

El azufre, mineral esencial en el manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios

Sulfur, an essential mineral in the agroecological management of agricultural systems

Milagros de la Caridad Milera-Rodríguez <https://orcid.org/0000-0001-8531-3425>, Osmel Alonso-Amaro <https://orcid.org/0000-0003-1078-0605>, Jesús Manuel-Iglesias-Gómez <https://orcid.org/0000-0002-9501-1938> y Rafael Medina-Salas <https://orcid.org/0009-0006-9542-7091>

Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior. Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba. Correo electrónico: milacmr16@gmail.com, osmel.alonso@ihatuey.cu, iglesias@ihatuey.cu, rafael.medina@ihatuey.cu

Resumen

Objetivo: Evaluar la importancia del azufre como un mineral esencial en la gestión agroecológica de los sistemas agropecuarios.

Materiales y Métodos: Para desarrollar esta investigación se consultaron más de 80 publicaciones científicas que tratan sobre el azufre y el caldo sulfocálcico en los sistemas agropecuarios. Se documentó la función fundamental que desempeñan estos elementos en el suelo, su uso por las plantas para la prevención de las plagas, así como su efecto en ácaros y garrapatas que se hospedan en animales; además de su valor en la nutrición de rumiantes. También se estudiaron artículos que abordan en el contexto actual, los efectos del cambio climático, la condición del suelo como base de todos los sistemas y la importancia de la gestión agroecológica en la agricultura y la ganadería.

Resultados: El azufre se puede utilizar de diversas maneras, como reductor del pH del suelo, fertilizante, pesticida y medicamento para plantas y animales. También se contempla su uso en la fabricación del ácido sulfúrico y en la nutrición de rumiantes. Además, cuando se combina con calcio como caldo sulfocálcico, el azufre es efectivo como insecticida, fungicida, y medicamento contra ácaros y garrapatas. También es necesario su uso debido a que el 33 % de los suelos en Cuba presentan un estado de degradación que va desde moderada hasta alta. Esto se debe a diversos factores como la erosión, la salinización, la compactación, la acidificación y la contaminación química, lo cual también provoca la pérdida de biodiversidad.

Conclusiones: La utilización de azufre o caldo sulfocálcico es esencial en el manejo agroecológico del suelo, debido al elevado porcentaje de áreas con diversas afectaciones, a lo que se adicionan sus múltiples aplicaciones en plantas y animales. En Cuba la utilización de esta sustancia es un desafío por las cantidades disponibles y las pequeñas dosis que se utilizan. No obstante, con su aplicación se facilita la producción de alimentos sanos y abundantes a costo bajo, sin causar daños al medioambiente, y contribuir significativamente al bienestar humano.

Palabras clave: abonos, control de plagas, nutrición animal

Abstract

Objective: To evaluate the importance of sulfur as an essential mineral in the agroecological management of agricultural systems.

Materials and Methods: To develop this research, more than 80 scientific publications dealing with sulfur and sulfocalcic broth in agricultural systems were consulted. The fundamental role of these elements in the soil, their use by plants for pest prevention, as well as their effect on mites and ticks hosted by animals, and their value in ruminant nutrition were documented. Papers were also studied that address in the current context, the effects of climate change, the condition of the soil as the basis of all systems and the importance of agroecological management in agriculture and animal husbandry.

Results: Sulfur can be used in a variety of ways, as a soil pH reducer, fertilizer, pesticide and medicine for plants and animals. Its use in the manufacture of sulfuric acid and in ruminant nutrition is also contemplated. In addition, when combined with calcium as a sulfocalcic broth, sulfur is effective as an insecticide, fungicide, and medicine against mites and ticks. Its use is also necessary because 33 % of the soils in Cuba show a state of degradation ranging from moderate to high. This is due to various factors such as erosion, salinization, compaction, acidification and chemical contamination, which also causes the loss of biodiversity.

Conclusions: The use of sulfur or sulfocalcic broth is essential in agroecological soil management, due to the high percentage of areas with diverse affectations, to which its multiple applications in plants and animals are added. In Cuba, the use of this substance is a challenge due to the available quantities and the small doses that are used. However, their application facilitates the production of healthy and abundant food at low cost, without causing damage to the environment, and contributes significantly to human welfare.

Keywords: fertilizers, pest control, animal nutrition

Recibido: 08 de noviembre de 2023

Aceptado: 11 de enero de 2024

Como citar este artículo: Milera-Rodríguez, Milagros de la Caridad; Alonso-Amaro, Osmel; Iglesias-Gómez, Jesús Manuel & Medina-Salas, Rafael. Uso del azufre como mineral esencial en el manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes*. 47:e01, 2024.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

El azufre, un elemento natural esencial, se encuentra en depósitos volcánicos, aguas termales y yacimientos subterráneos. Aparece combinado con numerosos minerales, como la pirita y la galena, y en forma de sulfatos como el yeso (Ramírez-Ortega y San-José-Arango, 2006). En Cuba, existen canteras con pirita y flor de azufre, derivadas de la extracción de petróleo.

El azufre es un componente vital de cada célula viviente y forma parte de varios aminoácidos, como la cistina. Sin él, las plantas no pueden desempeñar sus funciones básicas. Es un macromineral y se clasifica como un mineral secundario, debido a las cantidades que necesitan las plantas y los animales, pero es imprescindible para las proteínas que requieren las plantas, como parte de su estructura y de algunas hormonas y aceites (Quispe-Cusi *et al.*, 2016). Está presente en otras biomoléculas azufradas, como la biotina, la taurina, la coenzima A, el fibrinógeno, la heparina, la tiamina y el glutatión, por lo que tiene una función muy importante en la integridad de los cartílagos (Cardoso, 2021).

El caldo sulfocálcico es uno de los productos alternativos que se puede elaborar a partir de la cal y la flor de azufre. Se puede convertir en un contaminante ambiental potencial que se genera en la industria de perforación, extracción y procesamiento del petróleo. La utilización del caldo sulfocálcico en una estrategia que incluya tecnologías de manejo en cultivos agrícolas, prácticas para la salud animal y la disminución de la contaminación ambiental, permitiría disminuir las plagas agrícolas, garantizar adecuados rendimientos y bienestar animal, sustituir importaciones y lograr mayor calidad y cantidad de la producción de alimentos, sin afectaciones al ecosistema.

Este producto mineral se registró por primera vez en el siglo XIX (Restrepo-Rivera, 2007a) y es ampliamente utilizado en Latinoamérica por los productores agropecuarios como fungicida-acaricida, de uso permisible en la agricultura orgánica, elaborado a base de azufre y lechada de cal (Kondo, 2022). También se usa como fertilizante y estabilizador del pH en suelos ácidos. Su importancia radica en la cantidad de usos y las bajas dosis que se utilizan, por lo que no resulta tóxico.

Para los países que disponen del azufre, su uso es una oportunidad en momentos en que se han triplicado los precios de los fertilizantes. El desplome de los tres ingresos principales de los países del Sur (alimentos y productos vegetales,

hidrocarburo y materias primas diversas) produjo la disminución en el crecimiento de sus economías, debido a la Pandemia COVID-19 y a los efectos de la crisis climática ocasionada por el calentamiento global (Ramonet, 2020).

La aplicación de los resultados de la ciencia y el desarrollo de procesos de innovación tecnológica en la agricultura, enfocados en el cuidado del medioambiente y de la salud del ecosistema, así como en la aplicación de una economía circular, deben incidir directamente en el aumento de la productividad agrícola mediante la implementación de sistemas agroalimentarios sostenibles, con dietas seguras y saludables, mayor eficiencia hídrica, conservación y regeneración del suelo y disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, con un enfoque de equidad para los pequeños agricultores, los pueblos nativos y los jóvenes y mujeres del medio rural (Benítez-Fernández *et al.*, 2021).

A partir de los fundamentos anteriores, se realizó la revisión bibliográfica acerca del uso del azufre como mineral esencial en el manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios, con énfasis en los productos minerales-naturales, y su efecto como fertilizante, plaguicida y fármaco en plantas y animales, respectivamente. El objetivo del trabajo fue evaluar la importancia del azufre como un mineral esencial en la gestión agroecológica de los sistemas agropecuarios.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo esta investigación, se consultaron más de 80 publicaciones científicas que tratan sobre el azufre y el caldo sulfocálcico en los sistemas agropecuarios. Se examinó la importancia de este elemento y de sus derivados para el suelo; además de su uso en la prevención y tratamiento contra las plagas que afectan a las plantas. También se documentó su efecto en ácaros y garrapatas que se hospedan en los animales y su valor en la nutrición de rumiantes. Asimismo, se revisaron artículos que abordan los efectos del cambio climático en el contexto actual, la condición del suelo como base de todos los sistemas y la importancia de la gestión agroecológica en la agricultura y la ganadería.

Resultados y Discusión

Importancia del azufre en los sistemas agropecuarios

El azufre es un mineral que, en caliente, reacciona con la mayoría de los elementos, excepto con los gases nobles. Se puede utilizar en diversas funciones y de múltiples formas. Sirve como reductor del

pH del suelo, también influye en la conductividad eléctrica y los micronutrientes (Fe, Mn y Cu) que se incrementan por la aplicación del azufre elemental (Ondarse-Álvarez, 2022). Otras funciones del azufre, referidas por Rodríguez-Acosta *et al.* (2006) son las siguientes:

- Forma enlaces bisulfuros (S-S) entre cadenas de polipéptidos por la unión de grupos sulfídricos (SH-).
- Forma enlaces covalentes entre cadenas diferentes o dentro de una misma cadena de polipéptidos, aumentando de este modo la estabilidad de sus estructuras.
- Promueve la nodulación de las leguminosas.
- Participa en reacciones de oxidación reducción, siendo un componente de las ferredoxinas, entre otros compuestos, lo que ayuda al desarrollo de enzimas y vitaminas.
- Contribuye a la producción de semillas.
- Es necesario en la formación de clorofila, a pesar de no ser un constituyente de este compuesto.
- Es el responsable del olor característico presente en el ajo (*Allium sativum* L.), la mostaza [*Brassica juncea* (L.) Czern] y la cebolla (*Allium cepa* L.).
- Adicionado a la yuca, reacciona eliminando la acción del ácido cianhídrico.
- Forma parte de las hormonas hemoglobina e insulina.

Un informe de la FAO y GTIS (2016) plantea que 33 % de los suelos de la tierra se encuentran, de moderados, a altamente degradados, debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación, la contaminación química y la pérdida de la biodiversidad, lo que pone en peligro la seguridad alimentaria e incrementa los índices de pobreza global. Sin embargo, se conoce que el recurso suelo es el responsable del mantenimiento del 95 % de la producción de alimentos, alberga más de una cuarta parte de la biodiversidad del planeta, es una fuente importante de productos farmacéuticos y desempeña una función fundamental en el ciclo del carbono (ACNU, 2015), además de que constituye la base de la pirámide sobre la cual se asienta todo el desarrollo cultural de la sociedad (Burbano-Orjuela, 2016).

En Cuba, según datos del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI), solo 28 % de los suelos está ubicado en las categorías I y II, según su productividad; 71 % se encuentra afectado por la erosión (43 % de fuerte a media), 70 % presenta bajos contenidos de materia orgánica, 15 % tiene salinidad y más de 2 millones de hectáreas presentan acidez (Fernández-Salinas, 2021).

Esto atenta contra la seguridad y la soberanía alimentaria del país y ha implicado el desarrollo de políticas medioambientales, apoyadas por proyectos internacionales financiados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), dirigidas directamente al mejoramiento del uso de los suelos.

En el 2021, el MINAGRI aprobó la política para la conservación, el mejoramiento de los suelos, su manejo sostenible y el uso de fertilizantes (Consejo de Ministros, 2021). Esta política cuenta con un decreto-ley, un decreto y cuatro resoluciones ministeriales, dirigidas a favorecer los sistemas agroproductivos sostenibles y perfeccionar el control estatal para la protección, la conservación, el mejoramiento, la rehabilitación y el manejo del suelo, así como para el uso de los fertilizantes.

Existen diferentes alternativas para la mejora de las funciones de los suelos destinados a la agricultura, como son la aplicación de abonos orgánicos y organominerales, el compost, el intercalamiento de leguminosas y abonos verdes, entre otros; así como la utilización de diversos inoculantes en las áreas de producción de semilla y en forrajeras, con excelentes resultados.

El mejor sistema agrícola que podrá enfrentar los desafíos futuros es el que se basa en principios agroecológicos que exhiben altos niveles de diversidad y resiliencia, a la vez que ofrecen rendimientos razonables y servicios ecosistémicos, con alimentos sanos, que contribuyen no solo a la alimentación sino al bienestar y a la salud del hombre.

Paniagua-Vargas y García-Oliva (2022) en un artículo de revisión sobre la mineralización y la inmovilización del azufre en el suelo concluyeron que estos procesos están controlados microbiológicamente, y que ocurren de forma simultánea. La dinámica de los mismos determina, en gran parte, la naturaleza de los compuestos con azufre y su bio-disponibilidad para las plantas y otros organismos.

Las estrategias para la mineralización del azufre son diversas y responden a la necesidad de la energía de este elemento: la mineralización biológica o bioquímica. Ambos procesos dependen del patrimonio genético de la comunidad microbiana del suelo (CMS), ya que si no están presentes los genes que codifican a las enzimas específicas, no se realizará la mineralización e inmovilización del azufre. Entender cómo se llevan a cabo los procesos de la dinámica del azufre en el suelo permitirá tomar mejores decisiones acerca de su fertilización y su conservación, siempre que se considere que los

microorganismos edáficos son los que sustentan su dinámica.

Los sistemas de producción de cultivos agrícolas, de forma general, están afectados por la erosión, el desequilibrio de nutrientes, la pérdida de la biodiversidad por sobreexplotación, la poca integración agricultura-ganadería y la acidificación, entre otros aspectos.

Según Pezo (2019), también se deben considerar factores que están relacionados con la bioprotección y las condiciones climáticas. En los países de latitudes bajas, con sequías estacionales, se reducirá la productividad de los cultivos, debido al desplazamiento de poblaciones de especies polinizadoras y de controladores biológicos de plagas y enfermedades.

A lo anterior se adiciona que el crecimiento, la floración y la maduración de los frutos se aceleran con las altas temperaturas, que resultan en mayor evapotranspiración y en el incremento de la probabilidad del déficit hídrico en los cultivos, unido al crecimiento de las poblaciones y a la duración de las estaciones, sin desestimar el desarrollo de plagas y la mayor incidencia de enfermedades y su difusión hacia nuevas áreas. El uso racional del agua y de la energía es también un imperativo para la producción de alimentos (Montoriol-Garriga, 2022).

Con respecto a los sistemas pecuarios, el sobrepastoreo merece mención aparte. Ocurre en sistemas mal manejados por el hombre, donde los pastos no se recuperan de las defoliaciones frecuentes, por no contar con parcelas o cuartones que permitan la adecuada rotación y el reposo necesario. Además, en estos sistemas, no se restituyen con abono las extracciones de nutrientes en el suelo, lo que provoca la desaparición de las especies cultivadas establecidas y la compactación del suelo. Estas condiciones aceleran la erosión, al disminuir la mesofauna y macrofauna del suelo y afectan la biodiversidad del agroecosistema y, por ende, sus características físicas y químicas.

En este proceso de degradación, las pasturas pierden su capacidad de soporte, la producción por animal se reduce y, de manera consecuente, disminuye el potencial de productividad animal del sistema. Además, se produce un impacto ecológico, pues se reduce la capacidad para capturar y acumular carbono y aumenta la emisión de CH₄ por kilo de producto animal (Pezo, 2019).

En la mayoría de las ocasiones, se culpa a la carga animal del sobrepastoreo. Sin embargo, son dos los factores que más inciden en el deterioro de

los pastizales: no disponer de suficientes cuartones y no mantener el equilibrio de la extracción y la demanda de nutrientes de las plantas. Al no manejar con el reposo necesario, después de la salida de los animales del cuartón, no se permite la recuperación y el crecimiento de las especies establecidas. Asimismo, al no restituir los nutrientes extraídos por las especies en cada rotación, se provoca el deterioro fisiológico y la desaparición de las especies, así como la compactación y la desaparición de la fauna edáfica.

La agroecología desempeña una función crucial en la definición del futuro de los sistemas alimentarios. Como señala Holt-Giménez y Altieri (2013), la construcción de alianzas estratégicas por parte de los agroecólogos en la lucha por la soberanía alimentaria podría fortalecer un movimiento capaz de generar una considerable voluntad política para transformar los sistemas alimentarios. El fomento de los pequeños agricultores, la eliminación del hambre, la restauración de la agrobiodiversidad y la resistencia del agroecosistema del planeta, estarían mejor servidos en un escenario como este.

Los agroecosistemas diversificados, que integran agricultura y ganadería, utilizan un manejo agroecológico a partir de la reconversión de los sistemas convencionales a sistemas resilientes a los cambios del clima, con el uso de bioabonos, abonos organominerales, bioproductos y alimentos producidos en las fincas (Vázquez-Moreno, 2020). También existen recursos minerales que, utilizados de forma sostenible, se pueden convertir en nuevas alternativas agroecológicas para sustituir insumos importados, entre los que se encuentran el azufre y la cal, con innumerables beneficios para el suelo y para el manejo de las plagas en los cultivos (García-Sánchez *et al.*, 2022) y de los ácaros en los animales (Wright, 2012).

Efecto del azufre en los cultivos agrícolas

Las deficiencias de azufre se pueden corregir con el uso de fertilizantes que contengan este elemento o con aplicaciones directas de un compuesto de azufre. La elección entre uno y otro método dependerá, por lo general, de factores económicos; pero resultan preferibles las aplicaciones directas en dosis de 10 a 50 kg/ha.

En la agricultura, el azufre se usa de distintas formas: en polvo y con compuestos a base de calcio, principalmente para tratar enfermedades en los cultivos (Restrepo-García y Soto-Giraldo, 2017). A pesar de no ser soluble en agua, se puede preparar

en forma de excelentes emulsiones que viabilizan su uso en pulverizaciones.

Las tecnologías integradas de aplicación de este mineral con bioproductos han tenido efectos favorables en la reducción de plagas y en los rendimientos de los cultivos. Morales-Soto *et al.* (2019) cuando evaluaron la efectividad de los hongos *Lecanicillium lecanii* (Zimm) Zare & Gams, *Trichoderma harzianum* Rifai y *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin, a una dosis de 1 012 conidios/ha y, azufre, a una dosis de 3 kg/ha, aplicados con una frecuencia semanal en el área foliar de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad CC-25-9N, registraron la reducción sustancial de las poblaciones de los insectos trips (*Thrips palmi* Karny), salta hojas (*Empoasca kraemeri* Ross & Moore) y mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius); aunque el mayor efecto lo informaron en *Metarhizium* y *Lecanicillium*. Las aplicaciones con los hongos y el azufre provocaron, además, efecto positivo en el rendimiento del cultivo y en sus componentes.

El caldo sulfocálcico es, en sentido general, un preparado a base de azufre y cal viva, utilizado comúnmente en la agricultura orgánica para el control de enfermedades fungosas. A pesar de ser considerado como un insecticida inorgánico, se permite su utilización en la agricultura orgánica, por no tener efectos negativos en la producción y el ambiente. Diferentes autores (Sierra *et al.*, 2007; Restrepo-Rivera, 2007b; Kondo, 2022) proponen formulaciones y métodos de fabricación para el empleo de caldo sulfocálcico, en las que se utilizan diferentes proporciones de azufre, cal y agua. No obstante, se informan sistemas integrados con cenizas, biocarbón, y minerales, entre otros, según el cultivo en cuestión (Restrepo-Rivera, 2007a).

La utilización del caldo sulfocálcico como plaguicida, fertilizante y fármaco (para tratar enfermedades producidas por ácaros ectoparásitos en animales) se registró por primera vez en el siglo XIX (Restrepo-Rivera, 2007a) y después, de forma industrial en España, Brasil y China. En la producción artesanal, se utiliza en México, Costa Rica, San Salvador, Honduras, Brasil, Colombia y otros países.

Se ha documentado su uso en el mundo y la literatura refiere que se produce a nivel industrial, pero también se puede elaborar de forma artesanal. Existen manuales, cartillas y sueltos ilustrados que explican sus formas de elaboración con diferentes dosis y propuestas para su utilización en pequeñas fincas. De igual forma, existe literatura especializada acerca de las dosis de aplicación, el

horario de utilización y los cultivos que son más sensibles a su uso. Se ha documentado su uso en las enfermedades fungosas de *A. cepa* L. (cebolla), *P. vulgaris* y *Persea americana* Mill (aguacate), así como en el tratamiento contra los trips y los ácaros en *A. cepa*, ajo (*A. sativum*), en *B. cockerelli* de *Solanum tuberosum* L. (papa), en la broca de *Coffea arabica* L. (café), entre otros males (Cabrera-Marulanda *et al.*, 2018; Córdova-López, 2018; Gramaglia, 2019; Chamorro-Guerrero, 2023).

Ciertas variedades de cucurbitáceas, durazno y chabacano, entre los estadios de floración y cuaje pueden presentar problemas fitotóxicos de aplicación. En estos casos, se recomienda realizar una prueba a bajas dosis. Las posibles afectaciones que se informan se deben a la presencia de cobre en el azufre y de magnesio en la cal. Además, se conoce su efecto en la antracnosis.

Según los reportes de INTAGRI (2017), caldo sulfocálcico no es tóxico para los mamíferos y para la especie apícola su toxicidad es baja. En todo caso, si se utilizan polinizadores hay que mantener una serie de precauciones para no limitar la actuación de los abejorros. Aunque no es habitual, en algunos casos de aplicaciones muy repetidas de azufre, se pueden desequilibrar las poblaciones de fitoseídos. Puede resultar fitotóxico a más de 28 °C, pero si se aplica a temperaturas bajas su acción es poco efectiva.

Actúa sobre agentes microorgánicos que producen enfermedades en los cultivos, entre los que se encuentran: *Sphaerotheca pannosa*, *Sphaerotheca fuliginea*, *Sphaerotheca humili*, *Sphaerotheca morsuvae*, *Microsphaera gros-sulariae*, *Microsphaera quercina*, *Microsphaera alphitoides*, *Podosphaera leucotricha*, *Podosphaera clandestina*, *Podosphaera tridactyla*, *Oidium mangiferae*, *Oidium caricae*, *Oidium heveae*, *Oidium tingitaninum*, *Erysiphe graminis*, *Erysiphe cruciferarum*, *Erysiphe betae* y *Erysiphe heraclei* (SADER, 2022).

En sentido general, para el uso del caldo en los cultivos se recomienda no fumigar o aplicarlo en los cultivos de frijol, habichuela, haba u otras leguminosas cuando estén florecidas. No se debe aplicar a plantas de la familia cucurbitácea (pepino, sandía, melón, calabaza), ya que en la mayoría de los casos las quema. Se sugiere, además, su uso de forma preventiva (antes del ataque de hongos), cada siete y diez días y envasar el producto en frascos oscuros (mate).

Desde el punto de vista de la salud humana, es aconsejable que cuando se maneje o aplique este

producto, se usen equipos de protección adecuados (overol, lentes, mascarilla, gorra, guantes y botas de hule), se evite el contacto con los ojos y la piel; además de no comer, beber ni fumar mientras se maneja el producto. Después de aplicarlo, se recomienda bañarse y ponerse ropa limpia.

En Cuba, el azufre es un insecticida certificado por CENATOX¹ (2006), en el registro Central de Plaguicidas de la República de Cuba. Se halla en la lista oficial de plaguicidas autorizados para su utilización en diferentes cultivos, importado desde diferentes países.

Cuando se aplicó el caldo sulfocálcico con microorganismos nativos y bioproductos al cultivo del *Phaseolus vulgaris* L. en áreas de entidades productivas en Cuba, en el 2020, los rendimientos estuvieron entre 1,3 y 1,8 t/ha, resultados que superaron la media histórica nacional entre 0,4-0,6 t/ha (Medina-Salas y Milera-Rodríguez, 2023).

Según las observaciones visuales que se realizaron en los monitoreos a campo, se constató que fue baja y poco representativa la presencia de *Megalurothrips usitatus* (Bagnall), trips de las flores de *P. vulgaris* y de patógenos causantes de enfermedades fungosas, principalmente la roya. Además, las plantas se mostraron vigorosas y la floración fue bastante uniforme, lo que puede haber favorecido la producción que se obtuvo.

Efecto medicinal del azufre en los animales domesticados

En los animales, el azufre se encuentra en proporción del 0,25 % y se localiza en los tejidos de protección, como la piel, el pelo, los cuernos, las uñas y la lana. Este mineral cumple una función plástica en el organismo, como componente de las estructuras de la epidermis, en las que abundan los aminoácidos azufrados (la lana contiene 4 % de azufre). Es un macroelemento esencial para la formación de aminoácidos como la cistina, la cisteína, la homocisteína, la metionina, la taurina, aunque conllevan azufre algunas vitaminas como la biotina, la tiamina, la hormona insulina y la hemoglobina. En sentido general, los requerimientos mínimos de azufre para bovinos se encuentran entre 0,1 y 0,3 %, en base seca. El nivel máximo de tolerancia es de 0,4 % del total de la dieta.

El azufre también es un mineral de alta importancia en la fisiología digestiva y en la nutrición de

los animales rumiantes. Se conoce que el rumen es un ecosistema complejo, donde los nutrientes que se consumen se digieren mediante un proceso de fermentación que realizan los microorganismos ruminales (bacterias, protozoos y hongos), produciendo ácidos grasos de bajo peso molecular y proteínas microbianas, que son aprovechadas por el animal.

Estos microorganismos necesitan de sustratos minerales, como el azufre, que propician su crecimiento y desarrollo ruminal. Su absorción por parte de los rumiantes se realiza mayoritariamente en forma de sulfato o como ion sulfuro. Estos compuestos se pueden utilizar por los microorganismos del rumen de forma más eficiente que el azufre elemental para la formación de biomasa microbiana.

Cuando existe una deficiencia de azufre, y la proporción entre el nitrógeno y este no es la adecuada, esto repercute en la síntesis microbiana y en la degradación de la fibra en el rumen, lo que conduce a la disminución del consumo de materia seca y se afecta la tasa de crecimiento de los animales, la producción de leche y otros productos, como la lana (Cardoso, 2021). Su deficiencia prolongada, o su exceso, puede provocar bajos rendimientos, alteraciones neurológicas y hasta la muerte.

En la práctica ganadera, el azufre elemental, en forma de flor de azufre, se emplea en las mezclas o sales mineralizadas, a razón de 8,0 %, con un consumo de sales de aproximadamente 100 g diarios (Ávila-Ferrufino y Calderón-Jarquín, 2020), con efectos beneficiosos en la eliminación de garrapatas, sin afectaciones en la producción animal. Moreno-Castellón (2021) demostró la efectividad del azufre a 8 % en el concentrado lechero sobre la repelencia de las garrapatas (96 %), sin afectaciones en la producción de leche y con resultados económicos superiores a los obtenidos con el uso de repelentes tradicionales.

Paternina-Durango *et al.* (2015) obtuvieron niveles de repelencia superiores al 90 %, cuando utilizaron este producto mineral en dosis de 8-10 % en sales mineralizadas. También se ha utilizado como tónico, práctica que se llevaba a cabo ancestralmente por muchos ganaderos en los llanos orientales de Colombia, ya que además del efecto benéfico sobre el control de garrapatas, los animales, presentan un pelaje lustroso y brillante por su efecto sobre la piel, lo que los hace mejorar su apariencia externa (Villar-Cleves, 2006).

¹Centro Nacional de Toxicología de Cuba

Con relación a su utilización contra los ácaros en animales, Antipa-Rivera *et al.* (2014) recomiendan a los ganaderos tener la opción del caldo sulfocálcico, a razón del 20 % sobre volumen de agua, cada 21 días, para romper el ciclo de la garrapata y obtener un mejor control del parásito.

Cabrera-Chavarria y Téllez-Gamboa (2019) utilizaron el caldo sulfocálcico, combinado con tratamientos de origen natural a partir de extractos provenientes de plantas (*Azadirachta indica* A. Juss., *Gliricidia sepium* y *Eucalyptus* spp) en diversas proporciones. El nivel de infestación de garrapatas disminuyó en más de 60 % tras la aplicación de todos los tratamientos de origen natural, con efectos similares a los del tratamiento comercial (Asuntol al 20 % SL).

En Cuba, el azufre que se obtiene como subproducto de la extracción de petróleo no se utiliza en todo su potencial en la industria química ni en la producción de fertilizantes. Esto se pudiera convertir en una oportunidad, si se produjera caldo sulfocálcico para los sistemas agropecuarios.

Actualmente, en la provincia de Matanzas, se evalúa la posible utilización de la flor de azufre que se genera en la planta ENERGAS, del municipio de Cárdenas, para la elaboración del caldo sulfocálcico y su aplicación en la agricultura y en la ganadería. Dada su pureza, de más de 99 %, y su disponibilidad, constituye una alternativa para sustituir insumos importados en la agricultura.

Consideraciones finales

La utilización de azufre o caldo sulfocálcico es esencial, debido al elevado porcentaje de áreas con suelos afectados de diversas maneras, así como por los múltiples usos que posee para su aplicación en plantas y animales.

En Cuba la utilización de esta sustancia es un desafío por las cantidades disponibles y las pequeñas dosis que se utilizan. No obstante, su uso facilita la producción de alimentos sanos y abundantes a un costo bajo, sin causar daños medioambientales, además de que contribuye significativamente al bienestar humano.

Agradecimientos

A la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey por el financiamiento y las facilidades brindadas que permitió la redacción de este manuscrito.

Contribución de los autores

- Milagros de la Caridad Milera-Rodríguez. Realizó la revisión bibliográfica, así como la redacción y revisión del artículo.

- Osmel Alonso-Amaro. Participó en la redacción y revisión del artículo.
- Jesús Iglesias-Gómez. Participó en la revisión del artículo.
- Rafael Medina-Salas. Realizó las pruebas de observación en las áreas productivas.

Referencias bibliográficas

- ACNU. *FAO subraya importancia de los suelos para el desarrollo*. La Habana: Asociación Cubana de las Naciones Unidas. <http://www.acnu.org.cu/articulos/fao-subraya-importancia-de-los-suelos-para-el-desarrollo>, 2015.
- Antipa-Rivera, D.; Solano, O. A. & López-Borge, A. Efecto del caldo sulfocálcico en el control de garrapatas del ganado bovino. *Ciencia e Interculturalidad*. 15 (2):146-153. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6576621.pdf>, 2014.
- Ávila-Ferrufino, A. J. & Calderón-Jarquín, J. C. *Efecto del azufre y levadura Saccharomyces cerevisiae en la dieta de vacas lecheras como repelente de garrapatas en la comunidad El Regadío-Estelí, 2020*. Informe final de tesis para optar al título profesional de Ingeniero Agropecuario. Estelí, Nicaragua: Universidad Católica del Trópico Seco “Pbro. Francisco Luis Espinoza Pineda”. <http://repositorio.unflep.edu.ni/91/1/D0048-2020.pdf>, 2020.
- Benítez-Fernández, Bárbara; Crespo-Morales, Anaisa; Casanova, Caridad; Méndez-Bordón, Aliék; Hernández-Beltrán, Yaima; Ortiz-Pérez, R. *et al.* Impactos de la estrategia de género en el sector agropecuario, a través del Proyecto de Innovación Agropecuaria Local (PIAL). *Cultivos Tropicales*. 42 (1):e04. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000100004&lng=es&tlng=es, 2021.
- Burbano-Orjuela, H. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 33 (2):117-124. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5763143>, 2016.
- Cabrera-Chavarria, C. A. & Téllez-Gamboa, D. I. *Evaluación de caldo sulfocálcico y extractos naturales de neem (Azadirachta indica), eucalipto (Eucalyptus spp) y madero negro (Gliricidia sepium) como alternativas para el control de garrapatas en el ganado bovino durante la época seca*. Seminario de graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Managua: Facultad Regional Multidisciplinaria de Chontales “Cornelio Silva Argüello”, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/11115/>, 2019.
- Cabrera-Marulanda, M. Á.; Robledo-Buriticá, J. & Soto-Giraldo, A. Actividad insecticida

- del caldo sulfocálcico sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*. 22 (2):24-32. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v22n2/0123-3068-bccm-22-02-00024.pdf>, 2018.
- Cardoso, Denise. *Azufre en rumiantes: la importancia de evaluar el suministro total*. https://www.engormix.com/lecheria/minerales-vaca-lechera/azufre-rumiantes-importancia-evaluar_a48610/, 2021.
- CENATOX. *Lista oficial de plaguicidas autorizados. Azufre*. Registro Central de Plaguicidas de la República de Cuba. La Habana: Centro Nacional de Toxicología, 2006.
- Chamorro-Guerrero, Daniela L. *Efecto del biofertilizante y caldo sulfocálcico en el manejo de *Bactericera cockerelli* en papa, Cayambe*. Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma. Quito: Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/81f69320-95de-4a1e-a329-1811580dc159>, 2023.
- Consejo de Ministros. *Sobre la conservación, mejoramiento, manejo sostenible de los suelos y uso de los fertilizantes*. Decreto-Ley No. 50/2021. Gaceta oficial No. 75 Extraordinaria de 2021. La Habana: Ministerio de Justicia. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/decreto-50-de-2021-de-consejo-de-ministros>, 2021.
- Córdova-López, Marilú. *Efecto de la aplicación de *Gorplus*, *Bioxter* y caldo sulfocálcico para el control del thrips de la mancha roja (*Chaetanaphothrips signipennis*) en el cultivo de banano orgánico en Querecotillo, Sullana-Piura*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Piura, Perú: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Piura. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1257>, 2018.
- FAO & GTIS. *Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico*. Roma: FAO. https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Estado_suelo.pdf, 2016.
- Fernández-Salinas, Mónica. *¿Qué dicen las nuevas medidas para la conservación, mejoramiento y manejo sostenible de los suelos?* <https://periodismodebarrio.org/2021/12/que-dicen-las-nuevas-medidas-para-la-conservacion-mejoramiento-y-manejo-sostenible-de-los-suelos/>, 2021.
- García-Sánchez, Harley M.; Jaramillo-Aguilar, E. E. & Herrera-Reyes, Sayda N. Fungicidas a base de azufre y *Bacillus* sp. en manejo integrado de Sigatoka Negra. *Revista Científica Agroecosistemas*. 10 (3):153-158. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/573/546/>, 2022.
- Gramaglia, C. *Manejo agroecológico de un cultivo de papa en Traslasierra. Resultados productivos y económicos de una fertilización orgánica*. Argentina: INTA. https://repositorio.inta.gov.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/6554/INTA_CR%20Cordoba_EEA%20Manfredi_Gramaglia%20Manejo_agroecol%C3%B3gico_de_un_cultivo_de_papa_en_Traslasierra.pdf?sequence=2&isAllowed=y, 2019.
- Holt-Giménez, E. & Altieri, M. A. Agroecología, soberanía alimentaria y la nueva revolución verde. *Agroecología*. 8 (2):65-72. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/212201>, 2013.
- INTAGRI. *El azufre como agente de defensa contra plagas y enfermedades*. México: INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/el-azufre-como-agente-de-defensa-contra-plagas-y-enfermedades>, 2017.
- Kondo, S. *Caldo sulfocálcico*. Guía Técnica No. 12. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. https://www.jica.go.jp/Resource/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_12.pdf, 2022.
- Medina-Salas, R. & Milera-Rodríguez, Milagros de la C. Utilización del producto mineral: caldo sulfocálcico, en la producción de granos en Matanzas, Cuba. *Taller Científico Internacional Biochar en la agricultura sostenible*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2023.
- Montoriol-Garriga, Judit. *El uso del agua en la agricultura: avanzando en la modernización del regadío y la gestión eficiente del agua*. <https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/agroalimentario/uso-del-agua-agricultura-avanzando-modernizacion-del-regadio-y>, 2022.
- Morales-Soto, Arianna; Moreno Ramos, Deylin; Pozo-Núñez, E. M. del; García-Cruz, Irma & Lans-Piedra, A. Efecto de tres hongos benéficos y azufre sobre insectos nocivos en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). *Cultivos Tropicales*. 40 (3):e01. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193262826001>, 2019.
- Moreno-Castellón, M. de J. Efecto del azufre y *Saccharomyces cerevisiae* en la dieta de vacas lecheras como repelente de garrapatas en la comunidad El Regadío-Estelí, 2019. *Teknos Revista científica*. 21 (2):10-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25044/25392190.1028>.
- Ondarse-Álvarez, Dianelys. Azufre. Enciclopedia Humanidades. Buenos Aires: Editorial Etecé. <https://humanidades.com/azufre/>, 2022.
- Paniagua-Vargas, Atzintli & García-Oliva, F. La mineralización e inmovilización microbiana determinan la dinámica del azufre en el suelo. *TIP*. 25:e523, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.523>.

- Paternina-Durango, E. M.; Maza-Angulo, L. A.; Medina-Ríos, H.; Simanca-Sotelo, J. C. & Vergara-Garay, O. D. Evaluación de la flor de azufre en sales mineralizadas como repelente de ectoparásitos (moscas y garrapatas) en bovinos mestizos *Bos taurus* x *Bos indicus*. *LRRD*. 27 (8). <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd27/8/pate27157.html>, 2015.
- Pezo, D. *Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: estado del arte*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo. https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Intensificaci%C3%B3n_sostenible_de_los_sistemas_ganaderos_frente_al_cambio_clim%C3%A1tico_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_Estado_del_arte..pdf, 2019.
- Quispe-Cusi, A.; Paquiyaury, Z.; Ramos, Y. V.; Contreras, J. L. & Véliz, M. A. Influencia de niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Rev. investig. vet. Perú*. 27 (1):31-38, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11457>.
- Ramírez-Ortega, A. J. & San-José-Arango, Carmen. El azufre en la naturaleza. *Anales de la Real Academia de Doctores*. 10 (2):33-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2170544>, 2006.
- Ramonet, I. La pandemia y el sistema-mundo. *Le Monde Diplomatique*. <https://mondiplo.com/la-pandemia-y-el-sistema-mundo>, 2020.
- Restrepo-García, Ana M. & Soto-Giraldo, A. Control alternativo de *Diaphorina citri* Kuwayama (HEMIPTERA: LIVIIDAE) utilizando caldo sulfocálcico. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*. 21 (2):51-60, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17151/bccm.2017.21.2.4>
- Restrepo-Rivera, J. Caldos minerales preparados a base de azufre. En: *Caldos minerales. Cómo preparar caldos minerales para controlar algunas deficiencias nutricionales y enfermedades en los cultivos. ABC de la agricultura orgánica y panes de piedra. Manual práctico*. Cali, Colombia. p. 23-38, 2007a.
- Restrepo-Rivera, J. *El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas*. Managua: SIMAS. https://www.academia.edu/16385539/El_ABC_de_la_agricultura_organica_y_harina_de_rocas_Jairo_Restrepo_1, 2007b.
- Rodríguez-Acosta, C.; Cambeiro-Novo, I.; Fernández-Rodríguez, R.; Gil-Olavarrieta, R.; Corredera-González, Ma. del P. & Sardiñas-González, C. Incorporación de azufre a los fertilizantes. situación actual y perspectivas. *Rev. Cub. Quím*. XVIII (1):52-59. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543688035>, 2006.
- SADER. *Estrategia de acompañamiento técnico. Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. 5. Elaboración de caldo sulfocálcico*. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737327/5_Caldo_sulfocalcico.pdf, 2022.
- Sierra, C.; Lancelloti, A. & Vidal, I. Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV Región de Chile. *Agríc. Téc.* 67 (2):173-181, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000200007>.
- Vázquez-Moreno, L. L. *La territorialización de la producción agroalimentaria sobre bases agroecológicas en Cuba*. Medellín, Colombia: Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas. http://www.agroecologynetwork.org/uploads/4/9/2/9/49299363/celia_luis_vazquez_agroeco_cuba-covid19.pdf, 2020.
- Villar-Cleves, C. E. *Importancia del azufre en la producción de carne vacuna y en el control de garrapatas en ganado en pastoreo en los Llanos Orientales de Colombia*. https://www.engormix.com/ganaderia/parasitos-ganado-carne/importancia-azufre-produccion-carne_a26600/, 2006.
- Wright, C. *Control novedoso de ácaros aviares*. <https://www.elsitioavicola.com/articles/2155/control-novedoso-de-acaros-aviares/>, 2012.