

Influencia de la calidad edáfica en la producción de semillas de *Calendula officinalis* L.

Influence of edaphic quality on *Calendula officinalis* L. seed production

Maite Torres Leblanch¹ <https://orcid.org/0000-0003-0660-1862>

Yaisely Orquídea Hernández Fernández^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-4941-539X>

María Iluminada Rodríguez García¹ <https://orcid.org/0009-0000-3351-0005>

¹ Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”, (INIFAT). La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: yaisely01@gmail.com quimicapost@inifat.co.cu

RESUMEN

Introducción: la *Caléndula offinalis* L. (caléndula) es una de las 55 plantas medicinales reconocida en el Cuadro Básico de Salud Pública de Cuba y su producción a gran escala depende de la importación de la semilla. El sector empresarial ha identificado que esta especie, presenta problemas asociados a la obtención de altos rendimientos de semillas. De ahí, la necesidad imperante de actualizar la estrategia de producción de este insumo agrícola.

Objetivo: determinar la influencia de la calidad edáfica en la producción de semillas de *Caléndula offinalis* L. (caléndula) bajo diferentes condiciones de manejo.

Métodos: se utilizaron diferentes indicadores físicos, físico-químicos y químicos de los suelos y se determinó su influencia en la producción de semillas de *Caléndula officinalis* L. (caléndula). El análisis de componentes principales permitió categorizar y establecer relaciones entre indicadores. Las correlaciones bivariadas de Pearson definieron aquellos que resultaron altamente significativos 0.01 (**) para la producción de semillas.

Resultados: los valores más adecuados de los indicadores físicos, se reflejaron en los tratamientos con humus de lombriz. El tratamiento 3 (suelo + 6 kg humus de lombriz), solo superó de forma significativa al tratamiento 2 (50 % suelo + 50 % humus de lombriz), en las variables químicas. El análisis de componentes principales dio como resultado dos componentes en una primera extracción que explicó el 100 % de la varianza total y donde únicamente la humedad natural no clasificó en el primer componente. En la correlación de Pearson la única variable que no tuvo una significación altamente significativa fue la densidad real. Los rendimientos mayores en la producción de semillas (8,35 g/m²), se exhibieron en el tratamiento 2 (50 % de suelo + 50 % de humus de lombriz), difirió del 3 (suelo + 6 kg de humus de lombriz) con 2,11 g/m² y el testigo (0,95 g/m²) de forma significativa. Lo cual infiere que la materia orgánica es la que juega el rol determinante en la producción de semillas.

Conclusiones: las propiedades físicas, físico-química y químicas muestran un efecto positivo en la producción de semillas de caléndula. La materia orgánica ejerce el papel más importante para el logro de rendimientos aceptables en las condiciones climáticas de Cuba. Su inclusión constituye una posible estrategia para establecerse en las fincas de semillas de plantas medicinales en suelos Ferralíticos Rojos de buena estructura, mezclados con humus de lombriz.

Palabras clave: rendimiento; calidad de suelo; materia orgánica

ABSTRACT

Introduction: *Caléndula officinalis* L. (calendula) is one of the 55 medicinal species recognized in the Basic Public Health Table of Cuba and its large-scale production depends on the importation of the seed. The business sector has identified that this species presents problems associated with obtaining high seed yields. Hence, the prevailing needs to update the production strategy of this agricultural input.

Objective: determine the influence of edaphic quality on the production of *Caléndula officinalis* L. (calendula) seeds under different management conditions.

Methods: different physical, physical-chemical and chemical indicators of the soils were used and their influence on the seed production of *Calendula officinalis* L. (calendula) was determined. Principal components analysis allowed us to categorize and establish relationships between indicators. Pearson's bivariate correlations defined those that were highly significant 0.01 (**) for seed production.

Results: the most appropriate values of the physical indicators were reflected in the treatments with earthworm humus. Treatment 3 (soil + 6 kg earthworm humus) only significantly surpassed treatment 2 (50 % soil + 50 % earthworm humus) in the chemical variables. The principal components analysis resulted in two components in a first extraction that explained 100 % of the total variance and where only natural moisture did not classify in the first component. In the Pearson's bivariate correlations, the only variable that did not have a highly significant significance was the real density. The highest yields in seed production (8.35 g/m²) were exhibited in treatment 2 (50 % soil + 50 % earthworm humus), differing from that of soil + 6 kg of earthworm humus (2.11 g/m²) and the control (0.95 g/m²) significantly. This infers that organic matter is what plays the determining role in seed production.

Conclusions: the physical, physical-chemical and chemical properties show a positive effect on the production of *Caléndula officinalis* L. (calendula) seeds. Organic matter plays the most important role in achieving acceptable yields in the climatic conditions of Cuba. Their inclusion is a possible strategy to establish in medicinal plant seed farms in Red Ferralitic soils with good structure, mixed with earthworm humus.

Keywords: yields; soil quality; organic matter

Recibido: 23/06/2024

Aceptado: 28/10/2024

Introducción

En el mundo numerosos estudios agronómicos bajo diferentes condiciones climáticas revelan problemas comunes en el suelo como son: la compactación, la erosión, las limitaciones en la absorción y circulación de agua, la disminución de la materia orgánica del suelo, entre otros,⁽¹⁾ todos en su conjunto, atentan contra el buen funcionamiento de estos.⁽²⁾ Además, el laboreo incrementa la erosión y la densidad aparente de los horizontes superficiales. Además, promueve la pérdida del carbono orgánico y la desestabilización de sus agregados, por ende, afecta también, la producción de semillas.⁽³⁾

La calidad física de los suelos para la producción de semillas de diferentes especies, juega un rol decisivo en los niveles de producción a obtener, por la respuesta del recurso suelo a las prácticas de manejo que promueven el balance de los procesos físicos, químicos, hídricos y bioquímicos,⁽⁴⁾ y que además influyen en la estructura del suelo.⁽⁵⁾

La materia orgánica del suelo juega un papel importante en su calidad física y química y el crecimiento y desarrollo de los diferentes cultivos, ya que es responsable de su fertilidad y la productividad de los mismos.⁽⁶⁾ En consecuencia, la aplicación de humus de lombriz como abono orgánico y mejorador de las propiedades físicas, constituye entonces, una estrategia viable para aumentar el carbono orgánico del suelo e incrementar los rendimientos de las plantas.⁽⁷⁾ Es considerada, además, una práctica agronómica sostenible.⁽⁸⁾

La caléndula (*Calendula officinalis* L.), es una de las 55 plantas medicinales reconocidas en el Cuadro Básico de Salud Pública de Cuba.⁽⁹⁾ Su producción a gran escala depende de la importación de la semilla. La demanda del Ministerio de Salud Pública (MINSAP) de esta especie supera las 10 t.

Las dificultades de la importación de insumos para la producción agrícola y la falta de fármacos para el alivio de diferentes dolencias, ha reorientado el sistema de trabajo en la atención primaria de salud, dándole un mayor realce a la Medicina Natural y Tradicional (MNT)⁽¹⁰⁾ y, por tanto, una relevante importancia a la adecuación de las tecnologías de producción y postproducción más adecuadas de semilla de esta especie.

Es por ello que el objetivo de esta investigación consistió en determinar la influencia de la calidad edáfica en la producción de semillas de caléndula bajo diferentes condiciones de manejo.

Métodos

Los estudios agronómicos se llevaron a cabo en áreas del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”

(INIFAT), ubicado en Santiago de las Vegas, La Habana, Cuba. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado conformado por parcelas, con tres réplicas por tratamiento experimental, compuesto por un tratamiento 1 de testigo (suelo Ferralítico Rojo), un tratamiento 2 (50 % suelo + 50 % humus de lombriz), ambos al sol, y un tratamiento 3 (suelo + 6 kg/m² de humus de lombriz), a la semisombra.

Los muestreos de suelo se realizaron antes del trasplante. Para ello se tomaron tres muestras independientes no perturbadas de 0-20 cm de profundidad para las determinaciones de la humedad natural e higroscópica (método gravimétrico), la densidad aparente (cilindros concéntricos 336 cm³). Se empleó 1 kg para el resto de los análisis físicos: densidad real (método del picnómetro de V=50 cm³), porosidad total (Cálculos $P_t = 1 - D_a / D_r \times 100$) y la estructura y estabilidad de agregados (tamices).⁽¹¹⁾ El coeficiente de estabilidad en seco y en húmedo, y el índice de estabilidad de los agregados, se determinaron mediante cálculos (método N.I. Savvinov). El pH se determinó por potenciometría por la Norma Cubana.⁽¹²⁾ La materia orgánica por el método volumétrico⁽¹³⁾ y el nitrógeno por el método Kjeldhal.

El indicador de cosecha de la semilla fue la caída de los pétalos de las flores y el cambio de color del capítulo floral de verde a marrón en la propia planta. De esta manera se realizaron un total de tres cosechas. Las semillas cosechadas por cada tratamiento se extendieron en bandejas con fondo de malla metálica y se colocaron en un lugar con semisombra a temperatura ambiente para bajar su humedad. El rendimiento se estimó a partir de los gramos de semilla obtenida por metro cuadrado.

Procesamiento estadístico de la información

Los datos edáficos y los rendimientos generados, fueron sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple y una estimación múltiple de medias

mediante la prueba de comparación de Tukey ($P < 0,05$). A las réplicas se le calcularon las medias, la desviación típica y el error estándar. Las determinaciones de los coeficientes de estabilidad en seco y en húmedo, a partir de las fracciones de los agregados del suelo, permitieron determinar su índice de estabilidad ante condiciones climáticas adversas.

Los análisis de los componentes principales permitieron categorizar los indicadores físicos, físico-químicos y químicos; así como, las relaciones que se establecieron entre estos. Las correlaciones bivariadas de Pearson definieron aquellas variables que resultaron altamente significativas 0.01 (**). Todos los datos fueron procesados con el paquete estadístico SPSS para Microsoft Windows versión 12.1 (2004).⁽¹³⁾

Resultados

La Tabla 1 muestra los indicadores físicos, físico químico y químicos con su respectivas medidas, desviaciones típicas y error de cada uno de ellos en los suelos empleados de cada tratamiento en la producción de semillas.

Tabla 1- Indicadores físicos, físico-químicos y químicos del suelo

Tratamientos	W _N , %	Da, Mg.m ⁻³	W _H , %	Dr, Mg.m ⁻³	Pt, %	pH (H ₂ O)	MO %	N %
suelo/Sol (Testigo)	26,57 c	0,660 a	4,7039 b	1,2805 a	48,45 c	7,60 b	0,84 c	0,042 c
Suelo 50 % y humus de lombriz 50 %/Sol	44,54 a	0,553 b	6,2311 a	1,2798 a	59,36 ab	7,65 b	1,06 b	0,053 b
suelo+6 kg/m ² humus de lombriz/semi- sombra	35,08 b	0,463 c	5,9032 a	1,2835 a	63,89 a	7,81 a	1,16 a	0,057 a
Media	35,39	0,558	5,6127	1,2812	0,57	7,69	1,02	0,050
Desviación típica	8,04	0,085	0,7829	0,0133	7,28	0,10	0,14	0,007
Error de la media	±2,68	±0,028	±0,2609	±0,0024	±2,42	±0,03	±0,04	±0,002

*Letras diferentes en la columna difieren significativamente para Tukey P≤0.05

Leyenda: W_N: humedad natural, W_H: humedad higroscópica, Da: densidad aparente, Dr: densidad real, Pt: porosidad total, pH, MO: materia orgánica, N: nitrógeno

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes en seco y húmedo de los suelos a través de los tamices, así como, los índices de estabilidad estructural que presentaron los suelos de cada tratamiento.

Tabla 2- Coeficientes e índices de estabilidad de los suelos

Tratamientos	Kes= $\frac{\sum \% 0,25 \text{ mm a } 10 \text{ mm}}{\% > 10 \text{ mm} + \% < 0,25 \text{ mm}}$	Keh= $\frac{\% < 0,25 \text{ mm}}{\sum \% > 0,25 \text{ mm}}$	Ie= $\frac{\sum \% > 0,25 \text{ mm Th}}{\sum \% > 0,25 \text{ mm Ts}}$
suelo/Sol (Testigo)	8.69 muy alto	0.98 muy alto	0.090 muy alto
50 % suelo + 50 % humus de lombriz	4.41 muy alto	0.95 muy alto	0.060 muy alto
Suelo + 6 kg/m ² humus de lombriz	4.93 muy alto	0.96 muy alto	0.054 muy alto

Leyenda: coeficientes de estabilidad en seco (Kes), en húmedo (Keh) y el índice de estabilidad estructural (Ie)

El análisis de componentes principales de las variables físicas, físico-químicas y químicas de los suelos donde se estableció el cultivo de caléndula dio como

resultado dos componentes en una primera extracción que explicaron el 100 % de la varianza total (Tabla 3).

Tabla 3- Varianza explicada y matriz de componentes principales

% Varianza	75,717	24,283
% acumulada	75,717	100
Matriz de Componentes Principales		
	Componente 1	Componente 2
Humedad natural	,191	<u>,982</u>
Humedad higroscópica	<u>-,995</u>	-,098
Densidad aparente	<u>,887</u>	,461
Densidad real	<u>,986</u>	,168
Porosidad total	<u>-,883</u>	,470
pH (H₂O)	<u>-,710</u>	,704
Materia orgánica	<u>,995</u>	,099
Nitrógeno	<u>,999</u>	-,044

Por su parte, la correlación bivariada de Pearson permitió definir entre las variables, aquellas variables que resultaron altamente significativas en la producción de semillas de caléndula a un nivel de 0.01.

Tabla 4- Correlaciones altamente significativas de Pearson

Variables	Humedad Natural	Humedad Higroscópica	Porosidad	Materia orgánica
Humedad Natural				-,934**
Densidad Aparente			-,935**	
Porosidad Total		,841		
Nitrógeno Total	-,934**			,999**

**La correlación es significativa a nivel 0.01

La Tabla 5 muestra los niveles de producción de semilla alcanzados en cada tratamiento.

Tabla 5- Producción de semilla de caléndula

Tratamientos	Total	Rend. (g/m ²)
suelo/Sol (Testigo)	6,7	0,95 c
sustrato (50 % suelo y 50 % humus de lombriz)/Sol	58,5	8,35 a
suelo+6 kg/m ² humus de lombriz/semi-sombra	15,6	2,11 b
Total	95,5	13,63

*Letras diferentes en la columna difieren significativamente para Tukey P≤0.05

Peso de 1000 semillas: 0,10-0,15 g

Discusión

La mayor humedad en el tratamiento de 50 % de suelo y 50 % pudo estar asociada al mayor contenido de materia orgánica, que le confirió una mayor conservación de humedad al suelo.⁽¹⁴⁾ A su vez, las bajas humedades higroscópicas observadas evidenciaron la escasa cantidad de agua presente en los macroporos (encargados de la aireación y el drenaje del suelo) y en los microporos (que almacenan agua dentro del suelo).⁽¹⁵⁾ Por tanto, el testigo necesitó una mayor frecuencia de riego para alcanzar su capacidad de campo. Lo cual pudo haber afectado el equilibrio de la interfase sólida, líquida y gaseosa⁽¹⁶⁾ y haber profundizado la dispersión de nutrientes, así como la pérdida de materia orgánica.⁽¹⁷⁾ El valor de la densidad aparente del suelo es utilizado como un indicador de calidad, con el cual se pueden determinar las alteraciones producidas por las actividades antrópicas, puede indicar además el grado de compactación y las limitaciones para el crecimiento de las raíces.⁽¹⁸⁾

Los valores de densidad aparente de los suelos pudieron estar influenciados por el efecto de la semisombra, que pudo haber favorecido una mayor humedad y menor temperatura; a su vez, una mayor protección del suelo al disminuir la mineralización de la materia orgánica y no estar expuesto a la fuerte radiación

solar del clima tropical. Cabe señalar que donde se estableció el cultivo, prácticamente no se ha removido el suelo, lo que permitió densidades aparentes bajas y favorables, lo cual coincide con lo planteado por Mekkaoui *et al.*, (2021).⁽¹⁹⁾

La densidad real, como indicador de la naturaleza orgánica de esta fracción del suelo, está determinada por la mineralogía y la composición química de su fase sólida (Ramírez *et al.* 2015).⁽²⁰⁾ Los valores bajos de la densidad real (característico de sustratos), pudieron estar asociados a la calidad del suelo, ya que, a pesar de haber diferencias en éstos, en cuanto el aporte de materia orgánica, ésta no se reflejó en la densidad real de los mismos. Lo cual demuestra su aptitud. Además, al aumentar el contenido de materia orgánica se reduce la densidad real de los suelos.

El porcentaje de porosidad en los suelos presentó valores bajos a medios en todos los tratamientos (48,45-63,89 %). Solo los tratamientos con humus de lombriz se acercaron al valor adecuado para el suelo (65 %) sin diferencias entre ellos.

Todos los suelos tuvieron un pH básico (7,60-7,81). El mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno se observó en el tratamiento de suelo + 6 kg de humus de lombriz, que difirió significativamente del resto.

La porosidad total (Pt) representa el porcentaje del volumen de suelo que no se encuentra ocupado por sólidos (poros) y está constituido aproximadamente del 50 % por materiales sólidos y el otro 50 % por espacio poroso, donde nutrientes, aire, gases y agua pueden circular.

Los valores de porosidad resultaron bajos, lo que indicó la necesidad de incrementar los contenidos de materia orgánica en estas parcelas. A pesar de ello el tratamiento de suelo + 6 kg de humus de lombriz, se destacó con la mayor porosidad, lo cual coincide precisamente con el mayor contenido de nitrógeno,

materia orgánica y pH obtenido. Este último, se consideró bueno y adecuado para el normal desarrollo de la mayoría de los cultivos.⁽²¹⁾ Se resalta de esta manera, la necesidad de obtener mezclas de suelos de bajas densidades y elevadas porosidades, para favorecer, de esta forma, el éxito del sistema.

La distribución de los agregados del suelo, mostró un comportamiento bastante homogéneo de los diferentes agregados, los mayores de 10 mm mostraron valores de hasta un 17 %. Los agregados más valiosos desde el punto de vista agronómico (1-5 mm), estuvieron entre 15 y 30 % y los menores de 0,25 mm apenas se incrementaron en un 5 %.

La estabilidad estructural es un indicador de la calidad del suelo. Por tanto, los suelos más inestables, sufren una mayor degradación física, lo cual limita el desarrollo agrícola, dada su relación con la circulación y retención de agua.

Todos los suelos mostraron un coeficiente de estabilidad en seco muy alto (4,41-8,69), con un predominio de agregados de 1 a 10 mm, que confieren mayor valor agronómico y un balance apropiado de macroporos y microporos y, al mismo tiempo, favorecen la relación aire-agua.

La estabilidad de los agregados, es una medida de la vulnerabilidad del suelo frente a fuerzas externas destructivas.⁽¹⁶⁾ Los agregados menores de 0.25 mm, que son los que atentan contra la estructura, promueven la asfixia de las raíces y la compactación del suelo; solo se incrementaron en 5 %, ante la acción del agua. La escasa presencia de estos últimos demuestra la buena estabilidad del suelo. Por consiguiente, cuanto menor sea este porcentaje, más estable es el suelo. Todos los tratamientos mostraron un coeficiente en húmedo menor a 0.30 (0.054-0.090), por lo tanto, mayor resistencia a deshacerse ante la acción del agua. Este comportamiento concuerda con el estudio del efecto de las propiedades físicas en suelos sin roturar de zonas semiáridas de la región de Morocco, África.⁽¹⁸⁾

El índice de estabilidad estructural es la relación entre las fracciones mayores de 0.25 mm en el tamizado en húmedo y en seco. Cuanto más se acerque a 1, mejor será el estado de agregación de las partículas del suelo. Todos fueron muy altos (0.95-0.98), por lo que se consideran muy estables. Este comportamiento pudo estar asociado a la menor alteración del suelo, ya que estos no habían sido arados, lo cual favoreció la estabilidad de los agregados.⁽²²⁾

En el análisis de componentes principales de las diferentes variables se muestra que la gran mayoría de ellas, se ubicaron en el primer componente con un peso alto y explicaron el 75,78 % de la varianza total, a excepción de la humedad natural % que se ubicó en el segundo componente y explicó 24,28 % de la varianza.

Los mayores valores se correlacionaron positivamente con las propiedades químicas (porcentajes de materia orgánica y nitrógeno) y se relacionaron negativamente con la nutrición y la humedad higroscópica. Por lo que, a medida que se incrementan los porcentajes de materia orgánica y nitrógeno, disminuye la humedad higroscópica y viceversa, dentro del componente.

Por otro lado, en el segundo componente se incluyó únicamente la humedad natural. Se interpreta, entonces, que todas las propiedades edáficas determinadas desempeñaron un papel esencial en la producción de semilla de caléndula.

Se constató el dominio de las variables químicas con los mayores valores en el primer componente. Sin embargo, es importante acotar, la gran importancia de la humedad higroscópica, la relación aire/agua y los agregados en la buena estructura del suelo, así como, su estabilidad ante la acción disgregante del agua. El análisis de correlación de Pearson realizado arrojó que existió una correlación negativa altamente significativa al nivel de 0.01 (**) entre la humedad natural y el nitrógeno y la materia orgánica, estos últimos con (-0,934**) y, a su vez, entre sí,

de forma positiva (0,999**). La misma correlación negativa tuvieron la porosidad y la densidad aparente (-935**). Esto significa que, a medida que el valor de una de las variables anteriores disminuye, el de la otra también disminuye, y viceversa. Se observó, además, una correlación positiva altamente significativa entre la humedad higroscópica y la porosidad (0,841**), por lo que, a medida que aumenta la humedad, también aumenta la porosidad y viceversa.

Los tratamientos con materia orgánica se corresponden con los de mayores contenidos de humedad natural e higroscópica y de mayor porosidad total (primer componente). También coinciden con las menores densidades aparentes, que, según lo demostrado en la correlación de Pearson, resultaron ser una variable determinante de forma altamente significativa. Además, cabe señalar, que el tratamiento de la semisombra superó al testigo en el comportamiento de todas las variables, lo cual ratificó la influencia positiva de la sombra en la obtención de semillas.

Por su parte, los mayores rendimientos en la producción de semillas, estuvieron relacionados con el empleo de humus de lombriz, el cual generó una estimulación de la fertilidad del suelo y plantas más nutridas. A su vez, el tratamiento de suelo + 6 kg de humus de lombriz al ser superior al testigo, sugiere que esta condición (semi-sombra), ejerció de alguna manera, una influencia positiva en el rendimiento de la semilla de caléndula. Se demuestra que el empleo de humus de lombriz, favoreció la producción, con resultados relevantes para el tratamiento de 50 % suelo y 50 % humus de lombriz/Sol en comparación con el resto.

En resumen, se puede afirmar, que es posible la producción de semillas de *Calendula officinalis* L. (caléndula) en las condiciones climáticas de Cuba, con la utilización de humus de lombriz, como mejorador de las propiedades físicas, físico-química y químicas de los suelos Ferralíticos Rojos de buena estructura. Resultan importantes las correlaciones que se establecen entre los diferentes

indicadores y su influencia en el rendimiento de esta especie medicinal. Los resultados obtenidos aportan datos valiosos para conocer la respuesta del suelo ante las entradas orgánicas y le proporcionan a la base productiva posibles estrategias para el incremento de la producción de semilla de caléndula en las fincas municipales de semillas que pueden ser decisivas para disminuir importaciones del país.

Referencias Bibliográficas

1. Jacobs AA, Evans RS, Allison JK, Garne ER, Kingery WL, McCulley R.L. Cover Crops and No-Tillage Reduce Crop Production Costs and Soil Loss, Compensating for Lack of Short-Term Soil Quality Improvement in a Maize and Soybean Production System. *Soil Tillage Res.* 218, 105310; 2022, <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.researchgate.net/publication/357447472>
2. Mondal S, Chakraborty D. Global Meta-Analysis Suggests That No-Tillage Favourably Changes Soil Structure and Porosity. *Geoderma* 405, 115443. 2022; https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.researchgate.net/publication/354532686_Global_metaanalysis_suggests_that_notillage_favourably_changes_soil_structure_and_porosity&ved=2ahUKEwj2sJPDtNfAhVSDA BHclBB48QFnoECAoQAg&usg=AOvVaw1vwGnhRZwjKNtyjktYKpF
3. Man M, Wagner-Riddle C, Dunfield KE, Deen B, Simpson MJ. Long-Term Crop Rotation and Different Tillage Practices Alter Soil Organic Matter Composition and Degradation. *Soil Tillage Res.* 209, 104960. 2021, https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.researchgate.net/publication/349318768_Longterm_crop_rotation_and_different_tillage_practices_alter_soil_organic_matter_composition_and_degradation&ved=2ahUKEwi

[m_MLqtNfAhURSDABHTrlCmgQFnoECAkQAg&usg=AOvVaw11C5jcpFDSYlcFJa1MQweg](#)

4. Valkama E, Kunyapiyeva G, Zhapayev R, Karabayev M, Zhusupbekov E, Perego A, Schillaci C, Sacco D, Moretti B and Grignani C. Can Conservation Agriculture Increase Soil Carbon Sequestration? A Modelling Approach. *Geoderma*. 369, 114298. 2020; https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119324668&ved=2ahUKEwjB_cqotdfAhWUq4QIHVG3Aa8QFnoECAIQAg&usg=AOvVaw3vZsM5XO30r7AUQ7YN_Jsd
5. Sumberg J and Giller KE. What Is 'Conventional' Agriculture? *Glob. Food Secur.* 2022;32, 100617. https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912422000086&ved=2ahUKEwjI_3Ks9fAhVstYQIHc7kC50QFnoECAkQAg&usg=AOvVaw1gJngnM4YNX5g5H3EF-U0p
6. Soussana JF, Lutfalla S, Ehrhardt F, Rosenstock T, Lamanna C, Havlík P, Richards M, Wollenberg E, Chotte JL, Torquebiau E, Ciais P, Smith P. and Lal R. Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' initiative, *Soil Tillage Res.*, 2019; 188, 3-15, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.002>.
7. Poblete-Grant P, Suazo-Hernández J, Condron L, Rumpel C, Demanet R, Malone S L and Mora MLL. Soil available P, soil organic carbon and aggregation as affected by long-term poultry manure application to Andisols under pastures in Southern Chile, *Geoderma*. 2020; Reg., 21, e00271, <https://doi.org/10.1016/J.GEODRS.2020.E00271>
8. Piccoli I, Sartori F, Polese R. and Berti A. Crop yield after 5 decades of contrasting residue management, *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, 2020; 117 (2): 231-241, <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10067-9>

9. Vega M, Ortiz Y, Fresneda JA, Morales M, Sánchez Y, Hernández YO, Dorado M, Torres M, Sagayo I, González A, Estrada J. Good Agricultural Practices for Medicinal Plant Production. Editorial INIFAT. 2019; 100 pp. ISBN: 978-959-7223-27-6.
10. Fernández M, Legrá N, Rodríguez O, Dimón A y Frómeta Y. La utilidad de la Medicina Natural y Tradicional en ecosistemas frágiles. Hombre, Ciencia y Tecnología. 2021; 25 (3): 96-103. ISSN: 1028-0871. URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412517010/index.html>
11. Hernández JL. Métodos para el análisis físico de los suelos: manual de laboratorio. Ediciones INCA. 2007; 40p. ISBN: 978-959-7023-39-5, <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/handle/1234/3035> Norma Cubana NC ISO 10390 SPSS. Versión 12.1 para Window. Versión Estándar; 2004
12. Clunes J, Dorner J and Pinochet D. Leucine retention by the clay-sized mineral fraction. An indicator of C storage. Agro Sur. 2021; 48 (3): 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104802> [Links]
13. Castro SLG, Aldrete, A, López JU y Ordaz VMCh. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. Madera y bosques. Instituto de Ecología A.C. 2019; 25 (2): 1-10. DOI: [10.21829/myb/2019.2521520](https://doi.org/10.21829/myb/2019.2521520).
14. Lince SLA, Castro AF y Castaño WA. Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera colombiana. Revista Cenicafe. 2020; 71 (2): 73-91, <https://doi.org/10.38141/10778/71206>
15. Perera KHK, Hudeshani WAC, Piyathilake, IDUH, Wimalasiri GEM, Kadupitiya HK, Udayakumara EPN and Gunatilake SK. Assessing soil quality and soil erosion hazards in the Moneragala District. Sri Lanka. *Applied Sciences*. 2020; 2 (12). 2175, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03926-1>
16. Funmilayo AY y Abenu A. Evaluation Soil Deterioration Index under Different Farm Management practices In Lafia Region, Nasarawa State-Nigeria. Confluence

Journal of Environmental Studies. 2019; 13 (1): 101-106.
<http://www.journalhome.com/cjes>. ISSN: 1597-5827.

17. Mekkaoui A, Moussade R, Mrabet R, Douaik A, El Haddadi R, Bouhlal O, Elomari M, Ganoudi M, Zouahri A, Chakiri. Effects of Tillage Systems on the Physical Properties of Soils in a Semi-Arid Region of Morocco. *Research Unit on Environment and Conservation of Natural Resources*, Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, P.O. Box 415 Rabat Principale, Rabat 10090, Morocco. *Agriculture*. 2023; 13 (3). 683, <https://doi.org/10.3390/agriculture13030683>

18. Ramírez, J.; Fernández Y, González P, Salazar X, Iglesias J y Olivera. Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrsus maximus*. *Pastos y Forrajes*, 2015; 38 (4): 393-402,
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40611/salopezr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

19. García C, Moreno, JL, Hernández T, D Coll M y Ondoño S. Organic amendments for soil restoration in arid and semiarid areas: a review [J]. *AIMS Environmental Science*. In: *Environments Science*. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitario de Espinardo, E-30100, Espinardo, Murcia, Spain *The Biology of Arid soils* (Ed. Steven Blaire) 2017; 4 (5): 640-676.
<https://DOI:10.3934/environsci.2017.5.640>.

20. Bernal, A, Cabrera, JA y Hernández, A. Calibración de la estabilidad estructural relacionado con el diámetro medio ponderado en diferentes suelos. *Cultivos Tropicales*, 2022; 43 (4). <https://cu-id.com/2050/v43n4e08>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Maite Torres Leblanch.

Análisis formal: Maite Torres Leblanch.

Análisis formal: Yaisely Orquídea Hernández Fernández.

Investigación: María Iluminada Rodríguez García.

Investigación: Yaisely Orquídea Hernández Fernández

Metodología: Maite Torres Leblanch.

Supervisión: Yaisely Orquídea Hernández Fernández.

Redacción - borrador original: Maite Torres Leblanch.

Redacción - revisión y edición: Maite Torres Leblanch

Financiación

Los autores declaran que no tuvieron financiamiento externo al institucional para la investigación.