

Unveiling the soil's potential: a greenhouse case study at AgroBolívar C.A.

Desvelando el potencial del suelo: caso de estudio casa de cultivo en AgroBolívar C.A.

Nemecis Astudillo M¹  , Marycarmen Rodríguez A¹  , José Castro-Soto²  

¹Universidad Politécnica Territorial del Estado Bolívar, Programa Nacional de Formación en Geociencias. Ciudad Bolívar, Venezuela.

²Universidad Politécnica Territorial del Estado Bolívar, Programa Nacional de Formación en Química. Ciudad Bolívar, Venezuela.

Cite as

Astudillo MN, Rodríguez AM. Unveiling the soil's potential: a greenhouse case study at AgroBolívar C.A. SAP Biomedical & Chemical Engineering Innovation. 2026; 5:210. <https://doi.org/10.56294/evk2026210>

Publication History

Submitted: 29-04-2025

Revised: 17-08-2025

Accepted: 25-12-2025

Published: 04-01-2026

Corresponding Author

Nemecis Astudillo M 

ABSTRACT

Agriculture is fundamental for economic and social development, with Bolívar state in Venezuela being an important agricultural producer. This research focused on characterizing the agricultural soil in a greenhouse of AgroBolívar C.A. in Ciudad Bolívar, with the objective of understanding its physical and chemical properties and its productive potential. A composite sampling was carried out in Greenhouse #3. The methodology included analyses of bulk density, particle density, porosity, pH, and exchangeable acidity. The results revealed high bulk density (Plot 1: 1,890 g·cm⁻³; Plot 2: 1,813 g·cm⁻³; Plot 3: 1,885 g·cm⁻³), a particle density suggesting a high organic matter content, and low porosity (Plot 1: 17,42 %; Plot 2: 23,28 %; Plot 3: 14,47 %). The pH varied from neutral (Plot 1) to moderately alkaline (Plots 2 and 3). Exchangeable acidity does not represent a limiting factor for the soils. It is concluded that the soil exhibits compaction with variability in pH, which should be considered to optimize management and crop selection.

Keywords: Acidity; Agricultural; Density; Ph; Soil.

RESUMEN

La agricultura es fundamental para el desarrollo económico y social, siendo el estado Bolívar en Venezuela un importante productor agrícola. Esta investigación se centró en caracterizar el suelo agrícola en una casa de cultivo de AgroBolívar C.A. en Ciudad Bolívar, con el objetivo de comprender sus propiedades físicas y químicas y su potencial productivo. Se realizó un muestreo compuesto en la Casa de Cultivo # 3. La metodología incluyó análisis de densidad aparente, densidad real, porosidad, pH y acidez intercambiable. Los resultados revelaron alta densidad aparente (Parcela 1: 1,890 g·cm⁻³; Parcela 2: 1,813 g·cm⁻³; Parcela 3: 1,885 g·cm⁻³), una densidad real que sugiere un elevado contenido de materia orgánica y baja porosidad (Parcela 1: 17,42 %; Parcela 2: 23,28 %; Parcela 3: 14,47 %). El pH varió de neutro (Parcela 1) a moderadamente alcalino (Parcelas 2 y 3). La acidez intercambiable no representa un factor limitante de los suelos. Se concluye que el suelo presenta compactación con variabilidad en el pH, lo que debe considerarse para optimizar el manejo y la selección de cultivos.

Palabras clave: Acidez; Agrícola; Densidad; Ph; Suelo.

INTRODUCCIÓN

La agricultura constituye la base de la presencia y permanencia del hombre sobre la tierra. Es la primera empresa creada por el hombre para satisfacer sus propias necesidades alimentarias y el excedente utilizarlo como trueque y así obtener otros productos necesarios para su vida diaria.^(1,2,3,4) A nivel nacional se reconoce Bolívar como un estado minero, pero la actividad agrícola es bastante productiva y significativa, en Ciudad Bolívar los rubros que se dan en mayor cantidad son: maíz, yacín, yuca, frijol y hortalizas varias, siendo un estado altamente productivo para su abastecimiento.⁽²⁾ La agricultura establece un factor fundamental para el desarrollo del país, ya que evita la fuga de divisas al auto-abastecernos y no tener que comprar en el exterior productos agrícolas que pueden ser producidos en el país y además porque pone a la disposición una amplia lista de productos, contribuyendo de esta manera a crear y expandir un verdadero sector de industrias agroalimentarias.^(1,5,6,7)

El suelo es un recurso natural fundamental del país, constituyendo el conocimiento de su potencial productivo un aspecto indispensable del 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.⁽³⁾ Desde el punto de vista agrícola, el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre donde germinan las semillas de todos tipos de plantas, profundizando luego sus raíces para fijarse y absorber los nutrientes y así producir alimentos. Está constituido por una sucesión de horizontes o capas horizontales caracterizados físicamente por su color, textura, tipo de material que la constituye y caracterizados químicamente por la presencia de micro elementos y macro elementos.^(1,8,9)

El presente estudio se centra en la caracterización del suelo agrícola en una casa de cultivo perteneciente a AgroBolívar C.A., una empresa ubicada en el estado Bolívar, Venezuela, cuya filosofía de gestión está intrínsecamente ligada a la producción y comercialización de alimentos agrícolas de alta calidad para consumo humano y animal. AgroBolívar C.A., también se dedica a brindar asesoría técnica a productores, lo que subraya la relevancia de comprender a fondo las propiedades del suelo en sus propias instalaciones.^(4,10,11)

El suelo es un sistema natural de gran complejidad en términos de procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos mantienen la vida de otros ecosistemas como, los ciclos de nutrientes y ciclo del agua, por lo tanto, favorecen la sobrevivencia humana.^(13,14,15) Aunque el suelo es un recurso que permite sostener el desarrollo de cultivos necesarios para la vida, recientemente se ha reconocido su susceptibilidad a la degradación y consecuente disminución de la productividad de cosechas.^(1,16,17) En este contexto, surge la siguiente interrogante que guía la presente investigación: ¿Cuáles son las características físicas y químicas del suelo agrícola presente en la casa de cultivo de AgroBolívar C.A., y cómo se relacionan estas características con el potencial productivo de la empresa?

Los análisis del suelo pueden proporcionar a los agricultores información sobre las características únicas de su suelo, lo que les permite tomar decisiones basadas en datos sobre las prácticas de gestión del suelo que, en última instancia, mejoran el rendimiento de los cultivos y la salud general del suelo.^(5,18,19) Es por esto que esta investigación es de suma importancia tanto para AgroBolívar C.A., como para el sector agrícola del estado Bolívar. Comprender las propiedades específicas del suelo en sus casas de cultivo permitirá a la empresa optimizar sus estrategias de fertilización, riego y otras prácticas de manejo, lo que podría traducirse en una mayor eficiencia productiva y una mejora en la calidad de sus alimentos agrícolas. Además los resultados de este estudio podrían servir como base para futuras investigaciones y para la formulación de recomendaciones técnicas dirigidas a otros productores de la región, contribuyendo así al fortalecimiento del sector agrícola local.

MÉTODO

Ubicación Geográfica



Figura 1. Situación geográfica del área de recolección de las muestras (a) Centro Agrícola Jardín Botánico AgroBolívar C.A.⁽⁶⁾

La muestra de suelo fue recolectada en una Casa de Cultivo con una extensión de 800 m², ubicada dentro del Centro Agrícola “Jardín Botánico” de AgroBolívar C.A. Este centro se encuentra estratégicamente localizado en la avenida 5 de Julio, sector La Fuente Luminosa, Parroquia Catedral del Municipio Angostura del Orinoco, estado Bolívar (figura 1), específicamente en la Casa de Cultivo N° 3.

Recolección de la muestra

La recolección de la muestra se realizó bajo un esquema de muestreo compuesto en la Casa de Cultivo N° 3, con una extensión de aproximadamente 800 m², perteneciente a AgroBolívar C.A. (figura 2a y 2b). Dada la presunción de uniformidad del suelo en esta área, se optó por obtener una muestra compuesta, integrada por veinte submuestras individuales. Para asegurar una adecuada representatividad de las condiciones del suelo en toda la superficie de la casa de cultivo, se implementó un patrón de muestreo sistemático en zig-zag, garantizando así la inclusión de variaciones espaciales dentro del análisis.



Figura 2. Diagrama de casa de cultivo. a) Parcela 1, b) Parcela 3 y c) puntos de muestreo



Figura 3. Recolección de la muestra a) remoción de la capa vegetal, b) calicatas, c) muestras colectadas en un balde de plástico, d) traspasó a una bolsa de plástico

En cada punto de muestreo se removió la capa vegetal para evitar su inclusión (figura 3a). Se realizaron calicatas de aproximadamente de 20 x 20 x 20 centímetros (figura 3b). Las muestras fueron extraídas y colectadas en un balde de plástico (figura 3c), una vez culminado el muestreo se traspasó toda la muestra a una bolsa de plástico resistente y sin uso, las cual fue cerrada herméticamente e identificada adecuadamente. Finalmente, la muestra fue trasladada al laboratorio para sus análisis (figura 3d).

Preparación de la muestra

Una vez en el laboratorio, la muestra fue cuidadosamente extendida sobre una lámina de plástico limpia (figura 4a). Se procedió a una homogenización mediante una mezcla manual, tras lo cual se aplicó un cuarteo en cuatro etapas sucesivas (figura 4b). Este proceso de reducción progresiva permitió obtener una porción representativa de aproximadamente un kilogramo, la cual fue resguardada en una bolsa de plástico nueva y debidamente identificada con su código correspondiente (figura 4c). Posteriormente, esta muestra fue extendida en un lugar ventilado y dejada secar al aire durante 24 horas. Una vez alcanzada la sequedad adecuada, la muestra fue tamizada utilizando un tamiz de laboratorio con una abertura de malla de 1 mm, correspondiente al número 16 (figura 4d), con el fin de obtener una granulometría uniforme para los análisis posteriores.



Figura 4. Preparación de la muestra: a) homogenizado y cuarteo, b) descarte de dos fracciones del cuarteo, c) porción de aproximadamente un kilo y d) muestra tamizada

Densidad de masa de los suelos (ρ)

Constituye una medida de que tan compacta o densa es la tierra, depende de su estructura (forma) de cuántos espacios (poros) existen en la muestra, cuán compactados se encuentran estos, así como la composición del material sólido. Los suelos compuestos de minerales (arena, limo y arcilla) tendrán una densidad de masa diferente a los suelos hechos de materia orgánica. En general, la densidad de los suelos puede variar de $0,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ en suelos con muchos espacios hasta $2,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ o más en horizontes muy compactos. Esto ayuda a determinar cuánto aire o agua puede almacenarse o pasar a través de los suelos, también indica cuán estrecha es la vinculación de las partículas y si será difícil o fácil que penetren las raíces en el horizonte. La densidad del suelo puede determinarse de dos formas, la Densidad Aparente (ρ_A) y la Densidad Real (ρ_R).⁽⁹⁾

Densidad aparente (ρ_A) mediante el método de la parafina

Es la masa de una unidad de volumen del suelo seco con su espacio poroso, este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que refleja la porosidad total del suelo, es un parámetro muy importante para describir la calidad del suelo y la función del ecosistema.^(3,8,9) Esta dada por la expresión:

$$\rho_A = P_{ss} / V_t \quad (1)$$

Dónde:

ρ_A : Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

P_{ss} : Masa de suelo seco (g).

V_t ; Volumen total (cm^3).

La ρ_A es variable a la diferencia textural. Los suelos arenosos, poseen mayor ρ_A que los arcillosos y limosos, debido al menor porcentaje de porosidad suelo arenoso). Además está afectada por la estructura del suelo, grado de compactación, expansión y contracción de las partículas y contenido de humedad. Las operaciones de mecanización que dispersan el suelo disminuyen su densidad aparente, mientras que la compactación la aumenta.⁽⁸⁾ En este sentido, valores de ρ_A bajos indican una condición porosa del suelo, por otro lado, valores altos expresan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la función hidrológica como reducción de la velocidad de infiltración del agua.^(3,9) Es de destacar, que la ρ_A depende de la materia orgánica, la textura del suelo, la densidad de las partículas minerales del suelo (arena, limo y arcilla) y su disposición. En suelos arcillosos encontramos poros pequeños y estrechos, mientras que, los suelos arenosos tienen los poros grandes y forman canales continuos⁽⁹⁾ (tabla 1).

Tabla 1. Relación entre la densidad aparente, textura del suelo y su influencia en el desarrollo radicular de la planta			
Textura	Crecimiento		
	Ideal	Afecta	Restringe
Arenoso – Arenoso franco	<1,60	1,69	>1,80
Franco arenoso - franco	<1,40	1,63	>1,80
Franco arcilloso arenoso – Franco arcilloso	<1,40	1,60	>1,75
Limo – Franco limoso	<1,40	1,60	>1,75
Franco arcillo limoso	<1,40	1,55	>1,65
Arcillo limoso – Arcillo arenoso	<1,10	1,49	>1,58
Arcilla	<1,10	1,39	>1,47

Fuente: ⁽⁹⁾

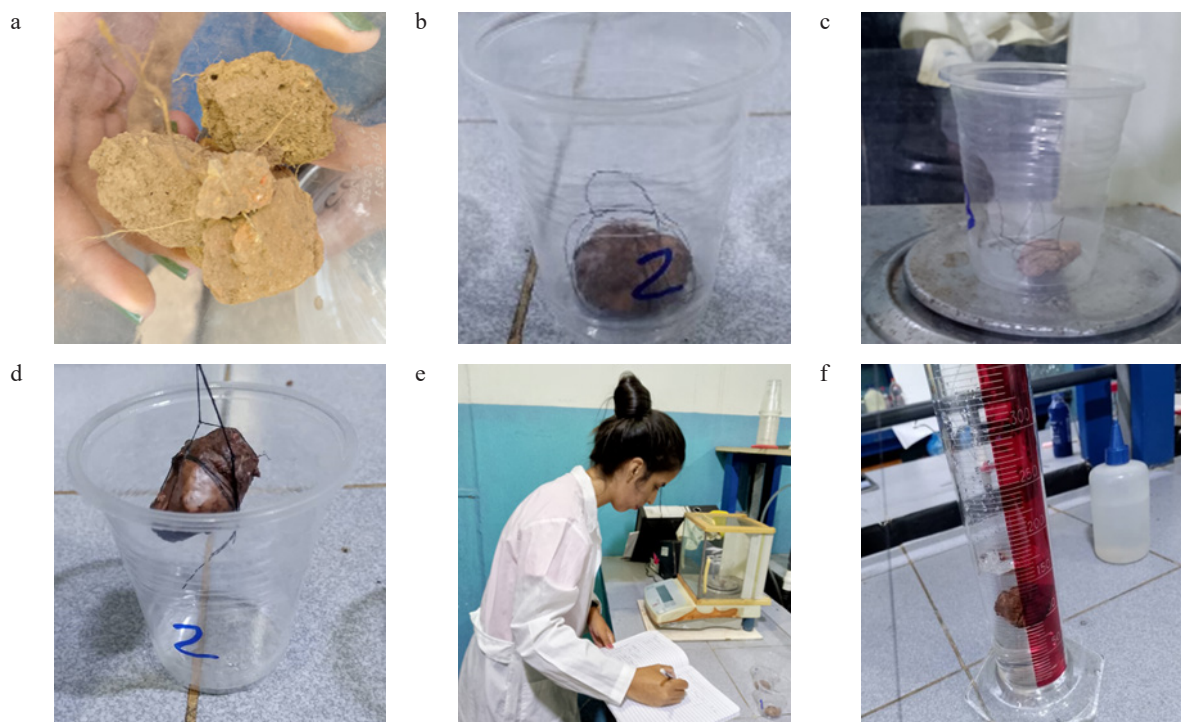


Figura 5. Densidad aparente (ρ_A) mediante el método de la parafina, a) agregado de suelo (no disturbado y seco), b) agregado de suelo atado a un hilo, c) pesada del conjunto (P_{ss}). d) recubrimiento del agregado en parafina, e) pesada del conjunto (P_{sp}) y e) determinación del volumen del agregado parafinado (V_a)

Se tomó un agregado de suelo (no disturbado y seco) (figura 5a), se ató al extremo de un hilo (figura 5b). En balanza analítica (*OHAUS, Adventurer*) se pesó el conjunto (P_{ss}) (figura 5c). Se calentó parafina hasta llevar a fase líquida. Se sumergió el agregado en la parafina hasta cubrir completamente, se retiró y dejó secar al aire (figura 5d). Una vez seca la parafina se pesó de nuevo el conjunto parafinado (P_{sp}) (figura 5e). Por otro lado, se llenó con agua destilada un cilindro graduado de 250 mL (hasta el 50 % de su capacidad) se tomó nota de este volumen. Se sumergió el agregado en el agua destilada del cilindro y se tomó nota del volumen desplazado (V_a) (figura 5e).

Cálculos

$$\rho_A = \frac{P_{SS}}{V_d - \left[\frac{P_{SP} - P_{SS}}{0,9} \right]} \quad (2)$$

Dónde:

ρ_A : Densidad aparente.

P_{SS} : Peso del agregado de suelo sin parafinar.

P_{SP} : Peso del agregado de suelo parafinado.

V_d : Volumen desplazado.

0,9: Densidad de la parafina.

Densidad Real (ρ_R) mediante el método del picnómetro

Es la relación entre la unidad de masa y la unidad de volumen del suelo, la cual es más o menos constante, debido a que está determinado por la composición química y mineralógica de la fase sólida. La ρ_R expresa la densidad de las partículas del suelo excluyendo el espacio poroso. La mayor parte de los componentes del suelo (aluminosilicatos, sílice) poseen una densidad entre 2,6–2,7 g·cm⁻³, se toma un valor medio de 2,65 g·cm⁻³. La posible variación de la ρ_R del suelo se debe a la cantidad de materia orgánica.⁽⁹⁾ Si la ρ_R es <2,65 g·cm⁻³ se puede suponer que el suelo posee un alto contenido de yeso o de materia orgánica, si >2,65 g·cm⁻³ se puede inferir un elevado contenido de óxidos de hierro o minerales ferromagnéticos.⁽⁸⁾

Se pesó un picnómetro limpio y seco (W_a) en balanza analítica (OHAUS, Adventurer). Seguidamente, se pesó una porción aproximada de 10 g de suelo seco y se introdujo en el picnómetro (W_s). Con suma delicadeza, se añadió agua destilada dióxido de carbono (CO₂), hasta completar la capacidad total del picnómetro, evitando la formación de burbujas. Tras colocar la tapa, se procedió a secar la superficie exterior del picnómetro antes de realizar una nueva pesada (W_{sw}). El contenido del picnómetro se descartó y este se llenó nuevamente sólo con agua destilada libre de CO₂, realizándose una última pesada (W_w). Este protocolo se repitió por triplicado. Finalmente, se registró la temperatura del agua durante el experimento para los cálculos de densidad (figura 6).



Figura 6. Procedimiento la determinación de la densidad real mediante el método del picnómetro⁽⁷⁾

Tabla 2. Densidades del agua en función de la temperatura

T (°C)	ρ (g·cm ⁻³)	T (°C)	ρ (g·cm ⁻³)	T (°C)	ρ (g·cm ⁻³)
19,0	0,99843	23,0	0,99757	27,0	0,99652
20,0	0,99823	24,0	0,99733	28,0	0,99624
21,0	0,99802	25,0	0,99705	29,0	0,99595
22,0	0,99780	26,0	0,99683	30,0	0,99567

Fuente: ⁽⁸⁾

Cálculos

$$\rho_R = \frac{d_w(W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)} \quad (3)$$

Dónde:

ρ_R : Densidad real.

d_w : Densidad del agua en función de la temperatura (tabla 2).

W_s : Peso del picnómetro más suelo.

W_a : Peso del picnómetro vacío.

W_{sw} : Peso del picnómetro más suelo más agua.

W_w : Peso del picnómetro más agua.

Cálculos del porcentaje de porosidad⁽⁹⁾

La porosidad es importante para el intercambio gaseoso del suelo con la atmósfera, el crecimiento de raíces, movimiento y almacenamiento de agua. Es el porcentaje del volumen del suelo que es ocupado por el espacio poroso. El espacio poroso está formado por los poros existentes entre las partículas del suelo y los agregados, de aquí que la textura y estructura del suelo son los principales factores que determinan el espacio poroso del suelo.⁽⁸⁾

Cálculos

$$\%P = 100 - \left(\frac{\rho_A}{\rho_R} \times 100 \right) \quad (4)$$

Dónde:

%P: Porcentaje de porosidad.

ρ_A : Densidad aparente.

ρ_R : Densidad real.

Acidez mediante análisis potenciométrico⁽¹⁰⁾

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas.⁽¹⁰⁾ El potencial de hidrogeno (pH) es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos (H^+) que se da en la interfase líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos (figura 7).⁽¹¹⁾

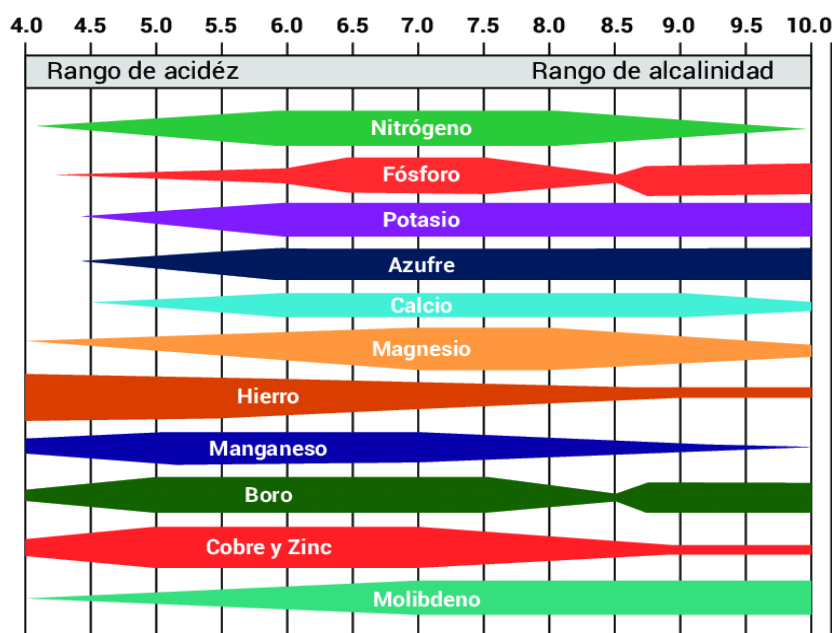


Figura 7. Disponibilidad de nutrientes según el pH⁽¹²⁾

El pH del suelo es una propiedad química que influye en la regulación de la disponibilidad de nutrientes y muchos otros procesos. Cada uno de los nutrientes está disponible para la absorción de las plantas a diferentes pH del suelo, por eso los diferentes cultivos crecen bien a diferentes valores de pH. Valores entre 5,5 y 7,5 son adecuados para la mayoría de los cultivos, ya que una mayor variedad de nutrientes serían disponibles⁽¹³⁾ (tabla 3).

Tabla 3. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	< 5,0
Moderadamente ácido	5,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Medianamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino	> 8,5

Fuente:⁽¹⁰⁾

Se pesó en balanza analítica (OHAUS, Adventurer) 10 g de suelo y se depositó en un vaso de precipitado de 50 mL. Seguidamente se adicionó 20 mL de agua destilada al vaso de precipitado conteniendo la muestra de suelo y con una varilla de vidrio se agitó la mezcla a intervalos de cinco minutos, durante treinta minutos. Se midió el pH en la suspensión, inmediatamente después la agitación, se dejó estabilizar la lectura y finalmente se registró la lectura. El procedimiento se realizó por triplicado (figura 8).

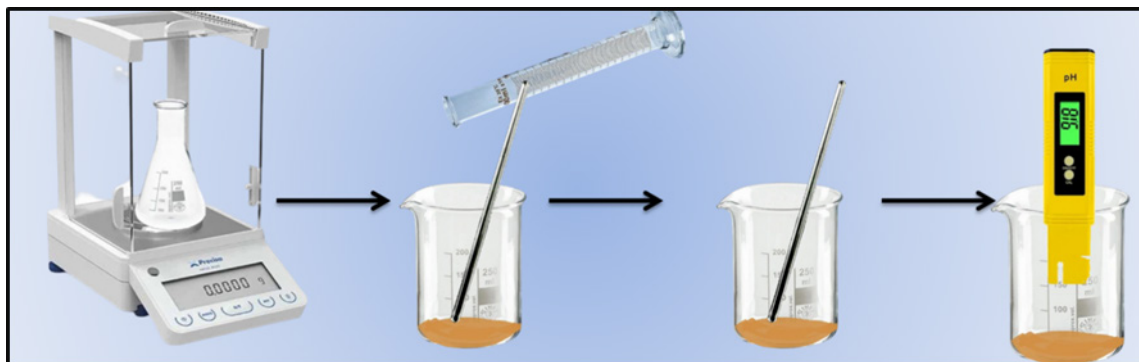


Figura 8. Diagrama del procedimiento para la determinación del pH⁽⁷⁾

Acidez intercambiable ($Al^{3+} + H^{+}$)

En suelos agrícolas el valor del pH varía normalmente entre 4 y 10. Sin embargo, entre más bajo sea el pH del suelo, habrá mayor concentración de aluminio y las altas concentraciones de aluminio intercambiable resultan tóxicas para las plantas. También se ven alteradas las poblaciones de microorganismos que intervienen en los ciclos del nitrógeno y el azufre. Por otra parte, la disponibilidad del fósforo se reduce, ya que forma compuestos insolubles con el hierro y aluminio, generando deficiencias en la calidad del suelo.⁽¹¹⁾ El suelo ácido puede contener altas concentraciones de elementos como el aluminio (Al), hierro (Fe) y manganeso (Mn) resultando tóxicos para la gran mayoría de las plantas.⁽¹⁾ Por otro lado, la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas está relacionada con la acidez del suelo. La acidez intercambiable ocurre mediante la hidrólisis del aluminio (Al) en solución y por el ion hidrógeno (H^{+}) intercambiable. Este último tiene valor muy pequeño al pH que se encuentra en el suelo; por tanto, lo que se determina es el aluminio intercambiable.⁽¹⁾

La determinación de la acidez intercambiable se basa en el uso de una sal neutra, el cloruro de potasio (KCl) 1,0 mol L⁻¹, con un ion desplazante (K^{+}) el cual provoca que los iones de aluminio (Al^{3+}) e iones hidrogeno (H^{+}) pasen a la solución, en esta forma el filtrado de la muestra (suelo, sedimento u abono orgánico) se encuentran ácido y pueden titularse con una solución básica, de modo que la cantidad de acidez será igual a la cantidad de base usada entre los puntos de neutralización. La titulación se lleva a cabo hasta el extremo alcalino usando fenolftaleína (pH 8,2) como indicador. El aluminio se acompleja con KCl, liberándose una cantidad equivalente de H^{+} , los cuales son valorados con hidróxido de sodio (NaOH) 0,01N.⁽¹²⁾

Se pesó en balanza analítica (OHAUS, Adventurer) cerca de 2,5 g de la muestra de suelo seco tamizada (partículas <2 mm) y se transfirió a un vaso de precipitado de tamaño apropiado, seguidamente se añadió a la muestra 25 mL de cloruro de potasio (KCl) 1,0 mol L⁻¹ (proporción: 1 a 10). La mezcla se sometió a agitación magnética empleando una plancha de calentamiento y agitación (Lab. Compañión, HP-3000) durante 30 minutos para asegurar la extracción de los iones Al^{3+} y H^{+} se intercambien por los iones potasio (K^{+}), terminada la agitación se dejó reposar por 20 minutos. Se filtró por gravedad y se tomó una alícuota de 25 mL del filtrado obtenido (contendrá los iones Al^{3+} y H^{+}), seguidamente se añadió 25 mL de agua destilada y unas gotas del indicador fenolftaleína al 3 %. Se inició la titulación con NaOH 0,01 N hasta obtener una coloración rosa pálido persistente. El procedimiento se realizó por triplicado. Finalmente, se realizó un blanco (figura 9).

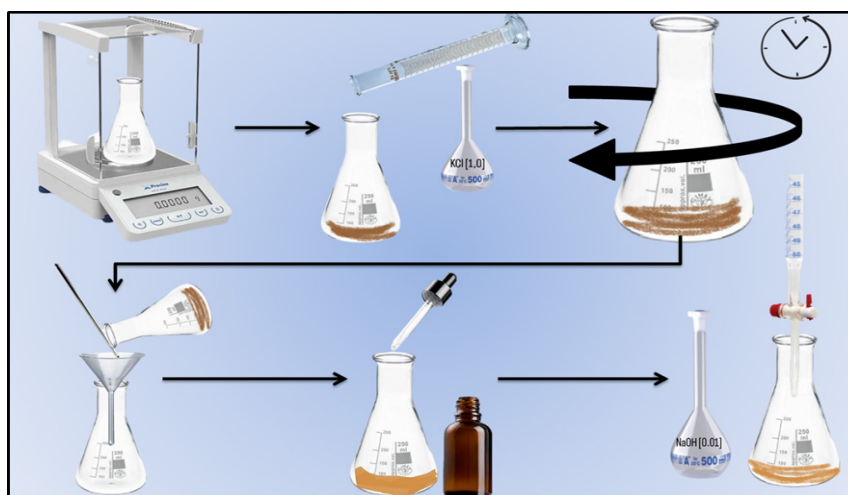


Figura 9. Diagrama del procedimiento de acidez intercambiable del suelo⁽⁷⁾

Cálculos

$$AI \text{ (meq/100 g)} = \frac{(V_m - V_b) \times N_{NaOH} \times 100}{m_s \text{ (g)}} \quad (5)$$

Dónde:

V_m : Volumen de NaOH gastado en la titulación de la muestra (en mL).

V_b : Volumen de NaOH gastado en la titulación del blanco (en mL).

M: Molaridad de la solución de NaOH.

100: Factor de conversión para expresar el resultado en meq/100 g.

m_s : Peso de la muestra de suelo (en gramos).

Presentación, análisis e interpretación de resultados

Densidad aparente (ρ_A)

Los altos valores de la densidad aparente (ρ_A) en las tres parcelas son significativamente altos para todos los tipos de textura de suelos siniestrados en la relación entre la densidad aparente, textura del suelo,⁽⁹⁾ lo que sugiere un espacio poroso reducido. Esto podría implicar condiciones desfavorables para la aireación, la infiltración de agua y el crecimiento de las raíces (tabla 4).

Tabla 4. Densidad aparente (ρ_A)		
Parcela	$\rho_A \text{ (g·cm}^{-3}\text{)}$	$s \text{ (g·cm}^{-3}\text{)}$
1	1,890	0,111
2	1,813	0,561
3	1,885	0,320

Densidad real (ρ_R)

Los valores de la densidad real (ρ_R) son inferiores al valor de $2,65 \text{ g·cm}^{-3}$ que se espera para la mayoría de los componentes minerales del suelo como los aluminosilicatos y la sílice.⁽¹³⁾ Los resultados sugieren la presencia de componentes con menor densidad, en consecuencia, el suelo podría tener un elevado contenido de materia orgánica (tabla 5).

Tabla 5. Densidad real (ρ_R)		
Parcela	$\rho_R \text{ (g·cm}^{-3}\text{)}$	$s \text{ (g·cm}^{-3}\text{)}$
1	2,288	0,053
2	2,364	0,010
3	2,204	0,056

Porcentaje de porosidad

Considerando los resultados obtenidos del porcentaje de porosidad son significativamente bajos (tabla 6) si consideramos que un suelo agrícola generalmente presenta una porosidad entre el 40 % y el 60 %.⁽¹⁴⁾ Una porosidad tan reducida, confirma la inferencia obtenida a partir de la alta densidad aparente, que sugería un espacio poroso limitado. La baja porosidad observada puede tener varias implicaciones negativas para el suelo, entre las que se pueden citar, la dificultad de aireación del suelo, lo cual es esencial para la respiración de las raíces de las plantas y la actividad de los microorganismos beneficiosos. Además, limita la infiltración y el almacenamiento de agua, generando problemas de disponibilidad hídrica, especialmente en períodos secos. El crecimiento de las raíces también puede verse restringido en suelos con baja porosidad debido a la falta de espacio para su desarrollo.

Tabla 6. Porcentaje de porosidad	
Parcela	Porosidad (%)
1	17,42
2	23,28
3	14,47

Potencial de hidrógeno (pH)

La Parcela 1 presenta un pH 7,2. Este valor se sitúa en el rango de 6,6 – 7,3 lo que indica que el suelo de esta parcela se considera neutro. Por lo que se considera adecuado para la mayoría de los cultivos, ya que en este intervalo la disponibilidad de una amplia gama de nutrientes para las plantas es óptima. La Parcela 2 muestra un pH 7,8 y la Parcela 3 con un pH 7,9 (tabla 7). Este valor se

sitúa en el rango de 7,4 a 8,5, lo que indica que el suelo de esta parcela se considera medianamente alcalino. Si bien algunos cultivos pueden tolerar o incluso preferir condiciones ligeramente alcalinas, para otros puede afectar la disponibilidad de ciertos nutrientes como el hierro, el manganeso, el cobre y el zinc, nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, potencialmente limitando la absorción de microelementos importantes, estos tienden a ser menos solubles a pH altos.

Tabla 7. Potencial de hidrógeno (pH)		
Parcela	pH	s
1	7,2	<0,1
2	7,8	<0,1
3	7,9	0,1

En general, los resultados indican que el suelo de la Parcela 1 presenta un pH óptimo para una amplia variedad de cultivos. Sin embargo, las Parcelas 2 y 3 muestran condiciones de alcalinidad moderada que podrían tener implicaciones en la disponibilidad de ciertos nutrientes. Si bien la mayoría de los macronutrientes no suelen verse significativamente afectados por este nivel de alcalinidad, es importante considerar los requerimientos específicos de los cultivos que se planean sembrar en estas parcelas, ya que algunos pueden ser más sensibles a la alcalinidad que otros. En caso de cultivar especies que prefieren suelos neutros o ligeramente ácidos, se podrían considerar estrategias de manejo del suelo para reducir el pH en las Parcelas 2 y 3.

Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^+$)

El análisis de acidez intercambiable se suele realizar en suelos con pH inferior a 5,5 debido a que en estos suelos ácidos la presencia de iones de aluminio (Al^{3+}) se incrementa significativamente, pudiendo alcanzar niveles tóxicos para la mayoría de las plantas. Dado que las tres parcelas presentaron valores de pH superiores a 7,0, lo que indica condiciones alcalinas, la determinación de la acidez intercambiable no se consideró necesario. Se considera que la presencia de aluminio intercambiable es mínima y no representa una preocupación para el desarrollo de los cultivos, siendo otros parámetros como la alcalinidad y la presencia de carbonatos los factores más relevantes a evaluar.

CONCLUSIONES

Las casas de cultivo de AgroBolívar C.A. presentan suelos con características físicas contrastantes. Si bien la alta densidad aparente y la baja porosidad sugieren compactación, lo que podría limitar la aireación y la infiltración de agua, la densidad real indica un contenido elevado de materia orgánica que podría mitigar estos efectos. Químicamente, el pH varía entre neutro (Parcela 1) y moderadamente alcalino (Parcelas 2 y 3), lo que podría influir en la disponibilidad de microelementos en estas últimas. La acidez intercambiable no representa un factor limitante dado el pH alcalino de los suelos. En general, se observa una variabilidad en las propiedades del suelo que debe ser considerada para optimizar las prácticas de manejo y la selección de cultivos en las diferentes áreas de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a AgroBolívar C.A. por abrirnos las puertas de sus casas de cultivo y brindar el invaluable apoyo logístico que hizo posible la realización de esta investigación. En especial, extendemos nuestro profundo reconocimiento a su presidenta Mirla Urbaneja, por su visión y generosidad al concedernos esta oportunidad de caracterizar los suelos agrícolas de su importante institución. Su compromiso con la investigación y el desarrollo agrícola en la región fue fundamental para el éxito de este estudio. Agradecemos la confianza depositada en nuestro equipo y la apertura mostrada durante todo el proceso de recolección y análisis de datos.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Nemecis Astudillo M, Marycarmen Rodríguez A, José Castro-Soto.

Curación de datos: Nemecis Astudillo M, Marycarmen Rodríguez A, José Castro-Soto.

Análisis formal: Nemecis Astudillo M, Marycarmen Rodríguez A, José Castro-Soto.

Redacción – borrador original: Nemecis Astudillo M, Marycarmen Rodríguez A, José Castro-Soto.

Redacción – revisión y edición: Nemecis Astudillo M, Marycarmen Rodríguez A, José Castro-Soto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arvelaez, Erika, y otros, y otros. Manual de prácticas de laboratorio de tratamiento y gestión de suelos II. Segunda. Barranquilla : Universidad de la Costa 1970, 2021.

2. Moreno, Ivannia. Bolívar se alza como un estado altamente productivo. Últimas Noticias. 13 de Junio de 2020, pág. 5.
3. Bazán, Rubén. Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Lima : Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, 2017.
4. Urbaneja, Mirla. ¿Qué es Agrobolivar CA? [entrev.] Maikelys Astudillo. Ciudad Bolívar, 07 de Abril de 2025.
5. GeoPardAgriculture. ¿Cuál es el proceso de análisis de suelo? 2024. https://geopard-tech.translate.google.com/blog/what-is-the-process-of-soil-testing/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#.
6. Google Maps. Situación geográfica del área de recolección de las muestras. 2025. https://www.google.com/maps/@8.138209,-63.5398107,369m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUxMy4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D.
7. Levine, Elissa y Washburne, Jim . Investigación de suelos. Una Investigación de Aprendizaje de GLOBE™. s.l. : GLOBE™, 1997.
8. Ortiz, Kelder. Laboratorio de Química General I. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala : s.n., 2016. Manual de prácticas de laboratorio.
9. Gómez Giraldo, Juan Carlos . Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Tolima : Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), 2013.
10. Pinto Bravo, Nathalia. Caracterización físico-química de la calidad del suelo agrícola en la finca “La Segoviana. Programa Nacional de Formación en Química, Universidad Politécnica Territorial del Estado Bolívar. Ciudad Bolívar : Universidad Politécnica Territorial del Estado Bolívar. Programa Nacional de Formación en Química. No publicado, 2024. Proyecto presentado como requisito parcial para optar al título de Técnico Superior Universitario en Química.
11. Meléndez, Stalin y Castillo, Francisco. Prácticas de Química General. Mérida : Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Escuela de Farmacia, Departamento de Análisis y Control, Cátedra de Análisis Farmacéutico, 2007.
12. Arbeláez, Erika, Suárez, Erika y Ramos, Claudete. Manual de Prácticas de Laboratorio de Tratamiento y Gestión del Suelo I. Barranquilla : Editorial Universitaria de la Costa.
13. NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 31 de Diciembre de 2002. <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>.
14. Fernández Linares, Luis Carlos, y otros, y otros. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México, D. F. : Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006.
15. Fertilab. NTF 19-024 ¿Qué es el pH del suelo y para qué nos sirve? . <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-024-Que-es-el-pH-del-suelo-y-para-que-nos-sirve.pdf>.
16. FAO. pH del suelo. 2024. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSDP/Field_exercises/New_Format_ES/C01a-pH-LDD-ES.pdf.
17. Solano, Arnold. Acidez y aluminio intercambiable en suelos. HANNA Instruments S.A.S. <https://hannacolombia.com/agro/blog/item/acidez-y-aluminio-intercambiable-en-suelos#:~:text=La%20propiedad%20qu%C3%ADmica%20que%20permite,condiciones%20que%20mantengan%20la%20producci%C3%B3n>.
18. Flores, Juan Milton. Practica Determinación de Acidez Intercambiable en suelos (Al+3). cana de YouTube de Juan Milton Flores Tensos. 07 de Octubre de 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=mW87hhZA0Ms>.
19. Southern Scientific Services Ltd. Una guía sencilla sobre las propiedades físicas del suelo: textura, densidad, porosidad y permeabilidad. 2025. <https://southernscientificireland.com/2025/02/07/key-soil-properties/>.