignimbrita tanto al natural como los datos arrojados con la aplicación del biomaterial, se realizó una comparativa de cada uno de los datos, con la finalidad de analizar las diferencias de absorción en las diferentes probetas, obteniendo los siguientes datos

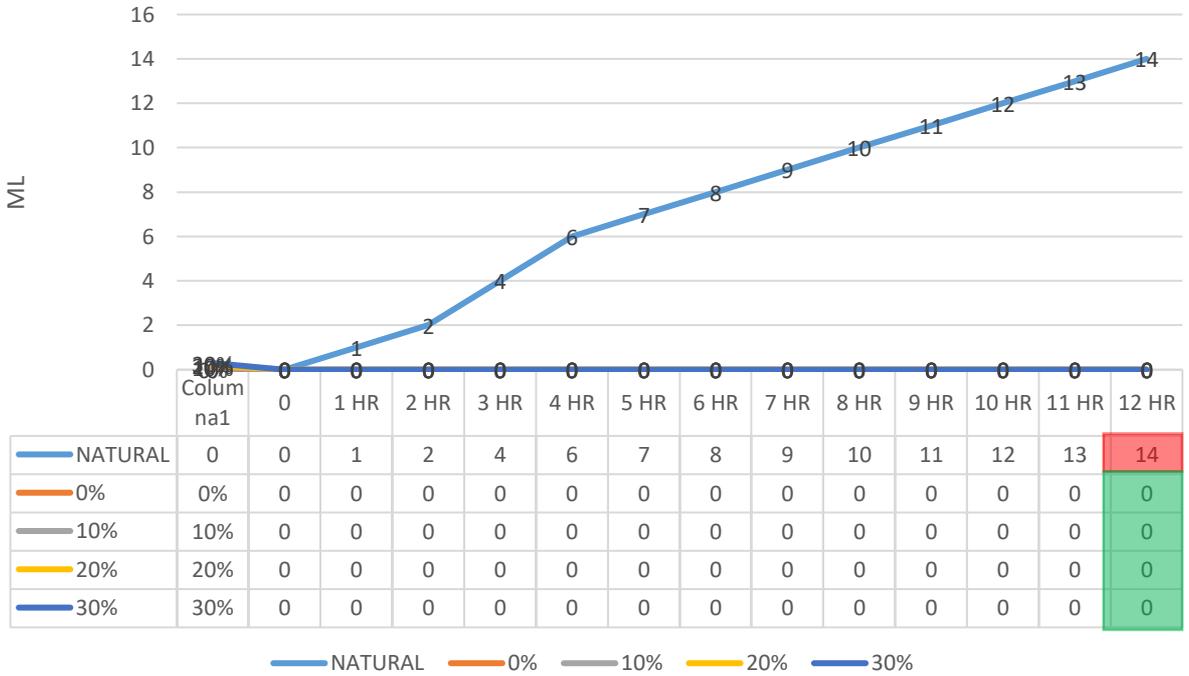
- Datos de roca al natural
- Datos de roca con aplicación de biomaterial



GRÁFICA 14, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Jamaica, Autor FSP.

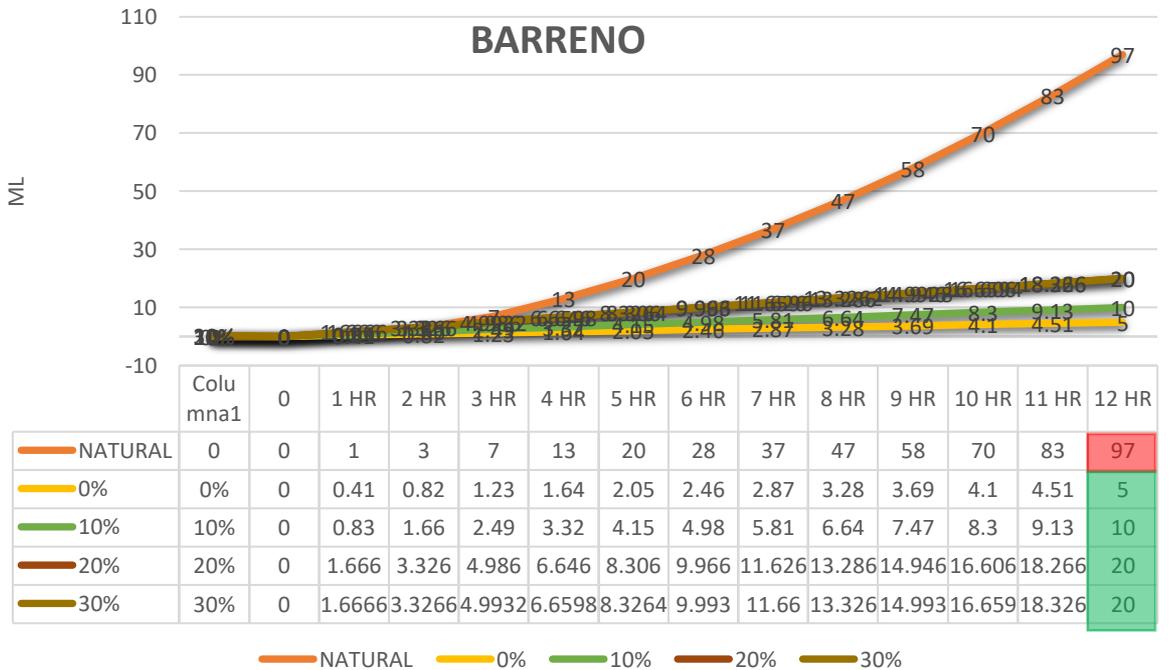
■ Datos de roca al natural ■ Datos de roca con aplicación de biomaterial

TEJOCOTE



GRÁFICA 15, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Tejocote, Autor FSP.

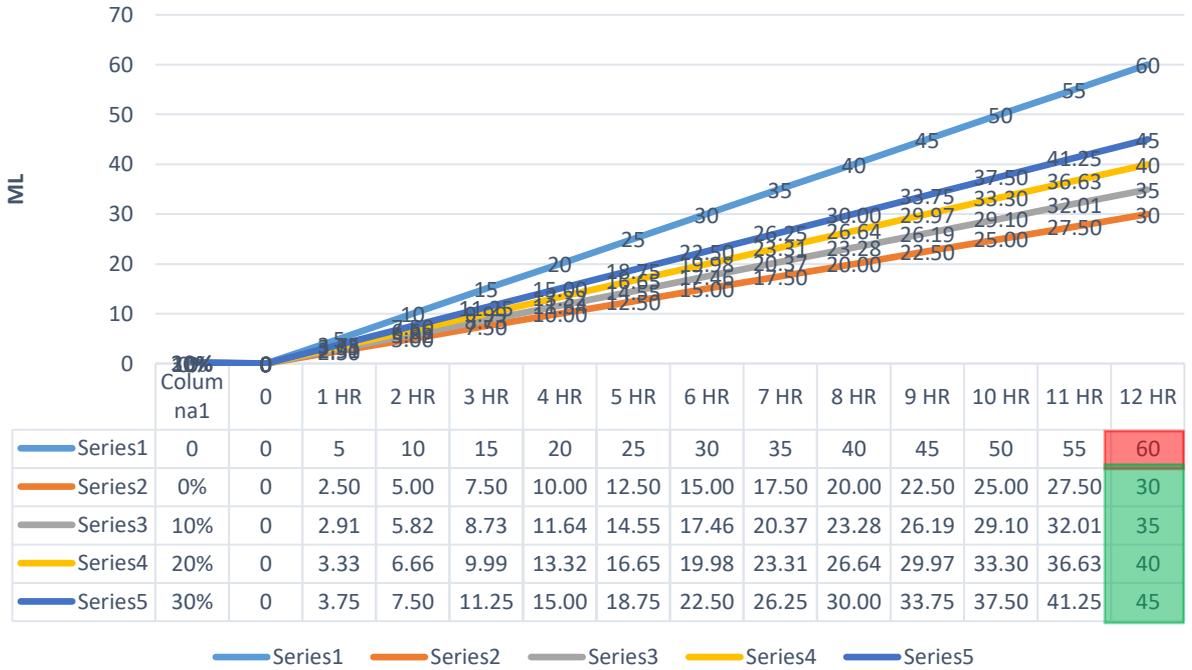
BARRENO



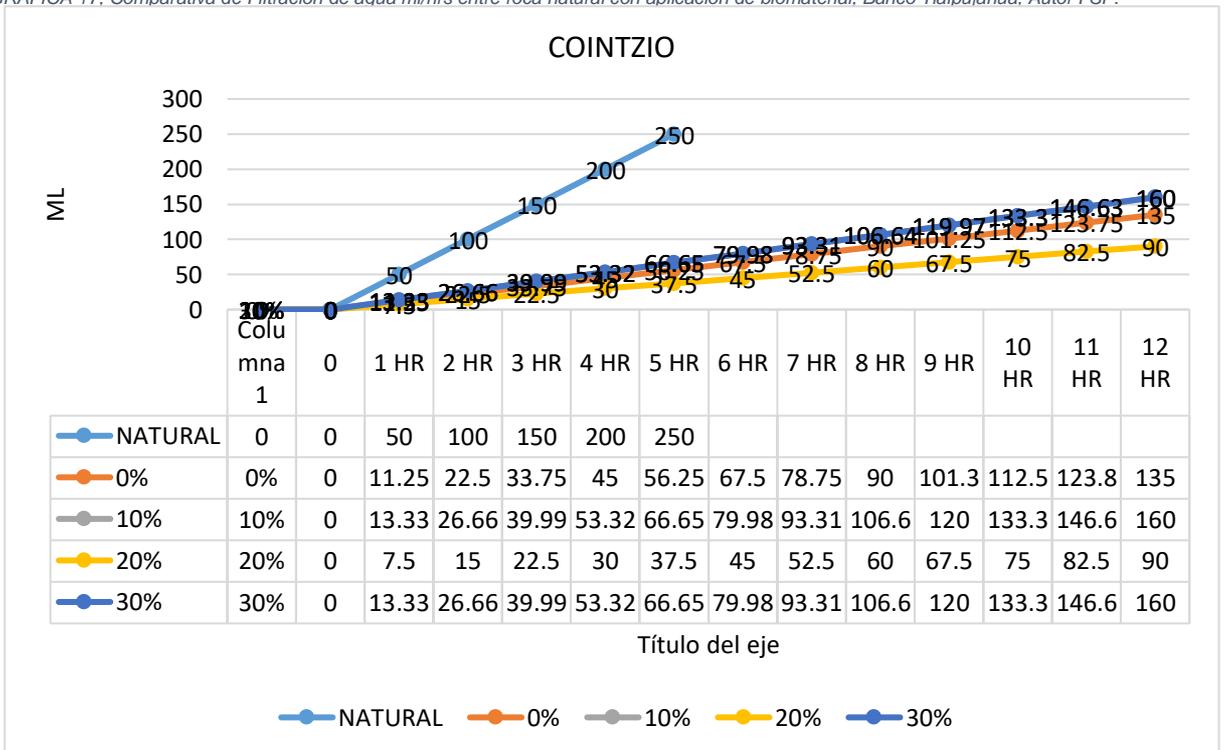
GRÁFICA 16, Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Barreno, Autor FSP.

■ Datos de roca al natural ■ Datos de roca con aplicación de biomaterial

### TLALPUJAHUA



GRÁFICA 17. Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Tlalpujahuá, Autor FSP.



GRÁFICA 18. Comparativa de Filtración de agua ml/hrs entre roca natural con aplicación de biomaterial, Banco Cointzio, Autor FSP.

## **Conclusiones**

Cómo podemos observar en las diferentes graficas comparativas de los distintos bancos de roca ignimbrita, entre los datos de la roca al natural y ya con la aplicación del biomaterial, la roca al natural en un lapso de 12 hrs (tiempo determinado para esta comparativa) tiene una mayor absorción de agua en relación con la absorción que presentan las muestras que cuentan con la aplicación de las diferentes dosificaciones del material.

Lo anterior nos permite establecer que el biomaterial propuesto, disminuye considerablemente la absorción de agua, como lo muestran las gráficas comparativas de los diferentes bancos de roca.

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA



EXPERIMENTACIÓN

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIIMBRITA



## EXPERIMENTACIÓN

La experimentación se basó en cuatro etapas principales como se muestra a continuación:

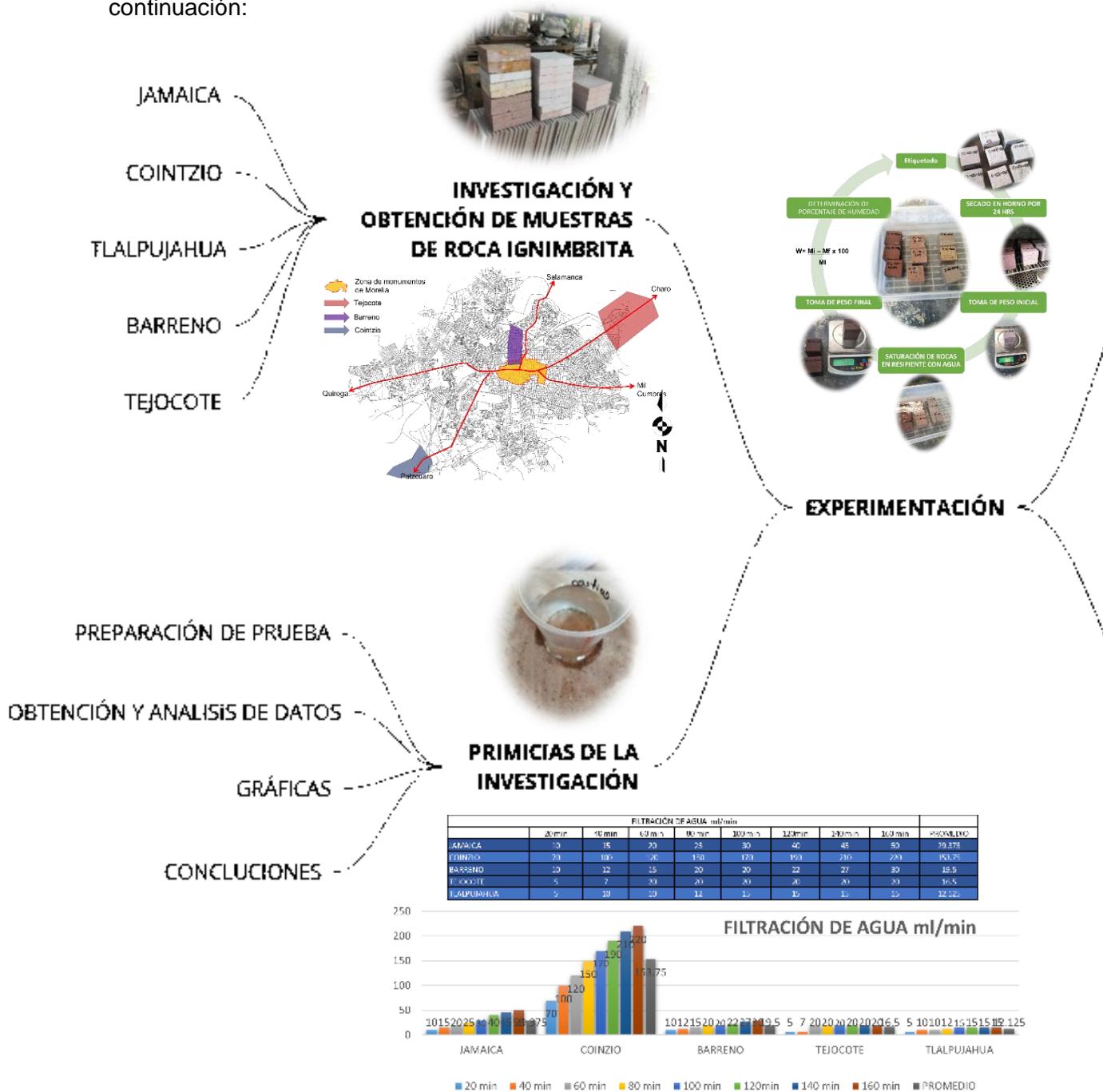


DIAGRAMA 7, Experimentación, autor FSP.



**ELABORACIÓN DE COLA DE CONEJO Y BIOMATERIAL BIOCANIG**



INVESTIGACIÓN SOBRE LA COLA DE CONEJO

EXPERIMENTACION CON DISTINTAS DOSIFICACIONES

DEFINICIÓN DE DOSIFICACIÓN ADECUADA



**PRUEBAS DE LABORATORIO**

PRUEBAS DE ABSORCIÓN DE AGUA CON APLICACIÓN DE BIOMATERIAL

ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN ROCAS

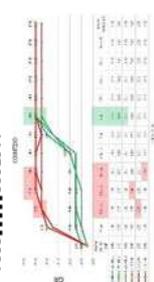
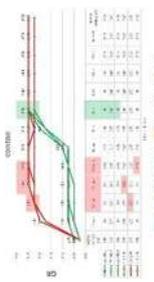
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD MÁXIMA EN ROCAS

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

OBTENCIÓN DE LAMINAS DELGADAS Y PENETRACIÓN DEL BIOMATERIAL EN ROCAS

RESISTIVIDAD

COMPRESIÓN SIMPLE



ANÁLISIS DE DATOS



## EXPERIMENTACIÓN

La resistividad eléctrica de rocas y minerales es una propiedad extremadamente variable, y depende de varios factores. La resistividad de rocas cristalinas tales como granulita, granito, diorita, etc., tomada in situ, depende en gran medida del agua que contengan en fracturas y grietas. Análogamente, la porosidad, grado de saturación y la naturaleza de los electrolitos que llenan los poros, determinan la resistividad de rocas como areniscas, calizas, etc. Además, pueden presentar resistividad baja algunas arcillas, así como la creta, margas, etc. Cuando están secas la mayoría de las rocas no son conductoras<sup>23</sup>. La resistividad eléctrica  $\rho$  de cualquier sustancia se determina numéricamente por la resistencia que se obtiene en un centímetro cúbico de esa sustancia, tomado de forma de cubo, a la corriente eléctrica dirigida perpendicularmente a una de las aristas de ese cubo. Según el sistema de unidades elegido, la resistividad se mide en ohm·metro<sup>24</sup>.

A una roca, como conductor de la corriente eléctrica, se le puede considerar como un agregado que consta de un esqueleto sólido mineral, de líquidos y gases. En la resistividad de un tal agregado influyen los siguientes factores:

- La resistividad de los minerales que forman la parte sólida de la roca (su esqueleto);
- La resistividad de los líquidos y gases que rellenan los poros de la roca;
- La humedad de la roca;
- La porosidad de la roca;
- La textura de la roca, y la forma y distribución de sus poros;
- Los procesos que ocurren en el contacto de los líquidos de los poros y el esqueleto mineral.

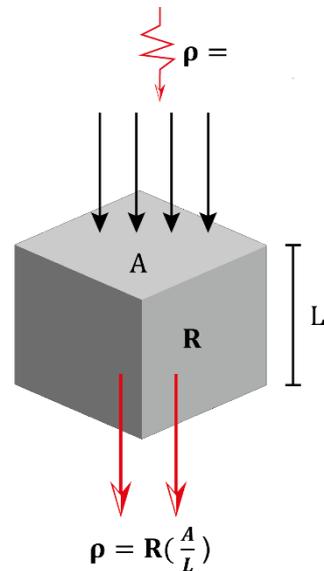
---

23 D. PARASNIS, GEOFÍSICA MINERA. MADRID. ESPAÑA: PARANINFO, 1971.

24 NAVARRO LUIS MANUEL, ANÁLISIS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES, UMSNH, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE MATERIALES, LABORATORIO DE MATERIALES MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, OCT. 2011

La resistividad eléctrica, en particular, es muy alta en los especímenes secos en comparación con los valores obtenidos con cualquier contenido de agua<sup>25</sup>. Las rocas ígneas y metamórficas típicamente tienen valores altos de resistividad. La resistividad de estas rocas depende mucho del grado de fracturación que poseen, y el porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno. Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad<sup>26</sup>. Para la determinación de la resistividad en el campo usaremos la relación:

$$\rho = R \left( \frac{A}{L} \right)$$



Donde:

- ρ** Resistividad en ohm·metro ( $\Omega\text{m}$ )
- R** Resistencia que presenta la roca en ohmios
- A** Sección de la roca en metros cuadrados ( $\text{m}^2$ )
- L** Longitud de la roca en metros ( $\text{m}$ )<sup>27</sup>.

Es definida como la razón entre el volumen de los espacios vacíos entre la roca y el total volumen aparente de la roca, también se refiere a la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total<sup>28</sup>. Así también el contenido de humedad presente en una roca es la relación existente entre el agua contenida en los poros de la roca y la masa de las partículas de la roca misma.

25 J.L. GRAHAM, G. CARRILLO, PROPIEDADES GEOFÍSICAS DE ROCAS Y SUELOS CALCÁREOS. MEDICIONES DE LABORATORIO EN ESPECÍMENES PEQUEÑOS. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN. MÉXICO: 2002

26 E.DÍAZ, IMPLEMENTACIÓN DEL CÓDIGO ZONDRES 2D PARA LA MODELACIÓN DIRECTA E INVERSA DE DATOS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO: 2010.

27 M.SOLANA, COMPARACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS PARA DETERMINACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESPAÑA: 2014.

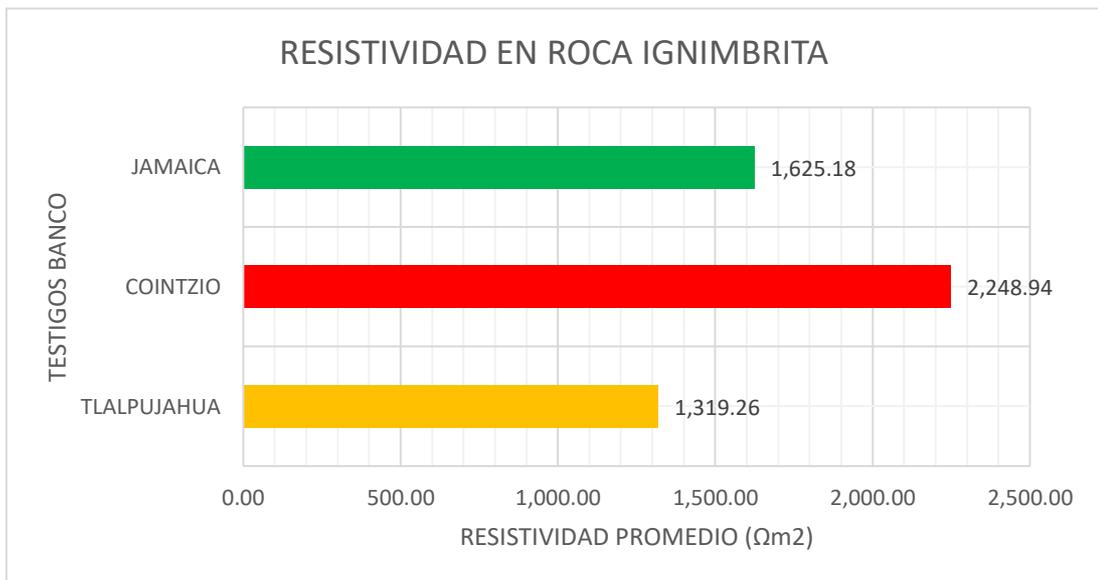
28 M. GALVÁN, I. RESTREPO, «CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAxIAL CON LA HUMEDAD Y POROSIDAD EFICAZ EN ROCAS». DYNA, [S.L.], v. 83, n. 198, pp. 9-15, SEP. 2016.

La finalidad de realizar la resistividad de roca ignimbrita en esta experimentación sobre las rocas estudiadas en este trabajo, es la de conocer la porosidad de la roca, para lo que se re realizó la prueba en condiciones de la roca seca, para lo anterior se requirió de testigos de roca de tres bancos distintos (Cointzio, Jamaica y Tlalpujahua) los contaron con medidas de 5 cm x 5cm x 5cm en promedio, obteniendo los siguientes datos:

RESISTIVIDAD DE ROCA EN SECO							
Condiciones de la roca	MUESTRA	MEDIDAD mts			RESISTENCIA ( $\Omega$ )	RESISTIVIDAD ( $\Omega m^2$ )	PROMEDIO
		LARGO	ANCHO	ESPESOR			
TLALPUJAHUA	TL-01	0.051	0.0496	0.0503	26000	1,307.55	1,319.26
	TL-02	0.0501	0.0507	0.0506	17500	878.48	
	TL-03	0.0502	0.0504	0.0487	36000	1,870.29	
	TL-04	0.0507	0.0501	0.0497	31000	1,584.35	
	TL-05	0.0498	0.0506	0.0501	19000	955.64	
COINTZIO	C-01	0.0504	0.0505	0.0506	55500	2,791.67	2,248.94
	C-02	0.0513	0.0506	0.0503	35000	1,806.21	
	C-03	0.0519	0.0504	0.0507	41500	2,141.11	
	C-04	0.0511	0.0507	0.0506	46000	2,355.25	
	C-05	0.051	0.0508	0.0506	42000	2,150.47	
JAMAICA	J-01	0.0504	0.0504	0.0495	18000	923.69	1,625.18
	J-02	0.051	0.0492	0.0512	38000	1,862.30	
	J-03	0.0496	0.0508	0.0505	31500	1,571.68	
	J-04	0.0505	0.0507	0.0497	32500	1,674.27	
	J-05	0.0507	0.0508	0.0492	40000	2,093.95	

TABLA 3, Resistividad eléctrica en roca, Autor FSP.

Como podemos observar en la relación de datos obtenidos en esta prueba, reflejados en la tabla 3 y expresados en los promedios de cada roda de los diferentes bancos analizados, que podemos ver en la gráfica 27, los datos obtenidos nos indica que la roca con mayor porosidad es la roca correspondiente al banco de Cointzio.



GRÁFICA 19, Resistividad eléctrica en roca, Autor FSP.

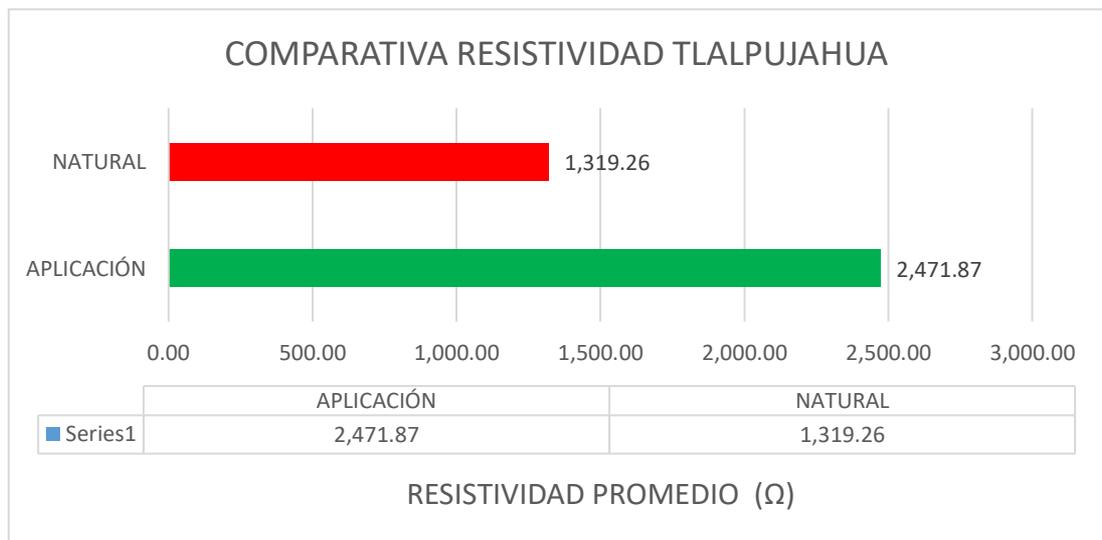
Los datos obtenidos con anterioridad, nos indican que, con respecto a la porosidad de cada una de las rocas analizadas, la roca de Tlalpujahua es la de menor porosidad, mientras que la más porosa es la del banco de Cointzio. Estos datos nos indican de igual forma la roca de menor porosidad es la más dura, mientras que la más porosas la de menor capacidad de carga o es más suave. Lo anterior se pondrá a prueba mediante la experimentación de compresión simple en rocas, que describe posteriormente.

Como se realizó con anterioridad la prueba en rocas al natural, se realizó la misma prueba sobre las muestras de roca de los tres bancos que se estudian (Cointzio, Jamaica, Tlalpujahua) pero con la aplicación de tres manos del biomaterial que se propone.

Cabe mencionar que con la obtención de los datos sobre la roca que contiene la aplicación del biomaterial, se realizó una comparativa con respecto a los datos obtenidos de la roca con aplicación del biomaterial, obteniendo los siguientes datos comparativos:

RESISTIVIDAD DE ROCA TLALPUJAHUA EN SECO							
Condiciones de la roca	MUESTRA	MEDIDAD mts			RESISTENCIA (Ω)	RESISTIVIDAD (Ωm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
		LARGO	ANCHO	ESPESOR			
Aplicación	TL-3C-FS-01	0.0513	0.0501	0.0511	38,000	1,911.25	2,471.87
	TL-3C-FS-02	0.05075	0.0507	0.05025	76,000	3,891.54	
	TL-3C-FS-03	0.05055	0.0505	0.05065	32,000	1,612.81	
Natural	TL-01	0.051	0.0496	0.0503	26,000	1,307.55	1,319.26
	TL-02	0.0501	0.0507	0.0506	17,500	878.48	
	TL-03	0.0502	0.0504	0.0487	36,000	1,870.29	
	TL-04	0.0507	0.0501	0.0497	31,000	1,584.35	
	TL-05	0.0498	0.0506	0.0501	19,000	955.64	

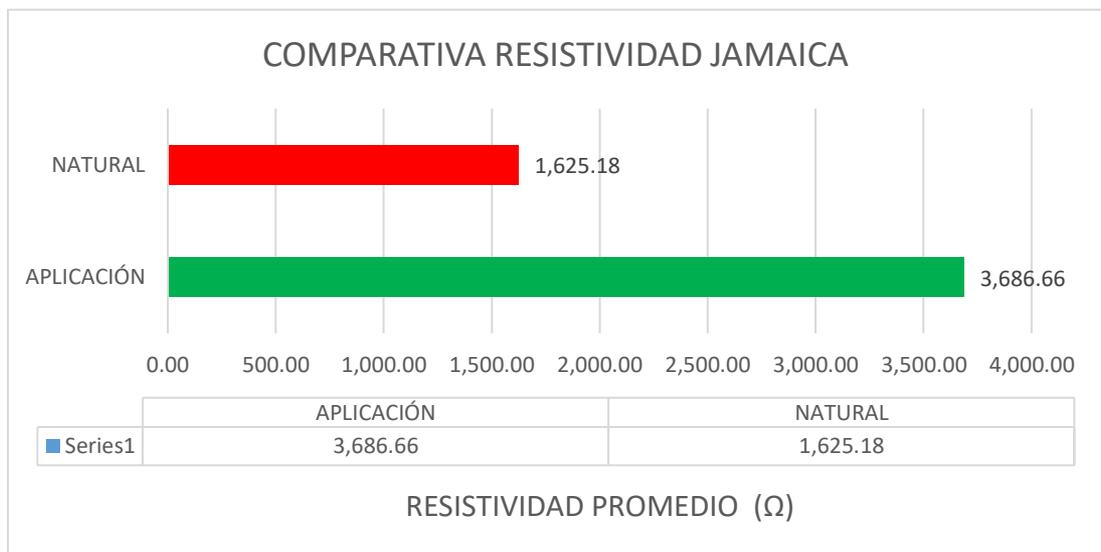
Tabla 4, Comparativa de datos de resistividad en roca, banco de Tlalpujahua, Autor FSP.



GRÁFICA 20, Comparativa resistividad en roca del banco de Tlalpujahua, Autor FSP.

RESISTIVIDAD DE ROCA JAMAICA EN SECO							
Condiciones de la roca	MUESTRA	MEDIDAD mts			RESISTENCIA (Ω)	RESISTIVIDAD (Ωm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
		LARGO	ANCHO	ESPESOR			
Aplicación	J-3C-FS-01	0.0506	0.0502	0.0502	47,000	2,378.20	3,686.66
	J-3C-FS-02	0.05035	0.04995	0.0501	111,500	5,597.22	
	J-3C-FS-03	0.05	0.0495	0.05055	63,000	3,084.57	
Natural	J-01	0.0504	0.0504	0.0495	18,000	923.69	1,625.18
	J-02	0.051	0.0492	0.0512	38,000	1,862.30	
	J-03	0.0496	0.0508	0.0505	31,500	1,571.68	
	J-04	0.0505	0.0507	0.0497	32,500	1,674.27	
	J-05	0.0507	0.0508	0.0492	40,000	2,093.95	

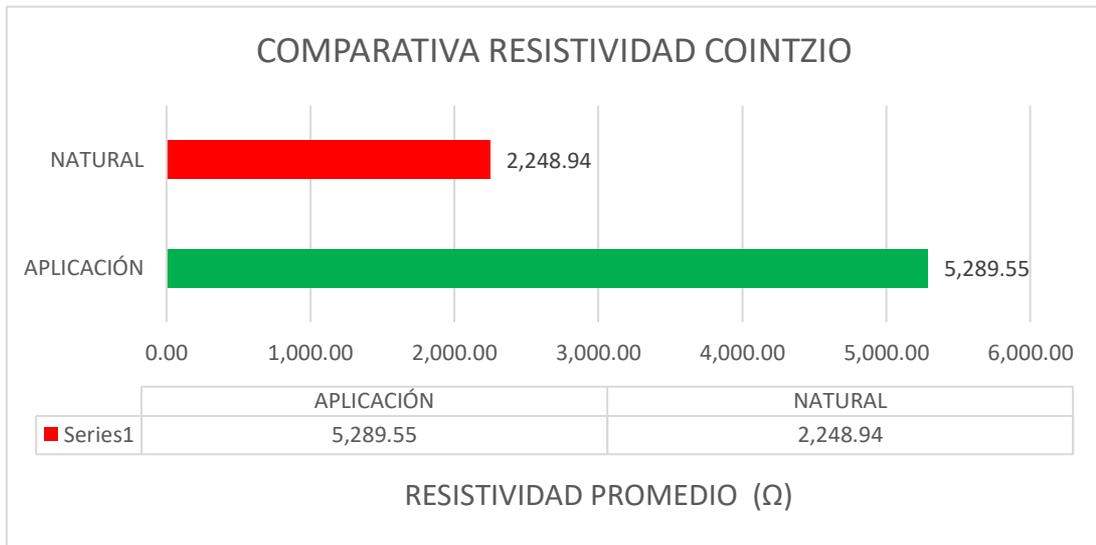
Tabla 5, Comparativa de datos de resistividad en roca, banco de Jamaica, Autor FSP.



GRÁFICA 21, Comparativa resistividad en roca del banco de Jamaica, Autor FSP.

RESISTIVIDAD DE ROCA COINTZIO EN SECO							
Condiciones de la roca	MUESTRA	MEDIDAD mts			RESISTENCIA (Ω)	RESISTIVIDAD (Ωm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
		LARGO	ANCHO	ESPESOR			
Aplicación	C-3C-FS-01	0.0504	0.0501	0.05015	61,500	3,096.51	5,289.55
	C-3C-FS-02	0.0507	0.0504	0.05045	200,000	10,129.95	
	C-3C-FS-03	0.0501	0.0504	0.05065	53,000	2,642.19	
Natural	C-01	0.0504	0.0505	0.0506	55,500	2,791.67	2,248.94
	C-02	0.0513	0.0506	0.0503	35,000	1,806.21	
	C-03	0.0519	0.0504	0.0507	41,500	2,141.11	
	C-04	0.0511	0.0507	0.0506	46,000	2,355.25	
	C-05	0.051	0.0508	0.0506	42,000	2,150.47	

Tabla 6, Comparativa de datos de resistividad en roca, banco de Cointzio, Autor FSP.



GRÁFICA 22, Comparativa resistividad en roca del banco de Cointzio, Autor FSP.

Como podemos observar en la comparativa de los datos obtenidos de la roca al natural con relación a los de la roca con aplicación del biomaterial, tenemos que la resistividad de la roca aumenta con la aplicación del biomaterial. Lo anterior nos indica que el biomaterial al momento de aplicarse en la roca, le ayuda a cerrar la porosidad que contiene cada una de las probetas de los diferentes bancos, que este trabajo estudia.

Con relación a lo anteriormente descrito, se puede hacer la hipótesis (que se tendrá que realizar más experimentaciones para corroborarla), de que el biomaterial aplicado sobre la roca ignimbrita, ayuda a disminuir la porosidad de la misma, lo que nos indica de forma hipotética, que el biomaterial puede disminuir la filtración de agua o humedad hacia el interior de la roca.

Lo anteriormente descrito, me permite considerar, que al aplicar el biomaterial sobre la roca ignimbrita y al reducir la porosidad de la misma, permite la reducción de la filtración de agua sobre la misma, logrando con esto que la roca quede protegida de los diferentes agentes que pueden deteriorar la roca, si estos logran penetrar a la estructura interna de la misma, como lo son las sales, minerales etc. Lo cual se podrá corroborar, realizando posteriormente diferentes experimentaciones.



IMAGEN 45, Resistividad en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 44, Resistividad en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 46, Resistividad en rocas, Autor FSP.

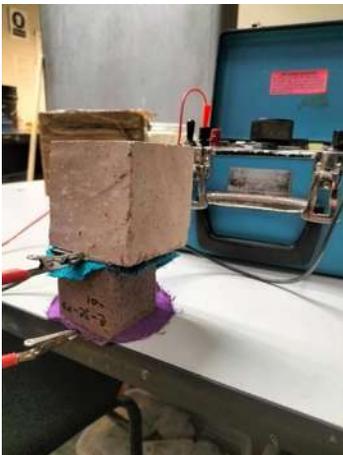


IMAGEN 43, Resistividad en rocas, Autor FSP.

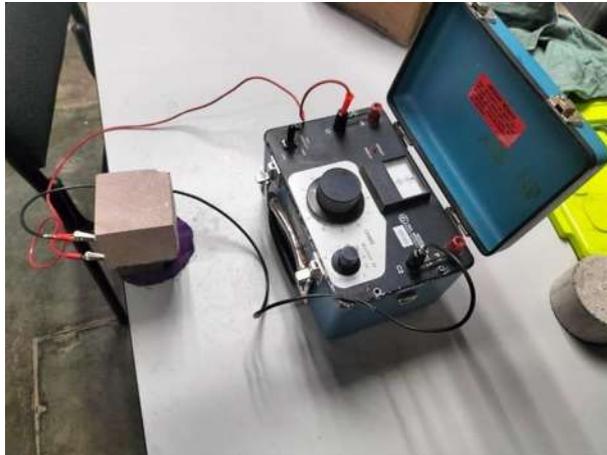


IMAGEN 42, Resistividad en rocas, Autor FSP.

## Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.

### Normativa al respecto

Existe una variedad de normas relacionadas con la absorción de agua en materiales cerámicos de construcción. Esta práctica se ha montado siguiendo la norma UNE-EN 1925:1999 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad". Determinación de la absorción de agua por capilaridad de



IMAGEN 47, Materiales para la realización de experimentación, Autor FSP.

piezas para fábrica de albañilería en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería". La diferencia radica en que para la piedra natural es necesario realizar pesadas a distintos intervalos durante un periodo de tiempo, realizando una única medida al minuto de estar en contacto con el agua. En esta práctica se seguirá el procedimiento para la piedra natural.

### Material e instrumental necesarios

- Probetas de un material cerámicos de construcción (tres unidades)
- Calibre
- Balanza de sensibilidad de al menos 0.01 g
- Baño de agua para capilaridad 1 cm más alto que la altura de las muestras.
- Agua del grifo
- Cronómetro
- Paño húmedo

La forma y dimensiones que indica la norma para las probetas de piedra natural para el ensayo de capilaridad son de un cubo de lado entre 70 y 50 mm o un cilindro recto de entre 70 y 50 mm de diámetro y de altura. Según norma se deben ensayar 6 probetas de cada material. Por limitaciones de tiempo, en esta práctica se ensayarán únicamente 3 probetas.

### 1.- Medida de las dimensiones de las probetas:

Comprueba que las probetas están marcadas con algún número o letra para identificarlas a lo largo de todo el ensayo.

Con las manos limpias y libres de grasa, pesa tres probetas de cada material en la balanza de sensibilidad 0.01g. A esta masa de la probeta seca la llamamos md.

Seguidamente mide sus dimensiones con ayuda de un calibre. Realiza al menos dos medidas en lugares diferentes para determinar la longitud de cada uno de los lados del prisma.

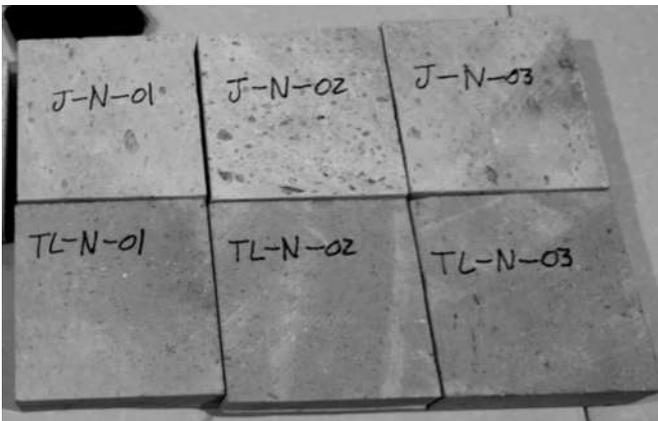
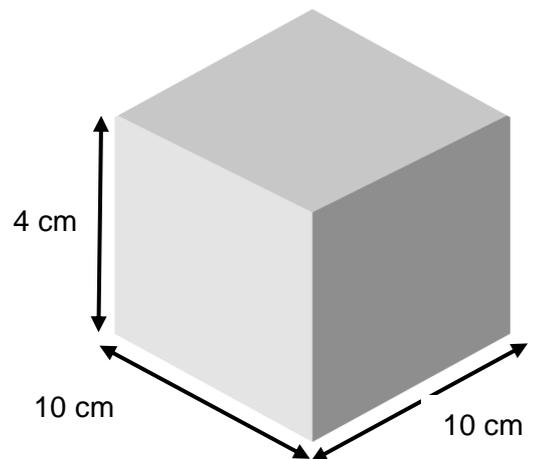
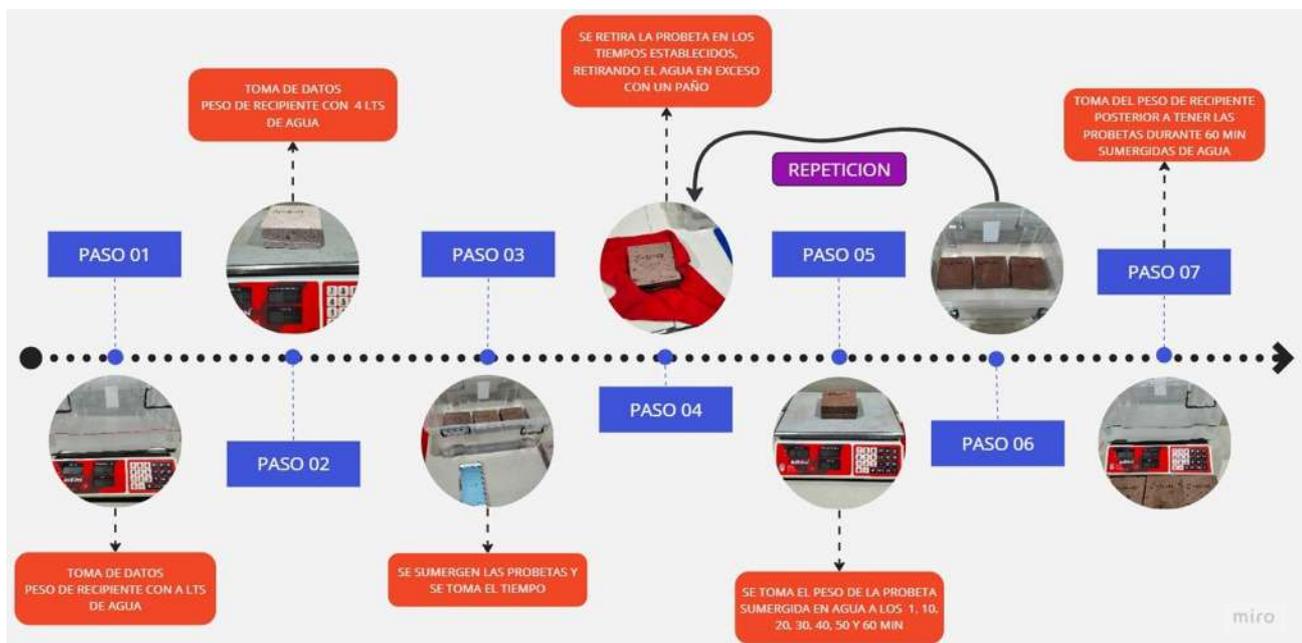


IMAGEN 48, Etiquetado y dimensiones de muestras de roca ignimbrita, Autor FSP.



## 2. Absorción de agua por saturación:

- Vierte agua del recipiente en el baño con una cantidad de agua de 1 cm más alto que la altura total de la probeta.
- Humedece un paño o trozo de papel secante y colócalo horizontalmente sobre la poyada.
- Coloca un papel absorbente sobre la balanza de sensibilidad 0.01 g y tálala.
- Coloca cerca el cuaderno y bolígrafo para anotar lo más rápidamente el resultado de las pesadas y pon a cero el cronómetro.
- Cuando todo esté preparado, coloca la probeta (piedra) en el interior del baño de modo que quede sumergida en agua, al mismo tiempo que se pone en marcha el cronómetro.
- Pasado 1 minuto, saca la probeta del agua, sécala ligeramente apoyándola sobre el paño húmedo y pésala en la balanza. Devuélvela al agua lo más rápidamente posible ya que el tiempo del ensayo sigue corriendo.
- Así sucesivamente debes realizar al menos 7 medidas durante una hora, a diferentes tiempos:
- 1, 10,20,30,40,50 y 60 minutos.

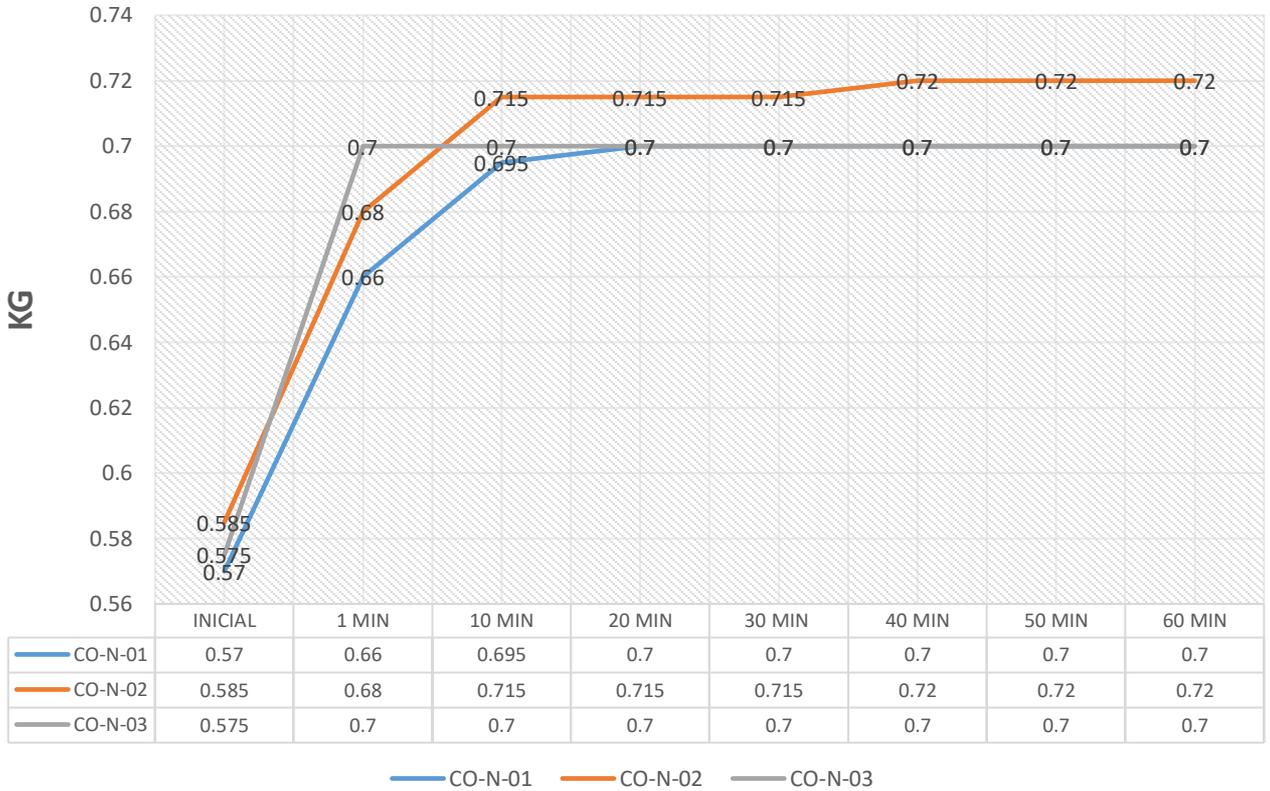


OBTENCION DE DATOS EXPERIMENTACION 02.- ROCA NATURAL

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)								ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN	60 MIN			
COINTZIO	CO-N-01	400	0.57	0.66	0.695	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.13	0.13
	CO-N-02	400	0.585	0.68	0.715	0.715	0.715	0.72	0.72	0.72	0.14		
	CO-N-03	400	0.575	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.13		

Tabla 7, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Cointzio, Autor FSP.

COINTZIO



GRÁFICA 26, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Cointzio, Autor FSP

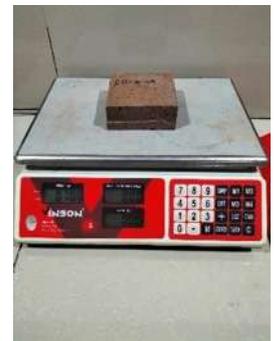


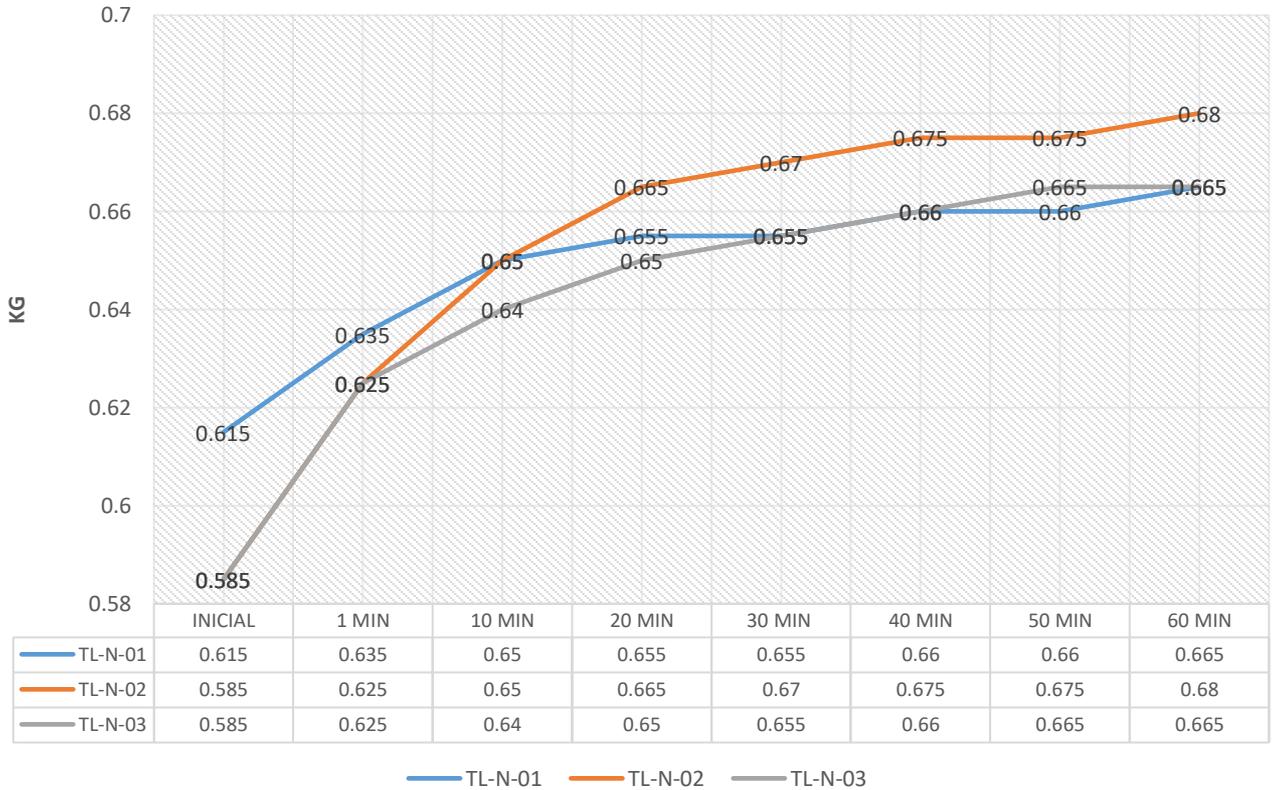
IMAGEN 49, Proceso de experimentación, Roca al natural Cointzio, Autor FSP.

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)								ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN	60 MIN			
TLALPUJAHUA	TL-N-01	400	0.615	0.635	0.65	0.655	0.655	0.66	0.66	0.665	0.05	0.08	
	TL-N-02	400	0.585	0.625	0.65	0.665	0.67	0.675	0.675	0.68	0.10		
	TL-N-03	400	0.585	0.625	0.64	0.65	0.655	0.66	0.665	0.665	0.08		

TABLA 8, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Tlalpujahu, Autor FSP.

## TLALPUJAHUA



GRÁFICA 27, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Tlalpujahu, Autor FSP.



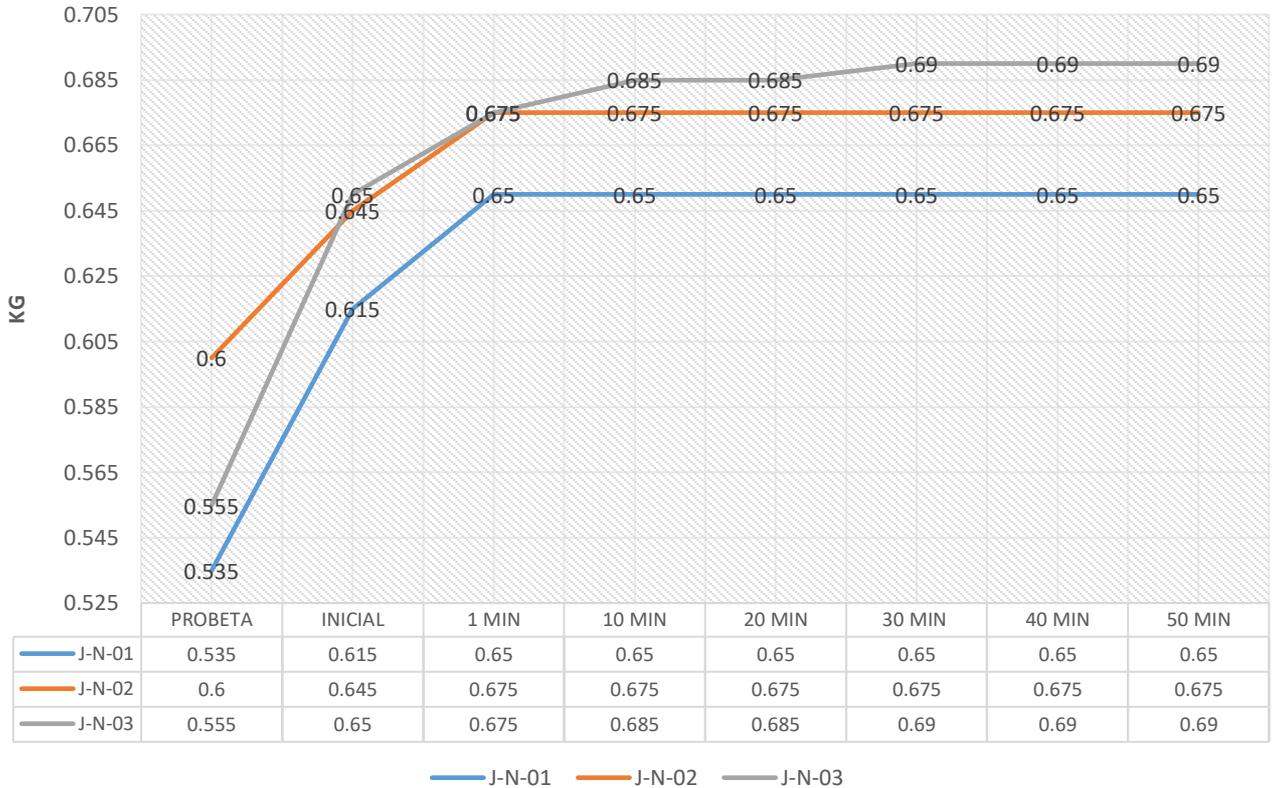
IMAGEN 50, Proceso de experimentación, Roca al natural Tlalpujahu, Autor FSP.

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)							ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO
				1	10	20	30	40	50	60		
JAMAICA	J-N-01	400	0.535	0.615	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.12	0.11
	J-N-02	400	0.6	0.645	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.08	
	J-N-03	400	0.555	0.65	0.675	0.685	0.685	0.69	0.69	0.69	0.14	

TABLA 9, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Jamaica, Autor FSP.

## JAMAICA



GRÁFICA 28, Obtención de datos de experimentación, Roca al natural de Jamaica, Autor FSP.



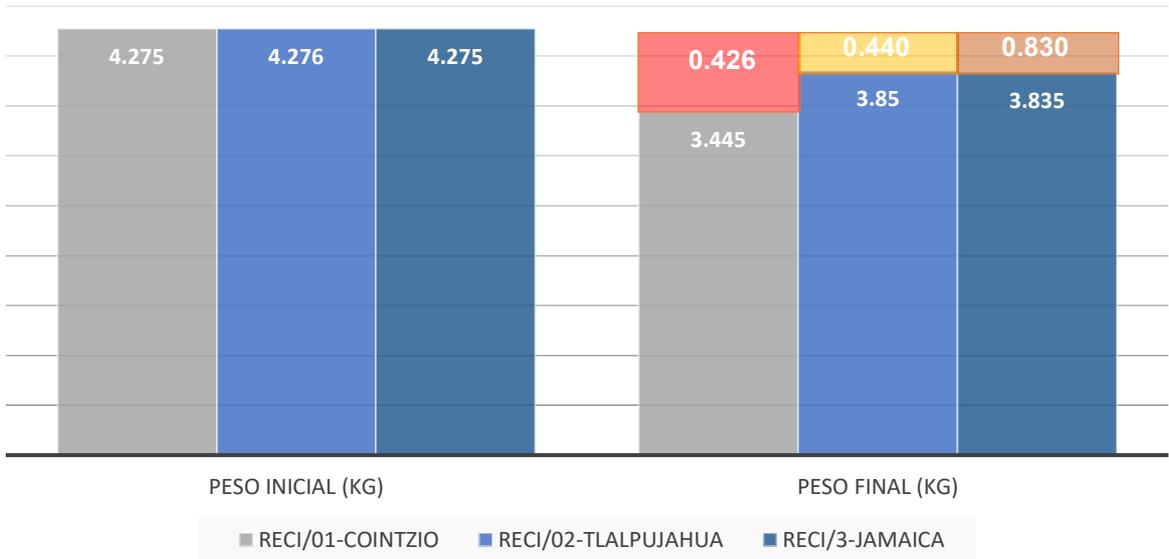
IMAGEN 51, Proceso de experimentación, Roca al natural Jamaica, Autor FSP.

## PESO INICIAL Y FINAL DE RECIPIENTE

BANCO	RECIPIENTE	VOLUMEN (LTS)	5 CM AGUA (LTS)	PESO RES (KG)	PESO INICIAL (KG)	PESO FINAL (KG)	ABSORCION TOTAL	ABSORCION TOTAL MML
TLALPUJAHUA	RECI/02	14	4	0.9	4.276	3.85	0.426	426
JAMAICA	RECI/03	14	4	0.395	4.275	3.835	0.44	440
COINZIO	RECI/01	14	4	0.395	4.275	3.445	0.83	830

Tabla 10, Datos de peso inicial y final de recipiente de roca al natural, Autor FSP.

## PESO INICIAL Y FINAL DE RECIPIENTE



GRÁFICA 29, Comparativa peso inicial y final de recipientes de experimentación de roca al natural, Autor FSP.



IMAGEN 52, Medición de peso inicial y final de recipientes de experimentación de roca al natural, Autor FSP.

## APLICACION DE COLA DE CONEJO AL 0%, 10%, 20%

Paso 01 Etiquetado y aplicación de cola de conejo en probetas.



IMAGEN 54, Probetas con aplicación de biomaterial, Autor FSP.



IMAGEN 53, Aplicación de biomaterial en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 56, Probetas con aplicación de biomaterial, Autor FSP.

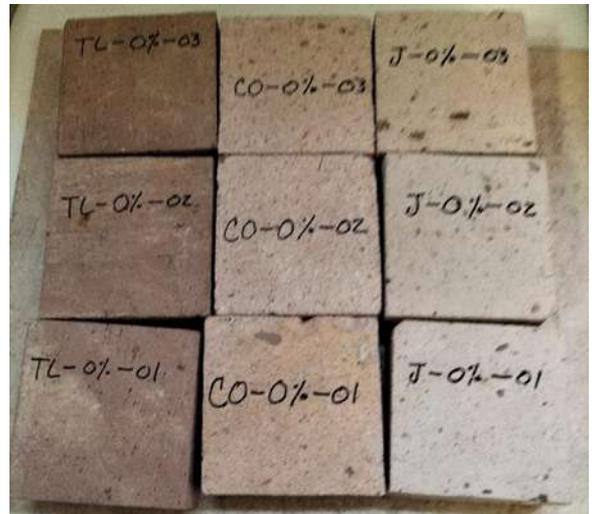


IMAGEN 55, Etiquetado de muestras, Autor FSP.



IMAGEN 65, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 63, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 64, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 60, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 62, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 61, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 58, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 59, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 57, Experimentación de saturación de agua en rocas, Autor FSP.

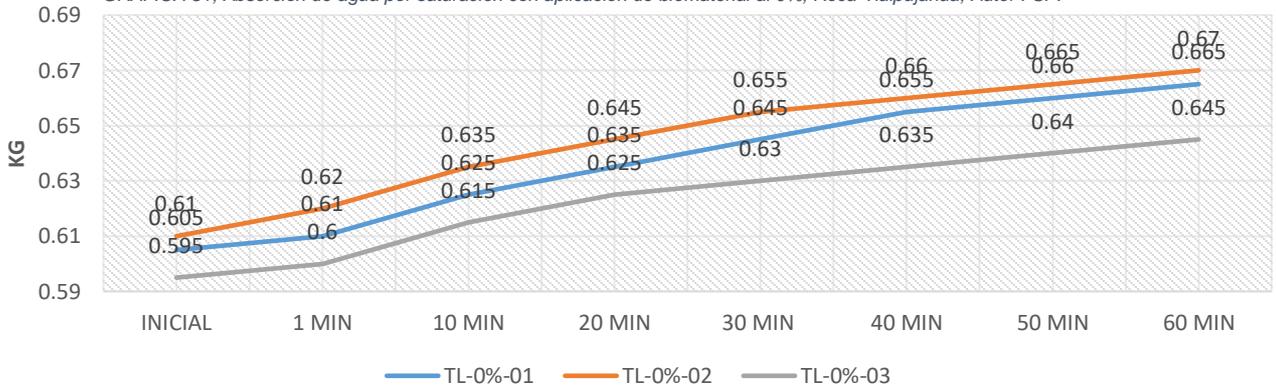
## Datos de experimentación TLALPUJAHUA

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-0%-01	400	0.605	0.61	0.625	0.635	0.645	0.655	0.66	0.665	0.06	0.06
	TL-0%-02	400	0.61	0.62	0.635	0.645	0.655	0.66	0.665	0.67	0.06	
	TL-0%-03	400	0.595	0.6	0.615	0.625	0.63	0.635	0.64	0.645	0.05	
BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-10%-01	400	0.61	0.615	0.63	0.635	0.64	0.65	0.655	0.655	0.05	0.06
	TL-10%-02	400	0.585	0.6	0.62	0.635	0.645	0.655	0.66	0.665	0.08	
	TL-10%-03	400	0.595	0.6	0.61	0.615	0.62	0.625	0.63	0.635	0.04	
BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-20%-01	400	0.575	0.585	0.595	0.605	0.615	0.62	0.625	0.63	0.06	0.07
	TL-20%-02	400	0.6	0.615	0.62	0.63	0.635	0.635	0.64	0.645	0.05	
	TL-20%-03	400	0.57	0.605	0.64	0.655	0.665	0.665	0.67	0.67	0.10	

Tabla 11, Datos de aplicación de biomaterial en tres distintas dosificaciones aplicadas en tres capas en roca ignimbrita, banco Tlalpujahua, Autor FSP.

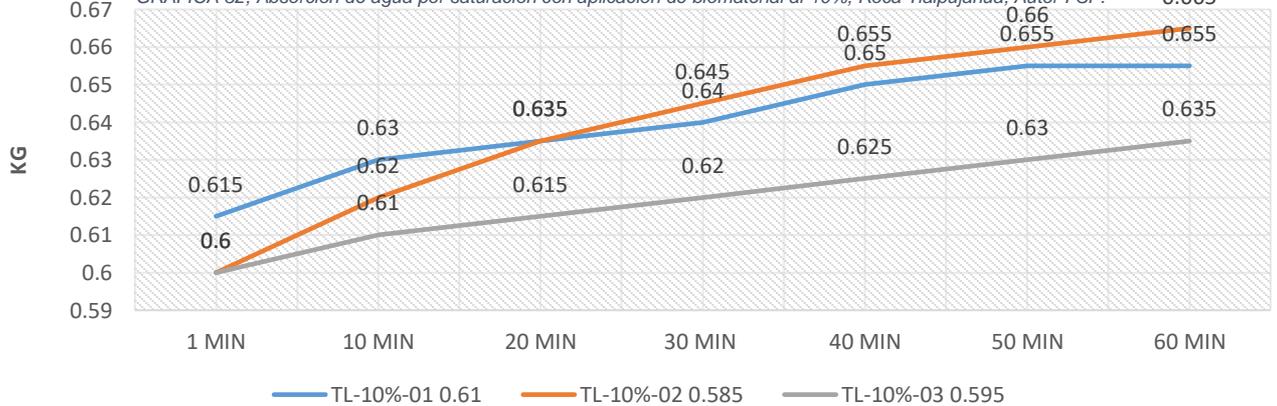
0%

GRÁFICA 31, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 0%, Roca Tlalpujahua, Autor FSP.



10%

GRÁFICA 32, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 10%, Roca Tlalpujahua, Autor FSP.



20%

GRÁFICA 33, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 20%, Roca Tlalpujahua, Autor FSP.

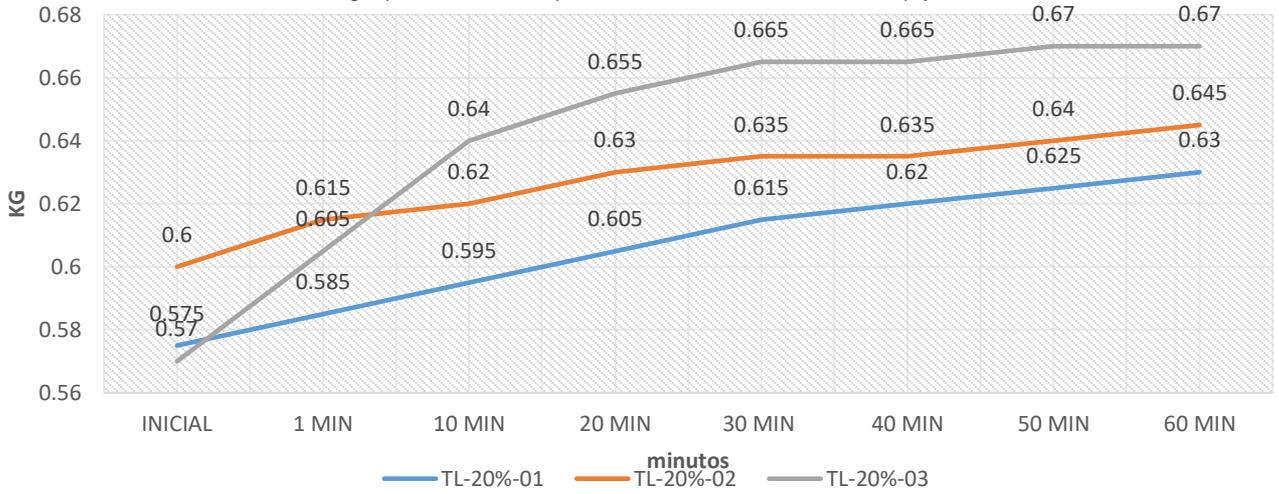


IMAGEN 67, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Tlalpujahua, Autor FSP.

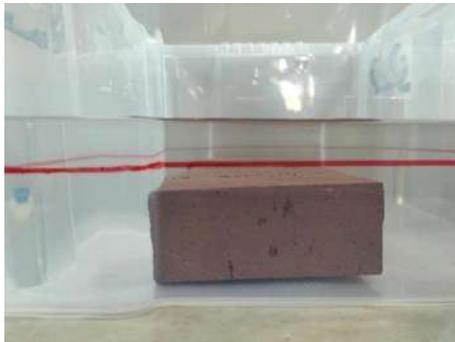


IMAGEN 66, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Tlalpujahua, Autor FSP.

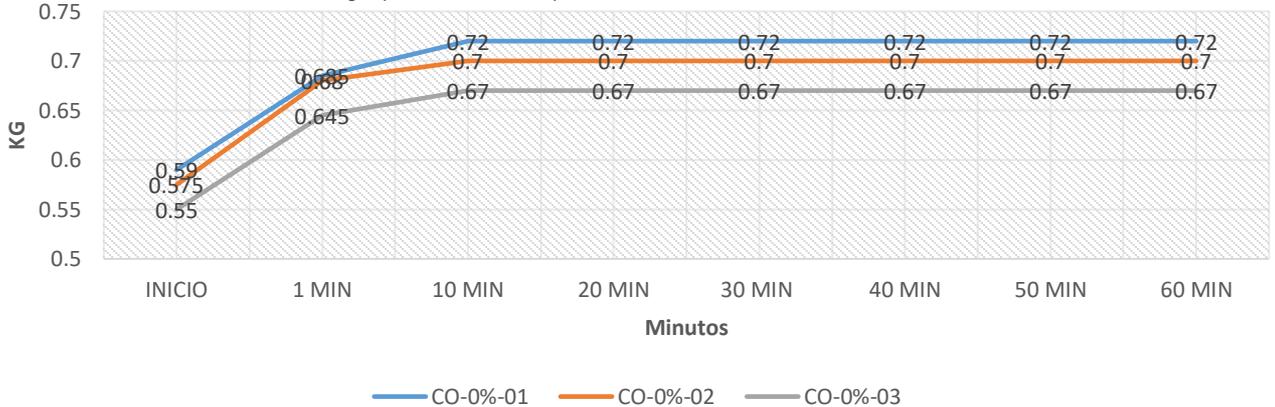
**COINTZIO**

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
COINTZIO	CO-0%-01	400	0.59	0.685	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.13	0.13
	CO-0%-02	400	0.575	0.68	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.13	
	CO-0%-03	400	0.55	0.645	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.12	
BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
COINTZIO	CO-10%-01	400	0.57	0.675	0.695	0.695	0.695	0.695	0.695	0.695	0.13	0.13
	CO-10%-02	400	0.58	0.7	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715	0.14	
	CO-10%-03	400	0.56	0.67	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.13	
BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
COINTZIO	CO-20%-01	400	0.595	0.7	0.735	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.14	0.13
	CO-20%-02	400	0.575	0.685	0.71	0.705	0.705	0.705	0.705	0.705	0.13	
	CO-20%-03	400	0.525	0.635	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.12	

TABLA 12, Datos de aplicación de biomaterial en tres distintas dosificaciones aplicadas en tres capas en roca ignimbrita, banco Cointzio, Autor FSP.

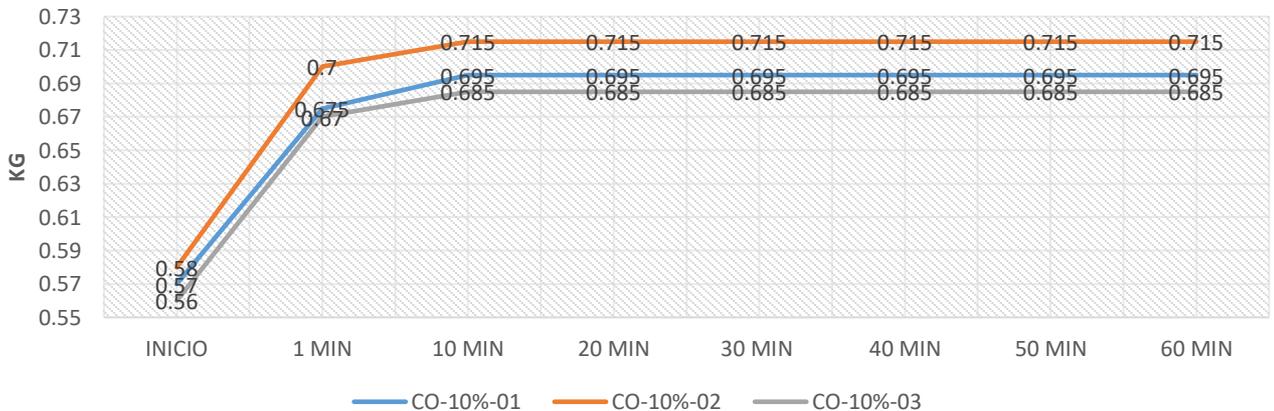
0%

GRÁFICA 34, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 0%, Roca Cointzio, Autor FSP.



10%

GRÁFICA 35, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 10%, Roca Cointzio, Autor FSP.



20%

GRÁFICA 36, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 20%, Roca Cointzio, Autor FSP.

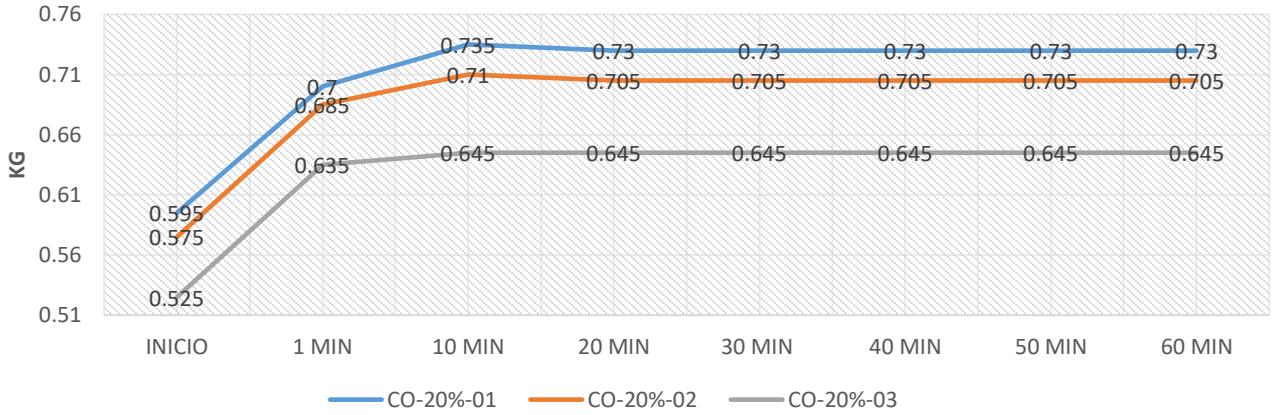


IMAGEN 69, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Cointzio, Autor FSP.



IMAGEN 68, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Cointzio, Autor FSP.

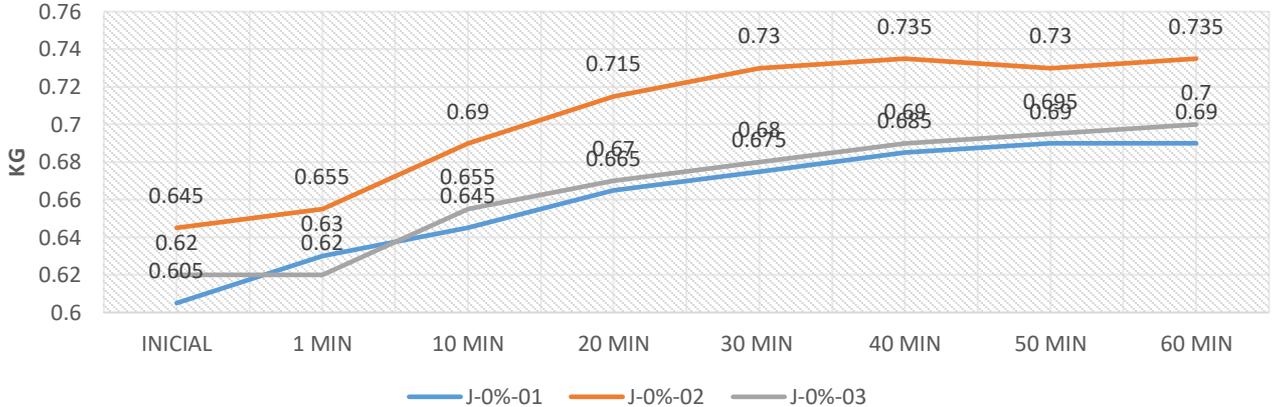
**JAMAICA**

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO		
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN	
JAMAICA	J-0%-01	400	0.605	0.63	0.645	0.665	0.675	0.685	0.69	0.69	0.09	0.09	
	J-0%-02	400	0.645	0.655	0.69	0.715	0.73	0.735	0.73	0.735	0.09		
	J-0%-03	400	0.62	0.62	0.655	0.67	0.68	0.69	0.695	0.7	0.08		
				0.685						3.865			
BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO		
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN	
JAMAICA	J-10%-01	400	0.68	0.69	0.72	0.735	0.745	0.755	0.76	0.765	0.09	0.10	
	J-10%-02	400	0.62	0.65	0.685	0.705	0.715	0.72	0.72	0.725	0.11		
	J-10%-03	400	0.56	0.635	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.12		
				0.685						3.865			
BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO		
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN	
JAMAICA	J-20%-01	400	0.565	0.605	0.675	0.685	0.685	0.685	0.685	0.69	0.13	0.11	
	J-20%-02	400	0.645	0.66	0.69	0.705	0.72	0.73	0.735	0.745	0.10		
	J-20%-03	400	0.635	0.655	0.685	0.705	0.715	0.72	0.725	0.735	0.10		

TABLA 13, Datos de aplicación de biomaterial en tres distintas dosificaciones aplicadas en tres capas en roca ignimbrita, banco Jamaica, Autor FSP.

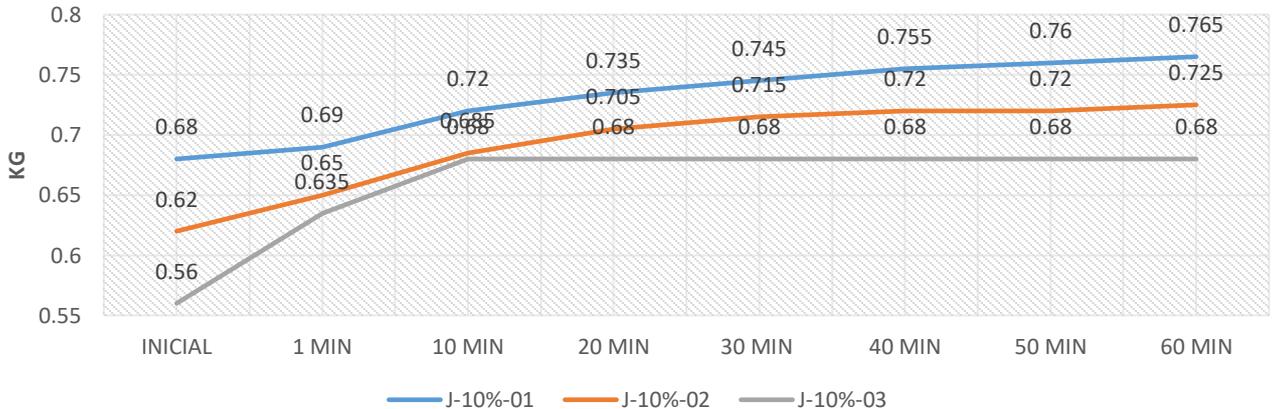
0%

GRÁFICA 37, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 0%, Roca Jamaica, Autor FSP.



10%

GRÁFICA 38, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 10%, Roca Jamaica, Autor FSP.



20%

GRÁFICA 39, Absorción de agua por saturación con aplicación de biomaterial al 20%, Roca Jamaica, Autor FSP.

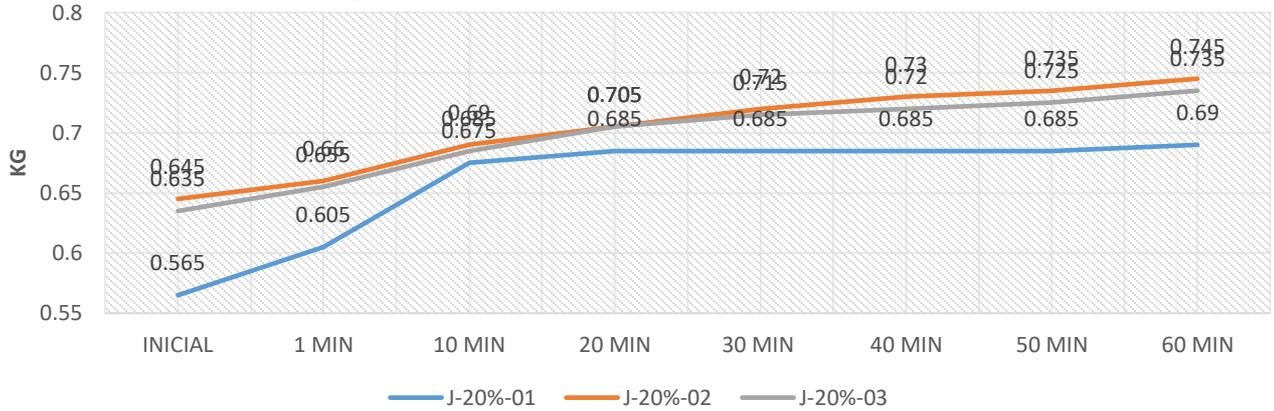


IMAGEN 70, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Jamaica, Autor FSP.



IMAGEN 71, Proceso de experimentación de saturación de agua en roca Jamaica, Autor FSP.

## Comparativa Absorción de Agua en rocas

Con la obtención de datos de absorción de agua de las probetas de los diferentes bancos de roca ignimbrita tanto al natural como los datos arrojados con la aplicación del biomaterial, se realizó una comparativa de cada uno de los datos, con la finalidad de analizar las diferencias de absorción en las diferentes probetas, obteniendo los siguientes datos:

### COINTZIO

Al sumergir totalmente en agua las probetas, podemos observar cómo en 10 min, tanto las muestras de roca al natural como con la aplicación del biomaterial, llegan a su saturación máxima.



Datos de roca al natural



Datos de roca con aplicación

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
COINTZIO	CO-N-01	400	0.57	0.66	0.695	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.13	0.13
	CO-N-02	400	0.585	0.68	0.715	0.715	0.715	0.72	0.72	0.72	0.14	
	CO-N-03	400	0.575	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.13	
COINTZIO	CO-0%-01	400	0.59	0.685	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.13	0.13
	CO-0%-02	400	0.575	0.68	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.13	
	CO-0%-03	400	0.55	0.645	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.12	
COINTZIO	CO-10%-01	400	0.57	0.675	0.695	0.695	0.695	0.695	0.695	0.695	0.13	0.13
	CO-10%-02	400	0.58	0.7	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715	0.14	
	CO-10%-03	400	0.56	0.67	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.13	
COINTZIO	CO-20%-01	400	0.595	0.7	0.735	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.14	0.13
	CO-20%-02	400	0.575	0.685	0.71	0.705	0.705	0.705	0.705	0.705	0.13	
	CO-20%-03	400	0.525	0.635	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645	0.12	

Tabla 14, Comparativa de datos de absorción de roca al natural y las tres dosificaciones del biomaterial, Roca Cointzio, Autor FSP.

## JAMAICA

Al sumergir totalmente en agua las probetas, podemos observar que mientras la roca sin ninguna aplicación llega a su saturación máxima en 10 y 40 min. respectivamente, mientras que, con la aplicación del biomaterial en cualquiera de las tres dosificaciones, se amplía el tiempo en el cual se llega a su saturación máxima. De igual forma, podemos ver como el promedio de absorción de las rocas que cuentan con la aplicación del biomaterial es menor que el promedio de absorción de la roca al natural, con excepción de las muestras diluidas al 20%, el cual el promedio de absorción es igual.

Datos de roca al natural       Datos de roca con aplicación

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1	10	20	30	40	50			60
JAMAICA	J-N-01	400	0.535	0.615	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.12	0.11
	J-N-02	400	0.6	0.645	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.08	
	J-N-03	400	0.555	0.65	0.675	0.685	0.685	0.69	0.69	0.69	0.14	

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
JAMAICA	J-0%-01	400	0.605	0.63	0.645	0.665	0.675	0.685	0.69	0.69	0.09	0.09
	J-0%-02	400	0.645	0.655	0.69	0.715	0.73	0.735	0.73	0.735	0.09	
	J-0%-03	400	0.62	0.62	0.655	0.67	0.68	0.69	0.695	0.7	0.08	

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
JAMAICA	J-10%-01	400	0.68	0.69	0.72	0.735	0.745	0.755	0.76	0.765	0.09	0.10
	J-10%-02	400	0.62	0.65	0.685	0.705	0.715	0.72	0.72	0.725	0.11	
	J-10%-03	400	0.56	0.635	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.12	

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
JAMAICA	J-20%-01	400	0.565	0.605	0.675	0.685	0.685	0.685	0.685	0.69	0.13	0.11
	J-20%-02	400	0.645	0.66	0.69	0.705	0.72	0.73	0.735	0.745	0.10	
	J-20%-03	400	0.635	0.655	0.685	0.705	0.715	0.72	0.725	0.735	0.10	

TABLA 15, Comparativa de datos de absorción de roca al natural y las tres dosificaciones del biomaterial, Roca Jamaica, Autor FSP.

## TLALPUJAHUA

Al sumergir totalmente en agua las probetas y al hacer la comparativa de los datos obtenidos de la experimentación, podemos observar que en el tiempo determinado de la prueba que es de 60 minutos, los datos son muy parecidos, sin embargo el promedio de absorción de las muestras que cuentan con la aplicación del biomaterial son menores al promedio de absorción que se obtiene de las muestras que no cuentan con la aplicación, por lo que podemos determinar que la aplicación del biomaterial disminuye la absorción de agua en la roca ignimbrita.



Datos de roca al natural



Datos de roca con aplicación

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-N-01	400	0.615	0.635	0.65	0.655	0.655	0.66	0.66	0.665	0.05	0.08
	TL-N-02	400	0.585	0.625	0.65	0.665	0.67	0.675	0.675	0.68	0.10	
	TL-N-03	400	0.585	0.625	0.64	0.65	0.655	0.66	0.665	0.665	0.08	

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-0%-01	400	0.605	0.61	0.625	0.635	0.645	0.655	0.66	0.665	0.06	0.06
	TL-0%-02	400	0.61	0.62	0.635	0.645	0.655	0.66	0.665	0.67	0.06	
	TL-0%-03	400	0.595	0.6	0.615	0.625	0.63	0.635	0.64	0.645	0.05	

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-10%-01	400	0.61	0.615	0.63	0.635	0.64	0.65	0.655	0.655	0.05	0.06
	TL-10%-02	400	0.585	0.6	0.62	0.635	0.645	0.655	0.66	0.665	0.08	
	TL-10%-03	400	0.595	0.6	0.61	0.615	0.62	0.625	0.63	0.635	0.04	

BANCO	PROBETA	VOLUMEN (CM3)	PESO INICIAL KG	TIEMPO (KG/MIN)						ABSORCION (KG/MIN)	PROMEDIO	
				1 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	40 MIN	50 MIN			60 MIN
TLALPUJAHUA	TL-20%-01	400	0.575	0.585	0.595	0.605	0.615	0.62	0.625	0.63	0.06	0.07
	TL-20%-02	400	0.6	0.615	0.62	0.63	0.635	0.635	0.64	0.645	0.05	
	TL-20%-03	400	0.57	0.605	0.64	0.655	0.665	0.665	0.67	0.67	0.10	

TABLA 16, Comparativa de datos de absorción de roca al natural y las tres dosificaciones del biomaterial, Roca Tlalpujahuá, Autor FSP.

## EXPERIMENTACIÓN 03

### Determinación del contenido de humedad en rocas

#### Referencias

Análisis de materiales, resistencia de materiales, UMSNH, facultad de ingeniería civil departamento de materiales, laboratorio de materiales Luis Manuel Navarro Sánchez Morelia, Michoacán, México<sup>29</sup>.

#### OBJETIVOS

1. Obtener el porcentaje de humedad natural y densidad de las rocas
2. Determinar que roca de los diferentes bancos, aloja mayor humedad.

#### EQUIPOS

- Balanza electrónica
- Probetas
- Horno eléctrico

#### PROCEDIMIENTO

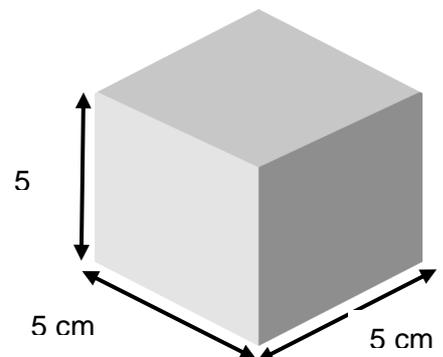
- Se toman tres probetas como mínimo de roca ignimbrita de 5x5x5 cms.
- Se etiquetan con una clave distintiva.
- Se pesa cada una de las probetas, registrando los datos en una tabla.
- Se colocan en el horno eléctrico a una temperatura de 110°C +/- 10°C, durante 24 hrs como mínimo.
- Se retiran las probetas del horno y se dejan en reposo para su enfriamiento temperatura ambiente.
- Se toma su peso mediante la báscula electrónica y se toma registro.
- Se aplica la siguiente formula

$$W = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

W= porcentaje de humedad

Mi= peso inicial

Mf= peso final



#### PROCEDIMIENTO PORCENTAJE DE HUMEDAD EN ROCAS

29 NAVARRO LUIS MANUEL, ANÁLISIS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES, UMSNH, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE MATERIALES, LABORATORIO DE MATERIALES MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, OCT. 2011

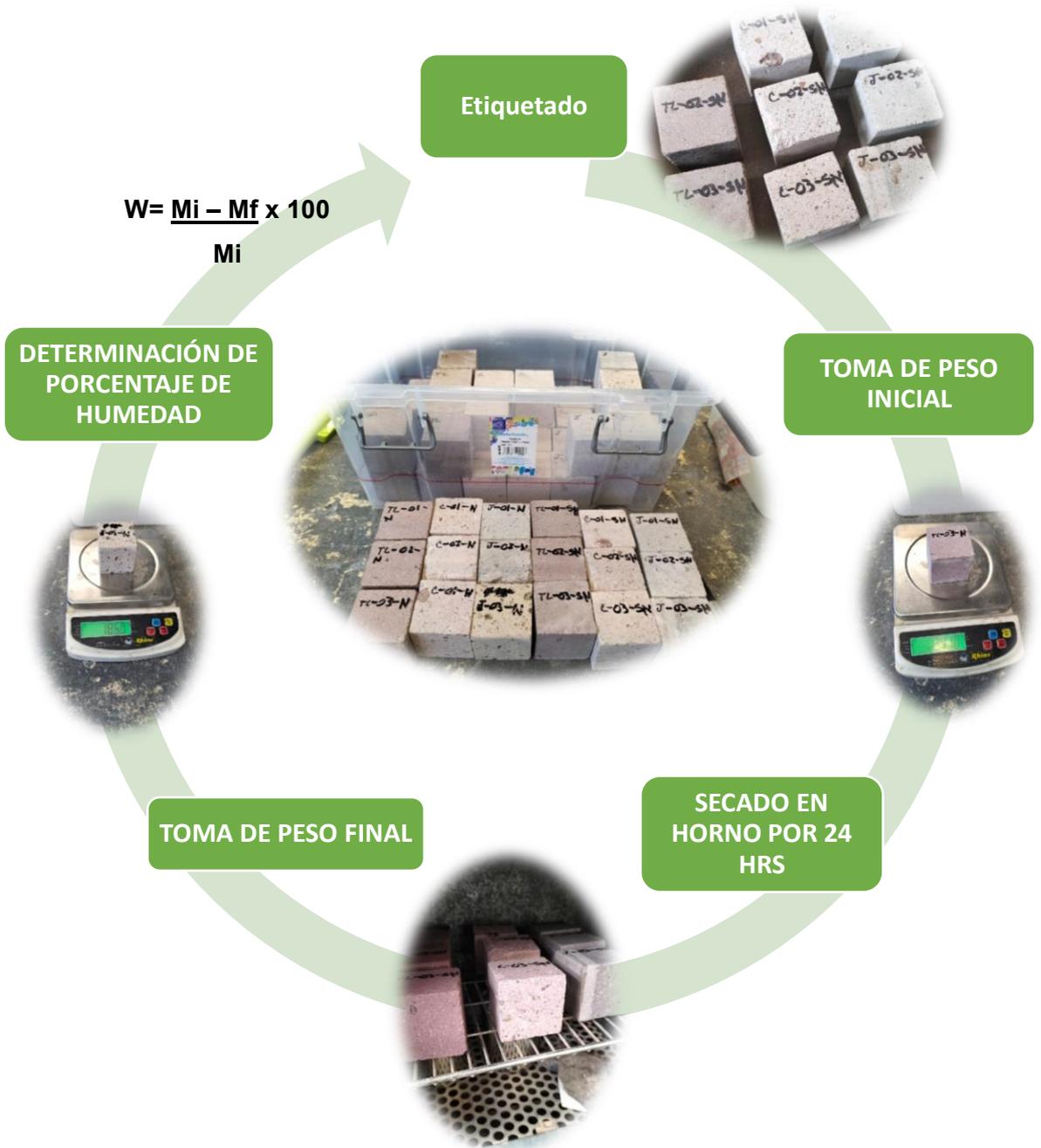


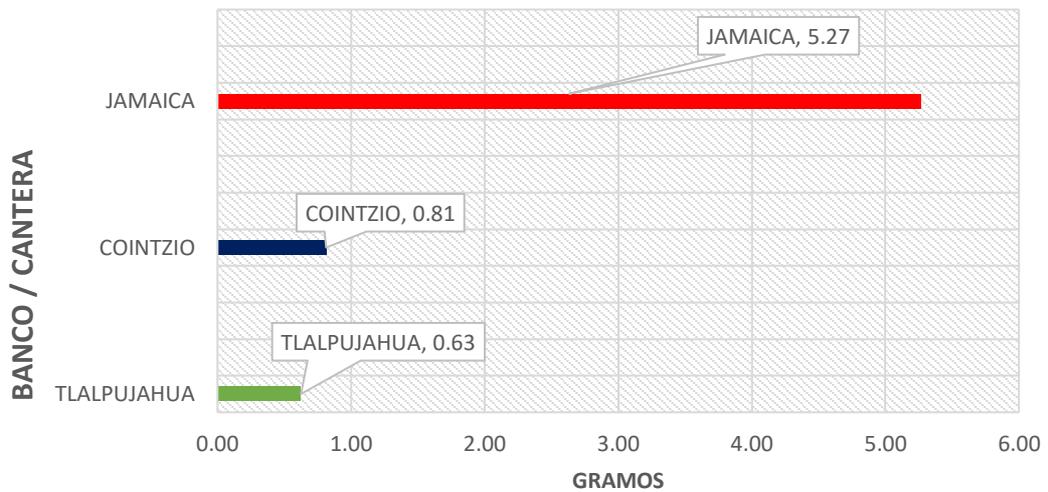
DIAGRAMA 9, Procedimiento para la obtención del porcentaje de humedad en roca ignimbrita, Autor FSP.

**Determinación del contenido de humedad en rocas al natural**

BANCO	PROBETA	PESO INICIAL GR MI	PESO final GR MF	Mf-Mi	%	PROMEDIO
TLALPUJAHUA	TL-01-N	243.6	242.1	-1.5	0.62	0.63
	TL-02-N	240	238.4	-1.6	0.67	
	TL-03-N	241	239.6	-1.4	0.58	
coincio	CO-01-N	194.6	193.7	-0.9	0.46	0.81
	CO-02-N	193	191.4	-1.6	0.84	
	CO-03-N	195.2	193	-2.2	1.14	
jamaica	J-01-N	213.4	207.2	-6.2	2.99	5.27
	J-02-N	227.6	220.2	-7.4	3.36	
	J-03-N	200.5	183.2	-17.3	9.44	

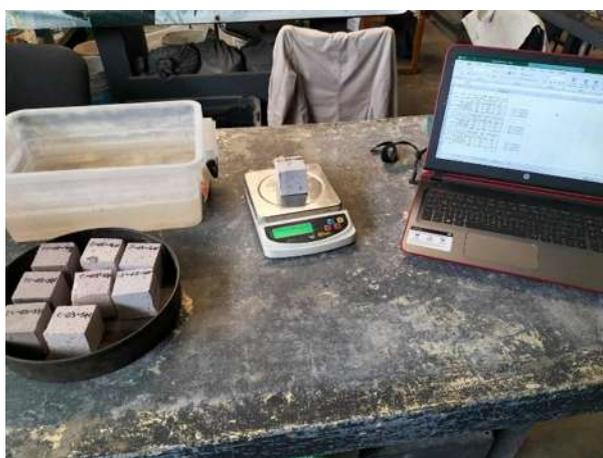
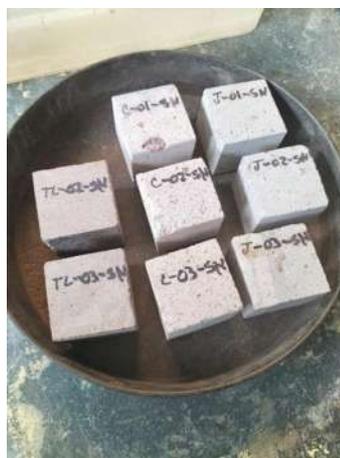
Tabla 17, Datos para determinar el porcentaje de humedad en rocas, Autor FSP.

**Contenido de humedad en roca**



GRÁFICA 40, Determinar el porcentaje de humedad en rocas, Autor FSP.

En esta experimentación realizada, podemos ver como las rocas de Jamaica y Cointzio tienen un mayor contenido de humedad, lo que nos permite determinar y corroborar los datos de experimentaciones anteriores, que nos indican que las rocas de estos bancos tienen una mayor porosidad, basados en tanto en la humedad como en su peso como se muestra en las gráficas.



## Determinación del contenido de humedad máxima en rocas con aplicación del biomaterial.

### Referencias

Análisis de materiales, resistencia de materiales, UMSNH, facultad de ingeniería civil departamento de materiales, laboratorio de materiales Luis Manuel Navarro Sánchez Morelia, Michoacán, México<sup>30</sup>

### OBJETIVOS

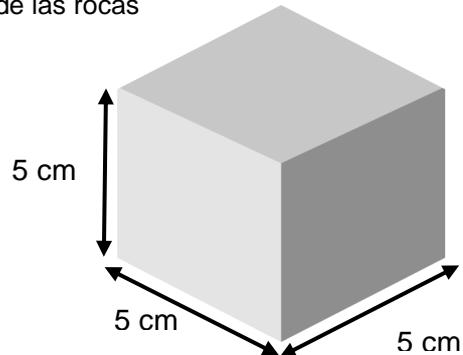
1. Obtener el porcentaje de humedad máximo de las rocas

### EQUIPOS

- Balanza electrónica
- Probetas
- Horno eléctrico
- Bandeja con agua

### PROCEDIMIENTO

- Se toman tres probetas como mínimo de roca ignimbrita de 5x5x5 cms.
- Se etiquetan con una clave distintiva.
- Se colocan en el horno eléctrico a una temperatura de 110°C +/- 10°C, durante 24 hrs como mínimo.
- Se retiran las probetas del horno y se dejan en reposo para su enfriamiento temperatura ambiente.
- Se toma su peso mediante la báscula electrónica y se toma registro.
- Se sumergen las probetas en un recipiente con agua durante 24 hrs como mínimo.
- Se toma su peso mediante la báscula electrónica y se toma registro.
- Se aplica la siguiente formula
- 



$$W = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

% H. max= humedad de absorción expresada en %

Mi= peso inicial

Mf= peso final

30 NAVARRO LUIS MANUEL, ANÁLISIS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES, UMSNH, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE MATERIALES, LABORATORIO DE MATERIALES MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, OCT. 2011

### PROCEDIMIENTO HUMEDAD MAXIMA



DIAGRAMA 10, Procedimiento para la obtención del contenido de humedad máxima en roca ignimbrita, Autor FSP.

## Obtención de datos de humedad máxima en rocas al natural

Datos de roca al natural       Datos de roca con aplicación

BANCO	PROBETA	PESO INICIA MI (gr)	PESO FINAL Mf (gr)	Mf - Mi	% ABSORCION	PROMEDIO
TLALPUJAHUA	TL-01-N	268	241.8	-26.2	10.84	<b>10.87</b>
	TL-02-N	264	238.2	-25.8	10.83	
	TL-03-N	265.8	239.6	-26.2	10.93	
COINTZIO	CO-01-N	239.6	193.4	-46.2	23.89	<b>23.98</b>
	CO-02-N	236.8	191	-45.8	23.98	
	CO-03-N	239.2	192.8	-46.4	24.07	
JAMAICA	J-01-N	236	207	-29	14.01	<b>14.24</b>
	J-02-N	241.8	220	-21.8	9.91	
	J-03-N	217.4	183	-34.4	18.80	

TABLA 19, Datos de humedad máxima en rocas al natural, Autor FSP.

BANCO	PROBETA	PESO INICIA MI (gr)	PESO FINAL Mf (gr)	Mf - Mi	% ABSORCION	PROMEDIO
TLALPUJAHUA	TL-3C-N01	239.8	262.2	22.4	8.54	<b>9.12</b>
	TL-3C-N02	236.8	262.8	26	9.89	
	TL-3C-N03	242.6	266.4	23.8	8.93	
COINTZIO	C-3C-N01	193.4	239.2	45.8	19.15	<b>19.05</b>
	C-3C-N02	196.6	241.8	45.2	18.69	
	C-3C-N03	190.4	236	45.6	19.32	
JAMAICA	J-3C-N01	211.6	239.8	28.2	11.76	<b>11.19</b>
	J-3C-N02	208	235.6	27.6	11.71	
	J-3C-N03	214	238	24	10.08	

TABLA 18, Datos de humedad máxima en rocas con aplicación de tres capas de biomaterial, Autor FSP.

Cómo podemos observar en los datos obtenidos en la experimentación de humedad máxima, el porcentaje de humedad es menor con la aplicación del biomaterial BIOCANIG, en comparación con las probetas que no cuentan con el recubrimiento de este biomaterial



## Determinación de la humedad de absorción en rocas

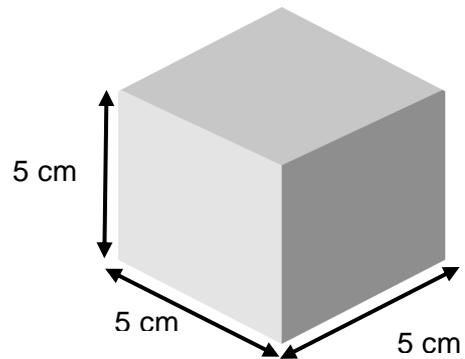
### Referencias

Análisis de materiales, resistencia de materiales, UMSNH, facultad de ingeniería civil departamento de materiales, laboratorio de materiales Luis Manuel Navarro Sánchez, Morelia, Michoacán, México<sup>31</sup>

**OBJETIVOS:** Determinar el porcentaje de Agua que puede absorber una muestra de roca durante un tiempo de 24 horas respecto a su masa seca.

### EQUIPOS

- Tres muestras de roca mínimo, de forma cubica de 5 cm de lado
- Recipiente con agua.
- Lienzo o franela
- Balanza electrónica o mecánica
- Horno para el secado de las muestras



### PROCEDIMIENTO

- Se enumeran y se secan las muestras en el horno durante un tiempo de 24 hrs. A una temperatura de 110 °C +/- 5 °C.
- Se sacan las muestras del horno, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se determina su masa (peso) en seco ( $M_s$ ) en la balanza.
- Se pone a saturar las muestras, sumergidas en un recipiente con agua durante un tiempo de 24 hrs como mínimo.
- Se extraen las muestras, se secan superficialmente con un lienzo y se determina su masa de humedad ( $M_h$ ) en la balanza.
- Se determina el porcentaje de absorción de la roca con la formula:

$$\% \text{ H. ABS} = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

$M_s$

% H. max= humedad de absorción expresada en %

$M_i$ = peso inicial

$M_f$ = peso final

---

31 NAVARRO LUIS MANUEL, ANÁLISIS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES, UMSNH, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE MATERIALES, LABORATORIO DE MATERIALES MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, OCT. 2011

## PROCEDIMIENTO HUMEDAD DE ABSORCIÓN EN ROCAS



DIAGRAMA 12, Procedimiento para la obtención de la humedad de absorción en roca ignimbrita, Autor FSP.

## Datos de absorción en roca al natural

Datos de roca al natural       Datos de roca con aplicación

BANCO	PROBETA	PESO INICIA Ms (gr)	PESO FINAL Mh (gr)	Mh - Ms	% ABSORCION	PROMEDIO
TLALPUJAHUA	TL-01-SN	245.8	271.1	25.3	10.29	<b>10.74</b>
	TL-02-SN	237.2	264.5	27.3	11.51	
	TL-03-SN	241.6	266.8	25.2	10.43	
COINTZIO	CO-01-SN	191	237.8	46.8	24.50	<b>24.44</b>
	CO-02-SN	182.4	227.1	44.7	24.51	
	CO-03-SN	191.6	238.2	46.6	24.32	
JAMAICA	J-01-SN	211	240.4	29.4	13.93	<b>12.03</b>
	J-02-SN	219.2	243.8	24.6	11.22	
	J-03-SN	218.6	242.5	23.9	10.93	

TABLA 20, Datos de humedad de absorción en rocas al natural, Autor FSP.

## Datos de absorción en roca con la aplicación del biomaterial.

BANCO	PROBETA	PESO INICIA Ms (gr)	PESO FINAL Mh (gr)	Mh - Ms	% ABSORCION	PROMEDIO
TLALPUJAHUA	TL-3C-SN01	247.2	270.4	23.2	9.39	<b>9.66</b>
	TL-3C-SN02	248.4	272	23.6	9.50	
	TL-3C-SN03	239.8	264	24.2	10.09	
coincio	C-3C-SN01	197.2	239.6	42.4	21.50	<b>21.44</b>
	C-3C-SN02	195.2	236.6	41.4	21.21	
	C-3C-SN03	195.2	237.4	42.2	21.62	
jamaica	J-3C-SN01	215	237.2	22.2	10.33	<b>10.80</b>
	J-3C-SN02	193	222.8	29.8	15.44	
	J-3C-SN03	226.2	241.2	15	6.63	

TABLA 21, Datos de humedad de absorción en rocas con la aplicación de tres capas de biomaterial, Autor FSP.

Cómo podemos observar en los datos obtenidos en la experimentación de humedad máxima, el porcentaje de humedad es menor con la aplicación del biomaterial BIOCANIG, en comparación con las probetas que no cuentan con el recubrimiento de este biomaterial.

## DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

### ENSAYO DE CAPILARIDAD AL AGUA<sup>32</sup>

A. Material requerido:

- a. Probetas de roca, agua, recipiente, balanza, trapo seco.

B. Procedimiento experimental:

- a. Se toman tres probetas como mínimo de roca ignimbrita de 5x5x5 cms.
- b. Se etiquetan con una clave distintiva.
- c. Limpiar y secar en la estufa las probetas. - Medir las dimensiones de la probeta y calcular la superficie de contacto con el agua, S(m<sup>2</sup>), y el volumen de probeta, Vprob(cm<sup>3</sup>).
- d. Medir el peso en seco, M<sub>0</sub> (g).
- e. Colocar la probeta en interior del recipiente. La roca se tiene que apoyar sobre unos soportes de esponja de 4cms de espesor aproximadamente, para que el agua ascienda por la parte inferior de la probeta. El agua debe cubrir la probeta unos pocos milímetros. El recipiente se tapa para evitar la evaporación del agua.
- f. Medir de la masa de la probeta con agua, MP(g), a los 0, 5, 10, 15, 30, 60 min. y 3, 6, 12, 24 y 48 horas. Esta medida se tiene que hacer de forma rápida y devolver lo antes posible la probeta al recipiente.
- g. Se aplica la siguiente formula

$$W = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

% H. max= humedad de absorción de agua por capilaridad expresada en %

M<sub>i</sub>= peso inicial

M<sub>f</sub>= peso final

---

*32 NAVARRO LUIS MANUEL, ANÁLISIS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES, UMSNH, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE MATERIALES, LABORATORIO DE MATERIALES MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, OCT. 2011*

## DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD



DIAGRAMA 14, Procedimiento para la determinación de humedad de absorción por capilaridad, Autor FSP.

## IMÁGENES DEL PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN

### Datos de absorción en roca al natural

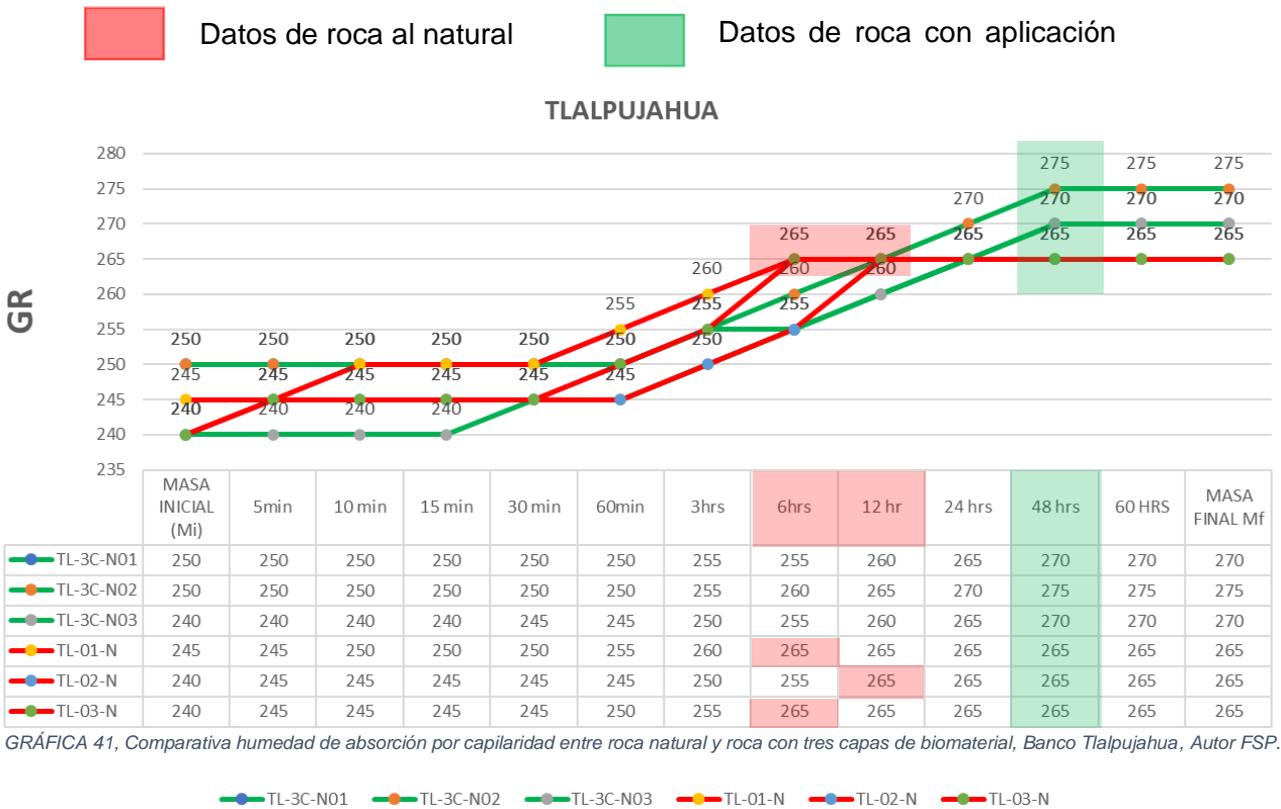
Con respecto a la experimentación correspondiente a la absorción por capilaridad<sup>33</sup> en rocas de los bancos de Tlalpujahua, Cointzio y Jamaica, se realizaron mediciones a cada 15, 10, 30 y 60 min, continuando con mediciones posteriores a las 3, 6, 12, 48, y 60 horas, registrando los datos para su posterior análisis.



<sup>33</sup> NAVARRO LUIS MANUEL, ANÁLISIS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES, UMSNH, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE MATERIALES, LABORATORIO DE MATERIALES MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, OCT. 2011

## Análisis de datos roca de Tlalpujahua

Realizando una comparativa de los datos obtenidos de la experimentación de absorción por capilaridad, se realizó la siguiente grafica comparativa entre los datos de la roca al natural y con la aplicación del biomaterial.

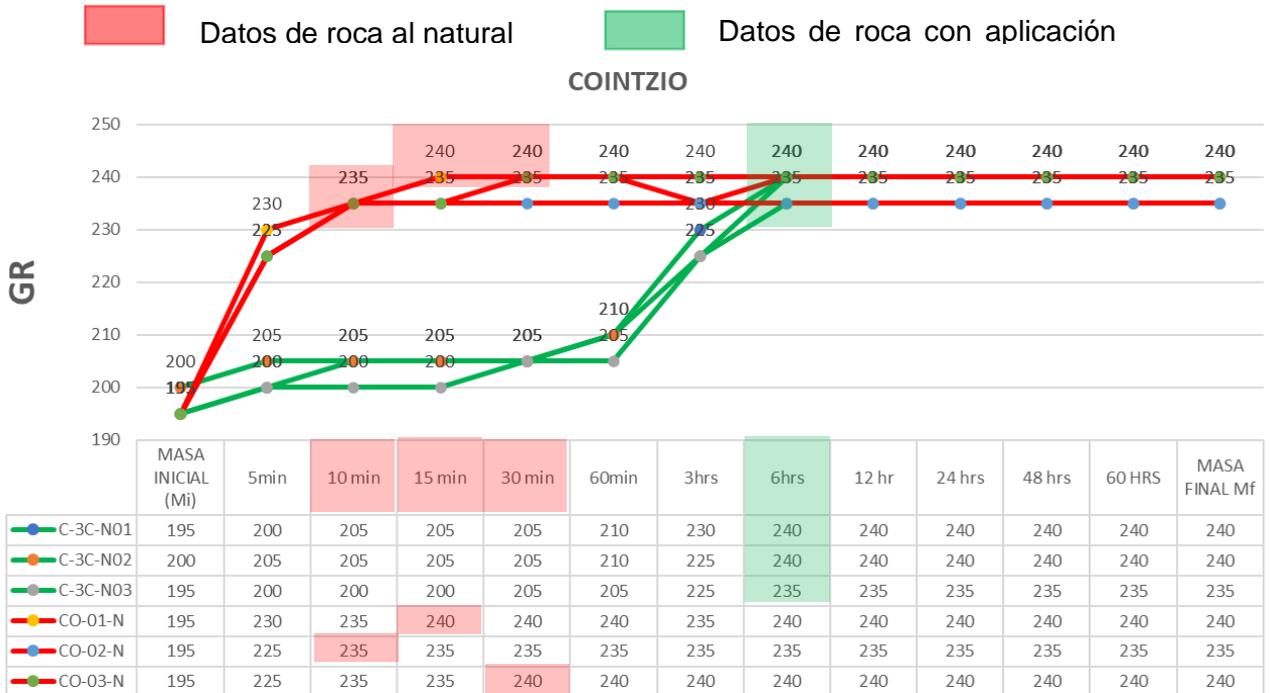


GRÁFICA 41, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Banco Tlalpujahua, Autor FSP.

Con respecto al análisis de datos y la comparativa de los mismos de las rocas analizadas del banco de Tlalpujahua, podemos encontrar que, si bien la absorción por capilaridad son similares entre las rocas al natural y las que cuentan con la aplicación del biomaterial, sin embargo el tiempo en el que llegan a la saturación máxima es distinta, mientras las rocas al natural llegan a saturarse en 9 horas en promedio, las que cuentan con la aplicación del biomaterial llegan a su saturación en 48 horas, lo cual brinda una protección para la roca, retardando la absorción de agua 39 horas más, lo que representa un 81.25% más.

## Análisis de datos roca de Cointzio

Realizando una comparativa de los datos obtenidos de la experimentación de absorción por capilaridad, se realizó la siguiente grafica comparativa entre los datos de la roca al natural y con la aplicación del biomaterial.



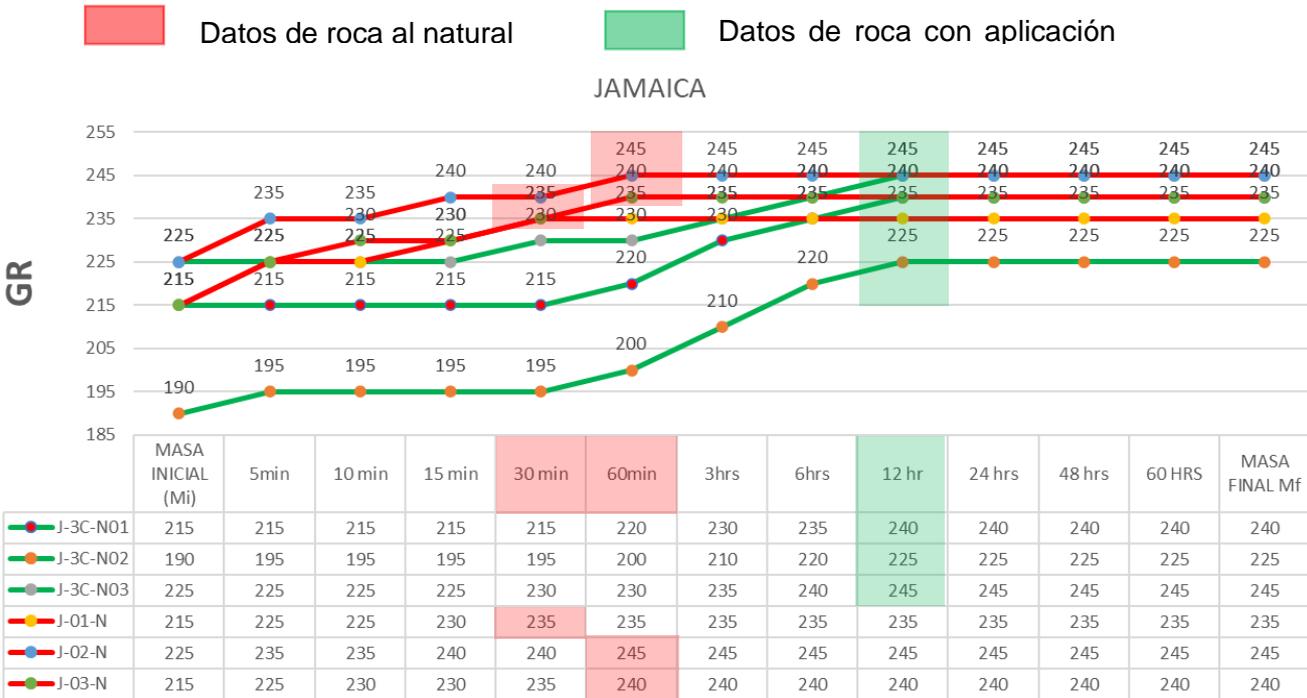
GRÁFICA 42, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Banco Cointzio, Autor FSP.

● C-3C-N01   
 ● C-3C-N02   
 ● C-3C-N03   
 ● CO-01-N   
 ● CO-02-N   
 ● CO-03-N

Con respecto al análisis de datos y la comparativa de los mismos de las rocas analizadas del banco de Cointzio, podemos encontrar que, si bien la absorción por capilaridad son similares en su punto más alto de saturación de las diferentes probetas analizadas (235 gr y 240 gr respectivamente), con respecto al el tiempo en el que llegan a la saturación máxima es distinta, mientras que las rocas al natural llegan a saturarse en 30 min máximo, las que cuentan con la aplicación del biomaterial llegan a su saturación en 6 horas, lo cual brinda una protección para la roca, retardando la absorción de agua 5 horas y media más, lo que representa un 91.66% más.

### Análisis de datos roca de Jamaica

Realizando una comparativa de los datos obtenidos de la experimentación de absorción por capilaridad, se realizó la siguiente grafica comparativa entre los datos de la roca al natural y con la aplicación del biomaterial.



GRÁFICA 43, Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Banco Jamaica, Autor FSP.

J-3C-N01   J-3C-N02   J-3C-N03   J-01-N   J-02-N   J-03-N

Con respecto al análisis de datos y la comparativa de los mismos de las rocas analizadas del banco de Jamaica, podemos encontrar que, si bien la absorción por capilaridad son similares en su punto más alto de saturación de las diferentes probetas analizadas (225 gr a 240 gr respectivamente), con respecto al el tiempo en el que llegan a la saturación máxima es distinta, mientras que las rocas al natural llegan a saturarse en 60 min máximo, las que cuentan con la aplicación del biomaterial llegan a su saturación en 12 horas, lo cual brinda una protección para la roca, retardando la absorción de agua 11 horas más, lo que representa un 91.66% más.

## Experimentación de obtención de láminas delgadas

### METODO DE LÁMINAS DELGADAS

Las láminas delgadas o secciones delgadas son preparaciones que se realizan en rocas para su estudio con microscopio y que en nuestro caso consistió en la obtención de rodajas de la roca ignimbrita previamente recubierta con el biomaterial BIOCANIG, dichas laminas tienen un 1mm de espesor. Uno de los objetivos de preparar una lámina delgada de 1 mm de espesor, es para permitir que la luz del microscopio donde se analizaran las muestras, las pueda atravesar.

Como se ha mencionado con anterioridad, las muestras obtenidas se analizan en un microscopio apoyados por un porta objetos. Es así que, cuando se observa una lámina delgada al microscopio la luz atraviesa la lámina delgada y se puede observar la laminilla para su análisis. A partir de la observación, con y sin analizador, de las distintas propiedades de los minerales en láminas delgadas, se puede conseguir su identificación.

Para la realización de la prueba, previamente se requiere de la preparación de las probetas de donde se obtendrán las muestras para su análisis, dichas probetas deben tener estas características:

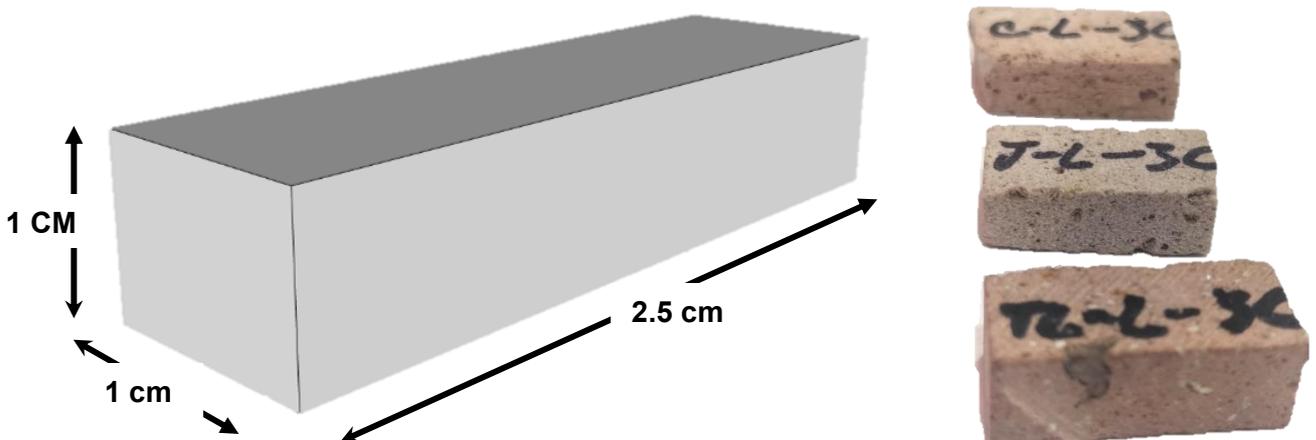


IMAGEN 72, Muestras para la obtención de láminas delgadas, Autor, FSP.

## EQUIPOS DE CORTE:

El proceso de corte es de lo más sencillo, rápido y preciso posible. Para este caso se solicitó el apoyo al laboratorio de metalurgia de la UMSNH, y que a través del Dr. Carlos León y a su equipo de trabajo, se llevó a cabo la obtención de láminas delgadas de las muestras de roca ignimbrita. Para lo que se utilizó el siguiente equipo:

- Máquina Seccionadora de precisión alimentada por gravedad.
- Equipo de protección como guantes y lentes.
- Franela
- Bolsas para guardar muestras.

La sierra de precisión alimentada por gravedad IsoMet Low Speed es una máquina compacta para banco de 5 in (127 mm) que ofrece el corte de muestras más delicado. El micrómetro de precisión y los controles ofrecen dominio total al usuario. Cabe mencionar que, para realizar esta prueba, normalmente a las probetas se les aplica un líquido lubricante para tener un menor



IMAGEN 73, sierra de precisión alimentada por gravedad IsoMet Low Speed, Autor FSP.

desgaste en el disco de corte, en este caso este líquido lubricante no se aplicó a las probetas, con la finalidad de que este lubricante se mezclara con el recubrimiento de las probetas, evitando contaminar las muestras y laminas obtenidas.

## Proceso de obtención de láminas delgadas.



IMAGEN 78, Proceso láminas delgadas, Autor FSP.



IMAGEN 79, Proceso láminas delgadas, Autor FSP.



IMAGEN 77, Proceso láminas delgadas, Autor FSP.



IMAGEN 74, Proceso láminas delgadas, Autor FSP.



IMAGEN 75, Proceso láminas delgadas, Autor FSP.



IMAGEN 76, Proceso láminas delgadas, Autor FSP.



IMAGEN 80, Láminas delgadas Cointzio, Autor FSP.



IMAGEN 81, Láminas delgadas Jamaica, Autor FSP.



IMAGEN 82, Láminas delgadas Talpujagua, Autor FSP.

El objetivo principal de esta prueba, es conocer el grado de penetración del biomaterial aplicado a las diferentes rocas ignimbritas con las que sea estado estudiando, ya que dependiendo del grado de penetración del biomaterial puede definir la protección de la misma ante diferentes agentes que la deterioran.

Basándose en lo anteriormente descrito y posterior a la obtención de las láminas delgadas, estas muestras se analizaron en un microscopio electrónico en el laboratorio de la facultad de arquitectura de la UMSNH, tomando fotografías de las imágenes que arrojo el microscopio de las muestras.



IMAGEN 86, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.



IMAGEN 83, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.



IMAGEN 84, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.



IMAGEN 87, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.



IMAGEN 85, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.



IMAGEN 88, Análisis de láminas delgadas con microscopio electrónico, Autor FSP.

## Análisis de muestras

Para realizar el análisis de las imágenes obtenidas por el microscopio electrónico y poder realizar una medición de la penetración del biomaterial en la roca, para determinar el grado de protección que pudiera tener la roca, se hizo uso del programa IMAGAJ.



# ImageJ

Image Processing & Analysis in Java

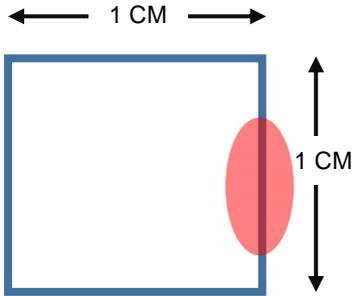
IMAGEJ es un programa informático de tratamiento digital de imagen orientado principalmente hacia el ámbito de las ciencias de la salud. Se trata de un

software de dominio público y de código abierto desarrollado en lenguaje Java en las instituciones del National Institutes of Health de Estados Unidos. Incluye por defecto herramientas para editar, procesar y analizar imágenes de casi cualquier tipo y formato.

Mediante el software antes mencionado, y basándome en las imágenes obtenidas por el microscopio electrónico, se realizaron diferentes análisis de dichas imágenes, donde se pudieron encontrar que existe un cambio de coloración en las caras externas de las imágenes, las cuales corresponden al grado de penetración del biomaterial en la roca.

Es así que el programa IMAGEJ, me permitió realizar mediciones para conocer de forma más exacta la penetración máxima del biomaterial en la roca. Lo anterior es posible por medio de la configuración del software, ya que este realiza mediciones de Pixeles por defecto. Sin embargo, cuenta con diferentes parámetros que, por medio de su configuración, permite realizar una conversión de las medidas en pixeles de la imagen, en diferentes unidades de medida, para lo que en este caso se utilizaron las unidades de mm, donde encontramos los siguientes resultados.

### Análisis lámina delgada Cointzio



Cómo se puede apreciar en la imagen de identificación del área análisis de la laminilla, se encuentra ubicada en la cara derecha.

En esta imagen podemos ver como la aplicación del biomaterial esta se define claramente por un cambio de coloración de la parte externa con respecto al centro o corazón de la lámina. De igual forma y haciendo uso del software IMAGEJ, se realizó la medición de esta penetración en diferentes zonas de la muestra, obteniendo los siguientes datos.

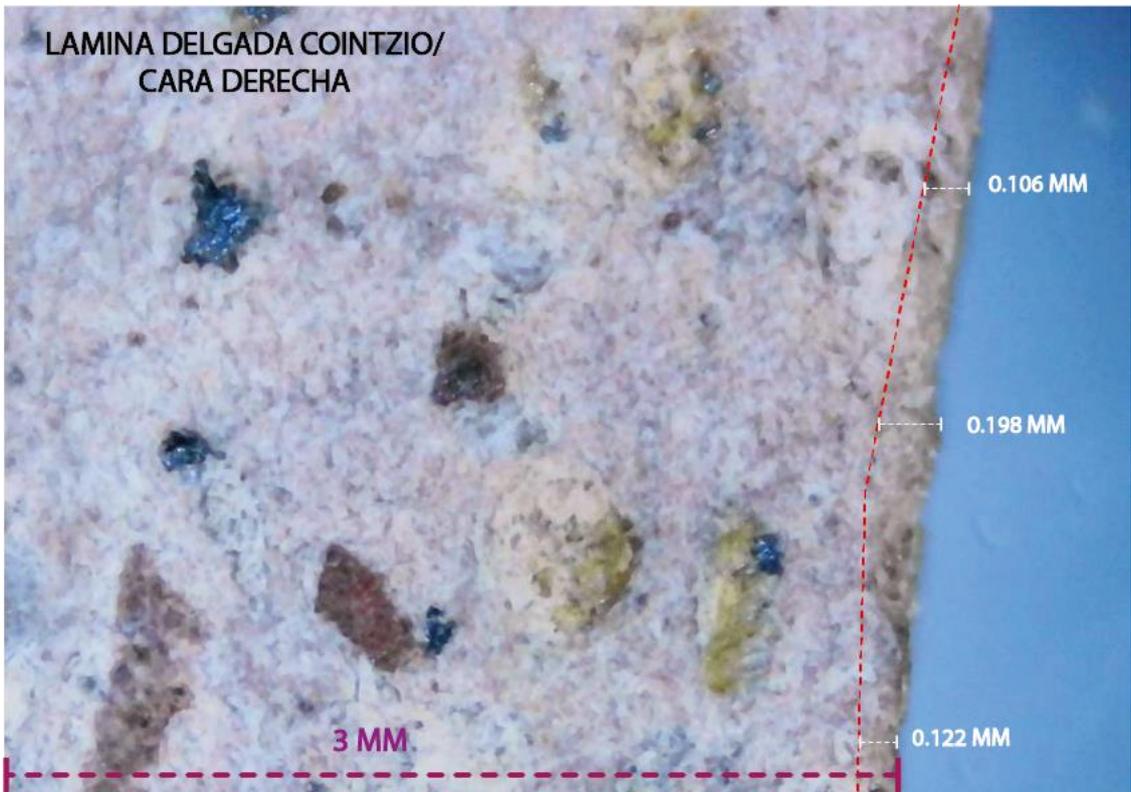
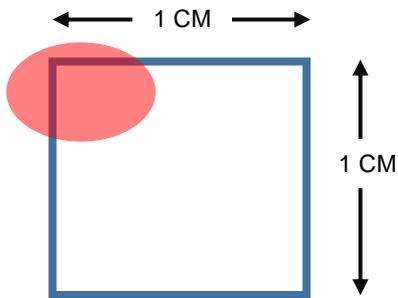


Ilustración 3, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP.



Cómo se puede apreciar en la imagen de identificación del área análisis de la laminilla, se encuentra ubicada en la esquina superior izquierda de la muestra.

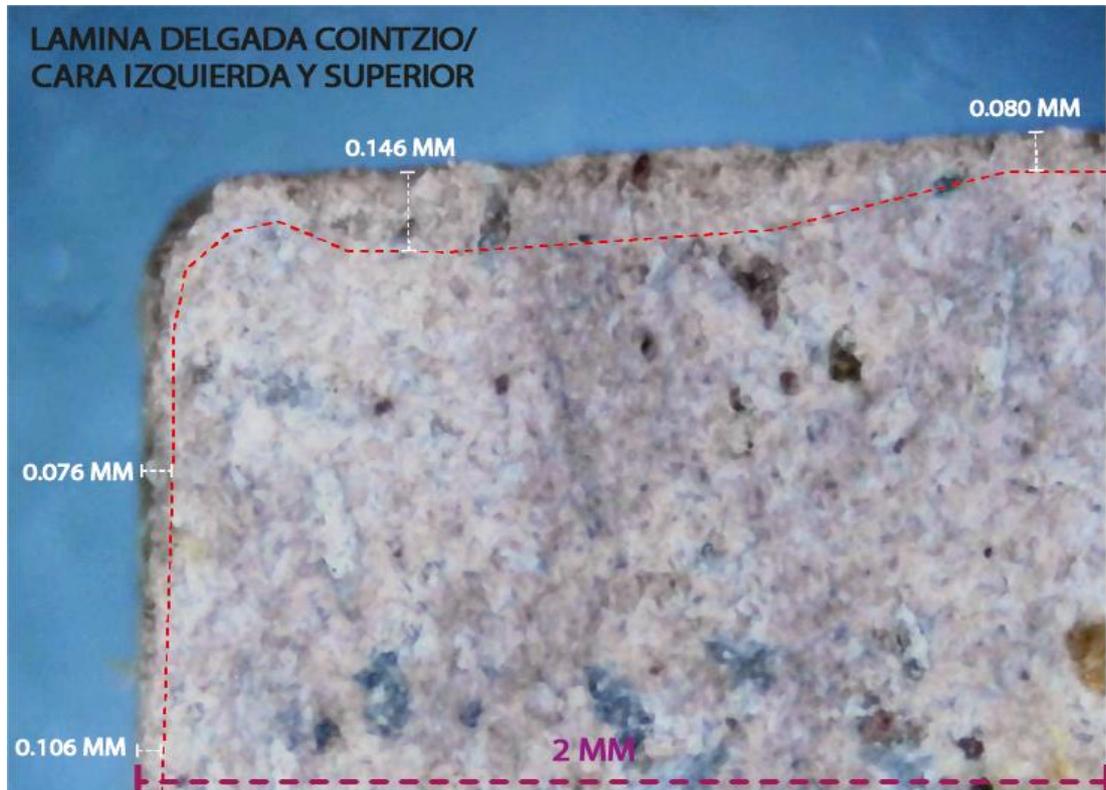
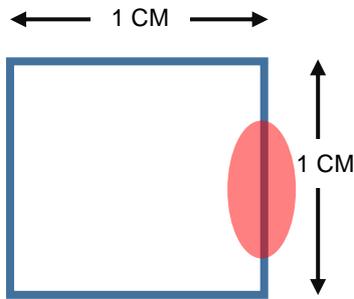


Ilustración 4, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP.

Podemos observar como la penetración del biomaterial hacia el interior de la roca es variable, dependiendo de la porosidad de las caras de las muestras. En el caso concreto de las imágenes que se muestran con respecto a las correspondientes a la roca correspondiente al banco de Cointzio, recordemos que, en base a las experimentaciones anteriores, esta roca es la segunda más porosa. Derivado de lo anterior, en esta roca tendremos una mayor penetración del biomaterial.

## Análisis lámina delgada Jamaica



Cómo se puede apreciar en la imagen de identificación del área análisis de la laminilla, se encuentra ubicada en la cara derecha.

En esta imagen podemos ver como la aplicación del biomaterial esta se define claramente por un cambio de coloración de la parte externa con respecto al centro o corazón de la lámina. De igual forma y haciendo uso del software IMAGEJ, se realizó la medición de esta penetración en diferentes zonas de la muestra, obteniendo los siguientes datos.

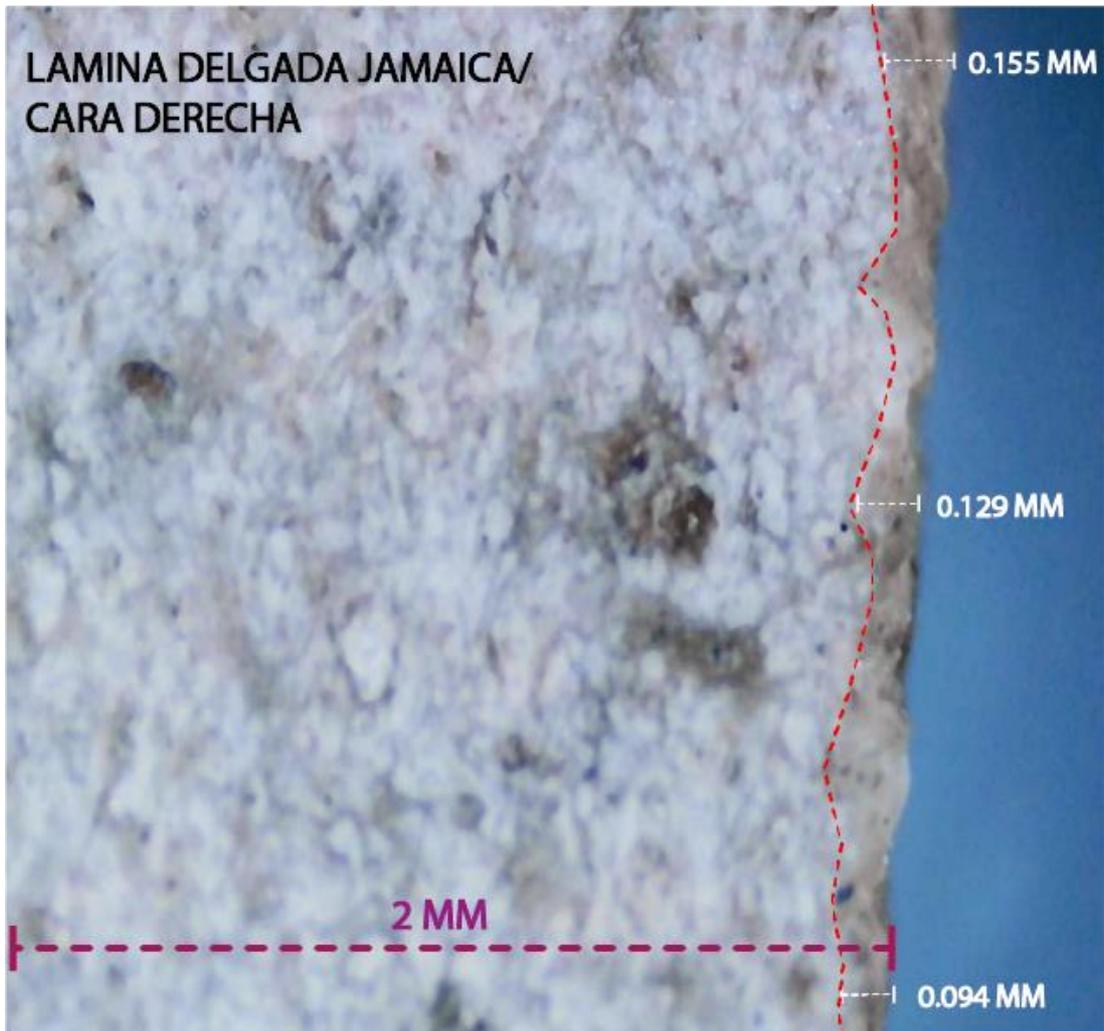
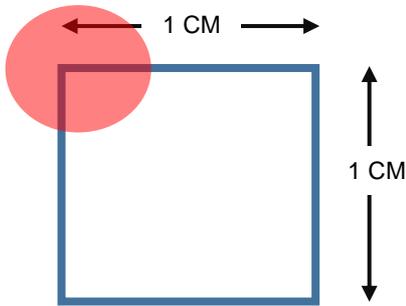


Ilustración 5, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP.



Cómo se puede apreciar en la imagen de identificación del área análisis de la laminilla, se encuentra ubicada en la esquina superior izquierda de la muestra.

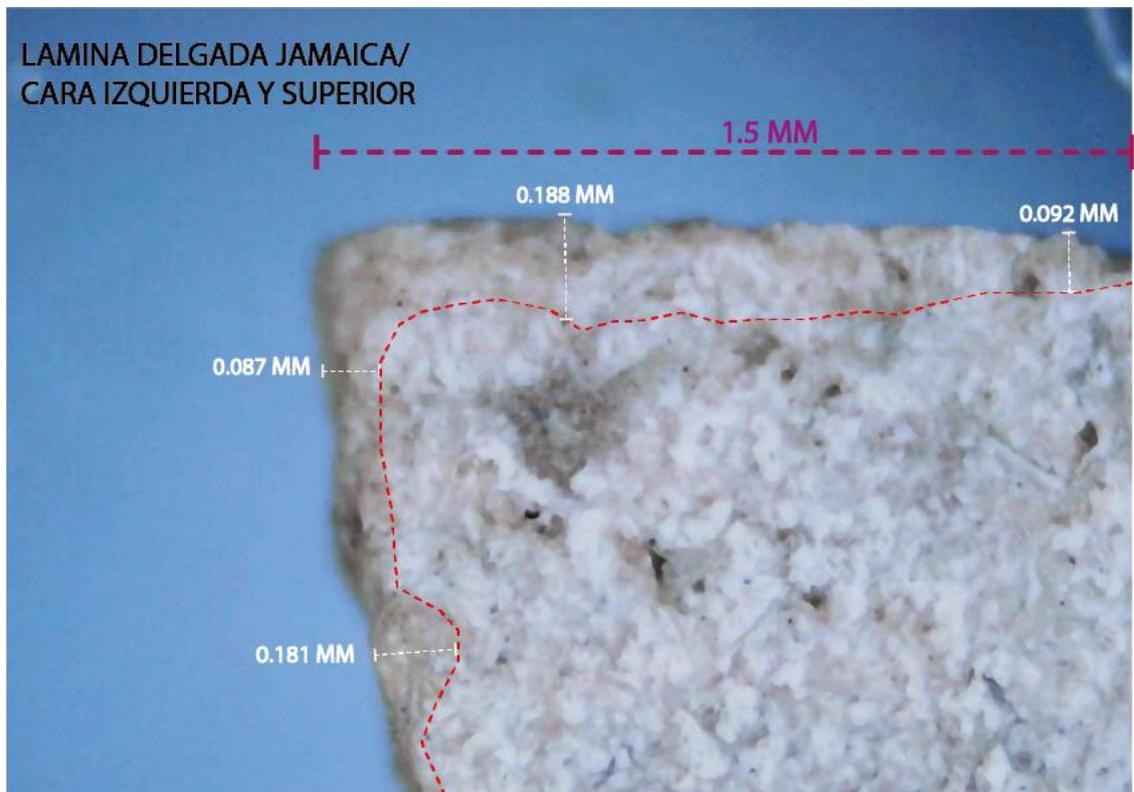
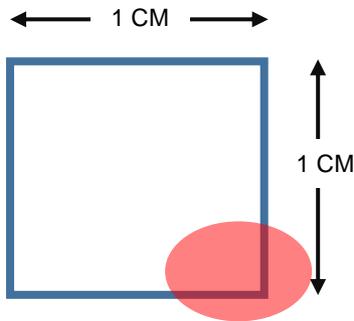


Ilustración 6, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP.

Recordemos que la roca del banco de Jamaica, es la que mayor porosidad presenta con respecto a las rocas de los otros dos bancos analizados, esto lo podemos corroborar con respecto a los resultados obtenidos en las experimentaciones realizadas con anterioridad. Lo anterior permite que el biomaterial penetre en la roca de forma más profunda, teniendo una mejor protección de la misma.

## Análisis lámina delgada Tlalpujahua



Cómo se puede apreciar en la imagen de identificación del área análisis de la laminilla, se encuentra ubicada en la cara derecha.

En esta imagen podemos ver como la aplicación del biomaterial esta se define claramente por un cambio de coloración de la parte externa con respecto al centro o corazón de la lámina. De igual forma y haciendo uso del software IMAGEJ, se realizó la medición de esta penetración en diferentes zonas de la muestra, obteniendo los siguientes datos.

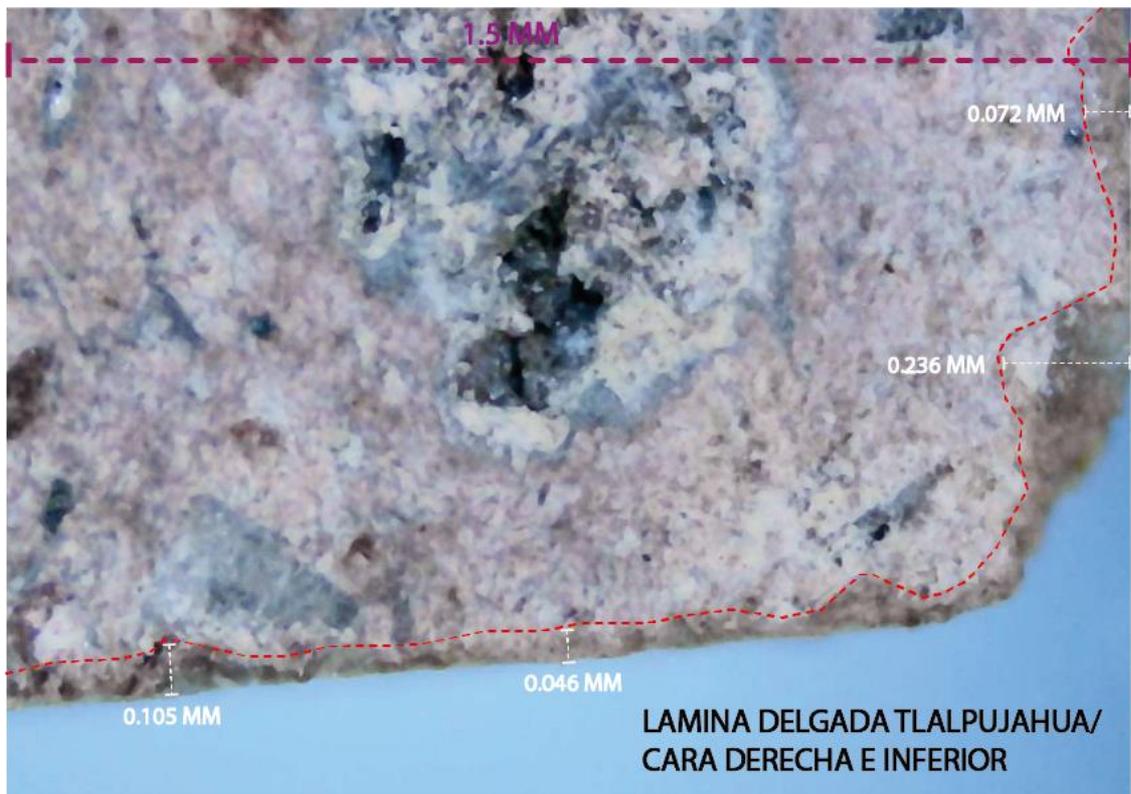
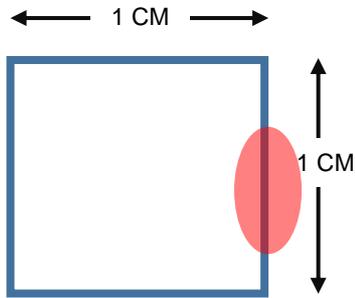


Ilustración 7, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP.



Cómo se puede apreciar en la imagen de identificación del área análisis de la laminilla, se encuentra ubicada en la cara derecha.

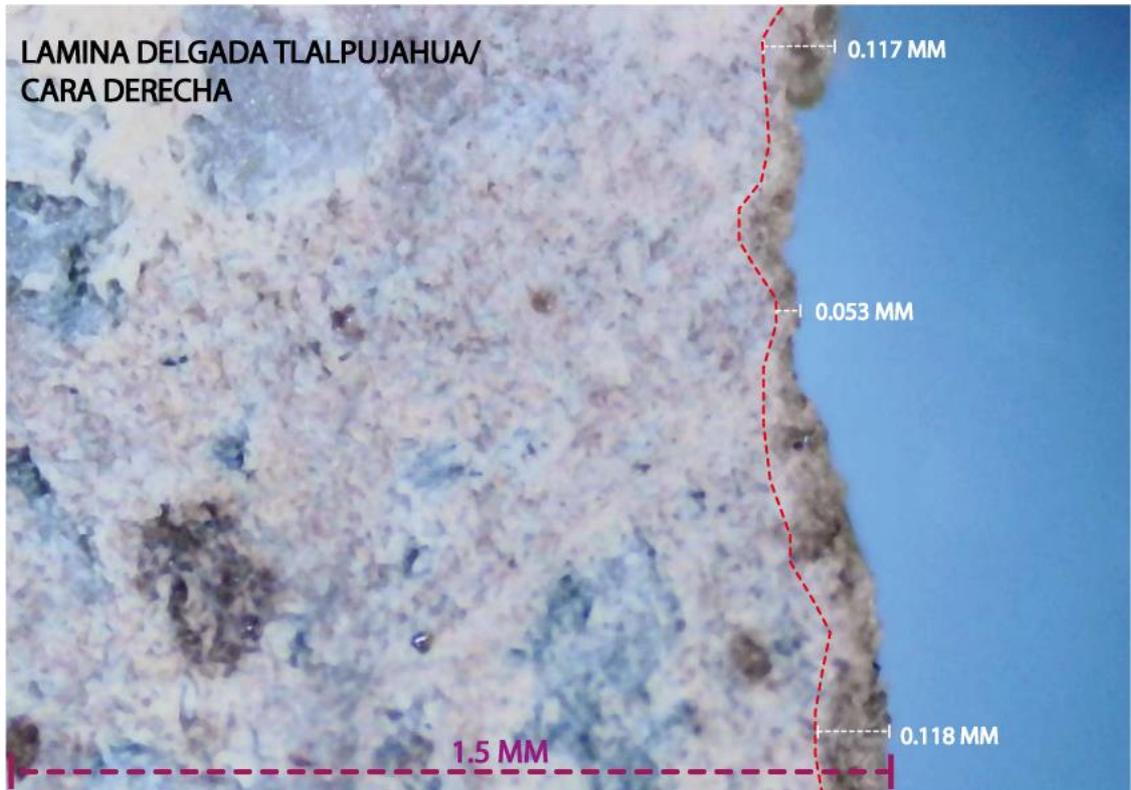


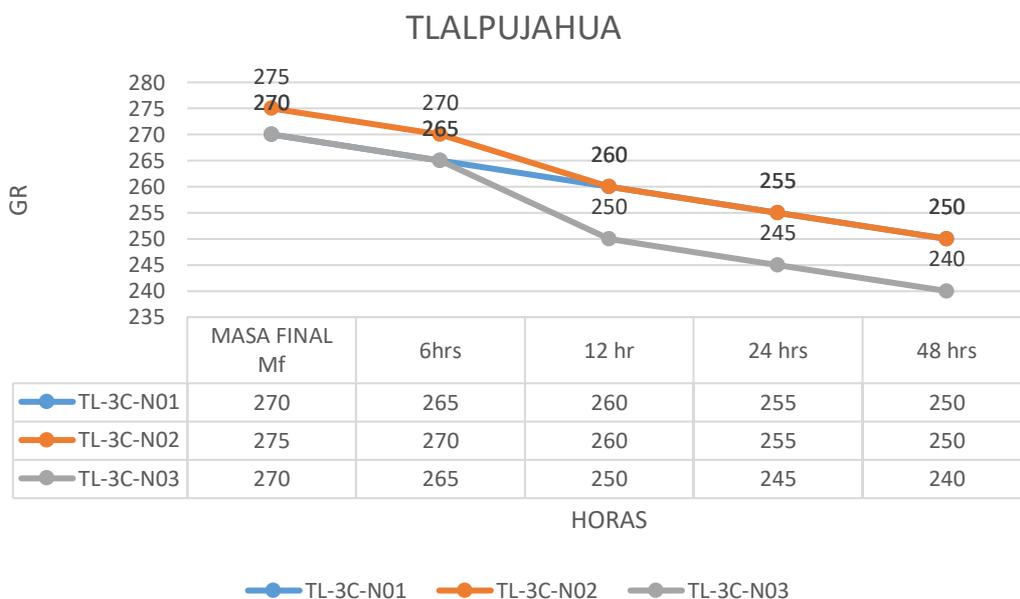
Ilustración 8, Análisis de penetración de biomaterial en roca, Autor FSP.

Podemos observar que, en el análisis de la roca correspondiente al banco de Tlalpujahuá, la penetración del material es menor, lo anterior derivado de la porosidad y densidad de esta roca, si bien esta roca es más dura que las anteriormente analizadas, sin embargo y a pesar de la dureza de esta roca, al aplicar el biomaterial sobre esta, podemos observar que existe penetración sobre esta creando una pátina (película) que ayuda a su protección.

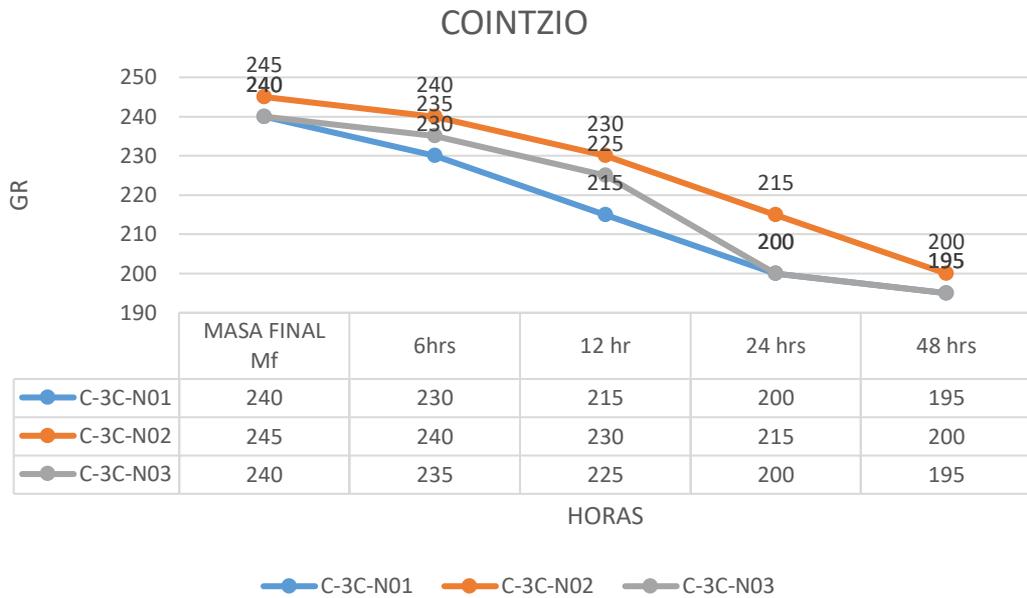
## PERDIDA DE HUMEDAD POR MEDIO DE SECADO AL AIRE LIBRE

Como se ha mencionado con anterioridad, es importante que la roca no puede ser totalmente sellada o aislada de la humedad, ya que las características propias de la roca la requieren, siempre y cuando sea en poca cantidad o esta sea controlada. Es así que los datos obtenidos en las diferentes experimentaciones realizadas hasta el momento, nos indican que este objetivo se está cumpliendo y de manera contundente.

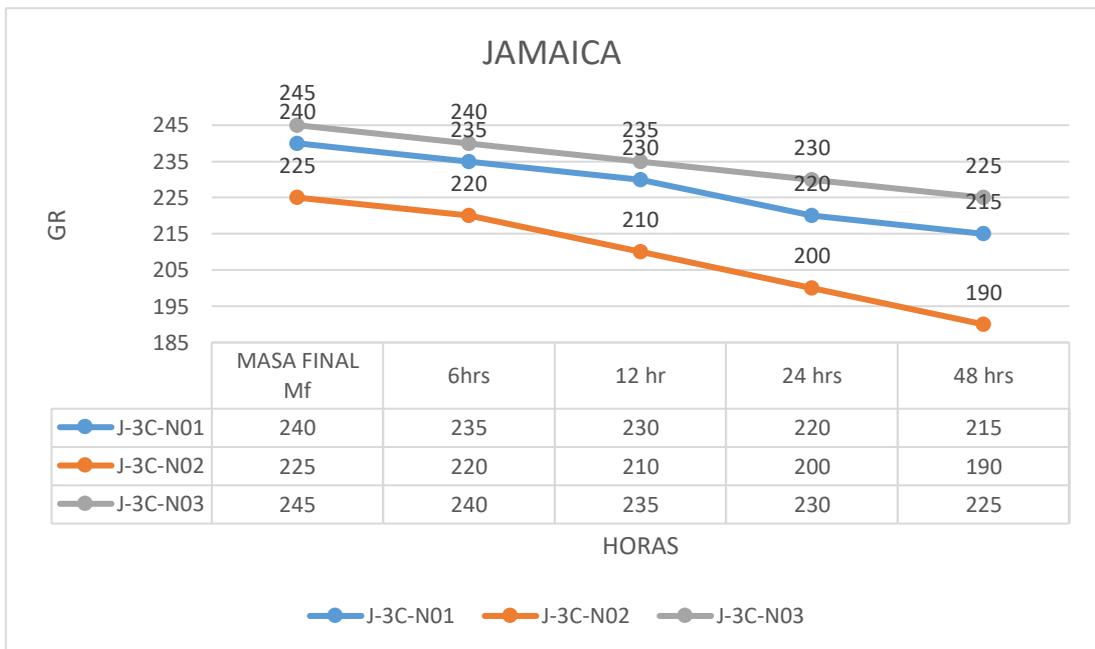
Sin embargo, no basta solamente con prevenir o proteger de la humedad la roca ignimbrita, también es de manera muy importante que la aplicación de este biomaterial, permita la liberación de la humedad que absorbe la roca, ya que, de no ser así, se estaría creando un ambiente desfavorable en el interior de la roca, que ocasionaría el deterioro acelerado de esta.



GRÁFICA 44, Pérdida de humedad en roca a temperatura ambiente, Banco Tlalpujahua, Autor FSP.



GRÁFICA 46, Pérdida de humedad en roca a temperatura ambiente, Banco Cointzio, Autor FSP.



GRÁFICA 45, Pérdida de humedad en roca a temperatura ambiente, Banco Jamaica, Autor FSP.

Es así que, posterior a la realización de las diferentes experimentaciones descritas en párrafos anteriores, las probetas tanto al natural, como las que cuentan con la aplicación del biomaterial, se expusieron a condiciones ambientales normales, con la finalidad de observar el comportamiento de estas y verificar si permitían la liberación de la saturación de agua a la que se sometieron en las diferentes experimentaciones.



IMAGEN 89, Pérdida de humedad en roca con aplicación de biomaterial, 12 hrs, Autor FSP.



IMAGEN 90, Pérdida de humedad en roca al natural, 12 hrs, Autor FSP.

En este sentido se pudo verificar que las rocas que cuentan con la aplicación del biomaterial permiten la liberación de humedad (secado de roca), al igual que las rocas sin aplicación alguna, lo cual es de suma importancia para garantizar la protección de la ignimbrita. Es así que se monitoreo el tiempo de secado de las diferentes probetas, llegando al peso normal de las probetas que se tomaron al inicio de la experimentación de absorción por capilaridad en un total de 48 horas, como lo indican las gráficas 39, 40 y 41.



IMAGEN 91, Pérdida de humedad en roca con aplicación de biomaterial, 48 hrs, Autor FSP.



IMAGEN 93, Pérdida de humedad en roca al natural, 48 hrs, Autor FSP.

## **RESULTADOS.**

Si bien las experimentaciones realizadas hasta el momento, arrojan resultados favorables para cumplir con los objetivos planteados, logando retardar la adopción de agua sobre los testigos que se han analizado, retardando de un 30 a un 50% la absorción. Si bien este resultado no es el objetivo principal de las experimentaciones, si es una parte muy importante para este material, ya que no se puede aplicar un material sobre la roca ignimbrita, que la selle a un 100%, si fuese el caso, esto ayudaría al deterioro acelerado de la roca. La “cantera” al ser un material natural, requiere de humedad, sin embargo por la porosidad de la roca esta puede ser excesiva.

En este sentido, el material que se propone además de tener los beneficios que se plantearon, podría tener un doble propósito y servir como un protector natural que ayude a la conservación de esta roca contra otros agentes que deterioran este material en diferentes aspectos.

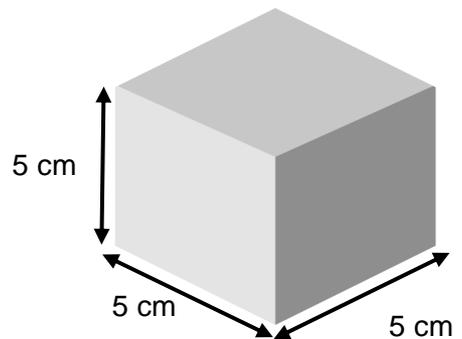
Si bien las experimentadas en este trabajo de investigación, se han enfocado más en la protección de la roca ante los agentes antrópicos que la pueden deteriorar, se ha encontrado que este material natural es compatible con la roca al no tener ningún rechazo, desprendimiento o afectación de consideración en la roca; al contrario, ayuda a su protección ante otros agentes como los bióticos y abióticos, dándole una protección natural a la roca.

## Prueba de compresión simple

Una de las últimas experimentaciones realizadas y que responden a un valor agregado de la aplicación del biomaterial, es la realización de la prueba de compresión simple, la cual tiene como objetivo encontrar la máxima carga que puede soportar una roca.

Para realizar esta prueba se requirió del siguiente equipo:

- Tres muestras representativas de roca de forma cubica de 5 cm de lado a humedad ambiente.
- Un vernier.
- Maquina universal de pruebas Tinius Olsen.



### Procedimiento

- Se enumeran y se toman las medidas reales de cada una de las muestras determinando el área efectiva.
- Se ajusta y se nivela la máquina.
- Se coloca la muestra en la maquina universal de pruebas.
- Se ajusta y nivela la maquina universal.
- Se aplica carga a la muestra de forma lenta y constante hasta llegar a la falla de la muestra, registrando la carga de ruptura.



## Calculo

Se determina la resistencia máxima de ruptura a la compresión con la siguiente formula:

$$R = \frac{W}{A}$$

**Donde:**

**R=** Resistencia máxima a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

**W=** Carga máxima aplicada a la muestra (kgf)

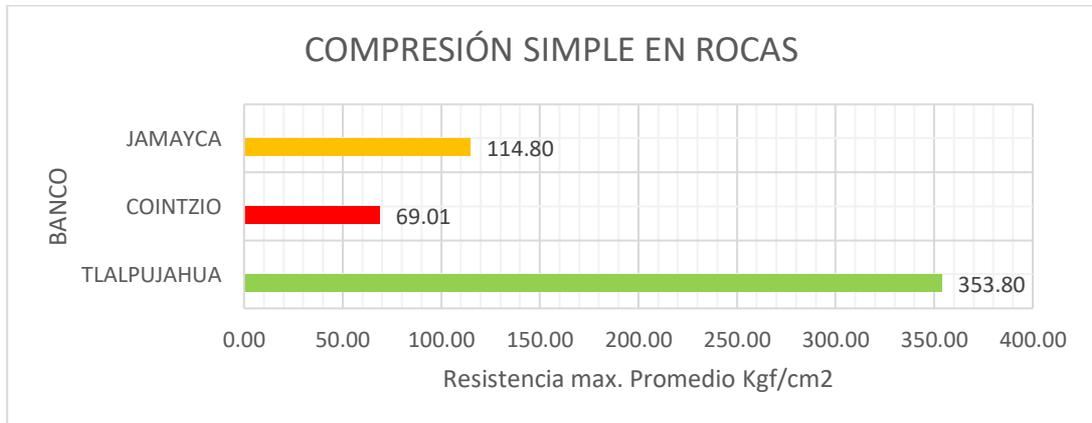
**A=** Área de contacto de la muestra (cm<sup>2</sup>)



Siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, se realizó la prueba de compresión simple en dos etapas, la primera etapa se realizó a los testigos de los diferentes bancos estudiados en condiciones naturales sin la aplicación del biomaterial, obteniendo los siguientes datos:

RESISTIVIDAD DE ROCA EN SECO					
Condicion s de la roca	CARGA MAX. APLICADA Ton/cm <sup>2</sup>	CARGA MAX. APLICADA Kgf/cm <sup>2</sup> (w)	área de contacto de la muestra cm <sup>2</sup> (A)	Resistencia máx. a la compresión Kgf/cm <sup>2</sup>	Resistencia max. Promedio Kgf/cm <sup>2</sup>
TL-01	8.63	8,630.00	25.30	341.11	353.80
TL-02	9.24	9,240.00	25.40	363.78	
TL-03	9.02	9,020.00	25.30	356.52	
<b>C-01</b>	<b>1.5</b>	<b>1,500.00</b>	<b>25.45</b>	<b>58.94</b>	<b>69.01</b>
<b>C-02</b>	<b>1.81</b>	<b>1,810.00</b>	<b>25.96</b>	<b>69.72</b>	
<b>C-03</b>	<b>2.05</b>	<b>2,050.00</b>	<b>26.16</b>	<b>78.36</b>	
J-01	2.9	2,900.00	25.40	114.17	114.80
J-02	2.74	2,740.00	25.09	109.21	
J-03	3.05	3,050.00	25.20	121.03	

Tabla 22, Compresión de simple en rocas, Autor FSP.



GRÁFICA 47, Compresión de simple en rocas, Autor FSP.

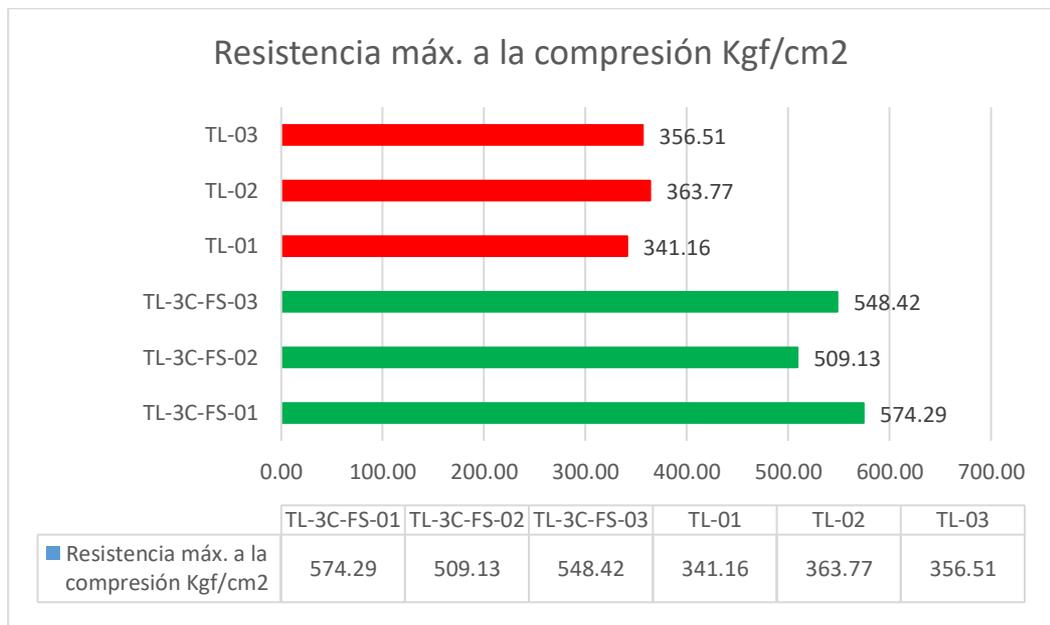
Como se puede observar en la tabla anterior, la roca que menor resistencia a la compresión determinada en esta prueba, sin la aplicación del bio material, es la roca correspondiente al banco de Cointzio. Lo anterior corrobora los datos obtenidos en la experimentación inicial de resistividad, ya que la roca de este mismo banco es la

de mayor porosidad, por ende, se refleja en una menor resistencia y se corrobora con esta prueba realizada.

En la segunda etapa de la experimentación, se realizó la misma prueba a las muestras de roca ignimbrita con la aplicación del biomaterial, realizando una comparativa de los datos obtenidos contra los de la roca al natural, encontrando los siguientes datos:

COMPARATIVA DE PRUEBA DE COMPRESIÓN EN ROCA DEL BANCO DE TLALPUJAHUA				
MUESTRA	CARGA MAX. APLICADA Ton/cm2	CARGA MAX. APLICADA Kgf/cm2 (w)	área de contacto de la muestra cm2 (A)	Resistencia máx. a la compresión Kgf/cm2
TL-3C-FS-01	14.76	14760	25.70	574.29
TL-3C-FS-02	13.1	13100	25.73	509.13
TL-3C-FS-03	14	14000	25.53	548.42
TL-01	8.63	8630	25.30	341.16
TL-02	9.24	9240	25.40	363.77
TL-03	9.02	9020	25.30	356.51

Tabla 23, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Tlalpujahua, Autor FSP.

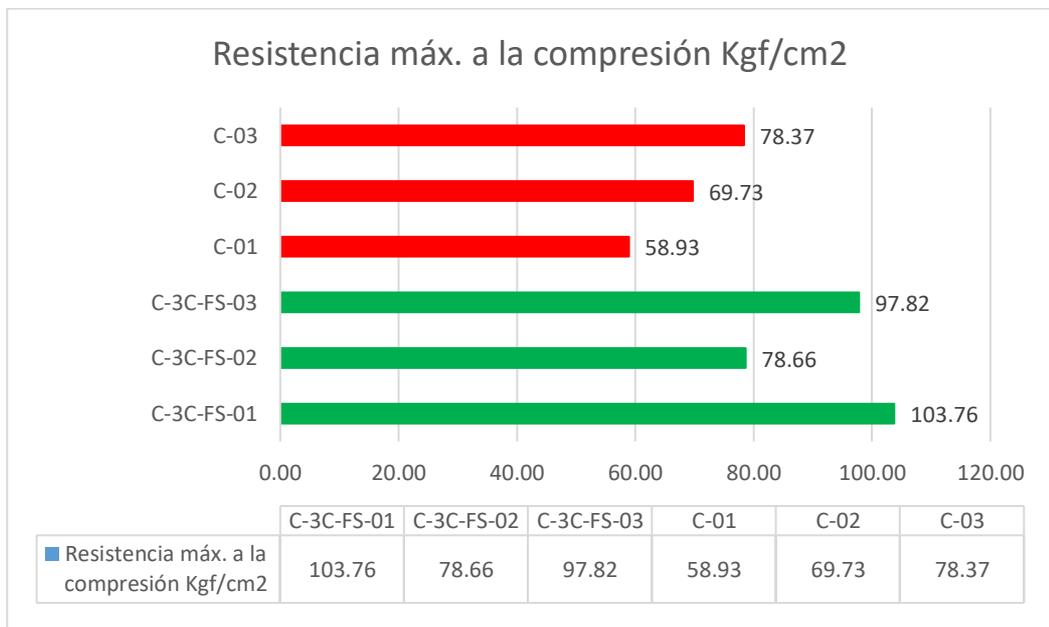


GRÁFICA 48, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Tlalpujahua, Autor FSP.

Podemos ver al realizar la comparativa de los datos obtenidos, que las muestras que cuentan con la aplicación del biomaterial, le proporcionan una mayor resistencia a la compresión a las muestras analizadas, en comparación con los testigos al natural que no cuentan con la aplicación.

COMPARATIVA DE PRUEBA DE COMPRESIÓN EN ROCA DEL BANCO DE COINTZIO				
MUESTRA	CARGA MAX. APLICADA Ton/cm2	CARGA MAX. APLICADA Kgf/cm2 (w)	área de contacto de la muestra cm2 (A)	Resistencia máx. a la compresión Kgf/cm2
C-3C-FS-01	2.62	2620	25.25	103.76
C-3C-FS-02	2.01	2010	25.55	78.66
C-3C-FS-03	2.47	2470	25.25	97.82
C-01	1.5	1500	25.45	58.93
C-02	1.81	1810	25.96	69.73
C-03	2.05	2050	26.16	78.37

Tabla 24, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Cointzio, Autor FSP.

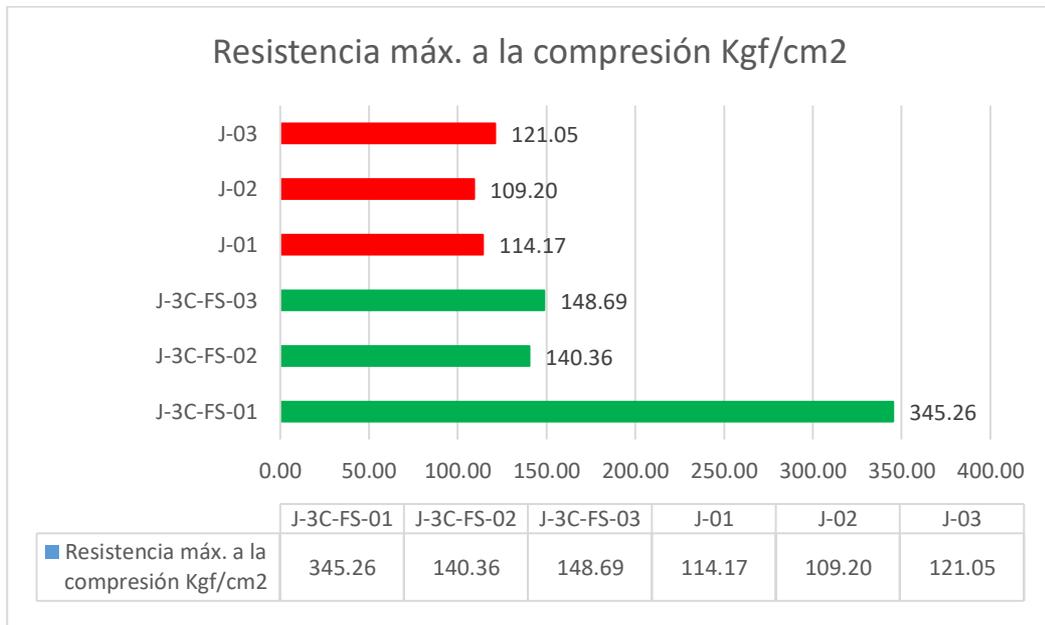


GRÁFICA 49, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Cointzio, Autor FSP.

Podemos ver al realizar la comparativa de los datos obtenidos, que las muestras que cuentan con la aplicación del biomaterial, le proporcionan una mayor resistencia a la compresión a las muestras analizadas, en comparación con los testigos al natural que no cuentan con la aplicación.

COMPARATIVA DE PRUEBA DE COMPRESIÓN EN ROCA DEL BANCO DE JAMAICA				
MUESTRA	CARGA MAX. APLICADA Ton/cm2	CARGA MAX. APLICADA Kgf/cm2 (w)	area de contacto de la muestra cm2 (A)	máx. a la compresión Kgf/cm2
J-3C-FS-01	8.77	8770	25.40	345.26
J-3C-FS-02	3.53	3530	25.15	140.36
J-3C-FS-03	3.68	3680	24.75	148.69
J-01	2.9	2900	25.40	114.17
J-02	2.74	2740	25.09	109.20
J-03	3.05	3050	25.20	121.05

Tabla 25, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Jamaica, Autor FSP.



GRÁFICA 50, Comparativa compresión de simple en rocas, banco de Jamaica, Autor FSP.

Podemos ver al realizar la comparativa de los datos obtenidos, que las muestras que cuentan con la aplicación del biomaterial, le proporcionan una mayor resistencia a la compresión a las muestras analizadas, en comparación con los testigos al natural que no cuentan con la aplicación.



IMAGEN 94, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 95, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 96, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 97, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 98, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 99, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 101, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 102, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 103, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 100, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 104, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 105, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.



IMAGEN 106, Prueba de resistencia simple en rocas, Autor FSP.

# BIOMATERIAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA ROCA IGNIMBRITA



iStock  
Credit: Blue Planet Studio

# CONCLUSIONES

# CAPITULO 04

---

---

- **CONCLUSIONES**
- **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

---

## CONCLUSIONES

Para finalizar esta investigación se presentan a modo de conclusiones y de manera conjunta: reflexiones conclusiones técnicas y escenarios utópicos, así como una breve recapitulación del trabajo realizado. Presentando una diversidad de ideas, las cuales se encuentran en estrecha relación, teniendo la misma finalidad.

Para conseguir proteger la roca ignimbrita, es indispensable tener conocimiento de la roca de una forma más especializada, saber interpretar su origen, conocer su composición y propiedades físicas y mecánicas, con la finalidad de que se pueda distinguir y hasta predecir su reacción ante fenómenos del deterioro y desgaste.

Para el correcto diagnóstico de los deterioros que sufre la roca ignimbrita en las construcciones donde es empleada, es conveniente tener en cuenta todos los aspectos implicados en su deterioro: desde su extracción en cantera hasta su evolución en el edificio, además de examinar el estado de alteración presente. En este análisis se separan los efectos observados, conocidos como daños o lesiones, de las causas a las que se atribuyen. Entre estas causas se diferencian los factores que pueden intervenir en el deterioro y los procesos desarrollados.

El diagnóstico de lesiones sufre la determinación del origen de los daños a partir de las lesiones observadas, con el fin prevenir dichos daños y reparar las lesiones. En el presente trabajo se exponen, de manera sintética, los aspectos relacionados con las causas que producen las lesiones, poniendo especial énfasis en el análisis de los daños ocasionados entrópicamente por el ser humano.

Los materiales pétreos naturales utilizados en la construcción –tanto en épocas pasadas como hasta fechas recientes– se sitúan entre los más abundantes en cada zona, ya que son éstos los que ha tenido más a la mano el hombre y los que normalmente presentan costos más bajos de explotación. Así, los bloques de roca con los que se han levantado los edificios monumentales proceden del entorno de la edificación. Actualmente se utilizan cada vez más las rocas ornamentales, en forma de losas de revestimiento, y su difusión es mucho mayor.

---

Las rocas son agregados de minerales, formados por procesos naturales, abundantes en la corteza terrestre; es decir, normalmente se presentan en grandes masas. Cuando las condiciones de explotación son favorables y pueden obtenerse bloques de una roca relativamente dura, coherente y que mantiene esas propiedades en el tiempo, se extrae la roca en canteras y, labrada por el hombre en talleres, se utiliza en construcción y decoración principalmente.

Los factores presentes o las variables que pueden intervenir en la alteración de la roca en los edificios, pueden incluirse en distintas categorías; unos son factores internos al material, es decir propios de la roca de la que procede la piedra, son los que permiten establecer su calidad. Otro género de factores –considerados *externos* al material– son las características del ambiente donde se encuentra inmersa la piedra, se conocen como agentes de alteración y determinan la agresividad del medio. Finalmente existe un tercer grupo que puede tener tanto peso como los anteriores, son los factores relacionados con la construcción (preparación de la roca, puesta en obra, situación en el edificio, relación con otros materiales, etc....).

La consecuencia de todos estos procesos es un cambio en el aspecto y en la naturaleza de la roca y, por tanto, en sus propiedades y comportamientos. El grado de modificación que sufre la piedra varía –de forma más o menos gradual– desde la superficie expuesta hacia su interior. El resultado son los daños o lesiones puestos de manifiesto en las superficies alteradas y, como es sabido, el estado de la roca en los edificios es importante por su función estructural y por su percepción estética.

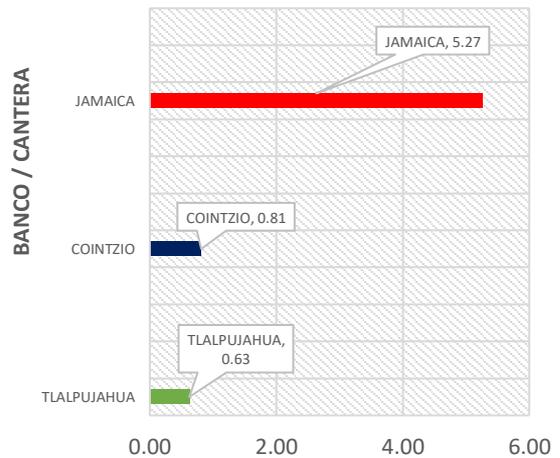
En el presente trabajo se realizaron diferentes pruebas a las rocas de tres bancos distintos, dos cercanos a la ciudad de Morelia, Cointzio, Jamaica y uno más ubicado fuera de los límites del municipio de Morelia Tlalpujahu. Si bien dentro de las construcciones tanto antiguas como modernas, podemos encontrar rocas procedentes de otros bancos, los tres enunciados con anterioridad son los más recurrentes en su aplicación en la actualidad en las nuevas construcciones y utilizadas para algún tipo de restauración o mantenimiento de edificaciones.

Cabe mencionar que las pruebas realizadas en el presente documento, se pueden clasificar en dos apartados, donde las dos primeras pruebas realizadas, se llevaron a cabo desde una perspectiva de un primer acercamiento para conocer las características, así como el comportamiento de la roca ignimbrita de los diferentes bancos, con la finalidad de entender de una forma más clara las características de la roca de estudio.

Las posteriores pruebas, se realizaron desde una postura más científica, apoyado en el manual de Análisis de materiales, resistencia de materiales, UMSNH, facultad de ingeniería civil departamento de materiales, laboratorio de materiales "ing. Luis Silva Ruelas". Con la finalidad de obtener datos más precisos, que permitieron realizar un análisis más exacto en los resultados.

En relación con lo anteriormente descrito, cabe mencionar que los datos arrojados por las diferentes pruebas realizadas, si bien no son iguales, pero después de su análisis tienen muchas similitudes. Uno de estos datos, es la constante de que la roca de Jamaica es la de mayor porosidad, seguida de la roca de Contzio, mientras que la roca de Tlalpujahua es la de mayor dureza y menor porosidad.

### Porocidad de rocas



GRÁFICA 51, Determinar el porcentaje de humedad en rocas, Autor FSP.

Es de suma importancia conocer este dato, ya que, basándose en él, se puede definir en una primera instancia, que las rocas con mayor porosidad tienden a absorber una mayor cantidad de agua ya sea por capilaridad, por cuestiones climáticas como la lluvia, incluso por la misma humedad presente en el medio ambiente.

Lo anterior toma relevancia, al saber que, por medio de la absorción de agua pueden atacar diferentes agentes, principalmente abióticos, como sales, minerales, líquenes,

---

la aparición de flora, etc. Los cuales ocasionan el deterioro paulatino y en ocasiones acelerado de la roca ignimbrita.

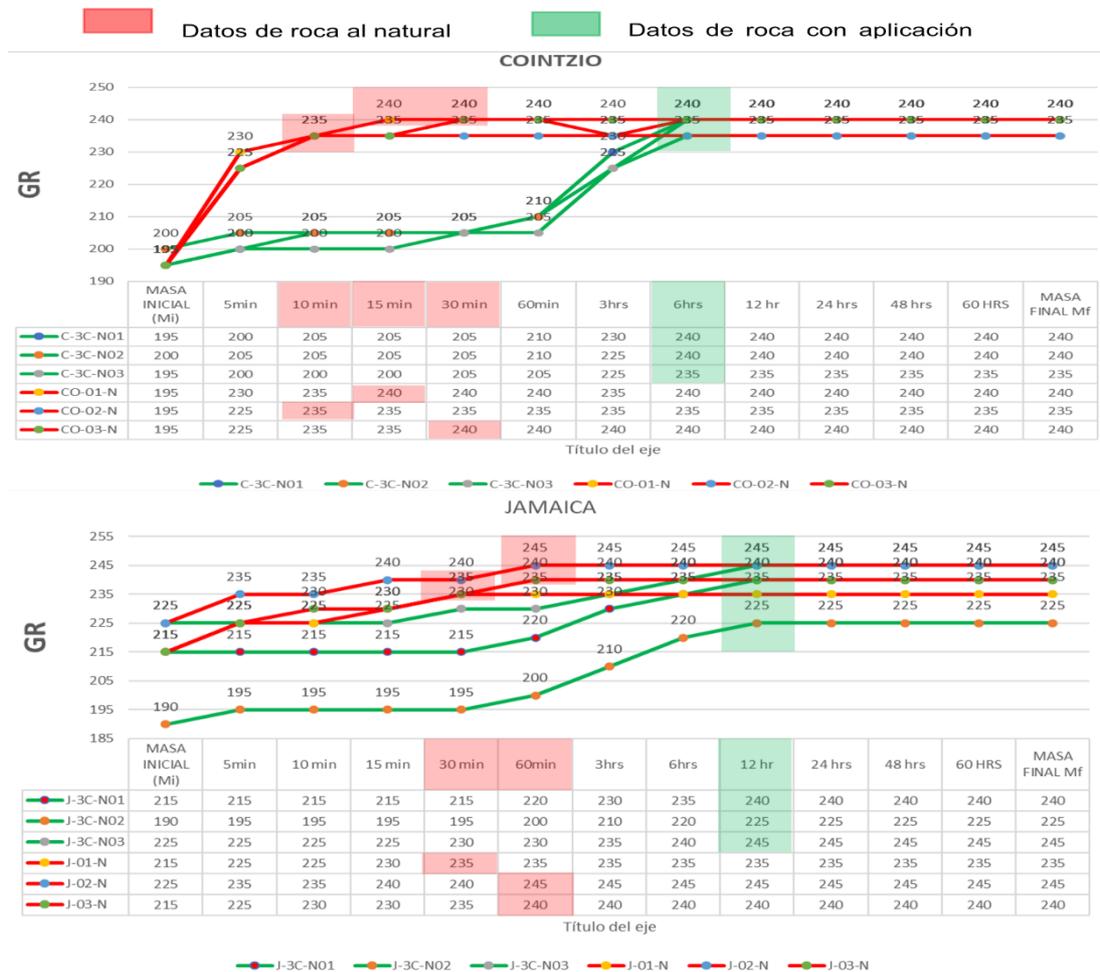
Con respecto a la producción del biomaterial materia de este trabajo, podemos decir que, fabricar **un biomaterial implica reutilizar materiales de forma creativa**, combinando ciencia, tecnología y arte para poder generar un producto que resuelva las necesidades del usuario. En este sentido podemos encontrar en la actualidad investigaciones dirigidas hacia la fabricación de Bioplásticos, Biotextiles, bloques de construcción etc.

Sin embargo, también están los biomateriales que son extraídos directamente de la naturaleza, que se han utilizado desde tiempos inmemoriales o bien desde que el ser humano se vio en la necesidad de emplearlos desde sus primeros refugios hasta la construcción de sus grandes edificaciones a lo largo de la historia, estos biomateriales **no pasan por ningún proceso de fabricación**, como la madera, el corcho, bambú o cáñamo, entre muchos más, los cuales se han dejado de utilizar por el sistema industrializado de fabricación de materiales sintéticos y la economía basada en el consumismo, que prevalece en nuestros días.

Con respecto a lo anteriormente descrito, es importante señalar que el diseño con biomateriales implica un proceso de investigación y desarrollo de conjunto, logrando que se generen infinitas posibilidades dentro del que hacer arquitectónico; permitiendo dar soluciones prácticas y eficaces a problemáticas que se presentan en la actualidad y que en su mayoría han sido provocadas por la misma industrialización actual en el mundo.

Es así que la cola de conejo al ser **un extracto proteico obtenido fundamentalmente de pieles de conejos destinados al consumo humano**, impide el ataque de microorganismos como lo son los hongos, bacterias y otros gérmenes, los cuales podemos encontrar en el agua, es así que, si estos se presentan en la roca ignimbrita, pudiendo ingresar a ella por medio de la absorción de agua, provocaran el deterioro de la misma, ya sea de forma gradual o acelerada.

Como se ha descrito con anterioridad y luego de realizar un análisis exhaustivo de los distintos datos obtenidos de las experimentaciones, se observa que dicha absorción de agua por parte de la roca, se retarda considerablemente al aplicar el biomaterial sobre las caras de la ignimbrita, destacando la protección en las muestras que provienen de bancos de roca con mayor porosidad, como lo demuestran las siguientes graficas.



GRÁFICA 52. Comparativa humedad de absorción por capilaridad entre roca natural y roca con tres capas de biomaterial, Bancos de Cointzio y Jamaica, Autor FSP.

Basados en lo anteriormente descrito, toma relevancia por que el biomaterial propuesto para la protección de la roca ignimbrita, debe de cumplir con la mayor protección que pueda brindar a la roca, aislándola de los agentes que puedan deteriorarla. Es así que, podemos determinar que el biomaterial estudiado y basándose en los resultados de las experimentaciones realizadas con anterioridad, se puede definir que el biomaterial que se aplicó a la roca ignimbrita (cantera), logra

---

dar una protección con respecto a la absorción de agua, que se presente en sus diferentes condiciones.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, el biomaterial aplicado a la roca retarda la absorción de agua en el caso de la roca de Cointzio **cinco horas y media** antes de llegar a su punto de saturación máxima, mientras que, en el caso de la roca correspondiente al banco de Jamaica, hay una diferencia de **doce horas** entre la roca natural y la tratada, antes de llegar a la saturación máxima. Lo anterior nos indica que existe un grado de protección considerable de la roca, al aplicar el biomaterial.

Lo anteriormente descrito es de suma importancia, ya que la roca al estar expuesta a las inclemencias del clima como la lluvia y al estar expuesta al natural, la aplicación del biomaterial ayudaría a disminuir considerablemente la absorción de agua, logrando con esto que el biomaterial repele de una forma natural la mayor cantidad de agua, evitando así que puedan acumularse en el interior de la roca microorganismos como hongos, bacterias, sales y otros gérmenes, que contribuyen al deterioro de la ignimbrita.

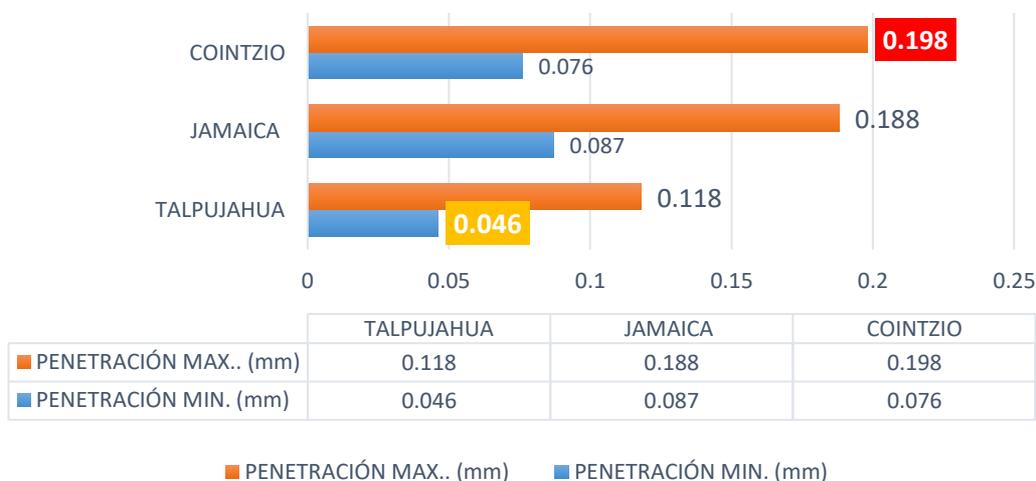
En este sentido, el biomaterial que se propone además de tener los beneficios que se plantearon, podría tener un doble propósito y servir un protector natural que ayude a la conservación de esta roca contra otros agentes que deterioran este material en diferentes aspectos.

Si bien estos resultados no son el objetivo principal de las experimentaciones, si es una parte muy importante para este material, ya que no se puede aplicar un material sobre la roca ignimbrita, que la selle a un 100%, si fuese el caso, esto ayudaría al deterioro acelerado de la roca. La roca ignimbrita al ser un material natural, requiere de humedad, sin embargo por la porosidad de la roca esta puede ser excesiva.

## Penetración del biomaterial en la roca

Podemos observar como la penetración del biomaterial hacia el interior de la roca es variable, dependiendo de la porosidad de las caras de las muestras. En el caso concreto del análisis que se realizó con las láminas delgadas, las mediciones realizadas por medio del software **IMAGEJ**, nos muestran que la penetración del biomaterial de las caras de las muestras de los bancos analizados (Cointzio, Jamaica y Talpujahuá), es variable y va desde los 0.046 mm hasta los 0.198 mm, dependiendo de la porosidad de la roca, como se muestra en la siguiente tabla.

### PENETRACIÓN MAX. Y MIN. DEL BIOMATERIAL



GRÁFICA 53, Penetración de biomaterial en roca ignimbrita, Autor FSP.

Con base en las mediciones realizadas con anterioridad, se puede concluir que, la aplicación del biomaterial materia de este trabajo, crea una **pátina protectora de 0.122 mm** en promedio. Este espesor es suficiente para retardar la absorción de agua de la roca, ya que mientras que la roca al natural llega a su grado máximo de saturación, en un tiempo de 30 a 60 min en las rocas más porosas (Cointzio, Jamaica), con la aplicación del biomaterial el tiempo en el que llega a su saturación máxima es de 6 hrs en el caso de Cointzio, mientras que, para la roca correspondiente a Jamaica, este tiempo se amplía hasta las 12 hrs.

---

Lo anteriormente descrito, nos muestra que al momento de aplicar el biomaterial en la roca ignimbrita y retardar el tiempo para llegar a su saturación máxima la roca, reduce por ende la cantidad de ml de agua en la misma, evitando que penetre en esta la menor cantidad hongos, bacterias, sales y otros gérmenes, que contribuyen al deterioro de la ignimbrita.

Es así que, el biomaterial al momento de tener como base un **extracto proteico obtenido fundamentalmente de pieles, hueso y cartilago de conejo**, siendo este de origen natural y que al momento de aplicarse en la roca ignimbrita, tiene una compatibilidad entre estos materiales, lo que permite que interactúen de forma conjunta, sin afectar física o mecánicamente a la roca.

Si bien el biomaterial complementa a la roca en su protección, por medio de esta pátina que le brinda el biomaterial, basados en las experimentaciones realizadas en este trabajo. Es importante mencionar que existe un panorama bastante amplio para su estudio y análisis, no sola para la protección de la roca, sino poder experimentar y determinar si este biomaterial puede ayudar a la consolidación de la ignimbrita, lo que permitiría, de ser esto posible, un panorama bastante amplio para su aplicación, ya que se podría aplicar tanto a roca catalogada como patrimonio, como a la roca aplicada en la actualidad en la construcción, sin olvidar que de igual forma se puede analizar si este biomaterial poder funcionar para la protección de otros materiales como, madera, ladrillo, otros tipos de rocas, sillares etc.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- I. Attias N, Danai O, Ezov N et al (2017) Developing novel applications of mycelium based biocomposite materials for design and architecture. In: Final COST FP1303 conference “Building with bio-based materials: best practice and performance specification”, Zagreb
- II. Brass House Amsterdam / mojo/architecten + DAMAST architects, 2018, <https://www.archdaily.com/896781/brass-house-amsterdam-mopet-architecten>
- III. Ellen Macarthur Foundation. (s.f.). What is a circular economy?. <https://ellen-macarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>  
Materiom. (2018). Inicio. <https://materiom.org/>
- IV. Engineered wood glass combination—innovative glazing façade system. Master Thesis, KTH Royal Institute of Technology. ISBN 978-91-7729-476-4
- V. Garduño-Monroy, V. & Israde-Alcántara, I.; (1999). Lacustrine record in volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (central western Michoacan, Mexico). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. Vol.15, Vol.15
- VI. Gobakken LR, Høibø OA, Solheim H (2010) Mould growth on paints with different surface structures when applied on wooden claddings exposed outdoors. *Int Biodeterior Biodegradation* 64:339–345
- VII. Gobakken LR, Vestøl GI (2012) Surface mould and blue stain fungi on coated Norway spruce cladding. *Int Biodeterior Biodegradation* 75:181–186
- VIII. H. Ayuntamiento de Morelia 2023.
- IX. [https://www.youtube.com/watch?v=wU1Zk7wqg&ab\\_channel=LABVABioma-teriales](https://www.youtube.com/watch?v=wU1Zk7wqg&ab_channel=LABVABioma-teriales)
- X. Javier Reyes, et al, “La degradación de materiales metálicos y pétreos en San Francisco de Campeche” en Elia Mercedes Alonso Guzmán (Coord.) *Conservación de materiales de interés histórico y artístico*, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2013, p. 118.
- XI. LAVBA Biomateriales. (2020). LABVA pregunta: ¿Qué son los biomateriales? [https://www.youtube.com/watch?v=wU1-eZk7wqg&ab\\_channel=LABVABioma-teriales](https://www.youtube.com/watch?v=wU1-eZk7wqg&ab_channel=LABVABioma-teriales)

- 
- XII. Lengsfeld K, Krus M (2004) Microorganism on façades—reasons, consequences and measures. IEA ANNEX 41 meeting, Glasgow, Scotland
- XIII. Mansour E, Ormondroyd GA (2017) Wool. In: Jones D, Brischke C (eds) Performance of bio-based building materials. Woodhead Publishing, pp 128–141
- XIV. Manuel González Galván, “Morelia; autenticidades y ocultamientos” en Morelia 460, cuatrimestral Mayo-Agosto, No. 2, 2001, pp. 23-28.
- XV. MUNARI, BRUNO, ¿“CÓMO NACEN LOS OBJETOS? APUNTES PARA UNA METODOLOGÍA PROYECTUAL”, EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 1983, 2016.
- XVI. Navarro Luis Manuel, Análisis de materiales, resistencia de materiales, UMSNH, facultad de ingeniería civil departamento de materiales, laboratorio de materiales Morelia, Michoacán, México, oct. 2011
- XVII. Paslinda Rodríguez Cruz, Julia Zea Álvarez, Corina Vera Gonzales, María Elena Talavera Núñez, EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE LA IGNIMBRITA CON POLISILOXANO FUNCIONALIZADO CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA”/febrero del 22.
- XVIII. ¿Qué es el Hempcrete?: Todo sobre el Hormigón de Cáñamo/ FLOWERTOWN” JULIO2020. <https://elplanteo.com/hempcrete-hormigon-de-canamo/#:~:text=El%20hempcrete%2C%20u%20hormig%C3%B3n%20de,por%20c%C3%A1%20B1amo%2C%20cal%20y%20agua>.
- XIX. TOTENART, “¿Qué es la cola de conejo y cómo se usa?”, noviembre 2020, <https://totenart.com/tutoriales/que-es-la-cola-de-conejo/>
- XX. Velázquez, A. (2018a, septiembre 27). Investigación experimental: Qué es, tipos y cómo realizarla. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/>