

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

GERMINACIÓN DE FRIJOL Y CHILE SOBRE JALES MINEROS
APLICANDO ZEOLITA Y COMPOSTA

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el DIPLOMA de
Especialización en Desarrollo Sustentable

Presenta:

Gemma Cristina Estrada Robles

Director de Tesina:

Dra. Juana Alvarado Ibarra

1942

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Página dejada intencionalmente en blanco

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

COORDINACIÓN DE PROGRAMA DEL POSGRADO EN SUSTENTABILIDAD
ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE / MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD



Hermosillo, Sonora, a 28 de septiembre del 2021

Dr. Javier Esquer Peralta
Coordinador del Posgrado en Sustentabilidad
P R E S E N T E . -

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el siguiente examen de posgrado:

Programa:	Maestría en Sustentabilidad:		Especialidad en Desarrollo Sustentable:	X
Alumno (a):	Gemma Cristina Estrada Robles			
Expediente:	220230104			
Fecha:	30 de septiembre de 2021			
Hora:	18:00 h			
Edificio y Aula:	Plataforma virtual Teams			

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dra. Juana Alvarado Ibarra	
SECRETARIO:	Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez	
VOCAL:	M.I. Miguel Ángel López Arriquivez	
SUPLENTE:	M.S. David Slim Zepeda Quintana	

A T E N T A M E N T E

MIEMBROS DEL JURADO

Página dejada intencionalmente en blanco

Para mi amado prometido Jesús Daniel.

AGRADECIMIENTOS

Es realmente imposible llegar a la cima sola, soy firme creyente de que somos el resultado de muchos esfuerzos de tantas personas en el pasado, presente y futuro. Apoyando, guiando y amando, así que nada de lo que está aquí escrito es mérito propio, quiero agradecer a mis padres Sandra Isabel Robles Gutiérrez y Jorge Estrada Duarte, por ser impulsores de todos mis proyectos, por motivarme y amarme siempre. A mi hermana Daria por su increíble paciencia y por alegrar mis días de flaqueza. A mis suegros Yolanda Tanori Aguirre y Martín Veliz Aguilar, por brindarme las herramientas y espacios disponibles dentro de su casa. Y sobre todo, a mi prometido Jesús Daniel Veliz Tánori, quien es el genio de tras de todo esto, quien me apoyó desde los cursos hasta el final, gracias por acompañarme en todo momento, por querer lo mejor para mi e impulsarme a ser mejor cada día.

Aprovecho también para agradecer a todos los profesores que participaron en mi formación académica sobre todo a la Dra. Juana Alvarado Ibarra, quien siempre estuvo para mí en todo momento, guiándome, motivándome e impulsándome a hacer mi mejor esfuerzo, muchas gracias Doctora por su paciencia y entrega. También agradezco al Coordinador de la Especialidad, el Dr. Javier Esquer por su paciencia y disposición durante todo ese proyecto, por impulsarme a seguir leyendo e investigando. A todos los miembros del comité de sinodales por sus aportes y comentarios para realizar este trabajo, a la Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez y a M.I. Miguel Ángel Lopez Arriquivez por su apoyo en todo el tiempo durante este proyecto. Agradezco al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales ya que sin el apoyo de la donación de zeolita no hubiera sido posible el tratamiento con ella en este proyecto.

Agradezco enormemente al Licenciado Sergio Olmos, quien fue pieza clave en este proyecto gracias a su donación de la muestra de jale minero, y así como también establecer la vinculación entre empresa y universidad. A la Dra. Silvia Burruel por el apoyo con el análisis electrónico de barrido. De igual manera agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, quien por un año financió mis estudios a través de la beca escolar con No. CVU 1077053.

RESUMEN EJECUTIVO

La industria minera es considerada como una de las más importantes en el país, y ha estado presente durante mucho tiempo, sobre todo con una gran influencia en la economía. El estado de Zacatecas es considerado el primer productor de plata a nivel nacional. Por ello, también se convierte en un gran generador de problemáticas ambientales, sobre todo por el uso, transporte y manejo de jales mineros. Este proyecto presenta una propuesta de atención al problema de los jales mineros, para minimizar el impacto ambiental y social generado. Se experimentó con jales mineros de una mina en el estado de Zacatecas, buscando optimizar la germinación de semillas de frijol y chile, experimentando a nivel laboratorio con reactores enriquecidos de zeolita y composta. Se realizó una investigación literaria del 2016-2021. Se diseñó un proceso experimental de diez muestras por triplicado, para evaluar la mejor composición para la germinación, se monitoreo el experimento diariamente durante 13 semanas con el objeto de evaluar la germinación y el desarrollo de las plantas. Se encontró que la germinación de frijol se da de forma óptima con la relación de 50% de zeolita, 30% de composta orgánica y 20% de jale minero, con un tiempo de germinación de 6 semanas. Para la semilla de chile no se obtuvieron resultados durante el periodo de estudio, ya que no se observó un cambio visible. Se realizó un análisis por microscopía electrónica de barrido a la raíz, el tallo y las hojas de una muestra para encontrar elementos metálicos en el cuerpo de la plántula. Se concluyó que el aporte de la zeolita y la composta permite optimizar el proceso de germinación de las semillas de frijol y con ello se tiene una alternativa para minimizar el impacto al ambiente y a la salud, causado por una mala disposición de los jales mineros.

ABSTRACT

The mining industry is considered one of the most important in the country, and has been around for a long time, especially with a great influence on the economy. The state of Zacatecas is considered the first silver producer nationwide. Therefore, it also becomes a great generator of environmental problems, especially due to the use, transport and handling of mining tailings. This project presents a proposal to address the problem of mining tailings, to minimize the environmental and social impact generated. It was experimented with mining tailings from a mine in the state of Zacatecas, seeking to optimize the germination of bean and chili seeds, experimenting at the laboratory level with reactors enriched with zeolite and compost. A literary investigation was carried out from 2016-2021. An experimental process of ten samples in triplicate was designed to evaluate the germination and development of the plants. It was found that bean germination occurs optimally with the ratio of 50% zeolite, 30% organic compost and 20% mining tailings, with a germination time of 6 weeks. For the chili seed, no results were obtained during the study period, since no visible change was observed. A scanning electron microscope analysis was performed on the root, stem and leaves of a sample to find metallic elements in the body of the seedling. It was concluded that the contribution of zeolite and compost allows optimizing the germination process of bean seeds and with this there is an alternative to minimize the impact on the environment and health, caused by poor disposal of mining tailings.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO ESTRATÉGICO	2
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
IV. ANÁLISIS LITERARIO.....	3
V. METODOLOGÍA.....	10
5.1 Tipo de estudio	10
5.2 Diseño metodológico.....	10
5.3 Selección de sitio	10
5.4 Obtención de muestras	11
5.5 Preparación de muestras	12
<i>Preparación de muestra de jales mineros</i>	12
<i>Preparación de muestra de Zeolita</i>	13
<i>Preparación de la composta</i>	13
5.6 Alcances	17
5.7 Pregunta de investigación	17
5.8 Objeto de estudio	17
5.9 Selección del objeto de estudio.....	17
5.10 Selección y tamaño de muestra	17
5.11 Instrumentos de recolección y manejo de datos.....	18
VI. RESULTADOS	19
6.1 Análisis Literario.....	19
6.2 Proceso experimental	19
Medición y variables de respuesta semanales	19
Aporte de la zeolita y la composta.....	22
Evaluación de la aportación de la zeolita	24
Evaluación de la aportación de la composta	27
VII. DISCUSIÓN.....	31
VIII. CONCLUSIONES	32
IX. RECOMENDACIONES.....	33
X. REFERENCIAS.....	34
XI. ANEXOS.....	37

Índice de Tablas

Tabla 1. Reactores testigo	15
Tabla 2. Composición de reactores de semilla de chile.....	16
Tabla 3. Composición de reactores de semilla de frijol.....	16
Tabla 4. Composición de reactores de semilla de frijol y chile.....	16
Tabla 5. Consultas bibliográficas	19
Tabla 6. Seguimiento de las observaciones semanales	19
Tabla 7. Riego semanal de cada reactor.....	21
Tabla 8. Crecimiento semanal de cada reactor	23
Tabla 9. Identificación de reactores con buena composición.....	23
Tabla 10. Cuantificación 1 de elementos encontrados en muestra 1-Z7	25

Tabla 11. Cuantificación 2 de elementos encontrados en muestra 1-Z7	26
Tabla 12. Cuantificación 1 de elementos encontrados en muestra 1-Z2	28
Tabla 13. Cuantificación 2 de elementos encontrados en muestra 1-Z2	29

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de Bloques General	10
Figura 2. Diagrama de bloques de preparación de las muestras.....	12
Figura 3. Simulación de la geometría de la toma de muestra.....	12
Figura 4. Composición sólidos de la muestra de jale minero.....	13
Figura 5. Prueba de Viabilidad	14
Figura 6. Diseño experimental de reactores.....	15
Figura 7. Resultado 1 obtenido de la microscopia de barrido en muestra 1-Z7	24
Figura 8. Spectrum 1 en muestra 1-Z7.....	24
Figura 9. Resultado 2 obtenido de la microscopia de barrido en muestra 1-Z7	25
Figura 10. Spectrum 2 en muestra 1-Z7.....	26
Figura 11. Resultado 1 obtenido de la microscopia de barrido en muestra 1-Z2	27
Figura 12. Spectrum 1 en muestra 1-Z2.....	27
Figura 13. Resultado 2 obtenido de la microscopia de barrido en muestra 1-Z2	28
Figura 14. Spectrum 2 en muestra 1-Z2.....	29

I. INTRODUCCIÓN

Los jales provenientes de los procesos mineros están catalogados como uno de los principales elementos que dañan la flora y fauna, esto se ha visto en algunos estudios, como el realizado para la localidad de Huautla, Morelos, en donde se demostró que los sustratos son afectados negativamente en sus propiedades fisicoquímicas, al presentarse una reducción en la porosidad, cambios en la conductividad eléctrica y un aumento en la acidez del suelo (Muro, 2020). Otra investigación, es en torno a las plantas, ya que también presentan afectaciones como la acumulación de metales, tal es el caso de *Acacia farnesiana*, ya que se encontró un daño genético aproximadamente 17 veces mayor en el tejido foliar de los individuos expuestos a los jales (Santoyo-Martínez, 2016). Además, los jales mineros pueden generar problemas en la salud de los seres humanos, principalmente, al filtrarse por el subsuelo elementos tóxicos y llegar a los ríos cercanos, de los cuáles muchas personas beben agua (Rodríguez, 2016).

El estado de Zacatecas ocupa el primer lugar como productor de plata a nivel nacional y es el segundo productor más importante de oro en México (Solleiro y Figueroa, 2018). La minería ha sido el pilar en el desarrollo económico en el estado, con ello se fundó prácticamente la totalidad de la población de Fresnillo, Concepción del Oro, la capital del estado (SGM, 2018).

Este proyecto inicia con el vínculo fundamentado en el ODS 17. Por acuerdo de confidencialidad, no se dará información de la empresa. Posteriormente, la empresa fue la responsable de tomar la muestra representativa del jale minero, tomando muestra de cinco puntos simples y formar una muestra compuesta, misma que fue enviada a la Ciudad de Hermosillo, vía paquetería, ya que es el lugar en el que se desarrolló el proyecto.

En el capítulo IV, se presenta el análisis literario, el cual se formó por la revisión de 33 investigaciones desde el aspecto social, ambiental y de la salud humana con fechas del 2016-2021 y 8 investigaciones realizadas antes del 2016. Posteriormente se plantearon el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales se presentan en el capítulo dos. En el capítulo cinco se muestra una metodología de ocho pasos, donde se explica a detalle la manera en la que se trabajó con las materias primas, las cuales son la zeolita, la elaboración de la composta y el jale minero. Los resultados se explican detalladamente en el capítulo seis, así como la discusión de éstos. Posteriormente se presentan las conclusiones y las recomendaciones.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Prevenir, eliminar y/o reducir, potencialmente, los impactos ambientales generados por los jales mineros, a través del uso de materiales naturales que favorezcan la germinación de semillas.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis literario del estado del arte sobre los diferentes factores que influyen en la recuperación de jales mineros, usando composta, zeolita natural y semillas como indicadores de recuperación, entre otros tópicos relacionados.
- Diseñar un proceso experimental que induzca la germinación de vegetales en jales mineros tratados con zeolita y composta.
- Evaluar el aporte de la zeolita y la composta, utilizando semillas de frijol y chile como indicadores de la recuperación de los jales mineros.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 La Minería en México

La [industria minera](#) es uno de los sectores más importantes a nivel mundial por ser el proveedor de materias primas a un gran número de industrias (Solleiro, Mejía y Figueroa, 2017) Esta industria presenta un mayor peso económico cuando se le relaciona con sectores como la manufactura, construcción, agrícola, comercial, química etc. (Solleiro y Figueroa, 2018). México, es el sexto lugar a nivel mundial en la inversión minera y se encuentra entre los diez principales países productores, siendo el primero en plata, séptimo en oro y décimo en cobre (Adame, s/f).

El desarrollo de [la minería en México](#) ha presentado un importante avance en los últimos veinticinco años, fomentado por el aumento de los precios internacionales de los metales (Casado Izquierdo et al., 2019). La minería en México incluye desde la prospección hasta la recuperación y aprovechamiento de minerales, prácticamente todo el país cuenta con yacimientos mineros (Marnoto, 2018). Algunos yacimientos importantes del país, principalmente en metales preciosos como el Oro (Au), Plata (Ag), Cobre (Cu) y Zinc (Zn), se encuentran en la sierra de Zacatecas (SGM, 2018).

[La minería en el estado de Zacatecas](#) ocupa el primer lugar como productor de plata a nivel nacional al contribuir con el 42% de la producción total y siendo también el segundo productor más importante de oro en México, aporta el 27.5% de la producción a nivel nacional (Solleiro y Figueroa, 2018). Es el segundo estado más importante del país en cuanto a su valor en la producción minera (Camimex, 2021). La minería ha sido el pilar en el desarrollo económico en el estado de Zacatecas, con ello se fundó prácticamente la totalidad de la población de Fresnillo, Concepción del Oro, la capital del estado (SGM, 2018).

[La minería del Oro \(Au\)](#) representa el mayor valor económico en la producción de la minería mexicana desde la segunda mitad de la década de los años 2000 (Casado Izquierdo et al., 2019). Convirtiéndose con el tiempo en el mineral más importante en función del número de proyectos de extracción, por las utilidades obtenidas de su comercialización (Adame, s/f). Durante la explotación minera de Au y Ag generalmente se realiza a tajo o cielo abierto, utilizando un proceso metalúrgico de extracción mediante el método de cianuración para la obtención del concentrado de Au y Ag (González et al., s/f).

El proceso metalúrgico comprende las etapas de trituración, molienda, lixiviación o flotación de minerales y la electro-depositación, en este paso se obtiene un concentrado rico en minerales metálicos, pueden ser Oro (Au), Plata (Ag) y Cobre (Cu) para posteriormente pasar a la etapa de refinación (Espín, Jarrín y Escobar, 2017). Esto genera materiales o residuos, provenientes de las etapas de lixiviación o flotación que por lo general no presentan valor económico para las empresas mineras (Gavilán-García et al., 2020). En México, a estos residuos generados se les conoce comúnmente como “jales mineros” (Velázquez, Jiménez y Sánchez, 2017).

4.2 Jales mineros sus impactos a la salud y el medio ambiente

Los jales mineros son restos de grano fino que al ser recolectados se depositan comúnmente sin tratamiento previo en presas dentro de las minas (Salas Urviola et al., 2020). A diferencia de los suelos naturales, carecen de materia orgánica y nutrientes necesarios para la vida, no permitiendo así el crecimiento y una sucesión de especies vegetales. (Muro, 2020). Son concentraciones de polvo resultantes de diversos procesos de extracción, en donde se han obtenido concentrados de minerales de interés económico como: Au, Ag, Cu, Pb y Zinc (Velázquez, Jiménez y Sánchez, 2017).

Los principales problemas ambientales de los jales mineros se asocian a su manejo, transporte y deposición, debido a la contaminación que pueden producir durante estas maniobras al medio ambiente principalmente en ríos, arroyos y mantos freáticos (Espín, Jarrín y Escobar, 2017). Al depositarse y secarse por factores naturales los residuos se dispersan por agua y viento, y pueden ser depositados en el sistema hidrológico (González et al., s/f); además pueden ocasionar la contaminación de aguas superficiales, acidificación de aguas de áreas aledañas, incrementos en los cambios morfológicos del relieve, contaminación atmosférica y generación de lluvias ácidas. (Muro, 2020).

Los residuos tóxicos generados por el proceso de los jales mineros pueden filtrarse al subsuelo y llegar a los ríos cercanos, de los cuáles muchas de las poblaciones aledañas de fauna y seres humanos beben el agua (Rodríguez, 2016). Una de las investigaciones de los impactos generados por metales pesados, en la localidad de Huautla, Morelos, por ejemplo, en la que demostró que los sustratos son afectados negativamente en sus propiedades fisicoquímicas, al favorecer una reducción en la porosidad, en la conductividad eléctrica y un aumento en la acidez (Muro, 2020). Otra investigación, es en torno a las plantas, ya que también presentan afectaciones como la acumulación de metales, tal es el caso de *Acacia farnesiana*. Se encontró

en ese estudio un daño genético aproximadamente 17 veces mayor en el tejido foliar de los individuos expuestos a los jales (Santoyo-Martínez, 2016).

En la misma localidad existen reportes de las [afectaciones a la fauna](#) derivados de los jales, como efectos en roedores en donde presentan un mayor número de rompimientos de cadena sencilla de ADN, tanto en machos como en hembras, siendo éstas últimas las que presentan mayores niveles de daño al ADN (Muro, 2020). Galván-Ramírez (2020) analizó la estructura de la comunidad de roedores asociados a los jales, descubriendo que la composición (*Baiomys musculus*, *Liomys irroratus*, *Peromyscus melanophrys* y *Reithrodontomys fulvescens*) cambia significativamente entre 38 sitios de estudio y que estos cambios son ocasionados por la mezcla de metales pesados bioacumulados. Así como provocan daños en la salud de la flora y fauna, de la misma manera pueden ocasionar enfermedades graves en los seres humanos como el cáncer tipo leucemia en la población (Adame, s/f).

Las [afectaciones en la salud en las poblaciones aledañas](#) de esta localidad, fueron cambios en las células del epitelio bucal ya que utilizan el agua para beber en esta zona, generando daño genético en linfocitos y mutaciones cromosómicas en los pobladores de esta zona (Muro, 2020). También la dispersión por viento de los jales mineros provoca riesgos a la salud, las partículas de menor tamaño (<100 mm) pueden ser inhaladas, y cuando miden <10 mm pueden acumularse en el sistema respiratorio y producir daños físicos si son insolubles y toxicidad si se solubilizan (Gavilán-García et al., 2020). Una estrategia viable de mitigación de las afectaciones del medio ambiente y de la salud de las poblaciones, es una gestión adecuada de los residuos, aplicando tecnología ecológica y sustentable, económicamente viable (Espín, Jarrín y Escobar, 2017)

4.3 Biorremediación como alternativa de mitigación de impactos ambientales en la minería.

[La utilización de tecnologías de remediación](#), es una pieza estratégica y fundamental para mitigar la contaminación de los suelos mineros, ésta se da de forma antropogénica por el lixiviado de minerales, el mal uso del transporte, manejo y depósito de jales mineros (Avila González, 2017). Estas tecnologías y técnicas son una alternativa para las problemáticas de la contaminación de suelos por residuos peligrosos (Trejo, 2002). Antiguamente, siempre se han utilizado técnicas de recubrimiento para la remediación de jales mineros, esto es recubrir con materiales no

contaminados para disminuir el impacto ambiental que genera, siendo un procedimiento costoso por las grandes cantidades que se requieren (González et al., s/f).

La [remediación de suelos contaminados](#) consiste en la contención, retiro o destrucción de las sustancias contaminantes, permitiendo con ello la recuperación de su funcionalidad (Avila González, 2017); para ello se pueden implementar distintas técnicas de remediación que deben responder al tipo de contaminación que se presenta, así como al estado que se encuentre el suelo, también es muy importante conocer las características para poder elegir la técnica más apropiada (Zuñiga Blanco, s/f). La fitorremediación es una alternativa de la biorremediación que soluciona la problemática ambiental de los jales mineros, se basa en el uso de plantas que acumulan concentraciones de metales en sus tejidos, conteniendo, removiendo o neutralizando metales pesados (Suaña Quispe, 2017).

La [fitorremediación](#) es una estrategia de remediación más comunes y utilizadas para mitigar los impactos de diferentes actividades mineras (Méndez, Parrado y Henríquez, 2020). Esta alternativa no solo es efectiva, sino que además es más económica en comparación con técnicas convencionales como el recubrir la zona con materiales no contaminados (Méndez, Parrado y Henríquez, 2020). Es una técnica muy potente que capta nueve principales metales principales: Ba, Cd, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn, Vn, Sn (Suaña Quispe, 2017)

El [uso de vegetales para la remediación de suelos](#), ha demostrado ser la alternativa más amigable con el medio ambiente (Huiza Acosta, 2019). Estas propuestas permiten tener opciones equilibradas entre la ingeniería y las técnicas metalúrgicas de los proyectos mineros, para reducir la contaminación de metales pesados presentes en jales mineros (Espín, Jarrín y Escobar, 2017). Estas técnicas son altamente recomendables ya que no alteran los ecosistemas, son amigables y sostenibles con el medio ambiente (Munive et al., 2018).

Diversos [estudios que validan la fitorremediación](#) como alternativa para remediar los suelos contaminados por jales mineros y también como una técnica para evitar la contaminación posterior al cierre de mina (Espín, Jarrín y Escobar, 2017). Siendo así que en el estado de Puebla, se ha utilizado el frijol (*Phaseolus vulgaris*), acelga (*Beta vulgaris*) y perejil (*Petroselinum crispum*) para la extracción de plomo y cadmio, también en Guanajuato se estudió la eficacia de

la *Acacia farnesiana* en la remediación de jales mineros con resultados excelentes para la remediación y revegetación en zonas contaminadas (Avila González, 2017).

4.4 Compostaje y zeolita para la remediación de suelos

Las zeolitas son un conjunto de minerales del grupo de los aluminosilicatos que contienen una estructura cristalina bien definida y sus principales elementos son: Aluminio (Al), Silicio (Si), Oxígeno (O) y cationes intercambiables que la hacen ideal para la eliminación de metales (Sáez, 2020). Generalmente se pueden encontrar como un subproducto de la alteración de minerales autigénicos, con baja temperatura y presión especial, ya sea como un mineral primario en los sistemas metamórficos o como mineral secundario en lugares producidos por efecto del intemperismo y también es frecuente encontrarlas en zonas hidrotermales (Rojas, 2021). En México, los principales yacimientos de zeolitas se encuentran en el estado de Sonora, Oaxaca, San Luis Potosí, Puebla y Guanajuato (Felix, 2017).

Las principales aplicaciones industriales de las zeolitas naturales son como adsorbentes o intercambiadores iónicos, así como catalizadores, esto debido a sus propiedades fisicoquímicas (Sáez, 2020); también se han agregado a los suelos agrícolas para remediar los suelos, en su estado físico y sus propiedades químicas para que de esa manera se beneficie el crecimiento de las plantas (Sombra, 2017). Las zeolitas naturales se emplean en la remoción de metales pesados en efluentes minero metalúrgicos, en el tratamiento de drenaje ácido de mina y de roca, para la adsorción de vapores de mercurio en hornos de copela quemadores de amalgamas y también en el tratamiento de suelos contaminados por radiación y de licores radioactivos provenientes de centrales nucleares (Fernández, s/f).

El compostaje, también es una excelente técnica para remediación de suelos, ya que estimula la actividad de biodegradación aerobia y anaerobia de microorganismos, que convierte compuestos orgánicos tóxicos en sustancias inofensivas, mejora la fertilidad y estructura del suelo, además de que protege de la erosión (Carranza, 2018). Es un proceso, en el cual se convierte los residuos orgánicos en materia orgánica estable, en donde las principales fuentes son el tratamiento de residuos agropecuarios, desechos orgánicos de los hogares y los residuos municipales (Munive, 2018). El uso de la composta puede disminuir el impacto ambiental de los derrames por petróleo y sus derivados (Jara, 2015).

Las ventajas del compostaje como biorremediación, son maximizar la eliminación del contaminante, y producir una composta que pueda remediar suelos contaminados (Martínez Sepúlveda, 2018). Posee la característica de enmendar el suelo contribuyendo a la estabilidad de su estructura, aumentando la capacidad de retención de agua, mejorando su porosidad y aumentando la infiltración y la permeabilidad (Munive, 2018). Al aplicarse composta al suelo, este promueve el crecimiento de raíces y la absorción de nutrimentos logrando así unas raíces fuertes y un crecimiento sano en las plantas (Jasso, 2020).

La remediación de suelos con composta se puede lograr al optimizar la disponibilidad de nutrientes y también al ser mezcladas con sustratos pueden mejorar las propiedades físicas y químicas de estos mismos (Jasso, 2020). El compostaje puede emplearse para la remediación de suelos siempre y cuando se tenga en cuenta las condiciones de humedad, temperatura, pH, aireación y relación carbono-nitrógeno (Martínez Sepúlveda, 2018), Existen evidencias de investigaciones pilotos y a gran escala que demuestran que el compostaje es una excelente solución para recuperación de suelos contaminados por metales pesados, solventes, explosivos y pesticidas, además de ser muy bajo costo y tecnológicamente eficaz (Jara, 2015).

4.5 Efectividad de captación de elementos pesados de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*

Existen diversas especies vegetales para remediar suelos contaminados por elementos pesados, entre ellas está el chile (*Capsicum annuum*) que es un ingrediente fundamental y representativo de la dieta alimenticia de los mexicanos (Jasso, 2020). Es originario de América, con una gran importancia por su amplia difusión e importancia económica, es el quinto cultivo hortícola en cuanto a superficie cultivada se refiere y el octavo según la producción total, a nivel mundial (FAO, 1991). Además de su consumo, existe una variedad de usos industriales, ya que es materia prima para la obtención de colorantes y de oleorresinas con fines industriales. (Castro, 2013)

El cultivo de chile (*Capsicum annuum*) se encuentra ligado íntimamente a los de maíz, calabaza y frijol, los cuales le han dado sustento a la población e identidad a las culturas ancestrales (Jasso, 2020). Según Castro (2013) al cosecharse en suelo contaminado no micorrizado (MP) es tolerante para Pb, Cd, Cu. Esta especie se adapta a suelos compuestos de elementos pesados, lo que brinda una gran posibilidad de ser utilizada para fitorremediación (Avila González, 2017).

En la literatura se reporta [investigaciones que avalan a la especie \(*Capsicum annuum*\)](#) presenta una gran capacidad de absorción de elementos pesados en las raíces, así como también que en algunos tratamientos la acumulación de estos contaminantes fue mayor en tallo y hoja (Castro, 2013). En ciertos cultivos de la ciudad de México, encontró Zn a nivel tallo mayor en cantidades de 1 000 mg/kg, así como también Pb y Cu en la raíz (Avila González, 2017). Además posee una característica captadora capaz de concentrar Mg en las raíces, limitando la translocación de mercurio total a tallos, hojas y frutos (Pérez-Vargas, Vidal-Durango y Marrugo-Negrete, 2014).

[El frijol \(*Phaseolus vulgaris*\)](#) es la leguminosa alimenticia más importante en el mundo, presenta una fuente importante de proteínas (Morales-Santos et al., 2017). Al cultivarse el frijol posee una capacidad de acumulación de Pb en cantidades de cientos de partes por millón, por lo tanto puede ser de utilidad en el uso de fitorremediación (Hernandez, 2001). Su cultivo es muy efectivo ya que produce biomasa que hace eficiente el proceso de remediación, y presenta una gran ventaja en producir biocombustible y remediar tierras contaminadas (González, s/f).

Existen [investigaciones acerca de la efectividad de captación de elementos pesados](#) del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*), donde se han utilizado aplicaciones de extracto foliar para concentrar los contenidos de plomo del suelo en donde se cultiva frijol (*Phaseolus vulgaris*) logrando un notable mejoramiento en el estrés ocasionado por este elemento a través de la activación del sistema antioxidante de las raíces del frijol (Castebianco, 2018). Así pues, los autores Sarret y Col (2001) establecieron que esta especie es acumuladora de plomo y zinc, además se ha demostrado que las semillas de frijol germinan en sustratos contaminados con soluciones de Pb de hasta 2000 ppm (Resultados, 2002).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

Se empleó el tipo de estudio cuantitativo entendiéndose que los estudios cuantitativos se basan en investigaciones que son medibles (Sánchez, 2019), como por ejemplo la experimentación de todo este proyecto.

5.2 Diseño metodológico

El diseño que se realizó en este proyecto fue totalmente un estudio experimental. Se presenta en la figura 1, un diagrama que resume los bloques consecutivos en la ejecución del proyecto.



Figura 1. Diagrama de Bloques General

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe cada uno de los bloques del diagrama:

5.3 Selección de sitio

La muestra de jales mineros se obtuvo de una mina del Estado de Zacatecas. Ésta se seleccionó por conveniencia, ya que respondieron a las necesidades de tomar y enviar la muestra a la Ciudad de Hermosillo. El estado de Zacatecas se caracteriza por tener un clima templado, con temperaturas promedio de 1°C a 26°C. Para realizar la experimentación se seleccionó una casa habitación en la ciudad de Hermosillo, Sonora. La ciudad presenta un clima desértico, seco, con temperaturas promedio de una máxima de 33 °C y mínima de 8°C. La variación de temperaturas, según la información meteorológica se presenta en los anexos 1- 7. La experimentación con los reactores se comenzó el 22 de febrero del 2021 y se concluyó el 10 de mayo del 2021, el motivo de selección de este sitio fue principalmente por la situación de pandemia mundial causada por

el COVID-19. El sitio cuenta con las características de ser un espacio abierto, con buena circulación de aire, estar techado y no presenta peligros de animales que pudieran interferir con la experimentación del proyecto y la calidad de vida de los reactores, siendo este, además, un jardín que se cree es muy adecuado para la proliferación de plantas.

5.4 Obtención de muestras

En este proyecto se trabajó con cinco materiales, que se obtuvieron de la siguiente manera:

Jales Mineros

La toma de muestra de jales mineros se realizó el 15 de febrero de 2021, donde su lugar de origen es en una mina del estado de Zacatecas. En donde se tomaron cinco muestras puntuales para formar una muestra compuesta. Para el muestreo se siguió la NMX-AA-132-SCFI-2016. Posteriormente se envió vía terrestre por paquetería a la ciudad de Hermosillo, recibándose el 17 de febrero del presente año.

Composta

Para elaborar la composta, se recolectaron por dos semanas los residuos orgánicos producidos por una familia de seis integrantes. Los residuos se conformaron, principalmente, por cáscara de huevo, café, cáscaras de verdura y fruta.

Zeolita

La muestra de zeolita fue proporcionada por el laboratorio de química ambiental del departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora. La zeolita se identifica como una chabacita, obtenida del yacimiento del municipio de Divisaderos del estado de Sonora (Alvarado, 2014),

Semillas de frijol y chile

Se compraron chiles y frijoles como parte del consumo alimentario de la familia mencionada en párrafo anterior y de estos productos se obtuvieron las semillas a usarse en este proyecto.

Materiales para la experimentación

Para preparar los reactores se requirieron 50 vasos de plástico, un caudín para perforar los vasos, báscula de alimentos, plumón, cinta métrica, hojas de papel bond de color blanco, libreta y dispositivo para toma de fotografía (cámara y/o celular).

5.5 Preparación de muestras

En el diagrama de la figura 2, se presenta el camino general para la preparación de cada una de las muestras.

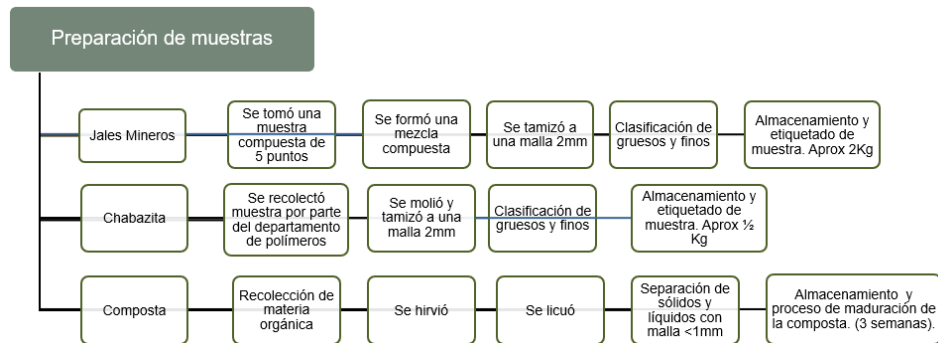


Figura 2. Diagrama de bloques de preparación de las muestras.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explica detalladamente las acciones de cada bloque:

Preparación de muestra de jales mineros

Se tomaron 5 muestras puntuales con las dimensiones mostradas en la figura 3. Posteriormente se mezclaron y se formó una muestra compuesta de 5 kg, misma que fue enviada por vía terrestre a la Ciudad de Hermosillo, Sonora. El procedimiento de la toma de la muestra se presenta en el apéndice 1. La muestra se colocó una bandeja y por encima de ésta se colocó una malla tipo mosquitera con un claro de malla de 2mm y se comenzó a “cernir” la muestra, con el objetivo de separar los gruesos y finos, obteniendo aproximadamente 2 kg de material fino de jales mineros, se almacenó en una bolsa para muestras de roca y se etiquetó con los siguientes datos: fecha, origen, peso y nombre de la muestra. Este procedimiento podemos observarlo detalladamente en el anexo número 2.

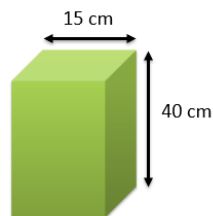


Figura 3. Simulación de la geometría de la toma de muestra

Fuente: Elaboración propia

Después, se determinó la composición de arenas, arcillas y limo, usando la técnica de agregar un poco de muestra a un recipiente cilíndrico con agua, dejar reposar por 24 h y después medir las alturas del material sedimentado, obteniendo de forma semicuantitativa la composición porcentual de arenas, limos y arcilla, como se aprecia en la figura 4.

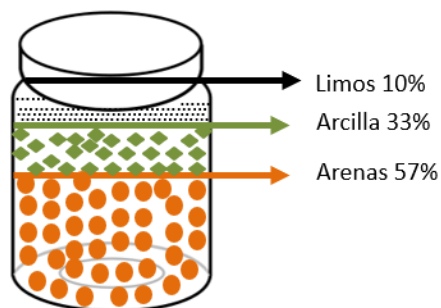


Figura 4. Composición sólidos de la muestra de jale minero.

Fuente: Elaboración propia

Preparación de muestra de Zeolita

Para la disminución de tamaño de la muestra de zeolita, se colocaron aproximadamente 5 kg de las rocas en una bolsa de plástico y esta a su vez se colocó en una bolsa de tela, con la ayuda de un martillo se comenzó a golpetear las muestras de zeolitas para triturarlas. Al término de este proceso, se obtuvieron muestras de diferentes tamaños: finos, polvos, escamas, muestras de aproximadamente 5-10 cm. Se utilizó un mortero para disminuir el tamaño y se tamizó para tener un tamaño de partícula conocido, usando un colador de cocina con un claro de malla menor a 2 mm. La muestra se clasificó por tamaños en finos y gruesos, se etiquetó y se almacenó para posteriormente trabajar en el reactor. En el anexo número 3 se presentan algunas fotografías de la muestra de zeolita recibida.

Preparación de la composta

En este caso particular, se separó debidamente la basura orgánica colocándola en un recipiente hondo con una capacidad de 3 -5 Kg aproximadamente, el objetivo es simplemente para su recolección y almacenamiento. El contenido es principalmente: café molido, cáscaras de huevo, cáscaras de frutas y verduras. Al tener entre 3 y 5 kg, se procedió a la cocción; se colocaron en una olla grande tipo pozolera y se agregó agua corriente, en aproximadamente la mitad del volumen del recipiente y se comenzó a calentar hasta hervir. Después de hervir los residuos

orgánicos durante aproximadamente 20 minutos, se dejó enfriar y después se procedió a licuar, el proceso de licuado duró aproximadamente 5 minutos a máxima potencia de una licuadora de uso doméstico, se realizó tres veces este proceso para no saturar la licuadora.

Al ya obtener el material licuado, se separó los líquidos y sólidos con colador de cocina que presenta un claro de malla menor a 1mm. Posteriormente se colocaron los residuos obtenidos en una maceta de jardín con capacidad aproximadamente de 3 a 5 kg, se colocó una capa de tierra común mezclada con tierra negra, secuencialmente otra capa de materia orgánica y una capa de arena mezclada con tierra negra y así sucesivamente hasta llenar la maceta. Se colocó un tubo de PVC justo en medio de la maceta de jardín, con el objeto de utilizarlo para mezclar la composta y ocasionar una aireación y liberación de gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El proceso de maduración de la composta fue de 3 semanas, en el anexo número 4 podemos observar el proceso de la elaboración de la composta.

Experimentos de germinación de frijol y chile

Prueba de viabilidad

Para la prueba se usó un frasco, algodón y agua. Se envolvió en algodón una semilla y se colocó en el frasco, se humedeció completamente y se dejó a condiciones naturales de luz y temperatura, con un clima caluroso de aproximadamente 41° C - 16° C de temperatura, un riego de 350 ml de agua corriente durante todo el proceso. Con lo anterior se observó si las semillas tenían la posibilidad de germinar en suelo, que no fueran semillas viejas y se complicara el proceso de germinado.

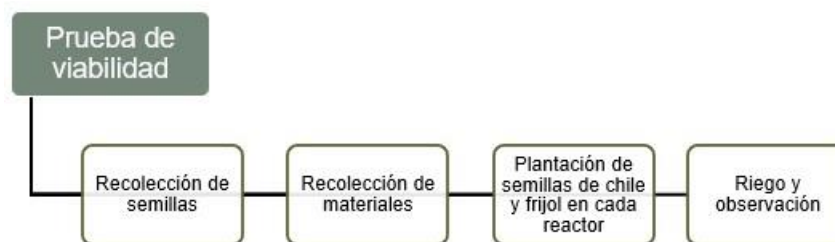


Figura 5. Prueba de Viabilidad

Fuente: Elaboración propia

En la figura número 6, se muestra el diseño correspondiente al proceso de montaje de reactores, mismos con los que se trabajó durante toda la investigación.

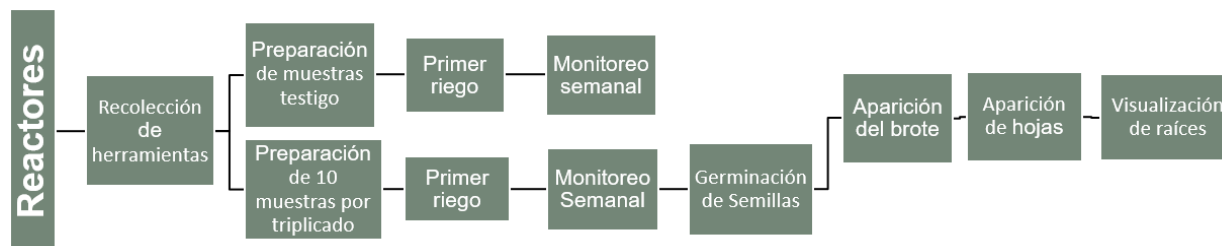


Figura 6. Diseño experimental de reactores

Fuente: Elaboración propia

Germinado en mezcla de materiales

La experimentación inició con la preparación del reactor, se perforaron 30 vasos de 359 ml con un cautín. Se prepararon tres muestras testigo para cada tipo de material (zeolita, jale minero, composta), posteriormente se prepararon 30 reactores con diferentes proporciones de cada material, utilizando semillas de frijol y chile. Se colocó la semilla correspondiente a cada reactor, se hizo el primer riego con un atomizador de agua con una cantidad de 50 ml de agua, posteriormente se mantuvo regando escalonadamente para no saturar de agua, y cuidando de que el reactor no se secase.

Posteriormente se monitoreó todos los días, mediante la observación de cada reactor, el proceso de germinación se lleva en tres etapas, la primera es la aparición del brote, la segunda es la aparición de hojas y por último es la visualización de las raíces. En los anexos se presenta la bitácora de observación de los reactores, así como la distribución de los porcentajes en cada uno de los reactores. Cabe mencionar que todos estos procedimientos se realizaron desde casa y también utilizando el equipo de protección personal como bata, guantes y lentes. A continuación, se muestran las tablas de compilación de datos que se realizó durante la experimentación con los reactores, podemos observar en la siguiente tabla la composición de los reactores testigo:

Tabla 1. Reactores testigo

ID	Semilla	Materiales	Composición
1-Z	Frijol	Zeolita	100%
2-C	Chile	Composta	100%
3-J	Frijol	Jale Minero	100%

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar, además, las tablas de composición de los treinta reactores con su semilla específica:

Tabla 2. Composición de reactores de semilla de chile

ID	Semilla	Composición	Contenido (gr)		
			Zeolita	Composta	Jale Minero
2-C1	Chile	Jale minero, Composta	0	20	80
2-C2	Chile	Composta, Jale Minero	0	50	50
2-C3	Chile	Jale minero, Zeolita	40	0	60
2-C4	Chile	Composta, Jale Minero	0	50	50
2-C5	Chile	Jale Minero	0	0	100
2-C6	Chile	Jale minero, Composta	0	20	80
2-C7	Chile	Composta, Jale Minero	0	20	80
2-C8	Chile	Composta, Jale Minero	0	50	50
2-C9	Chile	Jale minero, Composta	0	50	50
2-C10	Chile	Zeolita, Composta, Jale minero	10	80	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Composición de reactores de semilla de frijol

ID	Semilla	Composición	Contenido (gr)		
			Zeolita	Composta	Jale Minero
1-Z1	Frijol	Composta	0	100	0
1-Z2	Frijol	Composta, Jale Minero	0	20	80
1-Z3	Frijol	Jale minero, Zeolita, composta	14	20	66
1-Z4	Frijol	Composta, Jale Minero	0	50	50
1-Z5	Frijol	Jale minero, Zeolita, composta	20	50	30
1-Z6	Frijol	Jale Minero, Composta	0	20	80
1-Z7	Frijol	Zeolita, Composta, Jale Minero	50	30	20
1-Z8	Frijol	Zeolita, Jale Minero	20	0	80
1-Z9	Frijol	Jale minero, Zeolita, composta	4	10	86
1-Z10	Frijol	Jale Minero, Composta	0	80	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Composición de reactores de semilla de frijol y chile

ID	Semilla	Composición	Contenido (gr)		
			Zeolita	Composta	Jale Minero
3-J1	Frijol	Zeolita, Composta	20	80	0
3-J2	Frijol	Composta, Jale Minero	0	70	30
3-J3	Frijol	Jale minero, Zeolita	0	60	40
3-J4	Frijol	Zeolita, Composta, Jale Minero	25	50	25
3-J5	Frijol	Composta, Jale Minero	0	40	60
3-J6	Chile	Jale minero, Zeolita	0	20	80
3-J7	Chile	Zeolita, Composta, Jale Minero	40	10	50
3-J8	Chile	Composta, Jale Minero	50	0	50
3-J9	Chile	Jale minero, Zeolita	0	50	50
3-J10	Chile	Zeolita, Composta, Jale Minero	50	10	40

Fuente: Elaboración propia

Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido

Después de las seis semanas de monitoreo, se seleccionaron 6 muestras que presentaron germinación y crecimiento de la planta. Se analizó por SEM en un equipo JEOL 541, el sustrato (mezcla de jale minero, zeolita y composta), la raíz, el tallo y las hojas. Para lo anterior, las muestras fueron machacadas en un mortero de porcelana hasta lograr una apariencia de polvo.

5.6 Alcances

Un diseño experimental con variación en composición de sustrato de germinación crecimiento de semillas de frijol y chile. Dedicación de un año de trabajo experimental de agosto del año 2020 a agosto del año 2021.

5.7 Pregunta de investigación

La pregunta de investigación que se estableció es la siguiente:

¿De qué manera interviene la cantidad de jale minero, zeolita y composta para la germinación de frijol y chile?

5.8 Objeto de estudio

La germinación de las semillas de frijol y chile, variando la cantidad de jale minero, zeolita y composta; manteniendo la experimentación bajo las mismas condiciones climáticas.

5.9 Selección del objeto de estudio

Se seleccionaron las semillas de frijol y chile por ser especies características de captadoras de elementos pesados, de acuerdo con las investigaciones consultadas para este proyecto. Los jales mineros, fueron seleccionados por el interés de ofrecer una alternativa de minimizar el impacto ambiental y a la salud que ocasionan, ya que son considerados uno de los principales problemas de contaminación en la industria minera. La composta al ser una técnica de tratamiento de residuos orgánicos es una de las más utilizables para la remediación de los suelos, la cual tiene la característica de añadir nutrientes a las plantas, y por último la zeolita al ser una fuente natural disponible en México, con propiedades adsorbentes y bastas para remediar la contaminación.

5.10 Selección y tamaño de muestra

La selección de las muestras de 30 reactores se debe a que la precisión esperada en la estimación y la disponibilidad de recursos y herramientas (sustratos, monetarios y de tiempo). Respetando lo que nos dice la estadística, en aquellos casos en donde los recursos son limitados,

es forzoso estudiar como mínimo de 10 unidades de muestreo por materia, y en este caso al tener 3 sustratos se decidió tomar 10 unidades de cada uno.

5.11 Instrumentos de recolección y manejo de datos

Los instrumentos, software y equipo usado son:

Cámara fotográfica: Para documentar el avance de la germinación de las semillas y tener evidencias.

Excel: Para la realización de tablas de contenido utilizando la información recopilada semanalmente durante la experimentación.

Microscopio electrónico de barrido: Para determinar de qué manera y lugar se quedan los elementos contaminantes en la planta, se utilizó la microscopia electrónica de barrido.

Computadora: Con Software de paquetería Office que nos sirvió para realizar este documento.

Libreta: Para la recopilación de datos diarios y semanales.

Regla: Para la medición del crecimiento de la germinación.

Báscula de alimentos: Para la medición de la cantidad de sustratos en cada reactor.

VI. RESULTADOS

6.1 Análisis Literario

Durante la investigación, se consultó un total de 33 investigaciones desde el aspecto social, ambiental y de la salud humana con fechas del 2016-2021 y 11 investigaciones realizadas antes del 2016. Entre las que se encuentran 3 normas publicadas en los años 2016-2021, así como también se consultó en 3 en páginas oficiales y 2 publicadas con anterioridad al año 2016, como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Consultas bibliográficas

Tipo de bibliografía	Fecha de publicación	
	<2016	2016-2021
Artículo	9	27
Libros		
Normas		3
Páginas oficiales	2	3
Subtotal	11	33
Total	44	

Fuente: Elaboración propia

6.2 Proceso experimental

Medición y variables de respuesta semanales

Las mediciones de los avances de la germinación se hicieron semanales, mediante la observación y el uso de diferentes dispositivos (computadora, celular con cámara fotográfica), mismas que presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Seguimiento de las observaciones semanales

FECHA	CONDICIONES CLIMÁTICAS	TEMPERATURA DEL AMBIENTE	OBSERVACIONES
22-feb	Clima fresco	33° C - 8° C	El día de hoy se comenzó la germinación con los reactores.
29-feb	Clima fresco, húmedo	29° C - 8° C	Se continua con el riego, no se observan cambios
01-mar	Clima agradable para las personas, plantas	29° C - 8° C	Se continua con el riego, no se observan cambios
08-mar	Clima caluroso, se comienza a sentir más el calor	30° C - 12° C	Se continua con el riego, no se observan cambios

15-mar	Clima agradable y un poco caluroso	29° C - 9° C	Se continua con el riego, no se observan cambios
22-mar	Clima agradable	28° C - 12° C	Se continua con el riego, no se observan cambios
29-mar	Clima caluroso, se comienza a sentir el cambio de clima	36° C - 13° C	Se observa movimientos por parte de las semillas dentro de los reactores.
05-abr	Clima caluroso	41° C - 16° C	Se observan vestigios de posibles brotes, aumenté la cantidad de agua ya que no se llegaba a filtrar completamente hasta tocar el fondo.
12-abr	Clima húmedo caluroso	34° C - 16° C	Se comenzó a brotar las primeras señales de germinación con los reactores de frijol pinto y negro
19-abr	Clima húmedo caluroso	34° C - 13° C	Crecieron exponencialmente del fin de semana a lunes, principalmente los reactores con semilla de frijol pinto y negro.
26-abr	Clima poco caluroso	33° C - 18° C	Siguieron en crecimiento las plantas de frijol, las de chile resultaron no ser viables. Se observan que algunas se "ahogaron" por el exceso de agua.
03-may	Clima poco caluroso	31° C - 16° C	Siguieron en crecimiento las plantas de frijol, se están secando un poco las hojas
10-may	Clima soleado, caluroso	36° C - 21° C	Se comenzaron a poner un poco secas las plantitas por el cambio drástico del clima. Concluyo con la experimentación

Fuente: Elaboración propia

En el anexo número 5 se encuentran las gráficas de las variaciones en cuanto a temperatura y humedad que se presentó mes con mes durante esta experimentación, información que fue consultada en (*El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo - Weather Spark, 2021*). Durante la experimentación se mantuvo el control del riego de agua semanal, con ello se hizo la siguiente tabla en donde muestra el riego semanal de cada reactor:

Tabla 7. Riego semanal de cada reactor

Riego semanal de cada reactor (ml)															
ID	Semilla	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	TOTAL
2-C1	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C2	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C3	Chile	50	50	50	50	50	50	55	55	60	65	70	75	80	760
2-C4	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C5	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C6	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C7	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C8	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C9	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
2-C10	Chile	50	50	50	50	50	50	60	65	70	70	75	75	80	795
1-Z1	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
1-Z2	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
1-Z3	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
1-Z4	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
1-Z5	Frijol	50	50	50	50	50	60	65	65	70	70	75	75	80	810
1-Z6	Frijol	50	50	50	55	55	55	55	55	60	65	70	75	80	775
1-Z7	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	70	70	70	75	75	80	825
1-Z8	Frijol	50	50	50	50	50	60	60	65	65	70	70	75	80	795
1-Z9	Frijol	50	50	50	50	55	55	60	65	70	70	75	75	80	805
1-Z10	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J1	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J2	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J3	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J4	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J5	Frijol	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J6	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J7	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J8	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J9	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820
3-J10	Chile	50	50	50	55	55	60	65	65	70	70	75	75	80	820

Fuente: Elaboración propia

El riego se realizó por la mañana y por la noche, utilizando la mitad de la cantidad de agua que muestra en la tabla, es decir que para el riego por la mañana del día 1 de la semana 1 fue de 25 ml y así consecutivamente para cada día, manteniendo las cantidades semanalmente y poco a poco incrementando el riego semanal. En la tabla 7 se observa la cantidad de agua ocupada para el riego semanal de cada reactor, teniendo un promedio de riego de 814 ml de agua en cada reactor durante todo el experimento, y siendo la mínima de 760 ml en comparación de la máxima de 825ml. Otras investigaciones, por ejemplo, como la de Flores Bardalez (2001) en donde utilizó según el diseño experimental propuesto la cantidad de 2.5 L de agua por parcela por bloque, teniendo un total de 67.5 L, utilizando una regadera, además el autor implementó la estrategia de la inmersión en agua para las semillas que utilizó, determinando de esta manera que esta

técnica representa grandes diferencias y mayor influencia en el proceso de germinación de las semillas con respecto a la frecuencia de riego. Concluyó que el tratamiento óptimo para la germinación de las semillas de *Swietenia macrophylla King* es remojar durante un día con una frecuencia de riego de 36 horas, para lograr el mayor número de semillas germinadas. Se encontró en trabajo de investigación sobre frecuencia de riego en germinación de semillas de *Cedrella odorata L.* en condiciones ideales de vivero, que concluyó que la frecuencia óptima de riego fue de cada 2 días.

En esta investigación la frecuencia y cantidad del riego fue mediante pocas cantidades para aquellos reactores en donde se contenía mayor cantidad de zeolita (se observa en la anterior tabla). Recordando que el experimento se realizó en la capital de Sonora, siento esta característica de ser una de las ciudad más calurosas del país, mientras transcurría el tiempo y se acercaba la estación de verano se observaron algunos cambios físicos en las plantaciones de los reactores, tales como resequedad, cambio de color, características que concuerdan con la sequedad de las plantas, siendo estas un ejemplo claro que las temperaturas altas afecta a la proliferación y calidad de vida de los reactores experimentados.

Descripción y composición del suelo

Físicamente, la muestra presentó características arenosas, finas y rígidas, con olor fuerte y no agradable, un tanto irritable con una consistencia húmeda. Los resultados que arrojó el análisis semicuantitativo de la técnica de identificación de composición de suelo fueron de 57% arenas, 33% arcillas y 10% de limos. Este último, en comparación de la investigación: “*Caracterización de Jales Mineros y Evaluación de su Peligrosidad con Base en su Potencial de Lixiviación*” (Medel et al., 2008), donde los autores reportan una ausencia total de materia orgánica, en este caso se encontró un 10% de limos muy probablemente proveniente de la flora nativa del lugar, que pudo ser arrojada por el viento hacia la ubicación de los jales mineros.

Aporte de la zeolita y la composta

La germinación de semillas de frijol comenzó a notarse en la semana número 6, que podemos observar en la tabla 8, la medición semanal de la planta. En cuanto a la semilla de chile, en el tiempo de monitoreo, no se observaron cambios. De acuerdo a la investigación: “*Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros en cuatro especies empleadas como bioindicadores de metales pesados*” (Camarillo-Ravelo, Barajas-Aceves y Rodríguez-Vázquez, 2015), reportan que los jales

Evaluación de la aportación de la zeolita

Los resultados obtenidos mediante la microscopia electrónica de barrido arrojaron que la zeolita tuvo un gran impacto en la germinación de las semillas y en la adsorción de agua, pero también de elementos pesados detectados en las raíces de los siete reactores muestreados, mismos que fueron identificados en el proyecto como **1-Z5,1-Z6,1-Z7,1-Z8,1-Z9,1-Z10**. A continuación se observa el resultado de la aportación de la zeolita en la raíz del reactor 1-Z7 mismo que contenía el 50 % de zeolita.

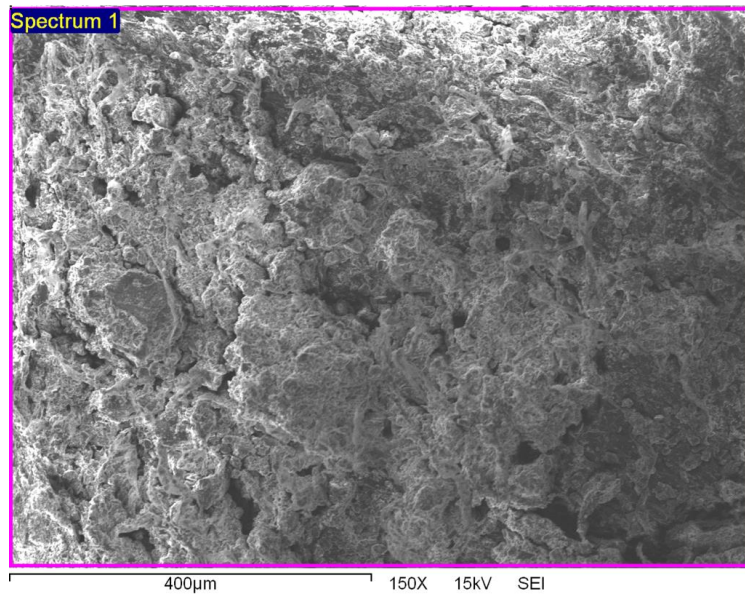


Figura 7. Resultado 1 obtenido de la microscopia de barrido en muestra 1-Z7

Fuente: Elaboración propia

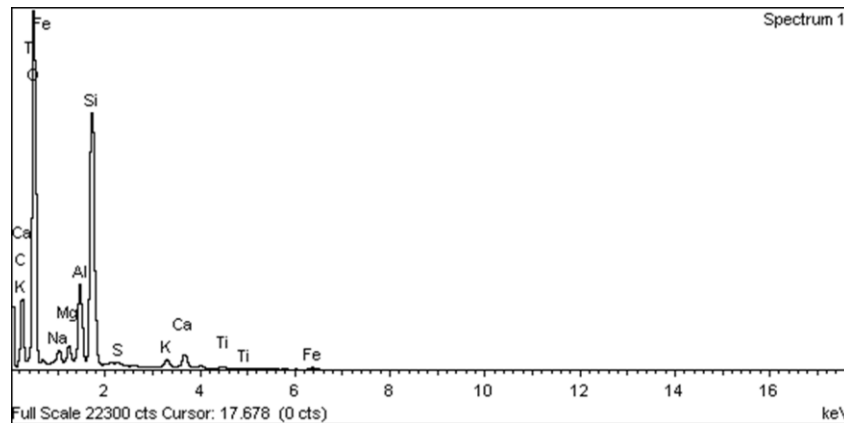


Figura 8. Espectro de muestra 1-Z7

Fuente: Elaboración propia

La microscopía de barrido arrojó la cuantificación de los siguientes elementos en esta muestra:

Tabla 10. Cuantificación 1 de elementos encontrados en muestra 1-Z7

Element	Weight%	Atomic%
C K	23.50	31.79
O K	55.56	56.43
Na K	0.75	0.53
Mg K	0.88	0.59
Al K	3.64	2.19
Si K	12.65	7.32
S K	0.14	0.07
K K	0.68	0.28
Ca K	1.34	0.54
Ti K	0.20	0.07
Fe K	0.65	0.19
Total	100.00	

Fuente: Elaboración propia

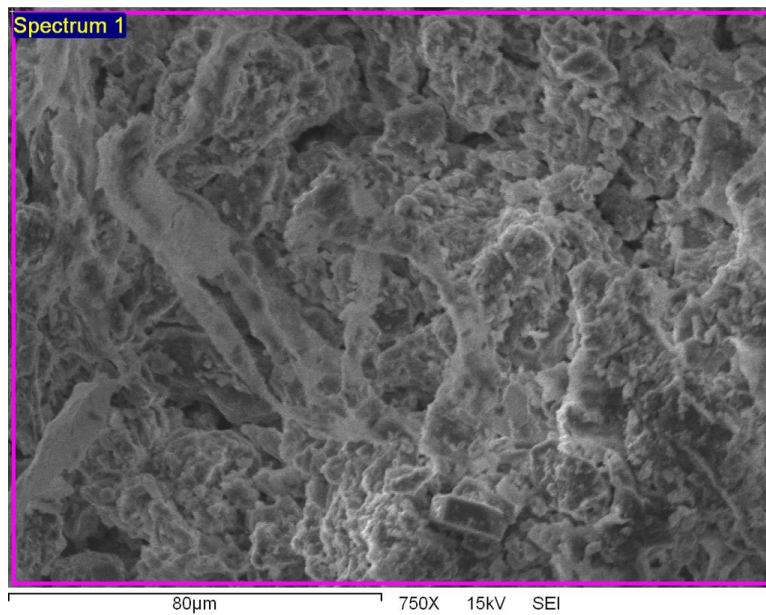


Figura 9. Resultado 2 obtenido de la microscopía de barrido en muestra 1-Z7

Fuente: Elaboración propia

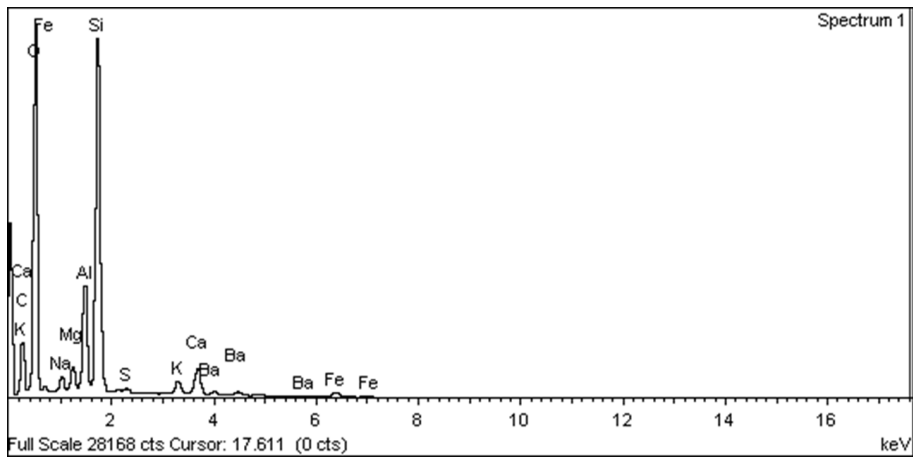


Figura 10. Spectrum 2 en muestra 1-Z7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Cuantificación 2 de elementos encontrados en muestra 1-Z7

Element	Weight%	Atomic%
C K	21.37	30.30
O K	50.95	54.23
Na K	0.75	0.56
Mg K	0.95	0.67
Al K	4.23	2.67
Si K	15.60	9.46
S K	0.20	0.11
K K	0.98	0.43
Ca K	2.35	1.00
Fe K	1.43	0.44
Ba L	1.19	0.15
Total	100.00	

Fuente: Elaboración propia

En las imágenes anteriores se aprecia la forma y estructura interna de la zeolita, así como la estructura de la raíz.

Evaluación de la aportación de la composta

Los resultados obtenidos mediante la microscopia electrónica de barrido lanzaron que en la muestra del reactor **1-Z2** adsorbió el elemento Au dentro de sus raíces, además de retener otros elementos pesados. Cabe recordar que el contenido de este reactor fue de 80gr de jale minero y 20 gr de composta orgánica a continuación se demuestra lo anterior en las siguientes imágenes:

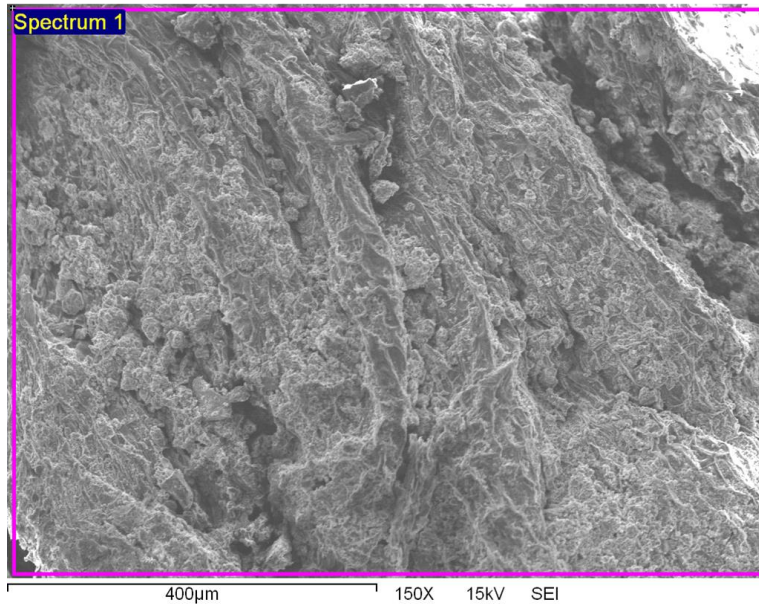


Figura 11. Resultado 1 obtenido de la microscopia de barrido en muestra 1-Z2

Fuente: Elaboración propia

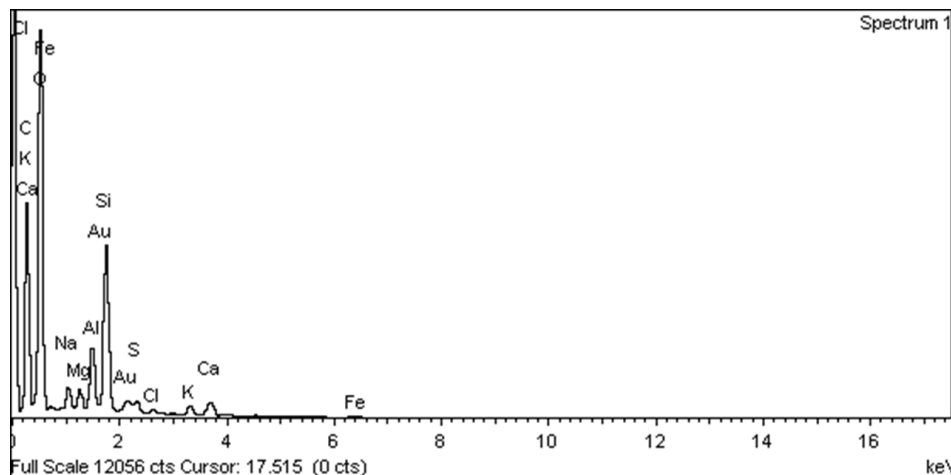


Figura 12. Espectro 1 en muestra 1-Z2

Fuente: Elaboración propia

La microscopía de barrido arrojó la cuantificación de los siguientes elementos en esta muestra:

Tabla 12. Cuantificación 1 de elementos encontrados en muestra 1-Z2

Element	Weight%	Atomic%
C K	40.51	50.27
O K	47.16	43.93
Na K	0.92	0.60
Mg K	0.64	0.39
Al K	1.86	1.03
Si K	5.28	2.80
S K	0.45	0.21
Cl K	0.19	0.08
K K	0.55	0.21
Ca K	0.88	0.33
Fe K	0.21	0.06
Au M	1.34	0.10
Total	100.00	

Fuente: Elaboración propia

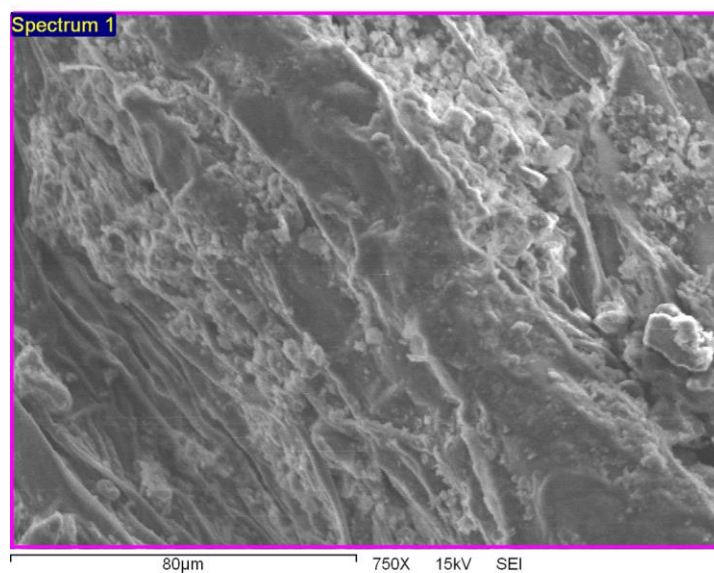


Figura 13. Resultado 2 obtenido de la microscopía de barrido en muestra 1-Z2

Fuente: Elaboración propia

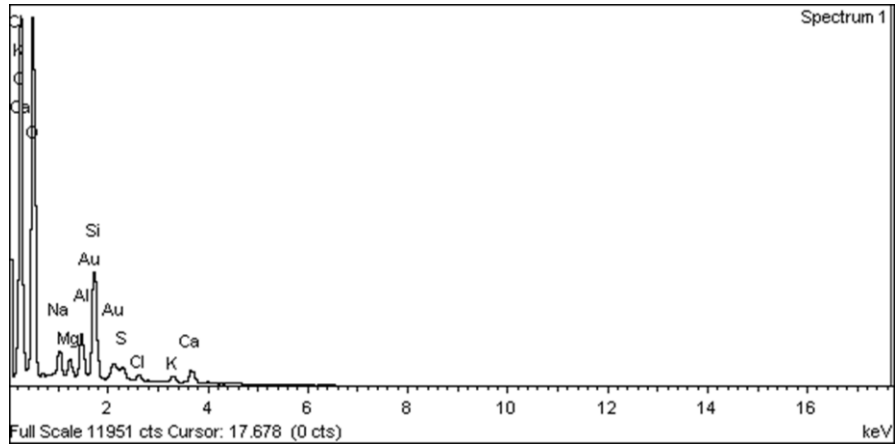


Figura 14. Espectro 2 en muestra 1-Z2

Fuente: Elaboración propia

La microscopía de barrido arrojó la cuantificación de los siguientes elementos en esta muestra:

Tabla 13. Cuantificación 2 de elementos encontrados en muestra 1-Z2

Element	Weight%	Atomic%
C K	40.51	50.27
O K	47.16	43.93
Na K	0.92	0.60
Mg K	0.64	0.39
Al K	1.86	1.03
Si K	5.28	2.80
S K	0.45	0.21
Cl K	0.19	0.08
K K	0.55	0.21
Ca K	0.88	0.33
Fe K	0.21	0.06
Au M	1.34	0.10
Total	100.00	

Se tomaron siete muestras de los reactores germinados exitosamente, por lo cual se analizaron en el microscopio electrónico de barrido, lo anterior sólo fueron dos muestras representativas, más adelante en el apartado de anexos número 7 podemos observar los resultados restantes.

VII.DISCUCIÓN

De los resultados obtenidos se encuentra que la viabilidad de la germinación en las semillas de frijol es muy buena y también presenta un buen crecimiento tanto de hojas, raíces y tallos. Se decidió realizar la microscopia de barrido en la raíz, ya que al consultar diversas fuentes e investigaciones se concluyó que es una de las áreas en donde las plantas fitoestabilizadoras concentran los metales pesados, por ejemplo *P. laevigata* es una especie acumuladora de Zn, Pb, Fe y Cu, considerándose como una especie para fitorremediar suelos contaminados de estos metales (Muro, 2020). En esta investigación la Dra. Muro utilizó reactores de la planta nativa de esa zona geográficamente y utilizó sustratos de la contaminación causada por la minería, llevándola a un crecimiento exponencial de cada reactor e investigando durante toda su investigación de doctorado.

Esta investigación particularmente se realizó a nivel laboratorio, desde casa con jale minero, zeolita, composta y semillas de chile y frijol, pese a que eran objetivos diferentes, la concentración de los metales pesados se encuentran en las raíces, así como también la visión es proponer y utilizar una semilla que sea geográficamente accesible como el frijol y chile, así como explorar y explotar las zeolitas que abundan en gran cantidad en el estado de Sonora. Con respecto a la aportación de la zeolita, podemos recordar la investigación de Simé (2019) en donde su investigación arroja que los resultados muestran que el papel de la zeolita sobre la planta no modificó ningún parámetro medido, ya que en la experimentación se le incorporó la zeolita como enmienda y solo se observó diferencia cuando se combinó zeolita, biochar y la composta.

Aunque en este estudio se centran en la estabilización de un depósito minero, la aplicación de la zeolita tiene similitudes al combinarse con la composta, ya que la mejor composición en este caso de estudio fue con la combinación de la zeolita y la composta. También se debe a que según (Mahabadi et al., 2007) comenta que la concentración iónica de los metales disminuye al aplicarse zeolita, lo que podría explicar la reducción en la absorción de los metales, tanto en el estudio de Simé, como en nuestro caso. Por último, en las semillas de chile no se observó cambios visibles durante el periodo de investigación, mismo que se observó en la prueba de viabilidad.

VIII. CONCLUSIONES

Se concluye, bajo las condiciones de estudio, que la composición ideal de los sustratos composta y zeolita que se requieren para germinar el frijol en jales mineros es de:

50% Zeolita

30% Composta orgánica

20% Jale Minero

Los tiempos idóneos para la germinación, utilizando estos componentes y metodología, viable de la semilla de frijol es de: **6 a 8 semanas**

La mayor concentración de metales pesados se encuentra muy probablemente en las raíces de la planta germinada.

Se concluye también la no viabilidad de la semilla de chile en los tiempos y condiciones de estudio.

Finalmente, es posible realizar enmiendas de sitios impactados por los jales de la minería, usando materiales accesibles, como la composta y la zeolita.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar a mayor tiempo la viabilidad y germinación de la semilla de chile, ya que en esta investigación solo se contaba con el tiempo de un año. También se recomienda experimentar con semillas de plantas nativas de la zona estudiada, para facilitar la proliferación en el área afectada de elementos pesados. Además, se sugiere experimentar con el remojo de las semillas buscando siempre las condiciones climáticas óptimas, además de acondicionar el lugar de experimentación con condiciones climáticas similares a las de la ubicación del jale minero, para que de este modo se asemeje la experimentación y la prueba piloto tenga mejores resultados.

X.REFERENCIAS

- Adame, J.S., s/f. El impacto ambiental de la minería a cielo abierto en el Estado de Guerrero, México/The environmental impact of the mining pit opened in the State of Guerrero, Mexico.
- Alvarado, J., 2014. Caracterización de una Chabasita Natural Sonorense y Evaluación de su potencial para utilizarse en la Remoción de Metales en Agua.
- Anón 2021. *Camimex*. [en línea] Disponible en: <<https://www.camimex.org.mx/>> [Consultado 18 mar. 2021].
- Anón 2021. *El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo - Weather Spark*. [en línea] Disponible en: <<https://es.weatherspark.com/>> [Consultado 28 sep. 2021].
- Avila González, D.A., 2017. *Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla*.
- Camarillo-Ravelo, D., Barajas-Aceves, M. y Rodríguez-Vázquez, R., 2015. Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros en cuatro especies empleadas Como bioindicadoras de metales pesados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), pp.133–143.
- Carranza, N.R.C., 2018. Mecanismo de inmovilización de metales pesados en suelos agrícolas mediante enmiendas orgánicas (Compost y Biochar) y Microorganismos Benéficos (MOBs). pp.1–94.
- Casado Izquierdo, J.M., Sánchez Salazar, M.T., Casado Izquierdo, J.M. y Sánchez Salazar, M.T., 2019. Los mineros en el México neoliberal. *Investigaciones Geográficas*, [en línea] (98). Disponible en: <<http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59787>> [Consultado 23 feb. 2021].
- Castebianco, J.A., 2018. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja*, 27(1), pp.21–35.
- Castro, J., 2013. *Capsicum annuum L. Como Fitorremediador de Suelos Contaminados por Metales Pesados*. Tesis, [en línea] p.83. Disponible en: <https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_castro_gomez.pdf>.
- Espín, D., Jarrín, J. y Escobar, O., 2017. Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, pp.1–13.
- FAO, 1991. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, 1991*.
- Felix, F.J., 2017. Adsorción de plomo en zeolita natural.
- Fernández, K., s/f. Propuesta de obtención de pellets de carbón-arcilla-zeolita mineras.
- Gavilán-García, I.C., Ladino, L.A., Franco, E. y Juárez, J., 2020. Determinación de factores involucrados en la valoración del riesgo potencial asociado a la dispersión atmosférica de jales mineros y a su ingestión. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(1), pp.127–138.
- González, A.M., Astiazarán, H.L., de la O Villanueva, M., Gutiérrez, G.A., Anguamea, I.M.S., Romero, F.C., Saavedra, R.M., Tirado, A.P.S. y Grijalva, K.A., s/f. Educación para el manejo y desarrollo sostenible en depósitos de jales mineros en Nacozari de García, Sonora, México. *Educación y Universidad ante el Horizonte 2020*, p.109.
- González, M., s/f. Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero.
- Hernandez, J., 2001. Respuestas Biológicas de plantas superiores a la exposición de altas concentraciones de metales pesados.
- Huiza Acosta, K.B., 2019. Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante especies del género Brassica.
- Jara, S., 2015. Biorremediación de suelos contaminados por petróleo en el campo libertador

mediante la técnica del compostaje.

Jasso, V.M.M., 2020. Optimización de la nutrición en la producción de cultivos protegidos. (February).

Mahabadi, A.A., Hajabbasi, M.A., Khademi, H. y Kazemian, H., 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. *Geoderma*, 137(3–4), pp.388–393.

Martínez Sepúlveda, J.A., 2018. *Contaminación y remediación de suelos en Colombia: aplicación a la minería de oro*.

Medel, A., Ramos, S., Avelar, F.J., Godínez, L.A. y Rodríguez, F., 2008. Caracterización de Jales Mineros y evaluación de su peligrosidad con base en su potencial de lixiviación. *ConCiencia Tecnológica*, (35), pp.32–35.

Méndez, N.L., Parrado, C. y Henríquez, L., 2020. Procesos de fitorremediación en suelos contaminados con cadmio: Revisión de Literatura.

Morales-Santos, M.E., Peña-Valdivia, C.B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G. y Kohashi-Shibata, J., 2017. Características Físicas Y De Germinación En Semillas Y Plántulas De Frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) Silvestre, Domesticado Y Su Progenie. *Agrociencia*, 51(1), pp.43–62.

Munive, R., Loli, O., Azabache, A. y Gamarra, G., 2018. Phytoremediation with corn (*Zea mays* L.) and Stevia compost on soils degraded by contamination with heavy metals. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), pp.551–560.

Munive, R.V., 2018. Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, [en línea] pp.0–168. Disponible en: <<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3770>>.

Muro, D.A., 2020. Caracterización de especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con metales pesados en jales mineros.

Pérez-Vargas, H.M., Vidal-Durango, J. V. y Marrugo-Negrete, J.L., 2014. Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (*Capsicum annum*). *Revista de Salud Pública*, 16(6), pp.897–909.

Resultados, D.D.E., 2002. 8 Discusión De Resultados. pp.81–90.

Rodríguez, K., 2016. Caracterización mineralógica de jales mineros de la comunidad “ El Fraile ”, mediante microscopía electrónica de barrido y EDS. 2.

Rojas, J.L., 2021. Influencia del Tectosilicato-Zeolita en la retención del Nitrógeno durante la preparación de Compost en Tingo Maria.

Sáez, P., 2020. Eliminación de metales estratégicos en aguas residuales mediante adsorción con zeolitas naturales.

Salas Urviola, F.B., Guadarrama Guzmán, P., Gutiérrez Bazán, J.J., García Luna, N., Fernández Villagómez, G. y Alarcón Herrera, M.T., 2020. Determinación De Posible Drenaje Ácido De Mina Y Caracterización De Jales Mineros Provenientes De La Mina Cerro De Mercado, Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), pp.729–744.

SGM, 2018. *Diciembre 2018 Panorama Minero del Estado de Sonora Coordinación Regional*.

Solleiro, J. y Figueroa, B., 2018. *Futuro de la minería zacatecana y los retos en capital humano. Biblos*, .

Solleiro, J., Mejía, A. y Figueroa, B., 2017. Prospectiva de la minería en el clúster de Zacatecas y los retos para la formación de capital humano. *XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica - ALTEC*, pp.1–18.

Sombra, S., 2017. Análisis en el Tratamiento de la Remoción de Plomo utilizando Chabazita Pretratada. p.64.

Suaña Quispe, M.E., 2017. Capacidad del girasol (*Helianthus annus* L.) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado-Puno.

Trejo, J.A. V., 2002. *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. [en línea] Ediciones Mundi-Prensa. Disponible en: <<https://books.google.com.mx/books?id=mj9rVEScHCcC>>.

Velázquez, D.I., Jiménez, G.C. y Sánchez, C.K.S., 2017. Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros de Xichú en frijol, maíz y sorgo. *Jóvenes en la Ciencia*, 2(1), pp.1561–1565.

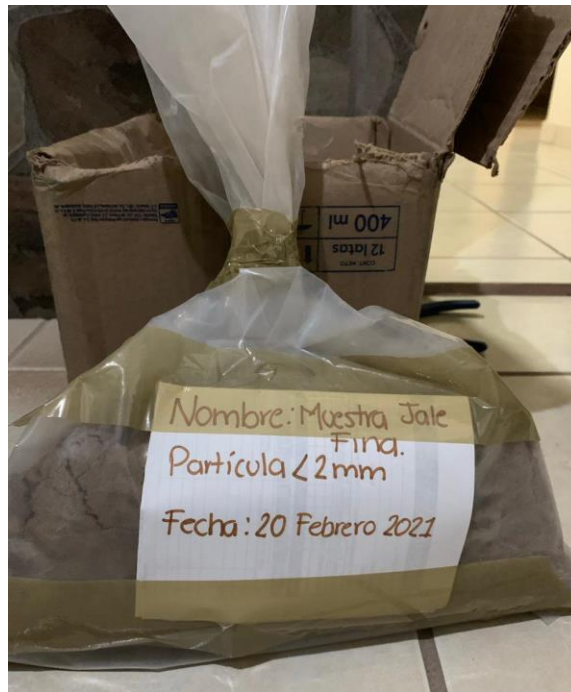
Zuñiga Blanco, O.L., s/f. Alternativas para la recuperacion de suelos contaminados por actividades industriales en Colombia.

XI. ANEXOS

Anexo 1- Procedimiento de toma de muestras puntuales en jale minero



Anexo 2. Procedimiento de preparación de muestra de jale minero



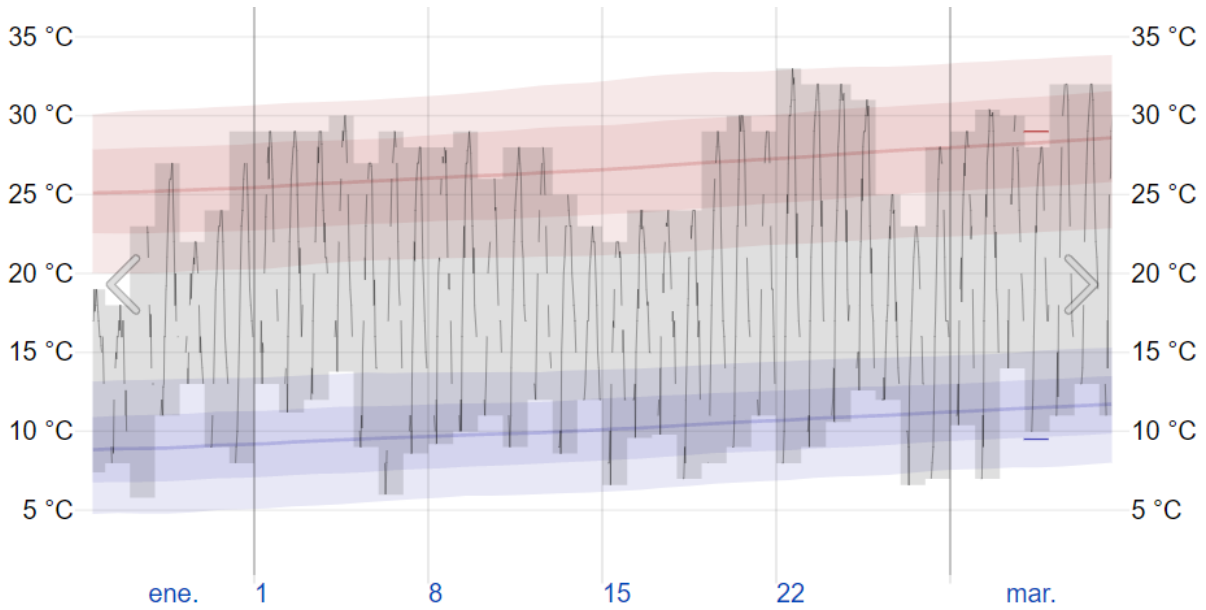
Anexo 3. Preparación de la muestra de Zeolita



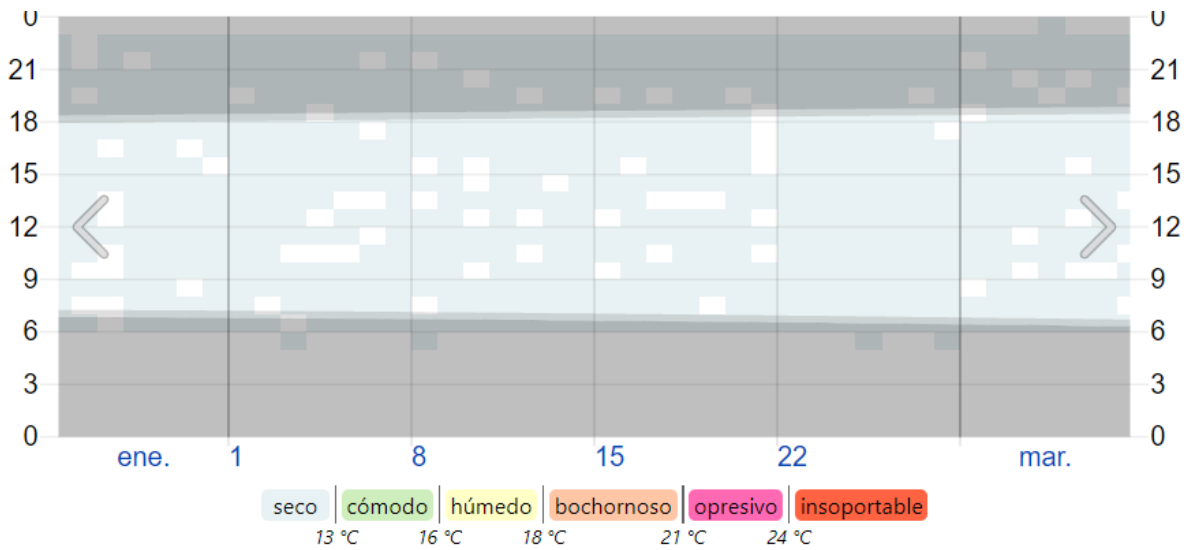
Anexo 4. Procedimiento de elaboración de la composta



Anexo 5: Datos históricos de temperatura y humedad en Hermosillo en febrero de 2021

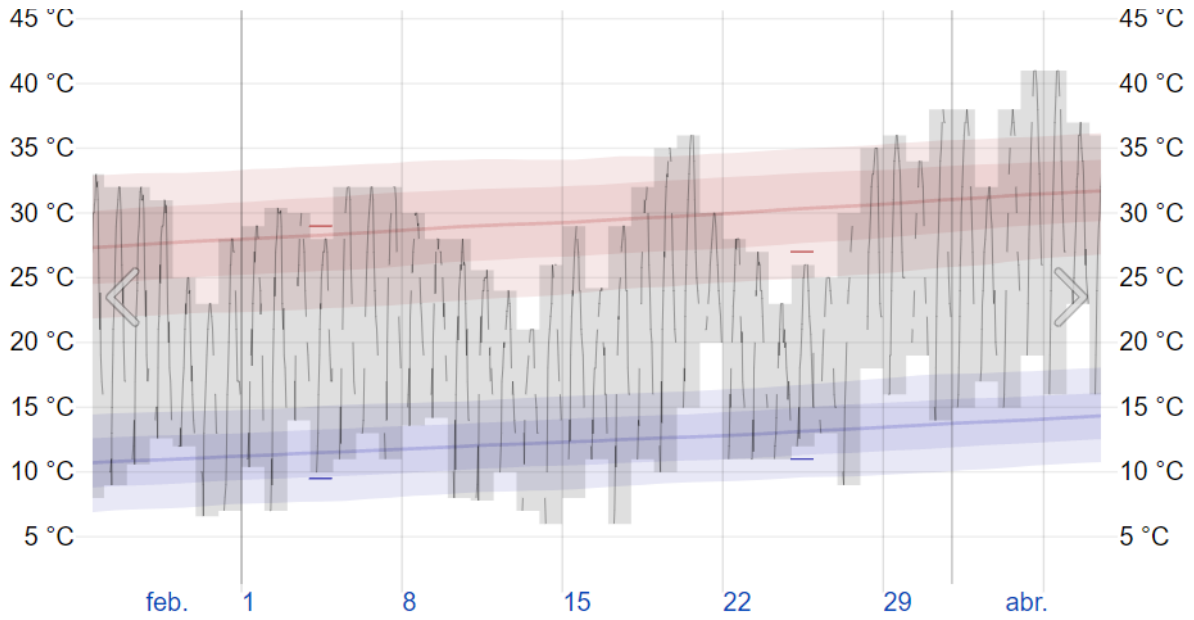


El intervalo diario de temperaturas reportadas (barras grises) y las máximas (marcas rojas) y mínimas (marcas azules) de 24 horas, colocadas arriba del promedio diario de la máxima (línea rojo claro) y de la mínima (línea azul claro), con las bandas de los percentiles 25 a 75 y 10 a 90.

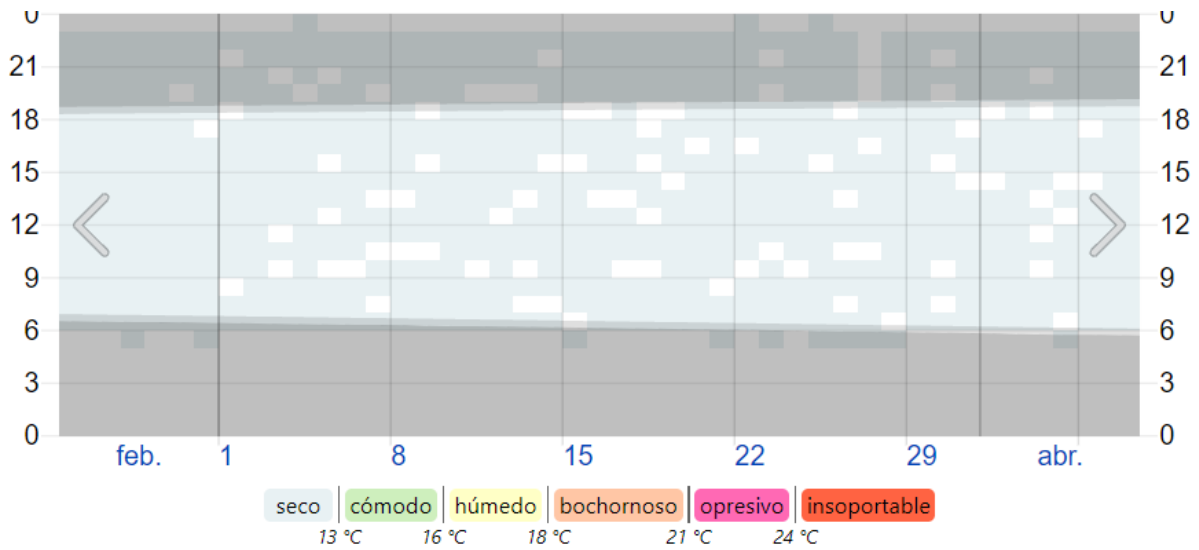


El nivel de comodidad de la humedad, categorizado por el punto de rocío y reportado por hora. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

Anexo 6: Datos históricos de temperatura y humedad en Hermosillo en marzo de 2021

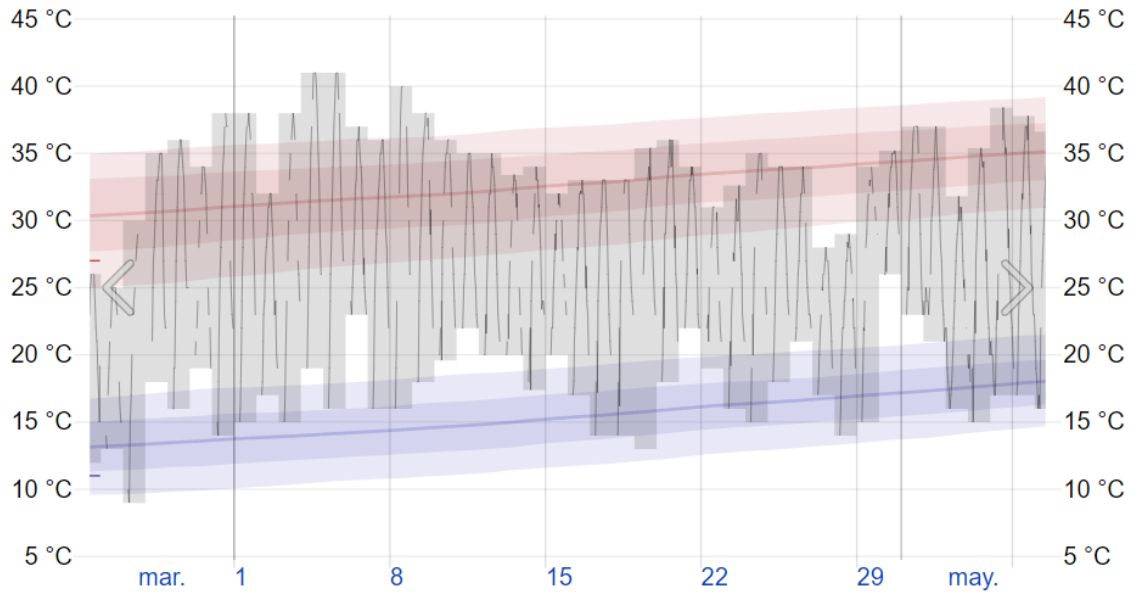


El intervalo diario de temperaturas reportadas (barras grises) y las máximas (marcas rojas) y mínimas (marcas azules) de 24 horas, colocadas arriba del promedio diario de la máxima (línea rojo claro) y de la mínima (línea azul claro), con las bandas de los percentiles 25 a 75 y 10 a 90.

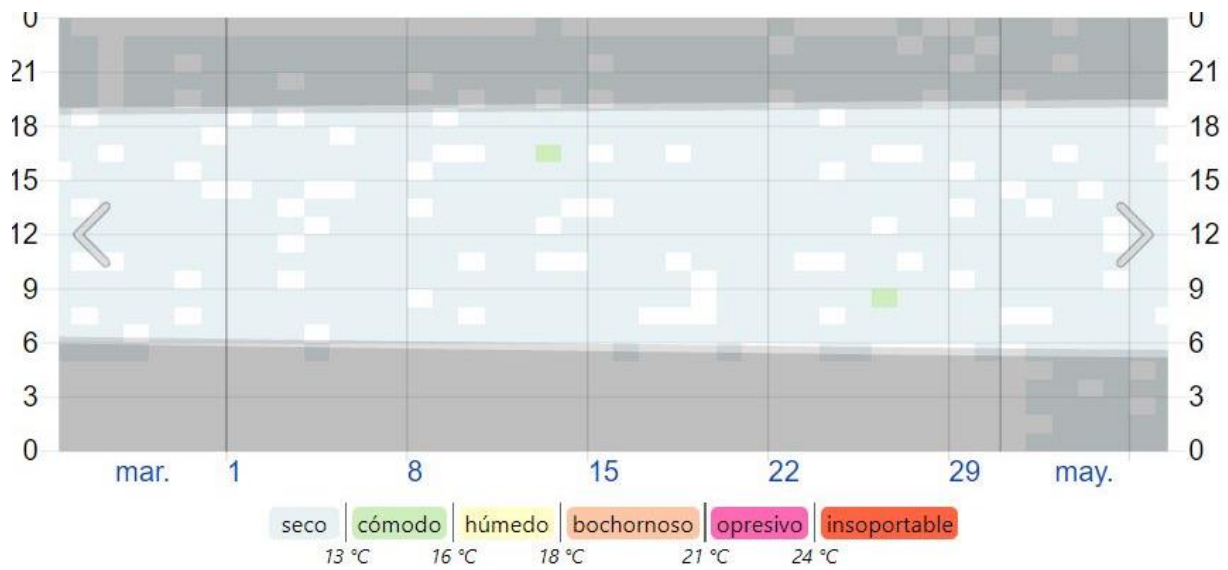


El nivel de comodidad de la humedad, categorizado por el punto de rocío y reportado por hora. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

Anexo 7: Datos históricos de temperatura y humedad en Hermosillo en abril de 2021

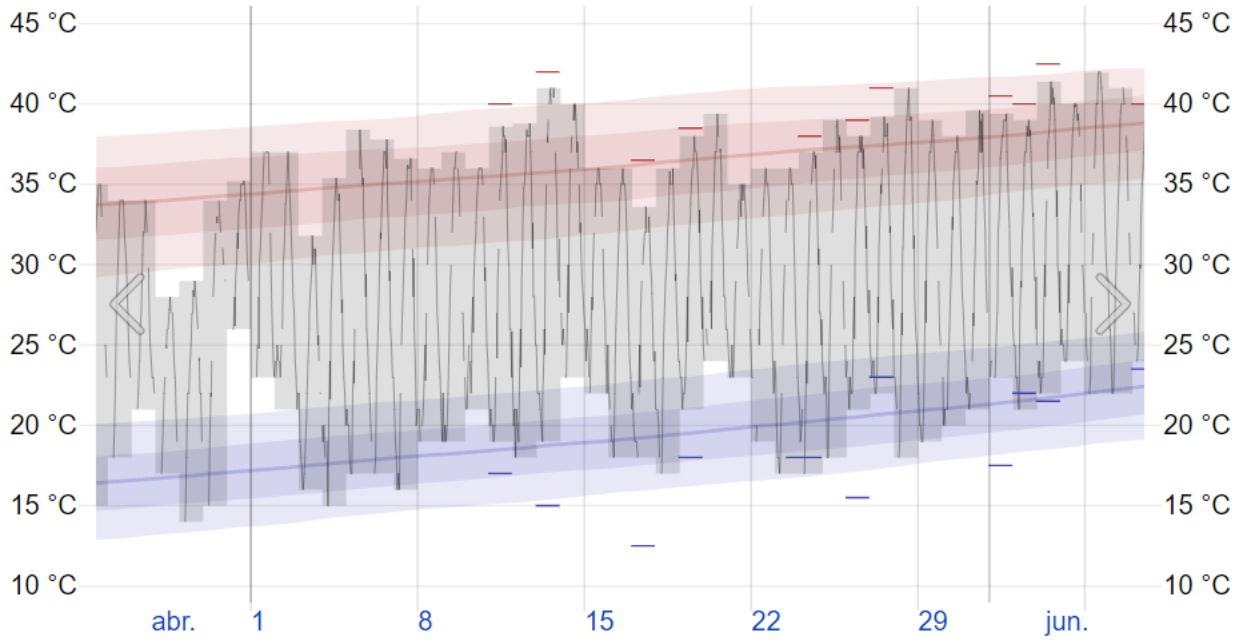


El intervalo diario de temperaturas reportadas (barras grises) y las máximas (marcas rojas) y mínimas (marcas azules) de 24 horas, colocadas arriba del promedio diario de la máxima (línea rojo claro) y de la mínima (línea azul claro), con las bandas de los percentiles 25 a 75 y 10 a 90.

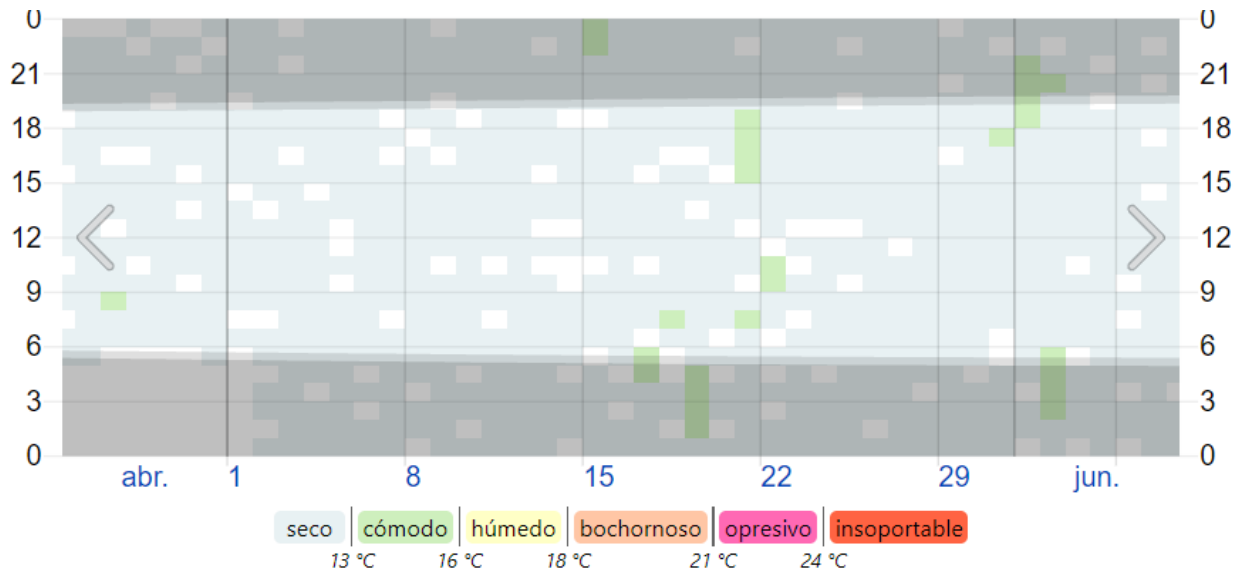


El nivel de comodidad de la humedad, categorizado por el punto de rocío y reportado por hora. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

Anexo 8: Datos históricos de temperatura y humedad en Hermosillo en mayo de 2021



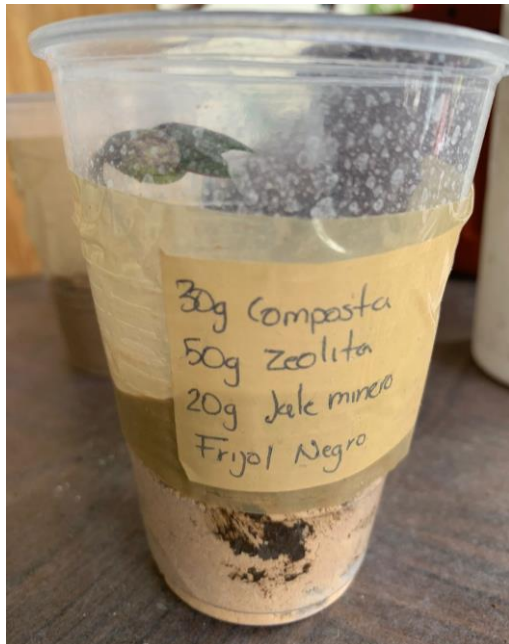
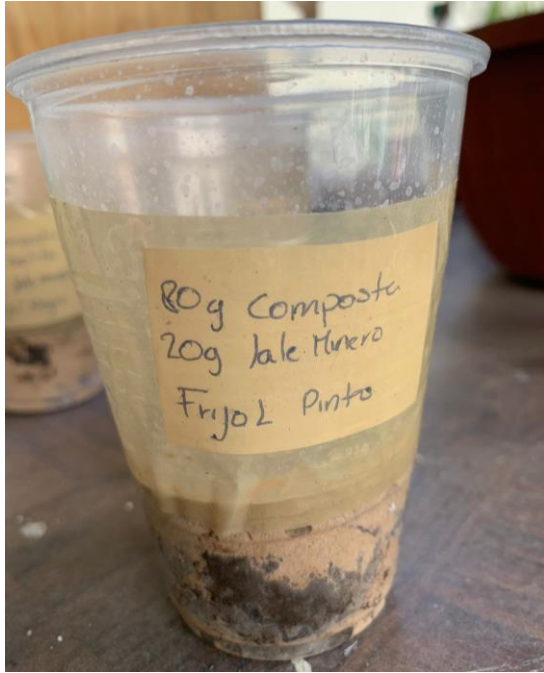
El intervalo diario de temperaturas reportadas (barras grises) y las máximas (marcas rojas) y mínimas (marcas azules) de 24 horas, colocadas arriba del promedio diario de la máxima (línea rojo claro) y de la mínima (línea azul claro), con las bandas de los percentiles 25 a 75 y 10 a 90.



El nivel de comodidad de la humedad, categorizado por el punto de rocío y reportado por hora. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

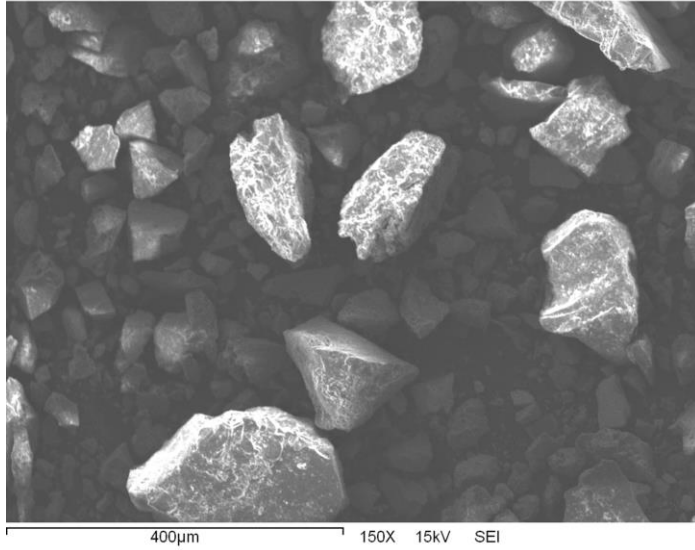
Anexo 9. Proceso de germinación de reactores



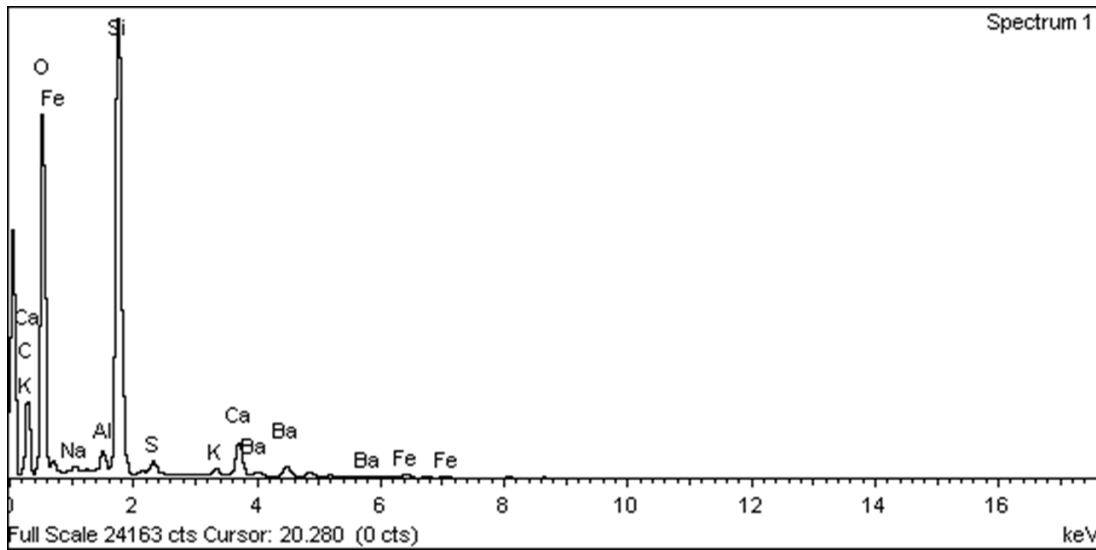




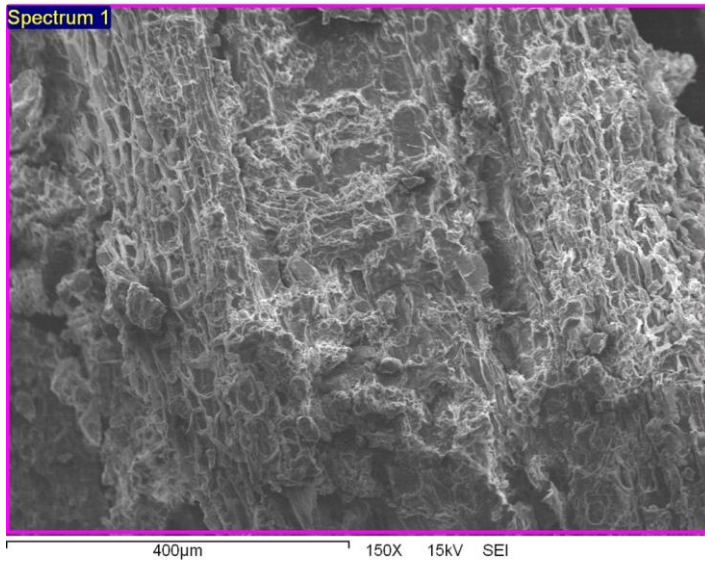
**Anexo 10. Resultados obtenidos de la microscopia de barrido en muestra testigo de jale
minero**



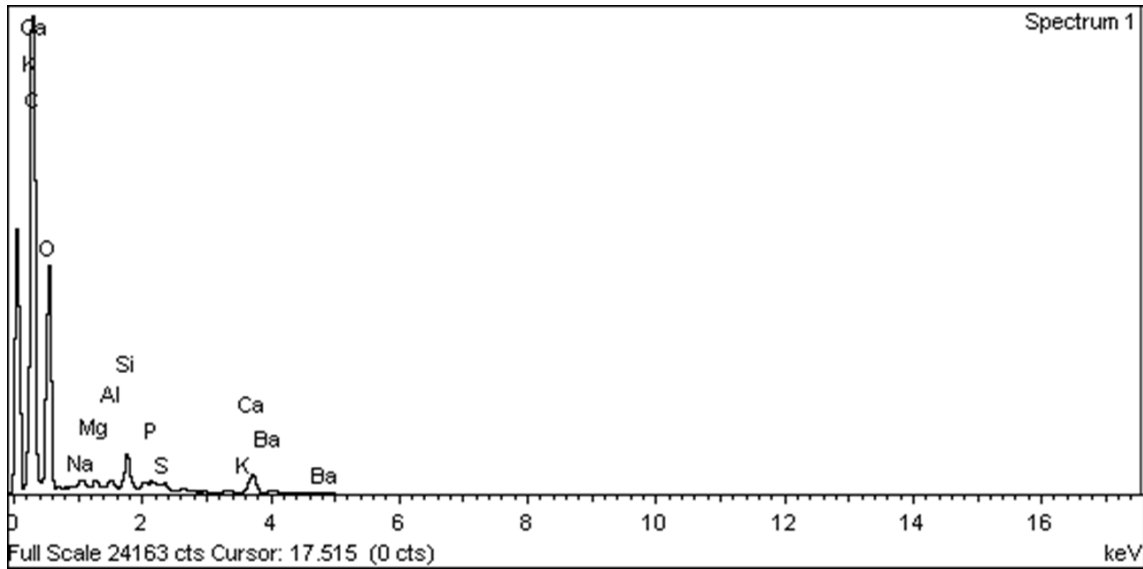
Element	Weight%	Atomic%
C K	26.26	36.72
O K	47.70	50.07
Na K	0.29	0.21
Al K	0.69	0.43
Si K	17.23	10.31
S K	0.62	0.32
K K	0.40	0.17
Ca K	2.56	1.07
Fe K	0.94	0.28
Ba L	3.30	0.40
Totals	100.00	

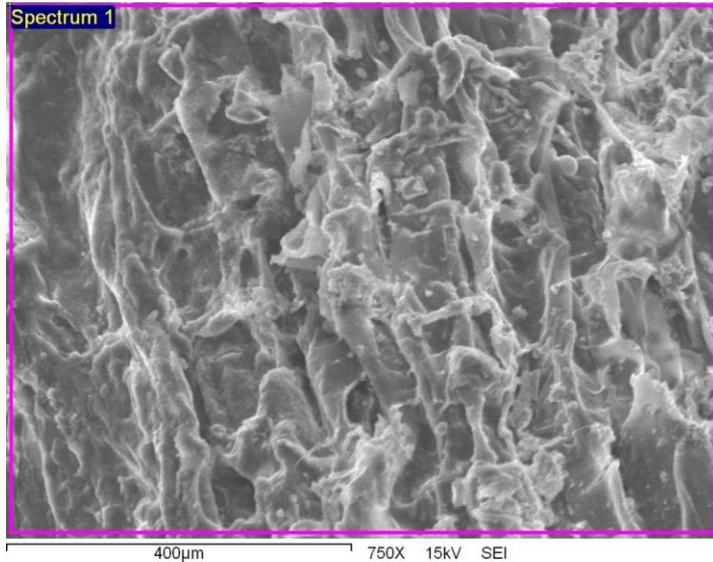


Anexo 11. Resultados obtenidos de la microscopia de barrido en muestra 1-Z5

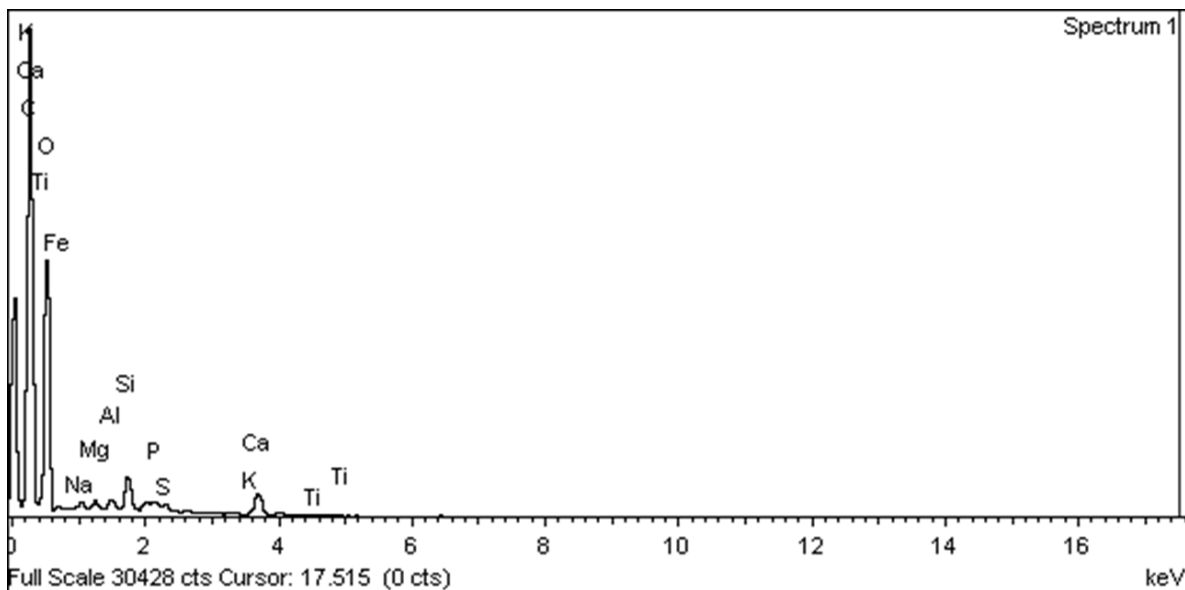


Element	Weight%	Atomic%
C K	57.92	65.90
O K	37.96	32.42
Na K	0.30	0.18
Mg K	0.26	0.15
Al K	0.23	0.12
Si K	1.12	0.55
P K	0.14	0.06
S K	0.19	0.08
K K	0.15	0.05
Ca K	1.35	0.46
Ba L	0.38	0.04
Totals	100.00	

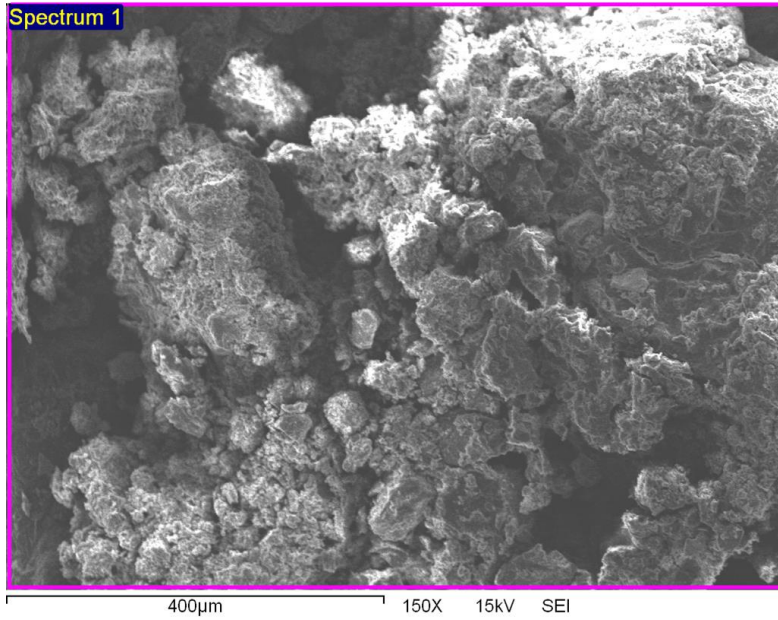




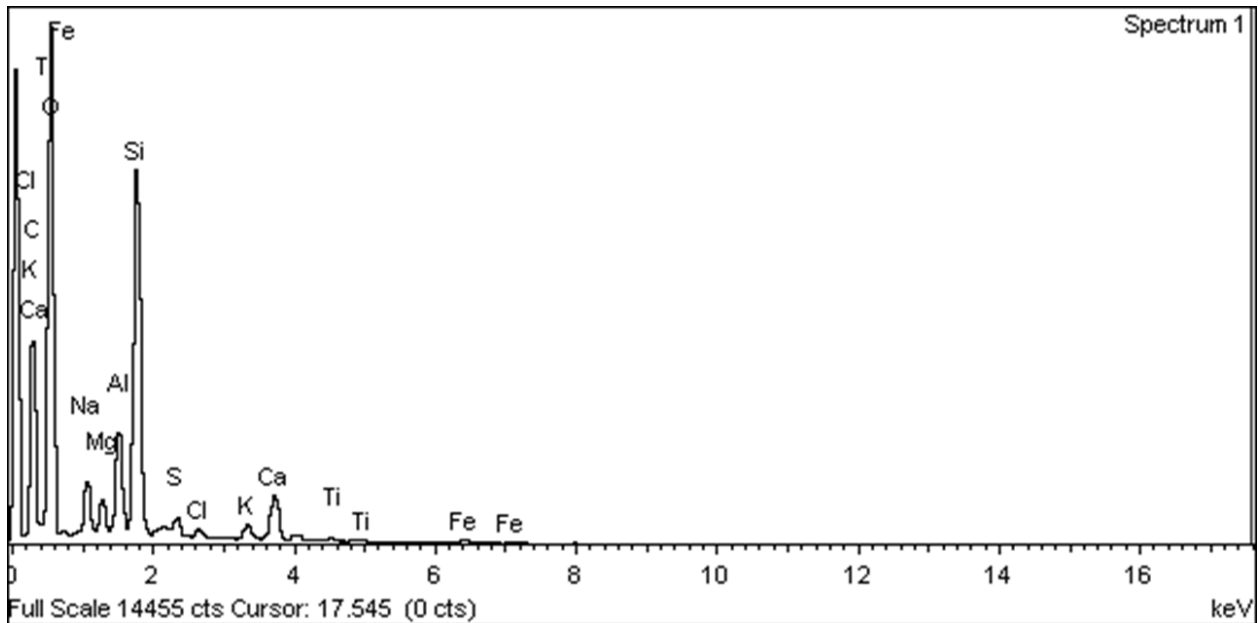
Element	Weight%	Atomic%
C K	55.35	63.43
O K	40.39	34.75
Na K	0.28	0.17
Mg K	0.29	0.16
Al K	0.30	0.16
Si K	1.07	0.53
P K	0.18	0.08
S K	0.21	0.09
K K	0.13	0.04
Ca K	1.47	0.51
Ti K	0.10	0.03
Fe K	0.23	0.06
Totals	100.00	



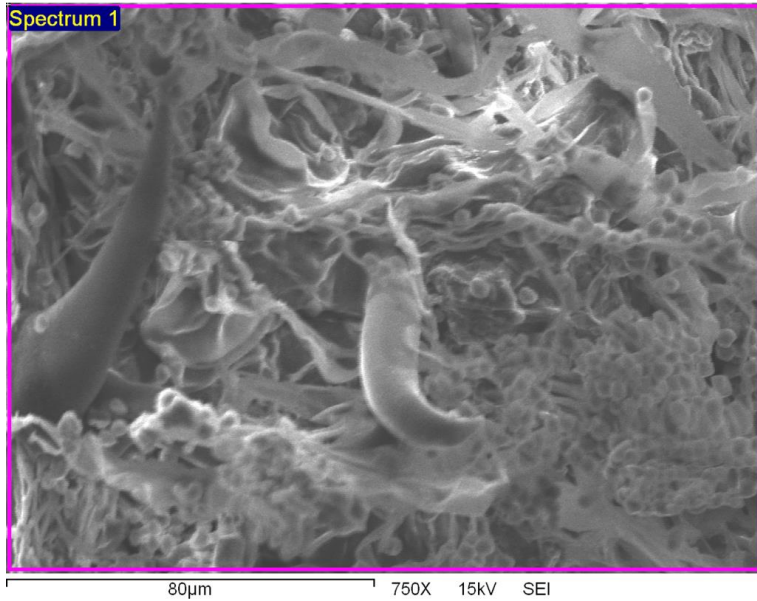
Anexo 12. Resultados obtenidos de la microscopia de barrido en muestra 1-Z8



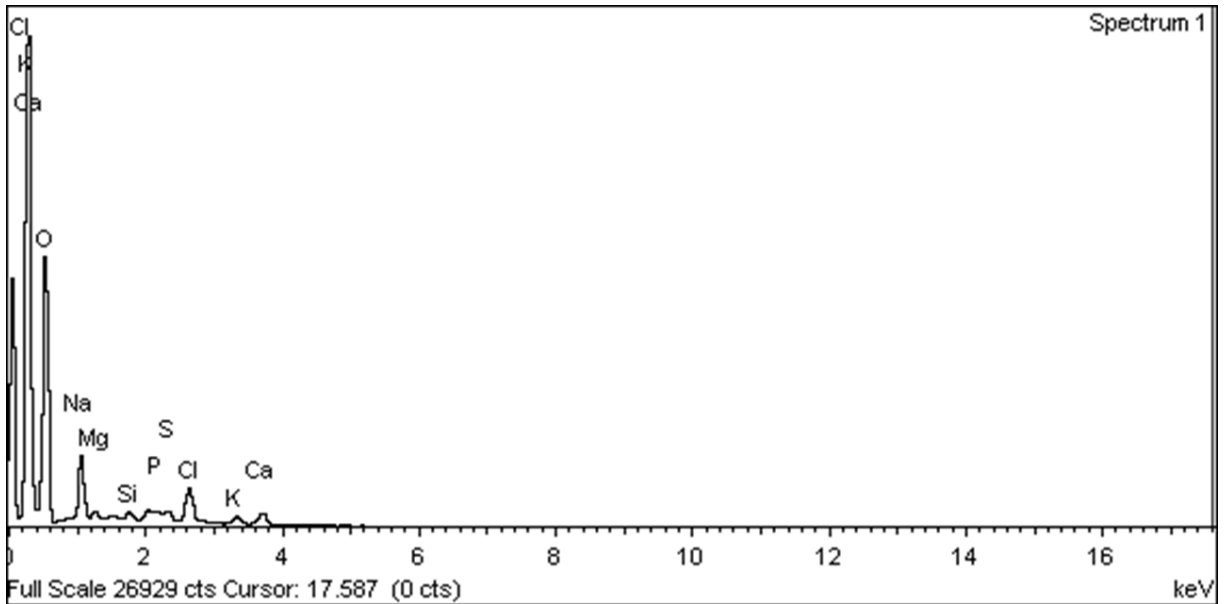
Element	Weight%	Atomic%
C K	31.12	40.79
O K	49.64	48.85
Na K	1.78	1.22
Mg K	0.86	0.56
Al K	2.41	1.41
Si K	9.51	5.33
S K	0.54	0.27
Cl K	0.32	0.14
K K	0.66	0.27
Ca K	2.44	0.96
Ti K	0.16	0.05
Fe K	0.56	0.16
Totals	100.00	



Anexo 13. Resultados obtenidos de la microscopia de barrido en muestra 1-Z9

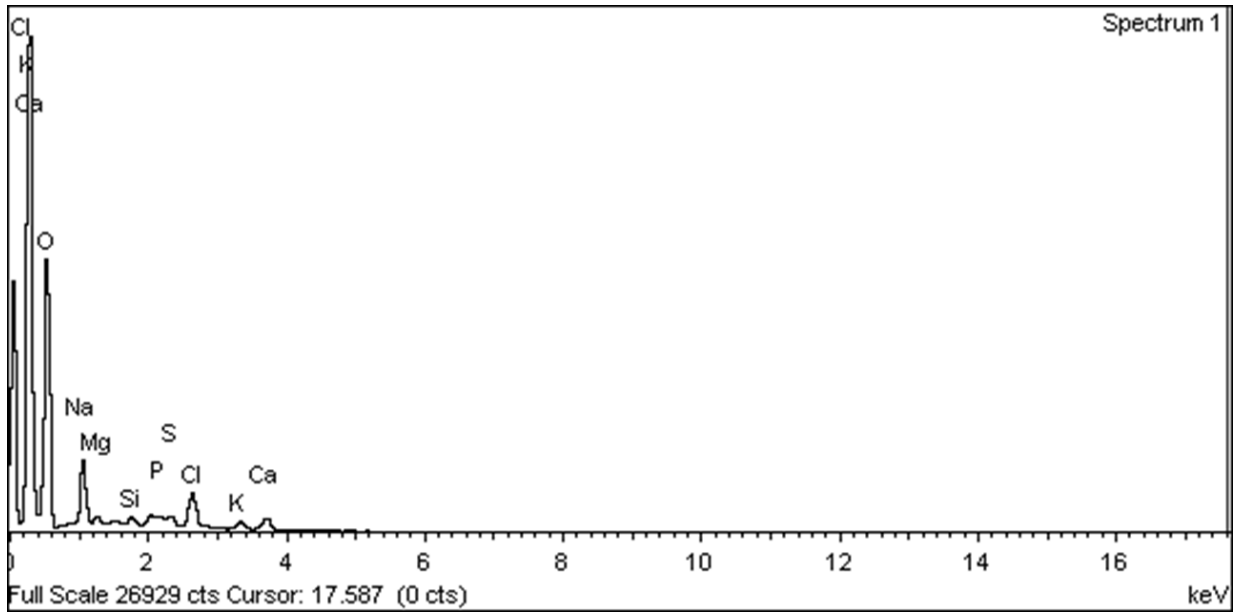


Element	Weight%	Atomic%
C K	50.83	59.72
O K	41.33	36.46
Na K	1.65	1.01
Mg K	0.27	0.16
Al K	0.25	0.13
Si K	2.66	1.34
P K	0.37	0.17
S K	0.29	0.13
Cl K	1.06	0.42
K K	0.34	0.12
Ca K	0.95	0.33
Totals	100.00	

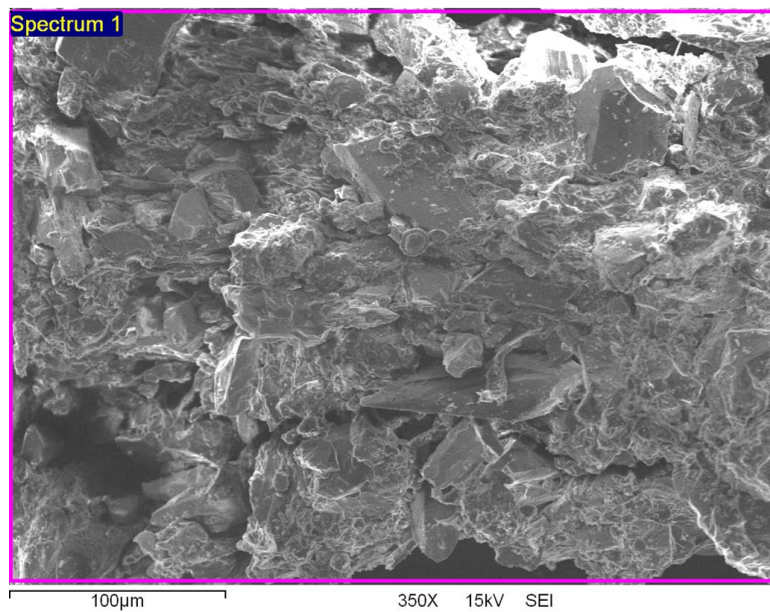




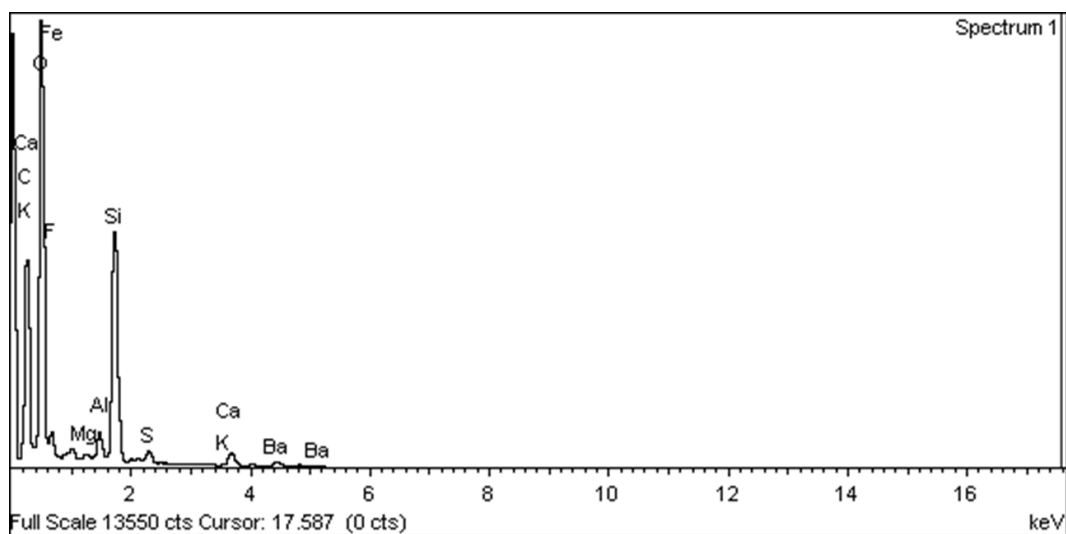
Element	Weight%	Atomic%
O K	71.04	81.26
Na K	12.45	9.91
Mg K	1.18	0.88
Si K	1.13	0.73
P K	0.96	0.57
S K	1.30	0.74
Cl K	7.09	3.66
K K	1.82	0.85
Ca K	3.04	1.39
Totals	100.00	

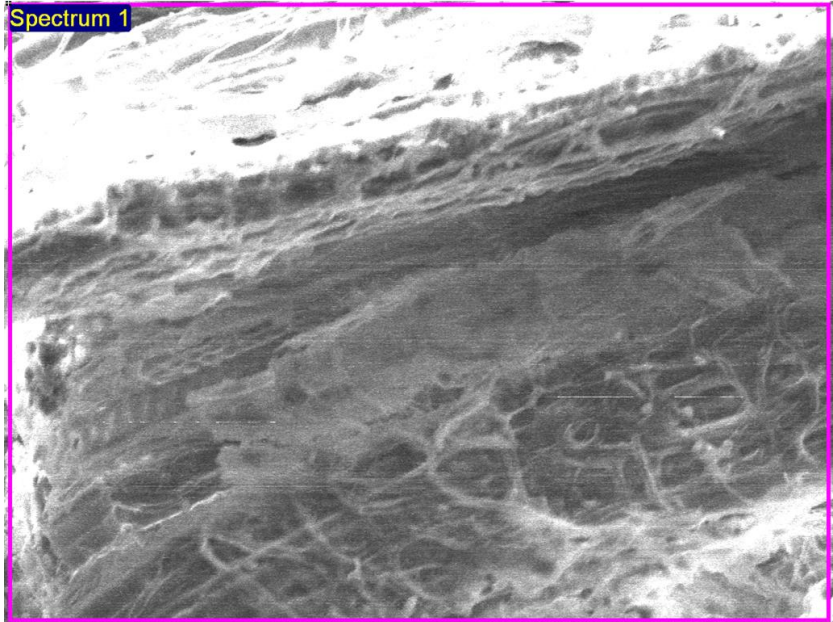


Anexo 14. Resultados obtenidos de la microscopia de barrido en muestra 1-Z10



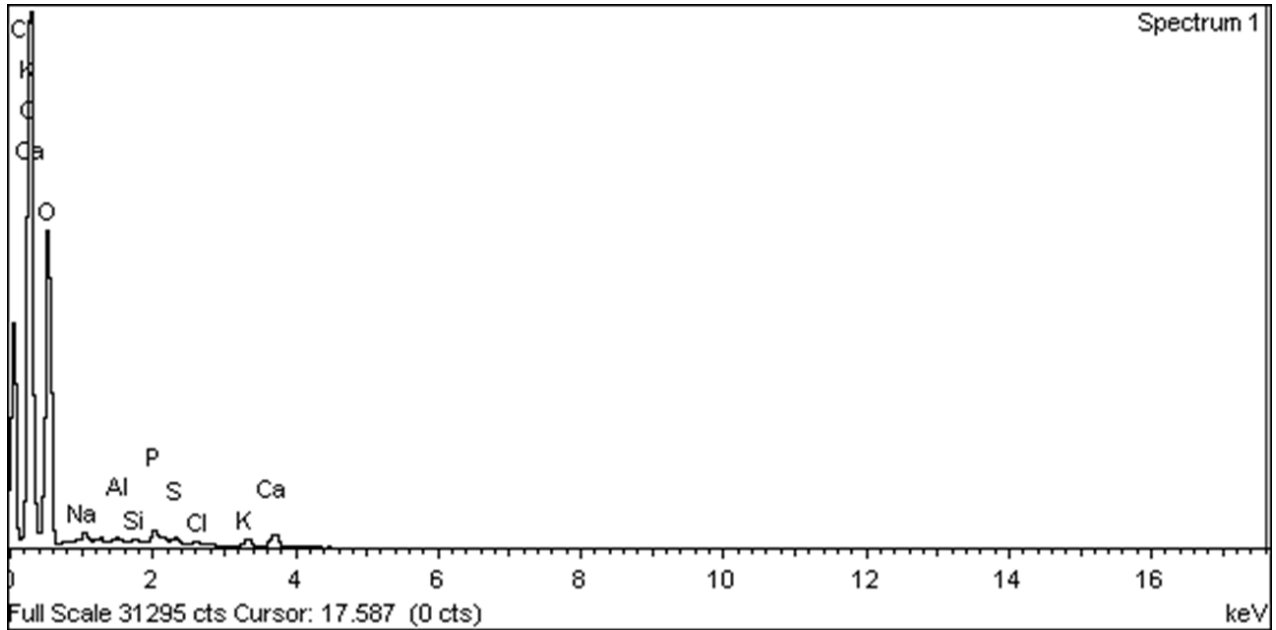
Element	Weight%	Atomic%
C K	36.99	46.38
O K	47.99	45.17
F K	4.22	3.35
Mg K	0.16	0.10
Al K	0.80	0.45
Si K	7.15	3.83
S K	0.47	0.22
K K	0.10	0.04
Ca K	0.77	0.29
Fe K	0.17	0.05
Ba L	1.18	0.13
Totals	100.00	

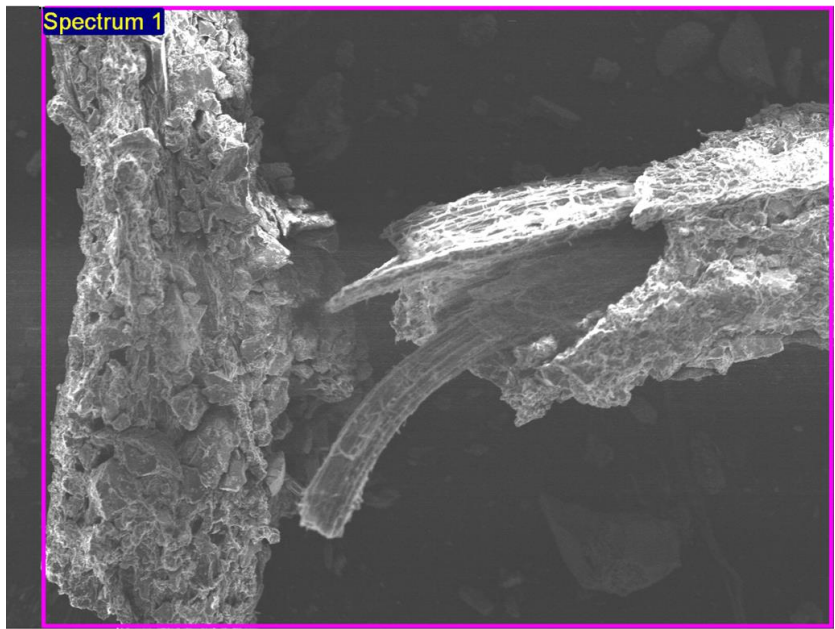




Spectrum 1

Element	Weight%	Atomic%
C K	55.18	62.78
O K	42.40	36.22
Na K	0.31	0.19
Al K	0.10	0.05
Si K	0.12	0.06
P K	0.39	0.17
S K	0.18	0.08
Cl K	0.14	0.05
K K	0.40	0.14
Ca K	0.77	0.26
Totals	100.00	





400µm 150X 15kV SEI

Element	Weight%	Atomic%
C K	51.82	61.03
O K	40.03	35.39
Na K	0.18	0.11
Mg K	0.12	0.07
Al K	0.52	0.27
Si K	4.81	2.42
S K	0.23	0.10
K K	0.19	0.07
Ca K	1.09	0.39
Fe K	0.26	0.07
Ba L	0.74	0.08
Totals	100.00	

