



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Modalidad: Tesina

“Contenidos orgánicos del suelo bajo diferentes sistemas de labranzas y rotaciones en un Argiudol de Corrientes.”

Tesista:

CABALLERO Pablo Germán

Director:

Ing. Agr. (Dr.) Humberto Carlos DALURZO

Lugar de Realización:

Estación Experimental Agropecuaria INTA – Corrientes.

Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos - Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.

Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. (Dr.) Ramón Jesús, HIDALGO

Ing. Agr. (M. Sc) Federico Antonio, PAREDES

Ing. Agr. (Dra.) Carolina, FERNÁNDEZ LÓPEZ

2022

ÍNDICE

ÍNDICE -----	2
RESUMEN -----	3
INTRODUCCIÓN -----	4
OBJETIVO DEL TRABAJO: -----	6
MATERIALES Y MÉTODOS -----	7
Diseño experimental y tratamientos. -----	8
Manejo y seguimiento del trabajo.-----	8
Tareas de Campaña: -----	9
Tareas de laboratorio: -----	9
Tareas de Gabinete: -----	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	11
Materia orgánica (MO): -----	11
Reacción del suelo: medidas de pH en solución de KCl 0,1 M en relación 1:2,5 -----	12
Reacción del suelo: pH en solución acuosa en relación 1:2,5 -----	14
Humedad equivalente-----	15
CONCLUSIONES: -----	16
BIBLIOGRAFÍA:-----	17

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar propiedades del suelo como ser, materia orgánica total (MO), pH en solución salina y en agua, y por último humedad equivalente (HE) bajo diferentes sistemas de labranzas y secuencias de cultivos en un ensayo en la E.E.A. INTA–Corrientes, analizándolos como posibles indicadores de calidad de suelo, sobre un Argiudol Ácuico. El diseño experimental fue de parcelas completamente aleatorizadas en arreglo factorial (3 x 4), donde los factores fueron: a) Sistemas de labranzas (SL), con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y Siembra Directa (SD); y b) Secuencias de cultivos (SC), con cuatro niveles de rotaciones:(R1) Maíz-Descanso (Mz-D), (R2) Maíz-descanso-Avena negra (Mz-D-Av), (R3) Maíz-Caupí-Avena (Mz-Ca-Av), (R4) con una Pastura perene de pasto cambá (Pa). Los tratamientos fueron doce, con cuatro repeticiones totalizando 48 unidades experimentales. El tamaño de la parcela fue de 140 m². Los muestreos se realizaron previamente a la instalación de la siguiente campaña agrícola. Las muestras tomadas fueron secadas molidas y tamizadas para determinar las propiedades en laboratorio. Los datos fueron analizados estadísticamente para determinar diferencias de las variables de suelo entre tratamientos mediante el análisis de la varianza. Las comparaciones de tratamientos se realizaron por la prueba rangos múltiples de Duncan ($P<0,05$). Para el atributo materia orgánica la SD se destacó en la profundidad de 0-7 cm con un promedio de 2,17% significativamente superior ($P<0,001$) a los promedios bajo LR (1,94%) y LC (1,92%), en cuanto a los valores arrojados en las rotaciones a la misma profundidad la R4 (2,32%) fue la más importante frente a las demás rotaciones con diferencias significativas ($P<0,001$). En profundidad de 7-20 cm las rotaciones la R4 (1,66%) superó significativamente ($P < 0,01$) al resto. En el pH en solución salina, de 0 a 7 cm de profundidad, la SD presentó los valores más elevados (5,63) ($P<0,01$). Para las secuencias de cultivo, la R4 presentó un valor superior (5,61) y los menores valores para la R1 (5,27), con diferencias significativas ($P < 0,05$), resultando las rotaciones R2 y R3 con valores intermedios. En la siguiente profundidad para el mismo atributo de suelo solamente hubo diferencias significativas ($P<0,01$) en los SL, sobresaliendo la SD con un valor de 5,35. La humedad equivalente, de 0-7 cm, presentó en las rotaciones los mayores valores en la R3 con 17,5% seguida por la R4 con 15,5% y en último lugar la R1 (14,1%) y la R2 (14,9%). Concluyendo la rotación de cultivos fue la práctica de manejo que más influyó en todas las variables evaluadas presentando diferencias significativas en todos los casos. La R4 con una pastura perenne, fue la que mejor se comportó para la mayoría de los atributos de suelo estudiados, confirmando sus beneficios para la recuperación del suelo. Dentro de las prácticas de labranza, la SD por la falta de remoción del suelo mejoró los contenidos de MO en superficie, respecto al resto de los sistemas evaluados. Los mejores comportamientos del pH, con los valores más altos, se registraron bajo SD en ambas profundidades y bajo la rotación R4 en superficie. La rotación R1, con un solo cultivo por año, presentó los

valores más bajos de pH (en solución salina) con una tendencia a una acidificación del suelo de 0-7 cm de profundidad.

INTRODUCCIÓN

En siembra directa (SD), la no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie resultan en un mayor contenido de materia orgánica (MO) en las capas superficiales respecto a situaciones similares bajo labranza con remoción, donde aumenta la aireación y la temperatura del suelo al permanecer descubierto lo cual favorece la descomposición de la MO del suelo (Shukla et al., 2006). Las rotaciones de cultivos posibilitan la acumulación de mayores cantidades de residuos de distinta calidad que representan significativos aportes de carbono (C) para el suelo (García, 2003).

Los sistemas de labranza modifican el ambiente físico y químico del suelo. Estos cambios generan, a su vez, cambios en la biología del suelo y en el desarrollo del sistema radical de las plantas. Los efectos sobre el ambiente edáfico modifican las transformaciones de los nutrientes y, por lo tanto, la disponibilidad de los mismos y el rendimiento de los cultivos (Domínguez et al., 2009).

Numerosos autores plantearon los efectos beneficiosos de la SD sobre las propiedades del suelo (Studdert & Echeverría, 2002; Aparicio & Costa, 2007; Roldán et al., 2014) mientras otros, expresaron situaciones contradictorias en dicho sentido (Mc Vay et al., 2006; Álvarez & Steinbach, 2009; Schmidt & Amiotti, 2015). En el presente trabajo se planteó evaluar esta situación en una zona que cuenta con escasa información en el contexto de producción de agricultura familiar característico de la región emplazada fuera de las áreas de mayores estudios y existencias de citas bibliográficas como ser la llanura pampeana.

En un ensayo de 20 años realizado en un Haplustol de Tucumán comparando los tratamientos de SD, labranza convencional (LC), Pastura natural y monte nativo (MN) se evaluaron propiedades físicas y químicas de dicho suelo. La estabilidad estructural fue la propiedad más sensible al manejo del suelo, observándose para esta variable el siguiente orden decreciente: MN = Pastura natural > SD > LC. Dicha propiedad fuertemente asociada a los contenidos de orgánicos del suelo, en la mayoría de las situaciones manifestó un comportamiento similar de la MO a la estabilidad de los agregados, resultando: MN > Pastura natural y SD > LC (Sanzano et al., 2005).

Cabria & Culot (2001) mostraron que 17 años de cultivo continuo (trigo-soja-girasol) bajo labranza convencional (LC) en Udoles del sudeste bonaerense, provocaron aumento de la densidad aparente (DA) y disminución de la MO. Elisondo et al. (2001) hallaron mayor valor de DA en un suelo bajo SD

contrastando con un tratamiento de labranza vertical en el que disminuyó el valor de dicha variable.

Doce años de SD permitieron incrementar el contenido de MO total en todas las secuencias evaluadas, presentando una distribución estratificada con mayor contenido en los primeros 5 cm. La magnitud del incremento dependió del aporte de residuos aéreos recibido durante el período estudiado. La elección de cultivos que restituyeron el carbono orgánico al suelo a través del aporte de residuos y el empleo de un sistema de labranza conservacionista contribuyó a incrementar la MO del suelo (Manso & Forján, 2012).

En un Argiudol Típico de la pampa ondulada, se observó en un experimento de larga duración (16 años), comparando LC con SD que el contenido de MO fue mayor en el sistema de labranza conservacionista. A su vez, la DA disminuyó en un período de 12 años en el tratamiento de SD, siendo que en el de LC prácticamente se mantuvo igual (Ramírez Pisco et al., 2006).

Abril et al. (2005) encontraron que los suelos de la región semiárida central de la Argentina, bajo SD, presentaban mayor contenido de MO que aquéllos bajo labranza conservacionista, incrementándose las diferencias observadas con el tiempo.

Las labranzas y el manejo de los rastrojos juegan un rol crucial en el uso sustentable del suelo y del agua debido a sus efectos sobre la mayoría de los indicadores de sustentabilidad (Lal, 1991; Lattanzi, 1998). La falta de perturbación del suelo y la cobertura superficial producen cambios sustanciales en los procesos de descomposición de los residuos de cosecha, principalmente los relacionados con la acumulación de los contenidos orgánicos del suelo (Kladivko, 2001; Abril, 2002).

En la pampa semiárida Schmidt & Amiotti (2015) observaron que, con SD, desmejoró la condición física del suelo, por incrementos de la densidad aparente, y no hubo aumentos del carbono orgánico en el mediano a largo plazo respecto de la labranza reducida (LR).

La mayoría de los trabajos sobre SD en la Argentina han sido realizados en la Región Pampeana (Crespo et al., 2001; Fabrizzi et al., 2003; Ferraro et al., 2003; Díaz-Zorita et al., 2004) con escasas referencias para la zona noreste (Rey Montoya et al., 2017; Dalurzo et al., 2021). En Argiudoles Ácuicos de Corrientes, se halló mejor estabilidad de agregados, de 0-7 cm, en la medida que aumentó la cobertura vegetal en sistemas de labranza con menor roturación (Paredes, 2013). De 7-20 cm la mayor estabilidad de agregados correspondió a los tratamientos conservacionistas, SD y LR, hecho que podría relacionarse a los mayores

contenidos de materia orgánica hallados por Paredes et al. (2014) en SD con 2,1%, respecto a LR y LC con 1,5 y 1,7 % respectivamente.

Luego de tres años de ensayos de labranzas de larga duración con LC, LR y SD, en la EEA INTA Corrientes, las mayores diferencias sobre las propiedades físicas se registraron con los sistemas de labranzas, siendo menos influyentes las rotaciones y el uso de cultivos de cubierta (avena). Durante tres ciclos consecutivos, la SD mejoró la cobertura del suelo y la estabilidad de agregados. También hubo un incremento progresivo de la densidad aparente, pero sin comprometer el rendimiento de los cultivos. Los resultados indicaron que la SD puede ser usada como alternativa al manejo tradicional por pequeños agricultores de Corrientes con suelos de régimen hipertérmico (Paredes, 2013).

En dicho ensayo de labranzas y rotaciones en Corrientes, Rey Montoya et al. (2017) hallaron que los atributos que podrían indicar calidad de suelo serían: resistencia mecánica a la penetración, la cual disminuyó con el laboreo del suelo, en LC y LR, en cuanto que las mejores condiciones del suelo en profundidad se observaron en SD. Las rotaciones que finalizaron con algodón tuvieron menor resistencia mecánica a la penetración (7-20 cm) que con cultivos de maíz. La estabilidad de agregados presentó los mayores valores en SD. Las prácticas que favorecieron la estabilidad de agregados colaboraron a una mayor infiltración del agua e implicaría una menor escorrentía y erosión hídrica, por lo cual la SD presentó las variaciones más favorables para mantener la calidad del suelo.

En el ensayo comentado en el párrafo anterior, incluyendo mucuna en la rotación, hallaron aplicando análisis multivariado de factores y análisis discriminante que, bajo SD, en las cuatro rotaciones evaluadas (algodón-descanso - maíz-descanso - mucuna; maíz-avena - algodón-avena - mucuna; algodón-avena - maíz-avena - mucuna; maíz-descanso - algodón-descanso - mucuna) superó a las mismas rotaciones de cultivos bajo labranza reducida y labranza convencional. Ello contribuyó a aumentar los contenidos de materia orgánica y a mejorar atributos como la estabilidad de agregados, favoreciendo a las condiciones físicas del suelo, resultando posibles indicadores de la calidad del mismo (Dalurzo et al., 2016).

OBJETIVO DEL TRABAJO:

El objetivo de este trabajo fue identificar las prácticas de manejo de suelo, como sistemas de labranzas y rotaciones de cultivos, que mejoren los contenidos orgánicos del suelo y otras variables edáficas de un Argiudol de Corrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó sobre un ensayo de larga duración instalado en la Estación Experimental del INTA - Corrientes, el cual se emplaza sobre un suelo perteneciente a la Serie Treviño, clasificado como Argiudol Ácuico (Escobar et al., 1996) donde se evaluaron sistemas de labranzas y rotaciones de cultivos.

El diseño fue en parcelas completamente aleatorizadas (DCA) en un arreglo factorial (3 x 4), donde los factores fueron: a) Sistemas de labranzas, con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y labranza cero (SD); y b) secuencias de cultivos: con cuatro niveles de rotaciones. R1: empleando un cultivo por año (maíz-descanso); R2: dos cultivos por año (maíz-descanso-avena negra), R3: tres cultivos por año (maíz-caupí-avena negra) y la rotación R4 con pasto cambá (*Paspalum atratum*).

Tabla 1. Datos del perfil de la Serie Treviño (Escobar et al., 1996).

HZTE.	PROF. cm.	GRANULOMETRIA					CATIONES DE CAMBIO								
		Arena					meq/100g.....%								
		M.O.	Arcilla	Limo	Fina	Gruesa	pH	Ca	Mg	K	Na	H	T	S/T	PSI
A1	0/17	1,72	11,6	21,5	64,7	2,2	5,6	3,5	2,9	0,1	0,3	1,0	6,8	100	3,8
A2	17/30	1,09	13,7	21,4	63,1	1,8	5,8	5,7	2,4	0,1	0,4	1,0	7,3	100	4,1
BAt	30/39	1,16	20,0	22,3	55,4	2,3	6,0	8,9	2,9	0,1	0,5	2,6	13,9	89	3,3
Bt1	39/66	0,90	32,6	16,1	49,6	1,7	6,3	13,9	3,9	0,2	0,8	3,2	20,2	93	3,6
Bt2	66/87	0,66	32,9	16,6	48,4	2,1	7,0	14,6	4,0	0,3	0,7	1,4	20,8	94	3,3
Btk	87/+	0,28	30,5	16,6	51,4	1,5	7,4	14,2	4,1	0,3	0,7	1,5	18,6	100	3,3

Referencias: MO: materia orgánica, Ca: calcio, Mg: magnesio, K: potasio, Na: sodio, S: suma bases intercambiables; H: acidez intercambiable; T: capacidad de intercambio catiónico (suma de S y H); S/T= (V): porcentaje de bases cambiables, cociente entre bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico; PSI: porcentaje de sodio intercambiable, cociente entre sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico.

Diseño experimental y tratamientos.

Los tratamientos fueron doce, cada uno con cuatro repeticiones y totalizan 48 unidades experimentales (Tabla 2). El tamaño de la parcela fue de 140 m².

Tabla 2. Descripción de los tratamientos y acrónimos usados en cada uno de ellos

Sistemas de labranzas	Secuencias de cultivos	Tratamientos
Labranza convencional (LC)	1 cultivo por año: maíz-descanso	LC-R1 (1)
	2 cultivos por año: maíz-descanso-avena	LC-R2 (2)
	3 cultivos por año: maíz-caupí-avena	LC-R3 (3)
	4 pasto cambá	LC-R4 (4)
Labranza Reducida (LR)	1 cultivo por año: maíz-descanso	LR-R1 (5)
	2 cultivos por año: maíz-descanso-avena	LR-R2 (6)
	3 cultivos por año: maíz-caupí-avena	LR-R3 (7)
	4 pasto cambá	LR-R4 (8)
Siembra Directa (SD)	1 cultivo por año: maíz-descanso	SD-R1 (9)
	2 cultivos por año: maíz-descanso-avena	SD-R2 (10)
	3 cultivos por año: maíz-caupí-avena	SD-R3 (11)
	4 pasto cambá	SD-R4 (12)

Manejo y seguimiento del trabajo.

Los sistemas de labranzas empleados fueron:

- **Labranza convencional (LC):** Se preparó el suelo previo a la siembra de los mismos con remoción e incorporación de rastrojos por método mecánico, para ello se utilizó una rastra de disco de tiro excéntrico,

- realizando cuatro pasadas y además una rastra de dientes para la preparación de la cama de siembra.
- **Labranza reducida (LR):** La operación de labranza consistió en la semi-incorporación de rastrojos del cultivo, dejando parte de los mismos en superficie. Esta labor se realizó con dos pasadas sucesivas con una rastra de discos.
 - **Siembra Directa (SD):** El manejo de las malezas se realizó con herbicidas dejando los rastrojos en superficie.

Los cultivos empleados fueron:

- ❖ **Maíz amarillo (*Zea mays L.*)**. Época de siembra: primera quincena de septiembre. Densidad: 12 kg de semilla ha^{-1} , Espaciamiento: 0,7 m entre líneas.
- ❖ **Avena negra (*Avena strigosa L.*)**, variedad avena negra. Época de siembra: primera quincena de mayo, al voleo con una densidad de 80 kg de semilla ha^{-1} .
- ❖ **Caupí (*Vigna unguiculata L.*)**, Época de siembra: primera quincena de febrero. Densidad de siembra 60.000 semillas ha^{-1} . Espaciamiento: 0,7 m entre líneas.
- ❖ **Pasto Cambá (*Paspalum atratum*)** sembrado en líneas, la segunda quincena del mes de Septiembre.

Para la siembra de los cultivos se utilizó una sembradora de grano grueso de 4 hileras. La aplicación de herbicidas se realizó con mochila pulverizadora.

Tareas de Campaña:

En febrero se tomaron en cada parcela, dos muestras compuestas de suelo (de dos submuestras cada una) a dos profundidades: 0-7 y de 7-20 cm en cada extremo de las parcelas.

Tareas de laboratorio:

En el laboratorio las muestras de suelo fueron acondicionadas (secadas al aire, molidas y tamizadas) para realizar los siguientes análisis:

- ❖ **Materia orgánica:** Se empleó el método de Walkley y Black modificado (Nelson & Sommers, 1996). Se tomaron 0,30 g de suelo, pasado

previamente por un tamiz de 0,5 mm. Luego se añadieron por medio de una pipeta 2,5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N sobre el suelo, mezclando ambos mediante un movimiento de giro imprimido al matraz. Se añadieron seguidamente 5 ml de H_2SO_4 concentrado continuando el mezclando mediante un giro suave durante 1 minuto para asegurar el contacto íntimo del reactivo con el suelo, evitando que el suelo quede adherido a las paredes del matraz y fuera del contacto con los reactivos. La mezcla se dejó en reposo durante 30 minutos. Seguidamente se lo diluyó con 80 ml de agua destilada y se añadieron 5 ml de H_3PO_4 al 85% y 5 ml de difenilparasulfonato de Ba. La solución se valoró por retroceso con "Sal de Mohr" como agente reductor agregado gota a gota hasta que el color vire a verde brillante.

- ❖ **pH en solución salina y solución acuosa:** se lo determinó potenciométricamente en relación 1:2,5 en KCl 0,1 M y en agua destilada. (Dewis & Freitas, 1970). Para su determinación se pesaron 10 g de suelo en recipientes y se agregaron 25 cm^3 de KCl o agua destilada, según corresponda, se mezcló con varilla de vidrio con reposo de 30 minutos.
- ❖ **Humedad equivalente:** Método de la Centrífuga. (Montenegro González et al., 1990). Se obtuvo sometiéndose a saturación 10 mm de espesor de suelo durante 24 h. Luego se centrifugaron a 2444 rpm durante 30 minutos, secándose a 105º C hasta peso constante, para calcular el porcentaje de humedad.

Tareas de Gabinete:

Los resultados obtenidos se evaluaron para ver si existieron diferencias en las variables de suelo entre tratamientos mediante el análisis de variancia. Las comparaciones de las medias de tratamientos se realizaron por la Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$) para ello se utilizó el software Statistical Analysis System (SAS) . Versión 9.1. (SAS Institute Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica (MO):

Respecto a las evaluaciones de MO del suelo se encontraron en la profundidad de 0-7 cm mayores valores bajo SD con un promedio de 2,17% en comparación a los contenidos bajo la LR (1,94%) y LC (1,92%) con diferencias significativas ($P < 0,001$) con un coeficiente de variación (CV) de 12,72% (Tabla 3) detectando un aumento ante un manejo conservacionista como es la SD. Similares resultados fueron hallados en la campaña 2019-2020 del mismo ensayo y muestrados en las mismas profundidades por Gnoatto et al. (2020).

La SD aumentó la MO respondiendo mejor a la necesidad de mantener y/o mejorar la calidad de los recursos naturales en el proceso productivo agrícola (Acevedo & Silva, 2003), lo cual generó importantes cambios cualitativos y cuantitativos a nivel del suelo, puesto que la cobertura con rastrojos y la no remoción del suelo generaron un hábitat con condiciones de humedad y temperatura totalmente diferente al hallado en LC.

En cuanto a los valores arrojados en las rotaciones de 0-7 cm de profundidad, la MO en la R4 fue la de mayor valor (2,32%), seguidas por el resto de las rotaciones de cultivos R1, R2 y R3 con diferencias significativas ($P < 0,001$). Esto puede explicarse por el importante aporte que realizaron las raíces de pasturas sobre los contenidos orgánicos. El contenido de MO de un suelo es el resultado del balance entre las tasas de humificación y mineralización (Campbell, 1978). Dicho balance depende de la cantidad, calidad, oportunidad y forma de retorno de C al suelo a través de los rastrojos (Robinson et al., 1994), y puede ser manipulado mediante la elección de los cultivos en la rotación (Studdert & Echeverría, 2000; Domínguez et al., 2001; Six et al., 2002), con una mayor frecuencia de cultivos que aporten gran volumen de rastrojos y raíces.

Similar situación fue reportada por Gnoatto et al. (2020) en la campaña anterior del presente ensayo de larga duración, por el comportamiento de la pastura perenne de pasto cambá (R4) con los mayores porcentajes de MO (2,28%).

Para la evaluación de la siguiente profundidad de 7 a 20 cm en los SL no hubo diferencias significativas. En cambio, en las rotaciones los comportamientos de los resultados fueron similares que, en superficie, (Tabla 3) donde la R4 (1,66%) fue superior a las rotaciones R1, R2 y R3 ($P < 0,01$). Con ello, se evidenció que sería importante remarcar la relevancia de intercalar en las campañas agrícolas rotaciones con pasturas para recuperar los contenidos de MO de los suelos.

Los resultados del uso de pasturas entre las rotaciones en este ensayo, fue coincidente con lo hallado por Eiza et al. (2006) quienes plantearon la inclusión de pasturas luego de períodos agrícolas con maíz, soja y trigo, lo cual permitió la recuperación de la MO perdida durante dichos períodos, independientemente del sistema de labranza (SD y LC) utilizado durante los mismos. Studdert & Echeverría (2000) también expresaron que la inclusión en la rotación de cultivos productores de gran cantidad de biomasa aérea puede incrementar el aporte de residuos a devolver al suelo atenuando así la disminución de la MO, evitando una remoción intensiva del suelo y teniendo en cuenta la oportunidad de labranzas realizadas durante las campañas agrícolas.

Tabla 3: Análisis de la varianza de la materia orgánica (MO) e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos agrupadas por profundidad.

Materia orgánica % (MO)		MO (%)	
Factor		0-7 cm	7-20 cm
Labranza convencional (LC)		1,92 b	1,58 ns
Labranza reducida (LR)		1,94 b	1,53 ns
Siembra directa (SD)		2,17 a	1,58 ns
Rotación de 1 cultivo/año (R1)		1,94 b	1,52 b
Rotación de 2 cultivos/año (R2)		1,89 b	1,54 b
Rotación de 3 cultivos/año (R3)		1,89 b	1,54 b
Rotación con pastura perenne (R4)		2,32 a	1,66 a
"F"	Sistemas de Labranza (SL)	9,34 ***	0,79 ns
"F"	Rotaciones	15,69 ***	3,84 **
Coeficiente de variación (Cv)		12,72	10,66
Número de observaciones (n)		96	96

Referencias: Referencias: M: maíz; Av: avena negra; Caupí; D: descanso; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$).

* , ** , *** valores significativos a los niveles de probabilidad del 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente; ns: sin diferencias significativas.

Reacción del suelo: medidas de pH en solución de KCl 0,1 M en relación 1:2,5

También llamado pH en solución salina, es el nombre que recibe el pH de un suelo cuando la solución puesta en contacto con él, es una disolución de sal como es el cloruro de potasio. En este caso el catión K^+ de la solución, actúa desplazando los cationes retenidos por el complejo de cambio, y entre los iones expulsados hacia la solución se encuentran el H^+ (Soriano & Desamparados, 2018). En este ensayo de labranzas y rotaciones, el pH en solución salina (de 0 a 7 cm de profundidad), presentó valores en los SL que fluctuaron de 5,41 para LC a 5,63 en SD con diferencias significativas entre los mismos $P < 0,05$ (ver Tabla 4). Para las rotaciones de cultivos el promedio que mantuvo los mayores valores, o sea con menor acidez del ensayo fue la R4 (5,61) y los menores valores para la R1, con diferencias significativas ($P < 0,05$), las rotaciones R2 y R3 presentaron valores intermedios. Esto podría atribuirse a elevados contenidos de MO que confieren al suelo una alta capacidad de resistir procesos de acidificación. Este efecto obedece a la presencia de los grupos funcionales en la superficie de la MO que permiten el intercambio de H^+ con la solución del suelo como fuera citado por Wong & Swift (2003). Podría suponerse que la remoción de bases (calcio, magnesio, potasio) sin reposición de las mismas, conlleva a una disminución en la saturación del complejo de intercambio y acidificación de suelos (Vázquez, 2005), esta situación no se habría manifestado en el tratamiento con la pastura que

presentó mayor contenido de MO y que habría aportado mayores sitios de intercambio.

Al procesar los datos aplicando un análisis multivariado de Factores usando únicamente los resultados de las muestras de 0-7 cm de profundidad se obtuvo en el Factor 4 el mayor peso de los eigenvectores centrado en la reacción del suelo en solución salina y en agua destilada con valores de 0,89 y 0,88 respectivamente (Caballero et al., 2021b).

En la profundidad de 7- 20 cm el pH también se mantuvo con valores mayores en la SD (5,35) que bajo la LR y la LC con diferencias significativas ($P < 0,01$). Para las rotaciones los valores no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Los CV para ambas profundidades fueron bajos, variando de 7,33 a 7,13 % respectivamente.

Tabla 4. Análisis de la varianza del pH en KCl 0,1 M en relación suelo agua 1:2,5 e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos agrupadas por profundidad.

pH en solución en KCl 0,1 M 1:2,5		pH	
Factor		0-7 cm	7-20 cm
Labranza convencional (LC)		5,41 b	5,14 b
Labranza reducida (LR)		5,31 b	5,08 b
Siembra directa (SD)		5,63 a	5,35 a
Rotación de 1 cultivo/año (R1)		5,27 b	5,04 ns
Rotación de 2 cultivos/año (R2)		5,42 ab	5,23 ns
Rotación de 3 cultivos/año (R3)		5,50 ab	5,31 ns
Rotación con pastura perenne (R4)		5,61 a	5,17 ns
"F"	Sistemas de Labranza (SL)	5,26 **	4,95 **
"F"	Rotaciones	3,12 *	2,20 ns
Coeficiente de variación (CV)		7,33	7,13
Número de observaciones (n)		96	96

Referencias: Referencias: M: maíz; Av: avena negra; Caupí; D: descanso; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$).

*, **, *** valores significativos a los niveles de probabilidades del 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente; ns: sin diferencias significativas.

Reacción del suelo: pH en solución acuosa en relación 1:2,5

Cuando la solución que se pone en contacto con el suelo es agua destilada, está adquiere los cationes H⁺ que no están retenidos por el complejo de cambio, es decir, los que posee o tendría la solución acuosa del suelo (Soriano & Desamparados, 2018). Los valores de pH en agua destilada en relación 1:2,5 se presentan en la Tabla 5, donde en la profundidad de 0-7 cm los valores promedios fueron: para la SD de 6,25, para LR de 6,17 y LC 6,10 sin presentar diferencias significativas entre labranzas. En cuanto a las secuencias de cultivo el valor promedio superior fue para la R4 con 6,45 seguida por los tratamientos R3, R2 y R1 con diferencias significativas según la prueba de Duncan, la cual puede atribuirse al efecto de la MO como fue explicado en la determinación anterior de pH en solución salina.

Respecto a la siguiente profundidad de 7-20 cm para ambos factores, en los sistemas de labranzas y secuencias de cultivos, no hubo diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos. Cabe destacar que para las rotaciones el comportamiento del pH fue similar a la anterior profundidad con 5,85 para R1 como menor valor y máximo para R4 con 6,10 pero con P < 0,06 (superando el límite de significación estadística del 0,05). Los coeficientes de variación fueron de 5,73 de 0-7 cm y de 5,32 para la profundidad de 7-20 cm.

Tabla 5. Análisis de la varianza del pH en relación suelo/agua 1:2,5 e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y rotaciones de cultivos agrupadas por profundidad.

pH en solución acuosa 1:2,5		pH	
Factor		0-7 cm	7-20 cm
Labranza convencional (LC)		6,10 ns	5,87 ns
Labranza reducida (LR)		6,17 ns	6,03 ns
Siembra directa (SD)		6,25 ns	6,04 ns
Rotación de 1 cultivo/año (R1)		5,97 b	5,85 ns
Rotación de 2 cultivos/año (R2)		6,16 b	6,01 ns
Rotación de 3 cultivos/año (R3)		6,12 b	5,95 ns
Rotación con pastura perenne (R4)		6,45 a	6,10 ns
"F"	Sistemas de Labranza (SL)	1,52 ns	2,65 ns
"F"	Rotaciones	7,80 ***	2,56 ns
Coeficiente de variación (Cv)		5,73	5,32
Número de observaciones (n)		96	96

Referencias: Referencias: M: maíz; Av: avena negra; Caupí; D: descanso; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$).

*, **, *** valores significativos a los niveles de probabilidad del 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente; ns: sin diferencias significativas.

Humedad equivalente

La HE refleja, en laboratorio, la máxima capacidad de retención de agua en un suelo. Por convención es, la cantidad de agua que retiene una muestra de suelo cuando se la somete, previamente saturada, a una fuerza igual a 1000 veces la aceleración de la gravedad, equivalente a 0,3 atmósferas o 0,03 MPa (Ratto, 2000). En las evaluaciones de HE de este ensayo que se presentan en la Tabla 6 puede verse que en la primera profundidad (0-7 cm) no hubo diferencias significativas entre los sistemas de labranza, sin embargo en las secuencias de cultivos se hallaron diferencias en la R3, con 3 cultivos por campaña, que fue la de mayor retención de agua (17,5 %) y los menores valores para la R1 y R2 (que se mantuvieron similares con 14,2% y 14,9% respectivamente) con valores intermedios para la R4 con 15,5 % ($P < 0,01$).

Para la segunda profundidad no se apreciaron diferencias significativas en ambos factores estudiados. En la primera profundidad arrojó un CV de 25,25 % y en la segunda profundidad la misma fue de 18,62 %.

Aplicando un análisis multivariado de Factores de los resultados de muestras superficiales de 0-7 cm, se obtuvo en el Factor 5 a la HE con un eigenvector de elevada magnitud (0,9) evidenciando la gran relevancia entre las variables procesadas (Caballero et al., 2021b).

Tabla 6: Análisis de la varianza de la Humedad relativa (HE) e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos.

Humedad equivalente % (HE)		HE (%)	
	Factor	0-7 cm	7-20 cm
	Labranza convencional (LC)	15,5 ns	15,0 ns
	Labranza reducida (LR)	16,0 ns	15,3 ns
	Siembra directa (SD)	15,0 ns	14,4 ns
	Rotación de 1 cultivo/año (R1)	14,1 b	14,5 ns
	Rotación de 2 cultivos/año (R2)	14,9 b	14,3 ns
	Rotación de 3 cultivos/año (R3)	17,5 a	16,0 ns
	Rotación con pastura perenne (R4)	15,5, ab	14,68 ns
“F”	Sistemas de Labranza (SL)	0,43 ns	0,84 ns
“F”	Rotaciones	3,18 *	1,60 ns
	Coeficiente de variación (Cv)	25,25	18,62
	Número de observaciones (n)	96	96

Referencias: Referencias: M: maíz; Av: avena negra; Caupí; D: descanso; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$).

* , **, *** valores significativos a los niveles de probabilidades del 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente; ns: sin diferencias significativas.

CONCLUSIONES:

- ✓ La rotación de cultivos fue la práctica de manejo que más influyó en todas las variables evaluadas presentando diferencias significativas en todos los casos.
- ✓ La rotación empleando una pastura perenne de *Paspalum atratum*, fue la que mejor se comportó para la mayoría de los atributos de suelo estudiados en este ensayo, confirmando así sus beneficios para la recuperación del suelo.
- ✓ Dentro de las prácticas de labranza, la siembra directa, por la falta de remoción del suelo mejoró los contenidos de materia orgánica en superficie, respecto al resto de los sistemas evaluados.
- ✓ Los valores más altos del pH, se registraron bajo siembra directa en ambas profundidades, y bajo la rotación que incluye una pastura, en superficie.
- ✓ La rotación de maíz, con un solo cultivo por año, presentó los valores más bajos de pH (en solución salina) con una tendencia a una acidificación del suelo de 0-7 cm de profundidad.

BIBLIOGRAFÍA:

- Abril, A., P. Salas, E. Lovera, S. Kopp & N. Casado-Murillo. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de la Argentina Ciencia del Suelo 23 179-188pp.
- Abril, A. 2002. La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable. Pp. 129-150 En: SJ Sarandón (ed.). Agroecología. El Camino hacia una Agricultura Sustentable. Ediciones Científicas Americanas. La Plata. Argentina. 557pp.
- Acevedo, E. & P. Silva. 2003. Agronomía de la labranza cero. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias agronómicas Nº 10.132pp.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas. Soil Till. Res. 104: 1-15pp.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. Sil Till. Res. 96: 155-165pp.
- Campbell, C.A. 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In: Schnitzer. M. & S.U Khan (ed.). Soil organic matter. Developments in Soil Science 8. Elsevier Scientific, Amsterdam, Netherlands. pp. 173-271
- Caballero, P.G., L.O.Gnoatto, G.A. Dellamea, N.I. Stahringer, J.M. Garay, A. Brandolin, F.A. Paredes, M. Slukwa, H.C. Dalurzo,. 2021a. Variaciones del suelo ante diferentes prácticas de manejo en un Argiudol ácuico de Corrientes. Actas de la Jornada Nacional de Conservacion de Suelos 2021. Comision de Degradacion Fisica. Pp. 30-31.
- Caballero, P.G., H.C. Dalurzo, N.I. Stahringer, 2021b. Contenidos orgánicos del suelo y estabilidad de agregados bajo diferentes sistemas de labranzas y rotaciones en un Argiudol de Corrientes. XXVI Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste 2021. CS. AGROPECUARIAS. <http://sistema.cyt.unne.edu.ar/sap/1.0/aplicacion.php?ah=st61f07e9ad57962.34807585&ai=sap%7C%7C3528&ts=imprimir&tcm=popup&id=2167&evt=imprimir&fila=28>
- Cabria, F.N. & J.P. Culot. 2001. Efecto de la agricultura continua bajo labranza convencional sobre características físicas y químicas en Udoles de sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 19: 1-10pp.
- Crespo, L., L.I. Picone, Y.E. Andreoli & F.O. García. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo 19: 30-38pp.
- Dalurzo, H. C., F.A. Paredes, C. Fernández López, T.S. Rey Montoya. 2016. Calidad de suelos bajo diferentes sistemas de labranzas y rotaciones. Argentina. Río Cuarto. Libro. Resumen. Congreso. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Rio Cuarto.
- Dalurzo, H. C., F.A. Paredes, T.S. Rey Montoya, C. Fernández López, & R. Kersting. 2021. Indicadores de calidad de suelos ante diferentes sistemas de laboreo y rotaciones. Llibre Homenatge a Jaume Porta. Medi Ambient i Ciències del Sòl. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl Universitat de Lleida. España. 299pp.
- Dewis, J., F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y Aguas. Boletín sobre suelos Nº10. Roma. 252 pp.
- Díaz-Zorita, M., M. Barraco, & C. Alvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Haplustol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. Ciencia del Suelo 22: 11-18pp.

- Domínguez, G.F.; G.A Studdert,; H.E Echeverría & F.H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada de maíz. Ciencia del Suelo 19: 47-56pp.
- Domínguez, G.F.; N.V. Diovisalvi; G.A Studdert & M.G Monterubbiano. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on Mollisols of the southeastern Pampas. Soil Till. Res. 102:93–100pp.
- Eiza, M.J., N. Fioriti, G.A. Studdert & H.E Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. Ciencia del Suelo 23 59-67pp.
- Eiza, M.J., G.A. Studdert., G F Domínguez. 2006 Dinámica De La Materia Orgánica Del Suelo Bajo Rotaciones Mixtas: I. Materia Orgánica Total. EEA INTA Balcarce XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 19-22 de septiembre de 2006. 7pp
- Elisondo, E., J.L Costa, E. Suero, K.P. Fabrizzi, & F. García. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 19 : 11-19pp.
- Escobar, E.H., H.D Ligier; R Melgar; H Matteio & O Vallejos. 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. EEA INTA Corrientes, Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. Corrientes, Argentina. 218 pp.
- Fabrizzi, K.P., Morón A. & F.O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. Soil Sci Soc Amer J 67: 1831-1841pp.
- Ferraro, D.O., C.M. Ghersa, & G.A. Sznaider. 2003. Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. Agriculture, Ecosystems & Environment, 96: 1-18pp.
- García F.O. 2003. Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad. Presentación realizada en el III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 9 p. Comisión de Manejo de Suelos.
- Gnoatto Grigolatto, L. O.; G. Dellamea; P.G. Caballero; M. Sanchez Petris; M. Trachta; J. Behr; F.A. Paredes; N. Stahringer; H. Dalurzo. 2020. "Variables de suelo ante diferentes prácticas de manejo en un Argiudol de Corrientes". XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo; "Suelo: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables". 1243-1248 pp. Comisión 4. Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. Riego y Drenaje.
- Kladivko, E.J. 2001. Tillage systems and soil ecology. Soil Till. Res. 61: 61-76pp.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. Soil Till. Res 20: 133-146pp.
- Lattanzi, A. 1998. La siembra directa y la agricultura sustentable En: JL. Panigatti (ed). Siembra Directa. Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación – INTA: 29-34pp.
- Manso, L. & H. Forján. 2012. Materia organica en distintas rotaciones luego de 12 años bajo siembra directa. Trabajo presentado en el XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, abril 2012. Chacra Experimental Integrada Barrow.(Bs.As.) – INTA Manejo de cultivos 66-69pp
- Mc Vay KA, JA Budde, K Fabrizzi, MM Mikha, CW Rice, AJ Schlegel, DE Peterson, DW Sweeney & C Thompson. 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 434-438pp.
- Montenegro Gonzalez, H., Malagón Castro D. & L. Guerrero. 1990. Propiedades Físicas de los suelos. Subdirección Agrológica. I.G.A.C. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Bogotá. Colombia. 813pp
- Nelson, D.W. & L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter p. 961-1010. In J.M. Bingham (Ed.). Methods of soil analysis Part 3. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI. 1389 pp

- Paredes, FA. 2013. Sistemas de labranzas y secuencia de cultivos sobre propiedades físicas de suelos de Corrientes. Tesis de Magister Scientiae. Escuela Para Graduados. Universidad de Buenos Aires. 171 pp.
- Paredes, FA; MG Tellería & HC Dalurzo. 2014. Carbono orgánico y sustancias húmicas de un Argiudol Hipertérmico bajo diferentes manejos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. AAC. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Reunión Nacional de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. Del 5 al 9 de mayo 2014. "Producción sustentable en ambientes frágiles". Bahía Blanca, Buenos Aires. AR. 513-517 pp.
- Ramírez Pisco, R; MA Taboada & R Gil. 2006. Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un Argiudol Típico de la pampa ondulada Argentina. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Vol. 59., pp. 3237-3256.
- Ratto, S. Agua del Suelo. 2000. En principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos. Coordinación M. Conti. Editorial Facultad de Agronomía. 2da Edición. 233-268 pp.
- Rey Montoya, T. S.; F. A .Paredes; H. C. Dalurzo; C. Fernández López; R. M. Kersting. 2017. Propiedades físicas de un Argiudol Ácuico bajo diferentes sistemas de manejo. Ciencia del Suelo. 35 171-180 pp.
- Robinson, C.A.; R.M Cruse & K.A Kohler. 1994. Soil management. In: Hatfield, J.L. & D.L Karlen. (eds.) Sustainable agriculture systems. Lewis Publ., Boca Raton, Florida, USA.109-134 pp
- Roldán, MF; G.A. Studdert; C. Videla; S. San Martino, & L. Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. Ciencia del suelo, Vol. 32. 247-257pp.
- Sanzano, G.A.; R.D. Corbella; J.R. García; G.S. Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol Típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. Ciencia del Suelo 23 93-100pp.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® Versión (9.1) (TS1M3). Copyright (c) 2002-2003 by SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. Proprietary Software Version (9.1).
- Schmidt, E.S. & N.M. Amiotti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur Ciencia del Suelo 33: 79-88pp.
- Shukla, M. K., R. Lal, & M. Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research 87: 194-204pp.
- Six, J.; R.T Conant; E.A Paul, & K. Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for Csaturation of soils. Plant Soil 241:155-176pp.
- Soriano, S. & M. Desamparados. 2018. Efectos de la materia orgánica sobre el suelo. pH de Suelo. Universitat Politècnica de València, Articulo a portado para el Departamento de Produccion vegetal. 10pp
- Studdert, G.A. & H.E. Echeverría. 2002. Soja, girasol y maíz en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. Pp. 407-437. En: F.H. Andrade & V. Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). Advanta Semillas SAIC. 657 pp
- Studdert, G.A. & H.E Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:1496-1503pp.
- Vázquez, M.E. 2005. Calcio y Magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos (ed HE Echeverría y FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 161-188 pp.

Wong, M.T.F & R.S Swift. 2003. Role of Organic Matter in Alleviating of Soil Acidity. In: Rengel, Z. (Ed.). Handbook of Soil Activity. Marcel Dekker. New York. USA.. 337-358 pp.