



APLICACIÓN DEL AZUL DE METILENO EN SUELOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y APLICACIONES MOVILES

Alexandra Isabel Tapia Borja^{1*}, Melanie Elizabeth Díaz Abril¹, Nataly Rocío Changoluisa¹, Luis Jetli Vargas Procel¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador

*Dirección para correspondencia: alexandra.tapia@utc.edu.ec

Fecha de Recepción: 21-05-2024

Fecha de Aceptación: 28-06-2024

Fecha de Publicación: 18-07-2024

Resumen

En la actualidad los componentes del suelo son importantes para el bienestar de las personas, los agricultores deben tener buenas prácticas sostenibles, para asegurar una alimentación saludable. El objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) para los sistemas: agroecológicos, degradado, tradicional, convencional y ecosistema de referencia en los cantones Salcedo, Latacunga y Pujilí, provincia de Cotopaxi. Se recolectaron cinco muestras de suelo de cada zona, mismas que fueron tamizadas, posteriormente, se colocó 40 g de cada muestra en una estufa a 140 °C por 24 horas. Se utilizó el método de tinción con azul de metileno para evaluar la CIC, luego se realizó la pasta del suelo de 200 g para medir el pH. Finalmente, se realiza un análisis con la aplicación móvil LandPKS para evaluar el color del suelo y agregados del suelo. Los resultados que se obtuvieron por el método de tinción con azul de metileno en las tres zonas dieron como resultado una baja CIC debido a que ningún sistema alcanza o sobrepasa los valores para ser considerados como suelos ricos. El pH del suelo determinó que los sistemas: referencial, agroecológico, degradado y tradicional poseen un resultado que pasa de ocho que viene siendo un suelo alcalino, pero, el sistema convencional sí encuentra en el rango adecuado para ser un suelo agrícola. En general, se puede mencionar que los suelos evaluados no son considerados fértiles, por lo que no existe un CIC adecuado; sin embargo, esos suelos tienden a hacer producidos por los agricultores.

Palabras claves: Salud del suelo, intercambio catiónico, sistemas productivos, degradados, convenciones.

IDs Orcid:

Alexandra Tapia: <https://orcid.org/0000-0001-6935-5211>

Melanie Díaz: <https://orcid.org/0009-0007-4434-2394>

Nataly Rocío Changoluisa: <https://orcid.org/0009-0009-3246-4583>

Luis Vargas: <https://orcid.org/0009-0002-1825-5899>

Artículo científico: Aplicación del azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles

Publicación Semestral. Vol. 3, No 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

APPLICATION OF METHYLENE BLUE IN SOILS TO DETERMINE CATION EXCHANGE CAPACITY WITH PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS AND MOBILE APPLICATIONS

Abstract

Nowadays, soil components are important for people's well-being, farmers must have good sustainable practices, to ensure a healthy diet. The objective of the research was to evaluate the cation exchange capacity (CIC) for the following systems: agro ecological, degraded, traditional, conventional and reference ecosystem in the cantons of Salcedo, Latacunga and Pujilí, province of Cotopaxi. Five soil samples were collected from each area, which were sifted, then 40 g of each sample was placed in an oven at 140 °C for 24 hours. The methylene blue staining method was used to evaluate the CEC, then the 200 g soil paste was made to measure the pH. Finally, an analysis is carried out with the LandPKS mobile application to evaluate the color of the soil and soil aggregates. The results obtained by the methylene blue staining method in the three zones resulted in a low CIC because no system reached or exceeded the values to be considered as rich soils. The pH of the soil determined that the referential, agro ecological, degraded and traditional systems have a result that exceeds eight that is an alkaline soil, but the conventional system is in the appropriate range to be an agricultural soil. In general, it can be mentioned that the soils evaluated are not considered fertile, so there is no adequate CIC; however, those soils tend to be produced by farmers.

Keywords: Soil health, cation exchange, productive systems, degraded, conventions.

1. INTRODUCCION

La agricultura se enfrenta a grandes desafíos a futuro, por eso es importante tomar prácticas sustentables para promover la salud del suelo y la conservación de los recursos naturales (Adrian Villota, 2024). El suelo es un ecosistema vital, en el que se desarrolla la sostenibilidad de todos los seres vivos y es la base de toda la vida en la Tierra, relacionándose con factores como el provisionamiento de hábitat y alimento (Zabaloy, 2021). La calidad de la producción agrícola determina su capacidad (Burbano Orjuela, 2017). Para comprender esto, se evalúa la salud del suelo en distintos sistemas de producción (SP) mediante el análisis de sus propiedades físicas y químicas (Vallejo et al., 2018). En los sistemas de producción como el natural, agroecológico, convencional, tradicional y degradado, las prácticas agrícolas se llevan a cabo de diversas formas, con distintas organizaciones y uso de los recursos naturales (Aldaz et al., 2020), desde el uso de materia orgánica, humus, controladores biológicos hasta la aplicación de plaguicidas y fertilizantes (agroquímicos), por lo que en cada tipo la calidad del suelo y sus propiedades es diferente (González, 2017). Las propiedades del suelo como: la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la materia orgánica (MO), el pH, el color y la textura; son importantes indicadores de la salud y calidad del suelo (Rebolledo & Sierra, 2020). El intercambio de iones es un factor determinante, ya que indica la capacidad de para retener y liberar nutrientes (Cruz-Flores et al., 2022), como el magnesio (Mg^{+2}), calcio (Ca^{+2}) y potasio (K^{+}), que están presentes de forma iónica con carga positiva, esenciales para el desarrollo de las plantas. Un alto nivel de CIC en el suelo es un indicador de la disponibilidad de estos nutrientes, lo cual mejora directamente la producción agrícola, reduce costos y mantiene su cuidado (Castaño & González, 2022). Las propiedades y características del suelo están relacionadas entre sí, la materia orgánica en el suelo es esencial para la actividad biológica y funcionamiento de esta e incrementa la CIC (Ortiz Zamora, 2020), el color nos indica la composición del suelo, minerales presentes, humedad, etc. es una medida indirecta de las propiedades del suelo (Ponce et al., 2022), el pH es un gran indicador porque afecta en la disponibilidad de nutrientes, es relevante para las funciones y procesos que ocurren en el suelo (Castillo-Valdez et al., 2021), la textura indica de qué está constituido el suelo, que suelen ser partículas de arcilla, limo o arena, cada tipo influye en las propiedades físicas como: la retención del agua, fertilidad, aireación, porosidad, etc., esta propiedad se relaciona con la estabilidad de agregados, un importante indicador físico en la calidad del suelo (Manayay

Artículo científico: Aplicación del azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles

Publicación Semestral. Vol. 3, No 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

Mendoza, 2021). Debido a los elevados precios de análisis de las evaluaciones del suelo, específicamente de la CIC y al desconocimiento por parte de los pequeños agricultores sobre la influencia de la CIC en el suelo, se han desarrollado malas prácticas en el manejo del suelo, lo que minimiza la sustentabilidad de este recurso. La demanda agrícola ha extendido el uso de los suelos, por medio de insumos como los fertilizantes e insecticidas, de manera desfavorable (Etchevers-Barra et al., 2020), alterando el ambiente natural, cambiando las características físico-químicas del suelo, provocando su pérdida (Marqués, 2022). Actualmente, existen diversos métodos para determinar la CIC. El método de tinción con Azul de Metileno (AM) que fue utilizado en esta investigación, es uno de los más sencillos, económicos y eficaces para determinar la CIC del suelo, resultando accesible para los pequeños agricultores (Pescador, 2018). En el caso de la materia orgánica, un principal indicador de la calidad e influyente en las propiedades del suelo, es necesario un método con exactitud como la calcinación del suelo, el cual es rápido, preciso y económico (Aguilar Silva, 2019), consiste en medir la pérdida del peso por ignición de la muestra del suelo a altas temperaturas por un tiempo determinado, permitiendo, porcentaje de materia orgánica presente en el suelo (Barrezueta-Unda et al., 2020). Para analizar las propiedades físico-químicas del suelo se empleó el uso de las Apps. “LandPKS y SLAKES”. En la caja de herramientas de LandPKS, tenemos “*Soil Color (Tools)*”, que analiza el color del suelo, dando un resultado muy efectivo (Baumann et al., 2016), en un análisis de la fotografía de la muestra la cual permite definir el color en Munsell (Maynard et al., 2022). SLAKES, permite determinar la estabilidad de los agregados presentes en el suelo, la App se basa en el análisis fotográfico (Fajardo et al., 2016), en este análisis se requiere de instrucción y equipos mínimos, siendo favorable para los pequeños agricultores; analiza tres muestras de agregados de alrededor de 10 mm de diámetro dispersos en una caja Petri según la indicación de la App (Flynn et al., 2020).

2. METODOLOGIA

2.1 Cobertura y Localización

Este estudio se realizó en tres zonas diferentes ubicadas en los cantones de Salcedo, Latacunga y Pujilí, en la provincia de Cotopaxi, que se encuentra en la región interandina de Ecuador. La altitud de estos cantones varía entre 2600 y 2970 m s. n. m., y la temperatura media anual oscila entre 10 y 12 °C.



Figura 1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio.

2.2 Recolección y selección de la muestra.

Se procedió a la recolección de las muestras de suelo en las diferentes en las tres zonas (Salcedo, Latacunga y Pujilí) de la provincia de Cotopaxi. En total, se obtuvieron 15 muestras compuestas, correspondientes a los cinco sistemas productivos y las tres zonas (Figura 2).



Figura 2. Recolección de las muestras de cada cantón.

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

2.3 Preparación de las muestras

Se procedió a realizar un tamizado de matiz número 60, para eliminar las estructuras más grandes (Llano et al., 2020) Posteriormente, sacamos 40 g de la muestra que serán colocados en el recipiente con el código correspondiente, como se evidencia en la Figura 3.



Figura 3. Obtención de las muestras para ser analizadas.

2.4 Secado de las muestras

Las quince muestras fueron sometidas a la estufa para un proceso de secado a 104 °C durante 24 horas. Este proceso permitió eliminar por completo cualquier rastro de humedad presente en el suelo (Figura 4).



Figura 4. Proceso de secado de las muestras.

2.5 Técnica de tinción con azul de metileno

Para determinar el intercambio catiónico, se ajustó al protocolo de (Barbosa-Basto & Romero-Cajamarca, 2017) que se basa en el método de tinción, que se fundamenta en los siguientes

pasos:

- Se añadió 1 gramo de azul de metileno seco, previamente pesado en una balanza analítica, a un vaso de precipitado de 500 ml que contenía 200 ml de agua destilada, como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Desarrollo del azul de metileno.

- Se procedió a tomar la muestra seca y disolver en 30 ml de agua destilada, posteriormente se mezcló la solución de azul de metileno con la suspensión de suelo en incrementos de 0,5 ml. Se revolvió durante un minuto en un agitador magnético. Este proceso se repite varias veces hasta identificar la cantidad precisa que genere, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Preparación de la muestra.

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

- Posteriormente, se toma una gota del medio y se ubica en el papel filtro para registrar la cantidad de mililitros de azul de metileno añadido, tal como se muestra en la Figura 7.

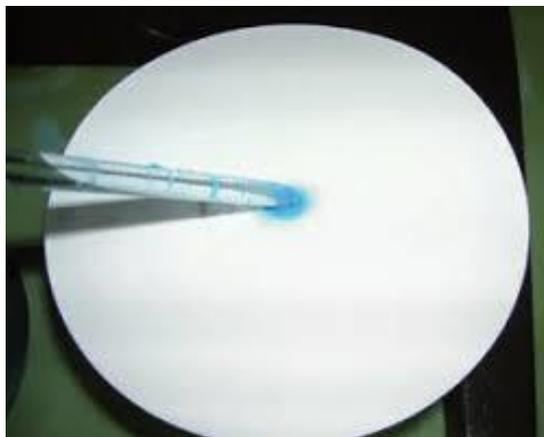


Figura 7. Colocación del azul de metileno en el papel filtro.

2.6 Determinación de pH

Para llevar al siguiente procedimiento, se necesita 200 g de la muestra de suelo para cada tipo de sistema, la muestra debe reposar durante 24 horas antes de ser tamizada con un matiz número 60. Posteriormente, se mezcla el suelo con agua destilada hasta obtener una pasta brillante, y se verifica su consistencia haciendo un corte vertical. Si se une de manera uniforme la mezcla, luego se cubre con plástico Stretch film (Figura 8), se deja reposar durante dos horas.



Figura 8. Procedimiento de la pasta del suelo de los diferentes lugares.

Después del tiempo de reposo, se toma una muestra y se coloca en el embudo Buchner con un papel filtro en la base para evitar la pérdida de material, se conecta el embudo a una bomba de

vacío y se espera aproximadamente 10 minutos, para obtener la cantidad adecuada de agua de la pasta, se agrega hasta tres gotas en los ionómetros, luego se mide el pH, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Toma de muestra de los suelos en los ionómetros.

Posteriormente, se deja que la muestra de suelo se seque al ambiente por un período de 24 horas.

2.7 Estabilidad de los agregados húmedos

Con la aplicación Slakes desde Play Store se procede a tomar una fotografía tipo trípode a una altura de 15 a 20 cm (Figura 10). Seguidamente, se procede a tomar la foto de las gotas de las muestras colocadas en el papel filtro, incorporando el color solo en base. Posteriormente, se toma otra foto en la cual se coloca agua destilada que cubra por completo el papel filtro. Una vez que haya tenido el contacto con el agua, cambiaría la muestra; sin embargo, esto no afecta el cambio de resultado. Después de 10 minutos sin mover el dispositivo móvil, se realiza un análisis para determinar la estabilidad de los agregados. Valores cercanos a uno indican alta estabilidad, y valores inferiores a 0.50 señalan baja estabilidad (Figura 10).

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)



Figura 10. *Proceso de análisis mediante la tecnología móvil Slakes.*

2.8 LandPKS para la evaluación del color del suelo.

La muestra inicial del suelo se deja secar al aire durante 24 horas. En la aplicación LandPKS, se selecciona el parámetro de ubicación y se ingresan las coordenadas y el nombre del sitio. Luego se accede la zona identificada y se determina el color, tal como se muestra en la Figura 11. Por último, se consiguen valores cuantitativos RGB que muestran los porcentajes de propensión de color, es decir, a mayor valor, más oscuro será el suelo.

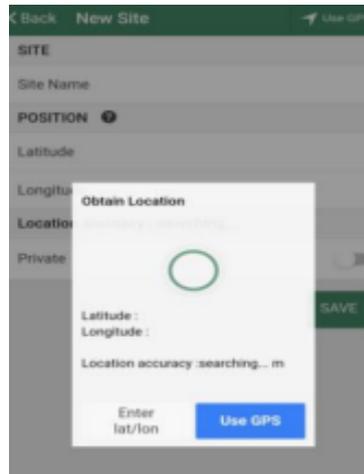


Figura 11. *Aplicación LandPKS.*

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Capacidad de Intercambio Catiónico mediante para Latacunga

En la Figura 12, se observa que el sistema agroecológico exhibe la máxima CIC (4.8 meq/100 g) dentro de la zona de Salache CEYPSA, Latacunga. Debido a prácticas como la aplicación de abonos e insumos completamente orgánicos, la presencia de cercas vivas (forestales y frutales) y la ausencia de maquinaria agrícola. Estos tres factores contribuyen a mantener las características del suelo y preservar su buena calidad. El sistema degradado ocupó el último lugar de CIC (0.83 meq/100 g). Esto sucede al exceso de productos químicos en el suelo. Al analizar los rangos de CIC, los cinco sistemas de producción de Salache corresponden a un rango bajo (0-10 meq/100 g) según la propuesta de Huanay Munguia (2022). Es decir, la baja CLC de suelo tiende a darse por varios elementos, como suelen ser: el tipo de suelo y la saturación de productos químicos. Debido al mal manejo del suelo, se llega a eliminar a varios microorganismos mismos que realizan diversas actividades en el suelo, como pueden ser: *Pseudomonas fluorescens* que secretan ácidos orgánicos y descomponen la materia orgánica, enriqueciendo el suelo con fosfatos accesibles para las plantas (Cruz-Macías et al., 2020).

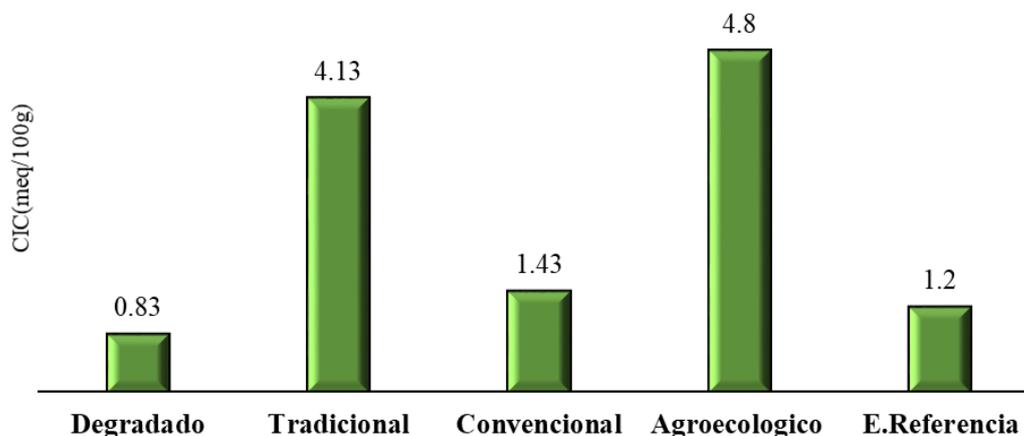


Figura 12. Capacidad de Intercambio catiónico en el círculo de Salache CEYPSA en meq/100g

3.2 Capacidad de Intercambio Catiónico para Salcedo

En la Figura 13, se observa que el sistema agroecológico en la zona de Carrillo muestra una

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

capacidad máxima para el intercambio catiónico (3.15 meq/100 g). Esto se basa en que existe una reiteración de siembra de hortalizas, verduras, frutales y forestales; además, no utilizan maquinarias agrícolas y comúnmente utilizan abono orgánico. Estos tres factores ayudan a conservar las características del suelo y apadrinar su buena calidad. Para el sistema degradado que dio como resultado la mínima CIC (1.88 meq/100 g), esto se debe a que el suelo tiene peligro en la fertilidad y productividad de la tierra. Una vez analizado el rango de CIC de los cinco sistemas evaluados en la zona de Carrillo, los resultados (< 5 meq/100 g) correspondientes a un nivel bajo, según Pérez Rosales et al. (2017). Se puede decir que la baja CIC de suelo, tiende a darse por diversos componentes, como suelen ser: la disminución de la actividad microbiana, fertilizantes sintéticos, el cambio de clima, entre otros. Por ende esto conmueve a que el suelo no haga su función correctamente debido a que afecta las acciones de diferentes microorganismos que ayudan a tener un suelo rico (Guerrero Lázaro, 2019).

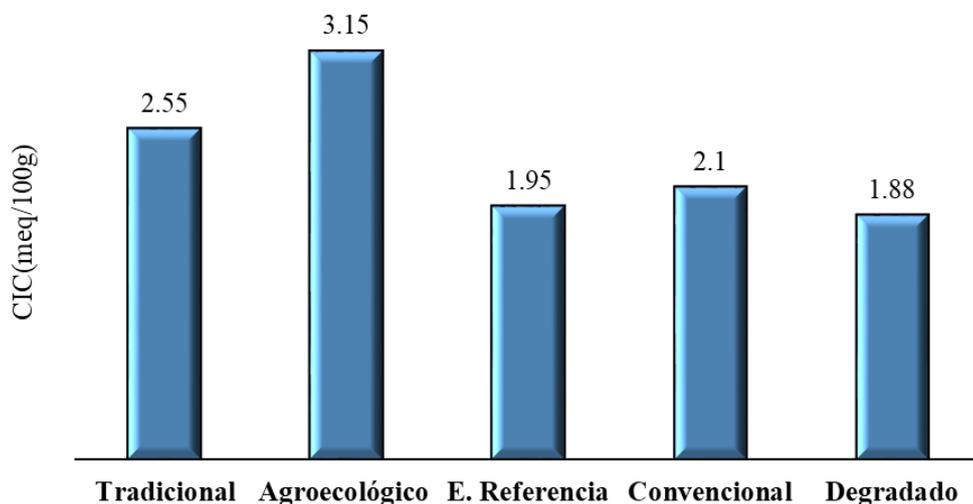


Figura 13. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Carrillo

3.3 Capacidad de Intercambio Catiónico para Pujilí

En la figura 14, se observa que el sistema degradado muestra la máxima CIC en Isinche, Pujilí, con un valor de (3.45 meq/100 g). Debido a que existen cultivos de cereales y leguminosas, la firme aplicación de químicos (abono). Estos dos factores conservan las características del suelo para su buena calidad. Así también, el sistema agroecológico dio como resultado la mínima CIC (0.9 meq/100 g), debido a la abundancia de abono e insumos químicos que los insertan en el suelo. El análisis del rango de CIC de los cinco sistemas evaluados en la zona de Isinche determina (0-10 meq/100 g) también niveles bajos (Cevallos Jiménez & Macias Zamora,

2022). La baja CIC de suelo, se debe a diversos componentes como: baja capacidad de materia orgánica, la poca agricultura de forestales y frutales. Por ende esto conmueve a que el suelo no tenga una función correctamente, ya que afecta el trabajo de diferentes microorganismos que ayudan a tener un suelo alto en CIC (Bedoya Justo et al., 2021).

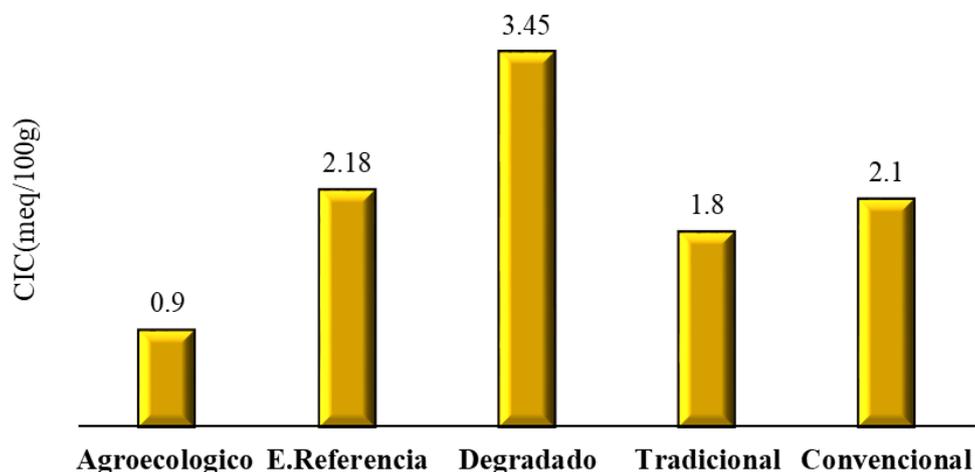


Figura 14.1 Intercambio catiónico en la zona de Isinche

3.4 Validación cuantitativa

La validación cuantitativa de la CIC se realizó con los resultados del laboratorio de las quince muestras. En la tabla 1 se observa que los valores determinados con azul de metileno y los del laboratorio presentan los mismos rangos cuantitativos de CIC; aunque su valor numérico es diferente. Es decir, los suelos de los cinco sistemas de producción en tres cantones de Cotopaxi son suelos pobres (Cevallos Jiménez & Macias Zamora, 2022). El método de tinción de azul de metileno que se utilizó para poder medir la capacidad de intercambio catiónico tiene una valides favorable para los agricultores, ya que es un método económico y fácil de realizar.

Tabla 1. Resultados de las cinco muestras de las tres diferentes zonas.

Sistema de producción	Latacunga (Salache)	Salcedo (Carrillo)	Pujili (Isinche)	Análisis de Laboratorio
Tradicional	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Agroecológico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ecosistema de referencia	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Convencional	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Degradado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

3.5 Comparación de la materia orgánica con los análisis de laboratorio

En la Figura 15 se visualiza que los cinco sistemas que se evaluaron en laboratorio y con el método de azul de metileno existe un porcentaje de 2.74 a 4.54% de MO. Porcentajes que corresponden a niveles medios de MO en suelos agrícolas; aunque, lo ideal para una producción óptima es superior al cinco por ciento (Luna-Canchari & Mendoza-Soto, 2020). En este caso, todos los sistemas necesitan agregar mayor contenido de MO al suelo.

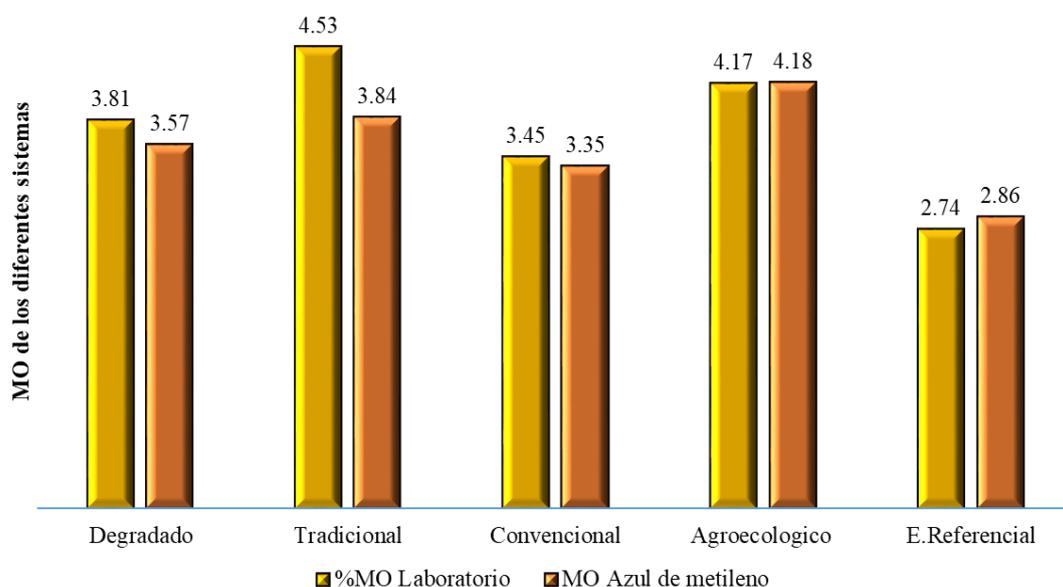


Figura 15. Comparación de porcentajes de la materia realizada en laboratorio con la enviada al INIAP

3.6 Análisis de agregados

Según Devia Guevara & Valencia Pabon, (2019), el valor de agregados en el suelo para ser considerado como suelo alto en CIC varía entre uno a dos. Como se establece en la Figura 16, los resultados obtenidos tras el método de aplicaciones móviles (Slakes) se observa que los resultados dieron un máximo de 0.51, correspondiente al sistema tradicional esto se debe a su alta capacidad de las partículas del suelo al pertenecer a unidades en forma de agregados. Por lo cual, el sistema degradado da como resultado un mínimo de 0.37 de agregados. Esto se debe a que el suelo tiene una permanente erosión y compactación. Dándonos a conocer mediante los resultados de los cinco sistemas evaluados, la CIC fue baja debido a que no existe un rango

relevante de agregados.

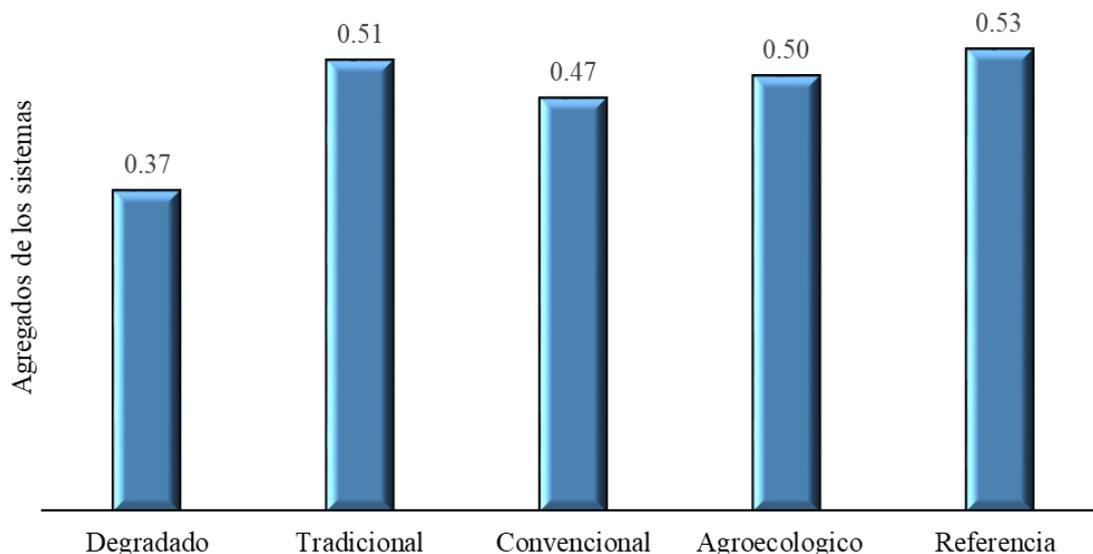


Figura 16. Resultados de agregados de los sistemas de las tres zonas evaluadas.

3.7 Análisis del Potencial híbrido

Rosas-Patiño et al., (2017) menciona que el pH adecuado de un suelo en buenas condiciones para ser producidos y tener un buen resultado de CIC se encuentra en el nivel establecido de siete a ocho, esto se debe al incremento de cargas negativas y ayuda a tener una mejor retención de cationes en el suelo. Se puede evidenciar en la figura 17 los resultados que se estableció tras el método de pasta saturada de los diferentes suelos establece que existe una baja disponibilidad de microorganismos y nutrientes, ya que se presenta un pH alcalino, por lo que en el sistema agroecológico, referencial, degradado y tradicional da un resultado pasado de ocho, son suelo que necesitan ser encalados; sin embargo, el sistema convencional se mantiene dentro del rango adecuado para ser un suelo productivo, cabe mencionar, que el suelo a pesar de los resultados obtenidos no se presenta una productividad mala, por lo que ciertas plantas se adaptan y existe buena producción a pesar de estos resultados.

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

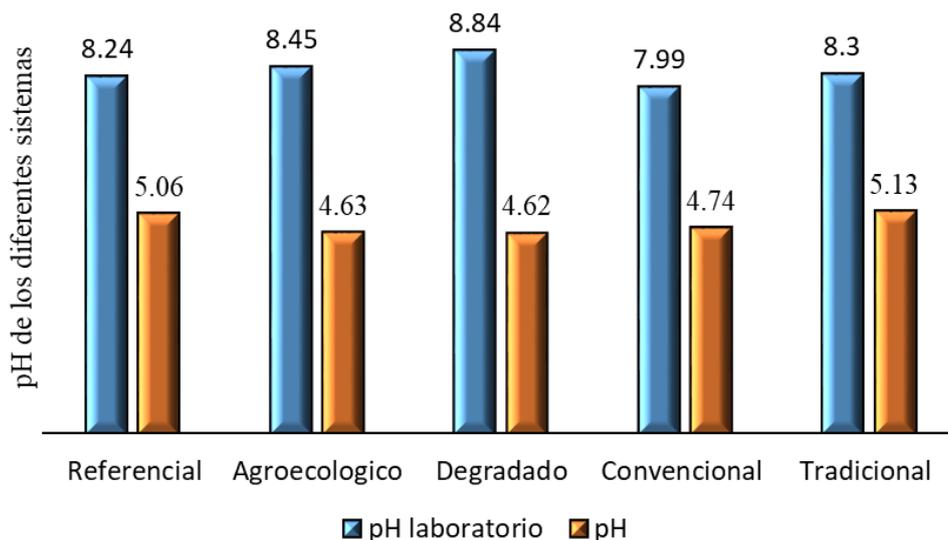


Figura 17. pH de los suelos en la provincia de Cotopaxi.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico en el cantón de Latacunga y Salcedo son similares; aunque se evidencia un máximo valor en el sistema Agroecológico, porque se realiza la aplicación de materia orgánica en el suelo lo que aporta la fertilidad y el incremento del CIC para retener los nutrientes en la planta. Mientras, que el sistema degradado fue el más bajo por la ausencia de materia orgánica y fertilización. Para el cantón Pujilí el resultado fue lo contrario; el sistema de degradado es el máximo por la presencia de cultivos de cereales y leguminosas y el bajo el sistema agroecológico por ausencia de materia orgánica y ausencia de frutales y agricultura forestal.

El método azul de metileno es una técnica cualitativa, la cual se debe realizar con mucha experticia para evitar resultados erróneos. Sin embargo, es un método factible para los agricultores y económicamente viable.

El pH óptimo debe variar entre 6 y 8 para ser considerado un suelo productivo, en los resultados de los sistemas agroecológica, referencial, degradado y tradicional el pH varió de 8.2 a 8.9 (alcalino), estos niveles afectan la disponibilidad de nutrientes y microorganismos y por ende al desarrollo de las raíces. Solo el sistema convencional el pH es de neutro que beneficia a la absorción de nutrientes del suelo y la resolución de procesos químicos.

5. REFERENCIAS

- Adrian Villota, H. J. (2024). *Importancia del desarrollo sustentable en la producción agrícola* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo] Repositorio Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/15900>
- Aguilar Silva, S. Y. (2019). *Validación del método de calcinación en la determinación del contenido de la materia orgánica del suelo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4154>
- Aldaz, J. C. C., Cortez, J. L. P., López, M. C., & Jacome, S. S. I. (2020). Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles/ Adaptability in the agricultural production system: A look from sustainable alternative products. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(4). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/racs/article/view/34665>
- Barbosa-Basto, C. G., & Romero-Cajamarca, S. A. (2017). *Determinación de la superficie específica en suelos caoliníticos y bentoníticos mediante la aplicación de adsorción de azul de metileno aplicando diferentes gradientes térmicos* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia] Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/fd94b03c-b196-43a3-9c2d-03de34e11425>
- Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., Ullauri-Espinoza, M., Barrera-Leon, J., & Condoy-Gorotiza, A. (2020). Evaluación del método De ignición para determinar materia orgánica en suelos de la Provincia El Oro-Ecuador. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 19(2), 25-26. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747>.
- Baumann, K., Schöning, I., Schrupf, M., Ellerbrock, R. H., & Leinweber, P. (2016). Rapid assessment of soil organic matter: Soil color analysis and Fourier transform infrared spectroscopy. *Geoderma*, 278, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.012>
- Bedoya Justo, E., Julca Otiniano, A., Bedoya Justo, E., & Julca Otiniano, A. (2021). Efecto de la materia orgánica en el cultivo de palto variedad Fuerte en Moquegua, Perú. *Idesia (Arica)*, 39(4), 111-119. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400111>
- Burbano Orjuela, H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias*, 18(1), 118-126. <https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68>
- Castaño, R., & González, M. (2022). Predicción de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en cultivos de aguacate empleando modelos Machine Learning. *Los Libertadores*, 1-23 <https://repository.libertadores.edu.co/server/api/core/bitstreams/9dd70f14-80fd-476f-83c0-e6b826a5018e/content>
- Castillo-Valdez, X., Etchevers-Barra, J. D., Hidalgo-Moreno, C. M. I., & Aguirre-Gómez, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: Generación e interpretación de indicadores. *Revista Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>
- Cevallos Jiménez, E. I., & Macías Zamora, S. V. (2022). *Variabilidad de la capacidad de intercambio catiónico en los ecosistemas de la zona noroccidental del parque nacional Llanganates* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] Repositorio Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/21362>
- Cruz-Flores, G., López, A., & Gallardo Lancho, J. (2022). *Redescubriendo Suelo (Re-discovering the soil: Its ecological and agricultural importance)*. https://www.researchgate.net/publication/358461013_Redescubriendo_Suelo_Re-discovering_the_soil_its_ecological_and_agricultural_importance
- Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., Gordillo-Curiel, A., Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)

- Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., & Gordillo-Curiel, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Devia Guevara, A., & Valencia Pabon, E. (2019). *Evaluación de la resistencia del concreto con reemplazo del agregado fino por ceniza de cascarilla de arroz* [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia] Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6479>
- Etchevers-Barra, J. D., Cotler-Ávalos, H., & Hidalgo-Moreno, C. (2020). Salir de la invisibilidad: Nuevos retos para la ciencia del suelo. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(4), 931-939. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.867>
- Fajardo, M., McBratney, Alex. B., Field, D. J., & Minasny, B. (2016). Soil slaking assessment using image recognition. *Soil and Tillage Research*, 163, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.018>
- Flynn, K. D., Bagnall, D. K., & Morgan, C. L. S. (2020). Evaluation of SLAKES, a smartphone application for quantifying aggregate stability, in high-clay soils. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 345-353. <https://doi.org/10.1002/saj2.20012>
- González, G. (2017). Caracterización físico-química y microbiológica de suelos paramunos del p.n.n. Sumapaz sometidos al cultivo convencional y orgánico de papa post-descanso de actividad agrícola. *Semillas Ambientales*, 11(2). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12869>
- Guerrero Lázaro, J. M. (2019). *Determinación de la capacidad de intercambio catiónico por el método del formaldehído* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4116>
- Hernández-Lalinde, J. (2019). *Artículo - Sobre el uso apropiado del coeficiente de correlación de Pearson: Verificación de supuestos* [dataset]. Mendeley. <https://doi.org/10.17632/X9TGHXPDC3.1>
- Huanay Munguía, M. F. (2022). Efecto de la mezcla de abonos orgánicos a partir de Vermicompost, abono verde y gallinaza en la recuperación del suelo degradado – Cayhuayna Alta – Huánuco, 2021 [Tesis de grado, Universidad de Huánuco] Repositorio Universidad de Huánuco. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDHR_7fc2309610e47782bc8c5420050c6dcc
- Llano, E., Ríos, D., & Restrepo, G. (2020). Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad. *TecnoLógicas*, 23(49), 185-199. <https://doi.org/10.22430/22565337.1624>
- Luna-Canchari, G., & Mendoza-Soto, N. (2020). Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1405>
- Manayay Mendoza, D. (2021). *Efecto de la aplicación de un bioestimulante sobre las propiedades físico-químicas de suelos con diferente textura y salinidad* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia] Repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174953>
- Marqués, M. J. (2022). El suelo agrícola, una perspectiva histórica de su degradación y la oportunidad de contribuir a la mitigación del cambio climático. *Revista Española de Desarrollo y Cooperación*, 48, 35-56. <https://doi.org/10.5209/redc.81175>
- Maynard, J. J., Maniak, S., Hamrick, L., Peacock, G., McCord, S. E., & Herrick, J. E. (2022). LandPKS Toolbox: Open-source mobile app tools for sustainable land management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 77(6), 91A-97A. <https://doi.org/10.2489/jswc.2022.0927A>
- Ortiz Zamora, J. A. (2020). *Metodologías que permitan evaluar la "salud del suelo"* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira] Repositorio Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/13142>
- Pérez Rosales, A., Galvis Spínola, A., Bugarín Montoya, R., Hernández Mendoza, T. M., Vázquez Peña, M. A.,

- Rodríguez González, A., Pérez Rosales, A., Galvis Spínola, A., Bugarín Montoya, R., Hernández Mendoza, T. M., Vázquez Peña, M. A., & Rodríguez González, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: Descripción del método de la tiourea de plata (AgTU + n). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(1), 171-177. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>
- Pescador, J. A. G. (2018). *Fundamentos para el estudio, identificación y determinación metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en el departamento del Valle del Cauca* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a distancia] Repositorio Universidad Nacional Abierta y a distancia. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/18030>
- Ponce, M. F. P., Villao, F. A., Morán, J. M., Tamayo, P. V., & García, W. M. (2022). Identificación de propiedades del suelo agrícola en la parroquia Charapotó: Identificación de propiedades del suelo agrícola en la parroquia Charapotó. UNESUM - Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(2), <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v6.n2.2022.625>
- Rebolledo, J. S. R., & Sierra, F. D. Z. (2020). Evaluación de la salud del suelo en áreas de recuperación de la reserva natural Banco Totumo Bijibana en el municipio de Repelón, Atlántico [Tesis de grado, Universidad de la Cota CUC], Corporación Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6951>
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Vallejo, V. E., Afanador, L. N., Hernández, M. A., & Parra, D. C. (2018). Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro*, 30(1), 27-38.
- Zabaloy, M. C. (2021). Una sola salud: La salud del suelo y su vínculo con la salud humana. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(4), 275-276. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.11.001>

Artículo científico: Aplicación de azul de metileno en suelos para determinar la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos, químicos y aplicaciones móviles.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 20-38)