

Artículo de Revisión

Desmitificando el uso de polvo de roca para la agricultura : un estudio de caso en Brasil

Demystifying the use of rock dust for agriculture: a case study in Brazil

Cristiano De Angelis ^{1*}

*Autor de Correspondencia: cristianodeangelis@proton.me

¹Investigador independiente, Skema Business School, Francia.

Recibido: 24/08/2024 Aceptado para publicación: 20/12/2025 Publicado: 30/12/2025

Resumen

La meteorización mejorada de rocas terrestres (ERW) es una tecnología prometedora para la eliminación de dióxido de carbono que implica la aplicación de rocas de silicato molidas, como el basalto, a suelos agrícolas. Sin embargo, los investigadores critican la falta de estudios, en particular estudios físicos y biológicos de las rocas, para verificar si realmente benefician la nutrición del suelo. Las ventajas de la reducción de la lixiviación y el aumento de calcio, hierro (Fe), aluminio (Al) y magnesio (Mg) deben sopesarse frente a los efectos negativos, como las pérdidas de CO₂ por la mineralización de la materia orgánica, la sodificación y la respiración del suelo. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) descubrió que, entre 21 países encuestados en 2024, Brasil es el que más cree en las noticias falsas. Esto puede estar relacionado con una encuesta del Consejo Sur de Brasil (datos de 2000) que encontró que, mientras que los brasileños leen, en promedio, un libro por año, los chilenos, uruguayos y argentinos leen cuatro libros en el mismo período. La agricultura es el motor de la economía latinoamericana, ya que carecen del deseo o acceso al conocimiento y, por lo tanto, el control de Estados Unidos sobre los precios de los productos agrícolas llevó a la caída de la presidenta Dilma Rousseff (intercambiando huevos por pollos). Ahora, bajo el liderazgo de Lula, las importaciones de fertilizantes químicos de Rusia superaron a las de India y China en 2024 (R\$19.98 mil millones), lo que ha preocupado enormemente a los investigadores del Servicio Geológico Brasileño (SGB). Se proyecta que Brasil importará el 83% de las materias primas necesarias para producir fertilizantes para 2025 (frente al 65% en 2023-2024). En este escenario adverso, propicio para un milagro económico, el polvo de roca emerge como un posible sustituto de los fertilizantes químicos, como si pudiera cambiar la cultura y la tasa de analfabetismo en las zonas rurales (26% frente al 9% en las zonas urbanas), lo que contradice los datos nacionales (30 millones de brasileños son analfabetos funcionales). En este contexto, este trabajo propone dos modelos: 1. Un modelo de Cultura-Conocimiento-Inteligencia para comprender cómo las cuestiones culturales impactan los procesos de creación y aplicación del conocimiento en la agricultura; y 2. Un modelo de agricultura biodinámica (fertilizantes caseros como el polvo de roca) basado en cooperativas para mejorar las técnicas locales en la agricultura brasileña.

Palabras clave: agricultura biodinámica, cooperativas agrícolas; gestión del conocimiento, milagro económico, polvo de roca.

Abstract

Terrestrial enhanced rock weathering (ERW) is a promising technology for carbon dioxide removal that consists of the application of ground silicate rocks, such as basalt, to agricultural soils. However, researchers criticize the lack of studies, mainly physical and biological studies of the rocks, in order to verify whether they really benefit soil nutrition, since the advantages of reduced leaching and increased calcium, iron (Fe), aluminum (Al) and magnesium (Mg) must be compared with the negative effects such as CO₂ losses from the mineralization of organic matter, sodification and soil respiration. The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) found that among 21 countries surveyed in 2024, Brazil is the one that believes the most in fake news, which may be related to a survey by the International Reading Association (Conselho Brasil Sul) - data from 2000 -, which found that while Brazilians read an average of a book per year, Chileans, Uruguayans and Argentines read 4 books in the same period. Agriculture is the driving force of the Latin economy, as they have no desire or access to knowledge, and so the control of the prices of agricultural commodities by the United States led to the fall of President Dilma (swapping chicken for eggs). Now with Lula, the import of chemical fertilizers from Russia surpassed India and China in 2024 (R\$ 19.98 billion), which has greatly worried researchers at the Brazilian Geological Survey (SGB), given the forecast that in 2025 Brazil will import 83% of the raw material needed to produce fertilizers (it was 65% in 2023-2024). In this adverse scenario and conducive to an economic miracle, rock powder emerges as a possible substitute for chemical fertilizers, as if it were capable of changing the culture and illiteracy in rural areas (26% compared to 9% in urban areas), which goes against the data at a national level (30 million Brazilians are functionally illiterate). In

this context, this work proposes two models: 1. A Culture-Knowledge-Intelligence model to understand how the cultural issue impacts the processes of knowledge creation and application, and 2. A biodynamic agriculture model (home-made fertilizers) based on cooperatives to improve home techniques in Brazilian agriculture.

Keywords: biodynamic agriculture, agricultural cooperatives; Knowledge Management, economic miracle, rock powder.

Introducción

Dupla et al. (2024) argumentan que la aplicación de roca silicatada molida, como el basalto, a suelos agrícolas. Además del secuestro de carbono, la meteorización mejorada de rocas terrestres (ERW) tiene el potencial de aumentar el pH del suelo y liberar nutrientes, mejorando así su fertilidad. Según Li y Dong (2013), el contenido nutricional del polvo de roca (RD) puede utilizarse como aditivo para mejorar la fertilidad del suelo, especialmente en suelos pobres en nutrientes. El RD contiene calcio y oligoelementos como hierro (Fe), aluminio (Al) y magnesio (Mg), pero carece de una cantidad sustancial de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). De hecho, según estos investigadores, la mayoría de los parámetros biológicos, físicos y químicos se mantuvieron sin cambios después de un mes y hasta un año de aplicación, con diferencias significativas que surgieron principalmente entre campos y no entre tratamientos con polvo de roca. Sin embargo, este ensayo de campo multisitio destacó un aumento en la respiración del suelo y la concentración de sodio, lo cual, si bien muestra indicios alentadores de cinética de meteorización a corto plazo, debe investigarse más a fondo antes de que los ERW puedan implementarse como una tecnología eficiente y segura para la eliminación de dióxido de carbono (Dupla et al., 2024). Es bien sabido que el polvo de roca, compuesto por partículas de roca pulverizada, está ganando popularidad como aditivo libre de químicos para mejorar la salud del suelo. Extraído de depósitos rocosos geológicos, el polvo de roca puede utilizarse para la captura de carbono (CO₂), mejorando la fertilidad del suelo, modificando su pH, así como mejorando el drenaje y la capacidad de retención de agua (Arnott et al., 2019). En las industrias de minería y canteras, por ejemplo, el polvo de roca es un subproducto rico en minerales que puede utilizarse para mejorar la fertilidad del suelo, promover el crecimiento de las plantas, aumentar la actividad de la microflora beneficiosa, mejorar la resistencia a plagas y enfermedades, y mejorar la calidad de frutas y verduras. Las investigaciones futuras deberían centrarse en optimizar estas formulaciones para diversos tipos y condiciones de cultivo a fin de maximizar sus beneficios, apoyando así la agricultura sostenible y abordando los desafíos de la gestión de residuos en el sector minero (Khan et al., 2023). Sin embargo, Dekhordi et al. (2024) explican que los residuos generados por las actividades mineras pueden causar una pérdida significativa de biodiversidad, calidad del aire y contaminación del agua, afectando a humanos, plantas y animales a través de la degradación del suelo. A pesar de sus importantes contribuciones a la sociedad, las actividades mineras se han convertido en una grave amenaza para la biodiversidad y la seguridad alimentaria. Por ejemplo,

algunas actividades mineras afectan negativamente el funcionamiento de los ecosistemas, incluyendo la pérdida de tierras cultivables, la degradación del suelo, la contaminación del aire y la reducción de la calidad del agua, lo que conduce a una disminución de la productividad agrícola, la inseguridad alimentaria y el crecimiento económico (Dekhordi et al., 2024), como se evidencia en la Figura 1.

Además, muchos agricultores no consideran el polvo de roca como un fertilizante biodinámico casero. La dificultad de las cooperativas para adquirir máquinas trituradoras depende de una relación más estrecha con las entidades agrícolas para analizar rocas y suelos (pruebas de compatibilidad), además de la necesidad de que los agricultores se unan para capacitarse en esta "innovación" y, posteriormente, construir máquinas trituradoras en sus propias propiedades. Por lo tanto, la pregunta de investigación es cómo se relaciona la cultura con el conocimiento y la inteligencia, para determinar qué tipo de cultura necesitamos construir para una agricultura biodinámica eficaz. Por lo tanto, este trabajo presenta dos modelos de investigación que se retroalimentan. Además del modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CKI), este artículo presenta un modelo de Agricultura Biodinámica, una forma madura de aprovechar mejor los recursos disponibles en la propia finca. El estudio concluyó que este modelo es útil para que los pequeños agricultores aprendan, a través de las cooperativas, prácticas agrícolas locales, como el uso del polvo de roca como nuevo fertilizante, mezclado o no con estiércol de ganado. Dado este breve resumen del tema principal y esta propuesta, el artículo se divide en los siguientes capítulos: 1. Revisión bibliográfica sobre polvo de roca 2. Cooperativas agrícolas en el contexto de la Agricultura Biodinámica 3. El modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia 4. El modelo de agricultura biodinámica.

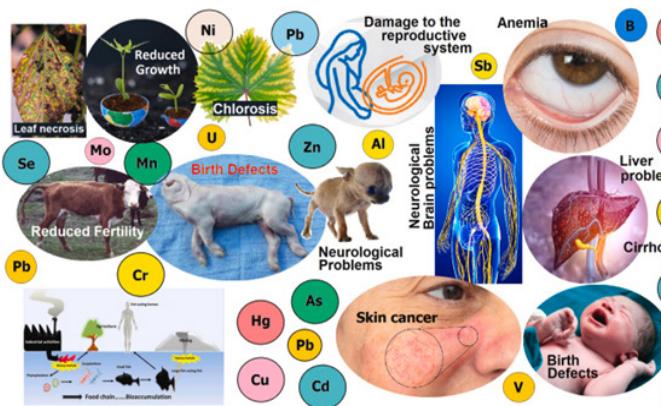


Figura 1. Contaminación generada por las actividades mineras y sus consecuencias (Dehkordi et al., 2024).

Resultados

Revisión bibliográfica sobre polvo de roca

Bauwhede et al. (2024) se propusieron: (1) comparar cómo se disuelven los polvos de roca (DR) en función de su mineralogía y superficie, (2) examinar la disolución de los DR en suelos con diferentes pH iniciales y capacidades de amortiguación, y (3) evaluar pruebas que simulan la meteorización para predecir la eficacia de los DR para mejorar el pH del suelo. Probaron cinco DR disponibles comercialmente —incluyendo dos basaltos: fonolita, foidita y traquianandesita— en cuatro suelos forestales acidificados con diferentes texturas y propiedades químicas. El estudio destaca un problema clave: la acidificación del suelo está empeorando a nivel mundial, y aunque los RD de silicato se consideran un remedio potencial, su efectividad varía ampliamente debido a las diferencias en las tasas de disolución y el ANC. Estas propiedades están estrechamente relacionadas con la composición

mineral de la roca y la capacidad amortiguadora del suelo. Bauwhede et al. (2024) enfatizan la necesidad de mejores métodos de evaluación para asegurar la selección y el uso adecuados de RD en los esfuerzos de restauración del suelo. Duppia et al. (2024) observaron que la aplicación de polvo de roca tuvo una influencia de neutra a ligeramente positiva en los indicadores de fertilidad biológica del suelo. Entre los parámetros medidos, solo la abundancia de lombrices de tierra y la respiración del suelo mostraron cambios estadísticamente significativos, con un aumento de la abundancia de lombrices de tierra de un promedio del 71% en los suelos tratados después de un mes, en comparación con los controles. Se utilizó un modelo lineal mixto general para evaluar la influencia de diversos factores en la abundancia de lombrices, incluyendo la textura del suelo, el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), el pH, la calidad estructural, la densidad aparente y la presencia de oligoelementos tóxicos. Cabe destacar que, además de los efectos del polvo de roca,

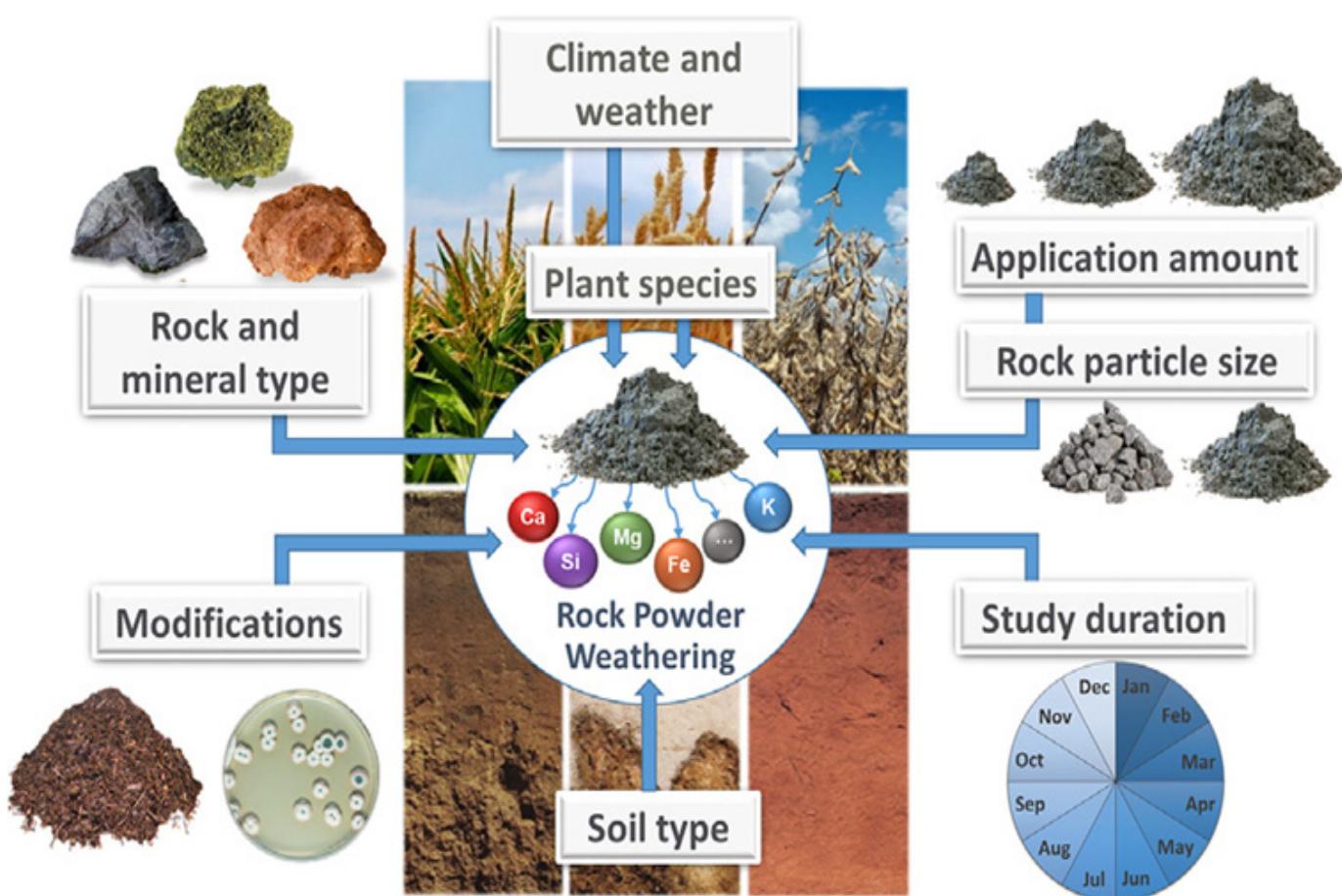


Figura 2 - Factores que influyen en el uso de polvos de roca de silicato (PRS) (Swoboda Döringb & Hamera, 2022).

los altos niveles de cobre fueron el único factor con un impacto negativo significativo en las poblaciones de lombrices. Asimismo, el polvo de roca puede mejorar propiedades del suelo como la capacidad de intercambio catiónico (Anda et al., 2015) y la capacidad de retención de agua en suelos arenosos (Kahnt et al., 1986). Sin embargo, su efectividad es inconsistente, y algunos contienen elementos potencialmente tóxicos en concentraciones perjudiciales. Por lo tanto, los resultados agronómicos de las aplicaciones de polvo de roca, especialmente en suelos tropicales, dependen en gran medida de la composición mineralógica y química específica de la roca, las deficiencias del suelo y los requerimientos nutricionales de los cultivos objetivo (van Straaten, 2017). Swoboda, Döring y Hamer (2022) analizaron 48 ensayos de cultivos y concluyeron que los polvos de roca, en particular los derivados de rocas máficas y ultramáficas, como basalto, nefelina y materiales que contienen glauconita, muestran potencial como fuentes alternativas de potasio y aditivos multinutrientes en suelos tropicales. Los polvos de basalto, en particular, se destacan por su riqueza en silicatos de magnesio y hierro y su pH básico, además de aportar nutrientes esenciales como fósforo, potasio, calcio y varios micronutrientes. Viana, Caetano y Pontes (2021) exploraron diversas técnicas para mejorar la fertilidad del suelo y descubrieron que la combinación de cantidades moderadas de polvo de basalto con dosis más altas de estiércol de ganado produjo los resultados más efectivos. Sus hallazgos sugieren que la integración de polvo de roca con fertilizantes orgánicos aumenta la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo de forma más eficiente que el uso exclusivo de polvo de roca.

De igual manera, Da Silva et al. (2017) destacaron que la coaplicación de polvos de roca con materiales orgánicos que estimulan la actividad biológica puede influir en el proceso de meteorización mineral. Sin embargo, también señalan una brecha en el conocimiento sobre cómo estas combinaciones afectan la disolución mineral, particularmente en polvos de roca basáltica. Durante el compostaje, el ciclo del nitrógeno es fundamental para la calidad del compost, como lo señalan Hoang et al. (2022), quienes también analizan estrategias para mitigar la pérdida de nitrógeno. Si bien algunos estudios proporcionan datos prometedores, otros carecen de una validación científica rigurosa o aplicaciones prácticas en el campo. Por ejemplo, Ramos et al. (2022) informan que la combinación de fertilizantes orgánicos con polvo de roca puede satisfacer la mayoría de las necesidades de macro y micronutrientes y reducir los costos de aplicación en más del 60%, con beneficios duraderos para la fertilidad del suelo. Conceição et al. (2022) observaron que el maíz y el frijol cultivados en suelos enriquecidos con basalto produjeron rendimientos hasta cinco veces mayores que los cultivados en suelos sin tratar. A pesar de estos beneficios, es ampliamente reconocido que el polvo de roca libera nutrientes más lentamente que los fertilizantes químicos, una característica que, según Theodoro y Leonards (2006), ofrece la ventaja de una disponibilidad prolongada de nutrientes en el suelo. Bauwheede et al. (2024) respaldan este punto de vista, afirmando que la liberación lenta de nutrientes del polvo de roca reduce la lixiviación,

aunque su efectividad depende de la mineralogía de la roca, el pH del suelo y las metodologías de prueba. Grecco et al. (2016) también señalan que el bajo costo de procesamiento y la demanda de fertilizantes alternativos incentivan el uso de rocas molidas en la agricultura. Sin embargo, advierten que la variabilidad en las reacciones de meteorización entre los tipos de roca dificulta predecir las tasas de liberación de nutrientes y que se necesita más investigación en esta área. Dos Santos et al. (2016) explican que la liberación de nutrientes del polvo de roca ocurre a un ritmo significativamente más lento en comparación con los fertilizantes químicos. Si bien esta liberación gradual puede ofrecer beneficios a largo plazo para la fertilidad del suelo, también presenta desafíos, como la necesidad de tasas de aplicación más altas y períodos más largos antes de que se observen respuestas agronómicas notables. Lopes-Assad et al. (2006) informaron que el hongo *Aspergillus niger* solubiliza eficazmente las rocas fosfóricas, produciendo ácidos orgánicos. Su estudio observó fluctuaciones de pH durante el tratamiento: en condiciones ácidas, la solubilización de potasio aumentó, mientras que en tratamientos con rocas ultramáficas alcalinas, la acidez reducida se asoció con una menor liberación de potasio. Para abordar eficazmente la acidez del suelo, el encalado con carbonatos de calcio y/o magnesio, como la calcita y la dolomita, se considera el método más eficiente. Según Goulding (2016), estos minerales reaccionan con los iones de hidrógeno en la solución del suelo y los compuestos de aluminio, reduciendo así la toxicidad del aluminio y mejorando el pH del suelo. La idoneidad del polvo de roca como fertilizante también varía según el tipo de cultivo. Por ejemplo, es poco probable que cultivos como la lechuga, que requieren altas concentraciones de nutrientes solubles durante una temporada de crecimiento corta, se beneficien de la aplicación de basalto. Hanish et al. (2024) descubrieron que la aplicación de hasta 100 gramos de polvo de basalto por maceta no mejoró el rendimiento de la lechuga, que se mantuvo casi cuatro veces inferior al de los fertilizantes convencionales. Este resultado refuerza la idea de que el polvo de basalto, debido a su baja concentración de nutrientes y su lenta liberación, no es adecuado para cultivos de ciclo corto y alta demanda. Guimarães et al. (2020) observaron que los huertos de banano fertilizados exclusivamente con fertilizantes minerales produjeron más frutos que los tratados con mezclas organominerales. Sin embargo, esto último resultó en una menor acidificación del suelo y una mayor disponibilidad de fósforo y potasio. El estudio también señaló que los niveles excesivos de potasio pueden provocar desequilibrios nutricionales, lo que afecta negativamente la productividad de las plantas. Por lo tanto, se necesita más investigación para desarrollar estrategias de fertilización optimizadas para el banano que promuevan la productividad y mantengan la salud del suelo.

Finalmente, como destacan Viana, Caetano y Pontes (2021), si bien el polvo de roca muestra un potencial considerable en la agricultura brasileña, especialmente cuando se combina con aditivos orgánicos como el estiércol animal, su eficacia sigue siendo poco estudiada. Se debe tener cuidado de no sobreestimar sus beneficios sin suficiente respaldo empírico. Organicospro (2018)

señala que la caliza, una roca ampliamente reconocida, está compuesta principalmente de carbonato de calcio (en forma de calcita) o carbonato de calcio y magnesio (dolomita). En contraste, el polvo de basalto es rico en minerales de silicato, que aportan silicio, un nutriente vital para la salud y la productividad de las plantas. Estas composiciones contrastantes ilustran los distintos beneficios que ofrece cada material. El polvo de basalto, en particular, desempeña un papel valioso en la restauración de suelos degradados o con deficiencia de nutrientes, aumentando la actividad microbiana y la producción agrícola en general. Las ventajas reportadas de la biominerización con basalto incluyen: – Restauración de suelos deficientes en nutrientes – Reducción progresiva de la acidez del suelo – Mejora de la aireación y la estructura del suelo – Menor dependencia de fertilizantes químicos – Mejor germinación de semillas – Mejor desarrollo de raíces y brotes – Tallos y corteza fortalecidos – Formación de una película foliar protectora contra plagas y estrés ambiental – Mayor durabilidad poscosecha – Mayor densidad de nutrientes en los cultivos. Batista (2016) investigó los efectos del polvo de basalto aplicado en cantidades variables, con y sin caliza. Los tratamientos con caliza añadida mostraron un mayor contenido de potasio y niveles de pH más altos en comparación con los que no la usaron. Sin embargo, la corrección general del pH fue menos efectiva que en los tratamientos que utilizaron solo caliza. Hammerschmitt et al. (2021) destacaron que la reacidificación del suelo es un proceso gradual y que la reaplicación de cal superficial generalmente es adecuada para la remediación. Su estudio demostró que tanto la aplicación superficial como la incorporación de cal produjeron condiciones químicas del suelo similares. La soja respondió positivamente, aunque de forma moderada, a la reaplicación (incremento promedio del rendimiento de 252 kg ha⁻¹ año⁻¹), mientras que el maíz mostró una respuesta mínima. Los minerales de aluminosilicato presentes en los polvos de roca (PR) incluyen ortosilicatos (p. ej., olivino), inosilicatos (p. ej., piroxenos como el diópsido y anfíboles como la hornblendita), tectosilicatos (p. ej., ortoclasa, plagioclasa, nefelina y leucita) y filosilicatos (p. ej., micas de biotita y moscovita) (Calabrese et al., 2022; Swoboda et al., 2022; van Straaten, 2006). Aunque los RP pueden servir como alternativa al encalado, suelen tener una menor capacidad de neutralización de ácidos (RAN) y una liberación más lenta de alcalinidad. Sin embargo, aportan nutrientes esenciales como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), fósforo (P) y azufre (S) (de Vries et al., 2021; Ramos et al., 2022; Swoboda et al., 2022). En apoyo de esto, Swoboda, Döring y Hamera (2020) observaron que modificaciones específicas de los polvos de roca de silicato (PRS) pueden mejorar significativamente su eficiencia agronómica. Además, una mayor meteorización de los PRS puede contribuir al secuestro de CO₂ atmosférico, mientras que el silicio aportado mediante estas modificaciones puede aumentar la resiliencia de las plantas a los estresores bióticos y abióticos. Se necesita más investigación para comprender el uso de polvos de roca de silicato (SRP) asociados con piedra caliza, fertilizantes químicos o estiércol animal, y en particular la importancia del tipo de roca en relación con el tipo de suelo y el cultivo, además de la cantidad, como se ve claramente en la [Figura 3](#).

Bergmann y Holland (2014) enfatizan que, al evaluar una roca para su uso como remineralizador del suelo, es esencial analizarla mediante petrografía, una técnica que identifica los minerales y evalúa su textura, secuencia de cristalización, tamaño de grano y grado de alteración. Además, cualquier material aplicado al suelo debe cumplir criterios estrictos, en particular respecto a la presencia de sustancias nocivas o potencialmente nocivas. Esto incluye metales pesados tóxicos, compuestos que pueden provocar la salinización del suelo o minerales inertes, como el sodio y el cuarzo, que pueden afectar negativamente la estructura del suelo. 2. Mejores prácticas y lecciones aprendidas de la agricultura biodinámica. Una alternativa eficaz a la agricultura industrial convencional, cada vez más criticada por su excesiva dependencia de la mecanización, los productos químicos sintéticos, los herbicidas y su desprecio por la sostenibilidad ecológica, es la agricultura biodinámica. Este enfoque se basa en principios orgánicos y los amplía a través de un marco holístico, ecológico y ético que abarca la agricultura, la jardinería, la nutrición y las relaciones más amplias entre el ser humano y la naturaleza. Promueve un estilo de vida arraigado en una profunda conciencia del paisaje, el desarrollo personal y la participación comunitaria. Las prácticas biodinámicas, como las describe Paull (2011), enfatizan la búsqueda de la autosuficiencia energética y de insumos (en fertilizantes, semillas y ganado), trabajando en armonía con los ritmos naturales, cultivando la biodiversidad y abordando el trabajo agrícola con diligencia, precisión y observación minuciosa. La puntualidad y la atención a los ciclos estacionales son esenciales para el sistema. La gestión de la fertilidad del suelo es fundamental en la agricultura biodinámica. Según Campbell y Watson (2012) y Raupp (2001), las mejoras se logran mediante una gestión eficaz del humus, que incluye el uso de compost y estiércol bien fermentado, rotaciones de cultivos diversificadas, protección contra la erosión (p. ej., cortavientos), cultivos de cobertura, abonos verdes y policultivos para promover el apoyo interespecífico. Boicean y Dent (2020) enfatizan la importancia de alternar cultivos que agotan el suelo, como el maíz, la papa y las crucíferas, con leguminosas que lo enriquecen, como los frijoles, los guisantes y el trébol. Las rotaciones de cultivos también deben alternar especies de raíces profundas y superficiales, y aquellas que requieren nutrientes externos, con aquellas que crecen con insumos mínimos. En consonancia con estos principios, la FAO (2021) informó que las prácticas agrícolas sostenibles, incluidas las del paradigma biodinámico, pueden mitigar la degradación ambiental, aumentar la resiliencia a los factores de estrés climático y mejorar progresivamente la calidad del suelo y la tierra. Potencial para el uso de polvo de roca en Roraima. Un estudio perspicaz de Bergmann y Holland (2014), en el marco del programa brasileño "Geodiversidad del Estado de Roraima", evaluó el potencial de remineralización del suelo utilizando polvo de roca en la región. El trabajo delimitó seis zonas geográficas basadas en la diversidad del suelo, la topografía, el clima y las limitaciones del uso del suelo. La zona más prometedora para la aplicación de polvo de roca comprende áreas dominadas por rocas máficas y ultramáficas (diabasa, basalto y gabro), donde predominan suelos como argisoles rojos, oxisoles

rojos, vertisoles, chernosoles y nitisoles. En Roraima, la mayoría de los suelos son naturalmente ácidos y de baja fertilidad, lo que representa importantes barreras para la agricultura convencional. Si bien existen suelos eutróficos más fértiles, están menos extendidos geográficamente y a menudo se utilizan con un aporte tecnológico limitado, dependiendo en gran medida de prácticas empíricas en comunidades rurales y asentamientos. Otras limitaciones a la productividad agrícola incluyen la infraestructura deficiente, una red vial subdesarrollada, la falta de mano de obra calificada, la inversión pública insuficiente y un régimen fiscal oneroso.

A pesar de estos desafíos, la región se beneficia de un clima ecuatorial altamente propicio para la agricultura, a menudo superando a otras regiones de Brasil. Promover prácticas agrícolas sostenibles, como la remineralización del suelo mediante polvo de roca, representa una oportunidad estratégica para aumentar la productividad, fomentar la gestión ambiental, apoyar los medios de vida indígenas e impulsar el desarrollo económico inclusivo. La agricultura biodinámica ofrece una alternativa atractiva a la agricultura industrial, que se está volviendo cada vez más insostenible debido al uso excesivo de maquinaria, productos químicos, herbicidas y la desatención al impacto ambiental. Más allá de la agricultura orgánica, la agricultura biodinámica adopta un enfoque holístico y ético para la producción de alimentos. Enfatiza la interconexión entre las personas, la tierra y la naturaleza, centrándose en el equilibrio ecológico, la conciencia personal y la participación comunitaria. Enfatiza la interconexión entre las personas, la tierra y la naturaleza, centrándose en el equilibrio ecológico, la conciencia individual y la participación comunitaria, y fomentando el desarrollo económico inclusivo. La agricultura biodinámica ofrece una alternativa atractiva a la agricultura industrial, que se está volviendo cada vez más insostenible debido al uso excesivo de maquinaria, productos químicos, herbicidas y la desatención a los impactos ambientales. Más allá de la agricultura orgánica, la agricultura biodinámica adopta un enfoque holístico y ético para la producción de alimentos. Enfatiza la interconexión entre las personas, la tierra y la naturaleza, centrándose en el equilibrio ecológico, la conciencia individual y la participación comunitaria.

Como lo describe Paull (2011), las prácticas biodinámicas comunes incluyen lograr la autosuficiencia energética, de fertilizantes y ganadera; alinear el trabajo con los ritmos naturales; utilizar diversos sistemas vegetales y animales; y mantener la precisión, la observación y la puntualidad en las tareas agrícolas. Según Campbell y Watson (2012) y Raupp (2001), un suelo sano en sistemas biodinámicos se mantiene mediante materiales orgánicos compostados, rotación de cultivos, protección del suelo (p. ej., cortavientos) y el uso de cultivos mixtos en lugar de monocultivos. Boicean y Dent (2020) también recomiendan alternar cultivos que agotan los nutrientes (p. ej., maíz, papas, repollo) con cultivos enriquecedores (p. ej., legumbres) y equilibrar los cultivos de raíces superficiales y profundas para mantener la fertilidad del suelo. La FAO (2021) confirma que las prácticas agrícolas sostenibles como la biodinámica pueden proteger los ecosistemas, mejorar la resiliencia alimentaria al cambio climático y

mejorar la salud del suelo con el tiempo. En Roraima, el potencial de aplicar polvo de roca como enmienda del suelo fue analizado en un importante estudio realizado por Bergmann y Holland (2014) como parte de la iniciativa más amplia "Geodiversidad del Estado de Roraima".

El estudio identificó seis zonas terrestres distintas, siendo las más adecuadas para el uso de polvo de roca las áreas con rocas básicas como basalto, gabro y diabasa. Estas regiones presentan oxisoles rojos, argisoles y otros suelos tropicales meteorizados. Los suelos de Roraima son predominantemente ácidos y pobres en nutrientes, lo que limita la productividad agrícola. Existen suelos eutróficos con mejor fertilidad, pero están menos extendidos y a menudo se manejan con métodos de baja tecnología en áreas rurales aisladas. Esto se ve agravado por desafíos como infraestructura deficiente, mano de obra calificada limitada y falta de inversión gubernamental. Sin embargo, el clima ecuatorial favorable de Roraima le da a la región una ventaja competitiva en términos de rendimiento agrícola en comparación con otras partes de Brasil. La aplicación de métodos sostenibles, como la remineralización de polvo de roca, puede abordar muchos desafíos: aumentar la productividad, mejorar la salud del suelo, apoyar la agricultura indígena y promover la sostenibilidad regional. En Roraima, la agricultura se practica principalmente en la región de La Sabana. Según Júnior y Schaefer (2010), los suelos dominantes aquí incluyen varios tipos de canosoles (amarillo, rojo-amarillo y rojo), argisoles (rojo y amarillo-rojo) y neosoles (hidromórficos, orgánicos, flúvicos y líticos). Estos suelos suelen tener baja fertilidad, con alta acidez, baja saturación de bases y mala retención de nutrientes. El fósforo intercambiable es especialmente bajo, por lo que el ajuste regular del pH es necesario para una agricultura exitosa. Los suelos agrícolas más fértiles del estado se encuentran en áreas con formaciones rocosas básicas: • El umbral de Pedra Preta en la región de Uiramutã; • Rocas volcánicas de Apoteri cerca de Serra de Nova Olinda; y • El área de Taiano, conocida por sus suelos fértiles derivados del basalto. Los sitios clave incluyen: • Vila do Taiano (noroeste de Roraima), • Serra de Nova Olinda (centro de Roraima), y • Cerca de Flechal, una aldea indígena en Uiramutã. En estas zonas, los suelos formados a partir de basalto meteorizado y otras rocas básicas, como oxisoles, chernosoles y suelos orgánicos, son ricos en nutrientes. En Pedra Preta Silo, rocas como la diabasa, la diorita y el gabro contribuyen a la fertilidad de los suelos, como los nitisoles, presentes en las zonas de bosque de montaña. Una muestra de roca diabasa de la región de Taiano (municipio de Alto Alegre), que se muestra en la Figura 1, mostró una fuerte reacción positiva en el ensayo de fosfomolibdato, lo que confirma su potencial como enmienda para suelos ricos en fósforo.

Además de Alto Alegre, se ha reportado la presencia de tierras raras, niobio, bario y fosfato en el municipio de Iracema. En la agricultura familiar brasileña, los agricultores suelen combinar polvo de roca con residuos orgánicos, como estiércol animal y fertilizantes verdes, para mejorar la salud del suelo. Estos insumos suelen generarse en la finca mediante compostaje, utilizando microorganismos que facilitan la liberación de nutrientes. El nitrógeno se suele aportar mediante la plantación

de especies de abono verde, especialmente *Tithonia diversifolia* (girasol mexicano), que puede aportar hasta un 4,3 % de potasio a través de sus hojas y tallos (Palm et al., 1997 apud van Straaten, 2007). Para obtener mejores resultados, es importante comprender que el polvo de roca interactúa con todo el sistema del suelo, incluyendo los microorganismos del suelo y las formas específicas en que las raíces de las plantas absorben los nutrientes (Mundstock, 2013). Los estudios demuestran que el polvo de roca se puede utilizar en la mayoría de los cultivos y aplicarse en tamaños de partículas entre 0,105 mm y 4,0 mm (similar a la aplicación de cal) a mano o con máquina. Las tasas recomendadas varían de 0,5 a 8 toneladas por hectárea, dependiendo del suelo y el cultivo. En Brasil, los basaltos y diabasas de la región de Serra Geral son prometedores para el uso agrícola. Estas rocas son ricas en calcio, magnesio y hierro y a menudo están disponibles en forma de polvo en canteras. Debido a que sus minerales se descomponen más fácilmente, pueden liberar nutrientes con relativa rapidez cuando se muelen al tamaño adecuado. Las rocas volcánicas alcalinas, con su alto contenido de potasio y sus finas estructuras cristalinas, también son

excelentes para la remineralización del suelo. Hasta la fecha, solo una roca, la fonolita de Poços de Caldas, ha sido aprobada oficialmente en Brasil como sustituto local del fertilizante de cloruro de potasio (KCl) importado (Cortes et al., 2009). Sin embargo, es esencial analizar estas rocas para determinar los niveles de micronutrientes y cualquier elemento potencialmente dañino (Bergmann y Holland, 2014).

Dependencia de Brasil de fertilizantes

Los polvos de roca aportan una mayor variedad de nutrientes que la mayoría de los fertilizantes químicos. Además de los nutrientes principales (P, K, Ca, S, Mg), pueden aportar micronutrientes importantes como Zn, Cu, Fe, Mn, Mo, B, Co y Ni, dependiendo del tipo de roca. En contraste, los fertilizantes estándar suelen ofrecer solo N, P y K, y solo algunos productos más nuevos incluyen Ca, Mg o micronutrientes como B y Zn. Sin embargo, estos fertilizantes altamente solubles suelen perder nutrientes rápidamente en el clima cálido y lluvioso de Brasil. Por esta razón, el polvo de roca y la remineralización del suelo están cobrando importancia como formas sostenibles de



Figura 3. Muestras de diabasa de Taiano (municipio de Alto Alegre) con un resultado positivo fuerte en la prueba de fosfomolibdato.

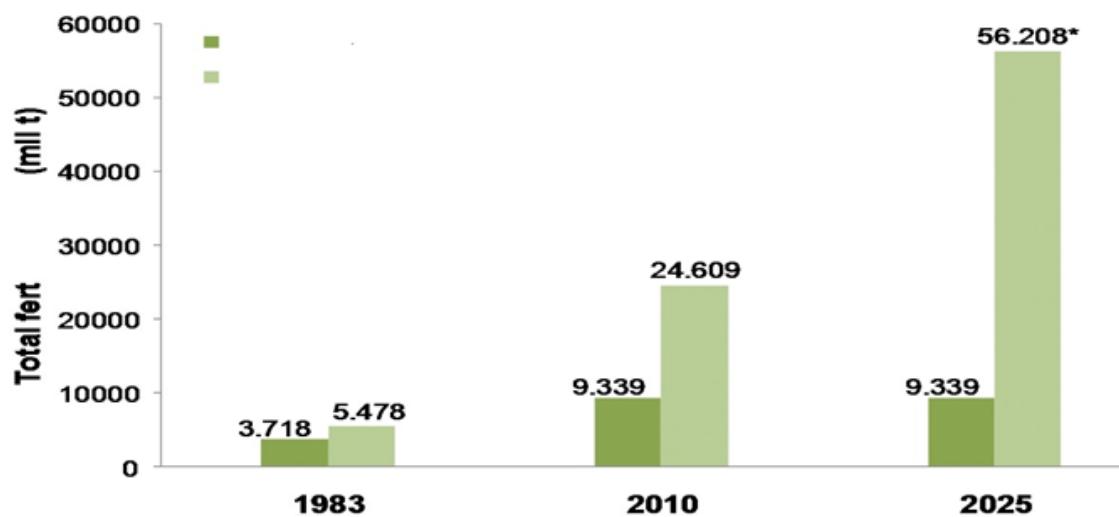


Figura 4. Gráfico de la producción y demanda de fertilizantes en Brasil. Adaptado de Martins (2013). Fuente: ANDA (2011). Proyecto Mbago.

restaurar la fertilidad del suelo. Esto es especialmente urgente en Brasil, que importa alrededor del 65% de los materiales utilizados para la fabricación de fertilizantes. Para 2025, esta cifra podría ascender al 83%, lo que representa una seria preocupación para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola (Bergmann & Holland, 2014; [Figura 4](#)).

Goulart et al. (2023) informan que la región de Novos Campos en Roraima contiene depósitos de fosfato magmatogénico vinculados a la asociación rocosa anortosita-manager-chanockita-shanita (AMCG). Minerales de fosfato magmático-hidrotermal y tierras raras también están presentes en complejos volcánicos alcalinos. Las unidades de gabroanortosita del grupo AMCG Mucajá presentan el mayor potencial de fosfato de la zona. La fuerte dependencia de Brasil de los fertilizantes importados lo hace vulnerable a las fluctuaciones del mercado internacional, como las fluctuaciones del tipo de cambio, las políticas comerciales y los retrasos en los envíos. Estos factores pueden interrumpir el suministro constante de fertilizantes esenciales para la agricultura, poniendo en peligro la producción agrícola y la seguridad alimentaria. La importación de fertilizantes requiere transporte de larga distancia e infraestructura robusta para su almacenamiento y distribución, lo que incrementa los costos y, en última instancia, los precios

para los agricultores. Los impuestos a la importación de fertilizantes, como el IVA, aumentan estos costos y provocan un aumento de los precios de los alimentos para los consumidores. Para abordar esto, el gobierno brasileño lanzó el Plan Nacional de Fertilizantes (PNF) en noviembre de 2022. Este plan busca reducir la dependencia de las importaciones de fertilizantes y guiar al sector hasta 2050. A pesar de esto, muchos agricultores aún dudan en adoptar métodos de fertilización biodinámica o de cultivo local. Los pequeños agricultores a menudo carecen de educación sobre estas prácticas, mientras que las explotaciones medianas y grandes continúan dependiendo de fertilizantes químicos importados. También existe una brecha en la legislación y el apoyo gubernamental para facilitar el acceso de los agricultores a fertilizantes alternativos, como el polvo de roca, y para desarrollar infraestructura, como trituradoras de roca. Se necesita más apoyo para los estudios de suelos y el intercambio de investigación científica de agencias como Embrapa y el Servicio Geológico de Brasil. La Ley brasileña n.º 12.890 (2013) regula la producción y comercialización de fertilizantes, enmiendas de suelo, inóculos, biofertilizantes y remineralizantes. La Instrucción Normativa n.º 39 (2018) establece reglas detalladas para el registro, etiquetado y publicidad de fertilizantes minerales. Recientemente, el Ministerio de Agricultura (MAPA) estandarizó las normas

Tabla 1. Hipótesis del modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI).

Hipóteses	Fuentes	Resultado
La cultura tiene un impacto positivo en el conocimiento.	Leidner et al. (2006), Deal y Kennedy (1982), y Tweed y Lehman (2002) sugieren que la forma en que las personas perciben, organizan y procesan la información, se comunican con los demás, comprenden, organizan, generan conocimiento y resuelven problemas está relacionada con la cultura.	APOYADO
La cultura tiene un impacto positivo en la inteligencia.	La cultura, más que la genética, determina el comportamiento y las acciones (KROEBER, 1949). Umuteme et al. (2023) argumentan que factores como los valores, las normas, las creencias y las prácticas arraigadas en la cultura organizacional configuran significativamente el entorno general del proyecto y afectan la dinámica del equipo.	APOYADO
El conocimiento tiene un impacto positivo en la inteligencia.	Rothberg y Erickson (2004) argumentan que el conocimiento es estático y, en última instancia, solo tiene valor si las personas lo utilizan (inteligencia).	APOYADO

para la producción y comercialización de remineralizantes (polvo de roca), que mejoran la calidad del suelo de forma diferente a los fertilizantes convencionales, principalmente debido a su menor solubilidad. Con estas nuevas normas, los agricultores pueden verificar la calidad del producto mediante un registro oficial. Las normas publicadas en junio de 2023 (Instrucciones 5 y 6) exigen a los fabricantes el cumplimiento de estándares estrictos, garantizando productos consistentes y seguros. Esta normativa abre nuevas opciones para los agricultores, especialmente para los productores orgánicos que evitan los fertilizantes minerales pero aceptan el polvo de roca. Responde a una demanda histórica y se reconoce en el Boletín Oficial como una valiosa alternativa para restaurar la fertilidad del suelo.

Modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia

Según Kroeber (1949), los humanos se diferencian de los animales principalmente por su cultura. Esta les permite trascender sus límites biológicos, acumulando experiencias a lo largo del tiempo y creando un legado compartido. 1. La cultura, más que la genética, guía el comportamiento e influye en las acciones humanas. 2. Los humanos se desarrollan y envejecen según las normas culturales, ya que muchos instintos se han debilitado debido a los largos cambios evolutivos. 3. La cultura es un proceso acumulativo formado por las experiencias históricas de generaciones pasadas, que puede limitar o fomentar la creatividad individual. Con base en estas ideas, se creó el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI) (Tabla 1, Figura 5). Sus puntos principales incluyen: (i) La cultura consiste en las creencias, valores, suposiciones y tradiciones de una sociedad (Schein, 2010). (ii) Para que la educación sea eficaz, los currículos deben reestructurarse en torno a cuatro pilares del aprendizaje: saber, hacer, vivir juntos y ser (Smith, 2018). (iii) La inteligencia depende de tres pilares: previsión, estrategia y acción (Rothberg & Erickson, 2004).

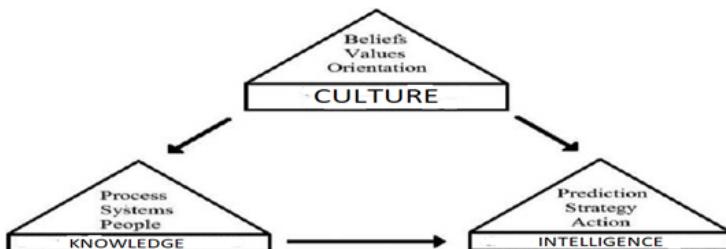


Figura 5. Modelo Cultura-Conocimiento-inteligencia (adaptado de Choo, 1998).

Modelo de agricultura Biodinámica

Gracias a su capacidad para crear y compartir conocimiento colectivo, las cooperativas han contribuido significativamente al desarrollo local y nacional. Silva et al. (2006) descubrieron que 60 cooperativas agrícolas aumentaron sus ganancias en un 130 %. Existen cooperativas en diversos sectores, como la agricultura, la salud, el crédito, el transporte y la educación. De estos, la agricultura es el sector más desarrollado y reconocido a

nivel nacional e internacional. Las cooperativas rurales desempeñan un papel fundamental en la construcción de capital social, uniendo a los socios de la cooperativa y a la comunidad circundante en esfuerzos comunes. La Figura 6 presenta el modelo de agricultura familiar biodinámica.



Figura 4. Modelo de agricultura familiar biodinámica. Fuente: Autor, 2024. El modelo de agricultura biodinámica demuestra que las cooperativas agrícolas son fundamentales para este sistema agrícola.

Conclusiones

Para que los agricultores se reúnan y resuelvan sus problemas, es esencial una cultura que acoja la capacitación, especialmente en fertilizantes, como se mencionó anteriormente. La capacitación centrada en la aplicación de polvo de roca es fundamental para el desarrollo y la sostenibilidad de la agricultura biodinámica. Además, este modelo demuestra que los cambios culturales entre los pequeños agricultores familiares inciden positivamente en la gestión del conocimiento dentro de las cooperativas y ayudan a desarrollar e implementar el Plan de Asistencia Técnica y Financiera para Agricultores, que representa el componente de inteligencia. Conclusiones: La agricultura biodinámica se basa en una cultura madura que anima a los agricultores a crear soluciones basadas en la explotación agrícola utilizando recursos naturales. Este artículo revisó la literatura sobre polvo de roca y la fijación biológica de nitrógeno y propuso dos modelos conectados: el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia y el modelo de Agricultura Biodinámica basado en el intercambio cooperativo de conocimiento. El estudio concluyó que se necesita más investigación para abordar los desafíos asociados con la disolución de polvos de roca de silicato en los cultivos, incluyendo la calidad y cantidad del material, y la posibilidad de mezclarlo con piedra caliza, estiércol o fertilizantes químicos. Este trabajo se lleva a cabo en un entorno de cooperación y colaboración entre agricultores e investigadores, lo que resalta la importancia de comprender el rol de la cultura en la gestión del conocimiento y la inteligencia para construir una cultura sólida que aplique conocimientos útiles.

Referencias

- Abreu, K. (2016). Mapa regulamenta produção, registro e comércio do pó de rocha na agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-regulamenta-producao-registro-e-comercio-do-po-de-rocha-na-agricultura>
- Anda, M., Shamshuddin, J., & Fauziah, C. I. (2015). Improving chemical properties of a highly weathered soil using finely ground basalt rocks.
- Catena, 124, 147–161. Assad, M.-L., Rosa-Magri, M., Erler, G., & Antonini, S. (2006). Solubilização de pó-de-rocha por Aspergillus niger.

- Arnott, N., Galagedara, L., Thomas, R., Cheema, M., & Sobze, J.-M. (2022). The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native species: A review. *Science of the Total Environment*, 775, Article 145904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145904>
- Assad, M.-L., Rosa-Magri, M., Erler, G., & Antonini, S. (2006). Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. *Bamberg, A., Martinazzo, R., Silveira, C., Pillon, C., Stumpf, L., Bergmann, M., van Straaten, P., & Martins, E. (2023). Selected rock powders as sources of nutrients for soil fertilization and maize-wheat grain production in southern Brazil. The Journal of Agricultural Science*, 161, 1–43. <https://doi.org/10.1017/S002185962300062X>
- Batista, N. T. F., et al. (2016). Atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído. En *Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem* (pp. 240–247). Embrapa Clima Temperado; Embrapa Cerrados.
- Bauwheede, R. D., Muys, B., Vancampenhout, K., & Smolders, E. (2024). Accelerated weathering of silicate rock dusts predicts the slow-release liming in soils depending on rock mineralogy, soil acidity, and test methodology. *Geoderma*, 441, Article 116748. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116748>
- Bellemare, M. F. (2015). Rising food prices, food price volatility, and social unrest. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(1), 1–21. <http://www.jstor.org/stable/24476998>
- Boincean, B., & Dent, D. (2020). Soil fertility – the only possible foundation for more sustainable agriculture. *BIO Web of Conferences*, 17, Article 00119. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700119>
- Boincean, B., & Dent, D. (2020). Soil fertility – the only possible foundation for more sustainable agriculture. *BIO Web of Conferences*, 17, Article 00119. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700119>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2016, março 14). Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Diário Oficial da União.
- Calabrese, S., Wild, B., Bertagni, M. B., Bourg, I. C., White, C., Aburto, F., Cipolla, G., Noto, L. V., & Porporato, A. (2022). Nano-to global-scale uncertainties in terrestrial enhanced weathering. *Environmental Science & Technology*, 56(22), 15261–15272. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05312>
- Camargo, C. K., Resende, J. T. V. de, Camargo, L. K. P., Figueiredo, A. S. T., & Zanin, D. S. (2012). Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(1), 2985–2993.
- Campbell, W. B., & Ortíz, S. L. (2012). Integrating agriculture, conservation and ecotourism: Societal influences. En *Issues in agroecology – Present status and future prospectus* (Vol. 2).
- Choo, C. W. (1998). *The knowing organisation*. Oxford University Press.
- Conceição, L., Silva, G., Holsback, H., Oliveira, C., Marcante, N., Martins, E., Santos, F., & Santos, E. (2022). Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, Article 100443. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100443>
- Curtis, J., Luchese, A. V., & Missio, R. F. (2022). Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. *Journal of Plant Nutrition*, 46, 423–438.
- Da Silva, V. A., Da Silva, L. E. S. F., Da Silva, A. J. N., et al. (2017). Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. *Agriculture and Natural Resources*, 51, 142–147.
- Dehkordi, M. M., Nodeh, Z. P., & Dehkordi, K. S. (2024). Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods. *Results in Engineering*, 23, Article 102456. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102456>
- De Vries, W., de Jong, A., Kros, J., & Spijker, J. (2021). The use of soil nutrient balances in deriving forest biomass harvesting guidelines specific to region, tree species and soil type in the Netherlands. *Forest Ecology and Management*, 479, Article 118591. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118591>
- compartilhamento de notícias falsas via Whatsapp e redes sociais. Veja. <https://veja.abril.com.br/brasil/fake-news-uma-ameaca-reconhecida-por-83-dos-brasileiros/>
- Ingole, S. (2015). A review on role of physico-chemical properties in soil quality. *Chemical Science Review and Letters*, 4, 57–66.
- Jacobsen, B. H., Latacz-Lohmann, U., Luesink, H., Michels, R., & Ståhl, L. (2019). Costs of regulating ammonia emissions from livestock farms near Natura 2000 areas: Analyses of case farms from Germany, Netherlands and Denmark. *Journal of Environmental Management*, 246, 897–908. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.047>
- Kahnt, G., Pfleiderer, H., & Hijazi, L. A. (1986). Effect of amelioration doses of rock powder and rock sand on growth of agricultural plants and on physical characteristics of sandy and clay soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 157(3), 169–180.
- Khan, S., Zahoor, M., Sher Khan, R., & Ikram, M. (2023). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, 9(6), Article e16928. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16928>
- Kroeber, A. L. (1949). The concept of culture in science. *The Journal of General Education*, 3(3), 182–196.
- Leidner, D. E., Alavi, M., & Kayworth, T. R. (2006). The role of culture in knowledge management: A case study of two global firms. *International Journal of e-Collaboration*, 2(1), 17–40.
- Lindström, K., & Mousavi, S. A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial Biotechnology*, 13(5), 1314–1335. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13517>
- Luchese, A. V., Pivetta, L. A., Batista, M. A., Steiner, F., Giaretta, A. P. S., & Curtis, J. C. D. (2021). Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. *African Journal of Agricultural Research*, 17, 487–497. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15234>
- Manning, D. A. C., & Theodoro, S. H. (2020). Enabling food security through use of local rocks and minerals. *The Extractive Industries and Society*, 7(2), 480–487.
- Meriño-Gerichevich, C., Alberdi, M., Ivanov, A. G., & Reyes-Díaz, M. (2010). Al^{3+} - Ca^{2+} interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 217–243.
- Moreira, F. M. S., & Siqueira, J. O. (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo* (2^a ed.). Universidade Federal de Lavras.
- Organicospro. (2018). Pó de rocha na agricultura orgânica. <https://www.organicospro.com.br/po-de-rocha-na-agricultura-organica>
- Paull, J. (2011). Attending the first organic agriculture course: Rudolf Steiner's agriculture course at Koberwitz. *European Journal of Social Sciences*, 21.
- Penha, M. da N. C., Bernardi, A. C. de C., Souza, G. B. de, & Nogueira, A. R. de A. (2016). Caracterização analítica e avaliação agronômica de rochas silicatadas como fontes de potássio. Embrapa Pecuária Sudeste. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1065222/caracteracao-analitica-e-avaliacao-agronomica-de-rochas-silicatadas-como-fontes-de-potassio>
- Ramos, C. G., Hower, J. C., Blanco, E., Oliveira, M. L. S., & Theodoro, S. H. (2022). Possibilities of using silicate rock powder: An overview. *Geoscience Frontiers*, 13(1), Article 101359.
- Raupp, J. (2001). Manure fertilization for soil organic matter maintenance and its effects upon crops and the environment, evaluated in a long-term trial. En *Proceedings of the Conference on Organic Farming*.
- Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership*. Jossey-Bass.
- Schuler, S., & Conrad, R. (1991). Hydrogen oxidation activities in soil as influenced by pH, temperature, moisture, and season. *Biology and Fertility of Soils*, 12, 127–130.
- Senado Federal. (2018, mayo 24). Fake news podem influenciar eleição. <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2018/05/24/fake-news-podem-influenciar-eleicao-alerta-professor>
- Silva, D. R. S., Marchi, G., Spehar, C. R., Guilherme, L. R. G., Rein, T. A., Soares, D. A., & Ávila, F. W. (2012). Characterization and nutrient release

- from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 951–962.
- Silva, M. J., Chaves, L. H. G., Fernandes, J. D., & Chaves, I. D. B. (2015). Using MB-4 rock powder, poultry litter biochar, silicate and calcium carbonate to amend different soil types. *Australian Journal of Crop Science*, 9(10), 987–995.
- Silva, C. L., Lourenço, M. S., & Pedro Filho, P. S. (2006). Capital social e cooperativismo no processo de desenvolvimento sustentável: Estudo da cooperativa Bom Jesus - Lapa/PR.
- Silva, J. V., Pede, V. O., Radanielson, A. M., Kodama, W., Duarte, A., de Guia, A. H., Malabayabas, A. J., Pustika, A. B., Argosubekti, N., Vithoonjit, D., & Hieu, P. T. (2022). Revisiting yield gaps and the scope for sustainable intensification for irrigated lowland rice in Southeast Asia. *Agricultural Systems*, 198, 103383. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103383>
- Smith, P. (2018). Learning to know, be, do, and live together with in the cross-cultural experiences of immigrant teacher educators. *Teaching and Teacher Education*, 69, 263–274.
- Swoboda, P., Döring, T. F., & Hamer, M. (2022). Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of the Total Environment*, 807, Article 150976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>
- Taylor, L. L., Driscoll, C. T., Groffman, P. M., Rau, G. H., Blum, J. D., & Beerling, D. J. (2021). Increased carbon capture by a silicate-treated forested watershed affected by acid deposition. *Biogeosciences*, 18, 169–188.
- Teixeira, P. C., Dias, R. C., Veneu, D. M., Monte, M. B. M., Loyola, J. A. D., & Zonta, E. Eficiência relativa de rochas silicáticas cominuidas no fornecimento de potássio para plantas de milho. *Embrapa Solos*. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1160268/eficiencia-relativa-de-rochas-silicaticas-cominuidas-no-fornecimento-de-potassio-para-plantas-de-milho>
- Theodoro, S. H., & Leonardos, O. H. (2006). The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4), 721–730. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400008>
- Tweed, R. G., & Lehman, D. R. (2002). Learning considered within a cultural context: Confucian and Socratic approaches. *American Psychologist*, 57(2), 89–99. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.57.2.89>
- Umuteme, O., & Adegbite, W. (2023). Mitigating the impact of cross-culture on project team effectiveness in the Nigerian oil and gas industry: The mediating role of organizational culture and project leadership. *Social Sciences & Humanities Open*.
- Van Diggelen, R., Bergsma, H., Bobbink, R., Sevink, J., Siebel, H., Siepel, H., Vogels, J., & de Vries, W. (2019). Steenmeel en natuurherstel: Een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie?.
- Van Straaten, P. (2006). Farming with rocks and minerals: Challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4), 731–747.
- Van Straaten, P. (2017). Rocks for crops in the world. En *Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem* (pp. 59–70). Embrapa Clima Temperado.
- Vieira, R. F. (2017). Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. *Embrapa*.
- Vicca, S., Goll, D. S., Hagens, M., Hartmann, J., Janssens, I. A., Neubeck, A., Peñuelas, J., Poblador, S., Rijnders, J., Sardans, J., Struyf, E. (2022). Is the climate change mitigation effect of enhanced silicate weathering governed by biological processes? *Global Change Biology*, 28(3), 711–726. <https://doi.org/10.1111/gcb.15942>
- Witzl, T. C., Canepelle, E., Stein, J. E. S., Kerkhoff, J. T., Steffler, A. D., Silva, D. W., & Redi, M. (2019). Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em latossolo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 9(2)