



ARTÍCULO ORIGINAL

<https://cu-id.com/2284/v13n1e06>

Herramienta de referencia para el control de calidad de suelos ferralíticos rojos lixiviados húmicos y típicos

Reference Tool for Quality Control of Humic and Typical Leached Red Ferralitic Soils

Dra.C. Mayra Arteaga-Barrueta^I, MSc. José Antonio Pino-Roque^{II}, Ing. Alejandro Carlos-Evangelista^{III}

^I Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento Química, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento Matemática Física, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III} Universidad de Oaxaca, México.

RESUMEN. En la gestión sostenible de los suelos el monitoreo del impacto de su manejo juega un rol fundamental, pero la viabilidad de su aplicación sistemática se ve afectada por el alto costo de las técnicas utilizadas en el análisis convencional. La cromatografía radial puede aportar una solución factible, al ser un método más sencillo, integrador y económico. Para esto se debe contar con cromas de referencias y modelos matemáticos generalizadores de predicción para los suelos cubanos en sus diferentes tipos, subtipos y usos, que apoyarían a dar información integradora para predecir en qué sentido dirigir las evaluaciones cuantitativas convencionales. Con este fin se obtuvieron y analizaron cromas de referencias y modelos que caracterizan suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL), agrupados por subtipo e historial de manejo. La interpretación integral de los modelos para cada uno de los grupos, permitió realizar generalizaciones de predicción de estos suelos antes y después de ser mejorados. Proporcionaron información integrada del papel fundamental de la zona central de las cromas en su interrelación con indicadores sensibles de calidad de los suelos (pH, dv, COT, C/N) y el manejo desplegado. Sugirieron que la zona mineral adquiere mayor significación para el contenido de nutrientes (P, Na, K, Mg, Ca) y su disponibilidad. Reflejaron de manera muy específica el estado de los suelos antes y después de mejorados con el vermicompost. Indicaron que la aplicación de la cromatografía radial puede encauzar y viabilizar el trabajo futuro en los protocolos de monitoreos convencionales para suelos en los diferentes niveles productivos.

Palabras clave: suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, cromatografía radial, modelos de regresión múltiple.

ABSTRACT. In the sustainable management of soils, monitoring the impact of its management plays a fundamental role, but the viability of its systematic application is affected by the high cost of the techniques used in conventional analysis. Radial chromatography can provide a feasible solution, as it is a simpler, more integrative and economical method. For this, it is necessary to have reference chromas and generalizing mathematical prediction models for Cuban soils in their different types, subtypes and uses, which would help to provide integrative information to predict in which direction to direct conventional quantitative evaluations. For this purpose, chromas of references and models that characterize leached Red Ferralitic soils (FRL) were obtained and analyzed, grouped by subtype and management history. The comprehensive interpretation of the models for each of the groups, allowed to make prediction generalizations of these soils before and after being improved. They provided integrated information on the fundamental role of the central chroma zone in its interrelation with sensitive indicators of soil quality (pH, dv, TOC, C / N) and the management deployed. They suggested that the mineral zone acquires greater significance for the content of nutrients (P, Na, K, Mg, Ca) and their availability. They reflected in a very specific way the state of the soils before and after they were improved with vermicompost. They indicated that the application of radial chromatography can channel and make possible future work in conventional monitoring protocols for soils at different productive levels.

Keywords: Radial Chromatography, Multiple Regression Models, Sustainability.

¹ Autora para correspondencia: Dra.C. Mayra Arteaga-Barrueta, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0591-2063>:

Recibido: 12/09/2021.

Aprobado: 09/12/2022.

INTRODUCCIÓN

En el monitoreo del impacto producido por el manejo de los suelos a través de un sistema de vigilancia en la gestión sostenible de los mismos es una de las principales acciones incentivadas por la FAO, esto puede ser extendido a los suelos Ferralíticos Rojos cubanos característicos de la llanura Habana-Matanzas de alta productividad en el país ONEI-Cuba (2018) y Batista (2018), los cuales sufren procesos de degradación de naturaleza multifactorial, dentro de los que tiene un papel fundamental su manejo no adecuado durante el cultivo continuado (Febles *et al.*, 2014, 2020).

La introducción de los test cromatográficos puede cumplir un rol en la preservación de la calidad de los suelos de manera sistémica. La viabilidad de la aplicación de estos test está dada por dos aspectos fundamentales: la simpleza de su realización que ahorra tiempo y la economía del proceso Arteaga *et al.* (2018; 2021), lo que permite ser elaborado *in situ* (laboratorio o campo) por el propio productor (Medina *et al.*, 2018). Además, por la integración de la información obtenida a través del análisis de las imágenes de las cromas Restrepo & Pinheiro (2015) e integrándolo a los modelos de predicción generalizadores que lo caracterizan (Arteaga *et al.*, 2021). Según plantean estos autores, la limitación de la extensión del método de cromatografía radial con estos fines radica en poder contar con patrones de cromas característicos y su evaluación a partir de los modelos de predicción que integra parámetros cuantitativos de calidad y cualitativos para direccionar el análisis convencional cuantitativo. Lo cual establecería una novedad en el estudio y monitoreo sistémico de suelos y específicamente para los ferralíticos rojos lixiviados (FRL) en el marco de una agricultura de precisión sustentable (García & Félix, 2014; Reyes *et al.*, 2014). Pues en la actualidad no se poseen patrones referencias y modelos de predicción establecidos para introducción en los protocolos, solo se cuentan con la información aportada en suelos FRL hidratados por Arteaga *et al.* (2021). El objetivo del presente trabajo consistió en: (I) Obtener los cromas estándares y modelos de

predicción que caracterizan a suelos ferralíticos rojos lixiviados (FRL) húmicos y típicos con diferentes manejos sustentados con estudios cuantitativos (II) Determinar la viabilidad de esta herramienta en la evaluación de la calidad de los suelos FRL húmicos y típico mejorados con vermicompost.

MATERIALES Y MÉTODOS

El protocolo general de trabajo se fundamentó en dos pasos esenciales: (I) Obtención de cromas y modelos estándares, mediante el estudio cuantitativo y cualitativo de los suelos FRL húmicos y típico, según la clasificación aportada por Hernández *et al.* (2015). (II) Aplicación de los cromas y modelos estándares para predecir variables cuantitativas del estado de suelos antes y después de mejorados.

Para el desarrollo del procedimiento I se adecuaron e integraron normas y métodos establecidos en el estudio cuantitativo y cualitativo de suelos según Arteaga *et al.* (2021), reflejados en la Figura 1.

Primeramente se efectuó la selección y caracterización de las áreas de los suelos FRL en estudio, de acuerdo a su clasificación genética y el historial de manejo; a continuación la realización del estudio cuantitativo convencional a través de la selección e integración de parámetros indicadores de la calidad de los suelos referidos en la literatura por Arteaga *et al.* (2021), como el pH, contenido de materia orgánica expresado en carbono orgánico total (COT) y de nutrientes (Na, K, P, Rel. Ca/Mg, Rel. C/N), PH, la densidad volumétrica (Dv). Seguidamente se ejecuta el análisis cualitativo mediante la metodología de cromatografía de papel circular propuesta por Restrepo & Pinheiro (2015). Como paso final el establecimiento de modelos de regresión múltiples que relacionen los valores obtenidos en el análisis cuantitativo y con el cualitativo; y el análisis de la información aportadas por los modelos obtenidos para realizar las predicciones aportadas por ellos, de acuerdo a las referencias aportadas en el estudio de suelos FRL hidratados por Arteaga *et al.* (2021).



FIGURA 1. Protocolo general desarrollado en la investigación.

La selección y caracterización de los suelos se realizó de acuerdo a su tipo Ferralítico Rojo Lixiviado y los subtipos característicos en la provincia Mayabeque, según la clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández et al., 2015). También por el manejo recibido Hernández et al. (2014), quedando agrupados de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1.

TABLA 1. Descripción de los suelos en estudio. (FRI h P2: Ferralítico Rojo lixiviado hidratado patrón perfil 2, FRI h C36: Ferralítico Rojo lixiviado hidratado conservado perfil 36, FRI h A3: Ferralítico Rojo lixiviado típico agrogénico perfil 3)

Perfil de Suelo Acrónimo	Ubicación (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Carretera de Jamaica–Tapaste. San José de las Lajas. Mayabeque)	Historial Del manejo Genética Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL)	Clasificación	
			Manejo	
2 FRLhP2	N: 353,200 E:383,200	Arboleda con plantas de Ficus por más de 40 años.	Húmicos (h)	Patrón (P)
36 FRLhC36	N:353.300 E:383.300	Arboleda de mango de 30 años.		Conservado (C)
3 FRLtA3	N: 353,050 E:382,875	Pastos durante 4 años, posteriormente cultivos intensivo por más 30 años	Típico (t)	Agrogénico (A)

(III) para la realización de la corrida de la muestra primeramente se obtiene el sobrenadante de la extracción realizada a la muestra de suelo con la adición de NaOH 1% y agitación. Seguidamente se filtra y se impregna el papel de filtro para la corrida final de la muestra. Se realiza la misma operación que cuando se impregna el papel con AgNO₃ al 5%, hasta que la solución llega a la segunda marca, se retira el papel y se deja secar horizontalmente sobre papel secante. Una vez seco el papel se expone indirectamente a la luz solar donde va ocurriendo su revelado (Paso IV).

(V) Para el análisis y la interpretación de las cromas se tuvo en cuenta las zonas que los forman, los indicadores ancho de las zonas y las radiaciones, además de la integración de la información físico, química y biológica (Figura 2) y de acuerdo a las referencias de Arteaga *et al.* (2021).



FIGURA 2. Indicadores que se tiene en cuenta en el análisis de las cromas: presencia y ancho de las zonas y caminos, formas de las radiaciones y su integración. Interpretación integrada de las propiedades de físicas, químicas, biológicas de la materia orgánica y microorganismos. (fuente: autor).

En la ejecución del procedimiento II del protocolo general, para la aplicación de los cromas y modelos estándares de los suelos FRL húmicos y típico para predecir variables cuantitativas del estado de suelos después de mejorados, se siguió el procedimiento mostrado en la Figura 1.

En ella se muestra que después de tratados los suelos con vermicompost con tres meses de maduración para su mejoramiento, en las proporciones 1 parte de suelo: 3 de suelo, referidas por Paneque et al. (2010), se realiza la obtención de las cromas y modelos estándares de los suelos mejorados y del vermicompost aplicado, a través de la metodología para este estudio realizada por Restrepo & Pinheiro (2015)).

Seguidamente se efectúa la predicción de las propiedades

cuantitativas de los suelos mejorados, con la comparación de la información obtenida de las cromas estándares y modelos para los suelos naturales y sustratos (suelo + vermicompost). Como paso final se comprobarán los resultados con los valores obtenidos en los indicadores de calidad en el análisis cuantitativo.

La elaboración de los gráficos y tablas se realizaron con Microsoft Excel 2010. Los datos fueron procesados con el paquete estadístico Statgraphics. Se empleó para el análisis estadístico la prueba ANOVA simple y la comparación múltiple de Tukey al 5% de significación. Para los estudios de las cromas de los suelos FRL húmico tomado como patrón (P2), FRL húmico conservado (C36) y FRL típico agrogénico (A3), el análisis de regresión múltiple con una confiabilidad de un 95% y $p < 0.01$

de significación, a partir del análisis de regresiones múltiples en cada variable cuantitativas dependientes: pH, carbono orgánico total, contenido de nutrientes (Na, K, Ca, Mg, P), Rel. C/N, con los indicadores cuantitativos (ancho de las zonas y separación de la radiaciones en la de las cromas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con lo referido por Restrepo & Pinheiro (2015), las imágenes de las cromas obtenidas son representativas e ideales para suelos conservados, fundamentalmente para la imagen 1 en la Figura 3, específicamente para FRI con propiedades características de patrones perfil P2 y conservado perfil C36 se Hernández *et al.* (2014), comprobado con las cromas obtenidas por Arteaga *et al.* (2021), en estos suelos tipos de suelo hidratados. Estas manifiestan la tendencia de la transición de suelos altamente conservados FRIhP2 (Figura 3-1), a otro de menor conservación FRIhC36 Figura 3-2) y más degradado por la acción antropogénica durante más de 30 años durante un manejo no adecuado FRI A3 (Figura 3-3).

De acuerdo con estos autores, los cromatogramas de los suelos patrón y conservado son característicos bien estructurados y armónicos, con acumulación de humus (coloración carmelita más oscura en las zonas intermedias de la cromas) y por la integración de las zonas que la forman, más destacado en el patrón (Fig.3-1) que en el conservado (Fig.3-2), pues en este último comienzan aparecer conjuntamente definiciones de las zonas (Fig. 3 en. 2 y 3) y mejor definida en la cromas del suelo agrogénico (Fig.3-3).

El color muestra tonalidades suaves que pasan de crema (Z. central de buen tamaño, bien definida y con buena aeración), que se desvanece lentamente para integrarse con la próxima zona de amarillo (Z. Mineral, comprende una superficie integrada y en relación con el tamaño que indica una buena armonía con las demás partes del cromas: pasando gradualmente a dorado, a oscuro en los extremos, pertenece a un suelo muy fértil con alto grado de actividad biológica humificadora, fundamentalmente el patrón imagen Figura 3-1. La forma de los caminos en plumas (Fig.2), desde su origen hasta el borde confirma la calidad del suelo (Figuras 3-1 y 3-2).

La Z. Proteica o de la materia orgánica se aprecia una excelente integración con la zona anterior y con la siguiente, la z. enzimática está penetrada totalmente por los diversos dientes en forma de explosiones, a partir de la materia orgánica (coloración carmelita más oscura), fundamentalmente (Fig. 3-1). En ella la excelente calidad del cromas se verifica por la buena formación enzimática y humus relacionándose constantemente, que se expresan en forma de nubes, lunares, bolsitas con contornos más oscuros según Medina *et al.* (2018), por lo que se puede decir que es un suelo con alto valor biológico y buena disponibilidad de la reserva nutricional. El cromatograma del suelo conservado C 36 representa la etapa intermedia entre el patrón y el suelo más degradado agrogénicos (Figura 3).

La cromas del perfil agrogénico A3 refleja (Figura 3-3), un suelo altamente desestabilizado producto de su degradación, caracterizado por que la interpenetración entre las zonas es casi nula. La zona central se presenta menos amplia y más irregular y

de color blanco, sugiere gran contenido de nitrógeno en la muestra, así como en la zona intermedia que aparece un halo nuboso blanco. La zona mineral amplia más oscura con la presencia de un halo blanco bien definido y no interpenetrado en las otras zonas, denota un suelo altamente mineralizado. La forma radial muy uniforme y amplia indica la baja actividad biológica y enzimática con pobre vinculación, lo cual esta manifestado en las terminaciones en forma de aguja de las cromas en el 'área externa del cromas (Fig.3-3). Se destaca en este suelo agrogénico como la materia orgánica aparece bloqueada, no transformada y/o primeros estadios (coloración más oscura borde de la z. central, mineral y enzimática), lo que sugiere que el proceso de mineralización se sobrepone al de humificación grandemente, el cual se encuentra no disponible pues la actividad biológica se manifiesta deprimida terminación en formas de agujas. En la cromas de este suelo FRI típico (Fig.3-3), los caminos se observan más unidos que en ambos casos, parece ser que una mayor reactividad en las reacciones que ocurren durante los pasos de las sustancias que lo componen. Esta cromas (Fig.3-3), puede ser considerada como representativa para suelo agrogénicos para FRI típicos, de acuerdo a las referencias dadas por Restrepo & Pinheiro (2015) en diferentes suelos y por Arteaga *et al.* (2021). para FRI hidratados.

En las Figura 3 de la derecha, se muestra las cromas del vermicompost (4) y de los sustratos de los suelos mejorados con éste (1,2,3), en las imágenes de manera general se identifica: (I) círculos o anillos, que denota riqueza enzimática sugieren incremento de la actividad biológica, la coloración en tonos más oscuros indica la no existencia de equilibrio en el sistema, producto de la adición de materia orgánica compostada más fresca; (II) La Z. central del perfil agrogénico tiende a manifestarse de color blanco y los perfiles conservados o patrones crema que es el planteado como ideal para suelos de mejor calidad, siendo el área más definida; (III) La Z mineral para los perfiles del subtipo húmico ya sea patrón y conservado Fig. 3-1 y 3-2), se amplía y toma una coloración blanca, enmarcado en un halo definido blanco, efecto característico de la presencia de reacciones del AgNO_3 con compuesto nitrogenado por la adición de un material orgánico de origen animal, considerando que el vermicompost utilizado es de estiércol vacuno.

Para el subtipo típico conservado toma una coloración oscura, más ideal es más dorada y opaca para el agrogénico. Aparece un halo más definido para los típicos, más blanco para el conservado y más oscuro para el agrogénico; (IV) Se destaca una integración en la Z proteica o de la MO, que indica la alta actividad biológica humificadora, o sea de transformación de la MO adicionada en un humus que se integra en asociación con la actividad enzimática, lo que se confirma con la formación de nubes, manchas oscuras que llegan en todos los suelos al final de los bordes externos de las cromas que se abren entre dientes de tamaños diferentes; (V) Tanto la formación de radiaciones en forma de plumas como la coloración dorada que predomina en las cromas son excelentes indicadores de una alta intensidad y armonía en la actividad biológica humificadora y enzimática y acompañada de disponibilidad de nutrientes, localizado en la zona externa (Fig. 3-1 y 3-2); y (VI) En la Z. enzimática se

refleja más el impacto de la adición de MO fundamentalmente para el agrogénico (Fig.3-3), que se manifiesta explosiones, nubes, disminución entre la distancia de las radiaciones y menos puntiagudas o sea la tendencia a hacia la mejora de la actividad no solo biológica sino también la enzimática.

La determinación del ancho de las zonas y caminos que se presentan en las cromas se reflejan en la Tabla 2. Estos valores se corresponden con lo antes analizado. El ancho de la Z central se encuentra invariante en el intervalo de 0,3 - 0,6 cm para los suelos antes y después de mejorados. La Z interna de acuerdo con lo discutido en análisis de la imagen el valor se va incrementado con la definición de la zona en ella, más en el patrón cromatográfico agrogénico. Para este último se

destaca la disminución del ancho de la zona, lo que sugiere su integración con la Z continua (intermedia); en esta, sin embargo, se presenta un patrón inverso al anterior, pues se presenta un incremento en cada zona que se manifiesta en la imagen con una mayor definición y delimitación entre las mismas. Esta zona intermedia representa la materia orgánica humificada presente al ser aportada por el vermicompost. Se destaca los valores del sustrato patrón que tienden al del vermicompost y los del agronómico a los del patrón, esto sugiere una acumulación de la misma logrando mejorar la captura de carbono en el mismo, la intensificación del color oscuro en la imagen en esta zona de las cromas manifiesta estos hechos (Figura 3-1).

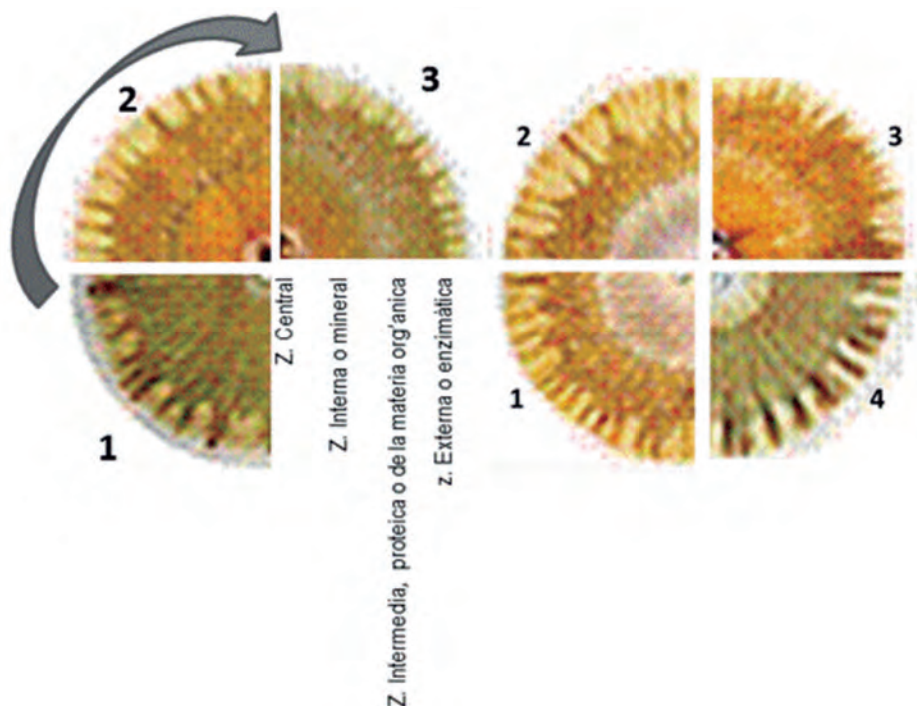


FIGURA 3. Imágenes representativas de las cromas obtenidas para cada suelo (izquierda) y el sustrato formado con el vermicompost después de mejorado el mismo (derecha). 1. Suelo FRI húmico patrón (FRI h P). 2. Suelo FRI húmico conservado (FRI h C). 3. Suelo FRI típico agrogénico (FRI t A). 4. Vermicompost de estiércol vacuno utilizado como mejorador del suelo. (Fuente: autor).

TABLA 2. Ancho (cm) de las zonas y de los caminos presentes en las imágenes de las cromas. Suelo FRI húmico patrón (FRI h P), sustrato de FRI h P con vermicompost SVcP2. Suelo FRI húmico conservado (FRI h C36), sustrato de FRI h C36con vermicompost SVc C36. Suelo FRI típico agrogénico (FRI t A3), Vermicompost de estiércol vacuno utilizado como mejorador del suelo (Vc) y caminos presentes en las cromas

Ancho(cm)zonas	Central	Interna	Intermedia	Externa	Caminos
FRLhuP2	0,3-0,4b	1,4-1,6d	2-2,1b	0,8-1,3b	0,6-0,9b
SVcP2	0,3-0,5b	1,5-1,6d	2,4-2,6a	0,5-0,6e	0,4-0,6c
FRLhuC36	0,3-0,6b	1,6-1,8c	1,9-2c	1,2-1,5b	0,6-1,1b
SVcC36	0,3-0,5b	1,6-2,1b	2,1-2,3b	0,7-0,8d	0,4-0,7c
FRLtA3	0,4-0,5b	1,8-2,1b	1,9-2,5c	0,8-1,1c	0,3-0,8c
SVcA3	0,4-0,6b	1,6-1,7c	2,1-2,12b	0,2-0,3f	0,4-0,6c
Vermicompost(Vc)	1,80-1,96a	2,34-2,4a	2,4-2,6a	1,54-1,81a	1,1-1,3a
ES	1,02	1,11	1,1	0,98	0,99

Las propiedades físicas, físico-químico evaluadas en los suelos en estudio antes y después de mejorados se reflejan en la Tabla 3. En lo suelos naturales se corresponden con los intervalos establecidos para estos suelos FRL húmicos y típicos de acuerdo

a su manejo que han recibido (Hernández *et al.*, 2014). Según esta referencia el perfil 2 y 36 reflejan propiedades de suelos humificados con muy poca actividad antrópica, que se corresponden con el historial de manejo donde han permanecido con vegetación de ficus y mango respectivamente, entre 40 y 30 años respectivamente.

En estos suelos la densidad volumétrica se presenta con valores menores que 1, el pH en el rango de la neutralidad, contenidos de carbono orgánico totales y nutrientes adecuados, unido a los valores de la relación C/N revelan el grado de equilibrio y estabilidad de los mismos.

La transición de un perfil humificado prácticamente “virgen” del perfil 2 al 36 que en algún momento tuvo que presentar actividades agrogénicas anteriores a su conservación con arboleda de mango, se manifiesta claramente en las propiedades estudiadas (Tabla 3): el incremento de la Dv, con semejante tendencia en el pH a incremento de la basicidad, pérdida del carbono y los nutrientes; todo ello demuestran una disminución de la madurez y estabilidad de este suelo con relación al de ficus, el cual fue caracterizado por Hernández *et al.* (2014), para ser considerado como un suelo estándar en estudios de FRL con subtipo húmico, de acuerdo a descripción de las propiedades.

TABLA 3. Evaluación de los indicadores de calidad de los suelos y sustratos

Perfiles FRL	Dv Kg.dm-3	Na Cmol.kg ⁻¹	K Cmol.kg ⁻¹	Ca/Mg	P ppm	COT %	pH	C/N
húmicoP2	0,89	0,02c	0,34e	4,86a	39,0g	11,03c	7.2c	13,48a
sustratoP2	0,84	0,16b	0,90b	2,30d	218,8b	16,69a	7.0c	14,80a
típicoC36	1,01	0,16b	0,64d	2,71d	65,0f	12,03c	7.2c	13,60a
sustratoC36	0,98	0,17a	0,89c	2,39d	194,8c	16,67a	7.0c	14,60b
FRLtA3	1,20	0,01a	0,91b	2,88b	36,4h	1,67i	7,6b	9,55c
sustratoA3	1,08	0,16b	0,89c	1,84e	167,1d	6,21h	7.2c	11,55b
Vermicompost Vc	1,10	389a	18540a	2,90b	1601b	19,89a	8,8a	11,53b
Es	ns	0,18	0,26	0,24	0,016	0,021	0,011	0,23

Las propiedades del perfil 3 que sugieren un suelo con alto grado de actividad antrópica y su degradación en correspondencia con el manejo no adecuado que ha presentado, lo cual denota el incremento de la densidad volumétrica, el pH que transitó a rango básico, el contenido de COT muy bajo con pérdidas en el contenido de nutrientes, por consiguiente, la relación C/N denota una menor estabilidad estructural del mismo. Los valores de los indicadores de calidad evaluados para suelos FRLt se encuentra dentro del rango referido por Hernández *et al.* (2014) para suelos agrogénicos.

Este suelo (A3) después de mejorado con vermicompost denota un mayor impacto en el incremento de la calidad de sus propiedades (Tabla 3) e información obtenida en el análisis de la corma, con relación a los suelos más conservados (P2 y C36), fundamentalmente en el contenido de carbono orgánico que se incrementó prácticamente en 4 veces, la mejoría en el contenido de los nutrientes y sus relaciones, tendencia del valor de pH a intervalo neutro y de disminución de la densidad volumétrica.

Esto se corresponde con la información brindada por la imagen de las cromas, en cuanto a definición o integración de las zonas, color y el ancho de las mismas. El mayor impacto en la mejora de los suelos se aprecia en los valores del contenido de carbono orgánico total encontrado en cada uno por el análisis cuantitativo (Tabla 3), principalmente el agrogénico más degradado. Esta información integrada obtenida ayuda a comprender mejor y complementar la información de los cambios manifestados de acuerdo al manejo, pero también llegando a identificar hasta a un nivel de subtipos de suelos ferralíticos rojos lixiviados.

De acuerdo por lo encontrado por Arteaga *et al.* (2021). para FRL hidratados se verifica a las pocas horas de aplicados el vermicompost al suelo en la imagen de las cromas claramente la mejoría de las propiedades del suelo tratado. Aspecto muy ventajoso en la viabilidad del método al ser aplicado in situ en los sistemas productivos.

Modelos para estimar variables cuantitativas del estado de suelos

Se seleccionaron los modelos más significativos desde el punto de vista descriptivo, a partir de los coeficientes de determinación R² (Sig=0.000 ***) y predicción con una confiabilidad al 95%, en ellos se destacan las variables más significativas en cada modelo obtenido a partir del análisis parcial de las variables independientes, siendo de manera general las zonas central (ZC), la enzimática (ZE) y de la materia orgánica o proteica (ZP), las que más aportan a las variables dependientes de los indicadores cuantitativos analizados.

Se resumieron en la Tabla 4 los valores estimados, con los modelos de regresión obtenidos a partir del análisis parcial de las variables independientes: ancho de las zonas de las cromas (Central ZC, Mineral ZM, Materia Orgánica o Proteica ZP, Enzimática ZE y caminos o separaciones de las radiaciones de las cromas (SRad); con las variables dependientes obtenidas en los análisis cuantitativos: contenidos de nutrientes asimilables (Na, K, Ca, Mg, P y Relación C/N), Carbono Orgánico Total (COT), para los suelos y sustratos formados, agrupados de acuerdo a su manejo.

En ella se presenta además los análisis de predicción de los valores de las propiedades químicas- físicas y biológicas estudiadas para los suelos y sustratos estudiados.

De los análisis de predicción de los valores de pH para los suelos y sustratos estudiados, a través de los modelos vemos

que el ancho de las Z Central y Z Mineral fundamentalmente, seguido de la Z Enzimática y ocasionalmente la Z Proteica para el sustrato y el suelo patrón humificado P2, son los que más inciden en la relación para la predicción de los valores de este indicador.

Se destaca la dependencia de la relación de las Z Central y Z Mineral con el contenido de nutrientes principalmente el de P, para todos los suelos. En el caso de la estimación de los valores del contenido de carbono orgánico total de manera semejante está determinado fundamentalmente por el ancho de las Z Central y Z Mineral y para el suelo conservado además por la Z Enzimática. Lo cual se corresponde con lo obtenido en suelos FRL hidratados (Arteaga *et al.* (2021). En la estimación del indicador Relación C/N juega un papel fundamental las Zonas Central, Z Mineral, Z Enzimática y Z Proteica.

Con los modelos de regresión propuestos es posible

predecir a partir de las cromas variables dependientes como el pH, el contenido de C orgánico total, relación C/N, contenidos de nutrientes asimilables (Na, K, Ca, Mg, P lo que permitirá sustentar la interpretación de los resultados e introducir este método en el análisis sistémico para el monitoreo de la calidad de los suelos.

Con la aplicación de la cromatografía radial se obtuvo cromatogramas patrones con los respectivos modelos de regresión múltiples que pueden tener su utilidad en estudios futuros de suelos Ferralíticos Rojos hidratados con diferentes manejos para predecir las propiedades físico-químicas y biológicas imprescindibles a evaluar y de esta forma sugerir el procedimiento a seguir para ejecutarlo por vía analítica. Esto puede hacer más viable el monitoreo sistémico de los mismos por la disminución en la complejidad de la metodología seguida para su realización con ahorro de tiempo y en la economía del proceso.

TABLA 4. Modelos de regresión y predicción obtenidos a partir del análisis parcial de la variable ancho de las zonas y caminos de las cromas y las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos determinadas en el análisis cuantitativo

Modelos de regresión	
(Sig=0.000 ***) (Est=95 %) suelo FRL (S) vermicompost (Vc) sustrato de suelo + vermicompost (StVc)	
Patrón humificado (FRLhu P2)	
(Na)S=0,0574075+0,00496746*ZC+0,00330342*ZM-0,0137894*ZP-0,00646704*ZE-0,0105041*SRad (Es=0,014; R ² =83,51 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 0,00496746 y Z Mineral en 0,00330342, aumentará el valor del contenido de Sodio .	
(Na)StVc=0,712374+0,121583*ZC+0,0433274*ZM-0,0518612*ZP+0,0622737*ZE-0,0551008*SRad (Es= 0,060; R ² = 91,62 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 0,121583 y Z Mineral en 0,0433274; con disminución en la Z proteica en 0,0518612 unidades, aumentará el valor del contenido de Sodio .	
(K)S =-27,3635+22,7829*ZC+23,2322*ZM+1,60506*ZP-9,66462*ZE+2,23126*SRad. (Es=5,823; R ² = 91,96 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 22,7829 y Z Mineral en 23,2322, aumentará el valor del contenido de Potasio .	
(K)StVc= 0,811353+0,045752*ZC+0,060547*ZM-0,043374*ZP-0,00064555*ZE+0,011733*SRad (Es=0,0025; R ² =92,71 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 0,045752 y Z Mineral en 0,060547, con disminución en la Proteica en 0,043374 unidades, aumentará el valor del contenido de Potasio .	
(Ca)S=39,821+40,1979*ZC+13,692*ZM-0,938527*ZP+3,69629*ZE-0,976212*SRad (Es=7,70; R ² =94,83 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 40,1979 y Z Mineral en 13,692, con disminución en la Z Proteica en 0,938527 unidades, aumentará el valor del contenido de Calcio .	
(Ca)StVc=18,6902+1,04926*ZC+4,13504*ZM-4,69933*ZP+1,61291*ZE+2,77251*SRad (Es=2,672; R ² =89,65 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 1,04926 y Z Mineral en 4,13504, con disminución en la Z Proteica en 4,69933 unidades, aumentará el valor del contenido de Calcio .	
(Mg)S=0,160823+3,60053*ZC+1,34772*ZM+0,204701*ZP-1,08627*ZE+0,124298*SRad (Es=0,690; R ² =91,74 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 3,60053 y Z Mineral en 1,34772, con disminución en la Z Enzimática en 1,08627 unidades, aumentará el valor del contenido de Magnesio .	
(Mg)StVc=10,0244+0,879558*ZC+1,93313*ZM+2,3634*ZP-1,15721*ZE-1,45696*SRad (E=1,470; R ² =87,4301 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las Z Central en 0,879558, Z Mineral en 1,93313 y Z Proteica en 2,3634, aumentará el valor del contenido de Magnesio .	
(P)S=47,0312 -70,6307*ZC+17,1565*ZM+1,83925*ZP-12,224*ZE+2,96973*SRad (Es=10,737; R ² =95,2888 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la Z Mineral en 17,1565, y disminución de Z Central en 70,6307 y Z Enzimática en 12,224 unidades, aumentará el valor del contenido de Fósforo .	
(P)StVc=2629,16+337,101*ZC+146,503*ZM-178,882*ZP-727,165*ZE-242,451*SRad Es=0,009; R ² =97,2405 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la Z Central en 337,101 y Z Mineral en 146,503, con disminución en Z Enzimática en 727,165 unidades, aumentará el valor del contenido de Fósforo .	
(COT)S=0,085945-0,02489*ZC-0,019968*ZM-0,0012835*ZP-0,003772*ZE- 0,0013521*SRad (Es=0,006; R ² =97,3247 %) Predicción:	
Se estima que por cada unidad de disminución de la Z Central en 0,02489 y Z Mineral en 0,019968, aumentará el valor del contenido de Carbono Orgánico Total .	
(COT)StVc=0,106473+0,0005572*ZC+0,008758*ZM-0,00649*ZP-0,00383182*ZE+0,001809*SRad (Es=0,005 R ² =95,7853 %)	
Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la Z Central en 0,0005572 y Z Mineral en 0,008758, con disminución las Z Proteica en 0,00649 unidades, aumentará el valor del contenido de Carbono Orgánico Total .	

Arteaga-Barrueta *et al.*: Herramienta de referencia para el control de calidad de suelos ferralíticos rojos lixiviados húmicos y típicos

$$(pH)S=8,72821-1,05761*ZC-0,441251*ZM-0,011681*ZP+0,00186047*ZE-0,0460986*SRad (Es=0,218; R^2=96,9086 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Central** en 1,05761 y **Z Mineral** en 0,441251 unidades, aumentará el valor del **pH**

$$(pH)StVc=7,51895+0,00468194*ZC+0,0367924*ZM-0,0526374*ZP-0,0442915*ZE+0,011293SRad (Es=0,3; R^2=95,8469 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Mineral** en 0,0367924 y disminución en **Z Proteica** en 0,0526374 y en **Z Enzimática** en 0,0442915 unidades, aumentará el valor del **pH**.

$$(C/N)S=12,076-0,308151*ZC-0,322577*ZM-0,0363553*ZP+0,170476*ZE-0,0374219*SRad (Es=0,072; R^2=92,2008 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Central** en 0,308151 y en **Z Mineral** en 0,322577 unidades, aumentará el valor de la **Relación C/N**.

$$(C/N)StVc=12,0226+0,687358*ZC-1,31276*ZM+1,71446*ZP-0,818302*ZE-1,08415*SRad (Es=1,109; R^2=93,7303 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Mineral** en 1,31276 e incremento de la **Z Proteica** en 1,71446 unidades, aumentará el valor de la **Relación C/N**.

Conservado humificado (FRLhu P36)

$$(Na)S=0,040405+0,019393*ZC+0,020405*ZM+0,0078113*ZP+0,0037569*ZE+0,0036073*SRad (Es=0,011; R^2=85,60 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,019393 y **Z Mineral** en 0,020405 unidades, aumentará el valor del contenido de **Sodio**.

$$(Na)StVc=0,31186+0,019676*ZC+0,180835*ZM+0,0394584*ZP-0,104126*ZE-0,0055067*SRad (Es=0,076; R^2=80,0575 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,019676 y **Z Mineral** en 0,180835, con disminución de **Z Enzimática** en 0,104126 unidades, aumentará el valor del contenido de **Sodio**.

$$(K)S=-16,3097+0,869125*ZC+19,9881*ZM+1,11649*ZP-4,62583*ZE+1,10561*SRad (Es=2,670; R^2=87,0641 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,869125 y **Z Mineral** en 19,9881, y disminución en la **Z Enzimática** en 4,62583 unidades, aumentará el valor del contenido de **Potasio**.

$$(K)StVc=0,83208+0,0124621*ZC+0,00283544*ZM+0,038123*ZP+0,010587*ZE-0,013521*SRad (Es=0,019; R^2=85,638 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,0124621 y **Z Mineral** en 0,00283544 unidades, aumentará el vapor del contenido de **Potasio**.

$$(Ca)S=11,4346-0,153346*ZC-16,3134*ZM+6,24228*ZP+5,17426*ZE-0,997309*SRad (Es=2,997; R^2=91,1922 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de las **Z Central** en 0,153346 y **Z Mineral** en 16,3134 unidades, y aumento en la **Z Proteica** en 6,24228 unidades, aumentará el valor del contenido de **Calcio**.

$$(Ca)StVc=21,0925-3,90462*ZC-0,234697*ZM+0,0844449*ZP-2,14983*ZE+0,0623225*SRad (Es=1,494; R^2=83,5716 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Central** en 3,90462, **Z Mineral** en 0,234697 y **Z Enzimática** en 2,140983 unidades, aumentará el valor del contenido de **Calcio**.

$$(Mg)S=-3,75809+0,0398219*ZC+8,32842*ZM+9,59276*ZP+4,35992*ZE-0,623768*SRad (Es=2,967; R^2=89,9556 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,0398219, **Z Mineral** en 0,0619917, **Z Proteica** en 9,59276 y **Z Enzimática** en 4,35992 unidades, aumentará el valor del contenido de **Magnesio**.

$$(Mg)StVc=12,1745+0,41584*ZC+0,0619917*ZM-0,608156*ZP-0,444234*ZE+0,0084415*SRad (Es=0,598; R^2=91,3378 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,41584 y **Z Mineral** en 0,0619917 unidades, aumentará el valor del contenido de **Magnesio**.

$$(P)S=-479,408+24,1458*ZC+429,174*ZM+141,977*ZP-72,318*ZE+21,7148*SRad (E=56,98; R^2=92,8545 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central**, en 24,1458, **Z Mineral** en 429,174 y **Z Proteica** en 24,1458, 141,977 unidades, con disminución **Z Enzimática** en 72,318 unidades, aumentará el valor del contenido de **Fósforo**.

$$(P)StVc=995,61-160,315*ZC-4,50648*ZM+103,723*ZP-179,367*ZE+3,18605*SRad (Es=92,299; R^2=91,0792 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Central** en 160,315 y **Z Enzimática** en 179,367 unidades, y el incremento de **Z Proteica** en 103,723 unidades, aumentará el valor del contenido de **Fósforo**.

$$(COT)S=0,025314-0,00042013*ZC-0,0015016*ZM+0,0095735*ZP+0,0022730*ZE-0,00015114*SRad (Es=0,008; R^2=96,34 \%)$$

Predicción: Se estima que, por cada unidad de incremento de la **Z Enzimática** en 0,00227303 unidades, aumentará el valor del contenido de **COT**.

$$(COT)StVc=0,098142+0,010020*ZC+0,0010975*ZM+0,0084481*ZP-0,00074364*ZE-0,00041232*SRad (Es=0,007; R^2=98,72 \%)$$

Predicción: Se estima que, por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,010020, **Z Mineral** en 0,0010975 y **Z Proteica** en 0,00844818 unidades, aumentará el valor del contenido de **Carbono Orgánico Total**.

$$(pH)S=6,94818+0,00284332*ZC+0,588471*ZM-0,122756*ZP-0,229571*ZE+0,0370136*SRad (Es=0,102; R^2=89,9556 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,00284332 y **Z Mineral** en 0,588471 unidades, aumentará el valor del **pH**.

$$(PH)StVc=7,68967-0,446293*ZC+0,0396056*ZM+0,076378*ZP-0,403802*ZE+0,0156007*SRad (Es=0,204; R^2=94,41 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Central** en 0,446293 y **Z Enzimática** en 0,403802 unidades, aumentará el valor del **pH**.

$$(C/N)S=10,8021+0,0762781*ZC-0,770356*ZM+0,155796*ZP-0,164252*ZE+0,0414548*SRad (Es=0,876; R^2=93,9144 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Mineral** en 0,770356 e incremento de la **Z Proteica** en 0,155796 unidades, aumentará el valor de la **Relación C/N**.

$$(C/N)StVc=11,3516+0,015028*ZC+0,00040942*ZM+0,110564*ZP+0,073644*ZE+0,0042810*SRad (Es=0,065; R^2=93,14 \%)$$

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Proteica** en 0,110564 unidades, aumentará el valor de la **Relación C/N**.

Agrogénico típico (FRLt P3)

(Na)S=0,341411-0,0637265*ZC+0,0275184*ZM-0,0517168*ZP-0,0211724*ZE-0,00389605*SRad (Es=0,023; R²=85,9916 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Mineral** en 0,0275184, y con disminución en la **Z Central** en 0,0637265 y **Z Proteica** en 0,0517168 unidades, aumentará el valor del contenido de **Sodio**.

(Na)StVc=0,30707+0,066207*ZC+0,0541496*ZM-0,00272792*ZP+0,08741*ZE+0,009072*SRad (Es=0,010; R²=86,3337 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,066207, **Z Mineral** en 0,0541496 y **Z Enzimática** en 0,08741 unidades, aumentará el valor del contenido de **Sodio**.

(K)S=0,902152+0,0481853*ZC+0,0182577*ZM-0,0672713*ZP-0,0913956*ZE-0,0121345*SRad (Es=0,026; R²=87,0698 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,0481853 y **Z Mineral** en 0,012577 unidades, y con disminución en la **Z Proteica** en 0,0672713 y **Z Enzimática** en 0,0913956 unidades, aumentará el valor del contenido de **Potasio**.

(K)StVc=0,77342+0,0342063*ZC+0,0176939*ZM-0,0182803*ZP+0,061559*ZE+0,0039700*SRad (Es=0,007; R²=85,518 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,0342063 y en **Z Mineral** en 0,0186939 unidades, y disminución de **Z Proteica** en 0,0182803 unidades, aumentará el valor del contenido de **Potasio**.

(Ca)S=14,3862-0,394841*ZC-0,12566*ZM+0,480278*ZP+0,720598*ZE+0,110581*SRad (Es=0,182; R²=92,1168 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de las **Z Central** en 0,394841 y **Z Mineral** en 0,12566 unidades, y el incremento de **Z Proteica** en 0,480278 y **Z Enzimática** en 0,720598, aumentará el valor del contenido de **Calcio**.

(Ca)StVc=16,2968+0,384756*ZC+0,577746*ZM+0,00832616*ZP+0,486227*ZE-0,0171259*SRad (Es=0,089; R²=90,4141 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de las **Z Central** en 0,384756, **Z Mineral** en 0,577746 y **Z Enzimática** en 0,486227 unidades, aumentará el valor del contenido de **Calcio**.

(Mg)S=4,15827+0,0783223*ZC+0,0366228*ZM+0,0209125*ZP-0,0480965*ZE-0,0298998*SRad (Es=0,023; R²=86,218 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,0783223 y **Z Mineral** en 0,0366228 unidades, la disminución de **Z Enzimática** en 0,0480965 unidades, aumentará el valor del contenido de **Magnesio**.

(Mg)StVc= 9,57499+0,619023*ZC+0,3347*ZM-0,00146254*ZP+0,792671*ZE+0,139011*SRad (Es=0,088; R²=87,7953 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,619023 y **Z Enzimática** en 0,792671 unidades, aumentará el valor del contenido de **Magnesio**.

(P)S=433,305+0,860982*ZC+0,160438*ZM+0,643634*ZP+0,763061*ZE+0,167196*SRad (Es=0,238; R²=94,7174 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,860982 y **Z Proteica** en 0,643634 unidades, aumentará el valor del contenido de **Fósforo**.

(P)StVc=1789,48+0,415617*ZC+0,139636*ZM+0,163538*ZP+0,371042*ZE+0,153237*SRad (Es=0,074; R²=92,9241 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,415617, **Z Mineral** en 0,139636, **Z Enzimática** en 0,371042 y **Caminos entre Radiaciones** en 0,153237 unidades, aumentará el valor del contenido de **Fósforo**.

(COT)S=0,021300-0,0047550*ZC+0,0021997*ZM+0,0013678*ZP+0,002092*ZE+0,001001*SRad (Es=0,0007; R²=95,4741 %)

Predicción: Se estima que, por cada unidad de disminución de la **Z Central** en 0,0047550 unidades, e incremento de las **Z Mineral** en 0,0021997 y de **Z Enzimática** en 0,002092 unidades, aumentará el contenido de **Carbono Orgánico Total**.

(COT)StVc=0,09297+0,000428*ZC+0,000590*ZM+0,000234*ZP-0,000778*ZE+0,0000568*SRad (Es=0,0001; R²=95,635 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,000428 y **Z Mineral** en 0,000590 unidades, aumentará el valor del contenido **Carbono Orgánico Total**.

(PH)S=7,2875+0,149569*ZC+0,0556595*ZM+0,0215871*ZP+0,102327*ZE+0,044446*SRad (Es=0,020; R²=93,3217 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,149569 y **Z Enzimática** en 0,102327 unidades, aumentará el valor del contenido **pH**.

(PH)StVc= 8,35219-0,164415*ZC-0,144755*ZM-0,0100966*ZP-0,200688*ZE-0,0232483*SRad Es=0,024; R²=95,4652 %)

Predicción: Se estima que por cada unidad de disminución de las **Z Central** en 0,164415, **Z Mineral** en 0,144755 y **Z Enzimática** en 0,200688 unidades, aumentará el valor del contenido del **pH**.

(C/N)S=11,7717+0,0100841*ZC+0,00575847*ZM-0,103663*ZP+0,0375812*ZE-0,0349265*SRad (Es=0,059; R²=95,2497 %)

Predicción: Por cada unidad de incremento de la **Z Central** en 0,0100841 y **Z Enzimática** en 0,0375812 unidades, aumentará el valor del contenido de la **Relación C/N**.

(C/N)StVc=11,8121+0,0522075*ZC-0,237707*ZM+0,250777*ZP-0,179869*ZE+0,14195*SRad (Es=0,091; R²=98,6604 %) **Predicción:** Se estima que por cada unidad de disminución de la **Z Mineral** en 0,237707 e incremento de la **Z Proteica** en 0,250777 unidades, aumentará el valor del contenido de la **Relación C/N**.

CONCLUSIONES

- A partir de la aplicación de la cromatografía radial se obtienen cronogramas patrones y modelos de regresión múltiples que identifican a suelos ferralíticos rojos lixiviados húmicos y típicos característicos de la Provincia Mayabeque con diferente historial de manejo, comprobándose la viabilidad del método para predecir propiedades físicas, físico-químicas y biológicas que son obtenidas por vía analítica. Con estos resultados ge-

neralizadores se logra encauzar el análisis cuantitativo y comprobar el rol que juega la cromatografía radial para el estudio sistémico de los suelos FRL antes y después de mejorados, de esta forma se contribuye a favorecer el sostenimiento de su calidad durante su uso. Del estudio se deriva la información complementaria para lograr establecer un procedimiento de evaluación de los suelos que involucre el análisis cualitativo con la aplicación de la cromatografía de papel de filtro para poder ser extendido en los diferentes sistemas productivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga, B. M., Garcés, P. N., Pino, R. J. A., Otaño, C. L., & Veubides, A. H. (2018). Extracto de vermicompost Liplant una alternativa para el desarrollo de la agricultura de conservación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3), 31-41.
- Arteaga, B. M., Yesca, J. C., Álvarez, G. A., Otaño, C. L., Pino, R. J. A., Evangelista, A. C., & Reyes, R. R. (2021). Radial chromatography for systemic monitoring of soils with different management. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(3), 28-41.
- Batista, S. (2018). *Panorama del uso de la tierra de Cuba 2017*. ONEI, La Habana.
- Febles, G. J. M., Febles, D. J. M., Amaral, S. N. M., Zonta, E., & S A V Maura. (2020). Myths, realities and uncertainties on the degradation of red ferralitic soils in Cuba. *Cultivos Tropicales*, 41(3), 3-10. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2756.3761>
- Febles, G. J. M., Vega-Carreño, C. M. B., Amaral, S. N. M. B., Tolón, B. A., & Lastra, B. X. B. (2014). Soil loss from erosion in the next 50 years in karst regions of Mayabeque province, Cuba. *Land degradation & development*, 25(6), 573-580.
- García, C., & Félix, J. A. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales* (primera). Fundación Produce.
- Hernández, J. A., Díaz, M. M. A., & Benítez, B. Y. (2014). *Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la llanura roja de La Habana*”, por el cultivo continuado (primera). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Hernández, J. A., Pérez, J., Bosch, I., & Castro, S. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015* (Vol. 91). Ediciones INCA.
- Medina, S. T., Arroyo, F. G., & Peña, C. V. (2018). Cromatografía de Pfaiffer en el análisis de suelos de sistemas productivos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), 665-673. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1223>
- ONEI-Cuba. (2018). *Panorama de luso de la tierra Cuba 2017* [Edición marzo 2018]. Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) de la República de Cuba. [http:// www.onei.gob.cu/node/14200](http://www.onei.gob.cu/node/14200)
- Paneque, V., Calaña, J., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T., & Caruncho, M. (2010). *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos Referencias bibliográficas orgánicos y fertilizantes químicos* (INCA,). Ediciones INCA,.
- Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2015). *Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo*. Imágenes Gráficas S.A.
- Reyes, R. R., Pierre, G., Guridi I, I. F., & Valdés, C. R. (2014). Disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos con baja actividad antrópica en San José de las Lajas, Mayabeque. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 37-40.

Mayra Arteaga-Barrueta, Dra.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional, km 23 ½ San José de las Lajas, Mayabeque. C.O: 32700. Apartado postal: 18-19, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0591-2063>

José Antonio Pino-Roque, MSc., Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional, km 23 ½ San José de las Lajas, Mayabeque. C.O: 32700. Apartado postal: 18-19, e-mail: pino@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9728-6700>

Alejandro Carlos-Evangelista, Ing., Profesor, Universidad de Oaxaca, México, e-mail: evangelista@gmail.com ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8577-865X>

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: Mayra Arteaga-Barrueta, Curación de datos: Mayra Arteaga-Barrueta, Análisis formal: Mayra Arteaga-Barrueta, José Antonio Pino-Roque, Captación de fondos: Mayra Arteaga-Barrueta, Investigación: Mayra Arteaga-Barrueta, Metodología: Mayra Arteaga-Barrueta, Administración de proyectos: Mayra Arteaga-Barrueta, Recursos: Mayra Arteaga-Barrueta, Alejandro Carlos-Evangelista, Software: Mayra Arteaga-Barrueta, José Antonio Pino-Roque, Supervisión: Mayra Arteaga-Barrueta, Validación: Mayra Arteaga-Barrueta, Visualización: Mayra Arteaga-Barrueta, Redacción–borrador original: Mayra Arteaga-Barrueta, Writing–review & e Redacción–revisión y edición diting: José Antonio Pino-Roque.

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

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

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