



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



ESPECIALIDAD EN FLORICULTURA

**PROYECTO TERMINAL:
PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE UNA MINA DE TEZONTLE
EN VILLA GUERRERO, PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE ROCA**

**POR:
ING. GRISELDA ELIZABETH CUADROS TORRES**

**TUTOR ACADÉMICO:
DR. JOSÉ LUIS PIÑA ESCUTIA**

**UNIDADES DE APRENDIZAJE:
PROYECTO TERMINAL
ESTANCIA PROFESIONAL**

PERIODO EDUCATIVO: 2019A

TOLUCA, MÉXICO; 5 DE JUNIO DE 2019



PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE UNA MINA DE TEZONTLE EN VILLA GUERRERO, PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE ROCA

INTRODUCCIÓN

La agricultura industrial, utiliza principalmente fertilizantes químicos que se liberan rápidamente. Esto significa, que pueden ser suministrados en exceso con respecto a la capacidad de la planta para asimilarlos, y en consecuencia éste exceso se pierde, contaminando aguas subterráneas y ríos. Por lo anterior, duran poco tiempo y deben ser agregados continuamente. Además, los fertilizantes químicos son costos por la gran cantidad de energía de combustibles fósiles que se utiliza en su fabricación, especialmente para los fertilizantes nitrogenados (Campe J., *et al.*, 2012).

El municipio de Villa Guerrero, vive un momento de crisis debido al uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos y agroquímicos, que han contaminado gravemente el agua, el suelo y el aire, poniendo en riesgo la supervivencia de la flora y la fauna, así como el bienestar de sus habitantes. Es por ello que la implementación de técnicas de agricultura orgánica se hace cada vez más necesaria en la región, ya que a través de ellas se logrará imitar la manera en que interactúan los componentes biótico y abiótico en los sistemas naturales, que son y seguirán siendo los sistemas más eficientes y productivos del planeta.

Una de las herramientas de agricultura orgánica que empieza a tomar mayor revuelo es la remineralización, ya que crea suelos fértiles al devolverles los minerales de la misma manera que lo hace la tierra: al desgastar las rocas (Campe J., *et al.*, 2012). Este proceso rejuvenece los suelos degradados y de baja fertilidad y consiste en agregar ciertos polvos de roca al suelo, lo que permite la adición de una gran cantidad de macro y micronutrientes perdidos en los procesos antropogénicos o por la meteorización. Además, la adición de polvo de roca facilita una reorganización de las características físicas del suelo, promoviendo un cambio en los parámetros de permeabilidad del mismo (Theodoro S. H., *et al.*, 2013).

Este recurso, tanto natural como generosamente disponible en todo el planeta, se comporta como un banco de agrominerales. Debido a su costo especialmente bajo, esta técnica representa una opción económicamente viable para los pequeños agricultores (Theodoro S.H., *et al.*, 2013).



Es así que las autoridades del municipio de Villa Guerrero, han considerado a la harina de roca como una alternativa viable, sustentable y local para mermar los problemas medioambientales y sanitarios que enfrentan; dado que el Ayuntamiento cuenta con una mina de tezontle, misma que se pretende explotar como harina.

JUSTIFICACIÓN

Hace más de 100 años, Julius Hensel escribió un libro llamado Panes de Piedra, que explicaba cómo la roca triturada podría mejorar la fertilidad del suelo. Su causa fue retomada unas nueve décadas más tarde, por John Hamaker y Don Weaver, quienes afirmaron que el inminente cambio climático podría mejorarse mediante la remineralización del suelo a gran escala combinada con la reforestación para proporcionar un sumidero de dióxido de carbono vegetativo. (Recuperado de: <http://www.ecofarmingdaily.com/rock-dust-can-improve-soils/>). De igual manera, es necesario considerar que derivado de la Cumbre Internacional para Combatir el Cambio Climático, celebrada en París en 2015, 195 países entre ellos México, acordaron tomar 17 medidas especiales. A este documento se le conoce como la Agenda 2030.

Estas medidas especiales han sido agrupadas por el Gobierno Mexicano en cuatro bloques (Figura 1); uno de ellos es el compromiso con la comunidad, la naturaleza y el medio ambiente. Por lo que es necesario que el municipio de Villa Guerrero se sume, a través de la difusión de prácticas de agricultura orgánica, como es el uso de harinas de roca, mismas que se pretende sean subsidiadas por el Ayuntamiento. Asimismo, en esta zona se cuenta con una población considerable y que sigue en crecimiento dada la actividad económica florícola, por lo que ofrecer insumos para la producción seguros para las personas y el medio ambiente y eficientes para los cultivos resulta indispensable.



Figura 1. Cuatro bloques que contemplan el plan de acción del Gobierno Mexicano para la estrategia mundial contra el cambio climático.



OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar una propuesta de aprovechamiento de una mina de tezontle en Villa Guerrero, para la producción de harina de roca.

ESPECIFICOS

- Dar a conocer a las Autoridades del municipio de Villa Guerrero, los beneficios del uso de las harinas de roca como revitalizadoras de suelos.
- Evaluar la composición química del tezontle y su uso potencial como enmienda mineral.
- Plantear el proceso de molienda y el tipo de molino adecuado para la producción de la harina de tezontle.
- Sugerir una estrategia local para dar a conocer la harina de roca que se producirá.
- Buscar alternativas de financiamiento dentro de las Agencias de Cooperación para el Desarrollo Sustentable.

Es importante destacar, que los objetivos específicos fueron planteados tomando como referencia las inquietudes de la Dirección de Fomento Agropecuario del municipio de Villa Guerrero, las cuales fueron: ¿Será viable usar el tezontle como harina de roca?, ¿Qué se necesita para la producción de harina de roca?, ¿Cómo se distribuiría localmente la harina generada?, ¿Podríamos obtener apoyo del gobierno?.

HIPÓTESIS

El aprovechamiento de la mina de tezontle para la producción de harina de roca, será más redituable a largo plazo y actuará más en beneficio de la comunidad; en contraposición con el uso actual que se le da tezontle y de la futura ampliación de la central de abasto, que no dejan de ser soluciones inmediatas a problemas estructurales y de comercialización. Por lo anterior, las Autoridades del municipio de Villa Guerrero, considerarán la presente propuesta como una alternativa en favor de los habitantes y del medio ambiente.

ANTECEDENTES

AGROMINERALES

Los agrominerales son materiales geológicos naturales, tanto en forma procesada como sin procesar, que se pueden usar en sistemas de producción de cultivos para mejorar la productividad del suelo. Dentro de ellos se incluyen: materiales geológicos que contienen



uno o más nutrientes vegetales reconocidos; los llamados fertilizantes de roca, que son elaborados con rocas de diferentes composiciones y las enmiendas del suelo, como la piedra caliza, la dolomita y varias rocas de silicato molidas. Algunos de estos recursos geológicos naturales son sólo moderadamente solubles a corto plazo, pero pueden liberar su contenido de nutrientes en el suelo durante largos períodos de tiempo (Van Straaten P., 2002).

Por otro lado, los fertilizantes industriales convencionales, a excepción de algunos fertilizantes a base de nitrógeno, provienen de rocas procesadas químicamente. En contraste, los agrominerales generalmente sólo se modifican físicamente, mediante trituración y molienda (Van Straaten P., 2002).

Los agrominerales más conocidos son:

- Salitre, el único mineral de nitrato de origen natural que se encuentra en depósitos considerables,
- Rocas fosfóricas, con apatito como el principio fosfato mineral,
- Minerales de guano, compuestos complejos de P y N,
- Potasa, principalmente KCl, y sales complejas que contienen K,
- Silicatos de K, como micas potásicas, glauconitas y rocas volcánicas que contienen K y zeolitas potásicas,
- Azufre, sulfuros (pirita) y sulfatos (yeso),
- Carbonatos de calcio y magnesio,
- Varios minerales de silicato y rocas utilizados para conservar los nutrientes (zeolita) o usados para conservar la humedad del suelo (tezontle y piedra pómez) (Van Straaten P., 2002).

HARINA DE ROCA Y REMINERALIZACIÓN

Entre los fertilizantes de origen natural se encuentra el polvo de roca, que es una opción a los fertilizantes químicos solubles, ya que tiene la capacidad de suministrar al suelo macro y micronutrientes de liberación lenta (Enciso-Garay C. R., *et al.*, 2016). Estos minerales a su vez, servirán para alimentar a los microorganismos y, dada la materia orgánica suficiente, se podrá reconstruir la capa superior del suelo rápidamente (Recuperado de : <http://www.ecofarmingdaily.com/rock-dust-can-improve-soils/>). Así también, la digestión biológica de estos minerales es clave para aumentar el carbono del suelo. Numerosos estudios han demostrado la capacidad de aumentar los niveles de carbono del suelo en 0.5% por año; por lo que la remineralización puede ayudar a atenuar el cambio climático (Campe J., *et al.*, 2012).



Por su parte, Julius Hensel, en su libro panes de piedra, destacó que la finura en la trituración o la molienda y la más completa mezcla de las partes constituyentes, es lo más importante para asegurar el mayor beneficio al fertilizar con polvo de rocas (Hensel Julius, 1894); ya que un pequeño tamaño de grano, permite que los elementos minerales que contienen se liberen fácilmente por la acción del agua, el dióxido de carbono y los ácidos orgánicos liberados por las raíces de las plantas y los microorganismos benéficos. Los materiales más finos tienen mayor área de superficie y liberan sus minerales más rápidamente. (Campe J., *et al.*, 2012). No obstante, no toda la harina de piedras es consumida por completo en el primer año, pues ésta le suministra nutrientes a las plantas aún en el quinto año, así como ha sido demostrado en experimentos (Hensel Julius, 1894). Algunos ensayos realizados, han demostrado que el polvo de roca mejora: el pH del suelo de forma gradual a diferencia de la cal, la capacidad de retención de agua, la actividad microbiana, la relación raíz-brote, las tasas de germinación de las semillas, el complejo de humus, y el proceso de compostaje. Asimismo, refuerza el sistema inmune de las plantas, aumenta su altura y peso y reduce la mortalidad de las mismas (Recuperado de <http://www.ecofarmingdaily.com/rock-dust-can-improve-soils/>).

Dentro del control de plagas, las harinas de roca operan principalmente absorbiendo o rompiendo la capa superficial cerosa que evita que los insectos se sequen rápidamente. También repelen físicamente a las plagas, interrumpen sus ciclos reproductivos y las erosionan. En conclusión, estas pequeñas partículas deshabilitan y desalientan a los insectos al causarles varias formas de incomodidad mecánica. (Campe J., *et al.*, 2012).

En conclusión, la remineralización es una herramienta esencial para el desarrollo sostenible, el empoderamiento económico y la justicia social, al crear un suministro local de alimentos densos en nutrientes para todos, mejorar la salud y generar medios de vida dentro de las comunidades locales. Por lo que puede desempeñar un papel crítico en la superación del hambre y la pobreza, la restauración ecológica, el secuestro de carbono y la estabilización del clima (Campe J., *et al.*, 2012).

ROCAS ÍGNEAS

Las rocas volcánicas, o rocas ígneas (del latín *igneus*, que significa que está vinculado con el fuego), son aquellas cuya formación acontece cuando se enfría el magma o lava de los volcanes, solidificándose y formando un manto de piedras ígneas de diversos tipos (Recuperado de: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tezontle-como-sustrato-agricola/>).



Las rocas ígneas contienen un amplio espectro de hasta 100 minerales y oligoelementos necesarios para el bienestar de toda la vida y la creación de suelos fértiles. Estos minerales se liberan lentamente y son duraderos, ya que deben ser eliminados de los cristales que los contienen (Campe J., *et al.*, 2012).

El basalto y las rocas volcánicas, generalmente desempeñan un mejor papel como remineralizadores del suelo, en comparación con el granito o las rocas que contienen principalmente feldespato (Campe J., *et al.*, 2012).

De acuerdo a su composición, las piedras ígneas a su vez son divididas en dos grandes grupos, conforme a la predominancia de los silicatos.

- a) Silicatos oscuros: donde predomina el hierro, el magnesio y el aluminio, así como un bajo nivel de sílice. El tezontle forma parte de este grupo y se encuentra de manera abundante en distintas regiones de México.
- b) Silicato claros: donde predominan el calcio, el potasio y el sodio. También son ricas en sílice, mucho más que los oscuros. Ejemplos de este tipo de roca son la piedra pómez y la perlita. (Recuperado de: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tezontle-como-sustrato-agricola/>).

Por otro lado, el tezontle es un material considerado inerte, con valores de pH cercanos a la neutralidad, baja CIC, buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula; adicionalmente no contiene sustancias tóxicas y tiene estabilidad física. De igual manera, se reportó que las densidades aparente y real en el tezontle aumentaron conforme disminuyó el tamaño de la partícula. En lo que a propiedades químicas respecta, los valores de pH, CE, CIC y contenido de materia orgánica fueron de 7.1, 0.08 dS m⁻¹, 2.7 cmol kg⁻¹ y 0%, respectivamente (Trejo-Téllez L. I., *et al.*, 2013).

El tezontle es un mineral procedente de la erupción de los volcanes y constituido por silicatos de aluminio, formado por fragmentos y partículas de lava porosa de bajo peso. Es un material que presenta alta heterogeneidad en el tamaño de la partícula. Este sustrato se puede encontrar en color rojo, negro o amarillo (Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/el-tezontle-como-sustrato-para-la-produccion-horticola>).

Algunos estudios en flores, usando tezontle como sustrato, reportaron que: en nochebuena la concentración foliar de macro y micro- nutrientes fue más alta en plantas crecidas en



tezontle en comparación con aquellas que se desarrollaron en una mezcla de tezontle más sustratos orgánicos. Otro estudio en la misma especie, mostró una mayor concentración de N, P, Fe, y B en plantas desarrolladas sólo tezontle. En contraste, en petunia se observó una mayor acumulación de N, P, K, Ca y Mg en plantas que crecieron en una mezcla de sustrato orgánico (composta) y suelo (Trejo-Téllez L. I., *et al.*, 2013).

Dentro de las características del tezontle se encuentran:

Nombre de la roca, mineral o piedra	Tezontle
Tipo básico	Ígnea; roca volcánica. Extrusiva
Grupo	Óxidos
Sistema Cristalino / Estructura	Sustratos, granular
Composición química	Similar al basalto y a la andesita. Gran cantidad de bióxido de hierro
Formación u origen	Volcánico
Dureza	5 Mohs
Textura	Vesicular, burbujeado; porosa
Densidad	De 1. 2 a 1.6 g/cms
Color	De rojos anaranjado a tonos amarillentos
Brillo	Mate
Propiedades	Guarda calor, pero no es permeable ni aislante; de rápida erosión

Recuperado de: http://pep.ieepo.oaxaca.gob.mx/recursos/multimedia/rocas_minerales/publi_rocas/tezontle.htm

PROGRAMA DE REMINERALIZACIÓN EN MÉXICO

En 2008, 8,000 hectáreas en diferentes Estados de la República Mexicana fueron remineralizadas (Campe J., *et al.*, 2012).

En 2009, la compañía Agro Insumos Nova Terra S. A., participó en un programa gubernamental para apoyar a los agricultores de Zacatecas, donde por primera vez en todo México, la urea fue reemplazada por polvo de roca, remineralizando 14.200 hectáreas de frijol. Los resultados fueron sobresalientes, con un rendimiento tres veces superior al del año anterior. La producción de maíz, uva, melocotón, nopal y varias variedades de chile también aumentó. Estos resultados prometedores convencieron a muchos agricultores de los beneficios de remineralizar sus suelos y continuaron utilizando el polvo de roca, incluso después de que terminó la campaña gubernamental (Campe J., *et al.*, 2012).



En 2011, otra campaña gubernamental apoyó a los agricultores en el municipio de Zapopan, Jalisco, para que utilizaran polvo de roca. Así también, en el verano de 2010 el gobierno de Jalisco proporcionó a los agricultores polvo de roca de diatomeas para fertilizar 1,250 hectáreas de cultivos, que incluían maíz, nopal, agave y árboles frutales como parte integral del programa para apoyar la remineralización de los suelos agotados (Campe J., *et al.*, 2012).

MATERIAL Y METODOLOGÍA

El proyecto se llevó a cabo a solicitud del Ing. Gualberto García y en coordinación con el Ing. Pablo Villalba, Director y Coordinador de la Dirección de Desarrollo Agropecuario del Municipio de Villa Guerrero, respectivamente.

MATERIAL

Mina de tezontle

1. Propietario: H. Ayuntamiento de Villa Guerrero (A partir del 2018).
2. Ubicación: Domicilio conocido sobre la autopista Ixtapan de la Sal-Tenancingo, a un costado de la central de Abasto de Villa Guerrero (Figura 2 a, b, c).



Figura 2 a, b, c. Imágenes satelitales de la ubicación y dimensión de la mina.



METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo las siguientes acciones:

1. Búsqueda de información:

- 1.1 Revisión de literatura sobre las harinas de roca, sus aplicaciones y la posibilidad de usar el tezontle como harina.
- 1.2 Solicitud al Ayuntamiento de la información referente a las dimensiones de la mina, para poder estimar el volumen en metros cúbicos de tezontle y finalmente calcular la cantidad de harina que resultará en base la densidad del producto.
- 1.3 Se consultó a especialistas del ramo de la construcción y de la industria minera.

2. Evidencias y toma de muestras:

- 2.1 Se visitó la mina para tomar evidencia fotográfica y consultar a los encargados sobre el manejo, usos y costos de explotación.
- 2.2 Se tomó una muestra de aproximadamente un kilo del material cribado; no se siguió ningún criterio específico para la colecta, ya que el análisis de composición química se considera sólo informativo.

3. Elaboración de propuesta de aprovechamiento:

- 3.1 Se dio a conocer el proceso de molienda y se propusieron dos tipos de molinos: uno de circuito semi-cerrado y de granulometría media y otro cerrado para granulometría ultra-fina.
- 3.2 Se propuso la alternativa más acorde para llevar a cabo la difusión y distribución de la harina.
- 3.3 Se planteó la posibilidad de que el proyecto pueda ser financiado por Agencias de Cooperación para el Desarrollo Sustentable.

RESULTADOS

1. Búsqueda de información

Harina de roca de tezontle: A la fecha, no existe referente en la literatura del uso de tezontle como harina de roca, únicamente como sustrato hortícola. Lo que se puede destacar, es que se trata de una roca ígnea como el basalto, y éste es ampliamente usando como enmienda remineralizante. Sin embargo, no hay información disponible y suficiente sobre la composición química del tezontle a diferencia del basalto, por lo que su uso principal se ha limitado a coadyuvar en la conservación de la humedad del suelo.

Dimensiones de la mina: Desafortunadamente, la mina ha sido considerada como parte del terreno que comprende la Central de Abasto, y dado que más de la mitad de lo que se



calcula que podría ser el yacimiento de tezontle se encuentra cubierto por material vegetal y por tepetate, resulta complicado hacer un cálculo visual (Figura 3).

Asimismo, uno de los especialistas consultados, el Arquitecto Antonio Lajuz, con amplia experiencia en valuación de minas, comentó que para tener certeza de la cantidad de tezontle que podría obtenerse, es necesario llevar a cabo un estudio con barrenos, cuyo costo inicial podría ir desde \$40,000.00, esto en función de la distancia, el despalme o limpieza del terreno y la profundidad que se quiera verificar, ya que el costo por metro lineal de profundidad es de \$1800.00. El especialista también comentó que en algunas ocasiones la distribución del tezontle no es uniforme y va haciendo ondulaciones con el tepetate.



Figura 3. Vista panorámica de la mina de tezontle en Villa Guerrero.

2. Evidencias y toma de muestras

Uso actual del material: Debido a que la intención de las Autoridades Municipales es nivelar el terreno para continuar con la construcción de la central de abasto de flores de Villa Guerrero; el material que se extrae está siendo empleado en el revestimiento de calles y caminos en todas las localidades que comprenden al Municipio. Las rocas más grandes son usadas en la construcción de cimientos de casas, por lo que pueden ser donadas a los habitantes de Villa Guerrero que así lo soliciten en el Ayuntamiento. El costo aproximado semanal para la operación de la mina asciende a \$4000.00, sin incluir a los camiones que transportan el material.



En las Figura 4 a, b y c, se puede observar la operación de la mina.

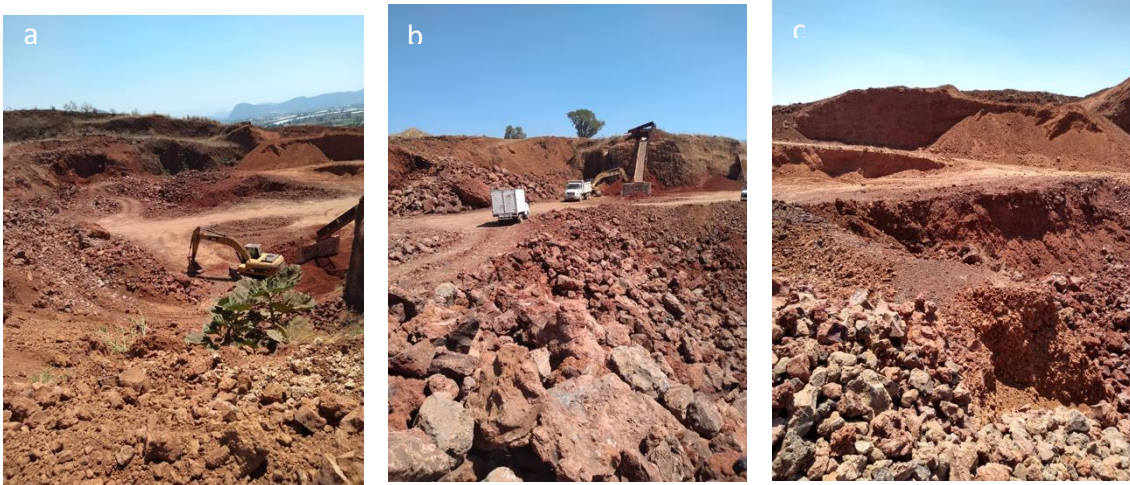


Figura 4 a, b, c. Imágenes de los trabajos y el avance en la explotación de la mina.

Análisis de composición química del tezontle: La muestra se colectó el martes 9 de abril del año en curso, y fue llevada al Laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX), dentro de las Instalaciones de la Secretaria de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) del Gobierno del Estado de México.

Se colectó aproximadamente un kilogramo de la roca cernida (Figura 5 a). Sin embargo, como lo indica la literatura, para que el análisis sea representativo, la muestra debe ser homogénea y de la granulometría más fina posible. En la Figura 5 b, se muestra una roca de tezontle rojo con negro, por lo que la muestra tomada no fue homogénea y es considerada sólo con fines informativos para el personal de la Dirección de Desarrollo Agropecuario.

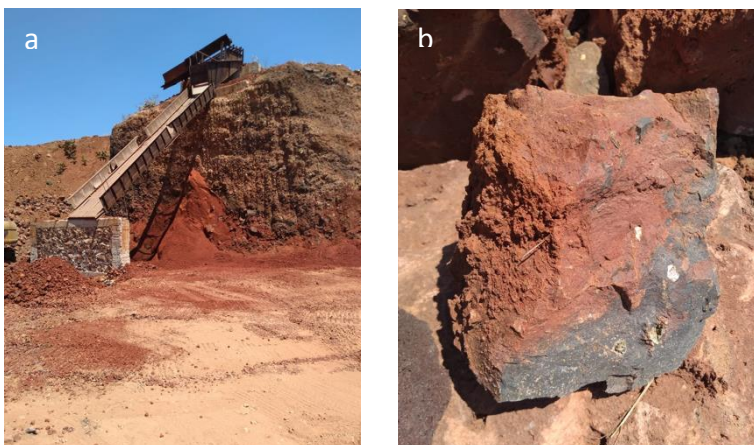


Figura 5 a. Tezontle cernido.

Figura 5 b. Roca de tezontle rojo con esquina de negro.



En la Figura 6, se muestran los resultados del análisis de composición química, en donde se resalta la presencia de elementos como Calcio, Magnesio y Manganeso.

LABORATORIO DE SUELOS

Mexico, México a 03 de agosto del 2018

Información General

Fecha: 03/08/18 No. Muestra Original: Cuello Analista: N/A
 Fecha de Recepción: 11/08/18 Profundidad de la muestra: 00 cm Cuello a Flujo: N/A
 Nombre: H. Ayuntamiento de Villa Guzman Localidad: Villa Guzman Tipo de Muestreo: N/A
 Estado: México Fuente de Agua: N/A

Propiedades Físicas del Suelo

pH: 4.62

Propiedades Especiales del Suelo

Plata: No detectada
 Cromo: 4.4 ppm
 Sodio: 43.30 ppm

Fertilidad del Suelo

Det	Resultado	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Mediano	Alto	Muy Alto
N	0.29	%					
P	86.65	ppm					
K	17.6	ppm					
Ca	331.32	ppm					
Mg	134.64	ppm					
Cu	44	ppm					
Zn	46.2	ppm					
Mn	118.8	ppm					
N. Total	0.29	%					
Ni	39.6	ppm					
Pb	19.8	ppm					
Cd	N/D	ppm					

LABORATORIOS SUELOS Y AGUAS

ANÁLISIS

SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y FORTALECIMIENTO AGRARIO, AGROPECUARIO,
 ACUICOLA Y FORESTAL DEL ESTADO DE MÉXICO
 DIRECCIÓN GENERAL

Det	Resultado	Unidad
MO	4.064	%
P	86.65	ppm
K	17.6	ppm
Ca	331.32	ppm
Mg	134.64	ppm
Cu	44	ppm
Zn	46.2	ppm
Mn	118.8	ppm
N. Total	0.29	%
Ni	39.6	ppm
Pb	19.8	ppm
Cd	N/D	ppm

pH: 4.62

Figura 6. Resultados del análisis de composición química del tezontle. Izquierda: Hoja completa de resultados. Derecha: Acercamiento del contenido de elementos químicos.

Conforme a la literatura consultada, faltó determinar el contenido de Silicio, Hierro y Aluminio, que son de los elementos que se encuentran en mayor proporción en las rocas de origen volcánico. Sin embargo, cuando se solicitó al ICAMEX el motivo por el cual no se determinaron, la técnico laboratorista argumentó que se solicitó un análisis como mejorador de suelos, y ese tipo de análisis no contempla la determinación de dichos elementos, por lo que deberán ser solicitados por separado. Se procedió entonces a hacer la solicitud de ampliación de resultados; no obstante, al día de hoy no se tiene la información complementaria.

Cabe destacar que en opinión del Arquitecto Antonio Lajuz, es posible “lavar” algunos elementos metálicos como el Aluminio y el Hierro de las arcillas; sin embargo, el costo y la metodología no pudieron ser dados a conocer, ya que será necesaria la intervención de un Ingeniero en Metalurgia.

A reserva de los resultados que arroje el análisis de composición química, se ha considerado la opción de utilizar otros minerales como complemento de la harina de tezontle. Dichos materiales podrían provenir del desgajamiento o perforación de cerros, cuando se



construyen nuevos puentes o se amplían caminos y carreteras. Por tal motivo, se solicitó información a la Ing. Civil Guillermina Cruz, proyectista para la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, acerca de si será posible la solicitud de este material a la SCT, a lo que ella comentó que si es posible, siempre y cuando la dureza del material no sea mayor a 5 Moh's, ya que el material de mayor dureza se ocupa como terraplén en la primer capa de la carretera.

Finalmente, en caso de ser necesario o del interés de las autoridades del Municipio de Villa Guerrero, y gracias al Sistema de Consulta de Información Geocientífica (GeoInfoMex) del Servicio Geológico Mexicano, se puede obtener información referente a la ubicación de yacimientos de distintos minerales, con la posibilidad de obtener directamente la concesión para la explotación por parte del Gobierno Federal o generar acuerdos con las comunidades propietarias de la mina para poder llevar a cabo la explotación de los minerales, con beneficios para ambas partes.

3. Elaboración de propuesta de aprovechamiento:

Proceso de molienda: Debido a que es una roca muy porosa, no se necesita equipo especial o explosivos para detonar como ocurre con el basalto, ya que el material cede con facilidad; por lo que se deberán continuar los trabajos con la retroexcavadora para el desgajamiento del cerro. Después de esto, será necesario triturar las rocas más grandes para poder alimentar al molino. La trituración será como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Proceso de trituración de rocas previo a la alimentar al molino.(Recuperada de: <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Tipos-de-Trituradoras-de-Rocas-Clasificaci%C3%B3n-de-Trituradoras-de-Piedras.html>).

Tipo de molino: Dentro del mercado, existen numerosas marcas y tipos de molinos. No obstante, entre las marcas más citadas están Joyal, Clirik y SBM, las tres de origen Chino. Los tipos de molinos seleccionados y recomendados por el experto consultado son: tipo Raymond y molino de tres anillos para micro-polvo. Ambos pueden trabajar con materiales de dureza como la del tezontle, entre 5 y 6 Moh's. A continuación se citan las características



de cada tipo de molino, conforme a las especificaciones de diversos fabricantes consultadas en la página de comercio chino www.alibaba.com.

Molino tipo Raymond: El sistema es semi-cerrado, por lo que parte del polvo puede escapar. La granulometría promedio del material descargado va de 1500 μm a 38 μm . Se recomienda el mantenimiento anual; sin embargo, puede hacerse cada dos años en función del tipo de material y el tiempo que se usa. El tamaño del material para la alimentación del molino es de 3 centímetros. En promedio, puede procesar de 1.2 a 8 toneladas por hora. Algunas características pueden variar en función de la marca y el modelo. Su costo promedio va de 11,000.00 USD hasta 32,000.00 USD. En las Figuras 8 y 9 se muestra el equipo que comprende la instalación completa del molino, así como la unidad principal y su funcionamiento, respectivamente.

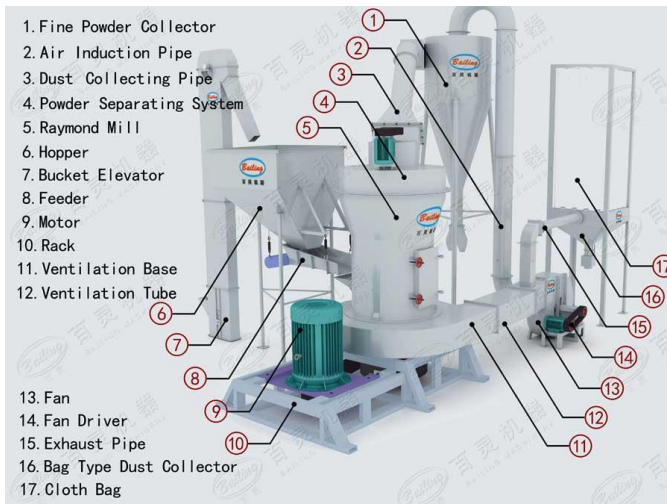


Figura 8. Ilustración de la instalación completa del molino tipo Raymond (Recuperado de : <http://www.ascendme.com/mill/82.html>).

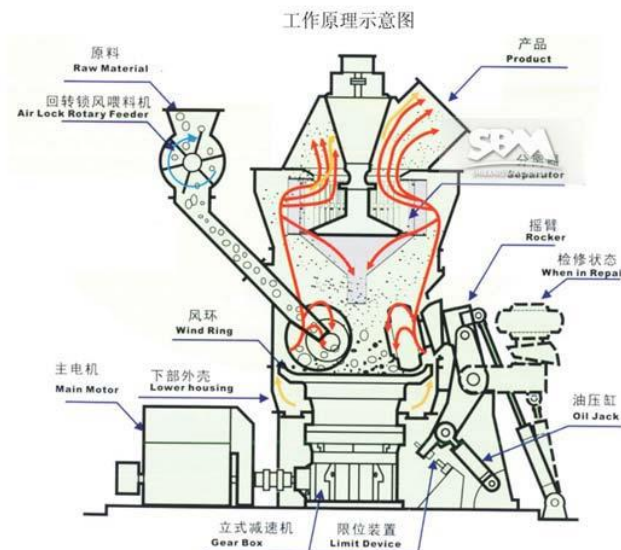


Figura 9. Detalle del funcionamiento del molino tipo Raymond (Recuperado de : <http://www.unisbm.com/gallery/grinding/raymond-mill/raymond-mill-design.php>).



Molino de tres anillos para micro-polvo: Es un sistema cerrado, cuenta con un atrapa polvo que impide que las finas partículas sean liberadas al ambiente. Produce una granulometría de 35 μm a 6 μm . Requiere mantenimiento anual y cambio de los anillos cada 2 a 5 años dependiendo del uso (tipo de material y cantidad de molienda). El tamaño del material para la alimentación del molino es de 2 centímetros. En promedio, puede procesar de 0.7 a 7 toneladas por hora. Algunas características pueden variar en función de la marca y el modelo. Su costo promedio va de 15,000.00 USD hasta 60,000.00 USD. En las Figuras 10 y 11 se muestra el equipo que comprende la instalación completa del molino, así como la unidad principal y su funcionamiento, respectivamente.

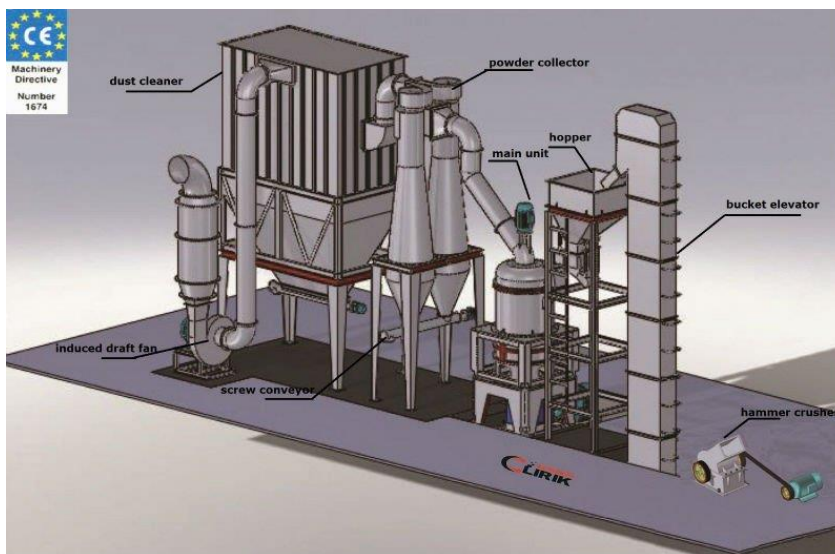


Figura 10. Ilustración de la instalación completa del molino de tres anillos para micro-polvo (Recuperado de: https://www.alibaba.com/product-detail/HGM125-grinding-mill-Clirik-HGM-series_60026957215.html).

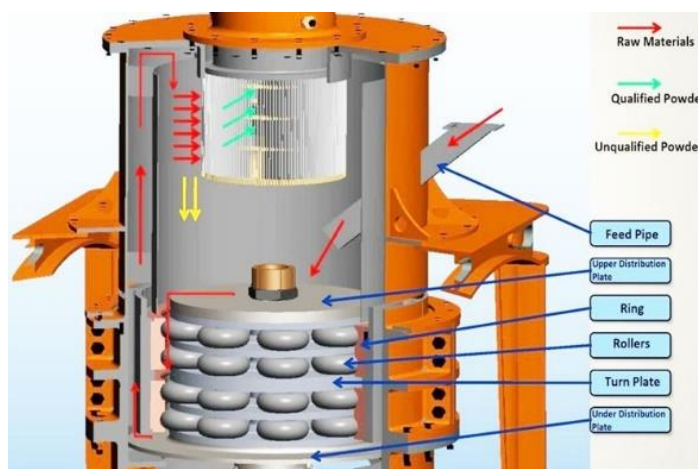


Figura 11. Detalle del funcionamiento del molino de tres anillos para micro-polvo (Recuperado de: <http://www.powder-mill.net/news/176.html>).



Difusión y distribución de la harina de roca: Debido a que la iniciativa se fundamenta en la sustentabilidad y en ser un proyecto de apoyo social para los habitantes de Villa Guerrero; se pretende llevar a cabo un senso de las personas físicas y morales que a la fecha elaboren y/o comercialicen insumos para la agricultura orgánica, fomentando así su consumo y aceptación; ya que a través de ellos podrá llevarse a cabo tanto la difusión como la distribución, concediéndoles un margen de utilidad por la labor realizada. Lo anterior evitará que se contrate personal, que a la par de ser un gasto adicional al proyecto, en ocasiones son individuos faltos de interés por el desarrollo sustentable, por lo que no colaboran a darle la proyección que se pretende a esta iniciativa. Tampoco busca dársele participación a las agropecuarias, ya que éstas siempre dan mayor promoción a los productos que les dejan una mayor utilidad.

Asimismo, se contempla que los tres delegados de cada una de las 40 comunidades que conforman al municipio, realicen juntas con los habitantes de la comunidad, en donde se den a conocer los beneficios de las harinas de roca y se proponga montar algunas parcelas demostrativas.

Posibilidades de financiamiento: Dado que es un municipio en crisis ambiental y de salud pública, Villa Guerrero tiene una considerable oportunidad de obtener un financiamiento parcial o total por parte de alguna de las Agencias de Cooperación para el Desarrollo Sustentable, ya que éstas organizaciones impulsan la generación y desarrollo de estrategias que permitan alcanzar los objetivos de la Agenda Mundial 2030, a través del financiamiento para la tecnificación de países en vías de desarrollo.

Por tal motivo, se hizo una búsqueda de las posibles agencias que podrían financiar un proyecto de esta naturaleza, encontrando las siguientes: AMEXID (Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo), GIZ (Agencia Alemana para la Cooperación Internacional) y P4G (Asociaciones para el Desarrollo Verde y las Metas Mundiales 2030); siempre que presente un proyecto comprometido con la comunidad, la naturaleza y el medio ambiente, y que cuente con estudios sobre: viabilidad técnica, viabilidad financiera, impacto social, impacto ambiental y relación costo- beneficio.

Por lo anterior, las Autoridades Municipales analizan la posibilidad de llevar a cabo los estudios antes citados y con ello completar el proyecto, para de esta manera ser candidatos a recibir financiamiento.



BIBLIOGRAFÍA

- Campe J., Kittredge D. & Klinger L. (2012). The potential of remineralization with rock mineral fines to transform agriculture, forests, sustainable biofuels production, sequester carbon, and stabilize the climate Recuperado de: <https://remineralize.org/publications/>
- Enciso-Garay C. R., Duarte Alvarez O., Abrahám Bogado G., Santacruz Oviedo V.R. (2016). Dosis de polvo de roca y sus efectos sobre el rendimiento del tomate. Revista Verde de Agroecología e Desarrollo Sustentável. V. 11, No 1, p. 37-42.
- Julius Hensel. (1984). Bread from stones. A New and Rational System of Land Fertilization and Physical Regeneration. 111 p. Recuperado de: <https://www.soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010173.hensel.pdf>.
- Peter van Straaten. (2002). ROCKS FOR CROPS: Agrominerals of sub-Saharan Africa. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá. pp. 1-7.
- Theodoro S. H., Henry O., Kleysson L., Rego L., de Paula F., Neodir M., Talini L., dos Santos F. & Oliveira N. (2013). Effects of stonemeal with organic fertilization on tropical soils. Recuperado de: <https://remineralize.org/publications/>
- Trejo-Téllez L. I., Ramírez-Martínez M., Gómez-Merino F. C., García-Albarado J. C., Baca-Castillo G. A. & Tejeda-Sartorius O. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. No. 5 16. pp. 863-876.
- <http://www.ecofarmingdaily.com/rock-dust-can-improve-soils/>.
- <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tezontle-como-sustrato-agricola/>.
- http://pep.ieepo.oaxaca.gob.mx/recursos/multimedia/rocas_minerales/publi_rocas/tezontle.htm.
- <http://tritadoras-de-roca.com/wiki/Tipos-de-Tritadoras-de-Rocas-Clasificaci%C3%B3nde-Tritadoras-de-Piedras.html>.
- https://www.alibaba.com/product-detail/HGM125-grinding-mill-Clirik-HGM-series_60026957215.html.
- <http://www.powder-mill.net/news/176.html>.
- <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/el-tezontle-como-sustrato-para-la-produccion-horticola>.
- <http://www.ascendme.com/mill/82.html>.
- <http://www.unisbm.com/gallery/grinding/raymond-mill/raymond-mill-design.php.3>.
- <https://www.alibaba.com/trade/>.