

IMPACTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA EN LA FERTILIDAD DE UN SUELO ENTISOL EN ZONAS ARIDAS

IMPACT OF THREE TILLAGE SYSTEMS ON THE FERTILITY OF AN ENTISOL SOIL IN ARID ZONES

Guido Sarmiento-Sarmiento^{1a*}, José Peña-Dávila^{1b} y Héctor Medina-Dávila^{1c}

^{1a}Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Agronomía, Urbanización Aurora s/n, Arequipa, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-1420-2186>

^{1b}Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Agronomía, Urbanización Aurora s/n, Arequipa, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-1816-608X>

^{1c}Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Agronomía, Urbanización Aurora s/n, Arequipa, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-3416-7154>

* Autor para correspondencia E-mail: gsarmientos@unsa.edu.pe

RESUMEN

La implementación de inadecuados sistemas de labranza en terrenos de zonas áridas provoca la degradación de la fertilidad de suelo. El objetivo de este estudio fue determinar el impacto de tres sistemas de labranza sobre la fertilidad de un suelo Entisol en una zona árida. Se evaluó la estructura, macrofauna, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, pH, salinidad y capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. La investigación se desarrolló en la Irrigación Majes, Arequipa, Perú. Los tratamientos fueron: T1 labranza horizontal (arado de discos, grada, sembradora); T2 labranza vertical (arado de cinceles, grada, sembradora); y T3 no labranza (sembradora). El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con tres repeticiones, y evaluaciones a 3, 10 y 17 meses. Cada tratamiento recibió la incorporación de maíz (*Zea mays*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*) como abono verde a 30 días de la siembra en cada caso. Los tres sistemas de labranza favorecieron la formación de estructuras de tipo bloque angular de tamaño muy fino y fino, con grado de agregación débil a moderado. La composición y abundancia de macrofauna se incrementó conforme aumenta el tiempo de laboreo. La materia orgánica no presentó diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de labranza. No se detectaron diferencias estadísticas significativas en los niveles de N, P y pH. La labranza horizontal favoreció la presencia de potasio y la CIC, y limitó la presencia de sales, con diferencia estadística significativa respecto a labranza vertical y no labranza.

Palabras clave: labranza horizontal, labranza vertical, no labranza, labranza intensiva, labranza de conservación.

ABSTRACT

The implementation of inadequate tillage systems in arid zone lands causes the degradation of soil fertility. The objective of this study was to determine the impact of three tillage systems on the fertility of an Entisol soil in an arid zone. Soil structure, macrofauna, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, pH, salinity and cation exchange capacity (CEC) were evaluated. The

research was carried out at Majes Irrigation, Arequipa, Peru. The treatments were: T1) horizontal tillage (disc plow, harrow, seeder); T2) vertical tillage (chisel plow, harrow, seeder); and T3) no tillage (seeder). The experimental design used was randomized complete blocks with three replicates, and evaluations after 3, 10 and 17 months. Corn (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) were applied as green manure at 30 days after sowing to each treatment. The three tillage systems favored the formation of angular block-type structures of very fine and fine size, with a weak to moderate degree of aggregation. The composition and abundance of macrofauna increased as tillage time increased. Organic matter did not present statistically significant differences between tillage systems. No statistically significant differences were found in terms of N, P or pH. Horizontal tillage favored the presence of potassium and CEC, and limited the presence of salts, with a statistically significant difference with respect to vertical tillage and no tillage.

Key words: horizontal tillage, vertical tillage, no tillage, intensive tillage, conservation tillage.

INTRODUCCIÓN

La degradación de suelos en zonas áridas es un problema ambiental asociado a la aplicación de malas prácticas agrícolas que ocasiona la erosión y la pérdida de la aptitud productiva de los suelos, siendo una de las principales causas la implementación de inadecuados sistemas de labranza (Singh et al., 2020; Yang et al., 2020). El laboreo del suelo es una práctica mecanizada empleada para removerlo y está dirigida a acondicionar el terreno para facilitar diversas labores agrícolas en provecho del crecimiento y desarrollo de cultivos (García et al., 2018); una labranza adecuada debe favorecer la producción de los cultivos y a la vez mantener la fertilidad del suelo en cuanto a materia orgánica, N, P, K, capacidad de intercambio catiónico y la estructura; sin embargo, el uso intensivo e inapropiado de los implementos de labranza puede provocar procesos de degradación del suelo (Kirkegaard et al., 2020). Se ha demostrado que los diferentes sistemas de labranza en cualquiera de sus variantes modifican las propiedades del suelo y su uso intensivo deteriora la calidad del suelo generando una erosión continua (Demuner et al., 2012; Granados-Sánchez et al., 2013). El impacto de la mecanización de los sistemas de labranza es dependiente de los atributos de cada tipo de suelo; las labores que implican su implementación deben priorizar prácticas de labranza sostenible (Seben et al., 2014). La utilización de la labranza convencional mediante arado de discos tiene efectos negativos en el suelo como compactación, deterioro de estructura, aumento en la erosión y la disminución del contenido de materia orgánica, actividad biológica, profundidad efectiva y su productividad (Olguín et al., 2017); también altera la porosidad que afecta drásticamente un movimiento apropiado del agua a través del perfil del suelo, así como el intercambio gaseoso adecuado para el desarrollo radicular de los cultivos (Lal, 2014). El impacto negativo

de la labranza convencional en la fertilidad del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza menos agresivos tal como la labranza reducida usando arado de cincel y labranza cero (Barut y Celik, 2017); ambos son sistemas de labranza de conservación practicada en la producción agrícola, y se diferencian en cuanto a residuos administrados; en labranza reducida, el residuo se incorpora según la profundidad de arado y en labranza cero, el residuo retenido se encuentra en la superficie del suelo (Singh et al., 2020). La labranza reducida o vertical, comprende la utilización de un arado que rompe el suelo en forma vertical sin voltearlo, esta intervención facilita la infiltración sin dañar la estructura del suelo, sin embargo, debido a que no se utilizan aperos apropiados del suelo, podría limitar la germinación de las plantas (Gómez-Calderón et al., 2018). En los ecosistemas incipientes y frágiles de zonas áridas donde la ausencia de materia orgánica y agua son los principales factores limitantes se requieren sistemas de labranza de conservación empleando arado de cinceles, grada y sembradora; este sistema resulta muy conveniente para evitar la erosión de los suelos (Gholami et al., 2014).

A nivel de entosoles de zonas áridas de países latinoamericanos existe reducida información sobre los sistemas de labranza y su impacto en fertilidad del suelo; sin embargo, es importante valorar y cuantificar sus ventajas considerando que las labores de preparación del suelo para el establecimiento de cultivos deben optar por la sostenibilidad de estos sistemas (Demuner et al., 2012). La Irrigación Majes es la más importante de la región Arequipa - Perú, se ubica en una zona árida y actualmente presenta varios problemas de manejo del suelo siendo los más importantes el deterioro de estructuras, la compactación, pérdida de la fertilidad química y biológica derivados de las malas prácticas de labranza convencional permanente usando principalmente arado de discos que ocasionan degradación de

los suelos por sobre laboreo e inadecuado manejo de la escasa materia orgánica al no incorporarse abonos verdes ocasionando un alto costo de las labores de labranza (Proinversión, 2016). El principal problema identificado en la Irrigación Majes fue el inadecuado sistema de labranza convencional empleando arado de discos, grada y sembradora de precisión esta secuencia no contribuye a la fertilidad del suelo ocasionando grandes pérdidas de la escasa agua de riego por evaporación incrementando los costos de producción de los cultivos; asimismo, no existen publicaciones sobre el impacto de sistemas de labranza en la fertilidad del suelo en la Irrigación Majes; en consecuencia, la presente investigación pretende contribuir en el conocimiento de un aspecto tecnológico innovador para fomentar la fertilidad del suelo como aporte para la gestión sostenible del recurso suelo en zonas áridas. El objetivo de la investigación fue determinar el impacto tres sistemas de labranza sobre fertilidad de un suelo Entisol ubicado en una zona árida; se priorizó la valoración de la estructura, macrofauna, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, pH, salinidad y capacidad de intercambio catiónico del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación, Enseñanza y Producción Agrícola (CIEPA) de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) ubicado en la Irrigación Majes del distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, Perú; con ubicación geográfica X:178900; Y:771254, zona 43 y a 1441 m de altitud. La Irrigación Majes tiene un clima desértico con precipitaciones veraniegas ocasionales cuyo volumen no sobrepasan 9,7 mm anuales; las temperaturas alcanzan valores promedio mensuales de 19°C, temperaturas máximas promedio de 26°C en los meses de enero a marzo y temperatura mínima promedio de 12°C en los meses de mayo a julio; con insolación elevada durante todo el año; la cantidad de horas sol diario es de 9,2 h; con evaporación de 3062,5 mm anual y presenta suelos clasificados como Entisoles comprendido en zonas áridas (Ministerio de Agricultura, 1975). La investigación se inició con la recolección de una muestra representativa de suelo del terreno experimental a 10 cm de profundidad para su análisis; según reporte del Laboratorio de Análisis de Suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (LAS-INIA) de Arequipa; el suelo presentó una textura franco arenosa (49,4% arena; 39,2% limo y 15,4% arcilla); materia orgánica (MO): 0,18%; nitrógeno total: (0,01%); fósforo (P): 13,53 mg

kg⁻¹; potasio (K): 537,46 mg kg⁻¹; capacidad de intercambio catiónico (CIC): 12,904 cmol kg⁻¹; pH: 7,82 y conductividad eléctrica (CE): 2,61 dS m⁻¹; las metodologías de análisis corresponden a las citadas por Bazán (2017). Los suelos son de textura gruesa, poco desarrollados, con profundidad reducida (10 cm), bajo contenido de materia orgánica; la reacción es ligeramente alcalina; con CIC reducida y sin problemas de salinidad.

Los tratamientos sometidos a evaluación fueron: T1) labranza horizontal (arado de discos, grada, sembradora de precisión); T2) labranza vertical (arado de cinceles, grada, sembradora de precisión); y T3) no labranza (sembradora). El arado de discos está conformado por varios discos dispuestos sobre rodamientos que giran mientras avanzan, conservando una inclinación determinada durante el laboreo del suelo; el arado de cinceles está formado por un grupo de brazos o púas que producen pulverización del suelo e incorporación superficial de rastrojos. Las gradas están compuestas por tres bastidores alineados en sentido transversal al movimiento del tractor. El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con tres repeticiones por cada tratamiento con nueve unidades experimentales; cada unidad experimental tuvo un área de 120 m² (20 m x 6 m). Las evaluaciones realizadas en cada unidad experimental fueron: estructura, macrofauna, materia orgánica, N, P, K, capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica. El periodo de registro de evaluaciones fue de la siguiente forma: R1) primer periodo de evaluación a tres meses desde la instalación de la investigación (mdii); R2) segundo periodo de evaluación a 10 mdii; y R3) tercer periodo de evaluación a 17 mdii. Para el primer, segundo y tercer periodo de evaluación se instaló maíz (*Zea mays*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*) para ser incorporados como abono verde en el terreno experimental a un mes de su siembra utilizando arado de discos en el tratamiento T1 y arado de cinceles para el T2.

Las variables evaluadas fueron la estructura del suelo desarrollada in situ mediante la "Guía para la descripción de suelos" (FAO, 2009); la Macrofauna, corresponde a una valoración cualitativa realizada mediante observación *in situ*, según la metodología del Programa de investigación internacional "Biología y Fertilidad del Suelo Tropical" (Anderson y Ingram, 1993), también empleado por Noguera-Talavera et al. (2017), así como por Cabrera y López (2018); las determinaciones de MO, N, P, K, CIC, pH y CE se realizaron en el laboratorio LAS-INIA mediante metodologías analíticas propuestas por Bazán (2017), para el efecto se obtuvieron

muestras de suelo por cada unidad experimental en cada periodo de evaluación para obtener un promedio, las muestras fueron tomadas a 10 cm de profundidad.

El análisis estadístico de los resultados se efectuó mediante software SPSS versión 21; se usó análisis de varianza (ANVA) para detectar el efecto estadístico de los tratamientos y prueba de significación de Tukey ($\alpha < 0,05\%$) para reconocer subconjuntos homogéneos de tratamientos evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura

Los resultados indican que en la valoración inicial y la que corresponde al primer periodo de evaluación del terreno experimental no se observó la formación de estructuras de suelo en los tres sistemas de labranza debido a la deficiencia de materia orgánica en el suelo como factor agregante (Tabla 1). En la segunda evaluación, no se evidenció la formación de agregados para el tratamiento T1; pero el terreno sometido a una labranza vertical (T2) presentó un 100% de estructuras de tipo bloque angular (AB); de tamaño muy fino (VF) con diámetro menor a 5 mm; y con grado de agregación débil (WE) que corresponde a agregados “apenas observables en el sitio y sólo hay un arreglo débil de las superficies naturales, cuando está poco disturbado, el material de suelo se rompe en una mezcla de agregados completos, muchos agregados rotos, y muchos materiales sin caras agregadas, la cara

superficial de los agregados difiere de alguna manera del interior de los agregados” (FAO, 2009); en cambio, en el terreno no labrado (T3) se observó 80% de estructuras clasificadas como AB, VF, WE; y un 20% con una estructura parecida pero de un tamaño fino (FI) con diámetro entre 5 y 10 mm. Para el tercer periodo de evaluación T1 presentó un 100% de estructura del tipo bloque sub angular, tamaño muy fino y con grado de agregación débil; mientras T2 evidenció mayor formación de estructura (AB, VF, WE); en cambio, T3 presentó estructuras similares a T2 aunque en distinta proporción; además, una estructura AB, FI pero con grado de agregación moderado (MO) que significa que los “agregados son observables en sitio y hay un arreglo distinto de las superficies naturales, cuando está disturbado, el material del suelo se rompe en una mezcla de muchos agregados completos, algunos agregados rotos y poco material sin caras agregadas, la cara superficial de los agregados muestra generalmente diferencias distintas con los interiores de los agregados” (FAO, 2009).

La tendencia de los resultados permite deducir que conforme el suelo fue labrado y admitido la incorporación de materia orgánica en forma de abono verde se indujo a la formación incipiente de agregados del suelo en un periodo total de evaluación de 17 meses. Se destaca que la no labranza del suelo (T3) provocó la formación de estructuras de mayor tamaño (entre 5 y 10 mm) inclusive con un grado de agregación moderado, esta condición se habría generado porque el suelo no fue disturbado y las raíces de los cultivos

Tabla 1. Evaluación de la estructura del suelo bajo tres sistemas de labranza.
Table 1. Evaluation of soil structure under three different tillage systems.

Tratamientos	Evaluación inicial	R1	R2	R3
T1 (Labranza horizontal)	Sin estructura	Sin estructura	Sin estructura	AB, VF, WE (100%)
T2 (Labranza vertical)	Sin estructura	Sin estructura	AB, VF, WE (100%)	AB, VF, WE (90%) AB, FI, WE (10%)
T3 (No labranza)	Sin estructura	Sin estructura	AB, VF, WE (80%) AB, FI, WE (20%)	AB, VF, WE (60%) AB, FI, WE (20%) AB, FI, MO (20%)

R1: primer periodo de evaluación a tres meses desde la instalación de la investigación (mdii);

R2: segundo periodo de evaluación a 10 mdii; R3: tercer periodo de evaluación a 17 mdii. AB: estructura de tipo bloque angular; VF: estructura de tamaño muy fino (< 5 mm); FI: estructura de tamaño fino (5 – 10 mm); WE: estructura con grado de agregación débil; MO: estructura con grado de agregación moderado.

instalados para abono verde permitieron una agregación del suelo, al respecto Lloret (2015) explica que la acción de las raíces en la estructura de suelo se manifiesta cuando se incrementa la capa mucilaginosa alrededor del sistema radicular logrando una acción cementante sobre las partículas producidas por las raíces y bacterias de la zona radicular. El efecto de la instalación o incorporación al suelo de maíz y frejol como abono verde fue determinante para la formación de estructuras. Los abonos verdes son fuente de materia orgánica para el suelo y beneficia las propiedades físicas del suelo (Jamioy, 2018); la materia orgánica actúa como agente agregante para la formación de estructuras (Adeyika et al., 2017). La tabla 1 demuestra que la labranza horizontal habría inducido a una destrucción de la débil estructura que iniciaba su formación en estos suelos y que a través del tiempo se fue agregando nuevamente por la adición de los abonos verdes. Al respecto, Alonso y Aguirre (2011) señalan que los diferentes tipos de labranza unidos a procesos de descomposición de la materia orgánica, ciclos de humedecimiento, secado y enfriamiento definen la formación de los diferentes tipos de estructuras del suelo en periodos largos de formación del suelo, situación que es distinta al periodo de investigación solo se observó estructuras con grado débil de agregación en la mayoría de evaluaciones para un periodo de 17 meses. La no labranza induce la formación de agregados del suelo en un periodo de tiempo variable; en cambio, la labranza horizontal convencional altera el grado de agregación a través de la destrucción de estructuras en periodos prolongados de manejo del suelo (Hernández et al., 2013), en general los terrenos no labrados con manejo conservacionista presentan mayor proporción de agregados de mayor tamaño respecto a suelos con labranza

convencional (Zadorova et al., 2011) tal como ocurrió en la presente investigación. Sin embargo, Cadena et al. (2012) sostienen que el sistema de la labranza vertical también puede considerarse como una práctica para la conservación del suelo y que disminuye la ruptura de estructuras del suelo en comparación con la labranza horizontal.

En nuestro estudio la formación de estructuras se detectó aproximadamente a 10 meses de la instalación para el suelo sometido a labranza vertical y no labranza; mientras que en este periodo no se evidenció formación de agregados en el suelo con labranza horizontal. Luego a los 17 meses se registró estructuras en los tres sistemas de labranza. Se demostró que a un periodo de 17 meses el sistema de labranza influye en los procesos de agregación del suelo en su tamaño y grado de agregación, mas no en su tipo o forma, y tiene una estrecha relación con la incorporación de abonos verdes. Pinto-Acero et al. (2016) al comparar efectos de la labranza mínima, labranza convencional y labranza vertical sobre la formación de agregados en un suelo clasificado como Typic dystrudeps, encontraron que la mayor formación se evidenció a partir de 100 días después de la siembra en los tres sistemas de labranza; asimismo, indican que la labranza vertical presentó mayor estabilidad estructural y un gran porcentaje de distribución de agregados muy finos frente a la labranza convencional y la labranza mínima.

Macrofauna

El efecto de los sistemas de labranza en la distribución de la macrofauna (Tabla 2) demostró que conforme el tiempo de laboreo del suelo transcurre paralelamente también se incrementó la presencia de macrofauna en los tres tratamientos; siendo más evidente en terrenos sometidos a labranza horizontal con

Tabla 2. Evaluación de la macrofauna del suelo bajo tres sistemas de labranza.

Table 2. Evaluation of soil macrofauna under three different tillage systems.

Tratamientos	Evaluación inicial	R1	R2	R3
T1 (Labranza horizontal)	No se observó	No se observó	artrópodos (70%), hormigas (30%)	artrópodos (65%), hormigas (25%), ácaros (10%)
T2 (Labranza vertical)	No se observó	No se observó	artrópodos (65%); hormigas (35%)	artrópodos (60%), hormigas (30%), ácaros (10%)
T3 (No labranza)	No se observó	No se observó	hormigas (80%), artrópodos (20%)	hormigas (75%), artrópodos (25%)

R1: primer periodo de evaluación a tres meses desde la instalación de la investigación (mdii);

R2: segundo periodo de evaluación a 10 mdii; R3: tercer periodo de evaluación a 17 mdii.

incorporación de abono verde (T1); en el terreno no labrado (T3) se apreció mayor presencia de hormigas en la parte superficial al final del periodo de evaluación (17 meses). Los tres sistemas de labranza promovieron la variabilidad de macrofauna en el suelo el mismo que estaría asociado al incremento de materia orgánica por la incorporación de abonos verdes al terreno.

En terrenos de zonas áridas el asentamiento de la macrofauna es reducida debido a la limitada humedad; su composición y abundancia en suelos agrícolas depende de las prácticas de manejo que se adopten (Noguera-Talavera et al., 2017). En la presente investigación la presencia de hormigas fue mayor en el suelo no labrado respecto a una labranza horizontal y vertical, este comportamiento estaría asociado a que, en terrenos no labrados, pero con materia orgánica las hormigas establecen un espacio (nido) permanente no alterado (Cabrera-Mireles et al., 2019). La presencia de hormigas en el suelo se considera como bioindicador de disturbio y generalmente la intensificación en el manejo agrícola disminuye su distribución y abundancia (Chanatásig-Vaca et al., 2011). Tal situación también fue reportada por Cabrera (2012), quien demostró que la población de hormigas disminuyó cuando el suelo tuvo intervención antrópica. Las hormigas juegan un rol muy importante en el ecosistema edáfico participando en procesos biogeoquímicos relacionados a la disponibilidad de recursos que indirectamente influyen en la fertilidad de los suelos. Los artrópodos debido a su diversidad y sensibilidad también suelen ser utilizados como bioindicadores de las variaciones del ambiente, son buenos indicadores de la heterogeneidad del hábitat y del estado de calidad del suelo (Montero et al., 2011), nuestros resultados revelan que la abundancia de artrópodos en el T1 y T2 fue mayor en la segunda evaluación respecto a la tercera demostrando que el tiempo de laboreo del suelo tiende a disminuir su población probablemente debido al efecto disturbador de estos sistemas de labranza; en cambio para T3 la presencia de artrópodos

fue mayor en la tercera evaluación respecto a la segunda, en este comportamiento estaría asociado a la incorporación de residuos dejados en la superficie del suelo. En cuanto a la población de ácaros, estos solo fueron identificados en la tercera evaluación en suelos sometidos a labranza horizontal y vertical (Tabla 2); los ácaros asumen el rol de equilibrar el ecosistema del suelo debido al efecto de depredación que ejercen sobre los artrópodos y también participan en los procesos de transformación de la materia orgánica incorporada al suelo (Vu y Nguyen, 2000).

Materia orgánica del suelo y propiedades complementarias

El impacto de los tres sistemas de labranza en los valores promedio de materia orgánica del suelo después de 17 meses (Tabla 3) refieren que no existen diferencias estadísticas significativas en los resultados; sin embargo, es evidente que el contenido de materia orgánica en cada tratamiento se incrementó conforme transcurrió el tiempo de evaluación. En todos los periodos de evaluación los tres sistemas de labranza favorecieron el incremento de materia orgánica del suelo el mismo que inicialmente fue de 0,18%. La labranza horizontal (T1) fomentó la presencia de un mayor valor promedio de materia orgánica respecto a T2 y T3. La labranza horizontal al remover el suelo favorece la porosidad generando condiciones para mantener la humedad del suelo a fin de facilitar la descomposición de la escasa materia orgánica incorporada al suelo en forma de abono verde (Olguín et al., 2017). Por el contrario, en la no labranza (T3) los residuos de materia orgánica permanecen en la superficie del suelo entonces la entrada de materia orgánica al suelo se reduce; el efecto general de T3 se decide por el tipo de suelo y el clima en mayor tiempo de valoración (Lenka et al., 2019). Los niveles de materia orgánica registrados en los suelos de zonas áridas aún son muy escasos para sostener naturalmente la instalación de cultivos de alta demanda de nutrientes por lo que se sugiere la incorporación de fuentes de materia orgánica.

Tabla 3. Contenido de materia orgánica del suelo (%) bajo tres sistemas de labranza.
Table 3. Organic matter content in soil (%) under three different tillage systems.

Tratamientos	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Promedio
T1 (Labranza horizontal)	0,32	0,62	1,54	0,83% a*
T2 (Labranza vertical)	0,22	0,40	0,55	0,39% a*
T3 (No labranza)	0,20	0,28	0,36	0,28% a*

*Letras iguales refieren que no existe diferencia estadística significativa entre ellos. Tukey ($\alpha < 0,05\%$). R1, R2 y R3: repeticiones. R1: primer periodo de evaluación a tres meses desde la instalación de la investigación (mdii); R2: segundo periodo de evaluación a 10 mdii; R3: tercer periodo de evaluación a 17 mdii.

Al respecto, Vallejo et al. (2018) precisan que en zonas áridas la materia orgánica es un indicador importante de la calidad del suelo como una medida de la sostenibilidad del uso de la tierra y de los sistemas de labranza. Es característico encontrar suelos con contenido muy bajo de materia orgánica en suelos de zonas áridas debido a la escasa cubierta vegetal y reducida productividad; por lo tanto, el nitrógeno se convierte en un elemento muy limitante para la productividad de los cultivos (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011). Las modificaciones en las propiedades físicas del suelo por el tipo de labranza están asociados a las variaciones el contenido de la materia orgánica con efectos en la presencia de macrofauna y la fertilidad del suelo (Zhang et al., 2017). La descomposición de la materia orgánica en suelos de zonas áridas es muy limitada; en la zona de investigación (Irrigación Majes) la presencia de macrofauna del suelo fue muy incipiente debido a una precipitación casi nula (9,7 mm anuales) y temperatura elevada (19 - 26 °C), estas condiciones disminuyeron las posibilidades de descomposición de la materia orgánica incorporada al suelo.

Al evaluar el efecto de los sistemas de labranza en las propiedades complementarias del suelo (Tabla 4) se observó que para los valores promedio de N, P y pH no se detectaron diferencias estadísticas significativas. Para el periodo de evaluación de 17 meses, la labranza horizontal (T1) temporalmente demostró valores de potasio, CIC y salinidad con diferencia estadística significativa respecto a datos logrados por T2 y T3. El suelo al ser un sistema natural muy complejo sus variaciones requieren ser medidos en espacio y tiempo (Navarro-Bravo et al., 2012); los impactos de los sistemas de labranza se asocian al uso eficiente del agua y nutrientes, deben ser valorados en largos periodos de tiempo debido a que son consecuencia de varios factores y procesos físicos, químicos y biológicos (Sánchez-Marañón et al., 2002); por lo tanto, los datos ofrecidos en la tabla 4 deben considerarse como cambios temporales.

La tendencia de resultados establece que los sistemas de labranza evaluados permitieron incrementar temporalmente el contenido de N, P, K y CIC del suelo respecto a los niveles iniciales; la reacción del suelo disminuyó en todos los tratamientos y la salinidad descendió solo en T1 y T2. En relación a los resultados Lenka et al. (2019) precisan que la labranza del suelo viabiliza la descomposición de fuentes de materia orgánica logrando una mejora en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. El volteo del suelo mediante el uso de disco produce la mezcla del suelo, este tipo de labranza ocasiona la incorporación de los residuos vegetales y nutrientes disponibles para los cultivos favoreciendo la fertilidad del suelo (Vallejo et al., 2018; Singh et al., 2020). En suelos de zonas áridas caracterizados por presentar un perfil en reciente formación es muy determinante complementar la labranza del suelo con incorporaciones de materia orgánica debido a que su mineralización define la provisión de nutrientes en el suelo y la CIC mejora frecuentemente (Mazuela, 2013); los suelos de zonas áridas debido a su baja fertilidad química en comparación con zonas tropicales no garantizan un suministro adecuado de nutrientes vegetales para las plantas (Córdova et al., 2020). Según registros de la presente investigación y considerando un periodo de evaluación de 17 meses resulta prematuro establecer el mejor sistema de labranza en suelos de zonas áridas sin embargo la incorporación de abonos verdes es un aliado importante para mejorar las propiedades del suelo.

Los valores de pH registrados en todos los tratamientos (Tabla 4) son considerados como cercanos a la neutralidad y favorecen la disponibilidad de nutrientes del suelo para los cultivos, la mayoría de elementos esenciales para los cultivos están disponibles en un pH entre 6,5 y 7,5 (Porta et al., 2019). También se observa que la salinidad del suelo no representa un riesgo para la gran mayoría de cultivos desarrollados en la zona de investigación. Sin embargo, Li et al. (2019) en cuanto al efecto a largo plazo de la no labranza

Tabla 4. Propiedades complementarias del suelo bajo tres sistemas de labranza.
Table 4. Complementary properties of the soil under three different tillage systems.

Tratamientos	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (cmol kg ⁻¹)
T1	0,04 a*	37,69 a*	708,98 a*	7,08 a*	2,34 c*	27,99 a*
T2	0,02 a	25,86 a	648,11 b	7,11 a	2,58 b	25,88 b
T3	0,01 a	22,05 a	597,88 c	7,11 a	2,88 a	24,75 c

*Letras iguales en cada columna refieren que no existe diferencia estadística significativa entre ellos. Tukey ($\alpha < 0,05\%$). T1: labranza horizontal; T2: labranza vertical; T3: no labranza; CE: conductividad eléctrica; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

del suelo en la fertilidad del suelo, advierten que este sistema puede ocasionar limitaciones agronómicas como incremento de sales y disminución de porosidad en el subsuelo por lo que sugieren el uso ocasional de labranza en un sistema de labranza cero. La CIC se incrementó de un nivel inicial de 12,904 cmol kg^{-1} hasta 27,99 cmol kg^{-1} en el caso de la labranza horizontal, este comportamiento estaría ligado al incremento de materia orgánica que también fue observado en este sistema de labranza.

La fertilidad del suelo estudiado se incrementó temporalmente por efecto de los tres sistemas de labranza comparado con el nivel inicial de fertilidad el mismo que estaría asociado a la incorporación de abonos verdes; sin embargo, el periodo de evaluación debe continuar a fin de establecer su efecto a largo plazo considerando que son suelos clasificados como Entisoles y ubicados en una zona árida donde los procesos de edafización son muy lentos (Mazuela, 2013).

CONCLUSIONES

Considerando que el suelo es un recurso natural muy dinámico en el tiempo, la valoración del impacto de los sistemas de labranza en la fertilidad de un suelo Entisol en zona árida deben considerarse como temporales debido a que corresponden a un periodo de evaluación de 17 meses; en este contexto, la labranza horizontal, vertical y la no labranza del suelo fomentaron la formación de estructuras de tipo bloque angular; la composición y abundancia de macrofauna se incrementó conforme se extendió el tiempo de laboreo, siendo más evidente con la labranza horizontal. El contenido de materia orgánica no presentó diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de labranza; aunque se evidenció un incremento respecto al nivel inicial del suelo. No hubo diferencias estadísticas significativas en los valores de N; P y pH por efecto de los sistemas de labranza. La labranza horizontal favoreció la presencia de potasio y la capacidad de intercambio catiónico del suelo y limitó la presencia de sales, con diferencia estadística significativa respecto a labranza vertical y no labranza. En general y de manera temporal la fertilidad de estos suelos fue favorecido por los sistemas de labranza comparado con el nivel inicial de fertilidad del suelo el mismo estaría asociado a la incorporación de abonos verdes. Sin embargo, debido a la temporalidad de los datos registrados se sugiere continuar evaluaciones en periodos de tiempo más prolongados.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado parcialmente con fondos concursables de UNSA INVESTIGA; contrato IB - 036-2016 de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

LITERATURA CITADA

- Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O. and Ugbe, J.O. 2017. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18: 218-223. doi:10.1016/j.jssas.2017.05.005
- Alonso, M., y J. Aguirre. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. Terra Latinoamericana 29(2):113-121.
- Anderson, J.M., and J.S. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. CAB International, Wallingford, UK.
- Barut Z., and I. Celik. 2017. Tillage effects on some soil physical properties in semi-arid Mediterranean region of Turkey. Chemical Engineering Transactions 58:217-222. doi:10.3303/CET1758037
- Bazán, T.R. 2017. Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Lima, Perú.
- Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes 35(4):346-363.
- Cabrera, Grisel, y G. López. 2018. Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. Bosque (Valdivia) 39(3):363-373. doi:10.4067/S0717-92002018000300363
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F., Villanueva-Jiménez, J. y Adame-García, J. 2019. Oribátidos, colémbolos y hormigas como indicadores de perturbación del suelo en sistemas de producción agrícola. Ecosistemas y recursos agropecuarios 6(17): 231-241. doi:10.19136/era.a6n17.2011
- Cadena, M., S. Campos, A. López, y A. Zermeño. 2012. Configuración de herramientas de labranza vertical para reducir demanda de energía. Terra Latinoamericana 30(3):279-288.

- Celaya-Michel, H., y A. Castellanos-Villegas. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29(3):343-356.
- Chanatásig-Vaca, C., E. Huerta, P. Rojas, A. Ponce-Mendoza, J. Mendoza, A. Morón, et al. 2011. Efecto del uso de suelo en las hormigas (Formicidae: Hymenoptera) de Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana* 27(2):441-461.
- Córdova, C., A. Martínez, A. Machuca, E. Zagal, S. Fischer, and M. Betancur. 2020. Soil sulfur and nitrogen availability improves root biomass growth of ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 36(2):151-160. doi:10.29393/chjaas36-13sscc60013
- Demuner, G., M. Cadena, S. Campos, A. Zermeño, y F. Sánchez. 2012. Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(4):719-727.
- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, Italia.
- García, D., J. Cárdenas, y A. Silva. 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol. *Revista de ciencias agrícolas* 34(1):16-25. doi:10.22267/rcia.183501.79
- Gholami, A., H. Asgari, and E. Zeinali. 2014. Effect of different tillage systems on soil physical properties and yield of wheat (Case study: Agricultural lands of Hakim Abad village, Chenaran township, Khorasan Razavi province). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2(5):1539-1552.
- Gómez-Calderón, N; K. Villagra-Mendoza, y M. Solórzano-Quintana. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo. *Tecnología en Marcha* 31(1):170-180. doi:10.18845/tm.v31i1.3506
- Granados-Sánchez, D., M. Hernández-García, A. Vázquez-Alarcón, y P. Ruíz-Puga. 2013. Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* 19(1):45-66. doi:10.5154/r.rchscfa.2011.10.077
- Hernández, A., M. Morales, A. Cabrera, M. Ascanio, Y. Borges, D. Vargas, et al. 2013. Degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores de la llanura roja de La Habana. *Cultivos Tropicales* 34(3):45-51.
- Jamioy, Diego David. 2018. Efecto de la aplicación de abonos verdes en el crecimiento y el rendimiento del *Phaseolus vulgaris*. *Agronomía Costarricense* 42(2): 127-140. doi:10.15517/rac.v42i2.33784
- Kirkegaard, J., C. Kirkby, A. Oates, V. Van der Rijt, G. Poile, and M. Conyers. 2020. Strategic tillage of a long-term, no-till soil has little impact on soil characteristics or crop growth over five years. *Crop and Pasture Science* 71(12):945 - 958. doi:10.1071/cp20334
- Lal, R. 2014. Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation* 69(6):186A-192A. doi:10.2489/jswc.69.6.186A
- Lenka, S., P. Trivedi, B. Singh, B.P. Singh, E. Pendall, A. Bass, et al. 2019. Effect of crop residue addition on soil organic carbon priming as influenced by temperature and soil properties. *Geoderma* 347:70-79. doi:10.1016/j.geoderma.2019.03.039
- Lloret, Inés. 2015. Evolución temporal y espacial de las propiedades de los suelos bajo la influencia de especies vegetales en antiguos sistemas agrarios abandonados en la provincia de Alicante. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Li, G.D., M.K. Conyers, K.R. Helyar, C.J. Lisle, G.J. Poile, and B.R. Cullis. 2019. Long-term surface application of lime ameliorates subsurface soil acidity in the mixed farming zone of south-eastern Australia. *Geoderma* 338:236-246. doi:10.1016/j.geoderma.2018.12.003
- Mazuela, P. 2013. Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia* 31(2):3-4. doi:10.4067/S0718-34292013000200001
- Ministerio de Agricultura. 1975. Estudio agrológico detallado de las Pampas de Majes y Siguas. Arequipa, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1469> (Consulta 8 setiembre 2020).
- Montero, G., N. Carnevale, y Magra, G. 2011. Ensamblajes estacionales de artrópodos epigeos en un bosque de quebracho (*Schinopsis balansae*) en el Chaco húmedo. *Revista Colombiana de Entomología* 37(2):294-304.
- Navarro-Bravo, A., Figueroa-Sandoval, B., Sangerman-Jarquín, D. y Osuna-Ceja, E. 2012. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(4): 690-697.

- Noguera-Talavera, A., N. Reyes-Sánchez, B. Mendieta-Araica, y M. Salgado-Duarte. 2017. Macrofauna edáfica como indicador de conversión agroecológica de un sistema productivo de *Moringa oleifera* Lam en Nicaragua. *Pastos y Forrajes* 40(4):184-187.
- Olguín, J., R. Guevara, J. Carranza, E. Scopel, O. Barreto, O. Mancilla, et al. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia* 35(1):51-61. doi:10.4067/S0718-34292017005000018
- Pinto-Acero, Y., J. Álvarez-Herrera, y F. Forero-Ulloa. 2016. Efecto de la labranza en la estabilidad estructural y resistencia a la penetración en un Inceptisol sembrado con arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Boyacá. *Revista colombiana de ciencias hortícolas* 10(1):99 -112. doi:10.17584/rch.2016v10i1.5049
- Porta, J., M. López-Acevedo, y R. Poch. 2019. Edafología. Uso y protección de suelos. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Proinversion. 2016. Proyecto Majes Siguan. Agencia de promoción de la inversión privada (Proinversion), Lima, Perú. Disponible en: <http://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5447> (Consulta 10 octubre 2020).
- Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Delgado, G. and Delgado, R. 2002. Soil quality in mediterranean mountain environments: Effects of land use change. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:948-958. doi:10.2136/sssaj2002.0948
- Seben, J., C. Getulio, E. José, and R. Lal. 2014. The effects of land use and soil management on the physical properties of an Oxisol in Southeast Brazil. *Revista brasileira de ciência do solo* 38(4):1245-1255. doi:10.1590/S0100-06832014000400021
- Singh, D., S. Lenka, N.K. Lenka, S.K. Trivedi, S. Bhattacharjya, S. Sahoo, J.K. Saha, and A.K. Patra. 2020. Effect of reversal of conservation tillage on soil nutrient availability and crop nutrient uptake in soybean in the Vertisols of Central India. *Sustainability* 12:6608. doi:10.3390 / su12166608
- Vallejo, V., L. Afanador, M. Hernández, y D. Parra. 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.
- Vu, Q.M., and T.T. Nguyen. 2000. Microarthropod community structures (Oribatei and Collembola) in tam dao national park, Vietnam. *Journal of Bioscience* 25(4):379-386. doi:10.1007/BF02703791
- Yang, C., Y. Geng, X. Fu, J. Coulter, and Q. Chai. 2020. The effects of wind erosion depending on cropping system and tillage method in a semi-arid region. *Agronomy* 10(5):732. doi:10.3390/agronomy10050732
- Zadorova, T., O. Jaksík, R. Kodesová, and V. Penízek. 2011. Influence of terrain attributes and soil properties on soil aggregate stability. *Soil Water Research* 6(3):11-119. doi:10.17221 / 15/2011-SWR
- Zhang, X., X. Xin, A. Zhu, Z. Zhang, and W. Yang. 2017. Effects of tillage and residue managements on organic carbon accumulation and soil aggregation in a sandy loam soil of the North China Plain. *Catena* 156:176-183. doi:10.1016 / j.catena.2017.04.012