

AGROPECUARIA

COMPARACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE pH EN SUELOS Y SUSTRATOS ORGÁNICOS EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA

COMPARISON OF ANALYTICAL METHODS FOR THE DETERMINATION OF PH IN SOILS AND ORGANIC SUBSTRATES IN WESTERN VENEZUELA

Autores:

Moreno, Oswaldo¹**ORCID:** 0009-0004-2195-6906**Sulbaran, José**^{1*}**ORCID:** 0000-0002-0764-8067**Gil, Eduardo**¹**ORCID:** 0009-0002-7037-6292**Ramírez, Beatriz**¹**ORCID:** 0009-0002-6976-700X

¹ Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela.

*Corresponding Author: jsulbaran@unef.edu.ve

RESUMEN

El pH es un parámetro fundamental en la agricultura, ya que influye en numerosas reacciones químicas y biológicas que ocurren en suelos y sustratos, afectando la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, la medición del pH puede variar considerablemente según el método empleado, lo que dificulta la comparación de resultados entre diferentes estudios científicos. Este trabajo tuvo como objetivo comparar seis métodos de determinación del pH en tres tipos de suelos (arenoso, franco y arcilloso) y tres sustratos orgánicos, todos utilizados en la producción hortícola en el Occidente de Venezuela. Las muestras fueron caracterizadas en el laboratorio de la UNET (propiedades físicas y químicas) con 5 repeticiones cada uno y se midió el pH con seis métodos usando agua destilada como extractor. Los métodos variaron en relación suelo-agua (1:1 a 1:5), tiempo de agitación (30 segundos a 60 minutos) y reposo (0 minutos a 24 h). Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante la prueba H de Kruskal-Wallis. Se observó que las propiedades físicas y químicas de los suelos y sustratos son heterogéneas, lo que influye en la variabilidad de los valores de pH obtenidos. Además, se determinó que el pH depende principalmente de la proporción de agua utilizada, el tiempo de agitación y el reposo previo a la medición. Entre los métodos evaluados, el método 3 (relación 1:2,5, 60 minutos de agitación y sin reposo) se destacó como el más eficiente, permitiendo una determinación rápida y sencilla del pH tanto en suelos como en sustratos.

ABSTRACT

pH is a fundamental parameter in agriculture, as it influences numerous chemical and biological reactions occurring in soils and substrates, affecting nutrient availability and crop development. However, pH measurement can vary considerably depending on the method used, making it difficult to compare results across scientific studies. This study aimed to compare six pH determination methods in three soil types (sandy, loam, and clay) and three organic substrates, all used in horticultural production in western Venezuela. The samples were characterized in the UNET laboratory (physical and chemical properties) with five replicates each, and pH was measured using six methods using distilled water as the extractant. The methods varied in soil-to-water ratio (1:1 to 1:5), stirring time (30 seconds to 60 minutes), and standing time (0 minutes to 24 hours). The results were statistically analyzed using the Kruskal-Wallis H test. It was observed that the physical and chemical properties of soils and substrates are heterogeneous, which influences the variability of the pH values obtained. Furthermore, it was determined that pH depends primarily on the proportion of water used, the stirring time, and the amount of time the soil was allowed to stand before measurement. Among the methods evaluated, method 3 (1:2.5 ratio, 60 minutes of stirring, and no standing) stood out as the most efficient, allowing rapid and simple pH determination in both soils and substrates.

Palabras clave: Comparación, pH, métodos, suelo, sustrato.

Key words: Comparison, pH, methods, soil, substrate.

Recibido: 13/10/2024

Aprobado: 18/05/2025

INTRODUCCIÓN

El término suelo ha recibido múltiples definiciones a lo largo de los años. Se puede definir como un cuerpo natural, dinámico, vivo, considerándose como una interfaz entre: la biosfera, la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera. Los suelos desempeñan múltiples funciones ambientales y prestan variados servicios ecosistémicos (Porta *et al.*, 2019). Las propiedades del suelo son aquellas que definen las características específicas para su respectiva clasificación de los diferentes tipos de suelo, es allí donde se encuentran las propiedades químicas, físicas y biológicas (Navarro, 2013).

El conocimiento de las propiedades químicas de un suelo tiene una gran importancia, debido a que la determinación de estas nos indicará las características estas que inciden en la capacidad productiva de los cultivos, ya sean a corto o largo plazo (Calderón *et al.*, 2018). Entre las propiedades químicas del suelo están: los contenidos de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), potencial del hidrógeno (pH), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los nutrientes esenciales N, P y, K extractables (Pila, 2017).

Entre los parámetros fisicoquímicas importantes se encuentra el pH del suelo, debido a que puede proporcionar información básica sobre la disponibilidad de nutrientes de los cultivos, la actividad microbiana, la descomposición de la materia orgánica, la toxicidad, entre otros (Vázquez y Rojas, 2016). De igual forma, el pH determina el grado de concentración de iones hidrógeno (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido, alcalino o neutro (FAO, 2023). Para su determinación se disuelve suelo seco tamizado en un volumen específico de agua de pH conocido. La amplitud con la que el suelo disuelto cambia el pH del agua es un indicador del número de iones que contiene el suelo (GLOBE, 2023).

Es de gran importancia la aplicación de técnicas y procedimientos apropiados para determinar el valor de pH. Se presentan numerosos métodos para realizar la determinación potenciométrica

del pH en el laboratorio, los cuales se diferencian principalmente en la solución extractora empleada (agua destilada, cloruro de calcio ($CaCl_2$) 0,01M o cloruro de potasio (KCl) 1M) y en la relación suelo: solución extractora (pasta de saturación, 1:1, 1:2, 1:2,5) (Kloste *et al.*, 2008).

Actualmente, en Venezuela se utiliza como solución extractora el agua destilada, siendo la variante la relación suelo-agua, el tiempo de agitación y de reposo previo a la medición. Adicionalmente, muchos de los trabajos publicados se limitan a dar el valor del pH sin indicar el procedimiento empleado (Bazán, 2017). La elección de un método adecuado y confiable es fundamental para garantizar los resultados.

Por lo antes expuesto, se planteó como objetivo comparar seis métodos considerados los más usados (CENICAFE, protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos, GLOSOLAN, Manual de Procedimiento de los Análisis de Suelos y Agua con fines de Riego, normativa ISO 10390:202, y el empleado en el laboratorio de suelo UNET) bajo diferentes relaciones de suelo o sustrato: agua (1:1; 1:2; 1:2,5; 1:5), tiempo de agitación y tiempo de reposo, en tres tipos de suelos diferentes de acuerdo con sus texturas y tres tipos de sustratos provenientes de distintas localidades de los estados Táchira, Mérida y Zulia, ubicados al Occidente de Venezuela.

MÉTODO

El trabajo se realizó en el laboratorio de suelo de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), ubicada en la avenida Universidad, sector Paramillo, municipio San Cristóbal del estado Táchira, Venezuela; de acuerdo con las coordenadas geográficas: latitud $7^{\circ}46'5.42''$ N, y longitud $72^{\circ}13'56.07''$ O.

Caracterización física y química de tres suelos y tres tipos de sustratos orgánicos

Para el estudio se emplearon tres suelos de diferentes clases texturales: Arenoso (Sar), proveniente de la localidad Algarabeca,

municipio Michelena. Arcilloso (SA), proveniente de la localidad El Vigía, vía Santa Bárbara, municipio Alberto Adriani, estado Mérida; y un suelo franco (SF), proveniente de la localidad El Gallinero, Parroquia Udón Pérez, municipio Catatumbo del estado Zulia. De igual forma, se usaron tres tipos de sustratos orgánicos comúnmente aplicados en la producción de cultivos hortícolas, como son: sustrato Proimpa (SP) de tipo no comercial, elaborado a base de una mezcla de tierra virgen de montaña, cascarilla de arroz, fibra de coco y vermicompost; sustrato lechuga (SL) de tipo comercial, elaborado a base de una mezcla de fibra de coco y turba; y por último, el sustrato café (SC) de tipo no comercial, elaborado a base de una mezcla de tierra virgen de montaña y cascara de maní. Los suelos y sustratos antes mencionados comprendieron los tratamientos propuestos: TSar, TSA, TSF, TSP, TSL y TSC, a los cuales se le determinó por triplicado las propiedades físicas y químicas como: textura, granulometría, contenido de humedad, conductividad eléctrica y materia orgánica.

Contenido de humedad

Se efectuó mediante el método gravimétrico, según la norma de referencia ASTM D-2216 (2019), que es un método directo de medición de

la humedad, para lo cual se tomaron 20 gramos de suelo y 50 mL de sustrato, respectivamente. Se pesó en una balanza analítica para el registro de su peso húmedo, y la muestra de suelo se consideró seca a las 24 horas después de haberlas colocado en estufa a 105 °C y 75 °C para el caso de los sustratos, como se observa en la Figura 1(A, B).

Análisis de textura

Se analizó la textura por el método de Bouyoucos (Arévalo y Gauggel, 2014). Se pesaron 40 g de suelo, en un beaker de 250 mL, se agregaron 50 mL de solución dispersora y se mezclaron con una barra de agitación (Figura 1 C, D). Posteriormente se transfirió la solución al vaso del agitador de alta velocidad marca BellConPruMed-25 donde se mezcló por 10 minutos, seguidamente la solución fue llevada a un cilindro de 1 L y se aforó con agua hasta un volumen de 1000 mL, agitándose por unos segundos. La muestra se dejó reposar por 40 segundos y se tomó la primera lectura con el hidrómetro de suelo tipo 152H ASTM/Aashto graduado -5 a 60 g/L. Se registró la temperatura, se dejó reposar por 2 horas y se tomó la segunda lectura con el hidrómetro ASTM 152 H y se registró nuevamente la temperatura.



Figura 1. A) Beaker con 20 gramos de muestras de suelo dentro de la estufa. B) Beaker con 50 ml de muestras de sustrato. C) Muestras de suelos D) Beaker con mezcla de suelo, agua y solución dispersante.

Análisis granulométrico

Se determinó según la norma UNE-EN 15428 2007. Para ello, las muestras de sustrato se secaron al aire y mediante el uso de tamices de diferentes tamaños (16, 4, 2 y 1 mm) ordenados de manera descendente junto a una bandeja de recepción final se realizó el tamizado como se muestra en la

Figura 2. Para el tamizado se empleó un volumen de 500 mL de muestra pesada en una balanza digital de precisión modelo Explorer marca OHAU, con una precisión de 0,01 g, y a partir del peso retenido en cada uno de los tamices se calculó el porcentaje en peso correspondiente a cada una de las fracciones granulométricas.



Figura 2. A) Muestras de sustratos B) Torre de tamices tamaños (16, 4, 2,1) mm.

Conductividad eléctrica (CE)

Se determinó según la metodología del manual de métodos USDA (2017). Para ello, los suelos y los sustratos orgánicos se colocaron dentro de una estufa marca Thelco MC-12599. Se dejaron secar hasta alcanzar un peso constante, luego se tamizó con una malla de 2 mm. Se colocaron 20 gramos de las muestras en un frasco y se le agregaron 100

mL de agua destilada (relación 1:5). La solución se agitó durante 30 minutos a 100 ciclos por minuto y se dejó reposar por 5 minutos. Posteriormente, previa calibración del equipo medidor marca HANNA HI 9811-5 portátil. Se leyó la CE introduciendo el electrodo en la solución, una vez estabilizada se procedió a la lectura. Cada una de las muestras se realizó por triplicado (Figura 3).



Figura 3. A) Envases con las mezclas de suelo-sustrato y agua destilada. B) Envases con las mezclas en el agitador. C) Equipo medidor CE (Hanna Hi 9811-5 portátil).

Materia orgánica (MO)

Para el caso de las muestras de suelo, se realizaron por el método de espectrofotometría de carbono y extractos de suelos por oxidación húmeda Walkley y Black (1934) modificado. Se pesó 0,1 g de cada una de las muestras de suelo secada al aire y tamizada a 2 mm y se colocó en un tubo de ensayo y se le añadió 2 mL de una solución al 2 N de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y 4 mL de ácido

sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Se dejó en reposo durante toda la noche. Seguidamente, se tomó una alícuota de cada muestra y se realizó la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS 6405, JENWAY a una longitud de onda de 600 nanómetros (nm). Previamente, se realizó la curva de calibración, para lo cual se utilizó glucosa monohidratada como fuente de carbono (Figura 4).



Figura 4. A) Muestras de suelos. B) Tubo de ensayo con suelo. C) Muestras aforadas en fiola de 25 mL.

Para el caso de los sustratos, la determinación de la MO se realizó según la Norma Chilena (Sadzawka *et al.*, 2005). Los sustratos usados fueron sometidos previamente a un secado en estufa a 36 °C por 24 horas, y se determinó el peso seco. Se utilizó un crisol pequeño pesado en una balanza con precisión de cuatro decimales; luego, en el crisol se agregaron 10 g de la muestra más 5 mL de HCl (0,05 mol/L). Posteriormente, las muestras se llevaron a la estufa a 70±5 °C por 24 horas para

determinar su peso inicial antes de la calcinación. A continuación, el crisol se colocó dentro de la mufla marca Thermolyne 2000 FURNACE y se aumentó la temperatura lentamente hasta 550 °C, allí se mantuvo por dos horas y luego se disminuyó la temperatura lentamente hasta 200 °C (Figura 5). Finalmente, las muestras se colocaron en un desecador hasta conseguir la temperatura ambiente y se pesaron para conocer el valor de la muestra calcinada.

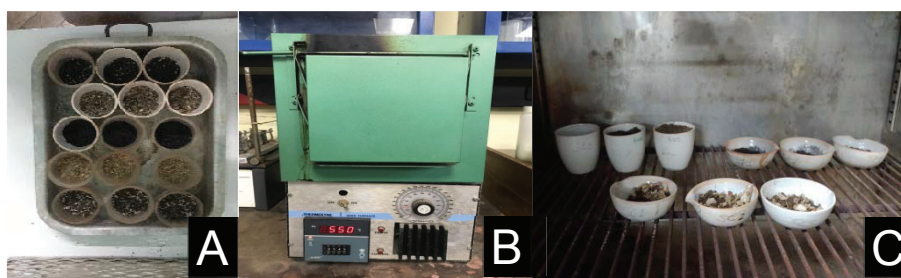


Figura 5. A) Muestras de sustratos en crisoles con HCL. B) Mufla Thermolyne 2000 FURNACE. C) Crisoles con sustrato en la estufa.

Determinación de las variaciones de pH por el método potenciométrico bajo diferentes relaciones (suelo agua o sustrato agua 1:1; 1:2; 1:2,5; 1:5), tiempo de agitación y tiempo de reposo a tres suelos de diferente textura y tres tipos de sustratos orgánicos

Para realizar la determinación del pH se considero tres (3) suelos de diferente textura (arenoso, franco y arcilloso). De igual forma, se usaron tres (3) sustratos orgánicos, empleados para la producción de cultivos hortícolas, provenientes de diferentes localidades del occidente de Venezuela, los cuales comprendieron los tratamientos propuestos: suelo arenoso (TSar), suelo arcilloso (TSA), suelo franco (TSF), sustrato proimpa (TSP), sustrato lechuga (TSL) y sustrato café (TSC). En total se emplearon 6 métodos considerados los más usados y descritos en numerosos manuales y trabajos de investigación

como son: CENICAFE, protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos, GLOSOLAN, manual de procedimiento de los análisis de suelos y agua con fine de riego, normativa ISO 10390:202, y el empleado en el laboratorio de suelo UNET.

Los tratamientos evaluados se describen a continuación: M1= relación suelo o sustrato/agua 1:1, 60 minutos de agitación sin reposo; M2= relación suelo o sustrato/agua 1:1, 30 segundos de agitación y 3 minutos de reposo, y se repite por 5 veces, el reposo final fue de 5 minutos; M3= relación suelo o sustrato/agua 1:2,5, 60 minutos de agitación y ningún reposo; M4= relación suelo o sustrato/agua 1:2,5, 60 minutos de agitación y de 2 a 24 h de reposo, M5= relación suelo o sustrato/agua 1:2, 30 minutos de agitación y 15 minutos de reposo; M6= relación suelo o sustrato/agua 1:5, 5 minutos de agitación y ningún reposo. Se empleó

un diseño completamente aleatorizado con 36 tratamientos y 5 repeticiones por cada uno, donde la variable analizada fue el valor de pH.

Los suelos y sustratos evaluados se colocaron dentro de una estufa y se dejaron secar a 70 ± 5 °C hasta que alcanzaron un peso constante. Luego se pesó en un frasco de vidrio de 125 mL, la cantidad de muestra de suelo y sustrato. Seguidamente, se

añadió el volumen de agua destilada (mL) y se colocó en el agitador según lo contemplado en cada uno de los seis métodos, como se puede observar en la Figura 6. Posteriormente, se calibró el pHmetro marca HANNA HI 9811-5 con soluciones buffer de pH 4 y 7. Finalmente, el electrodo se introdujo en la solución de los tratamientos hasta que se estabilizó la lectura del equipo.



Figura 6. A) Pesaje de las muestras en balanza analítica. B) Agitación de las muestras. C y D) Medición y registro del valor de pH en la muestra.

Para recolectar la información proveniente de las diferentes variables evaluadas de cada uno de los tres tipos de suelo y de sustratos orgánicos, se llevó un registro, se colocaron en una hoja de cálculo de Excel 2010 de Microsoft Office. Para comparar los resultados entre los métodos aplicados en los tres tipos de suelo y tres tipos de sustratos, se empleó un diseño factorial completamente aleatorizado para un total 36 tratamientos y 5 repeticiones por cada uno, donde la variable analizada fue el valor de pH.

Posterior al trabajo de laboratorio con los diferentes datos recabados, se procedió a realizar los análisis estadísticos para corroborar si existían variaciones en los valores de pH y los tratamientos empleados. Los datos se ordenaron y fueron sometidos a las pruebas de normalidad y homocedasticidad, los cuales no se cumplieron, por lo que se efectuó un análisis no paramétrico, mediante la prueba H de Kruskal-Wallis, el cual permitió determinar si las medianas (Mdn) de los tratamientos aplicados eran diferentes, con un nivel de significancia del 5 % con el uso del software estadístico versión estudiantil de InfoStat/L 2020 para Windows (Infostat,2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química de los suelos

Los resultados de la caracterización física y química de los suelos presentados en la Tabla 1 revelan una variabilidad textural entre los tratamientos. El tratamiento TSar presentó la mayor proporción de arena (67,5 %), clasificándose como franco arenoso, según el triángulo textural. Le siguió el tratamiento TSF con 35 % de arena, reafirmando como un suelo de textura franco. Por último, el tratamiento TSA mostró la menor proporción de arena (19,5 %), correspondiendo a una textura arcillosa.

El contenido de humedad en los tratamientos fluctuó entre 1,93 % y 5,95 %, siendo máximo en el tratamiento TSA. Estos resultados concuerdan con la teoría: los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos. El suelo inicialmente clasificado como arenoso (TSar) resultó ser franco arenoso con alta capacidad de retención, posiblemente debido a su elevado contenido de materia orgánica.

Respecto al porcentaje de materia orgánica (MO) se encontraron diferencias en el contenido de MO presente en los tratamientos, variando entre 2,91 a 10,07 %. El tratamiento TSar se diferenció de los restantes al presentar el valor más alto de MO, con

un incremento de 7,16 % respecto al promedio de los otros tratamientos. Esta diferencia marcada se debe al uso continuo del gallinazo como fuente orgánica y el adecuado manejo de las prácticas agronómicas empleadas por años en este suelo en particular.

Finalmente, en cuanto a la conductividad eléctrica (CE) dS/m los valores más bajos se

encontraron en los tratamientos TSF (0,020 dS/m) y TSA (0,027 dS/m), respectivamente. El tratamiento TSar presento el valor más alto (0,049 dS/m). Independientemente de los resultados encontrados de CE en cada uno de los tratamientos, todos los valores son suficientemente bajos para no afectar el desarrollo de las plantas por alguna condición de salinidad.

Tabla 1. Valores medios de las variables físicas y químicas obtenidos de tres replicas en cada tipo de suelo.

Tratamientos	(%)			Clase textural	Contenido de humedad (%)	% MO	Conductividad eléctrica (CE) dS/m
	Arena	Limo	Arcilla				
TSar	67,5	15,0	17,5	Franco arenoso	4,38	10,07	0,049
TSA	19,5	28,0	52,5	Arcilloso	5,95	3,30	0,027
TSF	35,0	39,0	26,0	Franco	1,93	2,91	0,020

Caracterización física y químicas de los sustratos

En la Tabla 2 se aprecian las características físicas y químicas de los sustratos utilizados, donde los valores del análisis granulométrico presentan diferencias en las medias para cada fracción evaluada. Los tratamientos TSL y TSP presentaron un mayor porcentaje de partículas gruesas (4-16 mm) del 6,51 % y 5,16 %, respectivamente. Asimismo, el tratamiento TSL se destacó por su elevada proporción de partículas (67,17 %) comprendidas entre 2-4 mm; mientras que los tratamientos TSP y TSC mostraron los mayores porcentajes de partículas finas (<2 mm) de 72,9 % y 63,61 % respectivamente.

En cuanto al contenido de humedad, se observaron variaciones considerables de 2,19 – 53,73 % entre los tratamientos, siendo el TSL el que presentó el valor más alto. Asimismo, las medias de los contenidos de materia orgánica

difieren entre los tratamientos presentados valores de 9,57 a 12,41 %, sobresaliendo el tratamiento TSL, con el valor máximo.

La conductividad eléctrica también mostró diferencias, siendo los tratamientos TSL y TSP los que presentaron los valores más elevados 0,290 y 0,200 dS/m. respectivamente, seguidos por el TSC con el valor más bajo (0,049 dS/m). La mayor cantidad de materia orgánica en el tratamiento TSL podría estar relacionada con una mayor capacidad de retención de agua, lo que explicaría los altos valores de humedad.

Asimismo, la variabilidad en los valores en la granulometría, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica, sugieren que cada tratamiento está creando un microambiente con características únicas, lo que podría tener implicaciones importantes en el desarrollo de diversos procesos, como el crecimiento de microorganismos o la formación de compuestos orgánicos, entre otros (Tasilla, 2021).

Tabla 2. Valores medios de las variables físicas y químicas obtenidos de tres replicas en cada tipo de sustrato.

Tratamientos	% Tamaño de partícula (mm)				Contenido de humedad (%)	% M.O.	Conductividad eléctrica (CE) dS/m
	> 16	16-4	4-2	< 2			
TSP	0,02	5,16	21,85	72,97	11,13	9,69	0,200
TSL	0,02	6,51	67,17	26,30	53,73	12,41	0,290
TSC	0,02	0,54	35,83	63,61	2,19	9,57	0,049

Determinación de las variaciones de pH por el método potenciométrico bajo diferentes relaciones suelo-agua (1:1; 1:2; 1:2,5; 1:5), tiempo de agitación y tiempo de reposo

El análisis estadístico Kruskal-Wallis reveló diferencia significativa $H(88,10, p \leq 0,001)$ en los valores de pH obtenidos con los distintos métodos potenciométricos evaluados (Figura 7). En el caso de los suelos arenosos (TSar) se observó variación numérica en el pH al modificar las relaciones suelo:agua, el tiempo de agitación y el tiempo de reposo, con un rango de pH entre 4,29 (método 5) y 4,60 (método 6), siendo la variación de 0,31 unidades de pH. Estadísticamente los métodos empleados no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$). Sin embargo, se identificó una tendencia general hacia un aumento del pH con el incremento de la relación suelo:agua y del tiempo de agitación, mientras que el tiempo de reposo mostró un efecto contrario. Estos resultados sugieren que el equilibrio químico entre el suelo y el agua influye en el valor de pH, como lo han reportado otros estudios (Millán *et al.*, 2018).

Los tratamientos con suelo de textura arcillosa (TSA) en la Figura 7 no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre los métodos 1, 3, 4, 5 y 6, los cuales compartieron la misma categoría estadística (EF). Sin embargo, estos métodos difirieron significativamente del método 2, el cual presentó una categoría estadística distinta (I). El método 2 también exhibió el valor de pH más alto (6,69), mientras que el método 5 presentó el valor más bajo (4,98). Los resultados sugieren una relación entre el tiempo de agitación y el valor de pH. Al aumentar el tiempo de agitación de 5 a 30 minutos y mantener un tiempo de reposo de 20 minutos (método 2), se observó un incremento en el pH.

Por el contrario, al aumentar el tiempo de agitación a 60 minutos y reducir el tiempo de reposo a 15 minutos, se produjo una disminución de 1,71 unidades en el pH, obteniendo el valor más bajo (4,98). En la Figura 7 se observa que los tratamientos con suelo de textura franca (TSF) mostraron un comportamiento similar en cinco (1, 3, 4, 5 y 6) de los seis métodos evaluados. Estos métodos no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$), compartiendo la letra (I). Sin embargo, el método 6 se diferenció del resto, al presentar el menor valor de pH (5,36). Por el contrario, el método 2 obtuvo el valor de pH más alto (7,12). Se observó una tendencia general a la disminución del pH en los suelos de textura franca (TSF) al incrementar los tiempos de agitación y reposo. El menor valor de pH (5,36) se obtuvo utilizando los tiempos más prolongados. No obstante, el método que combinó 30 segundos de agitación y 3 minutos de reposo, repetido cinco veces con un reposo final de 5 minutos, generó el valor de pH más alto (7,12), mostrando un incremento de 1,15 unidades en comparación con el valor mínimo.

La determinación del pH en distintas clases texturales revela una variabilidad que está influenciada por el método analítico empleado. Al utilizar relaciones suelo-agua variables, se observa un aumento en la sensibilidad del pH, debido a las alteraciones en la concentración de iones OH⁻ (Cáceres, 2017; Miller y Kissel, 2010). Además de este factor, diversos estudios (Conyers y Davey, 1988; Beretta *et al.*, 2014) han identificado otros elementos que afectan la medición de pH cuando se utiliza un pHmetro, como la fuerza iónica de la solución, la posición del electrodo, la agitación y el tiempo de equilibrio de la mezcla suelo-agua.

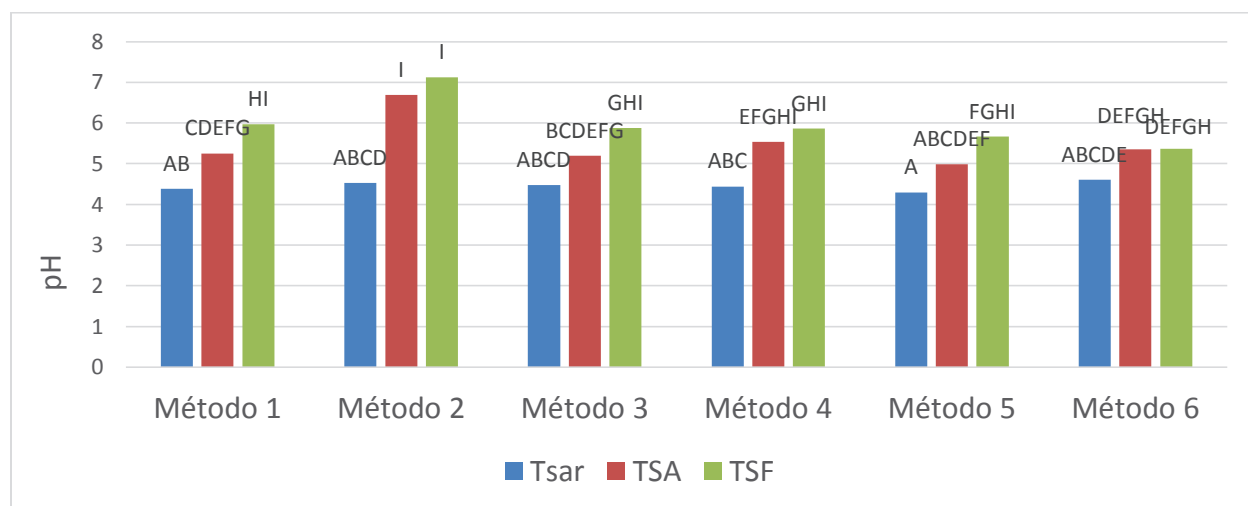


Figura 7. Valores promedios de pH determinado para cada tipo de suelo, según su textura con cada uno de los métodos aplicados $H = 88,10$, $p = \leq 0,001$, prueba Kruskal Wallis. Letras comunes no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

Determinación de las variaciones de pH por el método potenciométrico bajo diferentes relaciones sustrato-agua (1:1; 1:2; 1:2,5; 1:5), tiempo de agitación y tiempo de reposo

En búsqueda de las variaciones entre los valores de pH y los métodos aplicados, se realizó una prueba de Kruskal Wallis. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($H = 87,17$, $p \leq 0,001$), indicando que los procedimientos empleados influyen en los valores del pH, como se aprecia en la Figura 8, donde se pueden detectar las diferencias numéricas a simple vista. Los valores medios de pH más notables se observan en el método 2, donde los sustratos utilizados mostraron los valores más altos, destacándose el tratamiento TSP (6,94) seguido por TSC (6,52) y TSL (5,37), respectivamente. Por el contrario, el método 6 arrojó los valores de pH más bajos (4,60), con una diferencia de hasta 2,34 unidades respecto al método 2.

Las comparaciones múltiples indicaron que el sustrato TSP no mostró diferencias significativas en su pH cuando se utilizaron los métodos 1, 2, 3, 4 y 5 (Figura 8). Su pH fue significativamente menor cuando se empleó el método 6. Estos resultados sugieren una tendencia a la disminución del pH al aumentar la cantidad de agua y el tiempo de agitación y reposo. No obstante, el método 2,

que implica una agitación breve y un reposo prolongado, generó los valores de pH más elevados, indicando que la combinación de estos parámetros puede influir significativamente en la medición.

Los experimentos realizados con el sustrato TSL y los seis métodos de análisis de pH indicaron que cinco de estos métodos no mostraron diferencias significativas en los valores de pH ($p \leq 0,05$). Sin embargo, el método 2 presentó el valor de pH más alto (5,37), mientras que el método 3 mostró el valor más bajo (4,48). Al analizar las tendencias generales, se observó un aumento en el pH a medida que se incrementaba la cantidad de agua utilizada en los tratamientos, así como al variar los tiempos de agitación y reposo. El pH máximo (5,37) se obtuvo cuando la muestra se agita por 30 segundos y se dejó reposar por 3 minutos, repitiéndose el procedimiento por 5 veces, con un reposo final de 5 minutos. Por el contrario, el pH mínimo (4,48) se registró cuando la muestra fue agitada durante 60 minutos, sin tiempo de reposo.

Por último, los tratamientos con el tipo de sustrato TSC presentan medias de pH que comparten una letra común (E) en solo cinco métodos aplicados, lo que indica que no son significativamente diferentes entre sí ($p > 0,05$). Se pueden considerar distintos al compararlos con el pH obtenido con el

método 2, el cual presentó el valor más alto de pH (6,52). Por el contrario, el método 5 presentó el valor más bajo de pH (5,08). En función de lo anterior, podemos mencionar que el pH de las muestras se vio significativamente influenciado por las condiciones de agitación y reposo. Donde las agitaciones prolongadas y tiempos de reposo más

largos generaron una disminución del pH, especialmente en los tratamientos 4, 5 y 6. En contraste, las agitaciones breves y periodos de reposo cortos condujeron a valores de pH más altos.

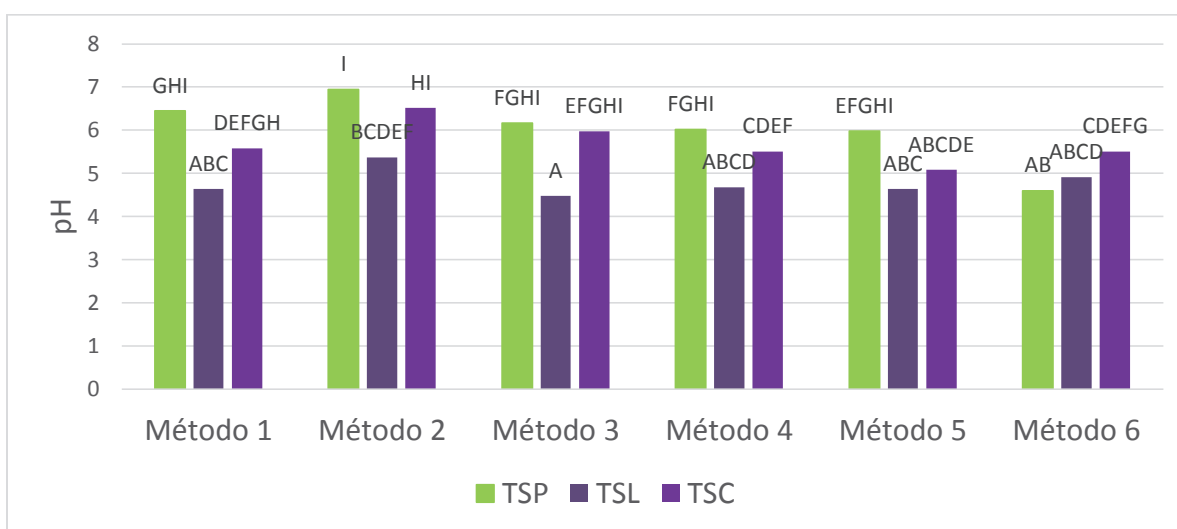


Figura 8. Valores promedio de pH determinado para cada tipo de sustratos en cada uno de los métodos aplicados $H=87,17$, $p= <0,001$, prueba Kruskal Wallis. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Los resultados obtenidos en la determinación del pH en diferentes sustratos muestran un aumento en el pH a medida que se incrementa la proporción de agua en el extracto. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Miller y Kissel (2010), quienes atribuyen este fenómeno al efecto de dilución. Asimismo, los hallazgos sugieren una relación directa entre el valor de pH y la proporción sustrato-solvente, en línea con los estudios de Millán *et al.*, (2018). Sin embargo, algunos estudios sugieren que las relaciones de pH empleando diferentes métodos no son lineales en todo el rango de pH (Henderson y Bui, 2002). Como se expuso anteriormente, según algunos autores, al medir el pH utilizando pHmetros, varios factores pueden influir en los valores medidos, como: la temperatura, la fuerza iónica y la composición de la solución (Beretta *et al.*, 2014). Según la literatura, cuando aumentan los factores que influyen en las mediciones de pH, el valor medido de pH disminuye (Bohn *et al.*, 1993).

Por lo tanto, es crucial conocer la metodología utilizada cada vez que se comparan resultados de análisis de laboratorio para evitar interpretaciones erróneas (Azcarate *et al.*, 2012).

Método más apropiado para su utilización en el laboratorio

Según los resultados presentados en la Figura 7, el método 3 (M3) es la técnica óptima para determinar el pH del suelo en el laboratorio. Al establecer una relación suelo:agua de 1:2,5 y un tiempo de agitación de 60 minutos, este método garantiza una mayor precisión y reproducibilidad en las mediciones, con una variación de pH entre 0,06 y 0,10 unidades. En comparación, los demás métodos evaluados presentaron una variabilidad significativamente mayor (0,11-1,44 unidades de pH). Estos hallazgos sugieren que M3 es una herramienta confiable para futuras investigaciones en edafología.

agitación de 60 minutos, sin tiempo de reposo, resultó en una variación de pH significativamente menor en todas las muestras (0,16-0,40) en comparación con los demás métodos evaluados (0,43-2,34). La simplicidad del método 3, que no requiere tiempos de reposo prolongados, lo convierte en una opción atractiva para su implementación en el laboratorio, ya que permite obtener resultados más precisos y consistentes en menor tiempo.

CONCLUSIONES

El pH de suelos y sustratos orgánicos varía según la relación suelo-sustrato: agua, tiempo de agitación y reposo, cuando se determina por el método potenciométrico.

El método 3 (M3) con relación suelo:agua (1:2,5), 60 minutos de agitación, sin reposo, es la mejor opción para determinar pH en suelo y sustratos, brindando resultados aceptables de manera rápida y sencilla.

REFERENCIAS

- Arévalo, G., Gauggel, C. (2014). Manual de laboratorio de manejo de ciencia de suelos y aguas. EAP El Zamorano, Honduras.
- ASTM D2216, (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- Azcarate, P., Kloster, N., y Pérez, G. (2012). Reacción del suelo: pH. En: Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos. Alberto Quiroga y Alfredo Bono (editores). Ed. INTA. Anguil. pp. 19-24.
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Perú.
- Beretta, A., Bassahum, D., y Musselli, R. (2014). ¿Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando? *Agrociencia* (Uruguay), 18(2): 90-94.
- Calderón, C., Bautista, G. y Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2): 141-157.
- CENICAFE. (1985). Centro Nacional de Investigaciones de Café. Manual de Laboratorio de Suelos. Colombia. 25 p.
- Conyers, M. y Davey, B. (1988). Observation on some routine methods for soil pH determination. *Soil Sci* 145: 29-36.
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., y Walter Robledo, C. (2010). InfoStat: software para análisis estadístico Versión 2020. Universidad Nacional de Córdoba.
- EN-15428 (2007). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la granulometría. (Comité Europeo de Normalización) EN N° 15428.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023). Clasificación de suelos.
- GLOBE-Global Learning and Observations to Benefit the Environment. (2023). Protocolo del pH del Suelo.
- Henderson, B., y Bui, E. (2002). Una curva de calibración mejorada entre el pH del suelo medido en agua. *Revista australiana de investigación de suelos*, 40(8): 1399.
- Millán, F., Prato, J., La Cruz, Y., y Sánchez, A. (2018). Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost. *Revista Colombiana de Química*, 47 (2), 21-27.
- Miller, R., y Kissel, D. (2010). Comparison of Soil pH Methods on Soils of North America. *Soil Science Society of America Journal*. SSSAJ. 74.
- Navarro, G. (2013). Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. España, Ediciones Mundi-Prensa. 3 ISBN, 8484766810, 9788484766810. 492 p.
- Pila, R. (2017). Determinación de propiedades físico químicas del suelo en la granja Chacras. Universidad Técnica de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.
- Porta, J., López, M., Poch, M. (2019). Edafología: uso y protección de suelos. España Ediciones Mundi-Prensa.
- Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R. y Mora, M. (2005). Métodos de análisis de compost.

Santiago, Chile: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 30.

Tasilla, L. (2021). Variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en la encañada. Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de ciencias agrarias. Escuela académico profesional de agronomía.

USDA, Soil Science Division Staff. (2017). Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger. USDA Handbook 18.

Government Printing Office, Washington, D.C.

Vázquez, E., y Rojas, T. (2016). pH: Teoría y 232 problemas. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. Primera edición. ISBN 978-607-28-0689-4. 7, México D.F.

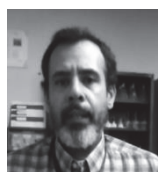
Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.



OSWALDO MORENO S. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional del Táchira,



JOSÉ A. SULBARAN V. Ingeniero Agrónomo, Participante de estudio de Maestría en Agronomía Producción Vegetal. Personal Académico UNET Asistente adscrito al Departamento de Ingeniería Agronómica de las asignaturas Proyecto Integrador de Cultivos Perennes y Fruticultura. Investigador y extensionista en el área de análisis, manejo de suelos y valorización de sustratos enfocado en la sostenibilidad e innovación agrícola.



EDUARDO A. GIL C. Ingeniero Agrónomo. MSc Manejo de Cuencas Hidrográficas. Participante de estudio de Dr. Biología mención Ecología UCV. Personal Académico UNET. Asociado adscrito al Departamento de Ingeniería Agronómica de la asignatura Suelo. Investigador y extensionista en manejo de suelo, Bosques tropicales.



BEATRIZ RAMÍREZ DE A. Técnico Superior en Agronomía, Ingeniero Agrónomo, Estudiante de la Maestría en Agronomía Mención Producción Vegetal UNET, Analista del Laboratorio de las asignaturas suelos, fertilidad y Manejo de suelos y del Laboratorio de investigación Análisis Ambiental Tratamiento y valorización de residuos compostables UNET.