

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Acidificación del mineral óxido de zinc con ácido sulfúrico para generar sulfato de zinc

Por:

Naydelin Villatoro Dearcia

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Acidificación del mineral óxido de zinc con ácido sulfúrico para generar sulfato de zinc

Por:

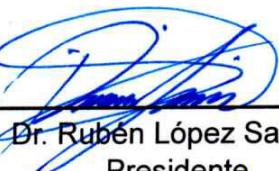
Naydelin Villatoro Dearcia

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:



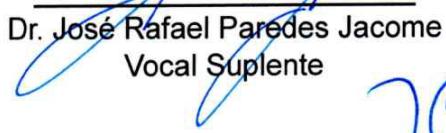
Dr. Rubén López Salazar

Presidente



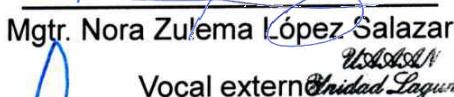
Dra. Luz María Ruiz Machuca

Vocal



Dr. José Rafael Paredes Jacome

Vocal Suplente



Mgtr. Nora Zulema López Salazar

Vocal externa *Unidad Laguna*



*Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas*

M.C. Rafael Ávila Cisneros

Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Acidificación de óxido de zinc con ácido sulfúrico para generar sulfato de zinc

Por:

Naydelin Villatoro Dearcia

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

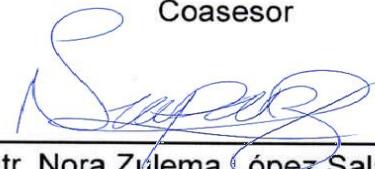
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por Comité de Asesoría:


Dr. Rubén López Salazar
Asesor Principal


Dra. Luz María Ruiz Machuca
Coasesor


Dr. José Rafael Paredes Jacome
Coasesor


Mgr. Nora Zulema López Salazar
Coasesor externo Unidad Laguna


M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División Regional de Agronomía


*Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas*

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2025

DEDICATORIAS

A mis padres, cuyo esfuerzo y dedicación me impulsaron a concluir mi formación académica. Gracias por su apoyo constante, por cada sacrificio, cada enseñanza y todo su amor. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba, y por mostrarme siempre el verdadero valor del esfuerzo.

A mis hermanas, la Médico Veterinario Zootecnista Reyna del Rocío Villatoro Dearcía y María Fernanda Villatoro Dearcía, por brindarme su apoyo incondicional y acompañarme en cada etapa de mi vida. Gracias por enseñarme a distinguir lo bueno de lo malo y por sus valiosos consejos. De manera especial, agradezco a mi hermana mayor por su sabiduría, por ser mi guía cuando más la necesité y por apoyarme incluso en lo económico en los momentos más difíciles.

A mis cuñados, el Médico Veterinario Zootecnista Oswaldo Uriel García García y Manuel Dearcia Morales por su invaluable apoyo moral y por recordarme siempre la importancia de la perseverancia. Gracias por su constante aliento y por motivarme a culminar mi carrera universitaria.

A mi novio Ingeniero Civil Josué Velázquez Morales, por motivarme y guiarme no hay palabras para agradecer todo tu cariño y la fe que siempre tuviste en mí. Eres mi mayor inspiración.

A mi tío Dinar de Jesús Dearcía Guillén, por su apoyo y sus palabras que siempre me animaron. Gracias por estar presente cuando más lo necesitaba y por brindarme su cariño sincero. Le agradezco de corazón su acompañamiento en este camino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi querida Alma Mater, por ser el espacio donde crecí, aprendí y descubrí mi vocación. Gracias por abrirme sus puertas, por formarme con excelencia y por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto.

A mis padres, Virgilio Rocael Villatoro Rivas y Minerva Dearcia Guillén, por ser mi mayor fortaleza y mi guía en cada paso. Gracias por su amor inagotable, por cuidarme siempre y por formar en mí los valores que hoy me definen. A pesar de las dificultades económicas y laborales, nunca dudaron en brindarme su apoyo, su esfuerzo y su cariño. Cada consejo, cada sacrificio y cada gesto suyo ha dejado una huella inmensa en mi vida. Este logro también les pertenece, porque es fruto de su dedicación y del amor con el que siempre me impulsaron a seguir adelante.

A mis profesores, el Dr. Rubén López Salazar y la Dra. Luz María, por su guía paciente y su compromiso durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por cada consejo, por su apoyo constante y por compartir conmigo sus conocimientos con dedicación y entrega. La formación académica que me brindaron ha dejado una huella invaluable en mi camino profesional y personal. Les agradezco profundamente el tiempo, la confianza y la inspiración que me ofrecieron a lo largo de este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general	2
Objetivo específico	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Definición del fertilizante ácido sulfúrico.....	3
Importancia del ácido sulfúrico	4
SULFÁTO DE POTASIO.....	5
Conceptos	5
Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas	6
Ventajas del uso de nitrato de potasio ($K+NO_3^-$) con respecto al sulfato de potasio ($K_2SO_4^-$)	7
Óxido de Zinc	8
Partículas de óxido de Zinc: propiedades y aplicaciones.....	8
MATERIALES Y METODOS	8
Sitio Experimental	8
Área de Estudio	9
Actividades del Experimento.....	9
SOLUBILIZACIÓN de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn POR DIGESTIÓN CON $HNO_3/HClO_4$	12
Reactivos.....	12
Los materiales y equipo para la cuantificación utilizada se enlistan como sigue:	
..... ¡Error! Marcador no definido.	
La cuantificación de Fósforo se realizó de la siguiente manera	13
MATERIAL Y EQUIPO	13
PROCEDIMIENTO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE P	14
CÁLCULOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE P	15
PROCEDIMIENTO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CA	15
CÁLCULOS	18

REACTIVOS	19
MATERIAL Y EQUIPO	20
PROCEDIMIENTO	20
CÁLCULOS	21
RESULTADO Y DISCUSIÓN	21
Estas son las fórmulas para calcular las partes por millón de los micronutrientos	21
CONCLUSIÓN.....	27
LITERATURA CITADA.....	28

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: área de localización.....	9
Imagen 2: Medición de ácido sulfúrico.....	11
Imagen 3: Mezcla de mineral con ácido sulfúrico	10
Imagen 4: Pasar la mezcla de los matraces a los vasos.....	12
Imagen 5: Preparación de todas las diluciones.....	11
Imagen 6: Diluciones terminadas.....	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tratamientos con diferentes medidas de acido	9
Tabla 2: Se Prepara la curva de calibración siguiente y se le trata con las muestras	14
Tabla 3: La preparación de la curva de calibración (podrían tenerse otras concentraciones recordar que el intervalo de trabajo depende de la sensibilidad del instrumento	16
Tabla 4: se lee en absorción atómica con llama aire y C₂H₂, de acuerdo con las especificaciones del apartado	17
Tabla 5: Estos dos elementos se cuantifican generalmente en la primera dilución de K	17
Tabla 6: Estos dos elementos se cuantifican en la primera dilución de Na	18
Tabla 7: La preparación de la curva de calibración de Fe, Cu, Zn, y Mn	21
Tabla 8: Diluciones de Zinc	21
Tabla 9: Diluciones Potasio	23
Tabla 10: Diluciones Hierro	24
Tabla 11: Diluciones Magnesio	25

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Cantidad de zinc de la acidificación de óxido de zinc	23
Gráfica 2: Cantidad de potasio obteniendo de la acidificación en óxido de zinc.....	24
Gráfica 3: Cantidad de hierro obteniendo de la acidificación de óxido de zinc	25
Gráfica 4: Cantidad de magnesio obteniendo de la acidificación de óxido de zinc ...	26

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el laboratorio de suelos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, dicho proyecto de investigación se hizo con el objetivo de generar sulfato de zinc. Producido con 10g. ZnO de mineral y de diferentes cantidades de ácido. El ácido obtenido mediante este procedimiento es altamente rentable en el laboratorio ya que muestra una notable resistencia a la oxidación, reducción y frente a la evaporación. El ZnO es un material con alto punto de fusión de aproximadamente 2000 °C. Los tratamientos a evaluar fueron T1, T2, T3, T4 Y T5, para poder obtener las partes por millón de Zn, Fe, Mg y K donde los tratamientos dominantes en la cantidad de sulfato de zinc generada fue el T1, lo cual indica que este compuesto se puede utilizar en la nutrición agrícola de manera foliar o al suelo, de igual forma en este mismo tratamiento la cantidad de magnesio es adecuada para su uso, así mismo el T5 mostró cantidades adecuadas de los elementos hierro y potasio; estas cantidades no son fertilizantes, se pueden utilizar como acidificantes de soluciones nutritivas o ser aplicadas vía foliar como un comodities o compuestos básicos en la mejora de la producción.

Palabras Clave: Fertilizante, Óxido de zinc, Producción, Oxidación, Sulfato de zinc

INTRODUCCIÓN

El ácido sulfúrico obtenido mediante este procedimiento resulta particularmente rentable en el laboratorio debido a su elevada estabilidad química, reflejada en su resistencia a procesos de oxidación, reducción y evaporación. Asimismo, los fertilizantes fosfatados solubles en agua como los superfosfatos se producen a partir de este ácido y se recomiendan para corregir deficiencias de fósforo en los cultivos, dado que su solubilidad facilita una disponibilidad inmediata del nutriente. En contraste, cuando se aplica directamente al suelo roca fosfórica finamente molida, la conversión del fósforo a formas solubles ocurre de manera lenta y depende en gran medida de la acidez y las características propias del suelo. Los principales consumidores de ácido sulfúrico incluyen a las plantas termoeléctricas, los ingenios azucareros, la industria de fertilizantes, el sector textil y alimenticio, las refinerías de petróleo, así como las industrias electroquímica y metalúrgica. Asimismo, menciona su uso en el comercio minorista, entre otros sectores.

OBJETIVOS

Objetivo general

- + Obtener sulfato de zinc con la acidificación del mineral óxido de zinc más ácido sulfúrico

Objetivo específico

- + Generar sulfato de zinc a base de óxido de zinc y ácido sulfúrico

Hipótesis

- + Con la acidificación del óxido de zinc más ácido sulfúrico nos dará como resultado sulfato de zinc

REVISIÓN DE LITERATURA

Definición del fertilizante ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico está presente en diversas concentraciones y niveles de pureza, para producir ácido fosfórico hay dos procesos básicos: el proceso húmedo y el de horno, en el método húmedo el ácido fosfórico se genera al reaccionar el ácido sulfúrico con la roca fosfórica, lo que a su vez provoca la formación de precipitación de sulfato de calcio (Matías, 2021).

El ácido sulfúrico comercial posee aproximadamente un 93% de H₂SO₄ mientras que el resto corresponde a agua, actúa como un fuerte agente deshidratante, y al ser un ácido fuerte que se disocia en agua completamente y forma un ion de sulfato de hidrógeno. Su grado de acidez varía según la concentración y reacciona con diversos metales e incluso a temperatura ambiente, tiene un comportamiento ligeramente oxidante. Cuando se encuentra concentrado y caliente su acción se vuelve especialmente agresiva (Soto, 2000).

El ácido sulfúrico obtenido mediante este procedimiento resulta particularmente rentable en el laboratorio debido a su elevada estabilidad química, reflejada en su resistencia a procesos de oxidación, reducción y evaporación. Asimismo, los fertilizantes fosfatados solubles en agua como los superfosfatos se producen a partir de este ácido y se recomiendan para corregir deficiencias de fósforo en los cultivos, dado que su solubilidad facilita una disponibilidad inmediata del nutriente. En contraste, cuando se emplea directamente al suelo roca fosfórica finamente molida, la conversión del fósforo a formas solubles ocurre de manera lenta y depende en

gran medida de la acidez y las características propias del suelo (Rodríguez *et al.*, 2017; Serna, 2020).

Importancia del ácido sulfúrico

El autor (Serrano *et al.*, 2021) señala que los principales consumidores de ácido sulfúrico incluyen a las plantas termoeléctricas, los ingenios azucareros, la industria de fertilizantes, el sector textil y alimenticio, las refinerías de petróleo, así como las industrias electroquímica y metalúrgica. Asimismo, menciona su uso en el comercio minorista, entre otros sectores.

El ácido sulfúrico es utilizado para reducir la alcalinidad del agua destinada a uso agrícola y cuyo costo es accesible. Antes de añadir cualquier tipo de ácido al agua, es indispensable realizar un análisis químico que permita evaluar su calidad y determinar su nivel de alcalinidad. Dicho análisis revela las concentraciones de bicarbonatos y carbonatos; si la suma de ambos supera los 0.5 meq/L, será necesario elegir y calcular la dosis adecuada de ácido para ajustar la alcalinidad. (INTAGRI, 2017).

Los fosfatos, potasas, nitratos y el azufre, son la base de la industria moderna de fertilizantes químicos. Los fertilizantes ofrecen diversos beneficios por ejemplo permiten cultivar terrenos que antes eran improductivos o mejorar la calidad de los cultivos en suelos previamente utilizados. (González, 2020).

En el análisis de plaguicidas organoclorados, existe una técnica que utiliza ácido sulfúrico para precipitar las grasas, lo que favorece una alta recuperación de plaguicidas superior al 90%. Además, existe un extracto apto para el análisis cromatográfico con muy poca presencia de grasas residuales (entre 0.8 y 2.2 mg

equivalente al 0.22-1.87% de la muestra tratada), determinadas gravimétricamente como sustancias no volátiles. Se compara el bajo costo del ácido sulfúrico concentrado con el de los adsorbentes comúnmente usados para eliminar grasas del extracto de hexano, queda claro que el uso de ácido sulfúrico es una alternativa eficiente y económica (Waliszewski *et al.*, 2007).

SULFÁTO DE POTASIO

Conceptos

El potasio (K) es un nutriente sumamente esencial para las plantas y, junto con el fósforo (P) y el nitrógeno (N), forma parte de los tres nutrientes primarios que requieren todos los cultivos. Las raíces lo absorben en forma de ion K+. Aunque no forma parte de compuestos orgánicos dentro de la planta, es indispensable para la síntesis de proteínas. Los fertilizantes potásicos se aplican para mejorar la productividad y calidad de los cultivos, especialmente en suelos donde la disponibilidad de este nutriente es baja (Briones, 2020).

El sulfato de potasio es un fertilizante inorgánico de origen mineral y bajo contenido de cloro. En suelos alcalinos o salinos contribuye a reducir el pH y presenta menor tendencia a la lixiviación en comparación con otros fertilizantes potásicos. Aporta aproximadamente 50% de potasio (K) y 17% de azufre (S). Este fertilizante es esencial para la fotosíntesis, ayuda a que la planta soporte períodos de sequía y juega un papel clave en la formación, desarrollo y llenado de frutos y granos (Pacificex, 2020).

El potasio es indispensable en el proceso fotosintético; cuando existe deficiencia de K, la fotosíntesis disminuye, la respiración celular aumenta y se reduce la

acumulación de carbohidratos. Esto ocasiona un crecimiento limitado y una menor producción en las plantas (Fertymend, 2025).

El sulfato de potasio es compatible con la mayoría de los fertilizantes, especialmente con fosfatos naturales, superfosfatos simples y amoniacales, así como con fosfato bicálcico y cloruro de potasio. Puede formar sales dobles, en particular con sulfato de magnesio y calcio. Es un fertilizante moderadamente higroscópico y presenta una alta humedad crítica relativa, la cual disminuye cuando se mezcla con nitrato de calcio, nitrato de sodio o nitrato de amonio (Plantagro, 2025).

El potasio (K) es sumamente importante para el proceso de fotosíntesis, participa en la síntesis de proteínas y en la descomposición de carbohidratos, lo que permite generar energía para el crecimiento de la planta. Además, contribuye a mejorar la resistencia frente a enfermedades, heladas y condiciones de sequía. También es clave en la formación de frutos, su llenado y en el desarrollo del grano. En la naturaleza, el sulfato de potasio suele encontrarse mezclado con sales que contienen magnesio (Mg), sodio (Na) o cloro (Cl), por lo que se requieren procesos de separación específicos para obtenerlo de manera pura (Quimagro, 2024).

Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas

El potasio es un macronutriente esencial debido a la cantidad que las plantas requieren de él; se necesita entre tres y cuatro veces más que el fósforo (P) y casi tanto como el nitrógeno (N). Se considera un nutriente primario porque participa en funciones fisiológicas fundamentales (Narcisa, 2003).

Sulfato de potasio y la dinámica en el sistema suelo-cultivo

El sulfato de potasio (K_2SO_4) es un fertilizante inorgánico de origen mineral (placerita), ampliamente utilizado cuando se necesita una fuente de potasio libre de cloruros. Esta característica es especialmente importante en cultivos sensibles al cloro, como tabaco, papa y algunas frutas blandas. A nivel mundial, el consumo anual de sulfato de potasio es de aproximadamente 13 648 toneladas, mientras que el cloruro de potasio y el nitrato de potasio alcanzan alrededor de 42 300 y 20 000 toneladas, respectivamente. Aunque la mayoría de los suelos contienen potasio, sólo un pequeño porcentaje (alrededor del 2 %) está disponible para las plantas. El potasio disponible se encuentra en dos formas: K^+ en la solución del suelo, y K^+ intercambiable, retenido temporalmente en arcillas y materia orgánica (Pilar, 2019).

Ventajas del uso de nitrato de potasio ($K^+NO_3^-$) con respecto al sulfato de potasio ($K_2SO_4^-$)

El nitrato de potasio es una de las fuentes más eficientes de potasio y nitrógeno debido a su alta solubilidad y rápida absorción. El ion nitrato facilita el transporte del potasio dentro de la planta, favoreciendo procesos como la fecundación, la síntesis de proteínas y el movimiento de carbohidratos. Además, presenta una amplia compatibilidad con otros fertilizantes y agroquímicos y no interfiere con la absorción de otros nutrientes esenciales (Díaz, 2020).

En el mundo la mayoría de los fertilizantes potásicos provienen de minerales extraídos por minería, principalmente de la silvinita y la halita. Estos minerales contienen grandes cantidades de potasio, pero mezclado con cloro, magnesio y compuestos nitrogenados (López, 2011)

Óxido de Zinc

Partículas de óxido de Zinc: propiedades y aplicaciones

El ZnO es un material con alto punto de fusión de aproximadamente 2000 °C. la diferencia de electronegatividades entre el zinc (Zn) y el oxígeno produce un alto de ionicidad en su enlace, esto induce una repulsión considerable entre la carga de átomos vecinos con igual carga eléctrica. Es importante en cuanto a la gama de aplicaciones, industriales, entre ellas la más extendida y tradicional ha sido al uso en la producción de la de goma, donde disminuye el tiempo de vulcanización, como pigmento en la producción de pinturas (Aguilar, 2008).

MATERIALES Y METODOS

Sitio Experimental

La UAAAN UL se ubica en periférico Raúl López Sánchez y carretera a Santa Fe en la colonia Valle Verde 27054 Torreón, Coahuila, México.

Longitud: 103°57' 36.00" W 99°50' 35.16" W

Latitud: 24°32' 33.72" N 29°52' 48.00" N

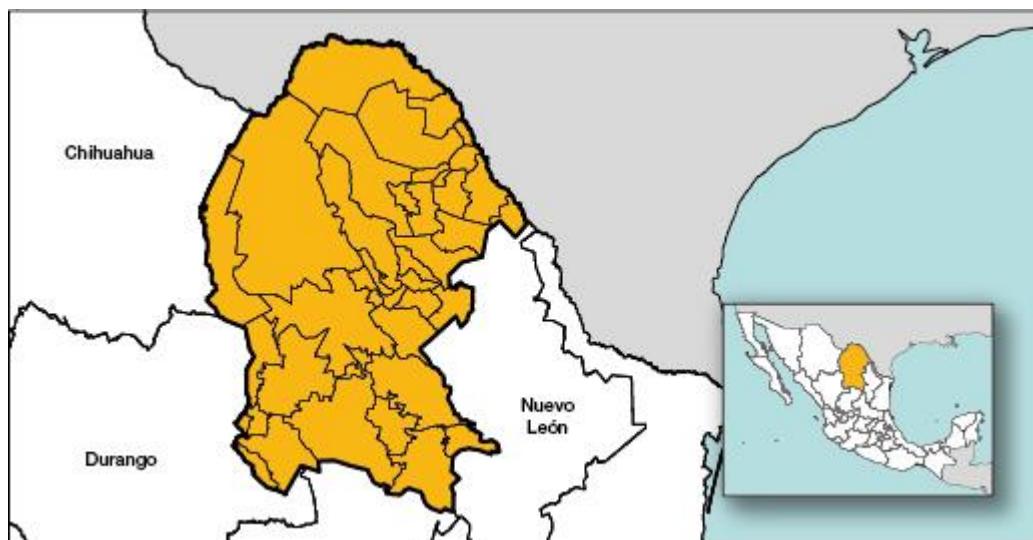


Imagen 1: área de localización**Área de Estudio**

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en la UAAAN-UL en el Departamento de Suelos en el laboratorio de análisis de Suelos, con fecha de 08 de noviembre del 2024 al 26 de noviembre del 2024, correspondiente al semestre enero-junio del 2025.

Actividades del Experimento

Se pesaron en una báscula analítica 10g de ZnO para cada tratamiento colocando esta cantidad en su matraz respectivo, posteriormente se aplicaron los diferentes mL de ácido sulfúrico como a continuación se presenta:

Tabla 1: Tratamientos con diferentes medidas de ácido

Tratamientos	Ácido sulfúrico en mL	Agua destilada mL
T1	25	200
T2	50	200
T3	75	200
T4	100	200
T5	125	200
T6	25	200
T7	50	200
T8	75	200
T9	100	200
T10	125	200



Imagen 2: Medición de ácido sulfúrico



Imagen 3: Mezcla de mineral con ácido sulfúrico

De la imagen 2 a la 3: En este experimento se utilizó el mineral y ácido sulfúrico para poderlos pasar en varios matraces, cada uno con diferentes medidas de ácido previamente medidos, se mezclaron con el mineral óxido de zinc para preparar distintas disoluciones.

Imagen 4: Pasar la mezcla de los matraces a los vasos Imagen 5: Preparación de todas las diluciones



Imagen 6: Diluciones terminadas



La imagen 4 a la 6: Una vez que las mezclas se homogenizaron se sometieron a un proceso de filtración con un papel filtro en cuanto a este paso tomo alrededor de un día completo, debido a la presencia de sólidos finos del mineral, obteniendo una solución más clara y libre de impurezas, para poder llevar a cabo los análisis en laboratorio.

SOLUBILIZACIÓN de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn POR DIGESTIÓN CON HNO₃/HClO₄

Reactivos

Los reactivos utilizados fueron ácido perclórico (HClO₄) en concentraciones del 70 al 72% y el ácido nítrico (HNO₃) al 65%.

Cuantificación de las muestras

Para la mezcla digestora se utilizó 4 mL de ácido nítrico y 2 mL de ácido perclórico por muestra (relación 2:1). Esta mezcla al ser estable puede llevarse a cabo con antelación.

A continuación, se presenta la lista de los materiales y el equipo utilizados para la cuantificación:

- Tubos con medida de 2.2 centímetros d.i y 2 centímetros de largo
- Matraz volumétrica o automática con medidas de 2, 3 y 5 mL
- Microbureta
- Bureta de 50 mL
- Block digestor
- Estufa de aire forzado
- Molino (acero inoxidable) estilo wiley con tamiz malla de 40
- Para el análisis de los micro nutrimentos se debe dejar el material toda la noche en ácido clorhídrico al 5% y posteriormente se debe enjuagar con agua del grifo a continuación con agua destilada y agua desionizada.

La cuantificación de Fósforo se realizó de la siguiente manera

- El Reactivo vanadomolíbdico: se preparó justo antes de realizar la colorimetría para poder cuantificar P. Para ello se mezclaron en proporciones iguales los siguientes componentes:
- Ácido nítrico 1:2: se combinaron 333 mL de ácido nítrico concentrado con 667 mL de agua.
- Vanadato de amonio al 0.25%: se disolvieron 2.5 g de metavanadato de amonio (NH_4VO_3) en 800 mL de agua, aplicando un ligero calentamiento y agitación, posteriormente se dejó enfriar y se completó el volumen hasta 1L.
- Molibdato de amonio al 5%: se disolvieron 50 g de heptamolibdato de Amonio ($(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$) en 400 mL de agua, calentando suavemente y agitando hasta lograr la completa disolución y se ajustó el volumen a 1 L.
- Estándar de fósforo de (200 ppm): se pesaron 0.8787 gramos de fosfato dihidrógeno de potasio (KH_2PO_4 , previamente secado en horno a 105 °C durante 2 horas), el sólido se disolvió en agua y se ajustó a 1 L. Dicha solución debe almacenarse en refrigeración dentro de un frasco de plástico o de vidrio común (no se debe usar de tipo pyrex) para impedir posibles contaminaciones con el arsénico.
- Estándar de Fósforo de (50 ppm): se mezclaron 25 mL de la solución anterior de (200 ppm) de fósforo a 100 mL con agua.

MATERIAL Y EQUIPO

- Se utilizaron tres pipetas volumétricas de 2 mL, 3mL y 5 mL
- También se utilizaron matraces aforados de 50 mililitros.

- Microbureta
- Bureta o dosificador automático
- Espectrofotómetro.

PROCEDIMIENTO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE P

Se toma una alícuota que contenga menos de 0.3 mg de fosforo (P), se miden 2 mililitros y se sitúan en un matraz aforado de 50 mililitros. Se añade agua destilada hasta alcanzar aproximadamente 40 mililitros. Luego se incorporan 7.5 mL del reactivo vanadomolíbdico, se completa el volumen con agua destilada y se agita.

Después de esperar los 20 minutos se mide la absorción de luz por el complejo fosfovanadomolíbdico a una longitud de onda de 470 nm.

Tabla 2: Se Prepara la curva de calibración siguiente y se le trata con las muestras

Solución de P	Reactivos	Conc. De
50 ppm ^a	vanadomolíbdico	P
----- mL -----		ppm
0	7.5	0
2	7.5	2
4	7.5	4
8	7.5	8
12	7.5	12
16	7.5	16

^a matraces aforados de 50 mL

CÁLCULOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE P

$$P (\%) = \frac{\text{ppm CC} \times D_m \times D_v}{10\ 000}$$

Donde:

Ppm CC = partes por millón en la curva de calibración

D_m = dilución de masa (volumen de extractante/g de muestra)

D_v = dilución de volumen (aforo/alícuota)

32.289 factor para convertir de porcentaje a cmol kg $^{-1}$.

PROCEDIMIENTO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CA

Para poder realizar el análisis de macroelementos es necesario realizar diluciones apropiadas. En el caso del Calcio (Ca), normalmente se efectúa una doble dilución. Primero se toma con una pipeta volumétrica, una alícuota de 2 mL y se coloca en un matraz aforado de 50 mL. Luego se completa el volumen y se mezcla bien.

De esta primera dilución se toma una alícuota de 3 o 5 mL y se enrasta a 25 mL.

La segunda dilución es la que se emplea para lectura del Calcio en absorción atómica utilizando llama de óxido nitroso (N_2O) y acetileno (C_2H_2). Debe prepararse la curva de calibración siguiendo las indicaciones del aparato.

Generalmente en la segunda solución se realiza la cuantificación del calcio, por lo tanto, la curva de calibración se efectúa con agua, en estas soluciones no se presentan efectos matriciales.

Tabla 3: La preparación de la curva de calibración (podrían tenerse otras concentraciones recordar que el intervalo de trabajo depende de la sensibilidad del instrumento)

Solución de Ca (100 ppm) ^a	Aforo con agua	Conc. de Ca
----- mL -----		
0	100	0
1	100	1
3	100	3
5	100	5
7	100	7
10	100	10
15	100	15

^a en matraz aforado de 100 mL

Se recomienda añadir cloruro de lantano a las soluciones; se deben tomar 10 mL tanto de la segunda solución como de cada punto de la curva de calibración. A estos 10 mL, se les debe agregar 2.5 mL de una solución de cloruro de lantano al 5%. Este procedimiento asegura que tanto las soluciones de la muestra como los estándares de la curva de calibración tengan una concentración final de lantano del 1%.

La lectura del Magnesio (Mg) se realiza habitualmente utilizando primera solución. Para la curva de calibración utiliza agua como solvente de aforo porque no se observan efectos de matriz que puedan interferir con la medición.

Tabla 4: se lee en absorción atómica con llama aire y C₂H₂, de acuerdo con las especificaciones del apartado

Solución de Mg (100 ppm) ^a	Aforo con agua	Conc. de Mg
mL		ppm
0	100	0
1	100	1
3	100	3
5	100	5
7	100	7
10	100	10
15	100	15

^a En matraz aforado con 100 mL

Se recomienda añadir cloruro de lantano a las soluciones; se deben tomar 10 mL de la primera solución como de cada punto de la curva de calibración. A estos 10 mL, se les debe agregar 2.5 mL de la solución de cloruro de lantano al 5%. Este procedimiento asegura que tanto las soluciones de la muestra como los estándares de la curva de calibración tengan una concentración final de lantano del 1%.

El sodio (Na) y el potasio (K) se miden mediante un fotómetro de llama, aplicando el filtro o la longitud de onda indicada o un equipo de absorción atómica operando en modo de emisión a la longitud de onda adecuada.

Tabla 5: Estos dos elementos se cuantifican generalmente en la primera dilución de K

Solución de K (100 ppm) ^a	Aforo con agua	Conc. de K
mL		ppm
0	100	0
5	100	5
10	100	10
20	100	20
30	100	30
40	100	40

^a En matraz aforado con 100 mL

Tabla 6: Estos dos elementos se cuantifican en la primera dilución de Na

Solución de Na (100 ppm) ^a mL	Aforo con agua	Conc. de Na ppm
0	100	0
5	100	5
10	100	10
20	100	20
30	100	30
40	100	40

^a En matraz aforado con 100 mL

CÁLCULOS

$$\text{Ca \%} = \frac{\text{ppm CC} \times D_m \times D_v}{10\,000}$$

$$\text{Mg \%} = \frac{\text{ppm CC} \times D_m \times D_v}{10\,000}$$

$$\text{K \%} = \frac{\text{ppm CC} \times D_m \times D_v}{10\,000}$$

$$\text{Na \%} = \frac{\text{ppm CC} \times D_m \times D_v}{10\,000}$$

Donde:

Ppm CC = partes por millón en la curva de calibración

D_m = dilución de masa (volumen de aforo/g de muestra)

D_v = dilución de volumen (aforo/alícuota)

25.575, 249.5, 41.135 y 43.478, factores para convertir de porcentaje a cmol kg⁻¹

Cuantificación de Fe, Cu, Zn y Mn

REACTIVOS

Estándar de hierro a 1000 ppm

Se pesa exactamente 1.0000 gramos de hierro (Fe) (en alambre o polvo de alta pureza) y se diluye en 5-10 mililitros de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. La solución se lleva casi a sequedad por evaporación y posteriormente se afora a 1 L con agua desionizada. A continuación, se almacena en una botella de polietileno y se mantiene en refrigeración.

Estándar de cobre de 1000 ppm

Se diluye 1.0000 g de cobre (Cu) metálico en la cantidad mínima necesaria de ácido nítrico (HNO_3) concentrado y 5 mililitros de ácido clorhídrico (HCl). Luego se evapora casi hasta sequedad y se completa el volumen a 1 L con agua destilada. La solución se conserva en una botella de polietileno bajo refrigeración.

Estándar de zinc de 1000 ppm

Se toma 1.0000 g de Zinc (Zn) metálico puro y se disuelve en 5-10 mL de HCl concentrado. Después de evaporar casi a sequedad se diluye la solución con agua desionizada hasta completar 1 L. Se almacena en refrigeración en un recipiente de polietileno.

Estándar de manganeso de 1000 ppm

Pesamos 1.5820 g de Oxido de Manganeso (MnO_2) y se disuelve en 5 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. La mezcla se evapora casi completamente a

sequedad y luego se diluye con agua desionizada a 1 L. la solución se almacena en una botella de polietileno y se mantiene en refrigeración.

Estándares de Fe, Cu, Zn y Mn de 100 ppm.

De cada solución madre de 1000 ppm de Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y de Manganeso (Mn), se toman por separado 10 mL y se diluyen con agua desionizada hasta completar un volumen final de 100 mL.

MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADOS

Se utilizaron pipetas volumétricas de 2 y 3 mililitros, así como microbureta para medir volúmenes pequeños. También se utilizaron lámparas de cátodo hueco de los elementos Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn).

PROCEDIMIENTO

En términos general, los micronutrientes se miden directamente en el extracto digerido contenido en el matraz de 10 mL, sin aplicar diluciones adicionales con excepción del hierro. Para este caso se toma una alícuota de 2 mililitros y se diluye a 25 mL. Cuando las muestras se analizan directamente por absorción atómica, las curvas de calibración deben prepararse con la misma matriz que los digestados, es decir, la misma concentración de HClO_4 presente después del aforo. Usualmente al aforar el digestado a 10 mL queda aproximadamente 1 mL de ácido, lo que corresponde a una concentración del 10 %. Por lo tanto, los estándares de la curva deben prepararse con el mismo porcentaje de ácido para mantener la consistencia de la matriz.

Tabla 7: La preparación de la curva de calibración de Fe, Cu, Zn, y Mn

Solución de 100 ppm De Fe, Cu, Zn o Mn	Aforar con agua ^a	Conc. de Fe, Cu, Zn o Mn
----- mL -----		ppm
0	100	0
1	100	1
3	100	3
5	100	5
7	100	7
10	100	10
15	100	15

^a desionizada, en matraz aforado de 100 mL, y 10 mL de HClO₄ para mantener la matriz

CÁLCULOS

$$\text{Fe, Cu, Zn, Mn (ppm)} = \text{ppm CC} \times D_m \times D_v$$

Donde:

Ppm CC = partes por millón en la curva de calibración

D_m = dilución de masa (volumen de aforo/g de muestra)

D_v = dilución de volumen (aforo/alícuota)

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Estas son las fórmulas para calcular las partes por millón de los micronutrientos

$$\text{Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganese (Mn) (mg/kg)} = \text{ppm CC} \times D_m \times D_v$$

Donde:

Ppm CC = son las partes por millón en la curva de calibración

D_m= corresponde a la Dilución de masa (volumen de extractante/g de muestra)

D_v= corresponde a la Dilución de volumen aforo/alícuota)

$$\text{Ca, Mg, K, Na (\%)} = \frac{\text{ppm CC} \times D_m \times D_v}{10\,000}$$

Donde:

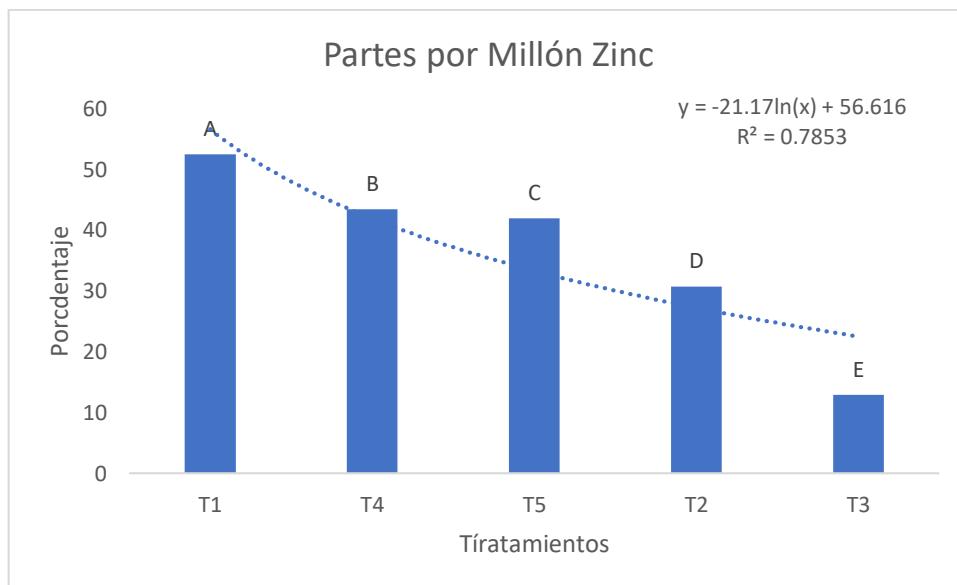
Ppm CC = son las partes por millón en la curva de calibración

D_m = corresponde a la dilución de masa (volumen de extractante/g de muestra)

D_v = corresponde a la dilución de volumen (aforo/alícuota).

Tabla 8: Diluciones de Zinc

Tratamientos	Absorción Atómica	PPM CC
T1	0.70	52.5
T4	0.58	43.5
T5	0.56	42
T2	0.41	30.75
T3	1.08	12.96

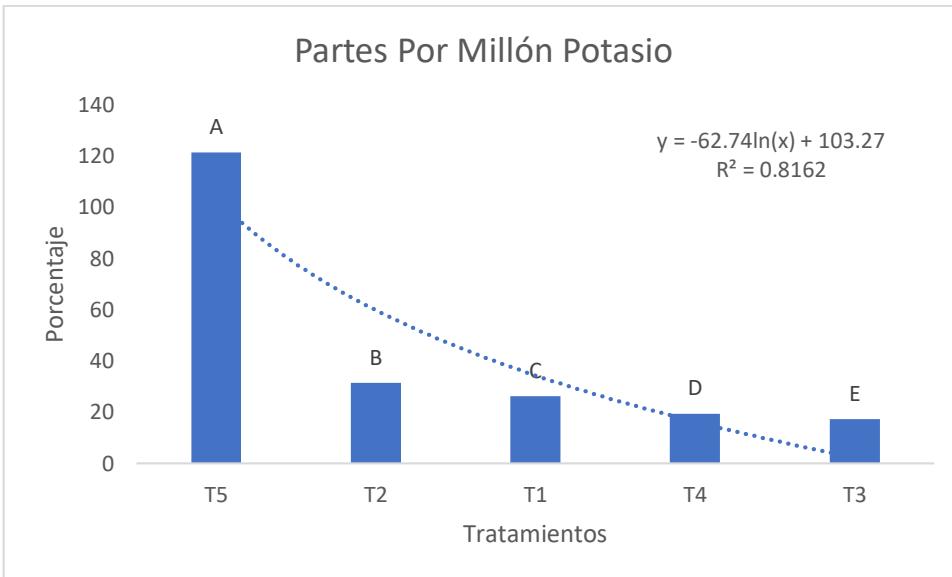


Gráfica 1: Cantidad de zinc de la acidificación de óxido de zinc

El T1 supero en un 300% al T3, seguido del T2 que destaco al T3 en un 130% el T5 resalto al T3 en un 223% y por último el T4 domino al T3 en un 230%.

Tabla 9: Diluciones Potasio

Tratamientos	Absorción Atómica	PPM CC
T5	1.62	121.5
T2	0.42	31.5
T1	0.35	17.25
T4	0.26	19.5
T3	0.23	17.25

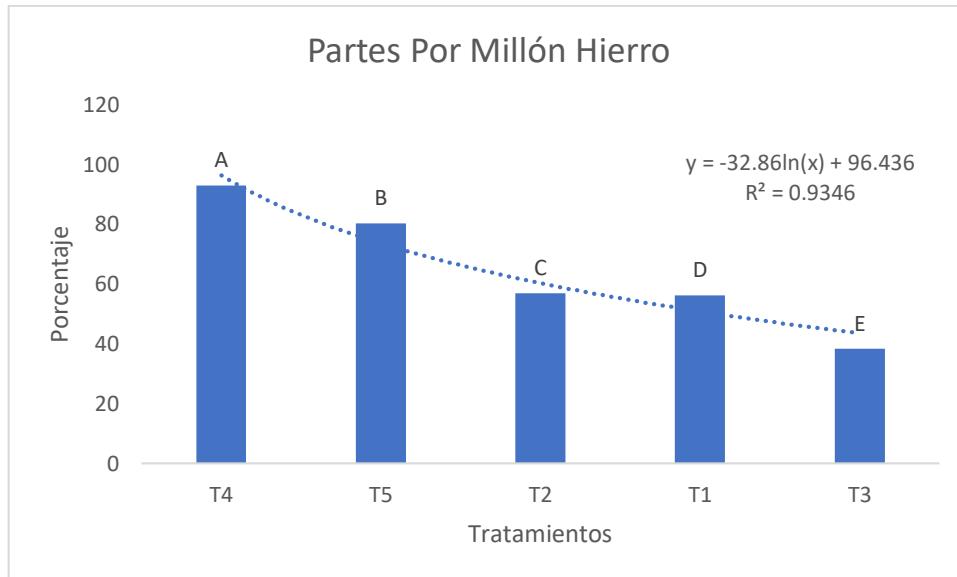


Gráfica 2: Cantidad de potasio obteniendo de la acidificación en óxido de zinc

El T5 domino en un 556% al T3, seguido del T4 excedió al T3 en un 11% el T1 supero al T3 en un 22% y por último el T2 destaco al T3 en un 33%.

Tabla 10: Diluciones Hierro

Tratamientos	Absorción Atómica	PPM CC
T4	1.07	93
T5	1.24	80.25
T2	0.76	57
T1	0.75	56.25
T3	3.07	38.37

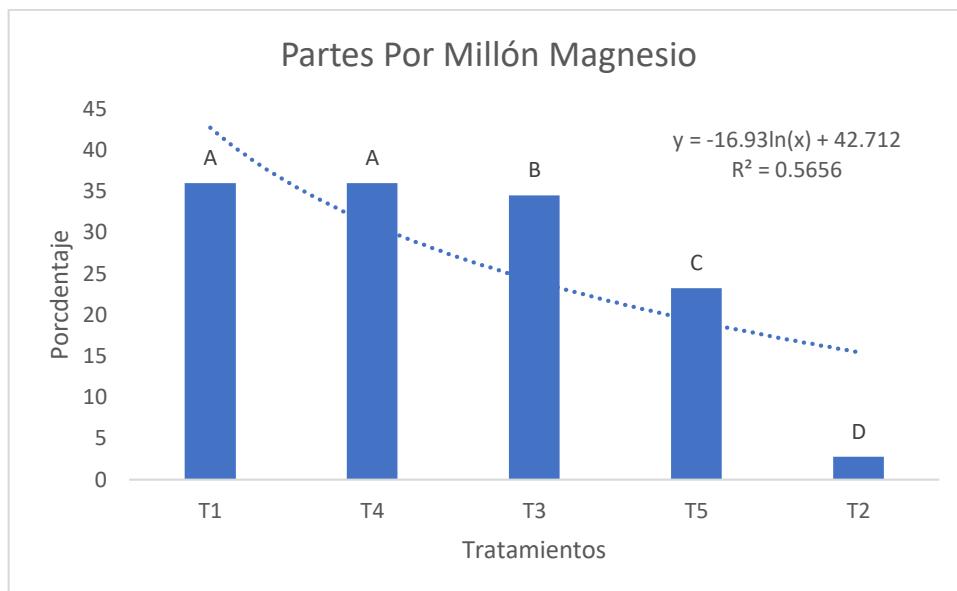


Gráfica 3: Cantidad de hierro obteniendo de la acidificación de óxido de zinc

El T4 destaco en un 125% sucesivo del T5 que supero al T3 en un 100% el T1 excedió al T4 en un 50% y por último el T2 excedió al T3 en un 45%.

Tabla 11: Diluciones Magnesio

Tratamientos	Absorción Atómica	PPM CC
T1	36	0.48
T4	36	0.46
T3	34.5	0.54
T5	23.25	0.48
T2	2.76	0.32



Gráfica 4: Cantidad de magnesio obteniendo de la acidificación de óxido de zinc

El T4 excedió en un 620% al T2, sucesivo del T5 que destaco al T4 en un 400% el T3 supero al T4 en un 580% y por último el T4 domino al T4 en un 600%.

Los tratamientos dominantes en la cantidad de sulfato de zinc generada fue el T1, lo cual indica que este compuesto se puede utilizar en la nutrición agrícola de manera foliar o al suelo, de igual forma en este mismo tratamiento la cantidad de magnesio es adecuada para su uso, el T5 mostró cantidades adecuadas de los elementos hierro y potasio; estas cantidades no son fertilizantes, se pueden utilizar como acidificantes de soluciones nutritivas o ser aplicadas vía foliar como un commodities o compuestos básicos en la mejora de la producción.

CONCLUSIÓN

Con la acidificación del óxido de zinc con ácido sulfúrico se obtuvo sulfato de zinc conforme a un proceso controlado de diferentes niveles de este ácido y el efecto en la solubilización de otros elementos.

En cuanto a los resultados obtenidos la reacción entre ZnO y H₂SO₄ favorece a la generación de un compuesto soluble, útil para la agricultura.

Micronutrientos como el Zn nos ayudan a la corrección de su deficiencia en suelos y cultivos.

Mediante la técnica de digestión y cuantificación no solo el Zn se pudo determinar, ya que en el material original se encontraron otros elementos como Fe, K y Mg, que de igual forma eran óxidos, estos al entrar en contacto con el ácido sulfúrico se oxidaron, dando como resultado su disponibilidad en forma de sulfatos, de estos elementos varían en la cantidad por cada tratamiento.

Los resultados confirman que la acidificación es eficaz y eficiente para generar el sulfato de zinc en una manera lábil al cultivo.

LITERATURA CITADA

Soto, A.R. (2000). Obtención de fertilizantes fosfatados (s.f.t.) a partir de roca fosfórica importada y ácido sulfúrico nacional, anteproyecto de una factibilidad técnico económica. Pp: 11-18. [file:///D:/Descargas/012%20\(2\).pdf](file:///D:/Descargas/012%20(2).pdf)

Matías, G.C. (2021). Ácido sulfúrico como precursor de fertilizantes y la importancia de sus interacciones químicas para sus aplicaciones en la industria. Pp: 9-14. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000814616/3/0814616.pdf>.

Serna, M.E., Molina C., Chong, L., Suárez E & B, J. (2020) *Investigación formativa en ingeniería*. 4^a Edición. Editorial IAI. Medellín Antioquia. Pp: 609-610. https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/344418700_Investigacion_formativa_en_ingenieria_4/links/5f739a03a6fdcc008648239a/Investigacion-formativa-en-ingenieria-4.pdf#page=609

Rodríguez, AS., Mayorga, E., Rodríguez, M & Chacha, S. (2017) Obtención del Ácido fosfórico a partir de una roca fosfórica por vía húmeda. Ciencia. Vol. 19 Núm. 3. p:2 Doi: <https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i3.539>.

Serrano, C.J. (2021). Estrategia para la evaluación de las posibilidades de modificación de una planta de ácido sulfúrico. *Centro Azúcar* Vol. 48, No.4. Pp: 12-23 Doi: <http://centroazucar.uclv.edu.cu/>

INTAGRI. (2017). El uso de Ácidos para mejorar la calidad de agua. Serie Agua Y Riego Núm. 16. Artículos Técnicos de INTAGRI. México p: 5. <file:///D:/Descargas/18.%20El%20Uso%20de%20Acidos%20para%20Mejorar%20la%20Calidad%20del%20Agua.pdf>

González, R.M., Barrenechea J.F. (2020) Minerales utilizados en agricultura.

Universidad Complutense de Madrid. Pp: 79-89.

<file:///D:/Descargas/SEMINARIO SEM 2 075.pdf>

Waliszewski, S.M., García, M.X., Infanzón R.M., Dermitz, B & Zarrabal O. (2007)

Uso del ácido sulfúrico en las determinaciones de plaguicidas organoclorados. i. calidad químico-analítica de la precipitación de grasas por el ácido sulfúrico concentrado en muestras con alto contenido de lípidos. Rev. Int. Contam. Ambient.

24 (1) 33-38, 2008. [file:///D:/Descargas/v24n1a4%20\(1\).pdf](file:///D:/Descargas/v24n1a4%20(1).pdf).

Moncada F, Habelrih Jorge A, Salazar Joel R (2004) Obtención de sulfato de potasio a partir de yeso y cloruro de potasio en solución amoniacal. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 16. N° 2: 139-144. Doi:

<https://core.ac.uk/download/pdf/235927122.pdf>

Briones, T.J.J (2020) "Comparación de dos fertilizantes (nitrato de potasio y sulfato de potasio) y su influencia en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*), variedad tinajones en el valle de zaña" Pp: 22-23.

<https://hdl.handle.net/20.500.12893/8830>.

Pacifex (2020) Ficha técnica sulfato de potasio. Recuperado de:

<https://pacifex.com.mx/storage/product/7/original/e7JQfTzl3WbdzDqF85Gr5S1ZYsWHpE75d3yYiPlw.pdf>

Fertymend (2025) Sulfato de Potasio. Recuperado de:

<https://www.fertymend.com/wp-content/uploads/2023/10/sulfato-de-potasio.pdf>

Plantagro (2025) sulfato de potasio. Fertilizante. Recuperado de:

<https://www.plantagro.com/pdfs/Sulfato%20de%20Potasio.pdf>

Quimagro (2024) Sulfato de potasio. Recuperado de:

<https://www.quimagro.com.mx/web/content/61425/Fertilizantes-CloruroDePotasio.pdf>

Narcisa L.C (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. [Vol.](#)

[2 Núm. 1: \(julio-diciembre 2003\)](#). Doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n2.2003.09>

Pilar M. (2019). El sulfato de potasio para mitigar los efectos adversos de los cultivos

en condiciones de estrés salino. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/profile/Maria-Del-Pilar-Muschietti/publication/344663457_Potassium_sulfate_to_mitigate_the_adverse_effects_of_crop_salt_stress_conditions_El_sulfato_de_potasio_para_mitigar_los_efectos_adversos_de_los_cultivos_en_condiciones_de_estres_salino/links/5f87be3a92851c14bcc8d868/Potassium-sulfate-to-mitigate-the-adverse-effects-of-crop-salt-stress-conditions-El-sulfato-de-potasio-para-mitigar-los-efectos-adversos-de-los-cultivos-en-condiciones-de-estres-salino.pdf

Díaz O.M (2020). Diferencias en el uso de nitrato de potasio y sulfato de potasio.

Recuperado de:

https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/46790199/DIFERENCIAS_EN_EL_USO_DE_NITRATO_DE_POTA20160625-26501-1q26aif-libre.pdf?1466894808=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDiferencias_en_El_Uso_De_Nitrato_De_Pota.

[pdf&Expires=1746999561&Signature=QGAN7Ho1opS~KMKb2Ibvua2YLwZtbEs-led8kgrP3TdCgpfYNF6gobOrt8AJH4Tnd2HqRBHJahJrCcSkKYR75oyRTbnx25JJN-](#)
[kTwtMBZvZZFWY~Iaq46xmQQZFSQSQaARLd7NyAahtipRoWGBbVzmcLXj~I8z5eVPZfRGVC1kdUiUrhg3zD4OGfKWsjcz3ESEWe3so0jYJ0ns2~0MKkkknbeRx-3jyxbA1UOIpOjdEUYz4cxb8m7fBZ10IIKOo4cBJz6MkrzbC-CDzPgnBxHPVzx71ntzKJq0JCT8wmnUbELvEesRb8U2wv3TEmeC4QHzZkuHVjN3K8190pFxtCA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](#)

López V.J.S (2011) Producción simultánea de sulfato de potasio y ácido clorhídrico

Pp: 25-27.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8117/8109004.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guadalupe V.A. 2008. Estudio de Luminiscencia y Fotoconductividad en Películas delgadas de ZnO con Fase Amorfa y Fase Wurtzita. Pp: 11-12.

<https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/f18d035a-1140-4ea5-9505-2f82538ef5bf/content>