



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Trabajo Final de Graduación

Modalidad Tesina

Título: “Estabilidad de agregados como indicador de calidad física en suelos del Chaco semiárido bajo distintos usos.”

Alumno: Urinovsky Irigoyen, Kevin Matías

Directora: Ing. Agr. (Dra) Diana Marcela Toledo

Lugar de trabajo: Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

Año: 2019



Resumen: El estudio de la estabilidad de los agregados (EA) es importante para entender el efecto de los factores externos sobre el suelo, en particular los de origen antrópico y para prever las modificaciones de su funcionamiento y el efecto resultante sobre la calidad física del suelo. La USDA considera que la EA está influenciada por el contenido de materia orgánica, de la actividad biológica y del ciclado de nutrientes en el suelo, como así también que los agregados mayores ($> 2\text{-}5\text{ mm}$) son más sensibles a los efectos del manejo sobre la MO y al uso del suelo, siendo un mejor indicador. El porcentaje de agregados estables al agua indica la cantidad que resiste a la perturbación por agua, donde mayores cantidades de agregados estables indican una estructura más estable, influye entonces en la relación aire-agua, y en otras propiedades físicas contribuyendo a una mejor calidad física del suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la estabilidad de agregados como indicador de calidad física en Molisoles del Chaco semiárido bajo sistemas natural, agrícola y silvopastoril. Para este trabajo se utilizaron muestras de suelos correspondientes al orden Molisol, del departamento Almirante Brown (Provincia del Chaco, Argentina). Se aplicó un diseño de muestreo completamente al azar, se seleccionaron tres tratamientos: **bosque nativo** (Mon), al cual se lo consideró como referencia de alta calidad de suelo, sistema agrícola **bajo labranza cero** con rotaciones frecuentes en la zona: soja-maíz, soja-algodón (SD) y **sistema silvo-pastoril**, compuesto por lotes con vegetación de monte nativo y pasturas del tipo gramíneas sembradas (*Gattonpania*) (Sil). Se seleccionaron 9 lotes por tratamiento y se tomaron muestras de suelo a dos profundidades: 0-0,05 m y 0,05-0,10 m. Las variables analizadas fueron densidad aparente (Da), estabilidad de agregados (EA), humedad equivalente (HE), conductividad eléctrica (CE), textura y pH. Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA y una Prueba de LSD ($P < 0,05$) para la comparación de medias entre tratamientos. Los suelos resultaron neutros, de textura franco-arcillo-arenoso. El uso agrícola con labranza cero produjo una densificación del suelo en las profundidades estudiadas, el tratamiento Sil también produjo una densificación en la primera profundidad ($P < 0,004$), en la segunda profundidad la Da fue mayor en la SD, luego en el Sil respecto a suelo con alta calidad física (Mon) ($P < 0,0001$). La EA en el suelo de SD fue la más afectada con una disminución del 24% para los primeros 0,05 m, y un 33% para la siguiente profundidad de 0,05-0,10 m respecto al Mon, para el tratamiento Sil no se encontró diferencia significativa respecto al monte, pero comparando con la SD sí hubo diferencias significativas en ambas profundidades ($P < 0,0004$; $P < 0,0001$). La capacidad del suelo para retener agua se vio afectada por el uso del mismo, en ambas profundidades el Montuvo los valores más altos para la retención de agua ($P < 0,0063$; $P < 0,0127$). El uso del suelo bajo SD provocó cambios desfavorables en las propiedades físicas como aumento de la densidad aparente, y disminución de la EA, manifestando degradación física por el uso del suelo. Esto revela la necesidad de adoptar manejos alternativos de suelo para evitar la pérdida de calidad edáfica y la capacidad productiva a largo plazo.

Introducción:

La calidad del suelo (CS) es un concepto específico que se desarrolló rápidamente durante la década de los 90 y que ha evolucionado como resultado de los enfoques holísticos crecientes en manejo de suelo y sistemas de uso sustentables (Mairura *et al*, 2007). La CS un concepto multidimensional (Villamil *et al*, 2008), para el cual se deben considerar juntos varios parámetros



para lograr una mejor comprensión de la dinámica del sistema. Al ser el suelo un recurso multifuncional, la evaluación de su calidad debe encararse considerando las características del ecosistema y el propósito primario para el cual la evaluación se realiza (Imazet *et al.*, 2010). La evaluación de la calidad del suelo es todavía un campo promisorio pero en desarrollo dentro de la ciencia agrícola y mejorar la calidad de la evaluación es fundamental para el desarrollo de la agricultura sustentable y la sustentabilidad de los sistemas de uso de la tierra y manejo del suelo (Qiet *et al.*, 2009).

Para Constanza y Patton (1995), un sistema sustentable es “aquel que sobrevive o persiste”, siempre y cuando definamos de qué sistema hablamos, qué escala consideramos y cómo evaluamos si el sistema ha persistido en el tiempo. Si queremos que sobrevivan o persistan los ecosistemas ambientales y por lo tanto el sistema principal, la biósfera, a nadie debería resultar indiferente la sustentabilidad como condición que asegure la estabilidad del equilibrio dinámico de los componentes del mundo biofísico y la sociedad humana (Giampietro *et al.*, 1992).

Los productores agrícolas actualmente han incrementado la necesidad de responder a las demandas de los consumidores, teniendo muchas veces que adquirir prácticas agrícolas sustentables (StachettiRodrigues *et al.*, 2010). Una característica de la sustentabilidad de un agroecosistema es su capacidad para mantener un rendimiento que no decline a lo largo del tiempo, dentro de una amplia gama de condiciones (Altieri, 1999).

La calidad del suelo es un término actual y necesario, que se debe considerar en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas, los indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema (García *et al.*, 2012).

El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran & Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997) (Fig. 1)

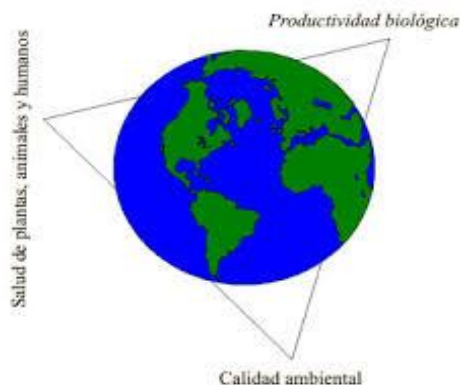


Figura 1. Principales componentes de la calidad de suelo (Doran & Parkin, 1994).

Un indicador es una variable seleccionada y cuantificada que nos permite ver una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable, y que más allá de simplificar la realidad nos permite ganar en claridad (Sarandón, 2002). Los indicadores pueden ser también variables que nos suministran información sobre otras variables a las cuales es difícil acceder y que pueden usarse como punto de partida para tomar una decisión (Gras *et al.*, 1989 en Hayo van der Werf, 2002). Cantú *et al.* (2007) definen un indicador como una variable que resume o simplifica información relevante



haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible esta información relevante. El indicador tiene las funciones de evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras.

Un indicador sensible de suelo deberá mostrar un cambio estadísticamente significativo en magnitud y /o dirección, según el objetivo que persigamos (Villamil *et al.*, 2008). Gudelf&Maseiro, (2000), informaron que al incorporar las tierras a la agricultura, el desarrollo normal de la estructura del suelo se encuentra disturbado, la estabilidad estructural disminuye, asimismo el efecto de labranzas, el tránsito de maquinarias regulan la condición estructural del suelo, y aumentan la densificación en sistemas de cultivo bajo labranza cero (Martino, 2017). La formación de agregados y su estabilidad están estrechamente asociadas al contenido de materia orgánica del suelo (MO). Este indicador de calidad universal tiene gran influencia sobre la estructura del suelo, contribuyendo a la formación de agregados más estables, produciendo una reducción de la densidad aparente, mejorando la conductividad hidráulica, la infiltración y la retención de agua. (Moncada *et al.*, 2009).

Los agregados del suelo protegen físicamente a la fracción orgánica, influyendo así sobre la estructura de la biota, la dinámica del carbono y el ciclo de los nutrientes. Asimismo, regulan la aireación y el flujo (infiltración, escurrimiento, percolación) y la retención de agua, e inciden sobre la susceptibilidad a la erosión y la dispersión de químicos de origen antropogénico. El estado de agregación, caracterizado a través de los cambios en la distribución de tamaños de agregados y de su estabilidad, es altamente sensible al uso que se haga del suelo y es determinante de su salud (Six *et al.*, 2004; Bronick&Lal, 2005).

Según estudios realizados en la provincia del Chaco por Gutiérrez *et al.* (2002), en suelos bajo cultivo agrícola, la estabilidad de agregados y los contenidos de materia orgánica mejoran al incorporar el sistema de labranza cero, tanto en los espesores superficiales como en los sub-superficiales.

En los sistemas de bosque nativo de la Ecorregión del Chaco Seco es escasa la información acerca de la calidad de los suelos, la cantidad y dinámica de la MO relacionada a la estructura del suelo, distribución del carbono en el perfil de suelo y los cambios que se producen por efecto del uso antrópico, particularmente la sustitución de estos bosques por sistemas de uso agropecuario (agrícola, silvopastoriles con pasturas implantadas) (Rojas, 2012).

Objetivo General:

- Evaluar la estabilidad de agregados como indicador de calidad física en Molisoles del Chaco semiárido bajo sistemas natural, agrícola y silvopastoril.

Objetivos Específicos:

- Determinar la estabilidad de agregados en suelos del Chaco semiárido, bajo sistemas: monte nativo, silvo-pastoril y agrícola conservacionista.
- Evaluar su sensibilidad para determinar cambios producidos por el uso de las tierras.

Antecedentes

La ampliación de la frontera agropecuaria es un proceso que se viene desarrollando en la Argentina a expensas del territorio cubierto por vegetación natural como pastizales y montes nativos, a lo largo de los años se ha señalado a la expansión agrícola como factor común en casi todos los estudios sobre la deforestación (Rosso, 2014).



En Argentina hubo una gran expansión del área agrícola a causa de los cultivos anuales, principalmente por causa de la soja. La “agriculturización” es un caso particular (y frecuente) de cambio en el uso de la tierra, donde la alteración de la cobertura vegetal se produce por los cambios en el uso, una de las principales dimensiones del fenómeno conocido como Cambio Global. Viggilizzo *et al.*, (2010), Estudiaron la dinámica de la frontera agropecuaria y el cambio tecnológico en la Argentina durante el período 1956- 2005 y estimaron un incremento de más del 60% del área asignada a cultivos anuales, siendo los cambios porcentuales más significativos mayores en el Chaco Subhúmedo Occidental, donde las tasas de expansión de cultivos y deforestación fueron las más altas del país en las décadas del 90 y 2000. Según estos autores la expansión territorial de los cultivos de secano en Argentina ocurrió a expensas de las tierras de bosques (-18.4%) y pastizales y pasturas (-6.8%).

En el norte de Argentina, la expansión agrícola se ha dado fundamentalmente en Salta, Chaco y Santiago del Estero, con un 4% de aumento en el área agrícola entre 1988 y 2002 (Paruelo *et al.*, 2006). En este período, la expansión agrícola en la región Chaqueña ocurrió por reemplazo de montes nativos, siendo en Chaco la superficie deforestada de 117 000 has, que se concentraron en el sudoeste de la provincia (Volante *et al.*, 2005). Boletta *et al.* (2006) determinaron en Santiago del Estero que en el período de 1992 a 1999 se deforestaron más de 273 000 ha a una tasa anual del 5%, fundamentalmente por un incremento del área agrícola a expensas de tierras de monte nativo.

Actualmente, alrededor del mundo, hay cerca de 63 millones de ha de tierra bajo sistema de labranza conservacionista, cero o siembra directa (SD), la mayoría ubicadas en USA y Brasil (Nyamangara *et al.*, 2013). En la Argentina la mitad de la superficie de cultivo se encuentra bajo este sistema (Pascale Medina *et al.*, 2014). Argentina es pionera en siembra directa desde el año 1977, en la actualidad cuenta con una superficie de 33.189.747 de has sembrada bajo sistema de SD campaña 2016-2017. (Nocelli, 2016).

De hecho, gran parte del aumento de la producción de alimentos se ha llevado a costa de centenares de millones de hectáreas de bosque, no hay estimaciones sólidas sobre la superficie de tierras agrícolas y de pastoreo que originalmente estaban cubiertas de bosques, pero lo cierto es que una gran proporción de éstos fue talada para dar lugar a actividades agrícola-ganaderas (Rosso, 2014). Si bien este proceso de desmonte se manifiesta en gran parte en el centro y norte del país, es el Bosque Chaqueño en donde actualmente se ubica la mayor parte de esas áreas con desmonte activo, principalmente en las provincias de Salta, Tucumán, Chaco, Santiago del Estero y Córdoba (Montenegro *et al.*, 2004). Esto afecta a la función de “filtro” que el monte ejerce positivamente, a la conservación del suelo y a la vegetación herbácea (Rojas, 2012).

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, ha adoptado como definición de calidad de suelo (CS), a “la capacidad del suelo para funcionar dentro de ciertos límites naturales y antrópicos del ecosistema, sustentar la productividad vegetal y animal, mantener la calidad del agua y del aire, promover la salud de plantas, de animales y del hombre, y soportar su habitabilidad” (Doran & Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997). Como concepto integrado la CS no puede ser medida directamente, pero si cuantificada a través de un grupo de propiedades, atributos o parámetros, llamados indicadores, por su sensibilidad y facilidad de medición, permiten comparar distintos manejos (Brejda *et al.*, 2000), y la determinación de cómo esos cambios en el uso del suelo, y las prácticas agronómicas impactan en los atributos de calidad de suelo (Rojas, 2012).

El uso del suelo y las prácticas de manejo inapropiadas conllevan a una pérdida de calidad del suelo, a una degradación que puede ser física, química y/o biológica, (Porta *et al.* 1999)

Autores como Dalurzo, (2002), Rojas, (2012), Toledo, (2014), señalan como indicadores de calidad para suelos del nordeste argentino, a los atributos físicos: densidad aparente, humedad equivalente, estabilidad de agregados, densidad de partículas, resistencia a la penetración, infiltración, porosidad total, porosidad capilar, espacio aéreo, fracción erosionable, estabilidad estructural en seco.

La estructura del suelo es el resultado dinámico de muchos factores y procesos abióticos y bióticos, en ambiente naturales los principales factores formadores de la estructura son la textura, la materia



orgánica, los organismos del suelo, la profundidad de la napa de agua y las condiciones climáticas (Kooistra&Tovey., 1991), junto a las fuerzas involucradas en su formación (durante el humedecimiento y secado) que se incrementan con el contenido de arcilla (Dexter, 1988).

La materia orgánica del suelo (MOS), constituida por residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, así como la biomasa microbiana, está estrechamente relacionada con las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo (Christensen., 1996).

En la mayoría de los suelos la MOS es el principal agente estimulando la formación y estabilización de agregados, que se diferencian según su tamaño en macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) y microagregados ($\leq 250 \mu\text{m}$). La incorporación de la materia orgánica a los agregados del suelo la protege de la descomposición rápida, determinando su estabilidad en el suelo (Golchin *et al.*, 1994), por el contrario, el cultivo y la actividad de los microorganismos entre otros favorecen a la descomposición de la materia orgánica debido a una mejor aireación, que estimula la actividad de los microorganismos del suelo y estos procesos provocan que los nutrientes contenidos en los residuos sean transformados de una forma orgánica a una forma inorgánica, lo cual permite su liberación y disponibilidad para las plantas.

Las prácticas de manejo, tales como la labranza, la rotación de cultivos, la aplicación de fertilizantes, y el manejo de los residuos, también influyen en las transformaciones de la MOS (Gregorich *et al.*, 1994; Ladd *et al.*, 1994; Haynes, 2000), determinan la cantidad y calidad de los residuos que entran al suelo, su distribución en la superficie, y el destino de estos aportes, ya sea sobre o bajo el suelo (Christensen, 1996). El contenido de materia orgánica total en suelos agrícolas cambia lentamente a través del tiempo; así, el ciclaje de todos sus componentes puede tardar desde décadas a siglos (Biederbeck *et al.*, 1994), producto del clima, del uso y manejo del suelo.

Se entiende por agregado a un grupo o conjunto de partículas donde las fuerzas de unión entre sí superan a las existentes entre éste y otros grupos adyacentes y por estructura, al arreglo u ordenamiento espacial de los agregados y poros en el suelo (Oades, 1984).

El suelo se agrega esencialmente por dos procesos: físico-químico y biológico. En el físico-químico están involucrados la atracción entre partículas arcillosas y cationes de la solución del suelo (Ca^{2+} , Fe^{2+}) o coloides orgánicos (humus) y por expansión-contracción de los materiales arcillosos. Los agregados que se forman bajo esos procesos son poco estables en agua. En el caso del proceso biológico es importante la actividad de los organismos, por ejemplo: excrementos de mesofauna, atrape de partículas por parte de las raíces y pegamentos producidos por hongos y bacterias; los agregados que se forman son en general estables en agua (González-Chávez *et al.*, 2004).

En suelos donde las partículas están agregadas, el diseño y la perdurabilidad del espacio poroso dependen en gran medida de la forma, tamaño, distribución y EA (Cabria *et al.*, 2002), consecuentemente en estos suelos el movimiento y la disponibilidad del agua y el aire pueden estar influenciados por el estado de agregación.

Angers &Mehuys, (1988) señalaron que los cultivos ejercen un gran efecto sobre los agregados estables en agua correspondientes a la fracción de 2–6 mm. (Cabria *et al.*, 2002), y que la agricultura continua con labranza convencional, en Argiudoles típicos, disminuye el nivel de agregación y la resistencia al colapso por humedecimiento.

La disminución de la estabilidad de agregados de los suelos en relación a los de monte se da en todos los sistemas de producción de cultivos, no obstante, al incorporar la labranza cero mejoras las condiciones de estabilidad (Venialgo *et al.*, 2004),

Gudelf&Maseiro (2000) con el objetivo de conocer el efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencia de cultivos sobre la estabilidad estructural del suelo determinaron que en relación al suelo virgen todos los sistemas de manejo afectaron negativamente la estabilidad estructural evidenciándose un deterioro de esta propiedad como consecuencia del laboreo intensivo de suelo del orden Vertisoles.



Por otra parte, en suelos del Chaco, (Venialgo et al., 2004), encontraron que la densidad aparente aumenta al pasar de situaciones de suelo en estado natural a sistemas productivos y los valores más altos se dan al realizar labranza cero.

La agricultura, la ganadería y la explotación forestal en la Provincia del Chaco, han modificado profundamente la composición de las comunidades vegetales, sea destruyendo el estrato herbáceo y facilitando la invasión por especies arbustivas, sea eliminando las especies forestales más valiosas, o bien talando o quemando totalmente el bosque para crear campos destinados a la agricultura (Rojas, 2012).

Los bosques de la región chaqueña han sufrido y sufren un constante deterioro debido a la ausencia de planes de manejo generados con base en información local, lo que lleva a trasladar esquemas de regiones templadas (en general no debidamente verificados) cuyo resultado final comúnmente es la tala indiscriminada de los bosques y su pérdida como recurso productivo (Hamilton et al., 1993).

En suelos bajo cultivo agrícola, la estabilidad de agregados y los contenidos de materia orgánica mejoran al incorporar el sistema de labranza cero, en los espesores superficiales y sub-superficiales, en suelos del Chaco pertenecientes a la serie Capdevila (Gutiérrez et al., 2002).

La Ecorregión del Chaco Seco comprendida entre las isohietas de 800 y 1000 mm, presenta suelos con las siguientes características generales: texturas predominantemente limosas, buen drenaje, poco desarrollo y pobres en materia orgánica; siendo posible también encontrar sales y yeso (Morello et al., 2009).

El paisaje refleja una extensa superficie boscosa; el modelo fisonómico predominante es forestal, con características de vegetación de tipo semiárido, excepto en los cauces fósiles (también llamados paleocauces, ríos muertos o “caños”) que se encuentran en parte colmatados de sedimentos arenosos y cubiertos de pastizales, sabanas y arbustales. Predomina el tipo de bosque xerofítico de las llanuras aluviales antiguas, son bosques bajos con dosel denso de 5-7 m y emergentes dispersos que alcanzan los 15-20 m de altura. Las especies diagnósticas son *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco), *Schinopsis quebracho colorado* (quebracho colorado), *Rupretchia triflora* (duraznillo), *Ceiba insignis* (palo borracho blanco), *Capparis speciosa* (sacha limón), *C. salicifolia* (sacha membrillo), *Ziziphus mistol* (mistol), *Prosopis kuntzei* (itín), *Prosopis alba* (algarrobo blanco), *P. nigra* (algarrobo negro), entre otras. En pastizales y sabanas abiertas se encuentran principalmente *Schinopsis heterophylla* (quebracho colorado mestizo), *Jacaranda cuspidifolia* (jacarandá), *Maclurata tinctoria subsp. mora* (mora), *Celtis guianensis* (tala trepadora), *Phyllostylon rhamnoides* (palo lanza), *Acacia aroma* (aromito), *Elionurus muticus* (aibe) (Morello et al., 2009, citado por Rojas, 2012).

Materiales y métodos:

El estudio se llevó a cabo en la Ecorregión del Chaco Seco, Subregión del Chaco Semiárido. La llanura de este complejo es una planicie relativamente uniforme, formada por la acumulación irregular y discontinua de sedimentos loessicos sobre materiales aluviales finos (Morello et al., 2009). Existen cursos abandonados o inactivos (ríos muertos) cubiertos por pastizales, pero la red de drenaje está bien organizada.

El clima de la zona es subtropical continental. La T° media anual es de $21,5^{\circ}$ C y las temperaturas máximas se encuentran entre las más altas del país. Las precipitaciones oscilan entre los 750 y 900 mm anuales (con mínimas anuales registradas de 350 mm y máximas de 1100 mm). Del 80 al 100% de los años se registran heladas, con un período más probable de ocurrencia desde el 21/06 al 21/08. La evapotranspiración potencial anual oscila entre 1150 mm (oeste) y 1100 mm (este). La región se caracteriza por una marcada estacionalidad en las lluvias, que se concentran en el verano. Esto está dado fundamentalmente por un efecto de continentalidad, que es la ocurrencia de gran amplitud térmica a causa de la distancia al mar. (Rojas, 2012).



Se trabajó con suelos pertenecientes al orden de los Molisoles. Se empleó un diseño de muestreo completamente al azar, con 3 tratamientos:

1. Sistema natural constituido por lotes de Bosque nativo, sin disturbio antrópico (Mon).
2. Sistema silvo-pastoril, compuesto por lotes con vegetación de monte nativo y pasturas del tipo gramíneas sembradas (*Panicum máximum* cv *Gatton*) (Sil).
3. Sistema agrícola conformado por lotes bajo agricultura conservacionista, cultivos de soja bajo siembra directa con rotaciones diversas como maíz y algodón (SD).

El sistema Mon, con vegetación clímax (bosque nativo) fue usado como referencia de alta calidad de suelo.

Se seleccionaron 9 lotes por tratamiento y se tomaron muestras de suelo a dos profundidades: 0-0,05 m y 0,05-0,10 m

En el total del suelo se determinaron:

pH: Método con Potenciómetro; relación 1:2,5 en agua (Dewis & Freitas, 1970).

Textura: por el método hidrométrico de Bouyoucos (Dewis & Freitas, 1970). Se pesaron 50 g de suelo seco al aire, se efectuó la destrucción de la materia orgánica mediante el agregado de H₂O₂ (peróxido de hidrógeno) de 100 volúmenes, y aplicando calor (85° C) en baño maría. Luego se realizó una dispersión, química con NaOH 1 N y mecánica con dispersor (15 minutos). Se transvasó a una probeta y con el densímetro ó hidrómetro de Bouyoucos, previamente calibrado, se tomaron las lecturas a los 40 segundos (limo+arcilla) y a los 120 minutos (arcilla), efectuando el cálculo de los porcentajes de arena, limo y arcilla con las correcciones de las lecturas por temperatura correspondientes.

Densidad aparente (Da): a partir de la extracción de muestras inalteradas por el método del cilindro (Forsythe, 1975). En cada lote bajo estudio, se extrajeron muestras simples de 0 a 0,05m y de 0,05 a 0,10 m, manteniendo intacta la estructura del suelo utilizando cilindros de Kopecki. Las muestras se llevaron a estufa 105°C hasta peso constante, se dejaron enfriar dentro de un desecador y se pesaron obteniendo el peso seco. Para su cálculo, se aplicó la ecuación

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco a estufa } 105^{\circ}\text{C (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

Humedad equivalente (He): Por el método de la Centrífuga (Montenegro González et al., 1990). El método consiste en la determinación de la cantidad de agua que una muestra de suelo (tierra fina) puede retener, en condiciones cercanas a la capacidad de campo. El principio consiste en drenar una muestra de suelo, previamente saturada con agua destilada, aplicando una fuerza de succión conocida (1000 veces la fuerza de gravedad), para luego realizar la determinación gravimétrica del contenido de agua.

Estabilidad de agregados (EA): por el método de (Kemper & Rosenau, 1986) cit. en Klute, 1986. Se pesaron por duplicado 4g de las distintas muestras tamizadas por mallas N°6 (3,35mm) y N°10 (2mm), para las 2 profundidades y se llevaron a tamizado en húmedo por un tiempo de 30 minutos a razón de 35 ciclos/min y con tamiz de 0,5 mm de abertura. Los agregados que quedaron retenidos fueron recolectados y llevados a estufa a 105°C para luego determinar su masa, valor correspondiente a los agregados estables. Posteriormente se agregó NaOH 0,05N y se procedió a la desintegración de los agregados con una varilla de vidrio y se filtró en las mallas utilizadas anteriormente, recolectando así la fracción correspondiente al tamaño arena y partículas groseras mayores a 0,5 mm de diámetro (raíces, otras partículas extrañas) para ser restadas a la masa obtenida en el tamizado en húmedo ya que éstas partículas no forman parte del agregado.



Finalmente, mediante cálculos y corrección por el factor de humedad de suelo, se obtuvo el porcentaje de agregados estables en cada una de las muestras analizadas.

Conductividad eléctrica (CE): Se utilizó el método de (Dewis & Freitas., 1970). Realizando en primer lugar el extracto de saturación del suelo, luego se determinó la constante de las celdas con CLK (0,01N), cuya conductividad eléctrica se conoce y por último se hicieron las lecturas por medio de un conductímetro a cada uno del extracto de suelo, también se debe tener en cuenta la temperatura a la que se encuentra en cada medición.

Análisis Estadístico:

Con los datos obtenidos para los distintos parámetros determinados se aplicó análisis de la variancia (ANOVA) y se efectuaron comparaciones de las medias entre tratamientos mediante prueba de LSD ($P < 0,05$). Para el procesamiento de datos se utilizó el software estadístico Infostat Profesional (Di Rienzo, 2017).

Resultados y discusión:

En la Tabla 1 se puede observar los resultados obtenidos para las distintas variables estudiadas en suelos bajo **Siembra directa** (SD), **Monte nativo** (Mon) y **Silvo-pastoril** (Sil).

Tabla 1: Resultados de estabilidad de agregados (EA), densidad aparente (Da), humedad equivalente (He), conductividad eléctrica (Ce), pH y textura para los diferentes tratamientos siembra directa (SD), monte natural (Mon) y silvopastoril (Sil), para las profundidades **a** (0-0,05m) y **b** (0,05-0,10m).

Variables	Prof.	SD	Mon	Sil	p-valor
Estabilidad de agregados (%)	0- 0,05	63,05 A	86,61 B	85,05 B	0,0004
	0,05-0,10	51,20 A	84,67 B	80,08 B	0,0001
Densidad aparente (g/cm ³)	0- 0,05	1,24 B	1,03 A	1,16 B	0,004
	0,05-0,10	1,33 C	1,05 A	1,25 B	0,0001
Humedad Equivalente (%)	0- 0,05	21,10 A	24,68 B	19,69 A	0,0063
	0,05-0,10	20,71 A-B	22,80 B	18,29 A	0,0127
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0- 0,05	0,39 A	0,66 A-B	0,76 B	0,0888
	0,05-0,10	0,32 A	0,58 B	0,54 B	0,0238
pH	0- 0,05	7,01 A	7,10 A	7,08 A	0,9201
	0,05-0,10	7,16 A	7,15 A	7,38 A	0,4782
Limo + Arcilla (%)	0- 0,05	54,27 B	60,26 B	42,57 A	0,0001
	0,05-0,10	54,32 B	61,97 C	43,49 A	0,0001

La textura de los suelos varió de franco-arcillosa a franco-arcillo-arenosa, con porcentajes de limo + arcilla del 42 al 62%.

Los suelos en estudio resultaron con pH cercano a la neutralidad, sin diferencias significativas entre tratamientos.

Para la variable Da los suelos bajo SD y Sil presentaron un aumento de la densidad con diferencia significativas respecto al Mon en la 1ª profundidad ($P < 0,004$), para la 2ª profundidad la densidad aparente presentó el siguiente orden $SD \geq SIL \geq MON$ con diferencias significativas en las tres variables estudiadas ($P < 0,0001$). El efecto de la siembra directa sobre la compactación subsuperficial, luego de varios años sin remoción del suelo, es importante, sobre todo a nivel de la



densidad aparente y la retención de agua útil (Rollán et al., 2004). Ferreras et al. (2007), encontraron que los sitios considerados como referencia (situación de alta calidad de suelo) presentaron mejores condiciones de agregación, mayor proporción de carbono orgánico total y menor compactación con respecto al mismo suelo bajo agricultura (maíz como cultivo inicial, con las rotaciones Maíz-Trigo/Soja y Maíz- Soja-Trigo/Soja con diferentes combinaciones de aplicación de fertilizantes y un Testigo sin fertilizar) y ganadería.

En cuanto a la compactación en el sistema Sil (Martino, 2017) pudo estimar, a partir de datos de área basal y peso corporal, que los animales en pastoreo aplican presiones sobre el suelo en el rango entre 150 (novillo de 300 kg) y 350 kPa (oveja adulta), valores notoriamente mayores que los correspondientes a tractores agrícolas, que ejercen presiones del orden de 80 (cubiertas de alta flotación) a 160 kPa (cubiertas radiales simples).

La humedad equivalente (HE) es un parámetro que ha sido utilizado como indicador de calidad de suelos en algunos trabajos y puede revelar diferencias en la capacidad de almacenamiento de agua que tienen influencia en otras propiedades del suelo (Rojas, 2012). En la tabla 1, se puede observar que la capacidad del suelo para retener agua tanto bajo SD como sistema SIL, se vio afectada por el uso del mismo, respecto a la situación climax en la primera profundidad ($P < 0,0063$). Para la segunda profundidad también se evidenció diferencias entre tratamientos ($P < 0,0127$). La compactación, al disminuir la porosidad total del suelo, manifiesta su efecto en una disminución apreciable del contenido de agua disponible para los cultivos (Rollán et al., 2004). Los distintos manejos de suelos alteran la velocidad de infiltración de agua y con ello la captación de agua en el perfil, también los cambios en la geometría del espacio poroso inducidos por las labranzas disminuyen la infiltración y la capacidad de retención de agua (Pla Sentis, 1994).

En cuanto a la estabilidad de agregados se encontró diferencias entre tratamientos, siendo el suelo bajo SD el más afectado, con una disminución del 24% para los primeros 0,05 m, y un 33% para la siguiente profundidad respecto a la condición de alta calidad de suelo (Mon). En suelos cultivados bajo siembra directa Ferreras *et al.* (2007), encontraron disminución en la estabilidad estructural y en el contenido de materia orgánica, destacando que la misma es importante en la estructuración del suelo. Sanzano *et al.* (2005) han encontrado que en un suelo virgen, clasificado como Haplustol típico, después de seis años de incorporado en sistemas de SD y en labranza convencional (LC), la estabilidad estructural se redujo a la mitad y en algunos casos más.

Para el tratamiento Sil no se encontraron diferencias significativas respecto al monte, manifestando ser este un sistema más amigable. Los Sil se caracterizan por ser altamente diversificados y autosuficientes, lo cual, asociado con un manejo agropecuario adecuado y acorde con las características del agroecosistema, favorece procesos naturales e interacciones biológicas, que benefician procesos ecosistémicos fundamentales, tales como el ciclaje de nutrientes, el control biológico, el secuestro de C, el mantenimiento de la estabilidad estructural, la fertilidad y consecuentemente su productividad (Vallejo, 2012).

Roldán *et al.* (2014), sostienen que los sistemas de labranza afectan la agregación del suelo y su estabilidad, por acción directa y por alterar otros factores tales como el contenido de materia orgánica (MO). Comprobaron que suelos del orden Molisol de la zona de Balcarce sufrieron una disminución significativa de la estabilidad de agregados cuando se los sometió a un cambio en el uso, los mismos también afirman que la determinación de agregados estables podría ser un buen indicador de salud del suelo.

En el caso de la CE, los valores hallados en los tratamientos SD, Mon y Sil variaron entre 0,32 a 0,76 dS/m, se puede decir que todavía el cambio de uso de suelo no afecta la CE, teniendo en cuenta los valores normales para el crecimiento del cultivo (< 2 dS/m), pero cuando se compara entre tratamiento si hay diferencias significativas, donde los valores mayores se encontraron en el sistema Sil. Valores de CE entre 0-0,8 dS/m son aceptables para el crecimiento de los cultivos (Luters & Salazar, 1999). Rojas *et al.*, (2015) trabajando en suelos del chaco, informaron que las diferencias encontradas en suelos de agricultura y suelos de monte nativo para el indicador CE no fueron significativas.



Conclusiones:

El uso agrícola bajo SD provocó cambios desfavorables como densificación del suelo, disminución de la capacidad para retener agua y disminución de la estabilidad de los agregados, impactando negativamente sobre la calidad física.

El sistema silvopastoril produjo un disturbio menor, ya que si bien el valor medio de EA (82,56%) fue menor que bajo Mon (85,64%), las diferencias no fueron significativas, resultando el sistema integrado de producción ganadera con pastura implantada y forestal, un sistema más amigable.

La EA resultó un buen indicador para comparar estos sistemas, debido a su sensibilidad al cambio en el uso del suelo. Y a su relativa facilidad y bajo costo de su determinación.



Figuras:

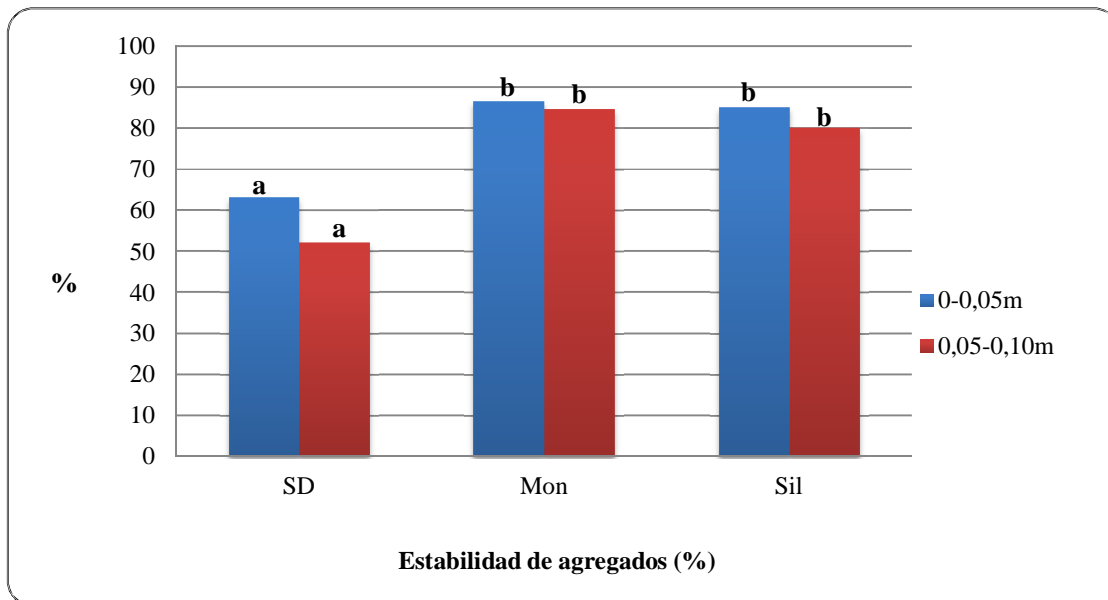


Figura 2. Estabilidad de agregados para los tratamientos siembra directa (SD), Sistema Natural (Mon), Silvopastoril (Sil) a 2 profundidades (0-0,05 m y 0,05-0,10).

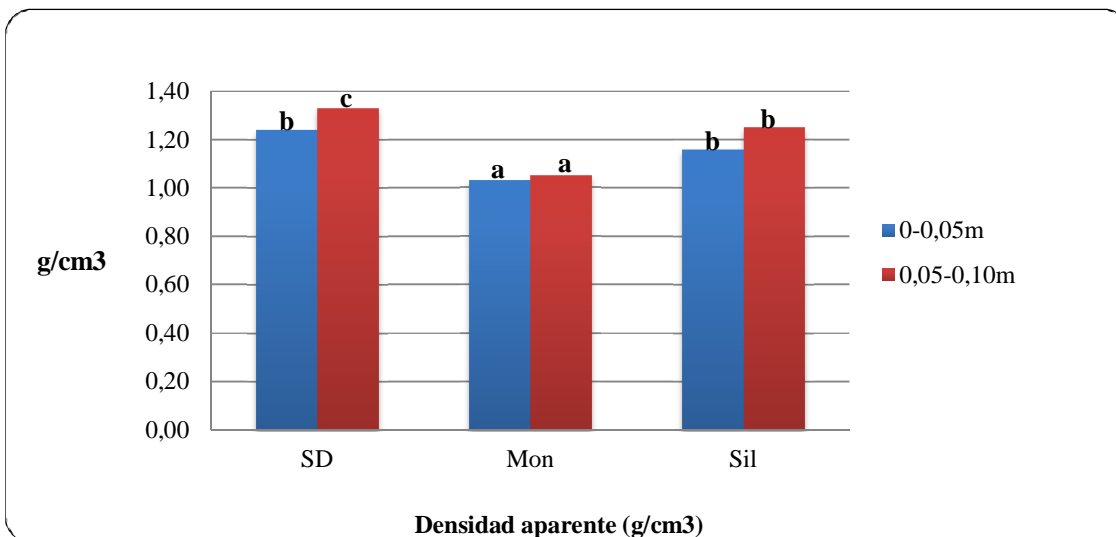


Figura 3. Densidad aparente para los tratamientos siembra directa (SD), Sistema Natural (Mon), Silvopastoril (Sil), en las 2 profundidades estudiadas (0-0,05 m y 0,05-0,10 m).



Bibliografía:

Altieri, M.A. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan- Comunidad. 325 p.

Angers, D.A. & G.R. Mehuys. 1988. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil. Can. J. Soil Sci. 68: 723-Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. CD.

Arshad, M.A., S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agr. Ecosyst. Environ. 88: 153-160

Biederbeck, V.O., H.H. Janzen., C.A. Campbell, and R.P. Zentner. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. Soil Biol. Biochem. 26:1674-1656

Boleta, P.E., A.C. Ravelo., A.M Planchuelo & M. Grilli, 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. Forest Ecol. Manag. 228:108-114

Brejda, J.J., T.B. Moorman., D.L Karlen & T.H Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 2115-2124

Bronick, C.J & R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124: 3-22

Cabria F., Calandroni F., & G. Monterubbianesi. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelo bajo labranza convencional y praderas. Ciencia del Suelo 20 (2) 69-80

Cantú, M.P., AB Becker., J.C Bedano & H.F Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Ci. Suelo 25(2): 173-178

Christensen, B.T. 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. p.144-160. In Powlson D. S., P. Smith, and J. Smith (eds). Evaluation of soil organic matter models using long-term datasets. U. NATO ASI Series I: Global Environmental Change. Vol I 38. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.

Constanza R., & B.C. Patton. 1995. Defining and predicting Sustainability. Ecol. Econ. 15 193-196

Dalurzo, H.C. 2002. Agregado de residuos orgánicos en suelos ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad. Tesis de Magister Scientiae. Área: Ciencia del Suelo. Escuela para Graduados Alberto Soriano UBA.

Dewis J. & F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos Nº 10. FAO. Roma. 36-57 p.

Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil Tillage Res. 11: 199-235
Di Rienzo, J.A., F. Casanoves., M.G. Balzarini., L. Gonzalez., M. Tablada & C.W Robledo. 2017

Doran, J.W & T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality p. 3-21. In J.W. Doran et al (ed.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publ. 35. SSSA and ASA. Madison, WI.



Ferreras, L., G. Magra., P. Besson., E. Kovalevski & F. Garcia. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25(2): 159-172.

Forsythe W. 1975. *Física de Suelos*. IICA. 212 p. San José. Costa Rica.

Garcia, Y., W. Ramírez & S. Sánchez. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35 (2): 125-138

Giampietro, M., G. Cerretelli., D. Pimentel. 1992. Energy analysis of agricultural ecosystem management: human return and sustainability. *Agr. Ecosyst. Environ.* 38: 219-244

Golchin, J., M. Oades, J.O. Skemstad, & P. Clarke. 1994. Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.* 32:1043-1068.

González-Chávez, M.C.A., M.C. Gutiérrez-Castorena., & S. Wright, 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamericana*, vol. 22, núm. 4, <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311096014.pdf>.

Gregorich, E.G., M.R. Carter., D.A. Angers., C.M. Monreal., & B.H. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:367-385

Gudelf O, & B. Maseiro. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. CD.

Gutiérrez A., C. Noemi., A.C Venialgo., M. Perez Palacio., D.M Drganc., J.D Oleszczuk Asselborn & A. Alejandro. 2002. Propiedades edáficas de la serie Capdevila con diferentes sistemas de uso.

Hamilton, H., F. Montagnini., & R. Fernandez. 1993. Relaciones entre especies nativas y la fertilidad de los suelos. VII Jornadas Técnicas Ecosistemas Forestales Nativos. Uso, Manejo y Conservación, Eldorado, Misiones.

Haynes, R.J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32:211-219

Hayo Van Der Werf, J. P. 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agr. Ecosyst. Environ.* 93:131-145

Imaz, M.J., I. Virto., A.E. Bescansa., O. Fernandez Ugalde., & D.L. Karlen. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil Till. Res.* 107:17-25

InfoStat, Versión 2018. Grupo InfoStat. FCA, UNC, Córdoba, Argentina.

Karlen, D.L., M.J., Mausbach., J.W Doran., R.G. Cline., R.F Harris., & Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10



Kemper, W.D & R.C Rosenau., 1986. Aggregate stability and size distribution. 425-441 p. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. ASA and SSSA, Madison, WI.

Kooistra, M, & N. Tovey. 1991. Effects of compaction on soil microstructure. Chap 5 En: Soane and C van Ouwerkerk (Eds) Soil Compaction in Crop Production Elsevier Science Conservación.

Ladd, J.N., M. Amato, Z. Li-kai, & J.E. Schultz. 1994. Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian Alfisol. Soil Biol. Biochem. 26:821-831

Luters A., & J.C. Salazar. 1999 USDA Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos, pp. 14-15, 33, 59-67

Mairura, F.S., D.N. Mugendi., J.I. Mwanje., J.J. Ramisch., P.K. Mbugua., & J.N. Chianu. 2007. Integrating scientific and farmers' evaluation of soil quality indicators in Central Kenya. Geoderma 139:134-143

Martino Daniel L. 2017. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay.

Moncada MA., D. Luján & Z. Pérez. 2009. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. Ciencia del suelo 43(3): 221-230

Montenegro Gonzalez, H., D. Malagón Castro & L. Guerrero. 1990. Propiedades Física de los suelos. Subdirección Agrológica. I.G.A.C. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Bogotá Colombia.

Montenegro, C., I. Gasparri., E. Manghi., M. Strada., J. Bono & MG Parmuchi .2004. Informe Sobre Deforestación En Argentina. <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/151.pdf>.

Morello, J.H., Rodriguez, A.F., & M. Silva. 2009. Clasificación de Ambientes en Áreas Protegidas de las Ecorregiones del Chaco Húmedo y Chaco Seco. En: Morello, J.H.; Rodríguez, A.F. (eds.) El Chaco sin bosques: la Pampa o el desierto del futuro. 1ª ed. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. Pp 53-91

Nocelli SP. 2016. Evolucion de siembra directa en Argentina campaña 2016/2017. Apresid. <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2018/03/Estimacio%CC%81n-de-superficien-en-SD.pdf>.

Nyamangara, J., E Nyazaradzo Masvaya., R. Tirivavi & K. Nyengerai. 2013. Effect of hand-hoe based conservation agriculture on soil fertility and in selected smallholder areas in Zimbabwe. Soil Till Res. 126: 19-25

Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant Soil 76: 319-337. Doi :10.1007/BF02205590. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02205590>.



Paruelo, J.M., J.P. Guerschman, G. Pineiro., E.G. Jobbagy., S.R. Veron., G. Baldi., & S. Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia X* (2): 47-61

Pascale Medina, C., M.M Zubillaga & M.A Taboada. 2014. Suelos, producción agropecuaria y cambio climático. *Avances en Argentina*. 1ºed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

Pla Sentís, I. & F. Ovalles. 1994. Efectos de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. *FONAIAP*. Pp 35

Porta Casanella J, R., López-Acevedo M, & C. Roquero de Laburu. 1999. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. 2da Edición.

Qi, Y., J.L. Darilek., B. Huang., Y. ZhaO., W. Sun., & Z. Gu. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149: 325-334

Rojas J.M., M.F. Roldán & S.G. Guevara. 2015. Influencia de rotaciones en la calidad del suelo en la zona central del Chaco y su relación con la producción de algodón. *Ciencia del suelo* 33(2): 239-246

Rojas, J.M. 2012. Indicadores de calidad de suelos desmontados y destinados a la producción agrícola en el área piloto de la Eco región Chaqueña. *Maestría en Ciencias Agrarias, Orientación: Producción Sustentable*. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. 152 pp. Tesis de Maestría.

Roldan, M.A., G.A Estudert., C.D.C Videla; S. San Martino & L.I Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en Molisoles bajo labranzas contrastantes. *Ciencia del suelo* 32(2): 247-257

Rollán, A.C., M.S Karlin & O.A. Bachmeier. 2004. Siembra directa y densificación subsuperficial en molisoles del centro norte de Córdoba. https://www.researchgate.net/publication/250308898_siembra_directa_y_densificacion_subsuperficial_en_molisoles_del_centro_norte_de_cordoba.

Rosso C.N. 2014. Una aproximación a la cuestión de la alimentación y la agricultura en el sudoeste de la provincia del Chaco: actores, políticas y problemáticas. *Folia histórica del Nordeste* (22): 65-87

Sarandón, S.J. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Sarandón, S.J. (ed.) *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata. pp 393-414

Six, J., H. Bossuyt., S. Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31

Stachetti Rodrigues, G., I.A Rodrigues., A. Buschellini., & I. Barros. 2010. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. *Environ. Impact Assess.* 30:229-239



Toledo, M. 2014. Calidad de Suelo en Agro-ecosistemas de Misiones: Desarrollo y Validacion de Calidad. Su Aplicación en la Evaluación de los Cambios en el Uso de las Tierras. Tesis de Doctorado.

Vallejo, V. (2012). Efecto del establecimiento de sistemas silvopastoriles sobre la comunidad microbiana edáfica (total y de bacterias oxidadoras de amonio) en la Reserva Natural: El Hatico-Valle (Tesis doctoral). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 239 p.

Venialgo, C.A., N.C Gutierrez, & R. José .2004. Variables edáficas en diferentes sistemas de uso del suelo en el sudoeste chaqueño. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-074.pdf>.

Vigglizzo, E.F., E. Jobbagy. 2010. Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico - Ambiental. Buenos Aires. Ediciones INTA. 102 p.

Villamil, M.B., F.E. Miguez., G.A. Bollero. 2008. Multivariateanalysis and visualization of soilquality data for no-tillsystems. J. Environ. Qual. Volume 37: 2063-2069

Villamil, M.B., F.E. Miguez., G.A. Bollero. 2008. Multivariateanalysis and visualization of soilquality data for no-tillsystems. J. Environ. Qual. Volume 37: 2063-2069

Volante, J.N.; A.R. Bianchi., H.P Paoli., Y.E. Noé., H.J Elena., C.M Cabral. 2005. Análisis de la dinámica del uso del suelo agrícola del Noroeste argentino mediante teledetección y SIG. Pro.Re.NOA. INTA, EEA Salta. 64 p.