

Sistemas de labranza del suelo y su efecto sobre cuatro variedades de algodón en Armero, Colombia

Soil tillage systems and their effect on four cotton varieties in Armero, Colombia

Rodolfo Lizcano Toledo^{1,2*}, Diego German Rojas Pareja², Javier Fernando Osorio Saravia², Dilier Olivera Vicedo³ y Maira Vanessa Lizcano Toledo⁴

¹ Tolimense Institute of Technical Training Professional, Faculty of Engineering and Agro-industrial Science, Espinal, Tolima, Colombia.

² Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima, Colombia.

³ Federal University of Maranhão, Center of Environment and Agriculture Science, Chapadinda, Maranhão, Brazil.

⁴ Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Campus Sorocaba, São Paulo, Brasil.

*Autor para correspondencia:

rodolfoizcano@gmail.com

Conflicto de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto con una licencia Creative Commons CC-BY

Contribución de autoría:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales en la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de datos, a la revisión del manuscrito y la aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad por el contenido del manuscrito.

Historial:

Recibido: 08/02/2021;

Aceptado: 17/04/2022

Periodo de Publicación:

Enero-Junio de 2022



RESUMEN

El algodón es un cultivo de gran importancia económica en todo el mundo. En Colombia las siembras han aumentado en los últimos años; no obstante, existen prácticas agronómicas que favorecen la degradación del suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta morfofisiológica y productiva de cuatro variedades de algodón, bajo el efecto de dos sistemas de labranza en condiciones de Armero-guayabal, Colombia. La investigación se realizó en el Centro Universitario Regional Norte (CURDN) de la Universidad del Tolima. El diseño experimental fue en parcelas subdivididas con bloques al azar con cuatro repeticiones. En la parcela principal se ubicó una labranza mínima (LM) y otra tradicional (LT) (reducida para LM usando arado de cincel y una labranza con volteo del suelo, con uso de rastra y rastrillo para LT). Las variedades manejadas fueron: RR, Nuopal RR, FM 9063 y FM9171Bt (*Bacillus thuringiensis*). Los resultados se sometieron al Análisis de Varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey y Bonferroni ($p \leq 0,05$). Los procesos de rotación de gramíneas y oleaginosas, en manejos agronómicos a largo plazo, presentan cambios significativos en la fertilidad potencial y efectiva edáfica, así como también, en los procesos de conservación, calidad y salud del suelo, en una zona históricamente con problemas edáficos en prácticas deficientes de laboreo.

Palabras claves: Compactación, *Gossypium herbarum*, Labranza, Microorganismos

ABSTRACT

Cotton is a crop of great economic importance throughout the world. In Colombia, plantings have increased in recent years; however, there are agronomic practices that favor soil degradation. The objective of the work was to evaluate the morphophysiological and productive response of four cotton varieties, under the effect of two tillage systems under conditions of Armero-guayabal, Colombia. The research was conducted at the North Regional University Center (CURDN) of the University of Tolima. The experimental design was subdivided plots with randomized blocks with four replications. In the main plot, a minimum tillage (LM) and a traditional one (LT) were located (reduced for LM using a chisel plow and tillage with soil turning, with the use of a harrow and a rake for LT). The varieties managed were: RR, Nuopal RR, FM 9063 and FM9171Bt (*Bacillus thuringiensis*). The results were submitted to the Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey and Bonferroni tests for comparison of means ($p \leq 0.05$). The processes of rotation of grasses and oilseeds, in long-term agronomic management, present significant changes in the potential and effective edaphic fertility, as well as in the processes of conservation, quality and health of the soil, in an area historically with edaphic problems in poor tillage practices.

Key words: Compactation, *Gossypium herbarum*, Tillage, microorganisms

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los rendimientos obtenidos en algodón en Colombia han aumentado sustancialmente gracias a diferentes manejos agronómicos y a la introducción de materiales mejorados (Mejía-Salazar et al., 2020). Sin embargo, prácticas en la preparación del suelo, como el laboreo intensivo y el tipo de

labranza establecido por el productor agropecuario han conducido a la degradación estructural de los suelos, reduciendo la conductividad hidráulica, los contenidos de materia orgánica, baja eficiencia del uso de los nutrientes, entre otras características; lo que sumado al aumento en el empleo y la demanda de fertilizantes, conllevan también a incrementar los costos de producción en el cultivo (Bordoni et al., 2019).

En los últimos años se ha buscado establecer la eficiencia de la mecanización, procurando mantener de forma sostenible los sistemas productivos agrícolas (Júnnyor et al., 2022). Sin embargo, una inadecuada mecanización conlleva a problemas como compactación, pobre desarrollo radicular del cultivo, limitantes en la disponibilidad de nutrientes ya que muchos de ellos se mueven con un gradiente de humedad (solución del suelo) que a la larga afecta la vigorosidad de las plantas (Yang et al., 2021).

Se han realizado algunos estudios evaluando el efecto de diferentes sistemas de labranza en algodón para las condiciones de Colombia. De acuerdo con Prieto, Peroza y Grandet (2009), bajo condiciones del Sinú (Departamento de Córdoba en Colombia), se evaluaron los efectos de tres tipos de labranza (convencional, siembra directa y vertical con cincel), sobre las propiedades físicas del suelo, sin embargo, no se encontraron alteraciones en ninguno de los parámetros evaluados especialmente de contenido de materia orgánica, permeabilidad e infiltración. Según Bonilla y Vanegas (1998) en el departamento de Cesar, se realizó un estudio sobre el efecto de dos sistemas de labranza (profunda con arado de cincel y convencional con arado de disco), sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como su productividad, observándose, solo diferencias significativas en las variables de altura de planta y rendimiento. Por otro lado, Sierra y Grandet (2010) investigaron bajo condiciones del Caribe colombiano el efecto de tres sistemas de labranza y los aportes de materia orgánica sobre propiedades físicoquímicas del suelo, los autores observaron que los tratamientos de labranza no presentaron cambios significativos sobre las propiedades físicas, sin embargo, las aplicaciones de materia orgánica incrementaron la producción para todos los tratamientos. En los últimos años se ha venido desarrollando mejoramiento genético a partir de variedades transgénicas y resistentes a fisiopatías y factores bióticos y abióticos como estrés hídrico, estrés por salinidad y problemas fitosanitarios (Nasir et al., 2021; Ni et al., 2021). En las variedades de algodón se han desarrollado materiales genéticos para poder tolerar moléculas de herbicidas como el Glufosinato de amonio y el glifosato, conocido comercialmente como RoundupReady® (RR), así también, existen variedades transgénicas con tecnología Bt resistentes a lepidópteros, con un gran potencial productivo, pero con unas ventajas agronómicas como son el manejo temprano de las arvenses y problemas de plagas y enfermedades (Burbano-Figueroa, Montes-Mercado, Pastrana-Vargas y Cadena-Torres, 2018). No obstante, al día de hoy, son pocos los estudios realizados en el departamento del Tolima sobre la alteración de las condiciones y características físicoquímicas y biológicas del suelo, a partir del tipo de labranza; por lo tanto, aún continúa siendo escasa y precaria la información, referente al efecto de los sistemas

de labranza sobre diferentes genotipos de algodón ya sean variedades convencionales o materiales transgénicos de última generación.

Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de este experimento fue determinar la respuesta morfo-fisiológica, nutricional y productiva de cuatro variedades de algodón bajo dos sistemas de labranza en condiciones de Armero en el departamento del Tolima.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La investigación se realizó en el Centro Universitario Regional Norte (CURDN), de la Universidad del Tolima, ubicada en la vereda Santo Domingo, en el municipio de Armero-Guayabal, a 85 km de Ibagué, al norte del departamento de Tolima, Colombia. Las coordenadas del área son: 5°0,0' 10,18" latitud Norte y 74° 54' 25,90" longitud Este. El área experimental se encuentra ubicada a 480 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 28,2°C, precipitación de 1791,2 mm y humedad relativa de 71%, siendo clasificada como un bosque seco tropical (BS-T) de acuerdo con (Andrade, Simas, Queiroz y Antunez, 2020).

Características físicoquímicas del suelo

El tipo de suelo donde se desarrolló el experimento es de origen aluvial, y las características físicoquímicas se describen en la Tabla 1, según las metodologías empleadas por Lizcano Toledo et al. (2017). La muestra de suelo fue recolectada a una profundidad de 0,2 m en vertical y se tomaron 5 muestras simples en cada unidad experimental. El tipo de suelo manejado en este experimento correspondió a lodos fluviovolcánicos (Andisol), según clasificación de la USDA (1997).

Para el establecimiento de las parcelas experimentales, se escogió un lote de una hectárea (10.000 m²), en el cual, desde el año 2004 se viene realizando rotaciones de gramínea (Maíz/Sorgo), en rotación con cultivo de hoja ancha (algodón) dentro del proyecto experimental sostenible desarrollado por la facultad de ingeniería agronomía de la Universidad del Tolima. El diseño experimental fue de parcelas subdivididas en bloques al azar con cuatro repeticiones. En la parcela principal se ubicó el manejo agronómico a través de la labranza, la primera correspondió a Labranza mínima (LM); que consistió en una mecanización reducida, trabajando con el arado de cincel y una segunda labranza, denominada Labranza Tradicional (LT) que correspondió a un volteo de suelo usando como herramientas de mecanización del suelo, el rastra y el rastrillo. La LT se ajustó de acuerdo con la preparación y mecanización del suelo adoptados por los productores algodoneeros de la región.

Tabla 1. Determinación de las variables fisicoquímicas del suelo evaluado.

pH	Da	V	MO	K	Ca	Mg	Na	CIC	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-H ₂ O-	-g cm ⁻³ -	-%-	-g kg ⁻¹ -	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
5,8	1,63	93,6	9,0	0,66	5,8	2,1	0,05	9,2	86,3	31,2	0,2	1,6	66,4	10,8	3,6

Nota: Los valores son medias de cuatro repeticiones para cada medición. Da: Densidad Aparente; V: Saturación por bases; MO: Materia orgánica; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Na: Sodio; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; P: Fósforo; S: Azufre; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeseo; Zn: Zinc.

Diseño experimental y desarrollo del cultivo

En las subparcelas se ubicaron cuatro (4) variedades transgénicas de algodón; cuya distancia de siembra recomendada por el instituto colombiano agropecuario (ICA) fue de 0,8 m entre surcos, con una población de metro lineal de 6 plantas, que permitió el establecimiento de 75.000 plantas por hectáreas, en donde todas las variedades presentaban un porte y de ciclo intermedio, recomendado para la zona (Burbano-Figueroa, Montes-Mercado, Pastrana-Vargas y Cadena-Torres, 2018). Las variedades fueron: RR (RoundupReady®), Nuopal RR, FM 9063 y FM9171Bt (*Bacillus thuringiensis*). En la LM se realizaron aplicaciones de 40 kg ha⁻¹ de urea (se fracciona en tres veces), 50 kg ha⁻¹ de codifos (aplicados en el momento de la siembra con una sembradora Tatú) (P₂O₅: 27%; N: 3%; K₂O: 2%; MgO: 1%; S: 0,50%; el resto de productos se aplicaron a los 15, 30 y 45 días con fumigadora en drench, los cuales se describen a continuación: Extractos húmicos: 19%; 25 kg ha⁻¹ de Kimel Gran (materia orgánica: 50%; Si:18%; K₂O: 2,5%; N: 1,2%; CaO: 1%; S: 1%; Fe: 2%; MgO: 2%), 5 L ha⁻¹ de BiosolNew (N:1,7%; K₂O: 11%; materia orgánica: 7,6%) y 20 L ha⁻¹ de AgroPlux (*Azotobacter* sp: 40x10⁵ UFC ml⁻¹; *Pseudomonas* sp: 40x10⁵ UFC ml⁻¹; *Bacillus* sp: 40x10⁵ UFC ml⁻¹; N:1156 ppm; CaO: 1801 ppm; MgO: 780 ppm; P₂O₅: 406 ppm; K₂O: 6235 ppm; Na: 238 ppm; S: 437 ppm; Zn: 3,05 ppm; Fe: 21 ppm) (Zúñiga Escobar, Osorio Saravia, Cuarto Guependo y Peña Ospina, 2011). En la LT se realizó aplicaciones de 150 kg ha⁻¹ de Urea, 50 kg ha⁻¹ de DAP (Fosfato di Amónico) y 120 kg ha⁻¹ de KCl (Cloruro de Potasio), siendo fraccionados en cuatro aplicaciones durante el ciclo del cultivo.

Variables

Las variables fueron: pH por concentración de hidrogeniones (potenciómetro, relación 1:1 P/V; Da, determinándose a través del método del cilindro de volumen conocido (98,17cm⁻³): Da = Mss/Vc, donde Mss = masa de suelo seco (g) a 105°C por 24 h y Vc = volumen del cilindro (cm⁻³); Mo (Walkley-Black), combustión en húmedo, concentración de nutrientes en el suelo fósforo disponible (P, Bray II); potasio (K); calcio (Ca); magnesio (Mg); Sodio (Na)

(acetato de amonio 1M a pH 7); azufre (S) y boro (B) (Fosfato monocálcico); elementos menores (Cu, Mn, Fe, Zn; Olsen modificado) y CIC con el método de saturación con acetato de amonio (CH₃COONH₄) 1N pH 7 de acuerdo a la metodología (IGAC, 2006), Concentración de nutrientes en la planta, productividad, altura, biomasa y su distribución en órganos aéreos (capsulas de primera y segunda posición, tallo, hojas) y del sistema radicular (Hochmuth, 1994; Wang et al., 2020).

Se realizaron muestreos destructivos efectuados a los 105 días después de siembra (DDS). En cada ocasión se tomó una muestra de tres plantas con competencia completa por subparcela y repetición, considerando tanto la parte aérea (A partir de los nudos cotiledonales), como radicular. En cada muestreo se midió en la parte aérea, el peso seco de hojas, tallo, y órganos fructíferos (cápsulas), así como también el peso del área radicular de cada planta. La suma de estos valores proporcionó el peso seco total de la planta. Todos los pesos secos se obtuvieron después de que las muestras se expusieron durante 72 horas a una temperatura uniforme de 70° C en una estufa de secado (Wells & Meredith, 1984).

Análisis estadístico

En el momento de la cosecha se evaluaron las características de productividad, altura, biomasa productiva de cápsulas en primera y segunda posición; luego Los datos colectados fueron sometidos a un análisis de varianza por prueba de Tukey y Bonferroni, de acuerdo al diseño experimental propuesto. Cuando se encontró efecto significativo del sistema de labranza x la variedad, se aplicó la prueba de Tukey y Bonferroni. El programa estadístico utilizado fue SPSS Statistics. Para el desarrollo de los gráficos se empleó el programa SIGMAPLOT.

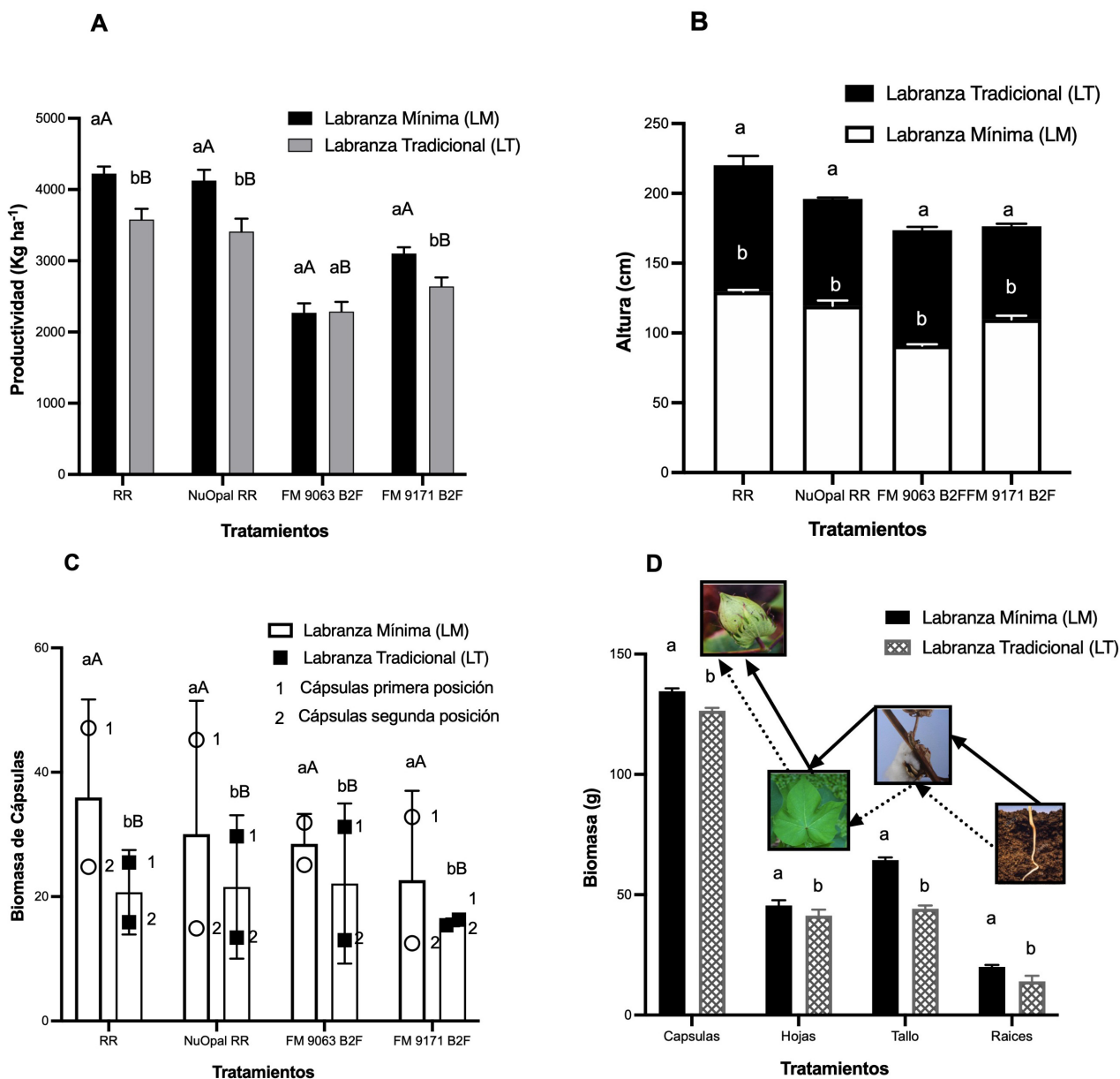
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable Productividad, se determinó efecto de los factores labranza y variedades, sin encontrar efecto de la interacción de acuerdo con la Figura 1A. En el sistema de labranza mínima (LM), se consiguieron mayores rendimientos para las variedades RR y Noupal RR, mientras que en las

variedades FM 9063 y FM 9171 no fueron observadas diferencias significativas entre los tipos de labranza, entendiéndose que la respuesta estuvo asociada al genotipo evaluado. Por otro lado, las variedades FM 9063 y FM9171 estuvieron próximas del rendimiento promedio de la región que es de 2.100 kg ha⁻¹, mientras que las variedades RR y Nouopal RR obtuvieron rendimientos superiores a los 4.000 kg ha⁻¹ como se observa en la Figura 1A.

Las diferencias encontradas en los dos sistemas

de labranza (LM y LT), pueden ser explicadas por una mejora en las condiciones físicoquímicas y microbiológicas del suelo. Según Li et al. (2020), encontraron en un sistema de labranza mínima, mayores contenidos de materia orgánica, respecto al sistema tradicional, relacionándose con una mayor disponibilidad de nutrientes para la planta. En el suelo manejado con rotación de cultivo con gramínea (Maíz y sorgo) en el LM, se observó mayores contenidos de carbono orgánico, que en la LT, sin rotación y con volteo de suelo como se puede observar en la Tabla 2.



Medias seguidas por la misma letra minúscula (entre variedades, en cada sistema de labranza) y misma letra mayúscula (entre sistemas de labranza, en cada variedad), no difieren entre sí por el test de Tukey a 5% de probabilidad.

Figura 1. A) Productividad de cuatro variedades de algodón en función de dos sistemas de labranza; B) Diferencias de alturas de las variedades de algodón según el tipo de manejo agronómico empleado en el experimento. C) Diferencias en productividad, según la biomasa de cápsulas en primera y segunda posición de acuerdo con la variedad y tipo de manejo agronómico. D) Mapeo morfo-fisiológico de la biomasa de los órganos de algodón a partir de los manejos agronómicos.

Tabla 2. Análisis Físicoquímico del suelo después que el experimento fuera evaluado.

T	pH	Da	SB	MO	K	Ca	Mg	Na	CEC	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
H ₂ O -g cm ⁻³ -		-%-- g kg ⁻¹ -		-----Cmol _c kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----							
LT	6,0	1,43		7,0b	0,4b	4,8b	1,5b	0,05a	6,75b	18,3b	15,1b	0,2b	2,3a	35,3b	12,4b	1,2b
LM	5,5	1,74	93,6	12,0a	0,7a	6,5a	2,5a	0,01b	9,71a	25,3a	31,2a	0,4a	1,2b	66,4a	19,8a	36a

Nota: Los valores son medias de cuatro repeticiones para cada medición. LT: Labranza tradicional; LR: Labranza mínima; T: Tratamientos

De acuerdo con Schmidt, Villamil y Amiotti (2018), es destacado que los sistemas de labranza como la LM, consiguen incrementar las concentraciones de N y CO; como se observó en la Tabla 2, donde los valores estuvieron de 7,0 y 12,0 %, para LT y LM respectivamente, lo que corresponde a que las concentraciones de materia orgánica de la LM casi doblan a los de la LT, lo que constituye una fuerte dependencia del tipo de labranza a los contenidos totales de parte de la fertilidad de los suelos (Viciedo et al., 2018; Wang et al., 2019). Por otro lado, el tipo de labranza también puede afectar la biomasa microbiana, resultando en una mejor fertilidad, al igual que otras condiciones físicas como la agregación y Da del suelo (Borges et al. 2019; Yu et al., 2020; Lizcano Toledo et al., 2017).

En la variable de altura, no se identificaron efectos de las variedades utilizadas, no obstante, se observaron diferencias entre los dos sistemas de labranza, determinándose que plantas de algodón en LM presentaban mayores valores que la LT (Figura 1B). De acuerdo con Alarcón, Hernández, Navarrete, Sánchez & Sánchez (2019), en sistemas de LM, hay menor movimiento de suelo, generando mayor conservación de humedad, además reduciendo las condiciones también de compactación, permitiendo a su vez, mayor desarrollo vegetativo (Tabla 2).

En la Figura 1C, se destaca las diferencias significativas entre los tratamientos (Variedades de Algodón) y manejos agronómicos. La variedad RR fue la que obtuvo mayor peso de las cápsulas en primera y segunda posición entre los tratamientos, lo que coincide con la variedad que fue más productiva del experimento (Figura 1A).

La concentración de nutrientes no fue afectada por el factor variedades, ni por la interacción, encontrándose efecto apenas para el tipo de labranza. La LT mostró menores concentraciones de macro y micronutrientes en comparación a la LM (Tabla 3).

Esto posiblemente se pudo presentar debido a que en la LM, hay un mayor intercambio gaseoso en la relación O₂/CO₂, además, de una mayor actividad microbiana (Alvear, Pino, Castillo, Trasar-Cepeda y Gil-Sotres, 2006; Wang et al., 2017), contribuyendo a aumentar las actividades enzimáticas, incrementando la concentración de CO en los diferentes horizontes de manejo, y reduciendo la emisión de CO₂ (Zuber y Villamil, 2016; Franco et al., 2020); por otro lado, los efectos de procesos como la óxido-reducción de elementos nutricionales, como lo fue en la LT, debido a que al final, en este último tipo de labranza, se presentaron procesos de compactación (menor Da) y menor concentración de nutrientes como por ejemplo, N, S, Fe, Mn, Cu, destacándose la relevancia en los procesos de rotación de cultivos (Schlüter et al., 2018; Lizcano-Toledo, Reyes-Martín, Celi y Fernández-Ondoño, 2021).

Según Li, Chang, Tian y Zhang (2018), demostraron que las prácticas específicas de manejo del suelo (Prácticas sostenibles) influyen no solo en la densidad celular de los nitrificadores del suelo, sino también en su respuesta al aumento de Nitrógeno inorgánico en el medio ambiente; esto claramente se puede evidenciar en la Tabla 3. En esta tabla, se determinó una mayor concentración de N en las plantas de algodón en el tratamiento con la LM, comparadas con la LT; siendo al final una buena práctica agrícola

Tabla 3. Macronutrientes, B, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo en la materia seca de hoja diagnóstica de *Gossypium herbareum* en labranza mínima (LM) y labranza tradicional (LT).

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Mo
----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----						
LT	26,9b	0,92b	13,1b	6,6b	0,8b	2,4a	17,7b	23,14b	46,8b	35,4b	2,3b	1,1b
LM	48,4 ^a	2,4a	25,4a	14,2a	2,8a	2,7a	43,3a	116,0a	134,a	54,8a	10,1a	1,16a
C.V (%)	6,09	8,79	8,29	8,56	6,82	6,08	4,64	3,88	2,69	5,87	12,24	7,07

Medias seguidas por letras distintas en la columna, difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad; LT: Labranza Tradicional; LM: Labranza Mínima.

dentro del componente del manejo integral del cultivo, además, cabe destacar lo importante y fundamental de estas prácticas para mantener una agricultura sostenible; este tipo de manejo de labranza (LM), permitió un mayor desarrollo radicular (mejoramiento de la profundidad efectiva), debido a menor compactación (Diferencias en la Da en las LM y LT con 1,74, y 1,43 g cm⁻³ respectivamente) lo que favorece a la planta, al explorar mayores sitios para la absorción de nutrientes con menor esfuerzo (Nafi et al., 2019 ; Yang et al., 2020).

Por otro lado, a esto se debe sumar la actividad microbiológica, que favorece un reciclaje más rápido de los nutrientes y mayor disponibilidad a partir de la degradación de los rastrojos (Frasier, Quiroga y Noellemeyer, 2016; Haghverdi y Kooch, 2019). Cabe indicar, que la respuesta en concentración de nutrientes pudo estar influenciada por el tipo de fertilización utilizada bajo los dos tipos de labranza (LM y LT), ya que, en la LM, fueron aplicadas cepas de bacterias diazotrofas, las cuales promueven la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de hormonas y antibióticos, compuestos esenciales para el desarrollo y nutrición balanceada de la planta (Escobar, Horna, Careño y Mendoza, 2011; Romero-Perdomo et al., 2017; You, Fang, MacDonald, Xu y Yuan, 2019).

Dentro de una columna para cada manejo de cobertura o para cada nivel de fertilización, las medias seguidas

de letras diferentes son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba post hoc de Bonferroni.

Finalmente, la Tabla 4, nos indica la distribución de la biomasa por variedad y por manejos (Labranza) y el efecto Labranza x Variedad, es importante destacar, que la LM presentó mayores concentraciones de todos los órganos, comparada con la LT, además la variedad RR presentó la mayor biomasa de cápsulas para los dos manejos, de igual manera la LM presentó mayor biomasa foliar (FM 9063 B2F), mayor biomasa de tallo (FM 9063 B2F) y desarrollo radicular (FM 9063 B2F). Por otro lado, la LM tuvo una mejor distribución de la biomasa de los órganos, con respecto a la LT. Esta mejor distribución se debió a un mejor estado nutricional, ya que las concentraciones de los nutrientes (Tabla 3), se encontraban en el rango de equilibrio (adecuado). También el hecho de mejores densidades aparentes con menores compactaciones, hacen que se haya presentado mejor desarrollo radicular, como fue el caso de la variedad FM 9063 B2F, la cual presentó 34,7 g de biomasa en la LM, con relación a los 18,5 g por planta en el LT, permitiendo una mayor disponibilidad y absorción de nutrientes en la LM. Hubo efecto de la labranza x variedad ($p \leq 0,05$), destacando la importancia de la distribución morfológica en la productividad y vigorosidad en los diferentes cultivos y siendo evidente en este trabajo de investigación.

Tabla 4. Distribución de la biomasa en peso (g) y porcentual de *Gossypium herbareum* en los diferentes tratamientos y tipos de labranzas.

Variedades	Manejo de Labranzas	Cápsulas (g)	Hojas (g)	Tallo (g)	Raiz (g)
	LM	134,6a	45,5a	64,9a	20,1a
	LT	126,5b	41,3a	44,2b	14,2b
RR		147,5b	41,3c	58,4b	18,5b
Nouopal RR		135,45c	33,8d	45,5c	13,4c
FM 9063 B2F		155,3a	65,3a	75,4a	26,7a
FM 9171 B2F		85,3d	48,5b	38,4d	9,4d
RR	LM	150,9a	30,8b	53,6a	18ba
	LT	145,0b	50,8a	65,1a	19,7a
Nouopal RR	LM	155,5a	28,3b	59,7a	15,5a
	LT	100,7b	41,4b	33,2b	12,3b
FM 9063 B2F	LM	142,1a	72, 8a	92,5a	34,7a
	LT	96,5b	48,5b	50,9b	18,5b
FM 9171 B2F	LM	101,8a	50,0a	53,9a	11,8a
	LT	96,5b	24,5b	27,5b	5,5b
<i>P</i> (F) values					
Manejo de Labranzas		0,05	0,05	0,05	0,05
Variedades		0,05	0,05	0,05	0,05
Labranza x Variedad		0,05	0,05	0,05	0,05

CONCLUSIONES

Los dos sistemas de labranza estudiados presentaron diferencias significativas para casi todas las variables evaluadas, destacándose la productividad, el componente nutricional de las plantas y la distribución morfológica de sus órganos, en el rendimiento de la fibra de algodón.

Las variedades empleadas, sobre todo de la línea RR definieron una mayor productividad y mejor distribución de su bioarquitectura (Distribución de órganos de la planta), en lo que respecta especialmente a los órganos productivos (Cápsulas en primera y segunda posición), lo que se recomienda emplear esta tecnología, ya que contribuye al manejo y control de arvenses desde las primeras etapas fenológicas del cultivo.

Los procesos de rotación de gramíneas (Maíz/Sorgo) y oleaginosas (Algodón), en manejos agronómicos a largo plazo (>5 años), presentan cambios significativos en la fertilidad potencial y efectiva edáfica, así como también, en los procesos de conservación, calidad y salud del suelo, en una zona históricamente con problemas edáficos, con prácticas deficientes de laboreo, haciendo que, con el uso de prácticas agronómicas de manejo eficiente de la labranza del suelo, se desarrolle manejos amigable y se impulse la implementación de buenas prácticas agrícolas, recomendándose este tipo de paquetes tecnológicos, para los productores de algodón de la zona norte del departamento del Tolima en Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Universitario Regional del Norte (CURN) y a la Universidad del Tolima por la facilidad en el desarrollo de este proyecto de investigación.

REFERENCIAS

Alarcón, R., Hernández, E., Navarrete, L., Sánchez, M. & Sánchez, A. (2019). Climate and tillage system drive weed communities' functional diversity in a Mediterranean cereal-legume rotation. *Agriculture, Ecosystem and Environmental*, 283, 106574.

Alvear, M., Pino, M., Castillo, C., Trasar-Cepeda, C. & Gil-Sotres, F. (2006). Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un Alfisol del sur de Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición vegetal*, 6(2), 38-53.

Andrade, E., Simas, M., Queiroz, H. & Antunes D. (2020). Ecohydrology in Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27.

Bonilla Buitrago, R. & Venegas Rodríguez, N. (1998). Efecto de sistemas de labranza sobre las propiedades físicas y producción del algodónero en suelos compactados del valle del Cesar. En *Memorias del encuentro nacional de labranza*

de conservación, *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. Villavicencio, Colombia: Editora Guadalupe Ltda., pp. 205-206.

Bordoni, M., Vercesi, A., Maerker M., Ganimede C., Reguzzi M., Capelli E.,..., Meisina C. (2019). Effects of vineyard soil management on the characteristics of soils roots in the lower Oltrepo Apennines (Lombardy, Italy). *Science of the Total Environmental*, 693, 133390.

Borges, J., Pires, L., Cássaro, F., Auler, A., Rosa, J., Heck, R. & Roque, W. (2019). X-ray computed tomography for assessing the effect of tillage systems on topsoil morphological attributes. *Soil & Tillage Research*, 189, 25-35.

Burbano-Figueroa, O., Montes-Mercado, S., Pastrana-Vargas, I. J. & Cadena-Torres, J. (2018). Introducción y desarrollo de variedades de algodón Upland en el sistema productivo colombiano: una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 15(1), 29-44.

Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C. & Mendoza, G. (2011). Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter spp.* y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicon esculentum* Mill. 'tomate' en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria.*, 2,39-49.

Franco, S., Caverro, J., Plaza, D., Cantero, C., Arrúe, J. & Alvaro, J. (2020). Tillage and irrigation system effects on soil carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) emissions in a maize monoculture under Mediterranean conditions. *Soil & Tillage Research*, 196, 104488.

Frasier, I., Quiroga, A. & Noellemeyer, E. (2016). Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Science of The Total Environment*, 562, 628-639.

Haghverdi, K. & Kooch, Y. (2019). Effects of diversity of tree species on nutrient cycling and soil-related processes. *Catena*, 178, 335-344.

Hochmuth, G. J. (1994). Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology*, 4(3), 218-222.

IGAC. (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 6º ed. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 648 p.

Júnnyor, W. D. S. G., De Maria, I. C., Araujo-Junior, C. F., Diserens, E., da Costa Severiano, E.,... de Souza, Z. M. (2022). Conservation systems change soil resistance to compaction caused by mechanised harvesting. *Industrial Crops and Products*, 177, 114532.

Li, Y., Chang, S. X., Tian, L. & Zhang, Q. (2018). Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: a global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121(4), 50-58.

Li, Y., Li, Z., Chang, S., Cui, S., Jagadamma, S., Zhang, Q. & Cai, Y. (2020). Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. *Science of Total Environmental*, 740, 140147.

Lizcano Toledo, R., Olivera Viciado, D., Saavedra Mora, D., Machado Cuellar, L., Valencia, E., Moreno Pérez, M. & Fidel Flórez, M. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), pp. 42-44.

Lizcano-Toledo, R., Reyes-Martín, M. P., Celi, L. &

- Fernández-Ondoño, E. (2021). Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant-Environment Relationship in Cropping Systems: A Review. *Applied Sciences*, 11(23), 11133.
- Mejía-Salazar, J. R., Galeano-Mendoza, C. H., Burbano-Erazo, E., Vallejo-Cabrera, F. A. & Arango, M. (2020). Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 31-42.
- Nafi, E., Webber, H., Danso, I., Naab, J. B., Frei, M. & Gaiser, T. (2019). Soil tillage, residue management and site interactions affecting nitrogen use efficiency in maize and cotton in the Sudan Savanna of Africa. *Field Crops Research*, 244, 107629.
- Nasir, M., Zhao, C., Luo, J., Zhu, X., Gao, X., Iqbal, M. F., Ji, J. C., Shuai, Z. & Cui, J. (2021). Population dynamics, hunting nature on insect pests and existence of symbiotic bacterial microbes among leading transgenic cotton spiders. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(1), 297-307.
- Ni, Z., Liu, N., Yu, Y., Bi, C., Chen, Q. & Qu, Y. (2021). The cotton 70-kDa heat shock protein GhHSP70-26 plays a positive role in the drought stress response. *Environmental and Experimental Botany*, 191, 104628.
- Prieto, B., Peroza, J. & Grandet, G. (2009). Efecto de la labranza y manejo de materiales orgánicos sobre algunas propiedades físicas y químicas de un Vertic Endoaquetp en el valle del Sinú, Córdoba Colombia. *Temas Agrarios*, 15(2), 27-36.
- Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno, A., Pastrana, I., Rojas, D. & Bonilla, R. (2017). Azotobacter chroococcum as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Revista Argentina de microbiología*, 49(4), 377-383.
- Schlüter, S., Großmann, C., Diel, J., Wu, G., Tischer, S., Deubel, A. & Rücknagel, J. (2018). Long-term effects of conventional and reduced tillage on soil structure, soil ecological and soil hydraulic properties. *Geoderma*, 332, 10 - 19.
- Schmidt, E., Villamil, M. & Amiotti, N. (2018). Soil quality under conservation practices on farm operations of the southern semiarid pampas region of Argentina. *Soil & tillage Research*, 176, 85 - 94.
- Sierra, J. A. P. & Grandet, G. (2010). Efecto de labranza y manejo de materiales orgánicos sobre algunas propiedades físicas y químicas de un vertic endoaquetp del valle del Sinú, Córdoba Colombia. *Temas Agrarios*, 15(2), 27-36.
- USDA. (1997). Official United States standards for grades of carcass beef: *Agric. Marketing Service*.
- Vicedo, D. O., Hernández, A., Rodríguez, M., Lizcano, R., Calero, A. & Peña, K. (2018). Effects of land-use change on Nitisols properties in a tropical climate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(3), 8601-8608.
- Wang, X., Chen, Y., Liu, F., Zhao, R., Quan, X. & Wang, C. (2020). Nutrient resorption estimation compromised by leaf mass loss and area shrinkage; Variations and solutions. *Forest Ecology and Management*, 472, 118232.
- Wang, X., Qi, J., Zhang, X., Li, S., Latif, A., Zhao, ... Zhang, H. (2019). Effects of tillage and residue management on soil aggregates and associated carbon storage in a double paddy cropping system. *Soil & Tillage Research*, 194, 104339.
- Wang, Y., Li, C., Tu, C., Hoyt, G., DeForest, J. & Hu, S. (2017). Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. *Science of the Total Environment*, 609, 341-347.
- Wells, R. & Meredith, W. R. (1984). Comparative growth of obsolete and modern cotton cultivars. 11 Reproductive dry matter partitioning. *Crop Science*, 24, 863-868.
- Yang, H., Hu, F., Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Fan, H. & Ren, X. (2021). Integration of tillage and planting density improves crop production and carbon mitigation of maize/pea intercropping in the oasis irrigation area of northwestern China. *Field Crops Research*, 272, 108281.
- Yang, H., Wu, G., Mo, P., Chen, S., Wang, S., Xiao, Y. & Fan, G. (2020). The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil and Tillage Research*, 197, 104485.
- You, M., Fang, S., MacDonald, J., Xu, J. & Yuan, Z. (2019). Isolation and characterization of *Burkholderia cenocepacia* CR318, a phosphate solubilizing bacterium promoting corn growth. *Microbiological Research*, 126395.
- Yu, Q., Wang, H., Wen, P., Wang, S., Li, J., Wang, R. & Wang, X. (2020). A suitable rotational conservation tillage system ameliorates soil physical properties and wheat yield: An 11-year *in-situ* study in semi-arid agroecosystem. *Soil & Tillage Research*, 199, 104600.
- Zuber, S. & Villamil, M. (2016). Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial biomass and enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 176-187.
- Zúñiga Escobar, O., Osorio Saravia, J. C., Cuero Guepando, R. & Peña Ospina, J. A. (2011). Evaluation of technologies for the recovery of soils degraded by salinity. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5769-5779.