



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
CIENCIAS AGRARIAS



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
CENTRO UNIVERSITARIO
MUNICIPAL ABREUS

TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

Parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los
suelos de la Finca Provincial de Semillas, del municipio de
Abreus

Autora: Neidys Yusisley González Téllez

Tutores: DraC. Rita Y. Sibello Hernández

: Ing. José A. Chaviano

Abreus, diciembre 2023

PENSAMIENTO

Hágase más racional la vida humana. Aplíquese un orden económico internacional justo. Utilícese todas las ciencias para un desarrollo sostenido sin contaminación. Páguese la deuda ecológica y no la deuda externa". "Desaparezca el hambre y no el hombre"

Discurso pronunciado por Fidel Castro Ruz en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 12 de junio de 1992.

Agradecimientos

La gratitud, como ciertas flores, no se da en la altura, y mejor reverdece en la tierra buena de los humildes.

José Martí

✓ Hoy, aunque prevalece en nuestro mundo el desgaste de lo bello, existen personas con un alto valor humano, tuve la dicha de encontrar a muchas de ellas y otras que aparecieron siendo muy bienvenidas que, por su capacidad y espíritu creador contribuyeron a la realización de éste trabajo. Le estoy agradecida a la vida por permitirme lograr este gran sueño que se está haciendo realidad y más agradecida estoy de aquellas personas que depositaron su confianza en mí, (tutores). Por ello quiero agradecer de una forma muy especial:

- A mi familia en general y en especial siempre le voy agradecer todos mis resultados a mi madre querida, que sería mi vida sin ella.
- A mis hijos María Claudia, Rolando Eduardo y la pequeña Osniely que ha sido la responsable de doblegar mucho más mis esfuerzos.
- A mí querido esposo Osniel que no tendría como pagarle tanto sacrificio a mi lado.
- A mis tutores: Dra C. Rita Y. Sibello Hernández, Investigadora Titular y José A. Chaviano, Ingeniero Agrónomo, por su apoyo incondicional, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este sueño.
- A mis profesores y eternos compañeros del grupo que me han sabido acompañar en este largo andar, hemos compartidos buenos y malos momentos y por ende siempre ocuparán un lugar en mi corazón.
- A todas mis amistades que me brindaron su apoyo, es una lista muy grande, por eso no menciono alguno, porque para mí todos son iguales.

Gracias

Dedicatoria

- ✓ Dedico este trabajo principalmente a Dios, a mi familia, la cual considero como las personas más importantes en mi vida.
- ✓ En primer lugar, a mis hijos, por ser las personas que más amo y dedicarme parte de su tiempo;
- ✓ incondicionalmente a mi madre que ha estado a mi lado toda la vida, compartiendo los buenos y malos momentos, la cual me ha brindado todo su apoyo y confianza para que hoy yo pueda estar aquí siendo sus consejos el camino que me guía todos los días, porque sin su apoyo nada me sería posible;
- ✓ A mi esposo Osniel por brindarme todo su apoyo incondicional en toda esta etapa;
- ✓ A la Revolución cubana por darme la oportunidad de formarme como profesional;
- ✓ A los profesores que durante todos estos años brindaron sus esfuerzos, en particular a los que con dedicación, entrega y total desinterés tutoraron el presente trabajo.

Síntesis

Durante el período de abril a junio del 2023, se realizó un estudio de carácter descriptivo, explicativo y experimental, en la Finca Provincial de Semillas de Abreus, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de las propiedades químicas en suelos agrícolas de la finca, como parámetro determinante de la fertilidad de los suelos para el incremento de los rendimientos en la producción agrícola. La metodología empleada en la recolección de la información primaria con la revisión documental e intercambio con trabajadores, facilitó la caracterización general de la misma, se ejecutaron las observaciones directas y las mediciones de campo al suelo y se determinaron los parámetros químicos que caracterizan al suelo siguiendo los procedimientos analíticos del Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), basados en las normas ISO 17025. Entre los principales resultados está, que estos suelos han sufrido cierta alcalinización; por lo que se concluye que puede convertirse en una limitante para el desarrollo adecuado de los cultivos y que los valores de la densidad aparente evidencian que no hay problemas de compactación. La relación calcio y magnesio (Ca/Mg), es propicia para el desarrollo normal de los cultivos. Los valores totales de hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), molibdeno (Mo), cobalto (Co), níquel (Ni) y cromo (Cr) encontrados, son valores elevados, pero dentro del rango de concentraciones consideradas como naturales y favorecen el desarrollo de los cultivos, considerándose que la caracterización química realizada de los suelos de la finca contribuirá a su mejor manejo.

Palabras clave: suelo, fertilidad del suelo, química del suelo.

Synthesis.

During the period from April 2023 to June 2023, a descriptive, explanatory and experimental study was carried out at the Abreus Provincial Seed Farm, the objective of which was to evaluate the behavior of chemical properties in agricultural soils on the farm, such as determining parameter of soil fertility for increasing yields in agricultural production. The methodology used in the collection of primary information with documentary review and exchange with workers, facilitated the general characterization of the farm, direct observations and field measurements of the soil were carried out and the chemical parameters that characterize the soil, were determined following the analytical procedures of the Environmental Testing Laboratory (LEA) of the Center for Environmental Studies of Cienfuegos (CEAC), based on ISO 17025 standards. The main result was that these soils have undergone a certain alkalinization, therefore It is concluded that it can become a limitation for the proper development of crops, and that the apparent density values show that there are no compaction problems. The levels of phosphorus and potassium are high values. The Ca/Mg ratio is conducive to the normal development of crops. The total values of iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), molybdenum (Mo), cobalt (Co), nickel (Ni) and chromium (Cr) found are high values, but within the range of concentrations considered natural and favor the development of crops, considering that the proposal presented can resolve these gaps. The chemical characterization of the soils will contribute to their better management.

Keywords: soil, soil fertility, soil chemistry.

	Contenidos	Pág.
	RESUMEN	
	INTRODUCCIÓN	1
	CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	5
1.1	Generalidades en el estudio de los suelos	5
1.2	La fertilidad de los suelos y su manejo	7
1.2.1	Algunas causas que afectan la fertilidad de los suelos	10
1.3	Características químicas de los suelos	13
	CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1	Diseño de la investigación	18
2.1.1	Determinación de los valores de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus	18
2.1.2	Evaluación de los valores obtenidos de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus, según las referencias	18
	CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1	Caracterización de la Finca Provincial de Semillas del municipio de Abreus, con énfasis en la caracterización química, como parámetro de la fertilidad de los suelos	22
3.1.1	Resultados de la caracterización de la finca	22
3.2	Resultados del trabajo de campo	22
	CONCLUSIONES	45
	RECOMENDACIONES	
	REFRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
	ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos más importantes para garantizar la alimentación humana y animal es el suelo, se comporta como una formación natural compuesta por elementos: minerales y orgánicos, resultantes de diversos procesos de meteorización donde ocurren de manera continua, cambios químicos, físicos y biológicos a partir del material de formación, llegando a alcanzar una morfología y características particulares dependiendo del ecosistema en que se desarrolle (Bernal, et al., 2019).

El suelo es un componente fundamental en los ecosistemas terrestres para la nutrición y soporte de las plantas, cumple correlativamente la misma función en los agroecosistemas, por lo que se medita imprescindible para la producción agropecuaria, afirmación que refrendan en sus estudios autores internacionales, como (Taboada, et al., 2008; Sainz, et al., 2011; Urquiza, et al., 2011; Machado, et al., 2015; Álvarez, et al., 2016 & Hernández, et al., 2018), quienes además manifiestan que de su conservación y buen manejo, depende la sostenibilidad de la producción de alimentos y la seguridad alimentaria de las generaciones futuras.

Los suelos son un recurso fundamental para la vida, siendo tan importantes como el agua y el aire, son esenciales para la regulación y mantenimiento del ecosistema (Malagón 2006). Además, el suelo se requiere para la producción de alimentos, medicinas y madera y son el hogar de una amplia biodiversidad (Leiva, et al., 2013). La etapa de formación de este recurso puede tardar hasta 500 millones de años y depende de características meteorológicas, del material parental y de la zona de vida en la cual se forme, lo que ocasiona que cada suelo posea características diferentes (Hernández A., et al., 2013 & Hernández, et al., 2018). De acuerdo con Jaramillo (2014), el sistema edáfico comprende una variedad de componentes que se dividen en características físicas y químicas, las cuales se ven relacionadas directamente con la fauna que se puede encontrar en el mismo, siendo la calidad del sistema el resultado de la interacción entre estos componentes.

La consideración crítica de diferentes autores (Hernández, et al., 2002; Urquiza, et al., 2011; Álvarez & Gutiérrez, 2016; Caffaro, 2016; Hernández, et al., 2018 & Mojica & Bolaño, 2019) , aluden a los agroecosistemas, en los cuales, el subsistema suelo, generalmente es observado vulnerable a las prácticas de la agricultura convencional,

entendido, únicamente cómo el sustrato que encubre las raíces del cultivo sin considerarlo como un componente complejo, que implica procesos naturales, con necesidades y requerimientos que le permitan renovarse, mantenerse sano y productivo, luego, un manejo inadecuado del suelo implicaría su pérdida.

Según las doctrinas de autores, como (Machado, et al., 2015; Álvarez & Gutiérrez 2016; Caffaro 2016; Fernández & Álvarez 2016; Fernández, et al., 2016; Gómez, 2018; & Hernández, et al., 2018), el suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos que existen en la naturaleza, donde se ordenan las fases sólida, líquida y gaseosa, formando una matriz tridimensional; también refieren estos autores, que cuenta con una compleja naturaleza físico-química, estructura porosa y contenido de materia orgánica en diversas fases de descomposición y complejidad, proporcionando una heterogeneidad trófica y de hábitat, que permite en él, la coexistencia de una gran diversidad de organismos.

Por otra parte, varios investigadores (Boisier, 2007; Blacutt, 2013; Bermejo, 2014; Bloesch, et al., 2015; Fernández, et al., 2016; Gómez, 2018; Hernández, et al., 2018 & Mojica & Bolaño, 2018), asumieron una línea de pensamiento que consideró los postulados de investigadores que les antecedieron, y en ello, aluden a las modificaciones en el agroecosistema, ya que el nivel de respiración depende de la humedad y temperatura edáfica, que a su vez depende del manejo cultural del suelo, incidiendo también la fauna del mismo.

En Cuba, numerosos trabajos de caracterización han abordado y cuantificado objetivamente la problemática de la degradación de los suelos. Entre estos trabajos se encuentra el estudio sobre la salinización secundaria, la acidificación con alto contenido de aluminio intercambiable debido al cambio climático; recientemente se han realizado trabajos donde se caracterizan procesos de erosión y se describe el mecanismo de la degradación, a partir de cambios en las propiedades que se degradan y algunos resultados para su mejoramiento (Bernal- Fundora, et al., 2019).

Las ideas antes analizadas, coinciden con los postulados de investigadores nacionales (Hernández, et al., 2015; Machado, et al., 2015; Fernández, et al., 2016; Mojica, 2017; Gómez, 2018; Hernández, et al., 2018 & Maura & Febles, 2018), quienes

indistintamente, consideraron la importancia del estudio, la fertilidad del mismo y el aprovechamiento de los recursos propios de estos; luego, coinciden al exponer la repercusión que tiene la fertilidad, en la calidad de dichos suelos, ya sea de manera natural o fomentada por los productores, lo cual implica el análisis de las condiciones en su presencia, cantidad y asimilabilidad de elementos nutritivos, que hagan frente, regularmente, a las necesidades de las plantas, entendiéndose, la ausencia de elementos tóxicos que puedan limitar o suprimir la productividad de este recurso natural.

Otros investigadores (Blacutt, 2013; Bloesch, 2015; Boisier 2017; Fernández, et al., 2016; Hernández, et al., 2018 & Mojica, 2017), aluden al ciclo de los nutrientes junto con la estructura edáfica y otras propiedades del suelo, reguladas por la actividad de una comunidad de microorganismos y diversas especies de invertebrados, los cuales forman parte de la mesofauna y macrofauna edáfica, y en estos, se plantea que participan en el ciclo de nutrientes porque consumen materia orgánica, la simplifican o fraccionan, mezclan el suelo y aumentan la porosidad mejorando las condiciones para la mineralización de la Materia Orgánica del Suelo (MOS), aumentan la disponibilidad de nutrientes y controlan poblaciones de microorganismos.

Luego Mojica & Bolaño (2018), analizan que la microbiota edáfica contribuye a la mineralización y humificación de la MOS, cumpliendo una función importante, pues de ella depende parte de la oferta de sales minerales y nutrientes asimilables por la planta; así como, influyen también en la fijación de nitrógeno y en los ciclos de nutrientes de varios elementos como, carbono (C), azufre (S), fósforo (P), calcio (Ca), hierro (Fe), manganeso (Mn), entre otros.

Además (Gómez, 2018 & Hernández, et al., 2018), siguen esa línea de pensamiento y coinciden al exponer que, el complejo de cambio contiene cationes fundamentalmente, calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}), sodio (Na^{+}), adsorbidos, al ser estos iones positivos, pueden ser intercambiados por iones de la misma carga presentes en la solución del suelo y de esta forma, son suministrados nuevamente los nutrientes extraídos por las plantas para mantener el equilibrio nutricional en el suelo. Al considerar, los análisis antes referidos, el resultado de estudios de suelos desarrollados

en la provincia de Cienfuegos por (Hernández, et al., 2018 & Martínez, et al., 2015), se formulan supuestos que indican la pérdida de la fertilidad del mismo. Así, se pudo inferir que existe una demanda, ante la necesidad de desarrollar una investigación, cuyos resultados, sean una vía para dar solución a esta problemática, desde la cual se mejoraría el aprovechamiento del suelo, a partir de sus recursos propios y por ende de la producción.

La Dirección de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus, perteneciente a la Empresa Productora y Comercializadora de Semillas Cienfuegos, considera que los rendimientos agrícolas de la finca están por debajo de lo esperado, no conocen el comportamiento actual de los parámetros químicos de los suelos que determinan su fertilidad.

Al realizar los análisis correspondientes se justifica la presentación del siguiente **problema de investigación:**

¿Cuáles son los valores de los parámetros químicos de los suelos, de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus, que inciden negativamente en su fertilidad?

Hipótesis:

La evaluación de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus, favorecerá la implementación de labores agrícolas que incrementen los rendimientos en la producción.

Objetivo General:

Evaluar los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas, del municipio de Abreus.

Objetivos específicos:

1. Determinar los valores de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus.
2. Evaluar los valores obtenidos de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus, según las referencias.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presenta un análisis de las generalidades en el estudio de los suelos de uso agrícola, a nivel internacional, nacional y territorial, a partir de la integración de saberes de diferentes investigadores en relación a su manejo, y las consideraciones sobre la fertilidad de este recurso. En este sentido, se tuvieron presentes las ideas que avalan el uso de tecnologías en pos de la mejora de la fertilidad, desde las consideraciones actuales con el empleo de diferentes alternativas a partir de recursos propios de los agroecosistemas, cuyos aportes, según la literatura consultada, contribuyen de alguna forma a mejorar la fertilidad del suelo de uso agrícola.

1.1. Generalidades en el estudio de los suelos

El suelo es un recurso natural que, a lo largo de la historia, ha proporcionado el sustento para la población humana; sin embargo, la creciente población mundial y su demanda de alimentos aumenta cada día más la presión sobre este recurso; luego, en las zonas tropicales del mundo se buscan alternativas para conservar los suelos, pues se ha confirmado que no es el clima cálido lo que impide una producción adecuada de del suelo, sino su manejo inadecuado (Sánchez, et al., 2011).

El suelo es un recurso considerado como no renovable, ya que su velocidad de formación o de regeneración es extraordinariamente lenta y depende de los factores formadores. Se estima que 1 cm de suelo puede tomar entre 10 y 1000 años para formarse (Geissert, et al., 2013). El suelo cumple diversas funciones que brindan servicios ambientales específicos:

- a) es un proveedor de nutrientes para la vida biológica;
- b) es un medio de filtrado, almacenamiento y suministro de agua;
- c) es un sitio de secuestro y acumulación de carbono;
- d) es un proveedor de oxígeno para la respiración de las raíces; y
- e) es un sustrato de soporte mecánico y de anclaje para las plantas, así como hogar de muchos organismos.

Autores como (Urquiza, et al., 2011 & Fernández, et al., 2016); coinciden en reconocer a este recurso, como el medio fundamental para desarrollar la producción agropecuaria; y entre sus beneficios reportan que constituye el soporte para suministrar agua y elementos nutritivos a las plantas; por lo que de éste depende el crecimiento y desarrollo de las mismas y, por consiguiente, la magnitud y calidad de las cosechas.

Otros investigadores (Álvarez & Rimski, 2016 & Hernández, et al., 2018), apuntan que el suelo, es una materia sometida a constantes cambios, provocados por el efecto de las variaciones del clima, de la atmósfera y de la acción del hombre; de ahí que se le reconoce como un complejo dinámico, que evoluciona con el tiempo a velocidad y ritmos variables.

Luego, el suelo, es parte de la superficie y se reconoce como un conjunto organizado, de espesor variable, el cual fluctúa desde centímetros hasta metros, que recubren las rocas, cuya capa es un ente vivo, que está en relación directa con la vida vegetal y está constituido por elementos minerales, cristalinos o amorfos, orgánicos y seres vivos, agua y aire; su estudio ocupa espacios de reflexión científica e intercambio entre los investigadores a diferentes niveles (Blacutt, 2013).

En nuestro país, con las transformaciones ocurridas después de 1959, período que marcó el inicio de la etapa correspondiente a la Revolución Cubana, en el orden político, económico y social, a partir de la cual sucedieron cambios, que favorecieron las investigaciones de los suelos, desde la misma aplicación de la Ley de Reforma Agraria, la cual facilitó el uso y manejo de los suelos bajo un control, que se lograba al otorgar la tierra a quienes la trabajaban y tenían conocimientos empíricos, aprovechados para dilucidar buenas prácticas a favor de la intensificación de la agricultura, y con ella, la constitución de una red de centros para el estudio de los suelos, su conservación y mejoramiento (Álvarez & Gutiérrez, 2016).

Investigadores nacionales han desarrollado estudios al respecto (Gómez, 2018; Hernández, et al., 2018 & Mojica, 2017), ya que sus doctrinas han fortalecido el uso, cuidado y conservación de los suelos, a partir del análisis y estudio de las características y las propiedades de los mismos.

Otros investigadores centran su atención en el estudio de las características particulares del suelo (Hernández, et al., 2015; Álvarez & Gutiérrez 2016; Fernández & Álvarez 2016; Mojica, 2017 & Gómez, 2018), los cuales reflejan en sus estudios, cómo aprovechar la fertilidad de los suelos, para poder satisfacer las necesidades de las plantas, con elementos nutritivos y con el agua, así, se pueden asegurar sus sistemas radicales y brindarles la cantidad de aire y calor necesarias para su normal desarrollo; por tanto, contribuyen a asegurar, en gran medida, las producciones agrícolas.

Autores como (Bermejo, 2014; Bloesch, 2015; Fernández, et al., 2015; Gómez 2018 & Hernández, et al., 2018), plasmaron estudios de los orígenes del suelo, al considerar en ello, el de diferentes fenómenos: químicos, físicos y biológicos, que ocurren en él y determinaron una u otra propiedad de los mismos.

Algunos teóricos afirman que el suelo constituye la mayor riqueza de la economía nacional (Machado, et al., 2015; Gómez, 2018 & Hernández, et al., 2018), y en ello, demuestran que su uso adecuado y la conservación de su fertilidad garantiza el bienestar de las personas, pues, asegura la fuente de alimentos, tanto para los humanos como para los animales y beneficia las exportaciones, en aras de suplir otras demandas en las necesidades, que permiten la calidad de vida, de las personas. Los investigadores, antes declarados, reconocen la fertilidad del suelo y en ello, aluden a una de sus funciones: la fertilidad, entendida como aquella que permite suministrar nutrientes a las plantas; sin embargo, existen situaciones, en las cuales, los suelos fértiles son poco productivos, lo cual requiere del uso de alternativas para su manejo.

1.2. La fertilidad de los suelos y su manejo

Un elemento esencial en el estudio de los suelos lo constituye su fertilidad, y para ello, se realizan investigaciones, con un carácter sistemático, en la búsqueda de mejoras y su aplicación en la producción agrícola; destacándose los resultados científicos aportados por investigadores como (Álvarez & Gutiérrez, 2016; Fernández & Álvarez, 2016 & Gutiérrez, 2016), los cuales coinciden en afirmar, que cualquier medida agrotécnica y de mejoramiento de la fertilidad de los suelos, debe realizarse en correspondencia con las características particulares de cada tipo de suelo, teniendo en

cuenta todos aquellos cambios que pueden operarse en estos, como resultado de la influencia de la acción del hombre (factor antrópico) y de otros factores naturales.

La fertilidad de los suelos, es entendida como aquella característica relacionada con la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la cual depende de un complejo equilibrio de elementos y organismos (Altieri, 1994), alude a las características físicas, químicas y biológicas, y cómo estas influyen en dicha fertilidad.

En ese sentido, investigadores como (Hawkes, 2003 & Mendoza, 2014), relacionan la fertilidad del suelo, con los indicadores biológicos, representados por todos los organismos que viven en el suelo, tanto los animales como la fauna edáfica, que ejercen una importante función con respecto al ciclo de nutrientes y de modo particular, los microorganismos, al ser muy sensibles a perturbaciones resultantes del manejo del suelo; considerados como un excelente indicador.

La productividad de los suelos depende en gran medida de sus propiedades individuales, determinadas por el contenido de elementos minerales y orgánicos, resultantes de diversos procesos de meteorización, donde ocurren continuamente cambios químicos, físicos y biológicos a partir del material pétreo que le da origen. La evaluación de las propiedades de los suelos permite conocer el estado de los indicadores relacionados con la fertilidad y tener una mejor comprensión de las respuestas de los cultivos (Bernal, et al., 2019).

Para (Hernández, et al., 2018 & Gómez, 2018), el impacto en la agricultura de la intensificación de la mecanización, la quimización y el empleo de técnicas y sistemas de riego de avanzada, han conducido a la degradación del estado físico de los suelos de uso agrícola; lo que se refleja en la compactación de las capas arables, la degradación del estado estructural, el empeoramiento de la aireación y el drenaje, la disminución del agua disponible para las plantas, la salinización, entre otros; factores estos, que inciden de forma negativa en el potencial agro productivo de los suelos, por lo que pueden ser considerados como causas que contribuyen a pérdidas de la fertilidad natural de este recurso natural.

También (Hernández, et al., 2015; Gómez, 2018 & Hernández, et al., 2018), presuponen que existen otros indicadores de la calidad del suelo, relacionados con la

fertilidad, entre ellos destacan algunos indicadores físicos como: densidad aparente, infiltración, porosidad, estructura, características de los agregados, entre otros; los cuales, influyen sobre diversos fenómenos como: el transporte de agua, nutrientes y aire, así como en la estimulación de procesos realizados por los microorganismos e invertebrados del suelo.

En la calidad del suelo está inmersa la fertilidad, opinión que acreditan en sus estudios (Ojeda, et al., 2007; Machado, et al., 2015; Mojica, 2017 & Hernández, et al., 2018), y en ello, dicha fertilidad, puede ser evaluada por medio de indicadores que dependen directamente de elementos o factores de ella, entre los que destacan: uso y manejo del suelo, la diversidad y actividad de las poblaciones de la fauna edáfica (incluido los microorganismos), así como, de las propiedades del suelo, por lo que, para tomar en consideración la planificación de alternativas de mejora de la fertilidad, es preciso tener en consideración el comportamiento de estos elementos o factores dentro de un agroecosistema.

Según criterios aportados por diferentes autores como (Bloesch, 2015; Fernández, et al., 2016 & Hernández, et al., 2018), una de las funciones del suelo es suministrar nutrientes a las plantas, por lo cual, el contenido de nutrientes de un suelo, también se reconoce como su fertilidad. Sin embargo, existen situaciones en las cuales los suelos fértiles son poco productivos, aunque muestren alto contenido de nutrientes, generan poca biomasa vegetal, es decir que, aunque los nutrientes están en el suelo, estos no se encuentran en formas disponibles para las plantas, debido a diferentes causas, en este caso se plantea que no son asimilables (Martínez, et al., 2018).

Ante lo referido, investigadores como Gómez (2018), aluden al manejo de la fertilidad de los suelos, y en ello, reconocen que dicho manejo depende de las propiedades físicas, químicas y biológicas que tienen los suelos y de las condiciones medioambientales, por su parte, (Machado, et al., 2011 & Urquiza, et al., 2011), coinciden en afirmar que dichas propiedades, ejercen su influencia en ellos, y ponderan la acción antrópica, como causa fundamental que provoca cambios, tanto positivos como negativos en dicha fertilidad.

Según (Hernández, et al., 2002 & Hernández, et al., 2018), la fertilidad del suelo puede mejorarse a partir del empleo de diferentes materiales que aparecen en los agroecosistemas y pueden ser considerados como recursos propios, lo cual le imprime capacidad a estos para sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar el rendimiento de los cultivos, a través del uso de tecnologías para la producción de fertilizantes orgánicos que además de contribuir a favorecer los nutrientes del suelo, que mejoran su fertilidad del suelo y la producción de cultivos, reducen al mínimo el impacto medioambiental.

En ese sentido (Gómez 2018; Hernández, et al., 2018 & Martínez, et al., 2018), coinciden, al considerar que la gestión integrada de la fertilidad del suelo tiene como finalidad maximizar la eficacia del uso agronómico de los nutrientes y mejorar la productividad de los cultivos, consideran que esto es alcanzable mediante el uso de leguminosas como abono verde, además de mejorar la fertilidad del suelo por medio de la fijación biológica de nitrógeno, se disminuye el empleo de fertilizantes químicos.

De igual modo (Hernández, et al., 2018 & Gómez 2018), señalan que un manejo integrado de los suelos reconocido, además, como manejo ecológico o sostenible, resulta de vital importancia para potenciar su capacidad productiva en beneficio del hombre.

Un problema asociado al manejo del suelo; es que al degradarse significativamente, este no es capaz de seguir produciendo, generando que los agricultores deban recurrir a expandir la frontera agrícola, reduciendo áreas naturales importantes para la diversidad y la conservación (Caffaro 2016; Fernández, et al., 2016; Gutiérrez, et al., 2016; Gómez 2018; & Hernández, et al., 2018), en tal sentido, la agricultura convencional con enfoque en la revolución verde, generó problemas ambientales significativos, debido a que involucró prácticas que mantienen a los agroecosistemas extremadamente degradados por el uso intensivo de la mecanización agrícola y el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas.

1.2.1. Algunas causas que afectan la fertilidad de los suelos.

Desde el punto de vista agrícola, un suelo fértil es aquel que puede proporcionar cantidades adecuadas de nutrientes para el crecimiento de las plantas, lo cual se

traduce en mayor rendimiento y calidad del cultivo y se reconocen algunas causas que afectan la fertilidad de los suelos (Hernández, et al., 2018), entre estos:

- La composición mineral. Es necesario conocerla, para poder predecir su capacidad de retener nutrientes para las plantas, determinado por la roca madre, clima, biología y procesos químicos; así cuando se hace referencia a los nutrientes minerales del suelo existe una gran diferencia entre la cantidad total de nutrientes en el suelo y su disponibilidad para las plantas; de hecho, sólo una pequeña fracción de los minerales que componen el suelo estará disponible para las plantas.
- La aplicación de fertilizantes y enmiendas al suelo, es una herramienta clave para la mejora y conservación de la fertilidad del suelo y, por lo tanto, un programa de fertilización adecuado es uno de los factores de mayor influencia en la estabilidad del nivel nutricional del suelo, por ende, de su fertilidad.
- El pH del suelo. Es importante para mantener la fertilidad adecuada del mismo; en ocasiones puede afectar la disponibilidad de los nutrientes del suelo, por lo que muchos estudios plantean que un rango de pH de 5.5 - 7 es óptimo para la mayoría de los cultivos.
- Textura del suelo. Es la proporción de agregados del suelo (arena, limo y arcilla), cuya cantidad determinan el tipo de textura predominante. Los suelos arcillosos son capaces de retener más nutrientes que los arenosos y actúan como un reservorio de nutrientes, debido a que su Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es mayor, lo que constituye mayor capacidad del suelo para retener nutrientes, por tal razón, se considera que los suelos arcillosos suelen ser más fértiles que los arenosos.
- Materia orgánica del suelo (MOS). Es fuente de nitrógeno y fósforo, los que al ser mineralizados estarán disponibles para las plantas. La MOS incrementa la fertilidad del suelo y mejora su estructura; la disminución de su contenido constituye una de las principales limitantes para que los nutrientes puedan ser asimilables, así como, influye en las condiciones de acidez (pH), sodicidad (concentraciones elevadas de Sodio), salinidad, hidromorfismo, baja capacidad

de almacenamiento de agua, cuyas manifestaciones también inciden de forma desfavorable en la fertilidad del suelo.

- Manejo de los nutrientes. El uso incorrecto de fertilizantes tiene efectos negativos en la fertilidad del suelo, por lo tanto, el exceso de fertilizantes no sólo aumenta los costos, también ocasiona problemas de toxicidad en los suelos debido a que las sales minerales que no son utilizadas por el cultivo se acumulan y afectan las futuras cosechas que se desarrollarán en ese suelo, en tanto, si no se utilizan las cantidades adecuadas de fertilizantes aquellos suelos originalmente fértiles se empobrecerán nutricionalmente, de esta manera el cultivo no alcanzará su potencial de rendimiento y los beneficios del agricultor decrecerán.
- Monocultivo. Este es otro de los factores antrópicos que incide negativamente en la fertilidad del suelo el cual, en sentido general provoca grandes alteraciones en el contenido y composición de la MOS, va disminuyendo bruscamente el contenido total de carbono, los complejos orgánicos móviles y semimóviles e incluso la redistribución de los microelementos dentro de las fracciones, por lo que varía su papel como barrera ecológica del suelo.
- Precipitaciones. La disponibilidad de nutrientes, también se ve afectada por otros factores que alteran a la producción agrícola, y uno de estos, son las precipitaciones, en condiciones de sequía se produce el estrés hídrico.
- Los cultivos, por lo que se afecta su normal desarrollo vegetativo al no contar con el agua que es el transporte por excelencia de los nutrientes y encargada de la turgencia celular, lo cual incide desfavorablemente en el comportamiento del rendimiento de los mismos.

Gómez (2018), recomienda establecer estudios en los agroecosistemas que permitan identificar, tanto las causas de la pérdida de la fertilidad, como de las potencialidades de fuentes internas existentes en dichos agroecosistemas que faciliten el desarrollo de alternativas de mejoras de la fertilidad de sus suelos a partir del empleo de recursos propios. Figura 1.

ESTRATEGIA	PRÁCTICAS O ACCIONES
Mejorar la estructura del suelo	Cultivos de cobertura, "mulching", labranza conservacionista
Elevar el contenido de MO	Aplicación de estiércol, desechos orgánicos, abonos verdes y labranza conservacionista
Reducir la compactación	Labranza mínima y uso de cultivos perforadores
Mejorar reciclaje de nutrientes	Aplicación de materia orgánica, sistemas agroforestales, cultivos múltiples, integración animal, sincronía entre liberación del nutriente y consumo por los cultivos, activación biológica del suelo
Manejar la acidez del suelo	Uso de variedades tolerantes, aplicación de cal, adición de MO y enmiendas naturales
Manejar la salinidad y alcalinidad	Riegos especiales para mejorar la lixiviación de sales, aplicación de enmiendas, uso de cultivos apropiados.

Figura 1. Prácticas agronómicas para sostener la calidad del suelo

Fuente: adaptado de Gómez (2018)

1.3. Características químicas de los suelos.

El suelo es un recurso natural vivo que cumple funciones y brinda servicios ambientales. Cuando el suelo es capaz de cumplir sus funciones y brindar estos servicios, se le considera saludable y de buena calidad. Esto significa que se le puede aprovechar por un largo tiempo, sin interrupción y sin debilitarlo, o sin que pierda potencial productivo y calidad. De esta manera será capaz de satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Geissert, et al., 2013).

Dada la complejidad resultante de la variabilidad geográfica bajo la cual se han formado los suelos, resulta de particular importancia la selección de los métodos analíticos tanto de campo como de laboratorio que posibiliten una caracterización apropiada para el manejo eficiente de los recursos edafológicos en cada región del país (Bazán, et al., 2017).

El suelo es una mezcla variable de minerales de distintos tamaños (arcilla, limo y arena), materia orgánica en descomposición y organismos vivos. Cubre la tierra en forma de una capa delgada y proporciona agua y aire, soporte mecánico y, en parte, sustento nutritivo para las plantas. Los cinco factores principales de la formación del suelo son: a) la roca madre; b) la topografía; c) la biota; d) el clima; y e) el tiempo. La combinación de estos factores determina el tipo de suelo y sus propiedades, está continuamente sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos, debido a múltiples procesos que en su conjunto se denominan intemperismo (Geissert, et al., 2013).

Los suelos Ferralíticos Rojos son considerados los más productivos del país, poseen un alto grado de resistencia a la degradación inducida por el hombre (Altieri, et al. 2001), se manifiesta en ellos la pérdida progresiva de la materia orgánica, lo que provoca una alta dispersión de las partículas, debilitamiento de los agregados agrónomicamente valiosos y la reducción de la permeabilidad hídrica (Orellana, et al. 2007), la no aplicación de prácticas en armonía con la naturaleza edáfica de estos suelos puede conducirlos a la llamada “degradación irreversible” (Orellana & Moreno, 2001).

El suelo establece el conocimiento de su potencial productivo, aspecto indispensable para el desarrollo tecnológico de la agricultura que solo es posible cuando se tiene un pleno entendimiento de las propiedades y limitaciones de un factor esencial de los procesos productivos agrarios, utilizados en las diferentes regiones del territorio nacional (Bernal- Fundora, et al., 2019).

El suelo se comporta como una formación natural compuesta por elementos minerales y orgánicos, resultantes de diversos procesos de meteorización donde ocurren de manera continua, cambios químicos, físicos y biológicos a partir del material de formación, llegando a alcanzar una morfología y características particulares dependiendo del ecosistema en que se desarrolle. El estudio de las características morfológicas, así como de las propiedades químicas y físicas de los suelos es fundamental, permite conocer el nivel de degradación y afectación de indicadores que se relacionan con la fertilidad y tener una comprensión más definida de las respuestas de los cultivos a la aplicación de fertilizantes para obtener los mayores rendimientos (Bazán, et al., 2017).

Es evidente que, para lograr una confiable caracterización de las propiedades de los suelos, se requiere de la utilización de métodos seleccionados en base a una rigurosa investigación científica, que permita establecer una funcional aplicación de los resultados analíticos con un adecuado valor predictivo para la adopción de las prácticas culturales requeridas para la obtención de los óptimos rendimientos de bienes agrarios en beneficio de los productores y la sociedad (Bazán, et al., 2017).

El estudio de las características morfológicas, así como de las propiedades químicas y físicas de los suelos es fundamental, permite conocer el nivel de degradación y

afectación de indicadores que se relacionan con la fertilidad y tener una comprensión más definida de las respuestas de los cultivos a la aplicación de fertilizantes para obtener los mayores rendimientos. Los suelos poco cultivados cuando se ponen bajo cultivo continuado, cambian sus propiedades llegando a presentar problemas de degradación, como puede ser la destrucción de la estructura y compactación, erosión y pérdida de fertilidad en general, lo que se agudiza cuando no se toman medidas para la conservación y mejora de los suelos, conllevando a reducir las posibilidades de obtener altos rendimientos agrícolas (Mojica, 2019).

Las características químicas del suelo se ven afectadas por el manejo que se le da al sistema edáfico, es por esta razón que la actividad agropecuaria se relaciona de manera directa con la calidad del mismo (Cuesta & Villaneda, 2013). Lo que indica que la producción agropecuaria es una actividad representante para la economía del país, por ende, la conservación o degradación del suelo depende principalmente de su manejo (Zuluaga, 2013).

La conservación de la calidad edáfica depende de factores como el balance de nutrientes disponibles en el suelo que son extraídos por las plantas, las condiciones estructurales del suelo y la biodiversidad de la fauna edáfica. Para poder cuantificar y conocer las condiciones del suelo, a través del tiempo se han utilizado diversas técnicas de diagnóstico, dentro de las que se encuentran el análisis de suelo (Gómez, 2018). Para que este análisis tenga efectos positivos, es fundamental que se entienda el suelo como un sistema complejo que abarca características físicas, químicas y biológicas. De esta forma las características químicas permiten conocer el balance de los nutrientes disponibles y generalmente los resultados son clasificados por métodos cuantitativos (Molina, 2021).

Los elementos nutritivos del suelo, esenciales para las plantas, se clasifican en macro y micronutrientes. Los primeros son los que la planta utiliza en cantidades relativamente grandes, mientras que los micronutrientes son aquellos que utiliza en cantidades pequeñas. Sin embargo, todos son esenciales para la vida de la planta y cualquiera que se encuentre en cantidades bajas produce anomalías en el desarrollo o en las funciones de las plantas. Los nutrientes del suelo pueden existir en forma no asimilable,

asimilable (o intercambiable) y en solución, que es la más fácilmente asimilable (Mojica & Bolaños, 2019).

Cuando no son asimilables, es porque están combinados con algún compuesto del suelo (arcilla o materia orgánica) que impide que la planta los absorba. En la forma intercambiable, los nutrientes están adheridos a las partículas de arcilla o de humus por atracción eléctrica, a lo cual se le llama adsorción. Además de su capacidad de adsorción o de retención, los coloides (arcilla y humus) debido a sus cargas eléctricas, tienen la capacidad de intercambiar cationes, y en ciertos casos aniones, entre ellos y la solución del suelo, mecanismo a partir del cual las raíces de la planta absorben los nutrientes esenciales (Geissert, et al., 2013).

La interpretación del análisis químico del suelo debe hacerse desde el punto de vista del balance de los nutrientes para las plantas, considerando además que la verdadera disponibilidad de los nutrientes puede variar a lo largo del desarrollo de un cultivo (Etchevers, 2000). Algunas propiedades asociadas con la fertilidad del suelo, como la reacción del suelo (pH), capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), porcentaje de saturación de bases, acidez intercambiable, entre otras, así como la información sobre elementos mayores, y menores deben tener una interpretación adecuada que permita la toma de acciones correctivas.

La acidez del suelo depende de la cantidad o concentración de iones hidrógeno (H^+) sobre los coloides o en la solución del suelo. Se mide con el pH que significa potencial Hidrógeno y determina el grado de acidez o alcalinidad del suelo. Un pH de 7 es neutro (ni ácido, ni alcalino), los valores inferiores a 7 son ácidos y los superiores a 7 son alcalinos o básicos. El pH de los suelos varía entre 3 y 10 salvo casos excepcionales. La acidez o la alcalinidad no afectan directamente a las plantas; muchas pueden soportar concentraciones altas de iones (H^+) sin que les sea tóxico. La importancia del pH es indirecta, en el sentido de que algunos nutrientes son más asimilables por las plantas sólo en ciertos rangos de pH (Bernal, et al., 2019).

La mayor disponibilidad de nutrientes se presenta alrededor de un pH de 6.5. Cuando el suelo es muy ácido o extremadamente ácido (pH inferior a 4.5), elementos tales

como el manganeso (Mn) y el aluminio (Al) pueden aumentar de concentración y ser tóxicos para la planta, debido a su gran solubilidad en esas condiciones. Algo similar ocurre con la actividad de los microorganismos del suelo que es inhibida cuando el suelo es muy ácido (Bernal, et al., 2019).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló durante el período comprendido entre abril y junio del 2023, con la realización de un estudio de carácter descriptivo, explicativo y experimental, en la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus, con énfasis en los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos.

2.1.1. Determinación de los valores de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus.

Fase I. Recolección de la información primaria

La información primaria tuvo como propósito obtener la información necesaria para la realización de la investigación, en relación a la obtención de los datos y su procesamiento.

Revisión documental

En este paso, se realizó el trabajo de mesa para la realización de la revisión documental, se analizaron documentos de las políticas del Estado Cubano y del Ministerio de la Agricultura y artículos científicos publicados respecto a la caracterización química como parámetro de la fertilidad de los suelos. Se consideró la información existente sobre el manejo agronómico de los cultivos y su influencia respecto a la fertilidad del suelo, el manejo de restos de cosecha y su disposición final al medio ambiente.

Intercambio con los decisores y productores

En la toma de muestras tuvieron participación activa, miembros de la dirección de la finca como trabajadores agrícolas. Su colaboración fue muy importante tanto en el diseño del muestreo, como en la propia ejecución del mismo.

2.1.2. Evaluación de los valores obtenidos de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus, según las referencias.

Fase II. Trabajo experimental

Tuvo como propósito, ejecutar las observaciones directas y las mediciones de campo al suelo y determinación de los parámetros químicos que caracterizan al suelo siguiendo los procedimientos analíticos del Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), basados en las normas ISO 17025.

Muestreo

Se tomaron muestras de suelo representativas de once hectáreas de superficie (Anexo 2). En cada hectárea fueron tomadas aleatoriamente alrededor de quince muestras de suelo superficial (0-20 cm de profundidad), las cuales fueron vertidas en un saco y cuidadosamente homogenizadas, zarandeando bruscamente el saco de manera repetida por un tiempo de cinco a diez minutos, garantizando que las muestras se mezclaran entre sí. De esta muestra compuesta y bien homogénea, se tomó una muestra de un kilogramo aproximadamente, se envasaron en bolsas de nylon, se cerraron bien y se etiquetaron adecuadamente con el nombre del campo monitoreado y se llevaron al Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), donde se realizaron todos los análisis químicos según los procedimientos establecidos en el Sistema de Gestión de la Calidad del LEA, basados en las Norma ISO 17025.

Determinación del Contenido de Humedad

El Contenido de Humedad (CH) de las muestras, se determinó según el procedimiento del Sistema de Gestión de la Calidad (L – SA -153, método gravimétrico)) establecido en el Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA). Las muestras de suelo se pesaron y se anotó el peso fresco (PF) de cada una de ellas. Seguidamente se congelaron en una nevera. Posteriormente se liofilizaron utilizando una liofilizadora modelo 101021 de fabricación CHRIST, con bombas de vacío modelo RZ-2, por un tiempo de 24 horas y luego se repitió la misma operación por 8 horas, se anotó el peso de cada una y se introdujeron en la estufa a 45°C.

Luego, cada muestra se puso a refrescar en una desecadora, después se pesó y se colocó de nuevo en la estufa durante 30 minutos y se repitió el paso anterior. Se

consideró la muestra seca cuando no existieron variaciones mayores de un 5% entre tres valores de peso de la muestra, cumpliendo la siguiente expresión: $(Sp/P) * 100 \leq 5\%$, donde P es el promedio de tres pesos sucesivos y Sp es la desviación estándar de esos tres pesos sucesivos con respecto a su promedio. Se anotó el peso seco (PS) de la muestra. Así, se determinó gravimétricamente el contenido de humedad de cada muestra. Posteriormente, la muestra se trituro en un mortero y se envasó. La muestra así preparada, estuvo lista para realizarle los ensayos analíticos solicitados. Conocer la relación PS/PF es importante para poder expresar los resultados de cualquier ensayo en relación con su peso seco o su peso fresco indistintamente.

Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente del suelo (D_a) se define como la masa de suelo seco (M_s) en una determinada unidad de volumen edáfico (V_t) (Blake & Hartge, 1986), (ecuación 1). Para determinar este parámetro se tomó un beaker de cristal al que se le enrasó 50 mL de la muestra de suelo obtenida en cada campo, se puso en estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante, con una variación menor al 5%.

$$D_a = M_s / V_t \dots\dots\dots (1)$$

Donde

D_a - densidad aparente (g/cm^3)

M_s -Masa seca del suelo (g)

V_t -volumen total (cm^3)

Medición del pH

La determinación del pH en agua, se realizó potenciométricamente, siguiendo el procedimiento del LEA (L – SA – 158).

Determinación del contenido de materia orgánica (MO).

El contenido de materia orgánica fue determinado según el procedimiento del LEA (L – SA- 154) y se basa en las pérdidas que tiene la muestra por ignición (PPI) a 550 °C.

Determinación del contenido de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas

El contenido de los elementos minoritarios, mayoritarios y trazas fue realizado por el procedimiento del LEA (L – SA – 419), basado en las determinaciones por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X por Dispersión de Energías (EDXRF).

Control de calidad de los resultados

Para el control de la calidad de los ensayos por (EDXFR) se realizó la medición de un material de referencia certificado **MESS-4**. El criterio de aceptación se determinó de acuerdo a lo establecido en el procedimiento de gráficos de control. Anexo 1.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la Finca Provincial de Semillas del municipio de Abreus, con énfasis en la caracterización química, como parámetro de la fertilidad de los suelos.

Para la salida al objetivo específico número uno, se procedió a desarrollar la investigación, la cual permitió obtener información derivada de los datos que proporcionaron una caracterización actualizada, sobre fundamentos científicos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus, en sus aspectos generales, y para ello se tuvieron presente los siguientes indicadores: ubicación; extensión superficial, topografía, componentes bióticos y abióticos, fundamentalmente.

3.1.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DE LA FINCA

La Finca Provincial de Semillas del municipio de Abreus, está enclavada en el entronque de Abreus. Pertenecce a la Empresa Productora y Comercializadora de Semillas en Cienfuegos.

Posee un área total de 116,46 hectáreas (ha) distribuidas en: estación de bombeo, Área de producción de semilla 81,38 ha; área de pastoreo 5,69 ha; autoconsumo 29,39 ha; entrada principal y oficina socio administrativa.

La topografía del terreno es fundamentalmente llana, aunque existen ligeras pendientes en algunas áreas.

El suelo predominante en la unidad es Ferralítico rojo, la fertilización se realiza fundamentalmente con químicos cuyas dosis de aplicación se derivan de análisis de suelo los cuales son rectorados por el Instituto Nacional de Semilla.

COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

Existe una gran variabilidad del agroecosistema y de sus componentes bióticos y abióticos, ya que está compuesto por disímiles variedades de especies de insectos, moluscos y aves, además de que también existe gran variedad de tipos de rocas y plantas.

3.2 Resultados del trabajo de campo

En la Tabla 1. se muestra la ubicación de los campos monitoreados pertenecientes a la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus, los resultados de la

terminación de la Densidad Aparente (Da), el Contenido de Humedad (CH), el pH y contenido de materia orgánica según las Pérdidas por Ignición (PPI) a 550 ° C, en sus suelos.

Tabla 1. Ubicación de los campos monitoreados pertenecientes a la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus y los resultados de las determinaciones de la Densidad Aparente (Da), Contenido de Humedad (CH), pH y contenido de materia orgánica según las Pérdidas por Ignición (PPI) a 550 °C, en sus suelos.

Nombre del Campo donde se tomó la muestra de suelo	X (Longitud Oeste)	Y (Latitud Norte)	Da (g/cm ³)	C. Humed (%)	U (CH) (%)	Temperatura (° C)	pH	U(pH)	PPI-550 ° C (%)	U PPI 550 ° C (%)
Campo 1C	W 80.63345	N 22.29809	0,63	11,10	0,20	27,7	7,07	± 0,31	15,3	± 2,0
Campo 2 B	W 80.63374	N 22.29697	1,01	10,11	0,20	27,8	7,30	± 0,32	15,3	± 2,0
Campo 3 B	W 80.63282	N 22.29586	0,85	10,93	0,20	27,9	7,35	± 0,32	15,2	± 2,0
Campo 13 B	W 80.64088	N 22.28919	0,52	11,86	0,20	27,8	7,39	± 0,32	14,1	± 2,0
Campo 24 B	W 80.64586	N 22.29135	0,63	9,71	0,20	27,9	7,43	± 0,33	15,1	± 2,0
Campo 23 A	W 80.64583	N 22.29289	0,67	9,82	0,20	27,9	7,37	± 0,32	15,2	± 2,0
Campo 22 B	W 80.64619	N 22.29354	0,87	10,30	0,20	28,0	7,33	± 0,32	16,3	± 2,0
Campo 5 C	W 80.63560	N 22.29359	0,67	8,70	0,20	28,1	7,46	± 0,33	15,0	± 2,0
Campo 11 B	W 80.64047	N 22.29260	0,76	11,03	0,20	28,1	7,51	± 0,33	14,6	± 2,0
Campo 21 A	W 80.64426	N 22.29985	0,71	9,93	0,20	28,1	7,48	± 0,33	15,4	± 2,0
Campo 19 B	W 80.64426	N 22.29325	0,73	10,19	0,20	27,8	7,50	± 0,33	15,1	± 2,0

En la Tabla 2. se presentan los resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR

Tabla 2 Resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR en suelos de la Empresa Productora y Comercializadora de Semillas de Abreus.

Nombre del Campo	Al (%)	U del Al (%)	Na (%)	U del Na (%)	Mg (%)	U del Mg (%)	P (mg/kg)	U del P (mg/kg)	K (%)	U del K (%)
Campo 1C	16,2	± 2,0	< 0,15	-	0,250	± 0,034	> 1100 (1300)	-	0,130	± 0,019
Campo 2 B	16	± 2	< 0,15	-	0,240	± 0,033	1070	± 390	0,120	± 0,018
Campo 3 B	16,1	± 2,0	< 0,15	-	0,260	± 0,036	> 1100 (1420)	-	0,130	± 0,019
Campo 13 B	14,7	± 1,8	< 0,15	-	0,280	± 0,038	710	± 260	0,190	± 0,028
Campo 24 B	16,7	± 2,1	< 0,15	-	0,220	± 0,03	640	± 230	0,150	± 0,022
Campo 23 A	16,7	± 2,1	< 0,15	-	0,230	± 0,032	580	± 210	0,140	± 0,021
Campo 22 B	16,1	± 2,0	< 0,15	-	0,220	± 0,030	690	± 250	0,110	± 0,017
Campo 5 C	14,8	± 1,9	< 0,15	-	0,270	± 0,037	> 1100 (1150)	-	0,160	± 0,024
Campo 11 B	12,3	± 1,6	< 0,15	-	0,360	± 0,049	760	± 280	0,190	± 0,028
Campo 21 A	15,2	± 1,9	< 0,15	-	0,240	± 0,033	620	± 230	0,150	± 0,022
Campo 19 B	16,2	± 2,0	< 0,15	-	0,250	± 0,034	760	± 280	0,150	± 0,022

Tabla 2 (Continuación) Resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR en suelos de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus.

Nombre del Campo	Ca (%)	U del Ca (%)	Ti (mg/kg)	U del Ti (mg/kg)	V (mg/kg)	U del V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	U del Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	U del Mn (mg/kg)
Campo 1C	0,660	± 0,032	12320	± 760	> 170 (354)	> 170 (354)	> 280 (445)	-	1100	± 76
Campo 2 B	0,670	± 0,032	11880	± 730	> 170 (325)	> 170 (325)	> 280 (408)	-	1112	± 77
Campo 3 B	0,770	± 0,037	12640	± 780	> 170 (371)	> 170 (371)	> 280 (456)	-	1278	± 89
Campo 13 B	0,670	± 0,032	11100	± 680	> 170 (344)	> 170 (344)	> 280 (345)	-	1740	± 120
Campo 24 B	0,420	± 0,020	12500	± 770	> 170 (339)	> 170 (339)	> 280 (421)	-	1381	± 96
Campo 23 A	0,470	± 0,023	11300	± 690	> 170 (322)	> 170 (322)	> 280 (372)	-	1133	± 79
Campo 22 B	0,440	± 0,021	11220	± 690	> 170 (332)	> 170 (332)	> 280 (377)	-	1266	± 88
Campo 5 C	0,760	± 0,036	11500	± 710	> 170 (385)	> 170 (385)	> 280 (438)	-	1320	± 92
Campo 11 B	0,840	± 0,040	11110	± 680	> 170 (387)	> 170 (387)	> 280 (430)	-	2050	± 150
Campo 21 A	0,480	± 0,023	12330	± 760	> 170 (345)	> 170 (345)	> 280 (434)	-	1970	± 140
Campo 19 B	0,500	± 0,024	11960	± 730	> 170 (328)	> 170 (328)	> 280 (352)	-	1450	± 110

Tabla 2. (Continuación) Resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR en suelos de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus.

Nombre del Campo	Fe (%)	U del Fe (%)	Ni (mg/kg)	U del Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	U del Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	U del Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	U del As (mg/kg)
Campo 1C	> 6,74 (10,9)	-	> 130 (130)	-	114	± 20	221	± 16	11,1	± 1,4
Campo 2 B	> 6,74 (9,9)	-	122	± 36	114	± 20	198	± 14	13,0	± 1,7
Campo 3 B	> 6,74 (11,5)	-	100	± 29	124	± 22	249	± 18	8,5	± 1,1
Campo 13 B	> 6,74 (10,8)	-	96	± 28	85	± 15	76,7	± 5,3	8,1	± 1,1
Campo 24 B	> 6,74 (8,9)	-	> 130 (139)	-	92	± 17	125,3	± 8,6	14,7	± 1,9
Campo 23 A	> 6,74 (8,5)	-	> 130 (184)	-	88	± 16	144,2	± 9,9	20,1	± 2,5
Campo 22 B	> 6,74 (8,4)	-	> 130 (142)	-	92	± 17	154	± 11	17,7	± 2,2
Campo 5 C	> 6,74 (11,8)	-	125	± 37	98	± 18	156	± 11	9,1	± 1,2
Campo 11 B	> 6,74 (12,2)	-	48	± 14	81	± 15	76,6	± 5,3	3,63	± 0,45
Campo 21 A	> 6,74 (9,3)	-	111	± 33	79	± 14	101,4	± 7,0	14,4	± 1,8
Campo 19 B	> 6,74 (8,7)	-	> 130 (170)	-	87	± 16	142,9	± 9,9	21,8	± 2,7

Tabla 2. (Continuación) Resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR en suelos de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus.

Nombre del Campo	Br (mg/kg)	U del Br (mg/kg)	Rb (mg/kg)	U del Rb (mg/kg)	Nb (mg/kg)	U del Nb (mg/kg)	Mo (mg/kg)	U del Mo (mg/kg)	Pb (mg/kg)	U del Pb (mg/kg)
Campo 1C	17.8	± 3.3	< 16	-	8,0	± 1,9	> 5,9 (9,1)	-	65,6	± 9,9
Campo 2 B	17.0	± 3.2	< 16	-	8,3	± 2,0	> 5,9 (7,9)	-	48,6	± 7,4
Campo 3 B	20.0	± 3.7	< 16	-	7,1	± 1,7	> 5,9 (9,9)	-	71	± 11
Campo 13 B	18.6	± 3.4	33,5	± 2,6	6,1	± 1,5	5,0	± 1,4	43,0	± 6,5
Campo 24 B	15.6	± 2.9	16,6	± 1,3	11,4	± 2,7	6,0	± 1,7	42,2	± 6,4
Campo 23 A	17.2	± 3.2	< 16	-	10,2	± 2,4	> 5,9 (7,4)	-	34,8	± 5,3
Campo 22 B	20.6	± 3.8	< 16	-	9,0	± 2,1	> 5,9 (8,1)	-	35,7	± 5,4
Campo 5 C	16.8	± 3.1	22,5	± 1,8	7,9	± 1,9	> 5,9 (6,3)	-	64,4	± 9,8
Campo 11 B	16.5	± 3.1	34,4	± 2,7	5,2	± 1,3	4,0	± 1,2	54,9	± 8,3
Campo 21 A	16.4	± 3,0	19,0	± 1,5	9,8	± 2,3	> 5,9 (6,3)	-	35,8	± 5,4
Campo 19 B	13.3	± 2.5	18,9	± 1,5	9,8	± 2,3	> 5,9 (7,9)	-	33,5	± 5,1

Tabla 2. (Continuación) Resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR en suelos de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus.

Nombre del Campo	S (mg/kg)	U del S (mg/kg)	Si (mg/kg)	U del Si (mg/kg)	Sc (mg/kg)	U del Sc (mg/kg)	Sr (mg/kg)	U del Sr (mg/kg)	Y (mg/kg)	U del Y (mg/kg)
Campo 1C	< 83,5	-	30,5	± 2,1	> 24 (25)	-	402	± 30	> 31,8 (147)	-
Campo 2 B	< 83,5	-	31,7	± 2,2	23,9	± 6,7	295	± 22	> 31,8 (129)	-
Campo 3 B	< 83,5	-	25,1	± 1,8	> 24 (27)	-	> 473 (490)	-	> 31,8 (164)	-
Campo 13 B	< 83,5	-	32,0	± 2,2	> 24 (26)	-	75,3		> 31,8 (61)	-
Campo 24 B	< 83,5	-	30,4	± 2,1	> 24 (26)	-	145	± 11	> 31,8 (103)	-
Campo 23 A	< 83,5	-	31,1	± 2,2	> 24 (25)	-	170	± 13	> 31,8 (121)	-
Campo 22 B	< 83,5	-	28,7	± 2,0	> 24 (26)	-	136	± 11	> 31,8 (136)	-
Campo 5 C	< 83,5	-	25,3	± 1,8	> 24 (27)	-	247	± 19	> 31,8 (110)	-
Campo 11 B	< 83,5	-	31,4	± 2,2	> 24 (26)	-	< 53,7	-	> 31,8 (63)	-
Campo 21 A	< 83,5	-	29,9	± 2,1	> 24 (26)	-	112,6	± 8,4	> 31,8 (120)	-
Campo 19 B	< 83,5	-	30,5	± 2,1	> 24 (26)	-	174	± 13	> 31,8 (126)	-

Tabla 2. (Continuación) Resultados de las determinaciones de elementos minoritarios, mayoritarios y trazas por el método de EDXFR en suelos de la Finca Provincial de Semillas en el municipio de Abreus.

Nombre del Campo	Ga (mg/kg)	U del Ga (mg/kg)	Co (mg/kg)	U del Co (mg/kg)
Campo 1C	28,2	± 4,8	> 19,8 (30)	-
Campo 2 B	28,0	± 4,8	> 19,8 (29)	-
Campo 3 B	29,9	± 5,1	> 19,8 (32)	-
Campo 13 B	25,3	± 4,4	> 19,8 (29)	-
Campo 24 B	26,7	± 4,6	> 19,8 (27)	-
Campo 23 A	25,7	± 4,4	> 19,8 (27)	-
Campo 22 B	26,7	± 4,6	> 19,8 (26)	-
Campo 5 C	26,7	± 4,6	> 19,8 (32)	-
Campo 11 B	25,8	± 4,4	> 19,8 (31)	-
Campo 21 A	26,2	± 4,5	> 19,8 (28)	-
Campo 19 B	25,5	± 4,4	> 19,8 (27)	-

Datos técnicos:

1. Todas las incertidumbres reportadas son del tipo expandida con un factor de cobertura para todos los ensayos $k=2,0$
2. **Límite de cuantificación:** Para los resultados reportados menores que un valor, se considera el límite de cuantificación del método.
3. Resultados entre paréntesis: Los resultados reportados entre paréntesis corresponden a valores obtenidos por encima del rango de trabajo al realizar la extrapolación de la recta de calibración.

Los suelos investigados pertenecientes a la Finca Provincial de Semillas del municipio de Abreus, son en su gran mayoría del tipo ferralítico rojo. Este tipo de suelo son los más fértiles del país, caracterizados de forma general por buenas propiedades físicas y químicas, con altos rendimientos si se le aplica la agrotecnia apropiada a cada cultivo. Sin embargo, son suelos que demandan mucha agua (secantes), por lo que requieren en la época de invierno estar sometidos a sistemas de riego para lograr resultados satisfactorios (Olivera, 2012).

En el momento del muestreo el contenido de humedad en los suelos monitoreados estuvo en el rango de 8,70 a 11,86 %. Conociendo el valor del contenido de humedad es posible determinar la relación Peso Seco/ Peso Fresco de la muestra. Este coeficiente permite relacionar las concentraciones de los elementos determinadas en el peso seco de la muestra, con las concentraciones equivalentes para el peso fresco en el momento del muestreo, si fuera necesario. La densidad aparente osciló entre 0,52 g/cm³ hasta 1,01 g/cm³, para un valor promedio de 0,73 g/cm³. Según estos resultados, los suelos investigados no presentan problemas de compactación (Castro & Amézquita, 1991).

El valor de la medición del pH está influenciado por la temperatura a la que se realiza la medición, es por eso que junto a los valores de este parámetro se reporta también el valor de la temperatura a la cual se hizo el ensayo. Los valores del pH del suelo se determinaron en un medio suelo: agua (1:2,5) y mostraron valores ligeramente alcalinos, en un rango de 7,07 a 7,51 (Tabla 1), para un valor promedio de 7,38. Para visualizar mejor los resultados se muestran a continuación los gráficos de algunos de los parámetros determinados. En la Figura 2 se representan los valores de pH.

Según Olivera (2012), los suelos ferralíticos presentan valores de pH entre 6.0 y 7.0; por lo que es evidente que estos suelos se han visto alcalinizados probablemente debido a su uso. Similares resultados han sido publicados por (Morales & Hernández 2011), aludiendo que el incremento del pH pudiera estar relacionado con el uso de aguas de alta dureza para el riego y con el cambio climático, específicamente con la disminución de las precipitaciones (disminuye el lavado de las bases al tener lluvias escasas). El pH elevado se puede convertir en una limitante para el desarrollo de los cultivos, al impedir que los nutrientes esenciales puedan ser asimilados por las plantas (John-Louis, et al., 2017).

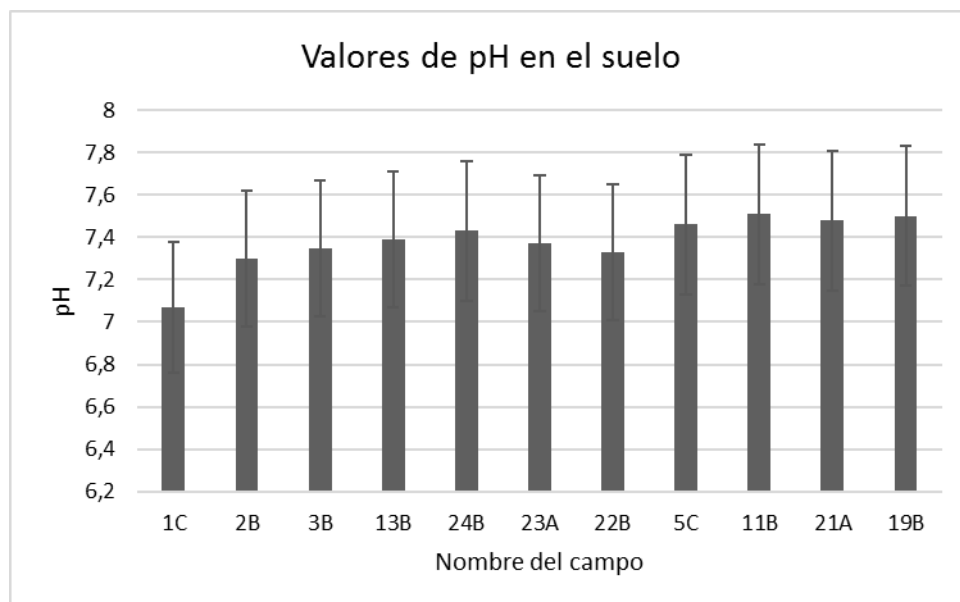


Figura 2. Valores de pH determinados para cada uno de los campos monitoreados.

Teniendo en cuenta los valores del contenido de materia orgánica determinados a partir de las pérdidas por ignición a 550 °C, estos estuvieron en el rango de 14,1 a 16,3% (Tabla 1; Figura 3) y puede afirmarse que la distribución de los contenidos de materia orgánica en los suelos estudiados es bastante uniforme, con un valor promedio de 15,15 %. Al comparar estos valores con los reportados por (Calderón, et al., 2013) para este tipo de suelos, se evidencia que los suelos de la finca presentan valores de materia orgánica de cinco veces de los publicados por este autor y pueden ser considerados como valores altos, lo cual es un buen indicador de la salud del suelo.

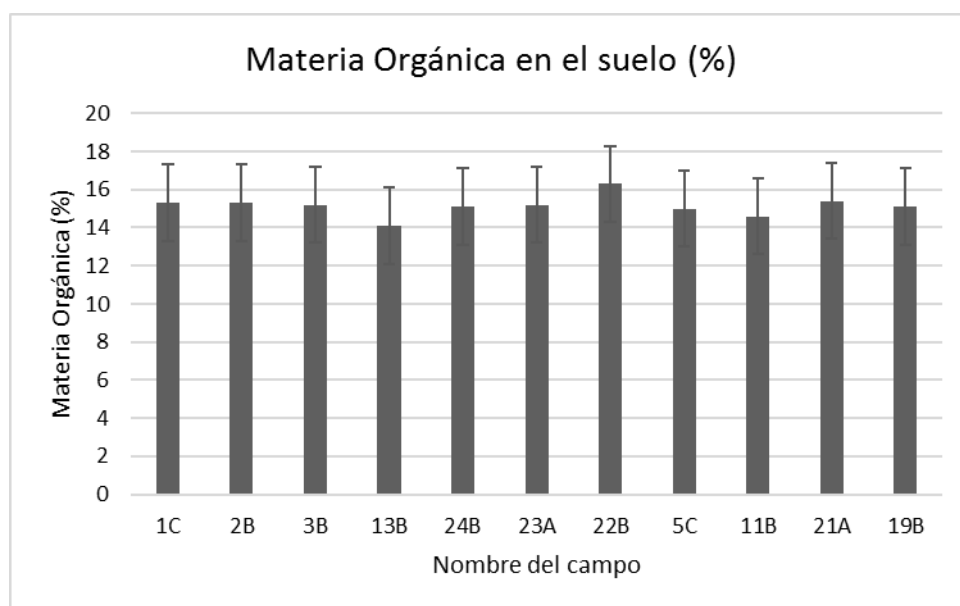


Figura 3. Contenido de materia orgánica en los campos investigados.

Con respecto a los macronutrientes que fueron determinados en el laboratorio podemos decir que los tenores de fósforo (P) estuvieron en el rango de 580 a más de 1100 (1150) mg/kg (Tabla 2; Figura 4), lo que significa que para todos estos suelos son valores altos y pudieran estar relacionados con exposiciones prolongadas a fertilizaciones minerales fosfóricas con altas dosis de este nutriente (Calderón, et al., 2013).

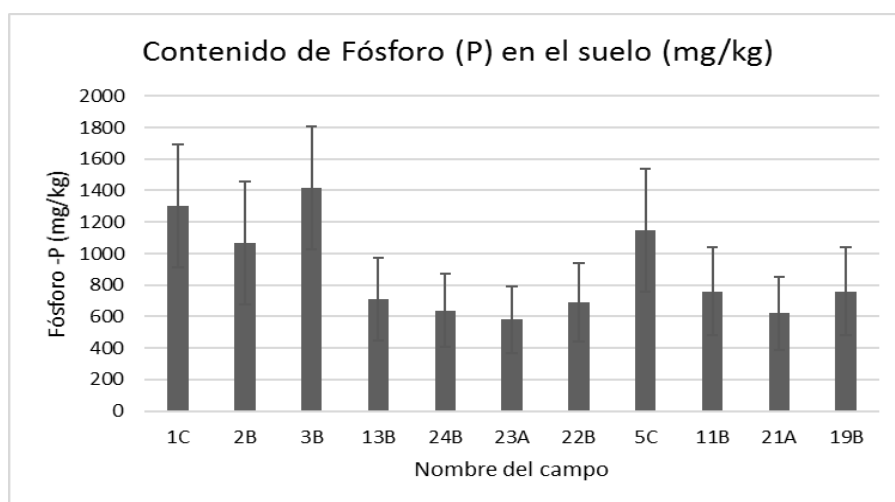


Figura 4. Contenido de fósforo en los suelos monitoreados.

Por otra parte, el contenido de potasio (K) en el suelo estuvo entre 0,11 y 0,19 %, para un valor medio de 0,15 % (Tabla 2; Figura 5), lo cual es un valor alto si se compara con

los valores reportados por otros investigadores en otros sitios del país (Martínez 2018). El P y el K son dos elementos esenciales para la nutrición de las plantas, lo que unido al N, forman los tres elementos mayores utilizados en la fertilización de los cultivos, de aquí que los tenores de estos nutrientes en el suelo se incrementen con la fertilización continua (Mojica & Bolaño et al., 2018).

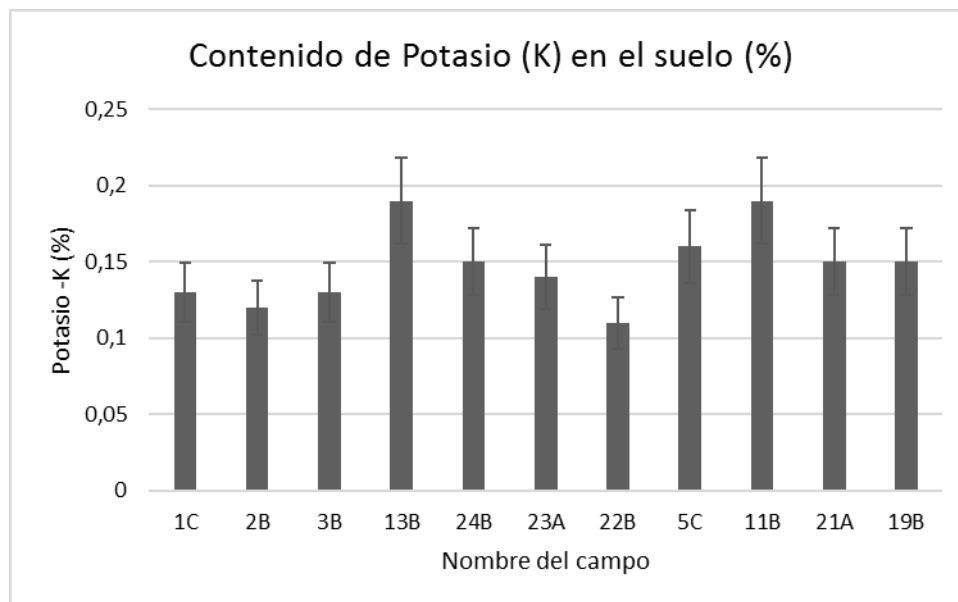


Figura 5. Contenido de potasio en los suelos monitoreados.

Además de los macronutrientes primarios arriba mencionados, también el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S), que se conocen como macronutrientes secundarios, determinan la fertilidad del suelo. Todos ellos de manera natural proceden de las rocas que dieron origen al suelo y de la materia orgánica descompuesta por los microorganismos. Los tenores de estos elementos de los suelos investigados (Tabla 2) se representan a continuación en las Figuras 6; 7 respectivamente. En el caso del azufre, que es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, los tenores en todos los casos, no fueron cuantificables, por estar sus concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método de medición utilizado $< 83,5$ mg/kg.

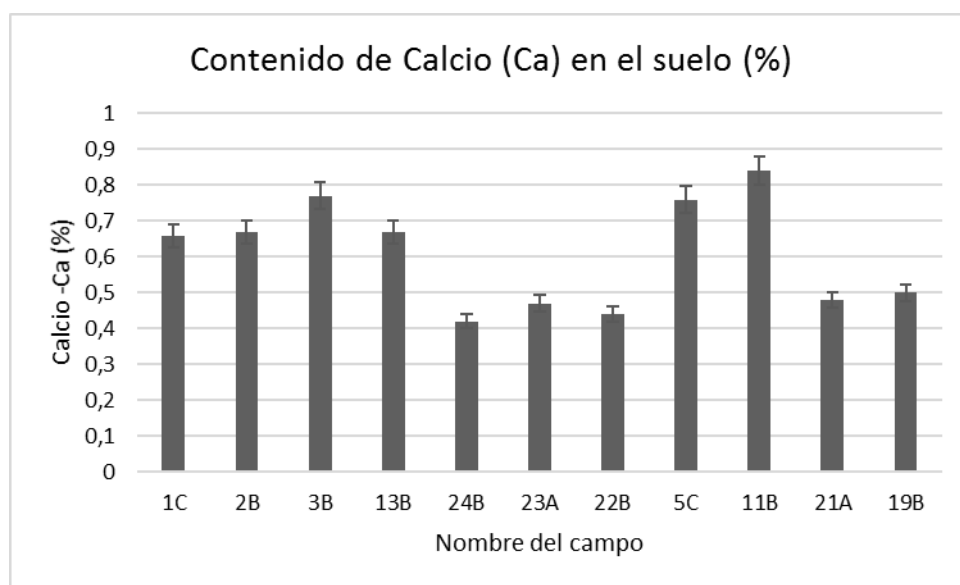


Figura 6. Contenido de calcio – Ca (%) en los suelos monitoreados de la finca.

Los tenores de calcio en estos suelos están entre 0,44 y 0,84 %, para un valor promedio de 0,61%.

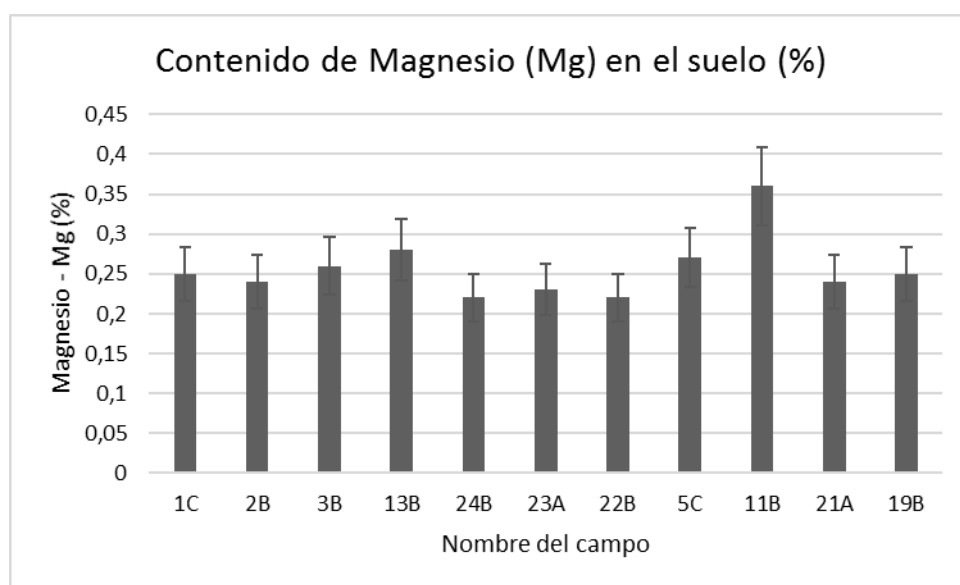


Figura 7. Contenido de magnesio –Mg (%) en los suelos monitoreados

Los valores de Mg en los suelos investigados estuvieron en el rango (0,22 – 0,36) %; con un valor promedio de 0,26 %.

En todos los casos la relación Ca/Mg es inferior a diez, por lo que puede evaluarse como adecuada para el desarrollo normal de los cultivos agrícolas (John – Louis, et al.,

2017). De las Figura 6 y 7, se evidencia que hay una distribución similar para los contenidos de ambos cationes en los diferentes campos (esto es, de manera general, donde hay más Ca, también hay más Mg y viceversa). Se observa que los mayores contenidos tanto de Ca, como de Mg se encontraron en el campo 11B. También el campo 5C mostró valores elevados, en comparación con el resto de los campos. Las altas concentraciones de estos elementos pudieran estar relacionadas con la intensidad del uso agrícola, así como con la presencia de estos cationes en el agua de riego (John – Louis, et al., 2017).

En relación a los contenidos de micronutrientes, podemos decir que estos suelos se caracterizan por contenidos de hierro relativamente altos, lo que le da el color rojo característico. La sostenibilidad de este tipo de suelo para la producción agrícola estriba precisamente, en el contenido en hierro relativamente alto y de arcilla, que aún sin tener altos contenidos en materia orgánica mantienen la capacidad del suelo para producir alimentos (Hernández, et al, 2013). Todos los suelos investigados de la empresa tuvieron valores mayores que 6,74 % (Tabla 2). Los contenidos naturales de hierro en los suelos van desde 0,01 hasta valores >10 % (Estados Unidos. Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, NOAA. (2022).

El Mn es el micronutriente esencial en la vida de los cultivos, contribuye al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. También interviene en la germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico, el alargamiento celular en la raíz y la resistencia a patógenos de la misma (México. Tradecorp. (2022). Niveles de Mn de 20 a 40 mg/kg en el tejido vegetal suele ser suficiente para la mayoría de las plantas. Los tenores de Mn en los suelos investigados estuvieron en el rango de 1100 a 2050 mg/kg (Tabla 2), para un valor promedio de 1436, 36 mg/kg. Estos valores están dentro del rango de concentraciones naturales reportadas para los suelos del mundo, esto es desde valores por debajo del límite de detección hasta 0,7% (esto es equivalente a 7000 mg/kg) (Estados Unidos. NOAA, 2022). La disponibilidad de Mn para las plantas depende principalmente del pH del suelo y las condiciones redox. La forma más soluble es Mn^{2+} . Otros estados de oxidación forman compuestos de baja solubilidad. El Mn está

disponible a pH menores que 7. A pH elevados se forman compuestos de Mn de baja solubilidad.

Por otro lado, la disponibilidad del Mn aumenta en suelos anegados, debido a la reducción de óxidos de manganeso. También la disponibilidad de este elemento depende de las reacciones redox llevadas a cabo por microorganismos y de la temperatura del suelo (con el aumento de la temperatura aumenta la disponibilidad del Mn debido a que se reduce a la forma soluble (Mn^{2+}) (Sela, 2017).

El Cu es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, sin embargo, es requerido en pequeñas cantidades, es otro de los micronutrientes y su función principal es la de participar como coenzima en varios sistemas enzimáticos (México. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, INTAGRI. (2023)). Los valores de Cu en los suelos investigados están en el rango desde 79 a 124 mg/kg (Tabla 2), para un valor promedio de 95,82 mg/kg, esto es equivalente a decir 0,01%. Este valor también está dentro del rango de concentraciones naturales de Cu para los suelos del mundo, desde valores por debajo de los límites de detección hasta valores de 0,07 % (Estados Unidos. NOAA. (2022)). En suelos deficientes de Cu la totalidad es menor que 0,5 ppm, lo que es lo mismo que menores que 0,5 mg/kg. Esto evidencia que los suelos de la finca no están deficientes en Cu.

El zinc (Zn) es uno de los micronutrientes esenciales de suma importancia para las plantas, ya que es constituyente de varias enzimas y proteínas; no obstante, este elemento es necesario en pequeñas cantidades. Sin embargo, es crucial para el desarrollo de la planta ya que juega un papel importante en una gran cantidad de procesos fisiológicos (Chen, 2023). En el caso del Zn los valores determinados en los suelos de la finca están dentro del rango (76,6 – 249) mg/kg (Tabla 2), para un valor promedio de 149,55 mg/kg, esto es igual a decir 0,015 %. Los valores determinados están dentro del rango de valores para el Zn, considerados como naturales en los suelos (desde valores por debajo del límite de detección – 0,29%) (Estados Unidos. NOAA. 2022). Ni la deficiencia ni la toxicidad de zinc ocurren con frecuencia; sin embargo, ambas repercuten negativamente en el desarrollo y la calidad del cultivo (Hernández, et al., 2018).

El molibdeno (Mo) es otro micronutriente esencial para las plantas. Su valor diferencial radica en la alta movilidad que tiene en el interior de la planta, todo lo contrario, con el resto de microelementos. El Mo actúa cubriendo funciones básicas, algo desconocidas para mucha gente, por ejemplo, es parte integrante de las reacciones redox y actividad enzimática, como la adecuada asimilación del nitrógeno en forma de nitrato (nitrato reductasa), (México. Fertilab, 2023). Los valores de Mo encontrados en los suelos van desde 4 mg/kg hasta valores por encima del rango de trabajo del método utilizado (>5,9 mg/kg) (9,9mg/kg) (Tabla 2). Estos valores están dentro del rango reportado por (Estados Unidos. NOAA, 2022). como valores naturales en los suelos, esto es hasta 15 000 ppb. Esto es equivalente a decir hasta 15 mg/kg.

Existe cierta similitud entre la acción del Mo y el cobalto (Co), ya que ambos intervienen en la fijación simbiótica y atmosférica del nitrógeno, mucho más acusado en leguminosas debido a que son esenciales para la formación de los nódulos de las raíces. La carencia de Mo y Co influye altamente en los rendimientos de los cultivos (Golo, et al., 2009). Los suelos con niveles de Co por debajo de 3 ppm (3 mg/kg), presentan carencias de Co. Los valores de Co en los suelos monitoreados estuvieron por encima del rango de trabajo del método utilizado, esto es, por encima de los 19,8 mg/kg, por lo tanto, no hay carencias de este elemento y están dentro del rango reportado por (Estados Unidos. NOAA, 2022) como natural. Es bueno aclarar que el Co tiene tanto efectos benéficos como perjudiciales para la salud. Por una parte estimula la producción de glóbulos rojos, por lo que ha sido dosificado para el tratamiento de anemias; pero por otra parte, por encima de ciertas dosis puede afectar el corazón, la tiroides, la piel, principalmente (Estados Unidos. Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey, 2005).

El Níquel (Ni) es un micronutriente que no era esencial antes del 2003 cuando fue declarado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos como “Nutriente Esencial”, esto después de numerosos estudios para demostrar su importancia en la nutrición vegetal, no sólo para plantas leguminosas, sino también para las no leguminosas. El Ni es absorbido por las plantas en forma de catión divalente Ni^{2+} y es requerido por las plantas superiores en bajas concentraciones, necesario en el metabolismo del nitrógeno y la germinación de la planta. La deficiencia de Ni inhibe la acción de la ureasa y esto conlleva a la acumulación de urea que provoca la presencia

de manchas necróticas en las hojas, también afecta el metabolismo de los ureidos, aminoácidos, ácidos orgánicos y estimula la acumulación del ácido oxálico y láctico en las hojas (México. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, INTAGRI, 2023). Los valores de Ni encontrados (Tabla 2) en los suelos de la finca van desde 96 mg/kg hasta valores por encima del rango de trabajo del método > 130 mg/kg (184 mg/kg). Estos valores permanecen en el rango considerado como natural, el valor máximo considerado como natural es 900 mg/kg (Estados Unidos. NOAA, 2022). Para los animales el níquel, es un elemento esencial en pequeñas cantidades. Pero el níquel no es sólo favorable como elemento esencial; puede ser también peligroso cuando se excede la máxima cantidad tolerable, esto puede causar varios tipos de cánceres.

El Na es un elemento abundante en el medio natural y al igual que otros elementos que pertenecen al mismo grupo no se va a encontrar en estado elemental debido a que reacciona rápidamente con los no metales. Es un nutriente que, aunque no cumple funciones de relativa importancia en las plantas, es necesario para un correcto desarrollo y crecimiento de éstas. De esta manera, puede ser utilizado por las plantas en pequeñas cantidades, al igual que los micronutrientes, como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de la clorofila (Cherlinka, 2023).

En algunas plantas, el Na se puede utilizar como un sustituto parcial de potasio y, además, es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua, pero en pequeñas cantidades ya que su exceso puede provocar grandes problemas. Se ha comprobado que los problemas por exceso de sodio aparecen cuando los niveles son superiores a 50 ppm (Cherlinka, 2023). En los suelos monitoreados todos los valores de Na están por debajo de 0,15 % (estos son valores menores que el límite de cuantificación del método utilizado), lo que es equivalente a decir, 1500 ppm. Para una mejor evaluación de las concentraciones de Na en el suelo sería necesario un método con límite de cuantificación para este elemento igual o menor a 50 ppm.

El vanadio (V) ha sido menos estudiado en plantas, aunque también es considerado un elemento benéfico. Se ha reportado que pequeñas cantidades de V estimulan la producción de biomasa, mientras que niveles altos de este elemento inhiben el

crecimiento y causan cambios morfológicos en hojas y raíz (Chen, et al., 2016). De forma contraria, en la albahaca *Ocimum basilicum*; L se encontró que el peso seco de la raíz incrementó al aumentar la dosis de V (Akoumianaki-Ioannidou et al., 2016). En el pepino (*Cucumis sativus*;L), se ha observado que el V puede tener un efecto antagónico en la absorción de metales pesados tóxicos como plomo y cadmio, y un efecto sinérgico en la absorción de nutrientes esenciales para las plantas (Charles & Onyema, 2016). Según Estados Unidos. NOAA (2022), los valores de V considerados como naturales están en el rango de hasta 500 000 ppb, esto es 500 mg/kg. En los suelos monitoreados de la finca se obtuvieron valores de V en todos los casos, por encima del rango de trabajo del método, es decir, por encima de 170 mg/kg (Tabla 2), pero están dentro del rango de concentraciones naturales en suelos.

El silicio (Si) es otro de los elementos que tiene efectos beneficiosos en las relaciones planta ambiente en una gran variedad de cultivo, desde potenciar el crecimiento y rendimiento hasta acciones más complejas como mejorar la resistencia a la toxicidad por metales, estrés salino, resistencia a sequía, resistencia a herbívoros y enfermedades, lo que sugiere un uso potencial en la agricultura. En los suelos estudiados las concentraciones de este elemento estuvieron entre 25,1 hasta 31,7 mg/kg, para un valor promedio de 29,7 mg/kg, lo cual es beneficioso para el desarrollo de los cultivos (España. Cultifort, 2023).

Con respecto al aluminio (Al), no existen evidencias de que el aluminio sea un mineral esencial en el metabolismo de las plantas. Sin embargo, se ha reportado que el aluminio ayuda en el desarrollo de la nueva raíz en la semilla y en el establecimiento de la plántula. El aluminio en elevadas concentraciones en el suelo afecta tanto a las raíces como hojas de las plantas (México. INTAGRI, 2023).

El síntoma de toxicidad más visible en las plantas es la inhibición de crecimiento de raíces y parte aérea, siendo esta última la parte menos afectada (México. INTAGRI_b. (2023)). Los valores de Al en los suelos monitoreados estuvieron en el rango (12,3 – 16,7) %, para un valor promedio de 15,55 %. Según Estados Unidos. NOAA, (2022) las concentraciones naturales en los suelos del mundo pueden llegar a estar por encima de 10 %, por lo que las concentraciones de Al en los suelos de la finca, pueden considerarse como naturales. Los suelos estudiados tienen pH básico, por lo que es poco probable que el Al pase a la forma Al^{3+} , considerada tóxica. Esto ocurre con más

frecuencia a pH menores que 5, que no es el caso de los suelos investigados (España. Fertibox. (2023). Hasta aquí han sido discutidos los principales macro y micronutrientes determinados en los suelos de la Finca Provincial de Semillas en Abreus que intervienen en la nutrición vegetal.

Haciendo una evaluación de los otros elementos de importancia, porque por encima de determinadas concentraciones pueden ser tóxicos, como es el caso de algunos metales pesados determinados en la investigación, podemos decir que las concentraciones de arsénico (As), Tabla 2; Figura 8, en todos los suelos monitoreados presentan valores por debajo del valor *target* o valor blanco establecido en los *Dutchs Standards* (Standares Holandeses), 29,0 mg/kg. Estos valores en el suelo tampoco superan el valor de intervención (55 mg/kg de peso seco del suelo). Para el caso del plomo tampoco se superó el valor *target* o valor blanco de 85 mg/kg (Ver Figura 9) en ninguno de los campos monitoreados (Estados Unidos. Agencia de protección Ambiental, EPA. (2005); Wikipedia. *Dutchs pollutants standars*).

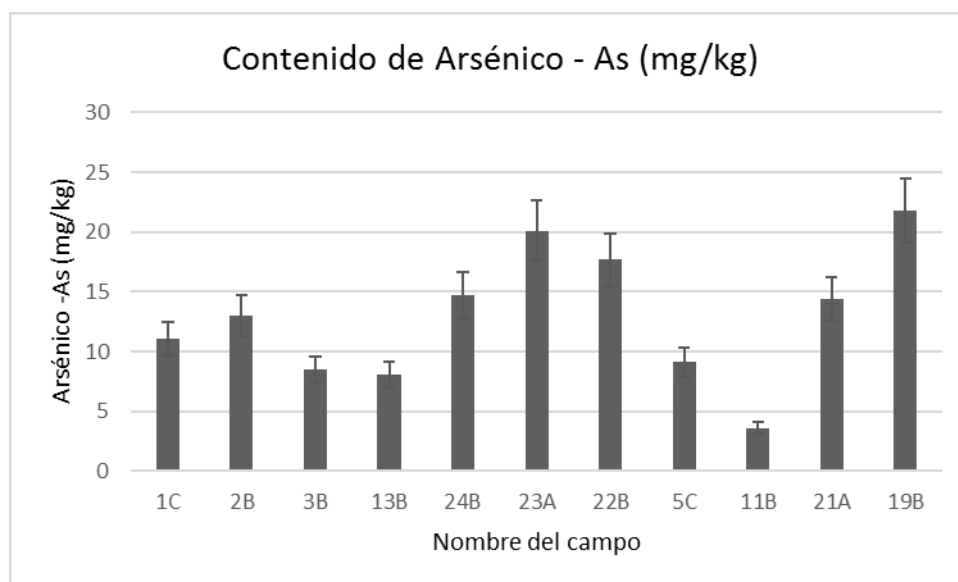


Figura 8. Concentraciones de arsénico determinadas en los suelos de la finca

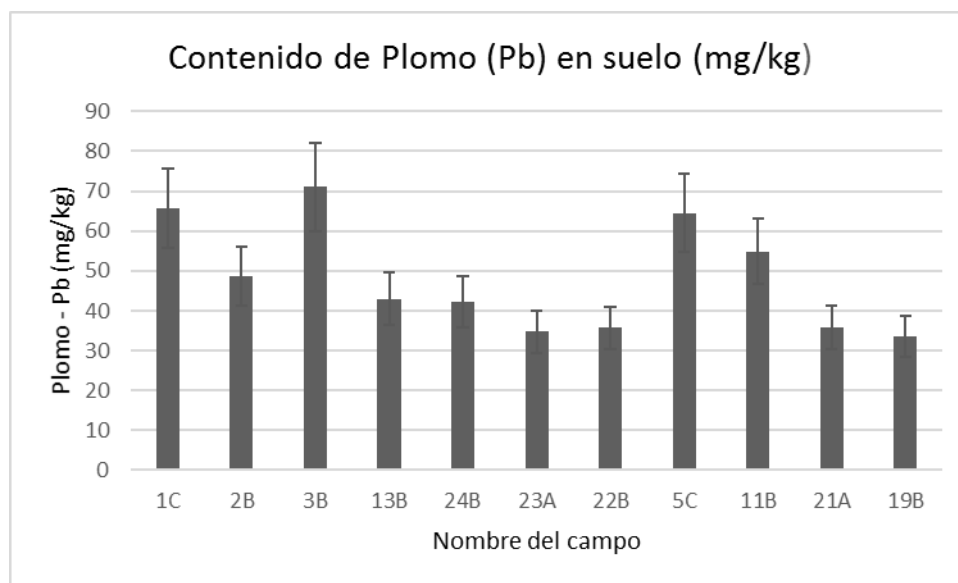


Figura 9. Concentraciones de plomo determinadas en los suelos de la finca.

El cromo puede presentarse en varios estados de valencia, los más comunes e importantes son: cromo metálico Cr (valencia = 0), cromo trivalente Cr^{3+} o Cr (III) y cromo hexavalente Cr^{6+} o Cr (VI). No se tienen reportes de que el cromo metálico (cromo como metal puro) presente efectos tóxicos al ambiente o al ser humano. El cromo trivalente comúnmente está en la naturaleza y es un nutriente esencial para el ser humano, debido a que estimula la acción de la insulina en los tejidos. La toxicidad aguda y crónica se debe a los compuestos de Cr (VI), cromo hexavalente, siendo esta la forma más disponible, para la absorción por las plantas, pero inestable en el suelo. No existe evidencia de que el cromo sea un elemento esencial para el metabolismo de las plantas. La mayoría de los suelos contienen cantidades significativas de cromo, pero su disponibilidad para las plantas es limitada. Es importante tener en cuenta que el Cr (VI) es la forma más biodisponible (pero inestable) para las plantas del suelo. Los cambios de pH pueden influenciar el estado de oxidación del cromo y con esto aumentar o disminuir la cantidad de cromo disponible para las plantas. El Cr (VI) aumenta su solubilidad en rangos de pH menores de 5,5 y mayores de 8 (Jiménez & Roldán, 2015); por lo que, basados en los pH determinados en estos suelos, no se favorece a la solubilidad del Cr (VI) que es la forma tóxica de este elemento. Todos los valores de Cr determinados en estos suelos estuvieron por encima de 280 mg/kg

En los suelos monitoreados también fueron determinadas las concentraciones de algunos de los elementos conocidos como “tierras raras”, como fue el caso del escandio (Sc), el itrio (Y) y el gadolinio (Ga). Estos elementos en todos los suelos estudiados se encontraron por encima de 23, 9 mg/kg (Tabla2). Desde el punto de vista agrícola, estos elementos no tienen importancia en el desarrollo vegetativo. Sin embargo, de forma general, “las tierras raras” son elementos estratégicos para el desarrollo tecnológico e industrial de cualquier país.

Se determinaron otros elementos tales como el bromo (Br), se determinó que el valor promedio fue de 17,3 mg/kg; el rubidio (Rb), cuyos valores oscilaron entre valores <16 hasta 34,4 mg/kg; el niob (Nb) con un valor promedio para los campos monitoreados de 8,4 mg/kg y el estroncio (Sr), con valores que estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método (<53,7 mg/kg) hasta valores por encima del rango de trabajo del método (>473 mg/kg). No se encontró relación entre estos elementos y su influencia en la agricultura, sin embargo, algunos de ellos tienen aplicaciones tecnológicas importantes.

CONCLUSIONES

Se determinaron los valores de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos de la Finca Provincial de Semillas de Abreus, tales como: P; K, MOS; Fe; Ca, Mg, Zn, entre otros. Estos valores son altos y favorecen el desarrollo de los cultivos

Se evaluaron los valores de los parámetros químicos que inciden en la fertilidad de los suelos, concluyendo que el valor ligeramente alcalino de pH puede convertirse en una limitante para el desarrollo de los cultivos.

RECOMENDACIONES

- ✓ Que la Dirección del UEB Productora y Comercializadora de Semillas Cienfuegos tenga en cuenta los resultados de esta investigación para accionar en el menor tiempo posible y dar respuesta al problema de los suelos y su fertilidad en la Finca Provincial de Semillas de Abreus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri MA, CI Nicholls. (2003). Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72: 203.
- Álvarez, C. R. & Gutiérrez, F. (2016). Fósforo. En Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos (pp. 86-93). Universidad de Buenos Aires.
https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
- Álvarez, C. R. & Rimski-Korsakov, H. (2016). *Producción orgánica en Argentina. Legislación y principios del manejo de la fertilidad de suelos en producciones orgánicas. En Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos.* Universidad de Buenos Aires.
https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
- Akoumianaki-Ioannidou, A., Barouchas, P. E., Kiramariou, A., Ilia, E. and Moustakas, N. K. (2015). Effect of vanadium on dry matter and nutrient concentration in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). *BulletinUASVM Horticulture*, 72(2), 295-298.
<https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:11348>
- Bazán, R.T. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelo y agua con fines de riego.* Lima.
- Bermejo, R. (2014). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis.* HEGOA.
- Bernal Fundora A.; Hernández Jiménez A.; González Cañizares P.J.; Cabrera Rodríguez A. (2019). Caracterización de dos tipos de suelos dedicados a la producción de plantas forrajeras. *Revista Cultivos Tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.* 40(3).
- Blacutt, M. (2013). *El desarrollo local complementario. Andalucía.* Fundación Universitaria Andaluza.
- Blake, GR & KH Hartge. (1986). *Bulk Density.*In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Madison, Wisconsin, USA.

- Bloesch, J. et al., (2015). Sustainable Development Integrated in the Concept of Resilience. *Problems of sustainable development*, 10(1), 7-14.
- Boisier, S. (2007). *América Latina en un medio siglo (1950/2000): el desarrollo, ¿dónde estuvo? Observatorio iberoamericano del Desarrollo local y la economía social*, <http://www.eumed.net/rev/oidles/01/Boisier-01.pdf>
- Cabrera, E., Otero, A., Gálvez V.; Márquez, E. & Morejón, Y. (2007). Introducción de tecnologías sostenibles de manejo y uso de suelo, agua y sanidad vegetal, en la cooperativa Rigoberto Fuentes de San Juan y Martínez en la provincia de Pinar del Río. *Revista Avances*, 9(3).
- Caffaro, M. M. (2016). *Productos biológicos. En Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos*. Universidad de Buenos Aires. https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
- Calderón, A. A., Marrero, Y., Martín, J.V., Cárdenas, J. V.& Mayo, I. (2013). The fertility of soils and their importance in the bioproductos employment in the country of Sancti Spíritus. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 16–23.
- Castro, F. & Amézquita, C. E. (1991). Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Suelos Ecuatoriales*. 21(1): 21-28.
- Chen, T., Li, T. Q. & Yang, J. Y. (2016). Damage suffered by swamp morning glory (*Ipomoea aquatica* Forsk) exposed to vanadium (V). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35, 695-701. <https://doi.org/10.1002/etc.3226>
- Chen. L.J. (2023). *La función del Zinc en el cultivo de plantas*. Ed Blodnick. <https://pthorticulture.com/es>
- Cherlinka V. (2023). *Salinidad del Suelo: Cómo Prevenirla y Reducirla*. EOS Data Analytic. [https:// eos.com/es/blog/salinidad-del-suelo/](https://eos.com/es/blog/salinidad-del-suelo/)
- Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. (2022) *Repositorio de Investigación Agropecuaria, Corpoica* https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y (2022

- Cuesta, P., & Villaneda, E. (S, f) (2013). *El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. región caribe y valles interandinos*:
<http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Foros/CAPITULOONO.pdf>
- Díaz, G. S., Ruiz, M. & Cabrera, J. A, (2009). *Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz (Oryza sativa L.)*, *Cultivos Tropicales*, 30(3), 40-46.
- España. Cultifort. (2023). *La importancia del Silicio en la Agricultura*.
<https://cultifort/importancia-silicio-agricultura>
- España. Fertibox. (2023). *El equilibrio de suelos y la fertilización*.
<https://fertibox.net/single>
- Estados Unidos. Agencia de protección Ambiental, EPA. (2005). *Ecological Soil Screening Levels for Arsenic. Interim Final*. OSWER Directive 9285.7 - 62. 2005. United States Environmental Protection Agency
- Estados Unidos. Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey. (2005). *Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas*.
<https://nj.gov/health/eoh>
- Estados Unidos. Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, NOAA. (2022). *Screening Quick Reference Table*
- Etchevers J. (2000). *Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos*. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados.
- Fernández, P. L. & Álvarez, C. R. (2016). *Manejo de los nutrientes en planteos de producción organica. En Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos*. Universidad de Buenos Aires.
https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
- Geissert, D., Barois, I., Monge, L., Carrera, R., Martínez, N., López, J., Maas, K. y de Los Santos, M. (2013). *Los suelos cafetaleros del centro del estado de Veracruz*:

- fertilidad, calidad y manejo sustentable In: Cafetales en la zona centro del estado de Veracruz: Diagnóstico, servicios ambientales y alternativas productivas.* López Morgado R., Sosa Fernández V., Contreras, Díaz Padilla G.. INIFAP/Sagarpa.
- Golo, A. L., Kappes, C., Carvalho, M. A. C. D., & Yamashita, O. M. (2009). *Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de molibdênio e cobalto.* *Revista Brasileira de Sementes*, 31(1), 40-49.
- Gómez, L. (4 de mayo de 2018). *Suelos en Cuba, cuestión de hoy para el mañana.* Periódico Granma, p. 8.
- Gutiérrez-Castorena, M., Torres-Guerrero, C. A., Ortiz-Solorio, C. A. & Gutiérrez-Castorena, E. V. (2016). *Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. Agricultural management of Vertisols in Mexico. Terra Latinoamericana*, 34, 457-466.
- Hawkes, C. V. (2003). *Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. Ecosistemas.*
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. & Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba.* INCA.
http://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacionsueloscuba_%202015.pdf
- Hernández, C., León, G. & Peña, F. (2002). *Erosión hídrica en la región Escambray. Efecto del establecimiento de medidas, para su control.* (Ponencia) VII Seminario Científico – Técnico en saludo al XXX Aniversario de la Estación Experimental de suelos, Cienfuegos, Cuba.
- Hernández, E.; Bernal, C.; Carrazana, Y. Ojeda-Quintana, L. J. & Vega, M. (2018). *Prácticas de conservación de suelos en la Finca Eliecer del municipio Cumanayagua.* *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 112-120.
- Hernández Jiménez A., Morales Díaz M., Cabrera Rodríguez A., Ascanio García M.O, Borges Benítez Y., Vargas Blandino D. & Bernal Fundora A. (2013). *Degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores de la llanura roja de la Habana.* *Cultivos Tropicales*, 34(3), 45 -51.
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Espitia, E.; Tamayo, P., Arguello, O. y Guzmán, M. (2014).

Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el oriente Antioqueño.

- Jiménez, M.P & Roldán., M.C. (2015). *Determinación de la toxicidad, por la presencia o ausencia del mercurio, plomo y cromo +3, en cultivos de lechuga y repollo de la Finca San Jerónimo en Madrid, Cundinamarca.* (tesis de grado) https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/987
- John - Louis C.M.; (2022). Vantour Causse A. & Tamayo Sierra A.A. Estado de la fertilidad química de los suelos ferralíticos rojos de la granja Los Pinos. *Revista Ingeniería Agrícola*. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Vol 7 Núm 3. ISSN: 2227 – 8761 ISSNp: 2306 – 1545.
- Leiva, F., Carrizosa, J., Gómez, C., Latorre, A., Martínez, L., Mesa, G., León, N., Afanador, J, Sánchez, L., Melo, F., Velasco, L., Silva, J. & Mejía, H. (2013). *Política nacional para la gestión. República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.*
- Machado-Guevara, A. O.; Rajadel-Acosta, O. N. & Ponce Rancel, L. (2015). Manejo Sostenible de Tierras: evaluación de los procesos degradativos de la Unidad Básica de Producción Cooperativa La Josefa. *Revista Científica Agroecosistemas*, 3(2). <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/>
- Malagon, D. (2006). Los suelos de Colombia. IGAC
- Martínez, R., Villegas Delgado R., Cervera Duvergel G. (2018). Actualización de la Clasificación de los suelos en experimentos “Larga Duración” de la Red INICA. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 82–88. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Mendoza-Aguilar, D. O. Cortina, J. & Pando-Moreno, M.; (s. f.). (2014) *Biological soil crust influence on germination and rooting of two key species in a Stipa tenacissima steppe*. *Plant Soil*, 375, 267–274.
- México. Fertilab. (2023). *¿Por qué las Plantas necesitan Molibdeno?*. <https://fertilab.com.mx>
- México. Instituto para la Innovación Tecnológica, INTAGRIa. (2023). *Como nutrir y*

fertilizar a los cultivos, absorción nutrimental de elementos esenciales
<https://intagri.com/articulos/nutrición>

México. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, INTAGRIb. (2023). *El Aluminio y el Desarrollo Radical de los Cultivos*. <https://intagri.com>

México. Tradecorp. (2022). *Manganeso. El micronutriente esencial para la vida de tu cultivo*. <https://tradecorp.mx/>

Mojica, H. (2017). *Modelo y procedimiento para la gestión estratégica integrada de los recursos naturales en territorios áridos con orientación agroproductiva* (Tesis Doctoral). Universidad Central de Las Villas”.

Mojica-Zárate, H. T.; & Bolaño-Rodríguez, Y. (2019). Valoración estratégica integrada del uso sostenible del suelo en Sonora. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 20-28.

Molina, E. (2021). *Manejo de la acidez y encalado de los suelos. Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de los cultivos en Costa Rica*. ACCS.

Morales Díaz M. & Hernández Jiménez A. (2011). Consideraciones sobre el aumento del pH en suelos ferralíticos rojos lixiviados en las provincias Mayabeque y Artemisa. *Agrotecnia de Cuba*. 35 (2).

Ojeda- Quintana, L., Oropesa, A. D., Castañeda, I., Eupierre, H. & Chirino, V. (2007). Geomorfología, propiedades físicas y principales componentes de la fertilidad del suelo en un bosque semideciduomesófilo natural y en zonas de colecciones de plantas del Jardín Botánico de Cienfuegos. *Centro Agrícola*, 34 (3), 21-27.

Olivera Viciado D. (2012). Los suelos de Cuba. Madrimasd.org/blogs/universo/2012/01/19/141129

Ordazet, A., Cabrera, E. & Del Castillo, I. (2014). Tecnologías de manejo sostenible de suelos introducidas en el polígono. *Avances*, 391-401.

Orellana, R. y J. Moreno (2001). *Susceptibilidad de los suelos cubanos a la degradación*. (Congreso). Memorias XV Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Matanzas, Cuba.

Orellana, R., Moreno, J.M., Febles, J. M. & Vega, M. (2007). Propuesta de indicadores edáficos para medir la sostenibilidad de suelos Ferralíticos Rojos de la provincia La Habana, Cuba. (Congreso). *I Internacional de cooperación y desarrollo en*

espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Almería, España. Universidad de Almería.

Sainz-Rozas, H., Echeverría, H. E. & Angelini, H. P. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del suelo*, 29 (1), 29-37.

Sánchez, S., Hernández, M. & Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes*, 34(4).http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000400001

Sela, G. (2023). *El Magnesio en las plantas*. Cropaia. <http://croipaia.com/es/blog>

Taboada, M. A. & Álvarez, C.R.(a). (2008). *Introducción a la fertilidad física*. En *Fertilidad física de los suelos*. Facultad de Agronomía.

Taboada, M. A. & Álvarez, C. R.(b). (2008). *Fertilidad física de los suelos* (2.^a ed.). Argentina: Universidad de Buenos Aires.

Urquiza, N., Alemán, C., Flores, L., Marta, P. & Aguilar, Y.,(2011). *Manual de procedimientos para manejo sostenible de tierras*. CIGEA.

Wikipedia. Dutch pollutants standards. https://en.wikipedia.org/wiki/dutch_pollutant_standards

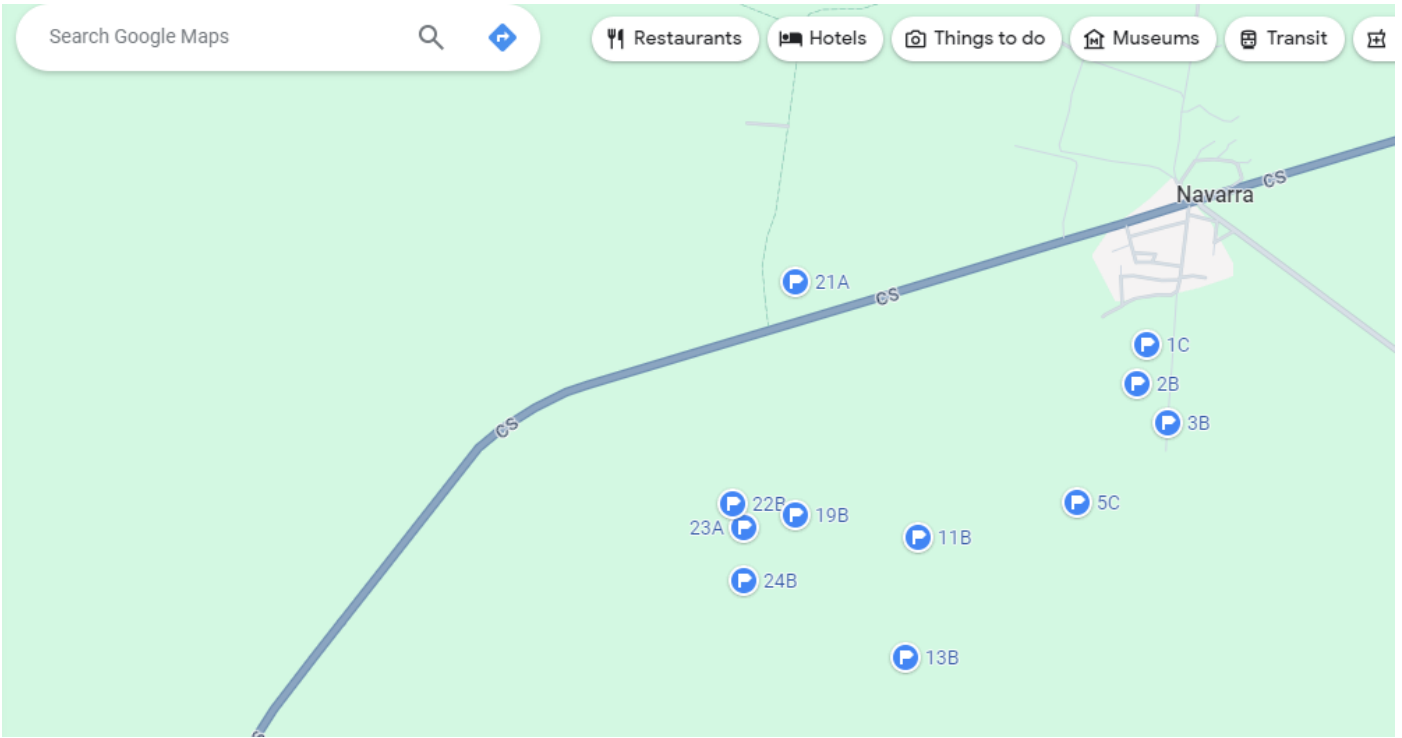
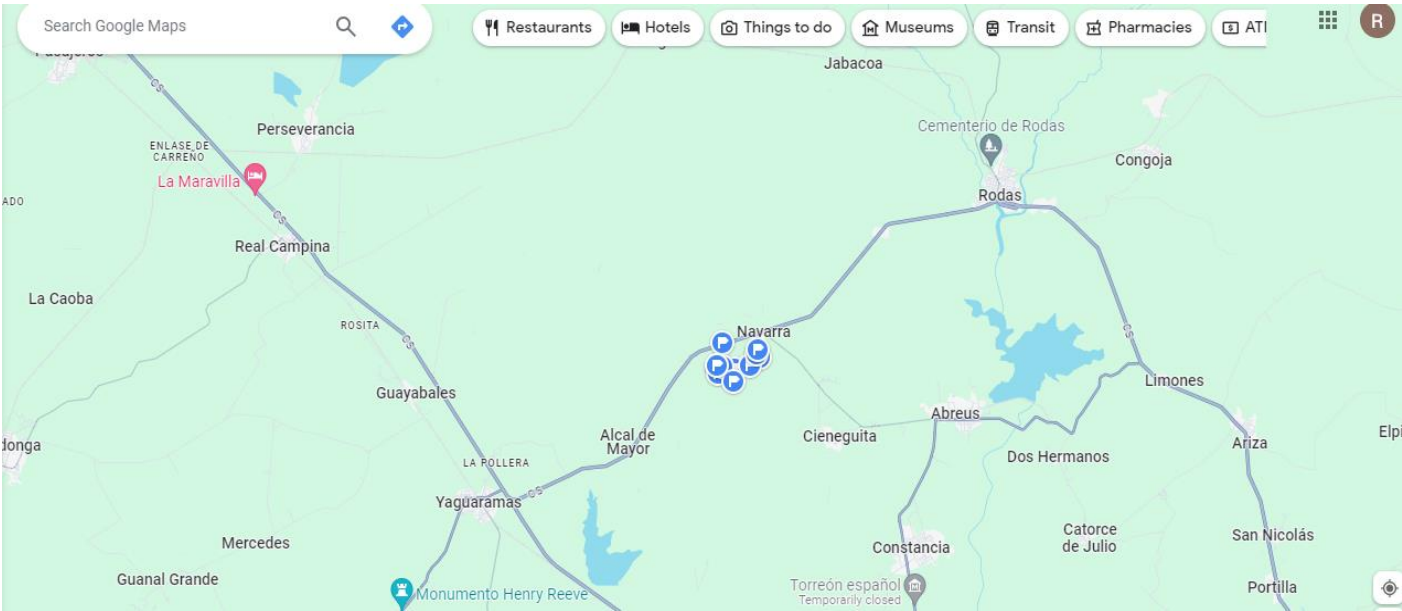
Zuluaga, A. (2013). *Ganadería colombiana sostenible*. *Hacia una Política Nacional de Ganadería Agroclimáticamente Sostenible*. Proyecto de ganadería sostenible. Colombia.

Anexos

Anexo 1. Resultados del control de calidad del método de EDXFR

Material de Referencia		MESS-4				
Elemento	Concentración obtenida en el ensayo	Fecha	Concentración certificada	Unidad	% Recuperación	En control
Al (Aluminio)	7,81	08/02/2023	7,91	%	99	Sí
K (Potasio)	2,36	08/02/2023	2,38	%	99	Sí
Ca (Calcio)	1,2	08/02/2023	1,31	%	92	Sí
Fe (Hierro)	3,81	08/02/2023	3,79	%	101	Sí
Si (Silicio)	26,98	08/02/2023	27,8	%	97	Sí
Mn (Manganeso)	317	08/02/2023	298	mg/kg	106	Sí
Sr (Estroncio)	129	08/02/2023	132	mg/kg	98	Sí
Cr (Cromo)	88	08/02/2023	94	mg/kg	94	Sí
Cu (Cobre)	29,18	08/02/2023	32,9	mg/kg	89	Sí
Zn (Zinc)	141	08/02/2023	147	mg/kg	96	Sí
As (Arsénico)	20,1	08/02/2023	21,7	mg/kg	93	Sí
Pb (Plomo)	18	08/02/2023	21,5	mg/kg	84	Sí
P (Fósforo)	1067	08/02/2023	1040	mg/kg	103	Sí
Ti (Titanio)	3941	08/02/2023	3840	mg/kg	103	Sí
V (Vanadio)	181	08/02/2023	216	mg/kg	84	Sí
Ni (Níquel)	39,2	08/02/2023	42,8	mg/kg	92	Sí
Br (Bromo)	53	08/02/2023	60	mg/kg	88	Sí
Y (Ytrio)	21	08/02/2023	20	mg/kg	105	Sí
Nb (Niobio)	11,7	08/02/2023	12	mg/kg	98	Sí
Mo (Molibdeno)	2,8	08/02/2023	2,53	mg/kg	111	Sí
Co (Cobalto)	13,2	03/04/2023	13	mg/kg	102	Sí
Ga (Galio)	18,1	03/04/2023	18	mg/kg	101	Sí

Anexo 2. Ubicación de los campos monitoreados



GRACIAS