



Comportamiento de las propiedades químicas de un inceptisol antes y después del establecimiento de abonos verdes

Behavior of the chemical properties of an inceptisol before and after the establishment of green manures

Comportamento das propriedades químicas de um inceptissolo antes e após o estabelecimento de adubos verdes

Wilson David Yáñez-Bustamante ^I

wyanetz_est@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1434-6585>

Hipólito Israel Pérez-Iglesias ^{II}

hperez@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3368-8716>

Irán Rodríguez-Delgado ^{III}

irodriguez@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Correspondencia: wyanetz_est@utmachala.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 05 de marzo de 2024 * **Aceptado:** 25 de abril de 2024 * **Publicado:** 30 de mayo de 2024

- I. Facultades de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- II. Facultades de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- III. Facultades de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

Resumen

La agricultura no solo proporciona alimentos, sino que también desempeña un papel crucial en la economía global al generar empleo y garantizar la seguridad alimentaria, esto implica la importancia al suelo para el desarrollo de la vida vegetal y cómo los agricultores deben gestionar adecuadamente sus tierras a los posibles impactos negativos del cambio climático y el uso incorrecto del suelo en la biodiversidad. El estudio proporciona una investigación sobre el efecto de leguminosas utilizadas como abonos verdes en las propiedades químicas de un suelo Inceptisol antes y después del ciclo vegetativo realizado en la granja Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, provincia El Oro, Ecuador. Para el desarrollo del estudio se realizó un diseño cuadrado latino simple 5x5, donde se manipuló un factor de estudio formado por cinco tratamientos como testigo, alfalfa, canavalia, zarandaja y vigna, los cuales fueron replicados cinco veces, bajo un esquema de aleatorización de tratamientos asignados en las unidades experimentales completamente al azar. Este diseño permitió evaluar de manera precisa el efecto de los diferentes tratamientos de abonos verdes en las propiedades químicas del suelo. Los resultados del estudio demuestran la eficacia de los abonos verdes para mejorar las propiedades químicas del suelo, incluida la fertilidad donde se registraron aumentos significativos en los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en comparación con el control o testigo, los cuales contribuyeron a mantener un equilibrio del pH y se registró un incremento de la materia orgánica en el cultivo de canavalia. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar el uso de abonos verdes en la gestión agrícola para promover la sostenibilidad de los sistemas productivos y disponibilidad de nutrientes esenciales para aumentar la productividad de los cultivos.

Palabras clave: Suelo; Abonos verdes; Nutrientes; Sostenibilidad.

Abstract

Agriculture not only provides food, but also plays a crucial role in the global economy by generating employment and ensuring food security, this implies the importance of soil for the development of plant life and how farmers should properly manage their lands. the possible negative impacts of climate change and incorrect land use on biodiversity. The study provides an investigation on the effect of legumes used as green manures on the chemical properties of an Inceptisol soil before and after the vegetative cycle carried out on the Santa Inés farm of the Technical University of Machala, El Oro province, Ecuador. For the development of the study, a

simple 5x5 Latin square design was carried out, where a study factor was manipulated consisting of five treatments such as control, alfalfa, canavalia, zarandaja and vigna, which were replicated five times, under a treatment randomization scheme. assigned to the experimental units completely at random. This design allowed us to precisely evaluate the effect of the different green manure treatments on the chemical properties of the soil. The results of the study demonstrate the effectiveness of green manures in improving soil chemical properties, including fertility, where significant increases were recorded in the levels of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium compared to the control or control, which They contributed to maintaining a pH balance and an increase in organic matter was recorded in the canavalia crop. These findings highlight the importance of integrating the use of green manures in agricultural management to promote the sustainability of production systems and availability of essential nutrients to increase crop productivity.

Keywords: Soil; Green fertilizers; Nutrients; Sustainability.

Resumo

A agricultura não só fornece alimentos, como também desempenha um papel crucial na economia global, gerando emprego e garantindo a segurança alimentar, o que implica a importância do solo para o desenvolvimento da vida vegetal e como os agricultores devem gerir adequadamente as suas terras. alterações climáticas e o uso incorreto da terra na biodiversidade. O estudo fornece uma investigação sobre o efeito das leguminosas utilizadas como adubos verdes nas propriedades químicas de um solo Inceptisol antes e depois do ciclo vegetativo realizado na exploração Santa Inés da Universidade Técnica de Machala, província de El Oro, Equador. Para o desenvolvimento do estudo foi realizado um delineamento em quadrado latino simples 5x5, onde foi manipulado um fator de estudo composto por cinco tratamentos como o controlo, alfafa, canavalia, zarandaja e vigna, que foram replicados cinco vezes, sob um esquema de randomização de tratamento . Este desenho permitiu avaliar com precisão o efeito dos diferentes tratamentos de adubação verde nas propriedades químicas do solo. Os resultados do estudo demonstram a eficácia dos adubos verdes na melhoria das propriedades químicas do solo, incluindo a fertilidade, onde foram registados aumentos significativos nos níveis de azoto, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em comparação com o controlo ou testemunha, o que contribuirá para a manutenção. Estas conclusões realçam a importância de integrar a utilização de adubos verdes na gestão agrícola para promover a

sustentabilidade dos sistemas de produção e a disponibilidade de nutrientes essenciais para aumentar a produtividade das culturas.

Palavras-chave: Solo; Fertilizantes verdes; Nutrientes; Sustentabilidade.

Introducción

La agricultura engloba labores vinculadas al cultivo y al uso de los suelos, para producir alimentos (Coll, 2021) con la finalidad de satisfacer las necesidades crecientes de una población que en el 2050, se estima que alcance los 9.000.000.000 de personas (Pérez et al., 2018); desde el punto de vista económico la agricultura a escala global contribuye de manera considerable a la generación de empleo y desempeña un papel crucial en la garantía de la seguridad alimentaria, en este contexto, abarca todas las técnicas y labores destinadas a la obtención de productos alimenticios (Moreno et al., 2022).

El suelo es fundamental para el desarrollo y crecimiento de la vida vegetal (FAO, 2020), como organismo complejo tiene una mezcla de sólidos, líquidos y gases. Este medio ocupacional se caracteriza por sus horizontes distintivos, resultado de procesos de adición o pérdida de energía y materia en relación con el material parental (USDA, 2014).

El suelo es un componente crucial de los ecosistemas y agroecosistemas, sirviendo como punto de encuentro para diversos elementos como la vegetación, el clima y la sociedad (Moreno, 2022), sin embargo, la capacidad de los agricultores para gestionar sus terrenos agrícolas está influenciada por la calidad y el estado de este recurso, lo que puede afectar tanto los aspectos económicos como los culturales de su actividad agrícola (Madariaga y Cuellar, 2022).

Los cambios en la composición del clima y las alteraciones en el uso del suelo, como la contaminación y la explotación irresponsable de los recursos naturales, podrían tener un impacto grave en la biodiversidad y los ecosistemas (Madariaga y Cuellar, 2022). Albornoz et al., (2023) destacan que una parte considerable de los bosques ha sido convertida en áreas para la agricultura, pastizales artificiales y zonas urbanas, así como para la extracción de recursos forestales.

La mayoría de los suelos han experimentado un proceso de formación individual y característico, lo que los hace únicos (Bedigian, 2013). En el caso de los suelos de la planicie, su formación involucró la acumulación de materiales en ambientes lacustres, así como la deposición de ceniza volcánica proveniente de la Cordillera Central (Ramos, 2017).

Según Ibáñez et al. (2011), los suelos Inceptisoles abarcan un área total de 12.83 millones de km² a nivel mundial, lo que equivale al 9,81% de la superficie global. En Ecuador, se observa una extensa distribución de estos suelos, especialmente representativos y abarcan una extensión de 8,571,823 ha, este conjunto de suelos conforma aproximadamente el 35% del área mapeada (SIGTIERRAS, 2017).

Fitra et al. (2021), concluyeron que la problemática a la que enfrentan los Inceptisoles se relaciona con sus propiedades químicas, ya que este tipo de suelo no presenta características favorables, como se demuestra mediante la escasa presencia de carbono orgánico y nitrógeno en el suelo. De hecho, Mulyani (2017), reafirma que las propiedades de los suelos Inceptisoles generalmente son menos fértiles, con un pH ligeramente ácido, niveles moderados de carbono orgánico y bajos niveles de nutrientes esenciales como NPK.

Yuniarti (2020), demuestra que en países como Indonesia los Inceptisoles son suelos degradados y que necesitan de un manejo adecuado en la fertilización para la producción de ciertos cultivos como el arroz, a pesar de ello, el uso extensivo de compuestos químicos ricos en nutrientes como el NPK en la agricultura convencional ha sido asociado con efectos negativos en el suelo y el medio ambiente (Brenzinger et al., 2018; Mehdizadeh et al., 2019).

Estudios recientes han demostrado que la aplicación continua de nitrógeno puede disminuir la absorción de nutrientes por las plantas, alterar la composición del suelo y contaminar las fuentes de agua por lixiviación (Demiraj et al., 2018; Khatun et al., 2019). Dentro de este contexto López et al., (2023), destaca la importancia para las asociaciones agrícolas de adoptar modelos de agricultura sostenible que generen beneficios sociales, económicos y ambientales, contribuyendo así al crecimiento del sector y al bienestar de la sociedad.

Actualmente, los agricultores han implementado varios modelos agrícolas acordes a los cambios en el entorno biofísico y socioeconómico (Albarracín et al., 2019; Kapitza et al., 2021). La agricultura orgánica se enfoca en maximizar los recursos disponibles, promover la independencia de insumos externos, minimizar el impacto ambiental y preservar la salud del productor y del consumidor (Félix et al., 2008).

El uso de enmiendas orgánicas mejora las condiciones del suelo y favorece el crecimiento de las plantas al aumentar la disponibilidad de nutrientes (Murillo et al., 2020). Martín y Rivera (2004), destacan la importancia de los abonos verdes en la agricultura moderna como una forma de reducir la contaminación ambiental y mejorar la calidad del suelo.

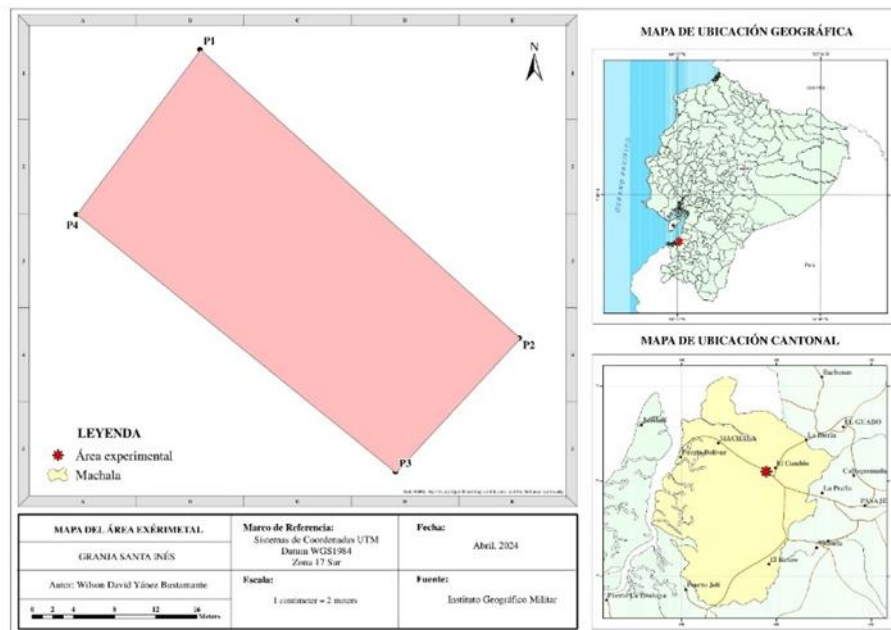
En Ecuador, investigaciones de Carlosama y Jiménez (2018), concluyeron que la integración de abonos verdes en suelos degradados, junto con la implementación de prácticas agrícolas adecuadas, sería una estrategia eficaz para la rehabilitación de dichos suelos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la granja Santa Inés de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5,5 de la parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador (Rodríguez et al., 2021), ubicada geográficamente en las coordenadas 17M 621016.52E y 9636308S UTM, en una superficie de 800 m², con un rango altitudinal de 13 msnm (USGS, 2024). (Figura 1).

Figura 1: Ubicación espacial del área experimental.



Los factores ambientales y climáticos según las zonas de vida de Holdridge y Tosi, (1967), y citado por Armijos et al. (2021), el clima del área de estudio se cataloga como una zona de bosque muy seco tropical (bms-T), otros autores como Rodríguez et al., (2021), mencionan que el clima en el área experimental se clasifica como trópico megatérmico seco a semihúmedo; precipitaciones 500 y 1000 mm anuales, con lluvias osciladas entre los meses de enero y abril y temperatura promedio

anual de 26°C (MAE, 2014); los suelos son jóvenes de tipo Inceptisol, se caracterizan por un pobre desarrollo de horizontes (Villaseñor et al., 2015), estudios realizados por Romero y García (2021), indican que en el área de estudio predominan suelos con clase textural franco arcilloso, con una fertilidad media, buen drenaje y con un pH de 5,8 ligeramente ácido.

Diseño experimental

Para el desarrollo del estudio se realizó un diseño cuadrado latino simple 5x5, donde se manipuló un factor de estudio (abonos verdes) formado por cinco tratamientos (Tabla 1), los cuales fueron replicados cinco veces, bajo un esquema de aleatorización de tratamientos asignados en las unidades experimentales completamente al azar dentro de cada columna o hilera de forma independiente con el uso de la tabla de números aleatorios, conformándose 25 unidades o parcelas experimentales.

Tabla 1: Tratamientos objeto de estudio en la investigación.

Tratamientos	Abonos verdes	Distancia de siembra
T0	Testigo (arvenses)	
T1	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	0,25 m entre hileras y 0.10 m entre plantas
T2	Canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i> A.)	1,0 m entre hileras y 0.60 m entre plantas
T3	Zarandaja (<i>Lablab purpureus</i> L.)	1,0 m entre hileras y 0.50 m entre plantas
T4	Vigna (<i>Vigna</i> sp.)	0,70 m entre hileras y 0.20 m entre plantas

Las unidades experimentales fueron áreas de 21 m², separadas entre sí por una distancia de 1.25 m, contando un total de 25 unidades experimentales.

Manejo del experimento

Previo a efectuar el experimento se tomó cinco muestras de suelo en el área experimental, una por cada tratamiento; se procedió a realizar la preparación del terreno con arado manual, las unidades experimentales quedaron bien mullidas, los surcos se ubicaron a una distancia de 1.25 m entre ellos, se procedió a realizar límites de cada unidad experimental con estacas y piola, además se distribuyó los tratamientos con sus respectivas semillas según el croquis del diseño experimental, las mismas que deben de tener un área de 21 m²; las semillas se sembraron dentro del área

experimental el día 09 de septiembre de 2023 y se colocaron a diferentes distancias entre plantas según el tratamiento.

En el T0 se encontraron 26 especies de arvenses las mismas que realizaban el papel de cobertura vegetal en el suelo, de las cuales se presentan en la Tabla 2 las principales que se identificaron.

Tabla 2: Arvenses identificadas en el tratamiento testigo.

Nombre científico	Nombre común
<i>Digitaria sanguinalis</i> L.	Pasto de las Bermudas
<i>Cynodon dactylon</i> L.	Césped Bermuda
<i>Eryngium foetidum</i> L.	Chillangua
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga
<i>Trifolium repens</i> L.	Trébol blanco

En el área experimental se realizó labores culturales como resiembra a los diez días de la siembra, a por que una vez que las plántulas se empezaron a desarrollar, limpieza de arvenses cada 15 días, así mismo se eliminaron las plántulas afectadas por patógenos, se procedió a fumigar Cyperpac (cipermetrina) para controlar la población de hormigas y se efectuó riego de agua por gravedad con una frecuencia de tres días.

Variables que medir y recolección de datos

Las mediciones de las variables se realizaron in situ a las 25 unidades experimentales, para las variables de las propiedades químicas del suelo se tomaron muestras de suelo con un barreno previas al establecimiento de abonos verdes y otras en postcosecha; los datos de conductividad eléctrica se recopilaban utilizando un equipo de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), se tomó tres datos en cada unidad experimental y se evitó estar cerca de plantas barreras o aquellas que se encuentran limitando con otras unidades experimentales en tres horas al día (09h00, 11h00, 14h00) los días lunes, miércoles y viernes.

Los análisis químicos de suelo se realizaron en el laboratorio NEMALAB, donde, se tomaron cinco muestras previas al ensayo y 10 muestras de suelo después de la finalización del cultivo, para cada variable química del suelo se utilizó diferentes métodos de laboratorio (Tabla 3).

Tabla 3: Métodos utilizados por el laboratorio NEMALAB en la medición de los análisis químicos de suelo.

Propiedades químicas evaluadas	Método empleado
pH	Extracto suelo en agua (1:2.5)
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio
Nitrógeno	Espectrofotometría
Fósforo, Zinc, Cobre, Hierro, Manganeso, Calcio, Potasio y Magnesio	Olsen modificado
Materia orgánica	Dicromato de potasio
Saturación y sumatoria de bases del suelo (%)	Extracto de saturación

Procedimiento estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 26 de prueba para Windows, con un nivel de significancia del 5,0% ($\alpha=0,05$). Con la finalidad de determinar la presencia o no de diferencias estadísticas entre los abonos verdes utilizados en función de las propiedades químicas del suelo se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor intergrupos, previo cumplimiento de los supuestos de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas. Cuando se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos se aplicó la prueba de rangos y comparaciones múltiples de Duncan para determinar diferencias o similitudes. La representación de gráfica de los resultados se realizó mediante un gráfico de barras simples, donde las letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos objeto de estudio.

Resultados y discusión

Resultados del contraste de hipótesis para la comparación entre abonos verdes en relación con las propiedades químicas del suelo (Tabla 4).

Tabla 4: Resultados de la prueba de ANOVA de un factor intergrupos antes y después del establecimiento de abonos verdes.

Propiedades químicas del suelo	p-valor	
	Antes	Después
NH ₄	-	0,000**
P	-	0,000**
K	-	0,007*

Ca	-	0,001**
Mg	-	0,008*
Fe	-	0,000**
Mn	-	0,015*
Cu	-	0,042*
Zn	-	0,001**
pH	-	0,008*
CE	0,041	0,000**
CIC	-	0,007*
MO	-	0,002**
Porcentaje de saturación de bases	-	0,002**
Sumatoria de saturación de bases	0,945 NS	0,001**

Nota: * Diferencia estadística al 95% de confiabilidad.

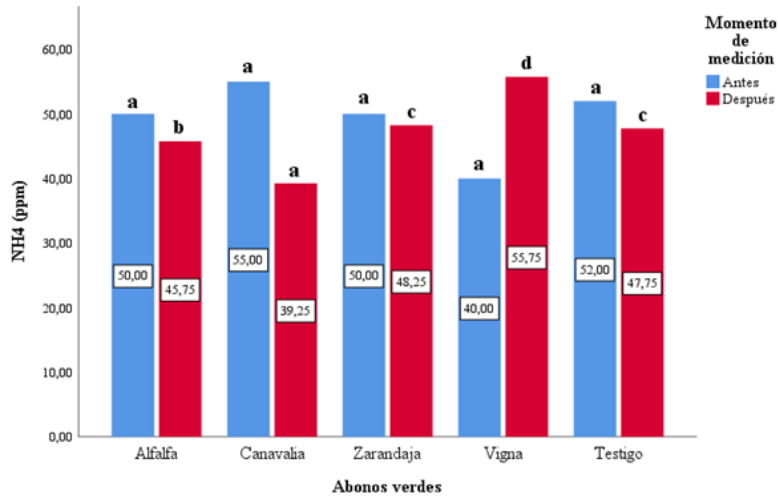
** Diferencia estadística al 99% de confiabilidad.

NS. no existe diferencia significativa.

Amonio

Dentro de los valores de amonio en el suelo antes del establecimiento de los abonos verdes se obtuvo un mínimo de 40 ppm en el cultivo de vigna, después se obtuvo en el T4 un máximo de 55,75 ppm NH₄ (Figura 2). según Hartz et al. (2012), los niveles óptimos de nitrógeno total en el suelo para el buen desarrollo del cultivo oscilan entre 20 a 40 ppm. El cultivo de vigna a diferencia de los otros tratamientos, es el único que incrementa en nitrógeno después del establecimiento de abonos verdes, debido a que este tratamiento tuvo más días en campo descomponiéndose e incorporando su material vegetal. Espinoza et al. (2012), menciona que todo material vegetal debe de descomponerse en su totalidad para que el azufre y nitrógeno puedan ser liberados e incorporarse en el suelo; Rivera et al. (1999), indican que la descomposición completa de *Canavalia ensiformis* puede incrementar el nitrógeno mineral del suelo.

Figura 2: Efecto de abonos verdes en el contenido de amonio del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



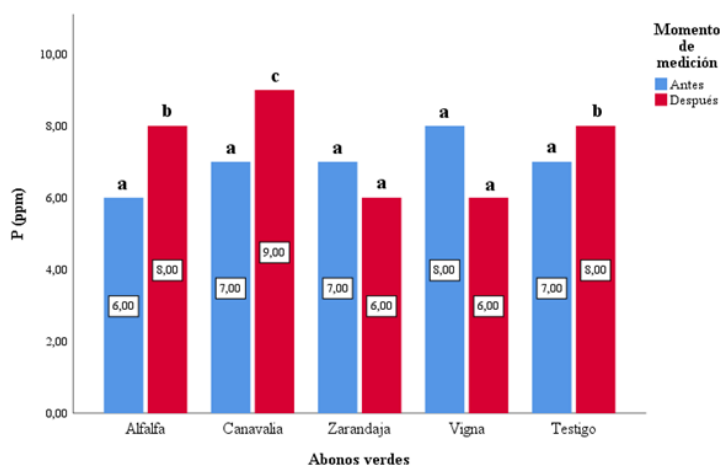
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de NH₄ para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Fósforo

Antes del establecimiento de abonos verdes los niveles de fósforo están entre 6 a 7 ppm, después del establecimiento los tratamientos de alfalfa y canavalia incrementó el nivel de fósforo en el suelo hasta un máximo de 9 ppm (Figura 3). Según Espinoza et al. (2012), estos niveles de fósforo son muy bajos debido a que se considera que un nivel óptimo oscila entre 36 a 50 ppm de P.

Fernández et al., (2019), menciona que el fosforo como el potasio son elementos poco móviles en el suelo y debido a que fueron extraídos por la planta la concentración de este será baja y que todo abono verde necesita descomponerse para una incorporación de nutrientes eficaz. Martín & Rivera (2015) demuestran que la canavalia y otros abonos verdes incrementan el contenido de Ca, Mg y P asimilable del suelo.

Figura 3: Efecto de abonos verdes en el contenido de fósforo del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



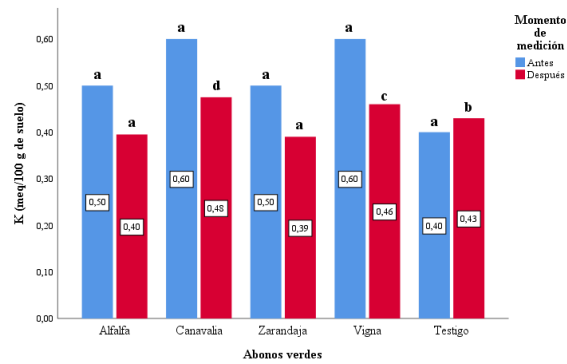
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de P para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Potasio

Antes del establecimiento de abonos verdes los niveles de potasio se encuentran entre 0,40 a 0,60 meq/100 g de suelo, después del establecimiento de los tratamientos los valores de K disminuyeron hasta 0,39 meq/100 g de suelo en el tratamiento de zarandaja, el tratamiento de canavalia presenta los valores más altos en relación con los demás tratamientos con 0,48 meq/100 g de suelo (Figura 4). Según Espinoza et al. (2012), los niveles óptimos de K en el suelo van de 0,33 a 0,44 meq/100 g de suelo.

Estudios realizados por González et al. (2014), menciona que dentro de un análisis de suelo los niveles de potasio y fósforo pueden disminuir en áreas cultivables que han sido utilizadas para monocultivos. Preciado (1998), indica que el N, P, K pueden reducirse cuando micronutrientes como Fe, Al y Mn aumentan, además sugiere el uso de prácticas como rotación de cultivos e incorporar abonos verdes para incrementar nutrientes que han sido extraídos por monocultivos.

Figura 4. Efecto de abonos verdes en el contenido de potasio del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.

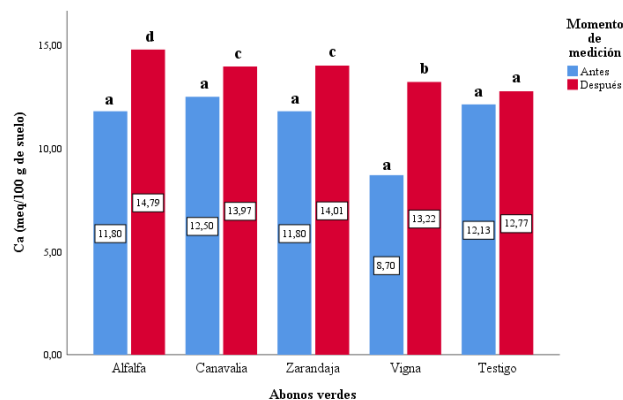


*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de K para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Calcio

Antes del establecimiento de abonos verdes los niveles de calcio se encuentran en valores de 8,70 a 12,50 meq/100 g de suelo, después del establecimiento de los tratamientos se obtuvo un incremento en todos los tratamientos, de hasta 14,79 meq/100 g de suelo en el tratamiento de alfalfa (Figura 5). Pérez (2013), menciona que los niveles óptimos de Ca en el suelo van de 4,1 a 20,0 meq/100 g de suelo, se considera como normal los niveles de calcio cuando existe una relación Ca:Mg de 2:1 (Quintero, 1993).

Figura 5: Efecto de abonos verdes en el contenido de calcio del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



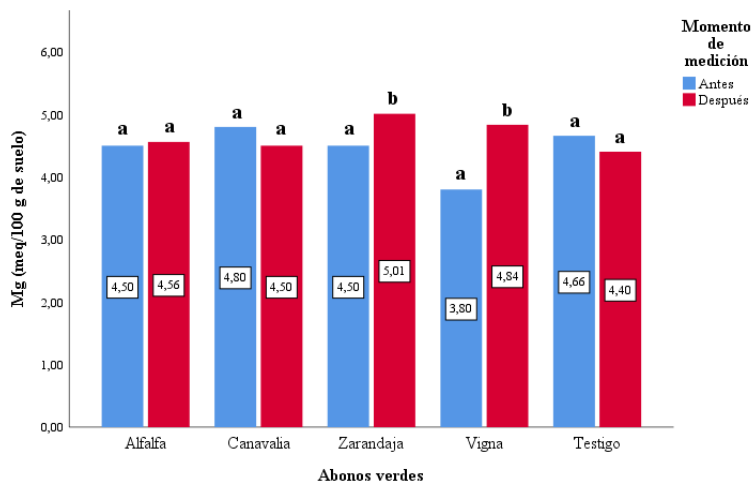
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de Ca para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Magnesio

Los niveles de potasio antes del establecimiento de los tratamientos están entre 3,80 a 4,80 meq/100 g de suelo, después del establecimiento de los tratamientos los valores de Mg aumentaron para los cultivos de zarandaja y vigna en 5,01 y 4,84 meq/100 g de suelo respectivamente, mientras que los tratamientos de canavalia y testigo disminuyeron (Figura 6). Según Espinoza et al. (2012), considera suelos pobres y que necesitan fertilización aquellos que tendrían un valor menor a 0.24 meq/100 g de suelo Mg.

Preciado (1998), menciona que suelos con un nivel de compactación considerable pueden afectar hasta el 20% de disminución en la materia verde y por ende de los nutrientes como es en el caso de Mg en cultivos de alfalfa, considerando una compactación optima o densidad de 1,3 g/cm³; suelos mayores a 1,45 g/cm³ se consideran suelos críticos de textura arcillosa (Rasche Alvarez et al., 2020). Martín y Rivera (2015), demostraron que los abonos verdes influyen directamente en las propiedades físicas del suelo gracias al aumento de materia orgánica y a su capacidad de retención del agua generando mayor infiltración y aireación en el suelo.

Figura 6: Efecto de abonos verdes en el contenido de magnesio del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.

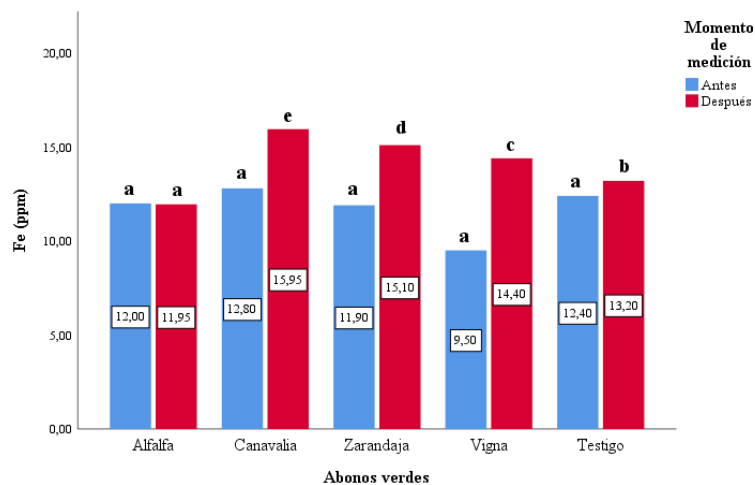


*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de Mg para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Hierro

Dentro de la variable de Fe después del establecimiento de los tratamientos, se observan cinco subgrupos diferentes, el tratamiento de canavalia incrementa su nivel de Fe de 12,80 a 15,95 ppm, seguido por los tratamientos de zarandaja y vigna respectivamente (Figura 7). Según Espinoza et al. (2012), el micronutriente del hierro se requiere en mínimas cantidades en el suelo, siendo su nivel óptimo de 10 a 50 ppm de Fe en el suelo (Pérez, 2013).

Figura 7: Efecto de abonos verdes en el contenido de hierro del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



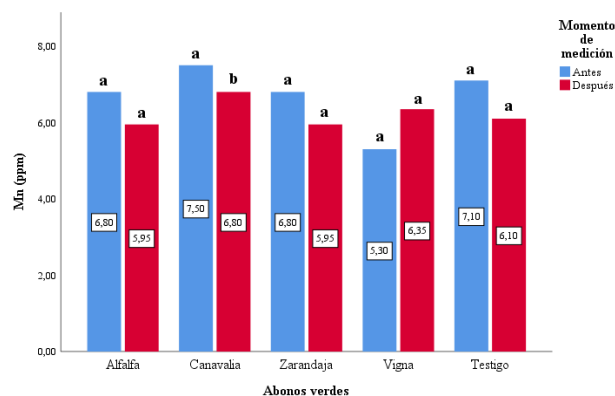
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de Fe para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Manganeso

Se puede observar que después del establecimiento de abonos verdes los valores de este micronutriente descienden a excepción del tratamiento de vigna que pasa de 5,30 a 6,35 ppm, sin embargo, el cultivo de canavalia presenta diferencias significativas al resto de tratamientos teniendo 6,80 ppm Mn después del establecimiento de los tratamientos (Figura 8).

Según Espinoza et al. (2012), menos de 40 ppm de Mn en el suelo se considera bajo y requiere fertilización, sin embargo, la fertilización de este micronutriente dependerá directamente del pH y del tipo de suelo, valores que superen los 200 ppm podrían resultar en toxicidad de manganeso.

Figura 8: Efecto de abonos verdes en el contenido de manganeso del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.

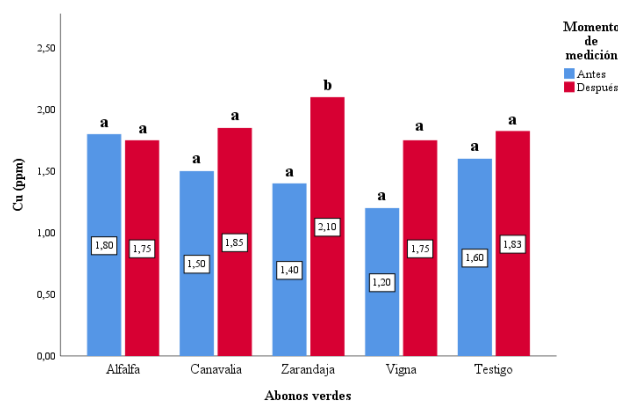


*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de Mn para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Cobre

El elemento Cu después del establecimiento de abonos verdes incrementa para el tratamiento de zarandaja de 1,40 a 2,10 ppm, seguido por los tratamientos de canavalia y vigna respectivamente (Figura 9). Según Espinoza et al. (2012), el micronutriente cobre además del hierro y boro se requieren en mínimas cantidades en el suelo, siendo su nivel óptimo mayor a 1 ppm de Cu en el suelo, además, Roca et al. (2007) menciona que el elemento de Cu es subsuperficial y biosimilable que se moviliza con mayor facilidad a diferencia de otros micronutrientes.

Figura 2: Efecto de abonos verdes en el contenido de cobre del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.

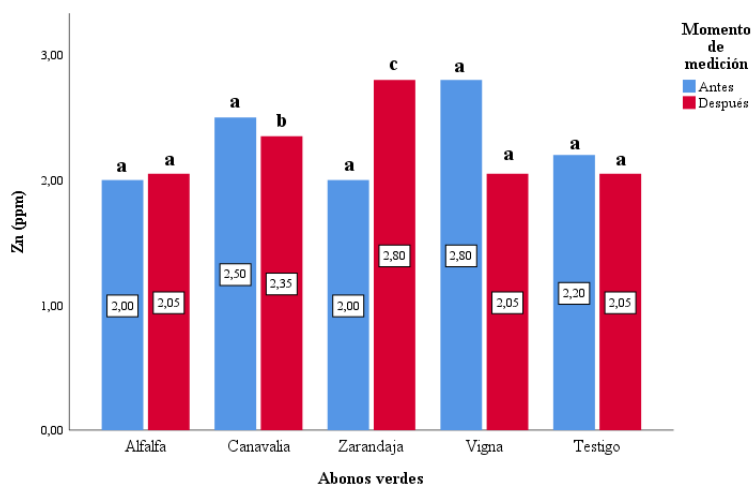


*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de Cu para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Zinc

Dentro del gráfico de Zn se puede observar que entre los tratamientos existen diferencias significativas después del establecimiento de abonos verdes donde existen tres subgrupos homogéneos, siendo el tratamiento de zarandaja el único que incrementa el micronutriente de 2,0 a 2,80 ppm, sin embargo, los niveles de Zn antes y después del establecimiento son muy bajos (Figura 10). Espinoza et al. (2012), indica que un suelo con menos de 4ppm de Zn y un pH mayor a 6 son suelos pobres en Zn, su nivel óptimo debe de encontrarse entre 4 a 8 ppm de Zn.

Figura 10: Efecto de abonos verdes en el contenido de zinc del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.

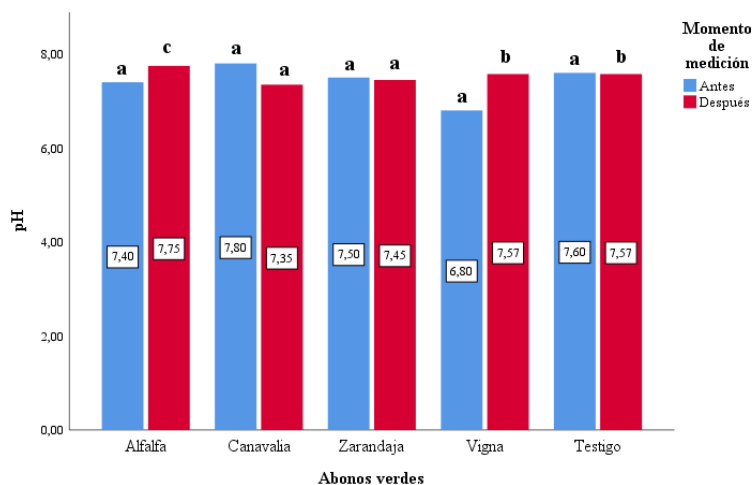


*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de Zn para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

pH del suelo

Existe una ligera variación de pH de 6,80 a 7,80 rango que establece a un suelo neutro hacia ligeramente alcalino (Figura 11), donde niveles de Ca y Mg pueden ser altos y la disponibilidad de P puede ser baja, algunos cultivos con estos niveles de pH podrían presentar deficiencia de micronutrientes (Osorio, 2012).

Matos-Pech et al. (2022), considera que el uso de abonos verdes es crucial para neutralizar las condiciones de pH al introducir materia orgánica en el suelo y limitar la poca disponibilidad de P y microelementos evitando la deficiencia de nutrientes en las plantas.

Figura 11: Efecto de abonos verdes en el pH del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.

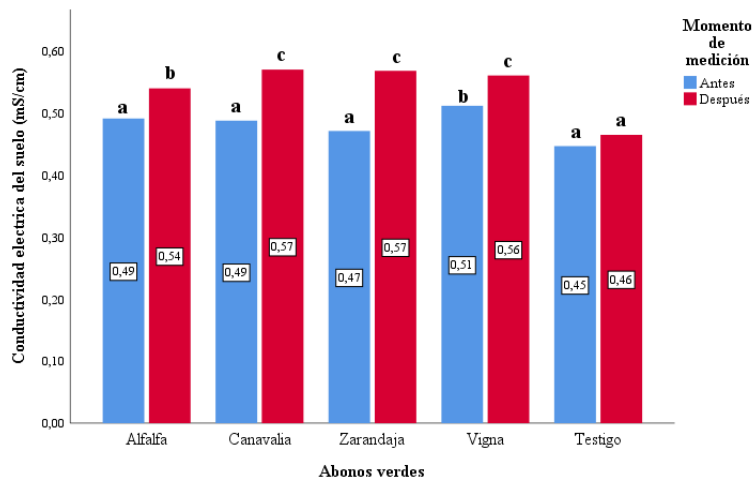
**Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función del pH para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).*

Conductividad electica

Se observa que los valores de CE antes del establecimiento de abonos verdes se encuentran en un rango de 0,47 a 0,51 mS/cm lo que corresponde a un nivel ligeramente salino (Soto y Desamparados, 2018), después de establecer los abonos verdes y haber aplicado riego en cada uno de estos, algunos tratamientos como canavalia, zarandaja y vigna con 0,57, 0,57, 0,56 mS/cm respectivamente (Figura 12), lograron captar más humedad en el suelo por lo que sus valores de CE son mayores al resto de tratamientos debido a la solución de sales disueltas en el medio.

De acuerdo con Montes (2020), el uso de abonos verdes remueve el contenido de sales disueltas en el suelo, adhiriéndolo a su estructura vegetal, esto sugiere que el uso de abonos verdes y la rotación de cultivos ayuda de manera significativa para disminuir el contenido de sales existentes en el suelo.

Figura 12: Efecto de abonos verdes en la conductividad eléctrica del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



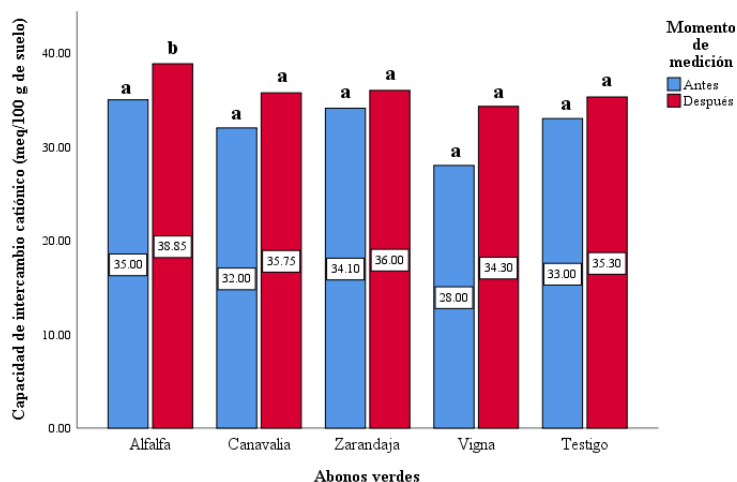
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de la CE para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Capacidad de intercambio catiónico

Antes del establecimiento de abonos verdes la capacidad de intercambio catiónico en el suelo muestreado es superior 28 meq/100 g de suelo, siendo el tratamiento de vigna la menor cantidad de CIC (Figura 13), estos valores aumentan después del establecimiento de los abonos verdes. De acuerdo con Méndez y Bertsch (2012), suelos con un nivel menor a 5,0 meq/100 g de suelo se consideran suelos críticos y pobres sin materia orgánica, clasificando a estos suelos en un nivel medio con una valoración en suelos óptimos para el crecimiento de los cultivos pero que requieren atención en fertilización.

El tratamiento de alfalfa después de su establecimiento obtuvo los valores más altos con 38,85 meq/100 g de suelo, siendo este un tratamiento altamente significativo para el mejoramiento de suelos. Según Evaristo (2014), la CIC puede incrementar gradualmente dependiendo de prácticas como el encalado y el uso de abonos verdes como alfalfa además de la rotación de cultivos; Pérez y Figueroa (2021) mencionan que la CIC depende directamente de la textura y del pH del suelo, donde suelos mayores a 20 meq/100 g de suelo se consideran arcillosos.

Figura 13: Efecto de abonos verdes en la capacidad de intercambio catiónico del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



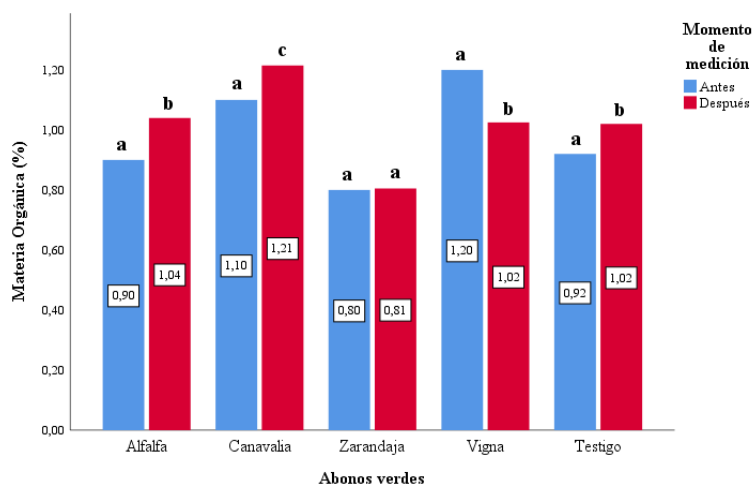
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de la CIC para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Materia orgánica del suelo

En los resultados de materia orgánica se obtuvo tres grupos con características diferentes, el primero correspondiente al cultivo de zarandaja donde no hubo diferencias antes y después del establecimiento, el segundo grupo con T0, T1 y T4 en el que existe un aumento mínimo de materia orgánica y el tercer grupo conformado por canavalia donde antes del establecimiento de abonos verdes su porcentaje de materia orgánica es de 1,10% y después del establecimiento de los tratamientos aumentó a 1,21% (Figura 14).

Molina (s/f.); Rojas et al. (2018), mencionan que suelos con menos del 2% de materia orgánica se consideran pobres ya que su rango óptimo se encuentra entre 5 a 10% de MO. Martín y Rivera (2015), demuestran que los abonos verdes incorporan materia orgánica, mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo y por ende sus propiedades físicas y químicas, disminuyendo los costos de fertilización (García et al., 2001).

Figura 14: Efecto de abonos verdes en la materia orgánica del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



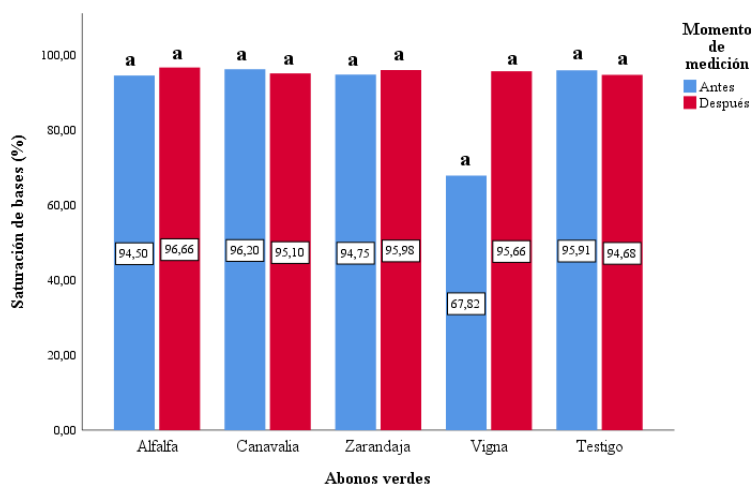
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de la MO para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Porcentaje de saturación de bases

Entre los tratamientos no existen diferencias significativas del porcentaje de saturación de bases, sin embargo, el T4 tuvo un incremento de 67,82 a 95,66 % (Figura 15). Pérez (2013), menciona que el porcentaje de saturación de bases corresponde a la proporción de cada base (Ca, Mg, Na, K) con respecto al CIC; Espinoza et al. (2012), sugiere mantener una saturación de bases alta, superior al 60%, especialmente en suelos con un pH menor a 6. Además, se observa que a medida que la saturación de bases aumenta, el pH también tiende a incrementarse.

Baker y Amacher (1981), demostraron que los rangos óptimos del porcentaje de bases están en Ca (60 – 80 %), Mg (10 – 20 %), K (2 – 5 %); Moro (2015), mencionan al Na con un rango de 0 – 5 %, aunque el Na no es necesario para el crecimiento de las plantas, se debe de tener en cuenta a este elemento ya que en cantidades superiores al rango normal podría causar problemas en la fertilidad del suelo (Espinoza et al., 2012).

Figura 15: Efecto de abonos verdes en la saturación de bases (%) del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos.



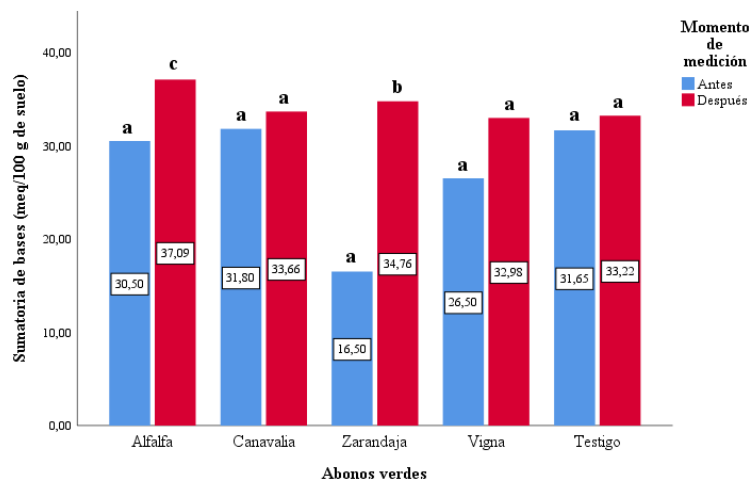
*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función del porcentaje de saturación de bases para un p -valor $\leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Sumatoria de saturación de bases

La sumatoria de bases es la suma de cationes (Ca, Mg, Na, K) respecto a la CIC del suelo muestreado, dentro de los tratamientos se puede apreciar que incrementa la saturación de bases después del establecimiento de abonos verdes para los cultivos de vigna y alfalfa, el cultivo de vigna incrementa de 26,50 a 32,98 meq/100 g de suelo, mientras que el cultivo de alfalfa pasa de 30,50 a 37,09 meq/100 g de suelo (Figura 16), este indicativo es necesario para determinar el correcto intercambio de iones desde el suelo hacia la planta además de evitar saturación de estas bases.

Quintero Duran (1993), indica que debe existir una relación entre Ca, Mg (2:1) y de Ca, Mg y K (3:1:0.25), ya que de estas relaciones depende de que otros elementos como Ca y Al se puedan neutralizar y que el uso de enmiendas como cal dolomítica y abonos verdes evitan el incremento de estas relaciones.

Figura 16: Efecto de abonos verdes en la sumatoria de saturación del suelo antes y después de del establecimiento de los cultivos



*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los abonos verdes en función de la sumatoria de bases para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Duncan).

Conclusiones

La utilización de abonos verdes puede incrementar los niveles de nitrógeno en el suelo, al beneficiar el desarrollo y la productividad de los cultivos. Además, es crucial gestionar adecuadamente los abonos verdes para optimizar los niveles de fósforo y otros nutrientes.

La rotación de cultivos y el uso de abonos verdes son fundamentales para mantener niveles óptimos de potasio y otros nutrientes en el suelo, especialmente en áreas afectadas por monocultivos. Asimismo, el establecimiento de abonos verdes, como la alfalfa, puede aumentar significativamente los niveles de calcio y mejorar la fertilidad y productividad del suelo.

Aunque el establecimiento de abonos verdes puede mejorar los niveles de magnesio, es esencial considerar factores como la compactación del suelo que pueden influir en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. De igual manera, se debe monitorear y gestionar adecuadamente los niveles de manganeso y cobre en el suelo para garantizar un equilibrio óptimo y evitar problemas de toxicidad.

A pesar de que los abonos verdes pueden aumentar los niveles de micronutrientes como el zinc, es necesario implementar estrategias adicionales para mejorar su disponibilidad en el suelo y garantizar un suministro adecuado para los cultivos.

Los resultados resaltan la importancia del uso de abonos verdes para mantener un equilibrio adecuado en el pH del suelo y garantizar una nutrición óptima de los cultivos. Además, después del establecimiento de abonos verdes, se observa un ligero aumento en los valores de conductividad eléctrica, indicando un incremento en la concentración de sales disueltas en el suelo, lo cual puede atribuirse a una mayor retención de humedad en el suelo.

Se obtuvo un aumento significativo en la CIC en el suelo muestreado después del establecimiento de abonos verdes, lo que indica una mejora en la calidad del suelo. Estos resultados sugieren que el uso de abonos verdes, especialmente el cultivo de canavalia, puede ser una estrategia efectiva para incrementar el contenido de MO en el suelo, mejorando así su calidad y fertilidad.

Se sugiere mantener una saturación de bases alta, especialmente en suelos con un pH menor a 6, lo cual puede mejorar la calidad del suelo y favorecer el crecimiento de las plantas, como se observa en el cultivo de vigna. Existe una relación directa entre el aumento en la saturación de bases y el incremento en el pH del suelo, resaltando la influencia significativa que estas variables tienen entre sí. El aumento en la sumatoria de bases después del establecimiento de abonos verdes, especialmente en los cultivos de vigna y alfalfa, indica una mejora en la capacidad del suelo para proporcionar nutrientes a las plantas y mantener un equilibrio adecuado entre los cationes. Este aumento es un indicativo importante para asegurar un correcto intercambio de iones entre el suelo y la planta, así como para evitar la saturación de estas bases, lo cual es fundamental para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Referencias

1. Albarracín-Zaidiza, J. A., Fonseca-Carreño, N. E., & López-Vargas, L. H. (2019). Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 39–55. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>
2. Albornoz, L., Mercado, A., & Mendoza David. (2023). Uso de suelo del sector primario desde la perspectiva del consumo en México (2018). Un enfoque multisectorial de insumo-producto. *El Trimestre Económico*, 90(3), 703–730. <https://doi.org/10.20430/ete.v90i359.1769>
3. Armijos Villavicencio, A., Quevedo Guerrero, J., & García Batista, R. (2021). ANÁLISIS DE LA RELACIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN EL ESTABLECIMIENTO DE SEIS

- VARIETADES DE CAFÉ EN LA GRANJA EXPERIMENTAL SANTA INÉS. *Agroecosistemas*, 9(1), 96–107. <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>
4. Baker, D. E., & Amacher, M. C. (1981). *The Development and Interpretation of a Diagnostic Soil-testing Program*. Pennsylvania State University, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, 826, 1–18.
 5. Bedigian, D. (2013). Ecogeography and taxonomy of *Rogeria J. Gay ex Delile* (Pedaliaceae). *Journal of Plant Taxonomy and Geography*, 68(2), 103–126. <https://doi.org/10.1080/00837792.2013.867609>
 6. Brenzinger, K., Drost, S. M., Korthals, G., & Bodelier, P. L. E. (2018). Organic residue amendments to modulate greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03035>
 7. Carlosama Pantoja, D., & Jiménez Jaramillo, R. (2018). EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE ABONOS VERDES EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS DE LA PARROQUIA BOLÍVAR – CANTÓN BOLÍVAR. 5–12. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8024/2/ART%c3%8dCULO.pdf>
 8. Coll Morales, F. (2021, July 1). Agricultura. *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/agricultura.html#:~:text=La>
 9. Demiraj, E., Libutti, A., Malltezi, J., Rroço, E., Brahushi, F., Monteleone, M., & Sulçe, S. (2018). Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil of Shkodra district, Albania. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 93–102. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1136>
 10. Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2012). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. UNDERSTANDING THE NUMBERS ON YOUR SOIL, 1. <https://www.uaex.uada.edu>
 11. Evaristo, J. (2014). EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL pH Y CIC DE UN SUELO ÁCIDO MEDIANTE ENCALADO Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA Var. MACATE. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
 12. FAO. (2020, April 23). Innovación para entender los suelos. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/1272408/>

13. Félix Herrán, J. A., Rosario Raudel, S. T., Rojo Martínez, G. E., Martínez Ruiz, R., & Olalde Portugal, V. (2008). IMPORTANCIA DE LOS ABONOS ORGÁNICOS. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 4(1), 57–67.
14. Fernández-Labrada, M., Seoane Labandeira, S., Illera-Vives, M., & López-Mosquera, M. (2019). Evaluación agronómica de abonos verdes de invierno en Galicia. *Ciencias Hortícolas*, 7, 6–11.
15. Fitra Syawal, H., Roswita, O., Wizni, F., & Mulya, R. (2021). CHEMICAL CHARACTERISTICS OF INCEPTISOL SOIL WITH UREA AND GOAT MANURE FERTILIZER. *JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA*, 3(2), 117–127. <https://doi.org/10.36378/1398>
16. García, M., Treto, E., & Álvarez, M. (2001). COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES ESPECIES DE PLANTAS PARA SER UTILIZADAS COMO ABONOS VERDES EN LAS CONDICIONES DE CUBA. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 11–16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230162002>
17. González Chacón, M. C., Díaz López, G., & Castells Hernández, S. (2014). El abono verde una vía a la sostenibilidad de la producción arrocera. *Revista Avances*, 16(2), 134.
18. Hartz, T., Smith, D., & Smith, R. (2012). Explicación de las Pruebas de Nitrato en Suelos. https://www.greatermontereyirwmp.org/wp-content/uploads/2012/03/Appendix-L07_On-Farm-Solutions_App-B_Soil-Nitrate-Testing-Explained_Spanish.pdf
19. Holdridge, L., & Tosi, J. (1967). LIFE ZONE ECOLOGY With Photographic Supplement Prepared (Revised, Vol. 1). TROPICAL SCIENCE CENTER.
20. Ibáñez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J. M., & Moreno Ramón, H. (2011). INCEPTISOLES. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1, 2–4. <https://doi.org/10.251/1.2884>
21. Kapitza, S., Van Ha, P., Kompas, T., Golding, N., Cadenhead, N. C. R., Bal, P., & Wintle, B. A. (2021). Assessing biophysical and socio-economic impacts of climate change on regional avian biodiversity. *Scientific Reports*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82474-z>
22. Khatun, M., Shuvo, M. A. R., Salam, M. T. Bin, & Rahman, S. M. H. (2019). Effect of organic amendments on soil salinity and the growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science Today*, 6(2), 106–111. <https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.2.491>

23. López-Rodríguez, C. E., Urrego Tunjuelo, C. P., & Urrego Tunjuelo, A. R. (2023). Methodological proposal for the adoption of good practices in sustainable agriculture aimed at colombian producers. *Producción y Limpia*, 18(1), 99–117. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a7>
24. Madariaga, M., & Cuellar, J. (2022). EFECTO DE LA AGRICULTURA MIGRATORIA (TUMBA Y QUEMA) EN LA CALIDAD DE SUELO DEL BOSQUE EN PICHARICUSCO 2019. Universidad Científica.
25. MAE. (2014). GESTIÓN INTEGRADA PARA LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN, DEGRADACIÓN DE LA TIERRA Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.
26. Martín, G. M., & Rivera, R. (2004). MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO INCORPORADO CON LOS ABONOS VERDES Y SU PARTICIPACIÓN EN LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA. *Cultivos Tropicales*, 25(3), 89–96.
27. Martín, G. M., & Rivera, R. (2015). Influence of mycorrhizal inoculation on green manures. Effect on the main crop. A case study: corn. *Cultivos Tropicales*, 36(especial), 34–50. <https://ediciones.inca.edu.cu>
28. Matos-Pech, G., Arcocha-Gómez, E., Beatriz López-Hernández, M., Garma-Quen, P., Antonio González-Valdivia, N., & De Jesús Echavarría-Góngora, E. (2022). Effect of inoculated green manures on the chemical properties of an ferric luvisol from Campeche, México. *Terra Latinoamericana*, 40, 1–9. <https://doi.org/10.28940/terra>
29. Mehdizadeh, M., Izadi-Darbandi, E., Naseri Pour Yazdi, M. T., Rastgoo, M., Malaekhe-Nikouei, B., & Nassirli, H. (2019). Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzin. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 113–121. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0280-8>
30. Méndez Juan, & Bertsch Floria. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica (ACCS, Vol. 1). <https://www.researchgate.net/publication/279172745>
31. Molina, E. (n.d.). ANÁLISIS DE SUELOS Y SU INTERPRETACIÓN. www.aminogrowinternacional.com

32. Montes, I. (2020). MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES BIOFÍSICAS DEL SUELO MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE DOS ABONOS VERDES Y MATERIA ORGÁNICA. Universidad Nacional Agraria La Molina.
33. Moreno Carbo, X., Córdova Uriola, R., & Rodríguez Delgado, I. (2022). INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE LA ZANAHORIA. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 41–50. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/560/533>
34. Moreno, T. (2022). Caracterización espectral de suelos de Colombia a través de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR). [Universidad Nacional de Colombia]. In Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83963/Tesis%20MSc%20TMM.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
35. Moro, A. (2015, November 26). Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. AQM Laboratorios. <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
36. Mulyani, O., Salim, E. H., Yuniarti, A., Machfud, Y., Sandrawati, A., & Dewi, M. P. (2017). Studi Perubahan Unsur Kalium Akibat Pemupukan dan Pengaruhnya terhadap Hasil Tanaman (Vol. 15, Issue 1).
37. Murillo Montoya, S. A., Mendoza Mora, A., & Fadul Vásquez, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *La Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustrial*, 7(1), 58–68. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
38. Osorio, N. W. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4).
39. Pérez Caicedo, P. A., & Figueroa Del Castillo, L. (2021). Evaluación de *Canavalia ensiformis* y *Vigna radiata* como abonos verdes, sobre la dinámica microbiana del suelo de la finca El Plan de Burras, en el municipio de El Espino, Boyacá, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 27–40. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5433>
40. Pérez, E. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *Revista Electrónica de Las Sedes Regionales de La Universidad de Costa Rica*, 14(29), 6–18.

41. Pérez Vázquez, A., Leyva Trinidad, D., & Gómez Merino, F. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 175–189. <http://populationpyramid.net/es/mundo/2015>
42. Preciado, L. (1998). Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas, en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare. In *Investigación Agropecuaria - CORPOICA*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/15983>
43. Quintero Duran, R. I. (1993). Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar. In *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia*.
44. Ramos Moreno, A. (2017). Identificación de suelos del orden Inceptisol. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(2). <https://doi.org/10.22335/rfct.v8i2.304>
45. Rasche Alvarez, J. W., Gomez, E. J., Fatecha Fois, D. A., & Leguizamón Rojas, C. A. (2020). Soil compaction and its effect on the vegetative growth of soybean, corn and pigeon pea. *Investigación Agraria*, 22(1), 13–21. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.13-21>
46. Rivera, R., Martín, G., & Pérez, D. (1999). Efecto de la temperatura sobre la mineralización del nitrógeno de dos especies de abonos verdes en suelo ferralítico rojo. *Cultivos Tropicales*, 20(2), 15–19.
47. Roca, N., Pazos, M., & Bech, J. (2007). DISPONIBILIDAD DE COBRE, HIERRO, MANGANESO, ZINC EN SUELOS DEL NO ARGENTINO. *Suelo Argentina*, 25(1), 31–42.
48. Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H., & García Batista, R. (2021). DEGRADACIÓN DEL SUELO EN SISTEMAS AGRÍCOLAS DE LA GRANJA SANTA INÉS, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR. *Universidad y Sociedad*, 13(52), 557–564. <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>
49. Rojas, P., Ramirez, D., Rasche, J., & Encima, A. (2018). Levels of organic matter in different types of management. *Brazilian Journal of Development*, 4(7), 3789–3800.
50. Romero Pineda, I., & García Batista, R. (2021). DIAGNÓSTICO DE LOS PREDIOS AGROPECUARIOS QUE CONFORMAN LA GRANJA SANTA INÉS DE LA UTMACH. *Agroecosistemas*, 9(3), 191–200.
51. SIGTIERRAS. (2017). MAPA DE ÓRDENES DE SUELOS DEL ECUADOR.

52. Soto, S., & Desamparados, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo.
53. USDA. (2014). Keys to Soil Taxonomy. In USDA & NRCS (Eds.), United States Department of Agriculture (Twelfth Edition, Vol. 12). https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ias/grassland-sciences-dam/documents/Education/Graslandssysteme/2014_USDA_Keys_to_Soil_Taxonomy.pdf
54. USGS. (2024). EarthExplorer. Servicio Geológico de Los Estados Unidos. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
55. Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. Cumbres Revista Científica, 1(2), 28–34. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/5121/1/ART%200080%20Caracterizaci%C3%B3n%20f%C3%ADsica%20y%20clasificaci%C3%B3n%20taxon%C3%B3mica%20de%20algunos%20suelos.pdf>
56. Yuniarti, A., Solihin, E., & Arief Putri, A. T. (2020). Aplikasi pupuk organik dan N, P, K terhadap pH tanah, P-tersedia, serapan P, dan hasil padi hitam (*Oryza sativa* L.) pada inceptisol. Kultivasi, 19(1), 1040. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i1.24563>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).