

Caracterización agroquímica del suelo de la parcela experimental destinada a la producción de semilla original

Agrochemical characterization of the soil of experimental plot intended for the production of original seed.

^⑩Licette León-Barreras^{1*}, ^⑩Leyenis García-Santos¹, ^⑩Jesús Mena-Campos¹,
^⑩Liván Álvarez-Martínez¹, ^⑩Matilde Sotomayor-Pérez¹, ^⑩Claudia Viel-Portuondo¹,
^⑩Leonardo González-Herrera¹, ^⑩Abel Hernández-Velázquez¹ y ^⑩Mario Pablo Estrada-García¹

¹Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), Playa, La Habana, Cuba.

E-mail: leyenis.garcia@cigb.edu.cu, jesus.mena@cigb.edu.cu, livan.alvarez@cigb.edu.cu, matilde.sotomayor@cigb.edu.cu, claudia.viel@cigb.edu.cu, leonardo.gonzalez@cigb.edu.cu, abel.hernandez@cigb.edu.cu, mario.pablo@cigb.edu.cu

*Autor para correspondencia: Licette León-Barreras, e-mail: licette.leon@cigb.edu.cu; leonlicette@gmail.com

RESUMEN: El análisis de suelos es una herramienta fundamental para evaluar la fertilidad del suelo y poder predecir su capacidad productiva. En el presente trabajo se realizó el análisis agroquímico y diagnóstico de las condiciones de explotación del suelo de la parcela experimental del CIGB con el objetivo de conocer, corregir y prevenir los factores limitantes del rendimiento productivo y potenciar la efectividad de las estrategias tecnológicas, para la producción de semilla original de los cultivos de variedades de soya transgénica y las líneas de maíz para extensión en áreas de hibridación e introducción en la producción nacional. El muestreo se efectuó de forma aleatoria. Determinándose los indicadores químicos de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico, capacidad de adsorción de fosfatos, disponibilidad de los microelementos. Como resultado fueron identificados el pH elevado y bajo contenido de materia orgánica como los parámetros agroquímicos con mayor impacto negativo, en la calidad del suelo de la parcela experimental estudiada. Los resultados obtenidos permitieron proponer una estrategia de enmienda para el suelo de la parcela experimental que permite re establecer el balance del contenido de nutrientes y mitigar su deterioro; creando las condiciones para la producción de semilla original con altos rendimientos y calidad.

Palabras clave: agroquímico, enmiendas de suelo, calidad de semillas.

ABSTRACT: Soil analysis is a fundamental tool to evaluate soil fertility and predict its productive capacity. In the present work, the agrochemical analysis and diagnosis of the soil exploitation conditions of the CIGB experimental plot were carried out with the objective of predicting, correcting and preventing the limiting factors of productive performance and enhancing the effectiveness of technological strategies, to the production of original seed of soybean and corn crops. Sampling was carried out randomly. Determining the chemical indicators of pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), cation exchange capacity, phosphate adsorption capacity, availability of microelements. As a result, high pH and low organic matter content were identified as the agrochemical parameters with the greatest negative impact on the soil quality of the experimental plot studied. The results obtained allowed us to propose an amendment strategy for the management of the experimental plot, create the conditions for the production of original seed with high yields and quality, reestablish the balance of nutrient content and mitigate the deterioration of the soil in the area.

Keywords: Agrochemical, Soil Amendments, Seed Quality.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo cultural y la evolución de la especie humana han contribuido a la modificación de ecosistemas naturales en agroecosistemas; generándose conflictos con la conservación de los recursos naturales que provocan desequilibrios ecológicos, debido al establecimiento de

prácticas de manejo agrícola no sostenibles, como el uso excesivo de productos agroquímicos (Buelvas, 2021; Quijano et al., 2021); empleo de maquinaria agrícola, quema de residuos agrícolas, monocultivo, sellado del suelo por urbanizaciones e infraestructura, así como, el uso continuado e intensivo del suelo con fines alimenticios y comerciales.

Recibido: 20/12/2024

Aceptado: 22/05/2025

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización: Licette León-Barreras Curación de datos: Jesús Mena-Campos Análisis formal: Abel Hernández-Velázquez; Mario Pablo Estrada-García **Investigación:** Liván Álvarez-Martínez; Claudia Viel-Portuondo; Leonardo González-Herrera, Leyenis García-Santos. **Metodología:** Licette León-Barreras, **Supervisión:** Licette León-Barreras, Leyenis García-Santos

Validación: Liván Álvarez-Martínez; Matilde Sotomayor-Pérez. **Visualización:** Redacción-borrador original: Licette León-Barreras, Jesús Mena-Campos. **Redacción-revisión y edición:** Licette León-Barreras, Jesús Mena-Campos.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Numerosos procesos físicos, químicos y biológicos actúan simultáneamente para mejorar o emponer la condición del suelo y las funciones que desempeña en beneficio de las plantas; por lo que se debe considerar como un ente vivo y sensible a la intervención del hombre, con la producción de alimentos como principal generador de las modificaciones de sus propiedades (Buelvas, 2021).

Para evaluar la calidad del suelo se debe tener en cuenta la capacidad de este recurso para suministrar nutrientes a las plantas, el crecimiento y desarrollo de las raíces, la actividad biológica, así como sus potencialidades para proporcionar estabilidad estructural suficiente, para resistir la erosión y retener el agua. Esta perspectiva es esencial para seleccionar un conjunto mínimo de indicadores que tienen características tales como facilidad de la evaluación, aplicabilidad en diferentes escalas y capacidad de integración. (Cuevas & Antonio, 2019). El análisis agroquímico, examina los niveles nutricionales en el suelo, es una herramienta diagnóstica y guía que debe considerar junto con la información disponible sobre caracterización del suelo, el potencial de productividad, cultivo e historial de manejo (Hernandez & Castellanos, 2022).

El Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), cuenta con un área experimental dedicada al desarrollo de investigaciones agrícolas y la producción de semilla original de variedades de soya transgénica y las líneas de maíz para extensión en áreas de hibridación e introducción en la producción nacional.

El modelo de producción agrícola empleado en la parcela se ha respaldado en la labranza convencional y el uso de agroquímicos; atendiendo a los requerimientos del cultivo sin considerar estudios de suelo, (Carrillo-Martínez et al., 2022). Estas circunstancias llevaron a realizar el análisis agroquímico del suelo, con el objetivo de estimar las cantidades de nutrientes disponibles en el suelo de la parcela experimental. Esto permitirá predecir, corregir y prevenir los factores limitantes del rendimiento productivo y potenciar, la efectividad de las estrategias tecnológicas, empleadas en la producción de semilla original.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la parcela experimental del CIGB. El área estudiada cuenta con una superficie total de 0,8 ha, de ellas 0,4 ha cultivables y divididas en dos secciones (P1 y P2) separadas por una calle o guardarraya. Se identificaron diez puntos de muestreo por cada parcela, en correspondencia con el área potencial de interés según la tabla de número mínimo de puntos de muestreo, descrita en estándares de calidad ambiental de la Guía para el muestreo de suelo (Maurya et al., 2020; Gelvez, 2020; Torrejón & Safra, 2014).

Preparación del muestreo

La preparación del plan de muestreo se basó en la distribución el área cultivable, apoyándose en el croquis actual de la parcela experimental. La superficie a muestrear

fue dividida en dos secciones, la primera (P1), conformada por las subparcelas 1, 2 y 3 y una segunda sección (P2) conformada por las subparcelas 4 y 5.

Técnica de muestreo

Se efectuó un muestreo aleatorio, con la aplicación del método detallado de zigzag (Leal et al., 2023 y Rivera, 2023).

Procedimiento para la colecta de la muestra de trabajo y preparación de muestra para análisis

1. Se eliminó la cobertura vegetal del punto de muestreo.
2. Fue excavado el terreno de 25 a 30 cm de profundad. La excavación se realizó en forma de V a fin de extraer una lámina de suelo, eliminándose el material del borde de la pala para evitar posibles contaminantes.
3. Se tomaron aproximadamente 50 g de cada punto de muestreo.
4. Las muestras de cada punto fueron vertidas en una bandeja plástica donde se homogenizaron, se eliminaron los terrones y la materia inerte. La operación fue repetida en cada uno de los puntos de toma de muestra previstos.

Preparación e identificación de la muestra para análisis

1. Las muestras recolectadas de cada subparcela, fueron reunidas en la bandeja plástica y se mezcló bien el suelo.
2. Se dividió en cuatro porciones similares (cuarteo), para lo que fueron trazadas dos líneas imaginarias (una horizontal y una vertical) para separar la mezcla de suelo de cuatro cuadrantes opuestos diametralmente, colectándose dos de los cuadrantes opuestos en cada cuarteo y fueron colocados dentro de una bolsa para muestra.
3. El resultado obtenido fue de dos muestras compuestas para análisis, representativas del área cultivable de la parcela.
4. Las bolsas plásticas con las muestras de suelo fueron cerradas herméticamente, se identificaron con el código P1 y P2 para cada sección.
5. Las bolsas rotuladas con las muestras se colocaron dentro de una bolsa de plástica grande como envase secundario, cerrándose en el extremo superior y se depositaron en la bandeja para su transporte hasta el laboratorio de análisis.

Análisis de la muestra de suelo

Las muestras de suelos fueron analizadas en el laboratorio del Instituto de Investigaciones del Tabaco de San Antonio de Los Baños, aplicándose las normas ISO y normas cubanas correspondientes a cada determinación; así como el manual (Soil, 1996).

Tabla 1. Resultados del estudio agroquímico de las muestras de suelos de la parcela experimental

	Resultados del análisis	Valores de referencia
pH en agua	P1 = 8,42 P2 = 8,50	6,5 - 7,5
pH en KCl	P1= 7,73 P2 = 7,83	pH en agua entre ≤ 0,5 - 1,5
Conductividad eléctrica (CE)	P1 = 0,16 dS/m P2= 0,13 dS/m	0,0 - 4,0 dS/m
Materia Orgánica (MO)	1.82 %	1,5 - 2,5 %
Potasio	33.78 mg/100g	15,0 - 30,0 mg/100g
Fósforo	82.38 mg/100g	3,5 - 7,0 mg/100g
Sodio (Na)	0.16 Cmol/100g	0,40 - 1,3 Cmol/kg
Calcio (Ca)	P1=11.26 Cmol/kg P2= 12,54 Cmol/kg	9,0 - 10,5 Cmol/kg
Magnesio (Mn)	0.83 Cmol/kg	1,5 - 2,5 Cmol/kg
Zinc(Zn)	6.41 mg/kg	4,4 - 7,0 mg/kg
Cobre (Cu)	0.82 mg/kg	4,8 - 6,2 mg/kg
Hierro (Fe)	0.62 mg/kg	248 - 289 mg/kg
Mn	0.86 mg/kg	6,7- 8,3 mg/kg
Nitrógeno total	0.097	0- 0,010 %
Nitrógeno asimilable	0.025	0,022-0,048 %

Fuente: valores referenciales <http://hdl.handle.net/123456789/142> Serie técnica 10. Universidad de Agricola (1988).

Métodos analíticos aplicados

1. pH en agua, por potenciometría, relación suelo: agua 2:1
2. Acidez del suelo, con solución no amortiguada de potasio (KCl).
3. Materia orgánica según **Walkley & Black (1934)**.
4. Carbono, por división del porcentaje de materia orgánica entre 1,724
5. Fósforo asimilable por método de Oniani. Según el manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (**Panque et al., 2021**).
6. Cationes cambiables por acetato de amonio y acetato de sodio.
7. Potasio asimilable, por cálculo del potasio intercambiable.
8. Humedad por método gravimétrico, en estufa a 105°C, hasta peso constante.
9. Las reservas de carbono (en mg/ha-1), se realizó por cálculo según la fórmula: RC: %C x Dv (kg/dm³) x Profundidad capa, cm (**Sánchez, 1995**).

Todos los reactivos empleados contaron con la calidad para el análisis y los equipos utilizados estuvieron integrados al sistema de control de la calidad y avalados por metrología actos para el uso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis agroquímico del suelo, de la parcela experimental, se presentan a continuación.

pH del suelo en agua

El valor del pH del suelo en agua resultó de 8,42 y 8,50 en las muestras P1 y P2 respectivamente, valores de pH que

se ubicaron en el rango descrito para suelos alcalinos o calcáreos entre pH 7,3 - 8,4; comunes en regiones áridas y semiáridas, según la clasificación en correspondencia a la reacción (**Guerrero et al., 2021; Serafin et al., 2023**). Un pH óptimo para los procesos de nutrición de las plantas suele estar entre 6,5 y 7,0.

En este punto el cultivo estará en mejores condiciones para dar una mayor rendimiento y productividad según afirman **Rivera et al. (2018)**, donde los procesos de nutrición de las plantas, alcanzan un metabolismo activo que favorece la producción de exudados radiculares como fuente de carbono para la sobrevivencia y multiplicación de los microorganismos asociados a la rizosfera, así como a la resolución de muchos procesos químicos que en él se producen.

El pH, ya sea por acidez o alcalinidad, afecta las características químicas y biológicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la toxicidad de metales, que a su vez afectan las comunidades microbianas.

Recientes estudios demuestran que la regulación de Eh-pH (mantenimiento de estados redox extracelulares e intracelulares) es importante tanto para las interacciones planta-patógeno (bacterias, hongos, oomicetos y virus) como para las interacciones planta-invertebrado plaga, (especialmente insectos), pues mantiene el desarrollo de barreras físicas (cerina, suberina, cutina) y la regulación de los estomas, la producción de especies reactivas al oxígeno y el control de la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR) y la Resistencia Sistémica Inducida (ISR) en una interacción compleja con hormonas vegetales.

La afectación directa de la disponibilidad de nutrientes del suelo para las plantas en condiciones de pH alcalino (pH >8,0), en suelos calizos, como el caso de la parcela experimental, el complejo de cambio se encuentra saturado y el exceso de calcio en el medio impide que otros elementos puedan ser absorbidos por las plantas, lo que se traduce en una disminución del desarrollo de las plantas por deficiencias.

El estrés por alcalinidad puede causar inhibición de la respiración y crecimiento radicular debido a la presencia de altas concentraciones de bicarbonato de sodio en la solución de suelo; inhibición que resultará en el incremento de ácidos orgánicos en las células radiculares que detienen la elongación o el incremento de la producción de hormonas como el ácido abscísico (ABA), fitohormona que regula diversos procesos vasculares en plantas, como: la maduración del embrión, dormancia en semillas, crecimiento vegetativo y senescencia, además de involucrarse en las respuestas de las plantas al estrés abiótico (Signorelli et al., 2021; Vargas et al 2022).

Por otra parte, el estrés por alcalinidad, influye en la actividad de organismos benéficos, dígase, bacterias, hongos y lombrices, organismos que juegan un papel importante en el ciclo de los nutrientes, la descomposición de materia orgánica y afecta la actividad de los microbios responsables de la fijación de nitrógeno en plantas oleaginosas (Sunil et al., 2021). Un menor desarrollo y actividad metabólica de las plantas afecta directamente la actividad de los microorganismos del suelo (Mundra et al., 2021).

pH del suelo en KCl

El valor promedio de pH medido del suelo en el extracto acuoso fue de 8,46; lo que lo ubicó como fuertemente alcalino. El pH en KCl analizado para cada muestra resultó P1= 7,73 y P2= 7,83, en ambos casos clasificado como neutro, (con valores dentro del rango de 6,6 - 7,0) (Mamani et al., 2019).

Comportándose dentro de los parámetros, ya que el pH medido en KCl generalmente oscila de 0,5 a 1,5 unidades más bajas que el pH medido en agua, debido a la mayor concentración de iones de hidrógeno en la solución extraída (Buurman et al., 1996).

En suelos calcáreos el pH en KCl aporta información sobre el complejo de cambio. Siempre que presente un pH en agua igual o superior a 7, el complejo de cambio está saturado, es decir, prácticamente no contienen iones de hidrógeno (H^+) ni aluminio soluble (Al^{3+}); el ion claramente predominante es el calcio (Ca^{2+}), ya que los suelos de origen calizo se componen mayoritariamente de carbonato de calcio ($CaCO_3$) (Buurman et al., 1996).

Las diferencias detectadas en la valoración del pH de las muestras del suelo de la parcela en KCl resultaron para P1 = 0,69 y P2 = 0,67 clasificándose en suelo saturado sin peligro eminente de acidificación según el manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio (Villaroel, (1988)). En correspondencia al criterio de 0,6 a 0,8 unidades o menos con respecto al pH en agua.

Conductividad Eléctrica (CE)

Los valores resultantes de la CE en las dos muestras analizadas de la parcela experimental fueron de 0,13 y 0,16, considerados suelos bajos en sales, sin restricciones para ningún cultivo, según clasificación descrita por Cortés (2018) y Colli et al. (2020).

La relación entre la conductividad eléctrica y el contenido de sales en el suelo es de gran relevancia en la agricultura, considerándose esencial para el desarrollo de las plantas, a diferencia de los resultados obtenidos, los suelos con altas concentraciones de sales los iones dentro del tejido de la planta pueden provocar toxicidad, reducir el potencial osmótico de la solución del suelo, al mismo tiempo, reduce la disponibilidad de agua para las plantas, mediante el efecto desecante en el suelo, afectándose tanto al crecimiento de las plantas como a la actividad de los microrganismos de este (Colli et al., 2020).

Otros efectos negativos importantes muestran retraso en la germinación y emergencia de las plantas, sobre la actividad fotosintética, desarrollo radical, aumento de la respiración lo que aumenta el consumo de energía, originándose reducción en su desarrollo y brotación de frutos, lo que provoca que el potencial productivo disminuya (Bárbaro et al., 2018)

Por el contrario, si la CE se encuentra en su valor óptimo, la planta tendrá a su disposición los nutrientes y podrá expresar su máximo rendimiento.

Otros factores influyen sobre la concentración de sales en el suelo como el material de origen o los factores formadores de suelo, la topografía también condiciona este parámetro, el manejo inadecuado del riego puede ocasionar acumulaciones no deseadas de sales y generar salinización, por diferentes procesos, según el sistema que se utilice, la calidad de agua con la que se cuente. El excesivo uso de fertilizantes o algunos abonos con elevada conductividad eléctrica, también pueden incrementar la salinidad en el suelo (Cremona & Enríquez, 2020).

Materia Orgánica (MO)

Los resultados del análisis agroquímico mostraron bajo contenido de materia orgánica en los suelos de la parcela P1 = 2,02 % y P2 = 2,05 %; según criterio de López et al. (1981); quienes afirman que los suelos con valores de MO medianamente ricos se sitúan por encima de 3,10 - 5,00 %. Sin embargo, para Gross & Domínguez (1992) el nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%.

Entre las causas identificadas sobre el bajo contenido de MO se encuentran las prácticas agrícolas como la aplicación de fertilizantes inorgánicos y la labranza convencional desarrollados en la parcela experimental, en concordancia con los criterios de Rivera (2023); Nerhot et al., (2018), quien consideran que el sistema convencional de manejo de suelos no es recomendable, ya que la mecanización continua puede provocar formación de costras y de piso de arado, que conlleva a la compactación, infiltración hídrica y quiebre de la estructura del suelo, cambios que pueden activar procesos de erosión intensos que conducen a la degradación del suelo y finalmente, a largo plazo, la disminución de la producción (Milicia et al., 2023; Sarandón, 2020).

Dígase que la labranza convencional mal manejada, puede servir de eje transformador del funcionamiento del agroecosistema, al influir en la formación y estabilidad de los agregados del suelo y sobre la dinámica y mantenimiento del contenido de materia orgánica (FAO, 2015).

Cuando disminuye el nivel de materia orgánica se produce un déficit del carbono que se puede secuestrar por las plantas. El carbono secuestrado se descompone y es liberado a la atmósfera en forma de CO₂. La práctica del laboreo es un aspecto crítico porque supone una entrada de aire del exterior, provocándose un mayor consumo de materia orgánica por parte de los microrganismos del suelo, lo que puede ocasionar que el CO₂ se pierda en la atmósfera (Tomalá, 2023).

La materia orgánica se asocia con la liberación de nitrógeno, fósforo y azufre, así como con la disponibilidad de micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) por su acción quelatante. También aporta ácidos húmicos y fulvicos que participan en la fisico-química del suelo y en la fisiología de la planta (González *et al.*, 2021).

Nitrógeno

En las muestras de suelo de la parcela el contenido de nitrógeno total detectado fue de (0,097) y el nitrógeno asimilable (0,025), ambos considerados como bajos en correspondencia a los valores de referencia para el diagnóstico de análisis de suelo (Villarroel, 1988; FAO, 2012). Artículos publicados por Reyes *et al.* (2023) argumentan que los bajos niveles de nitrógeno asimilable, comprendidos de 0,022-0,048 %; van en detrimento del desarrollo de las plantas ya que este elemento se considera un factor de crecimiento por su importancia en la formación de los aminoácidos, proteínas y enzimas.

Por su parte, el nitrógeno total requerido en el suelo para cada cultivo varía según el cultivo, pero en general los niveles no deben ser inferiores de 0,010 %.

Como causas probables sobre el déficit de nitrógeno se identificaron los niveles altos de potasio detectados en el suelo, en formas no intercambiables, las cuales están fuertemente fijadas a los componentes del suelo y no disponible para la planta.

El pH alcalino, donde la disponibilidad de nitrógeno en el suelo depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos es favorecida en pH más cercanos a 7 y la población de bacterias encargadas de la nitrificación y fijación de nitrógeno es alta (Wade *et al.*, 2020).

El bajo contenido en materia orgánica, demuestra la relación directa que existe entre los compuestos orgánicos del suelo y la forma total de nitrógeno. Se estima como reserva importante de nutrientes en el suelo para las plantas donde existe un 5 % de nitrógeno total, como fuente natural disponible.

Las actividades del hombre como el uso de fertilizantes nitrogenados artificiales sin realizar estudios previos a

la fertilización y el surcado a favor de la pendiente que propicia la lixiviación del terreno cultivable (Arenas *et al.*, 2021).

Otros factores relacionados como el clima, la vegetación, las condiciones locales de la topografía, la época del año y el material parental del suelo pueden influir sobre las concentraciones de nitrógeno, así como el estado fenológico del cultivo en el momento de la toma de muestras (Larios *et al.*, 2021).

Fósforo (P) y potasio (K) asimilables

Los tenores medio asimilables de fósforo y potasio resultantes se consideraron muy altos en las parcelas muestreadas P (P1 92,23 y P2 58,49), K (P1 30,33 y P2 37,47). El exceso o límite superior en ambos casos no implican toxicidad, pero, pueden ocasionar bloqueos de otros elementos como el magnesio o el calcio (Daga *et al.*, 2022). Tres actores se responsabilizan de la alta incidencia de los tenores de fósforo y potasio. En primer lugar, la concentración y la frecuencia de aplicación de fertilizantes, debido a que las plantas no utilizan todo el P que se aplica, sino, entre un 40-60 % (De León *et al.*, 1999); además, en el suelo ferralítico rojo permanece una fracción de P residual que puede acumularse por las aplicaciones continuas de fertilizante según Alvarado (2012) y con el aumento del pH del suelo se incrementa el peligro de la fijación de fósforo (Louman *et al.*, 2001).

Se ha demostrado que la adecuada nutrición con fósforo mejora la fisiología de las plantas en relación con los procesos de fotosíntesis, fijación de nitrógeno, floración y fructificación; el crecimiento de raíces laterales y puede acelerar la floración del maíz Durón, (2022); Cuadros *et al.* (2011), considerándose uno de los macronutrientes más importantes en la producción agrícola, sin embargo, el exceso de fósforo interviene, con la absorción de otros elementos, tales como el hierro, el manganeso y el zinc. Entorpece la asociación simbiótica entre los hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plantas dificultándose la solubilización y, por tanto, se reducen sus concentraciones asimilables (Carrillo *et al.*, 2022; Ceballos, 2024).

Por su parte, los valores de potasio asimilables en suelo resultaron superiores a los reportados, que oscilan entre 1,5 y 2,5 mg/ 100 g.

El potasio tiene un rol fundamental en la apertura y cierre estomático, regula la absorción de CO₂ y por ende actúa a nivel de fotosíntesis, está involucrado en el transporte de azúcares y almidones, mantiene la presión de turgencia de las células (lo que significa que evita que la planta se marchite prematuramente), ayuda a la absorción de nitrógeno y la síntesis de proteínas (Wade *et al.*, 2020).

No obstante, los valores resultantes de K se consideran, valores razonables, para cultivos en hilera como maíz y soja principales cultivos de la parcela, pero pueden no ser adecuados para cultivos que tienen una alta demanda de potasio.

Equilibrio entre el calcio y el magnesio

Según los resultados del análisis agroquímico, la concentración de calcio (Ca) en el suelo de la parcela se clasificó como alto P1 11,933 y P2 12,542 Cmol/kg en correspondencia con los valores de referencia fijados por Villaroel (2000) de 9,0-15,0 Cmol/kg.

El Ca es un parámetro no-lixivable que mejora la penetración del agua y reduce la salinidad del suelo, es usado por las plantas para desarrollar la pared celular y las membranas, según las relaciones catiónicas y su interpretación será su valoración (Giraldo et al., 2021).

Los suelos con concentraciones altas de calcio suelen ser pobres en contenido de materia orgánica y nitrógeno, indispensable para el crecimiento y nutrición de las plantas según Resendez (2007) y Díaz (2021), características encontradas en los valores obtenido en el suelo de la parcela experimental.

Los contenidos de Mg²⁺ (P1 0,280; P2 0,235), netamente inferiores, denotan el comportamiento relacionado con el lavado que sufrió la parcela con el surcado a favor de la pendiente, por su movilidad, además del uso continuo de los suelos unido a la aplicación de enmiendas químicas y orgánica y al propio dinamismo de estos elementos para los suelos ferralíticos caracterizados desde su formación por un lavado intenso de las bases en correspondencia con lo planteado por Ojeda et al. (2020) y Carnero et al., (2022).

Cuando la relación calcio-magnesio es mayor de 10 provoca deficiencia de magnesio. En el suelo estudiado la relación Ca/Mg fue de 40,21:1 y 53,3:1 identificándose como causa probable la adición de fertilizantes químicos basados en NPK responsable del desbalance en los iones intercambiables como Ca²⁺ y Mg²⁺ (Wictechem et al., 2020).

El calcio intercambiable alto interfiere sobre la absorción del magnesio y del potasio, a su vez pueden producirse deficiencias de magnesio a causa del efecto antagónico de potasio cuando la relación sobrepasa 0,5 como en el estudio realizado.

Los micronutrientes esenciales para el crecimiento vegetal cobre, hierro, manganeso y zinc

Los valores de zinc 6.41 mg/kg se comportaron dentro de un rango favorable en correspondencia de los reportados 4,4 - 7,0 mg/kg.

La presencia de cobre (Cu) en la parcela experimental resultó ser de 0,82 mg/kg de suelo, por debajo de los requerimientos reportados en 4,4 mg/kg.

Por su parte, los niveles de hierro (Fe) en el suelo se mostraron muy bajos con un valor de 0,62 mg/kg respecto a los valores de referencia de 248-289 mg/kg de suelo.

El manganeso (Mn) fue otro micronutriente detectado deficiente 0.86 mg/kg mientras los valores reportados ascienden a 6,7- 8,3 mg/kg.

La baja disponibilidad de los micronutrientes en el suelo de la parcela experimental es preocupante, se conoce, que los suelos agrícolas suelen ser deficitarios en uno o más micronutrientes, de forma que su concentración en el tejido

vegetal cae por debajo de los niveles que permiten un crecimiento y desarrollo óptimo (Repuello, 2021).

Los micronutrientes en el suelo están presentes como cationes, son poco móviles y por lo general su concentración es bajo, debido a las reacciones químicas que ocurren dentro de este, controlada por el equilibrio entre la solución del suelo, la materia orgánica, los sitios de intercambio catiónico y los compuestos insolubles de micronutrientes (De la Cruz & Valencia, 2019).

Los procesos de absorción, asimilación y transporte en sus formas iónicas por las plantas compiten por los transportadores. La competencia entre los nutrientes está influenciada por las propiedades del transportador y la concentración de los iones del nutriente en la solución del suelo; por tanto, las interacciones entre los iones de los nutrientes pueden ser sinérgicas o antagónicas, a su vez, esta situación está influenciada por los valores de pH superiores a 7.5 donde se ha reportado comienzan a disminuir la disponibilidad de los micronutrientes (Álvarez et al., 2003).

Al unísono los microorganismos de la rizosfera participan en el reciclaje geoquímico de los nutrientes y determinan su disponibilidad para las plantas y la comunidad microbial del suelo, afectada por las reacciones redox, llevadas a cabo por bacterias de la rizosfera; igualmente, agentes quelatantes pueden controlar la disponibilidad de micronutrientes y participar en mecanismos de biocontrol de patógenos de plantas, como la alta disponibilidad de fósforo detectada en el suelo, que inhibe de la actividad de las micorrizas, atenta contra los contenidos de Cu, Fe y la absorción de zinc en el suelo de la parcela experimental.

CONCLUSIONES

- El pH elevado, la baja concentración de materia orgánica y altas concentraciones de fósforo y potasio no disponibles para las plantas, se identificaron como los parámetros agroquímicos con mayor impacto negativo en la calidad del suelo de la parcela experimental.
- Las deficiencias de nitrógeno, desbalance en el equilibrio calcio-magnesio y baja disponibilidad de micronutrientes esenciales dificultan la adecuada nutrición de los cultivos, desarrollo y crecimiento de las de las plantas.

RECOMENDACIONES

- En consideración a los resultados del análisis agroquímico del suelo de la parcela experimental se recomienda realicen acciones de corrección del suelo en aras de mitigar el desbalance.
- Aplicar la gallinaza como mejorador de suelo, incrementar el porcentaje de materia orgánica y bajar el pH.
- Usar portadores simples que complementen relación entre los nutrientes del suelo, en lugar, de fertilizar con formula completa para evitar bioacumulación de macronutrientes.

- Se sugiere el empleo de fosfato monoamónico (MAP) fuente de fósforo y nitrógeno, ya que el MAP se fabrica con ácido fosfórico ideal en zonas donde predominen los suelos alcalinos, de origen calcáreo como el suelo de la parcela experimental. Debe aplicarse como un único producto en pre-siembra y fertilización.
- Hacer ensayos con aplicación de biofertilizantes micorrízicos, ya que la red de hifas de estos hongos, tienen la propiedad de solubilizar el fósforo del suelo.
- Se sugiere la aplicación adicional de Mg foliar.
- Utilizar cultivos de cobertura intercosecha, recomendándose leguminosas antes de la siembra de maíz y una gramínea antes de la siembra de soja.
- Realizar el estudio de suelos con frecuencia de dos años y al menos dos meses antes de la siembra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, C. de los Á. C. (2012). Cambios en las fracciones de fósforo residual del suelo debido a la adición de fertilizantes fosforados de distinta solubilidad. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. 58p. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Chile.
- Álvarez J., Novillo, J., & Rico-Selas, M. (2020). Los micronutrientes: Un factor importante en muchos cultivos, Revista *Agricultura*, Universidad Politécnica de Madrid, 612-618
- Arenas, J., Estrada, E., Solorio, O., Volke, V., González, R., & Capio, A. (2021). Producción de girasol en función del tipo de suelo, nitrógeno y densidad de población. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071008>
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M., & Mata, D. A. (2018). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas, Ediciones INTA, Instituto de Floricultura, INTA, 10, DOI: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v40.n2.40487>
- Buelvas, J. P. (2021). Análisis de la gestión ambiental empresarial sector alimentos en Colombia, Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Ambiental, 1- 69
- Carnero, G., Hernández A., Bernal A., & Terry, E. (2022). Características de los suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados de la llanura meridional alta de Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*, 43(3), 1-9.
- Carrillo, C. J., Álvarez, G., & Aguilar, G. (2022) a. Análisis de la calidad del suelo bajo producción intensiva de chile (*Capsicum annuum* L.) en la región irrigada por el acuífero, Calera, Zacatecas, México. *Terra Latinoamericana*, 40. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.942>
- Carrillo, M., J.; Puente, S.; Montes, R.; & Cruz, R. (2022) b. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana*, 129: e1932.e-ISSN: 2448-7589. DOI: <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Ceballos, J. G. (2024). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico, vermicomposta y micorrizas en cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis para obtener el grado de maestro en agricultura protegida, Culiacán, Sinaloa, México, 1-60.
- Colli, P. M.; Sandoval, M.; Rodríguez, N., & Guerra, D. (2020). La conductividad eléctrica de la solución nutritiva modifica rendimiento y calidad de frutos de *Physalis peruviana*, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(4): 953-960. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2108>
- Cortés, O. (2018). Estudio de la calidad del agua utilizada para el riego en las plantaciones de frutales en la EAI “Victoria de Girón”. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Matanzas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Matanzas, Cuba, 40.
- Cremona, M. V., & Enríquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Chromeextension*, ac. uk/download/pdf/33, Vol. 5290789.
- Cuadros, G., Gómez, R., & Rodríguez, N. (2011). Hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.): Efecto de la formononetina y la disponibilidad de fósforo en el suelo. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Cundinamarca, Colombia, 12(1): 77-85, ISSN: 0122-8706.
- Cuevas, G., & Antonio, M. (2019). Diagnóstico de la agrobiodiversidad, eficiencia energética y capacidad productiva de los suelos en la finca campesina “La Angelita”. Tesis en título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Matanzas, Cuba, 75.
- Daga, D., Sequeira, N. D., & Vázquez, P. (2022). Análisis de la distribución espaciotemporal de la conservación de nutrientes en suelos agrícolas de un sector de la Región Pampeana Argentina. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 61(2), 160-182. DOI: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i2.24329>
- De la Cruz, J. C.; Valencia, J. (2019). Determinación del ritmo de absorción de macro y micro nutrientes en el cultivo de tara (*caesalpinia spinosa*) en la zona alta del valle de ICA, Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional San Luis de Gonzaga, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3143>
- Díaz, D. (2021). Efecto del Calcio en el cultivo de Sandía (*Citrullus lanatus*) y su impacto en el rendimiento, Examen complejivo-Ingeniería Agronómica, Universidad técnica de Babahoyo, Ecuador, 27. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10305>.

- Durón, C.; Dulis, J.; Amador, U.; & Víctor, E. (2022). Efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción de maíz tuxpeño y frijol Amadeus-77 en Zamorano, Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, Ingeniería Agronómica, Honduras, 2-40.
- FAO (2012). Erradicación del hambre y transición a sistemas agrícolas y alimentarios sostenibles: Hacia el futuro que queremos, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, FAO. 32. <http://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>.
- FAO (2015). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, 4. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es>.
- Gelvez, I.; Moreno, J M.; & Santos, A. (2020). Guía de muestreo de suelo para análisis microbiológico, Colección Transformación del Agro, ed. AGROSAVIA Corporación colombiana de investigación agropecuaria, 1- 63. DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404098>
- Giraldo, D; Rubén, D; Montoya, S; & Jiménez, V. (2021). Caracterización del suelo para determinar el uso potencial agrario, caso de estudio en la escuela de desarrollo rural sostenible San German, Universidad católica de Oriente, Colombia, <https://repositorio.uco.edu.co/jspui/handle/20.500.13064/1805> .
- González, D.; Cola, A.; Rodríguez, O.; Álvarez, D. L.; Gattorno, S.; & Chacón, A. (2021). "Variabilidad espacial de la materia orgánica de suelos cultivados con *Ipomoea batatas* (L.) Lam", *Centro Agrícola*, 48(2): 5-13. ISSN: 0253-5785.
- Gross, A., & Domínguez, A. (1992). Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. Edición. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 450p.
- Guerrero, E. M., Criollo, H., Chávez, G., & Vélez, J. A. (2021). Evaluation of physical and chemical variables of organic substrates in a hydroponic system for strawberry (*Fragaria ananassa* Duch). Revista de Ciencias Agrícolas, 38(2), 50-62. DOI: <https://doi.org/10.22267/rca.213802.158> .
- Hernández, B., & Castellanos, L. (2022). Caracterización agroquímica del suelo de 15 fincas con proyección hacia la transformación agroecológica, en el municipio Santa María, Boyacá. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 13(1), 15-32. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3683> .
- Jones, A; Breuning, H; Brossard, M; Dampha, A; Deckers, J; Dewitter, O.; & Zougmore, R. B. (2013): *Soil atlas of Africa*, European Commission, CCAFS Books and Book Chapters [203]. DOI: <https://doi.org/10.2788/52319> .
- Larios, C., García, L., Ríos, M. J., Avalos, C. del S., & Castro, J. R. (2023). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. Siembra, 8(2), e2475, ISSN: 2477-8850. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2475> .
- Leal, I., García, E., Vázquez, O. G., & Hernández-Acosta, E. (2023). Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura. *Agronomía Mesoamericana*, 50028-50028.
- López, G.; Fuentes, E.; & Vázquez, H. (1981). Resumen sobre los elementos fundamentales que deben ser redactados en cada epígrafe del informe de suelos por municipio a escala 1/25000, Departamento de Suelo y Agroquímica, Ministerio de la Agricultura, Dirección general de suelos y fertilizantes, Villa Clara, Cuba.
- Louman, B., Valerio, J., & Jiménez, W. (2001). Bases ecológicas. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico, CATIE, Costa Rica, 135, 19-78. ISBN: 9977-57-359X.
- Mamani, R; Guzman, L; Chungara, J.; & Ramos, O. (2019). Evaluación químico métrica del material de referencia interno (MRI) de suelos agrícolas en dos municipios provinciales de la paz, *Revista Boliviana de Química*, Universidad Mayor de San Andrés, 36(4). DOI: <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.4> .
- Maurya, S., Abraham, J. S., Somasundaram, S., Toteja, R., Gupta, R., & Makija, S. (2020). Indicators for assessment of soil quality: A mini-review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9), 12-22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z> .
- Mendoza, L.; Gallegoa, G.; Cuecuecha, V.; & Acosta, H. (2023). "Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura", *Agronomía Mesoamericana*, 34(1): 5008-5028. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50028> .
- Milicia, V. J., López, C. J., Pezzi, J. Í., Montiel, K. A., Rodríguez, M. F., & Lovisolo, M. R. (2023). Producción de lechuga y alelí de corte en monocultivo y consociados bajo condiciones de fertilización orgánica. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*, 18(1), 1-8. ISSN: 1981-8203. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v18i1.9418> .
- Mundra, S., Kjønaas, O. J., Morgado, L. N., Krabberød, A. K., Ransedokken, Y., & Kauserud, H. (2021). Soil depth matters: Shift in composition and inter-kingdom co-occurrence patterns of microorganisms in forest soils. *FEMS Microbiology Ecology*, 97(3), fiab022. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiab022> .
- Nerhot, P. R.; Monzón, D. R.; Álvarez, J. R.; & Rojas, A. E. (2018). Niveles de materia orgánica en distintos tipos de manejo", *Brazilian Journal of Development*. 4 (7): 3789-3800. ISSN: 2525-8761.
- Ojeda, L. J., Hernández, C., López, A., & Frómeta, C. (2020). Evaluación de diferentes sustratos enriquecidos con microorganismos para la producción de compost en áreas naturales. *Temas Agrarios*, 25(2), 129-140. DOI: <https://doi.org/10.21897/ta.v25i2.2455> .

- Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T.; & Caruncho, M. (2021). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque: Ediciones INCA, 153p. ISBN: 978-959-7023-51-7.
- Ponce de León, D.; Pablos, P.; Balmaceda, C.; & Henríquez, M. (1999). "Variabilidad espacial del pH, fósforo y potasio en muestreos de suelos con fines de fertilidad en plantaciones de caña de azúcar en Cuba". *Bioagro*, 11(1): 3-11.
- Quijano, L. G., Robledo, L. E., García, L. F., & Sarria, F. E. (2021). Arañas: tejiendo un eslabón crucial para el equilibrio de los agroecosistemas. *Revista Digital Universitaria*, 22(3), 40-49. DOI: <http://doi.org/10.22201/cuaied.16076079e.2021.22.3.5>.
- Repuello, W. (2021). Concentración de minerales a dos profundidades del suelo en cultivos de alfalfa (*medicago sativa*) en las localidades de Acráquia, Daniel Hernández y Colcabamba de la provincia de Tayacaja-Huancavelica, Tesis de zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica.
- Resendez, M. (2007). Elementos Nutritivos, Asimilación, Funciones, Toxicidad E Indisponibilidad, en Los Suelos, Ecología y Medioambiente, LibrosEnRed, ed. (1): 27p.
- Reyes, Y., Borges, Y., Hernández, N., García, S., & Villazón, J. A. (2023). Caracterización química de suelos de uso agrícola en una unidad de producción agroalimentaria de Moa. *Minería y Geología*, 39(1), 44-54.
- Rivera, J. E. (2023). Fuentes y niveles de materia orgánica en el rendimiento de *Capsicum chinense Jacq* (ají limo) en Tingo María, registro de tesis para obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Agronomía, 94.
- Rivera, E; Sánchez, M.; & Domínguez, H. (2018). "pH como factor de crecimiento en plantas", Centro Regional de Colón, *Revista de iniciación científica*, Portal de Revistas Académicas, Universidad Tecnológica de Panamá, 4 (e especial):101-105. DOI: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>.
- Sales, B.; Samaniego, K A.; Durand, A.; Segovia, N.B.; Calderón, R J.; Ortega, J.; Vega, K. E.; & Peralta, M. (2024). Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego, Instituto Nacional de Innovación Agraria, Dirección de supervisión y monitoreo de las estaciones experimentales agrarias, ed. INIA, 1.a ed. Perú. ISBN:978-9972-44-151-6.
- Sánchez, P. (1995). "Science in agroforestry. Agroforestry: Science, policy and practice". Selected papers from the agroforestry sessions of the IUFRO 20th World Congress, Tampere, Finland, Springer Netherlands, 6(12), 5-55.
- Sarandón, S. J. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. Libros de Cátedra, Facultad de ciencia agrarias y forestales, Editorial Universidad Nacional de La Plata, 429p. <https://sedi-ci.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109141>
- Serafin, E. L., Reyes, M. H., Morales, A. B., Villarreal, J. Á., & Benavides, A. (2023). Asociación entre la composición elemental del suelo y la planta y la morfología de *Dasyliuron cedrosanum* Trel. *Botanical Sciences*, 101(3), 837-853. ISSN: 2007-4476. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.3224>.
- Signorelli, S., Tarkowski, L. P., O'leary, B., Tabares-da Rosa, S., Borsani, O., & Monza, J. (2021). Gaba and proline metabolism in response to stress. *Hormones and Plant Response*, under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG. D. K. Gupta, F. J. Corpas (eds.), *Hormones and Plant Response, Plant in Challenging Environments*, 2, 291-314. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77477-6_12
- Soil, K. (1996). Survey laboratory methods manual. *Soil Survey Investigations Report*.
- Sunilll, M.O; Kienaa, J.; Morgado, L. N.; Krabbered, A.; Ransedokken, Y.; & Kauserud, H. (2021). "Soil depth matters: shift in composition and inter-kingdom co-occurrence patterns of microorganisms in forest soils". *FEMS Microbiology Ecology*, 97(3). DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiab022>.
- Tomalá, F. (2023). Importancia de la materia orgánica MO en plantaciones comerciales de banano en Ecuador (en línea). Trabajo de Titulación para la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario, Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. 40p.
- Torrejón, J. A. V., & Safra, P. C. (2014). El impacto ambiental negativo y su evaluación antes, durante y después del desarrollo de actividades productivas. *Derecho & Sociedad*, 42, 223-232.
- Vargas, M., Medina, M., Galeano, L. F., & Cerón, M. F. (2022). Algoritmos de aprendizaje de máquina para la predicción de propiedades fisicoquímicas del suelo mediante información espectral: una revisión sistemática. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12(1), 107-120. DOI: <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14212>
- Villarroel, J. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Serie Técnica, Cochabamba, Bolivia, 10. 34p.
- Villarroel, R. B. (2000). Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue Serie Acta: Osorno, Chile, 71p.
- Visconti, F.; de la Paz, M. (2018). "Cómo conocer la salinidad del suelo mediante medidas de conductividad eléctrica." *Levante Agrícola*, (441): 98-103. <https://www.edicioneslav.es/categoría-producto/levante-agricola/>
- Wade, J.; Culman, S. W.; Logan, J. A.; Poffenbarger, H.; Demyan, M. S.; Grove, J. H.; & West, J. R. (2020). "Improved soil biological health increases corn grain yield in N fertilized systems across the corn Belt". *Scientific reports*, 10(1):17-39. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60987-31>

- Walkley, A.; & Black, I. A. (1934). "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method". *Soil science*, 37 (1): 29-38. <https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000>
- Wictechem, F.; Islam, M.R.; Hemkemeyer, M.; Watson, C; & Joergensen, R.G. (2020). Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralisation processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils, *Frontiers in Sustainable* 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00030>