

## CAPÍTULO III

# ESTUDIO DEL IMPACTO DEL CULTIVO DE SOJA EN TIERRAS DESMONTADAS DE LA PROVINCIA DEL CHACO, ARGENTINA

**ESTUDIO DEL IMPACTO DEL CULTIVO DE SOJA EN TIERRAS DESMONTADAS DE LA PROVINCIA DEL CHACO, ARGENTINA**

**THE IMPACT OF SOYBEAN CROPPING ON AFTER FOREST CLEARING, IN CHACO PROVINCE, ARGENTINA**

**ESTUDO DO IMPACTO DO CULTIVO DE SOJA EM TERRAS DESBASTADAS NA PROVÍNCIA DE CHACO, ARGENTINA**

Astor Emilio López<sup>1</sup>, María Florencia Roldán<sup>2</sup>, Laura Itatí Giménez<sup>3</sup> y Sergio Montico<sup>4</sup>

<sup>1</sup>INTA, P.R. Sáenz Peña, Chaco, Argentina, <https://orcid.org/0000-0002-6891-4779>

<sup>2</sup>INTA, P.R. Sáenz Peña, Chaco, Argentina, <https://orcid.org/0009-0009-1324-2272>

<sup>3</sup>FCA, UNNE, Corrientes, Argentina, <https://orcid.org/0000-0002-9139-4759>

<sup>4</sup>FCA, UNR, Zavalla, Santa Fe, Argentina, <https://orcid.org/0000-0002-8053-7734>

### CAPÍTULO III

**Resumen:** En Argentina, el proceso de avance de la frontera agrícola se caracterizó por el monocultivo de soja, que en el Chaco ocupó áreas de bosque nativo. El trabajo evalúa el impacto de la soja (*Glycine max (L.) Merr*), en variables de suelo en tierras recientemente desmontadas. El trabajo se desarrolló en el Departamento Almirante Brown (Chaco) sobre cuatro Series de suelos y en tres condiciones de uso: bosque, un año y seis años de cultivo de soja. Se determinó densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, pH, conductividad eléctrica, infiltración y estabilidad estructural. Se realizó un análisis de varianza y multivariado. Se determinó que los suelos tienen diferente susceptibilidad a la degradación, en base principalmente a las impedancias mecánicas. Es necesario contemplar la Serie de suelo para comparar indicadores entre usos y se deben considerar las características de cada suelo para tomar decisiones de cambio de uso.

**Palabras clave:** cambio de uso - desmonte - Serie de suelos – soja

**Summary:** In Argentina, the advance of agriculture frontier process was characterized by soy monoculture, which in Chaco occupied native forest areas. The work evaluates the impact of soybean (*Glycine max (L.) Merr*), in soil variables and yield in cleared areas. The work was developed in Almirante Brown department (Chaco) on four soil series under three conditions of use: forest, one and six years of soybean cultivation. Bulk density, penetration resistance, organic carbon, nitrogen, phosphorus, pH, electrical conductivity, infiltration and structural stability were determined. An analysis of variance and multivariate were performed. It was determined that the soils have different susceptibility to degradation, based mainly on mechanical impedances. It is necessary to contemplate the soil series to compare indicators between uses and the characteristics of each soil should be considered to take decisions about use change.

**Key Words:** use change - clearing - soil series – soybean

**Resumo:** Na Argentina, o avanço do processo de fronteira agrícola foi caracterizado pela monocultura da soja, que no Chaco ocupou áreas de floresta nativa. O trabalho avalia o impacto da soja (*Glycine max (L.) Merr*), nas variáveis do solo e na produtividade em áreas desmatadas. O trabalho foi desenvolvido no departamento de Almirante Brown (Chaco) em quatro séries de solo sob três condições de uso: floresta, um e seis anos de cultivo de soja. Densidade aparente, resistência à penetração, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, pH, condutividade elétrica, infiltração e estabilidade estrutural foram determinados. Foi realizada uma análise de variância e multivariada. Foi determinado que os solos apresentam diferentes suscetibilidades à degradação, com base principalmente nas impedâncias mecânicas. É necessário contemplar a série de solos para comparar indicadores entre usos e as características de cada solo devem ser consideradas para a tomada de decisões sobre mudança de uso.

**Palavras-chave:** mudança de uso - limpeza - série solo - soja

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Investigador. lopez.astor@inta.gob.ar

## CAPÍTULO III

### 1. INTRODUCCIÓN

En la Argentina, la agriculturización se caracterizó, a partir de la década del 80 del siglo pasado, por un creciente predominio de soja (*Glycine max (L.) Merr.*) en monocultivo en reemplazo de otros cultivos (Campitelli *et al.*, 2010; Volante *et al.*, 2014).

El sector sur del Departamento Almirante Brown, ubicado en el suroeste del “Impenetrable Chaqueño”, constituye el área de la Provincia del Chaco con mayor dinamismo en las transformaciones de los sistemas productivos (Paruelo *et al.*, 2004; Cuadra, 2012; García *et al.*, 2014a; Cuadra y Mónaca, 2016).

El proceso de desmonte y habilitación de tierras para uso agrícola más difundido en la región debe contar con la correspondiente autorización de la Dirección de Bosques, mediante planes de trabajo, que incluyen inventario forestal, aptitud de los suelos, y estudio de impacto ambiental (Boletín Oficial de Chaco, 2018). El mismo, consiste en tareas de rolado, junto a la siembra de pasturas megatérmicas, seguido del aprovechamiento de la madera de valor comercial, y se prosigue con la eliminación de restos no comercializables con fuego, finalmente, se realizan labranzas con herramientas de discos (Casas y Michelena, 1983).

Los cambios de uso del suelo generaron en la región degradación significativa en la calidad física y química de los suelos, en comparación con los suelos de la situación prístina en un plazo relativamente corto (Sanzano *et al.*, 2005; Rojas *et al.*, 2016).

Para predecir y detener los procesos de degradación, es indispensable utilizar indicadores para monitorear y evaluar si las tendencias se mantienen, dependiendo de las prácticas de manejo realizadas (Rojas y Zurita, 2017).

El problema de degradación más frecuente es la compactación superficial, que deriva en la pérdida de espacios porosos y con ello en la reducción de la infiltración (INF) y del almacenamiento de agua en el suelo por un lado, y de la generación de procesos erosivos por otro (Moro *et al.*, 2005; Olivares *et al.*, 2010; Rojas *et al.*, 2016).

En las distintas regiones de Argentina se registran casos de desequilibrio entre usos de la tierra y su aptitud que se manifiestan en: desertificación, degradación de suelos, expansión agropecuaria desordenada y pérdida de biodiversidad (Olivares *et al.*, 2005;

### **CAPÍTULO III**

Sobral, 2009; García *et al.*, 2014a; Silberman *et al.*, 2015). Precisamente, en Chaco, el uso de la cartografía de suelos está centralizado en la evaluación de la potencialidad de los suelos para la producción. Los proyectos de desarrollo y programas de Ordenamiento Territorial, demandan la predicción del comportamiento de las tierras bajo usos específicos (Arzeno, 2008; Sobral, 2009; Perucca y Kurtz, 2016; Brest *et al.*, 2018).

Debe investigarse con énfasis, en base a los atributos originales del suelo, para llegar a una mejora de las funciones particulares de interés para cada caso, que optimicen los objetivos combinados de alta producción de cultivos, baja degradación ambiental y uso sostenible del recurso suelo (Pla, 2013).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del cultivo de soja bajo siembra directa (SD) sobre indicadores edáficos en Series de suelos representativas, para generar conocimiento sobre el impacto del cultivo de soja en las propiedades físicas y químicas de suelos recientemente habilitados, para optimizar la adopción de decisiones en la expansión de la frontera agropecuaria en el sudoeste del Impenetrable Chaqueño.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

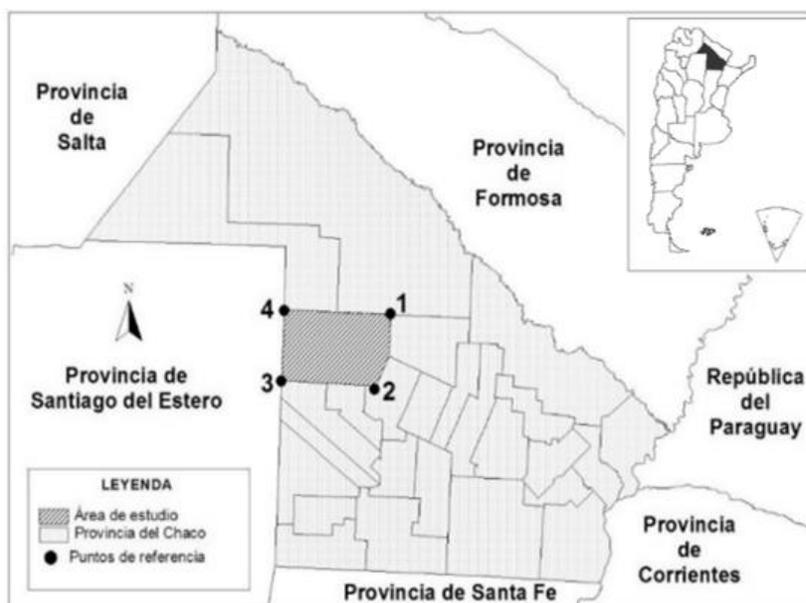
El estudio se llevó a cabo en el sector sur del Departamento Almirante Brown, en la provincia del Chaco. El área de trabajo, abarcó las localidades Río Muerto, Los Frentones, Pampa del Infierno y Concepción del Bermejo (550.000 ha), (Figura 1; Tabla 1), considerando la presión del proceso de agriculturización en esta región en los últimos veinte años. El clima del área de estudio es subtropical semiárido a subhúmedo, con un régimen pluviométrico de 800 mm y una temperatura media anual de 23°C (Ledesma y Zurita, 1995a). Las precipitaciones son estacionales, concentradas en primavera y verano, siendo los inviernos secos. Existe una gran variación interanual, una condición ambiental-climática muy común en la región. Hay alternancia de períodos húmedos y secos. El relieve es una llanura tendida muy suavemente ondulada. El material original de los suelos es loes-aluvial local fósil. Los suelos son de colores claros, de escaso desarrollo y texturas medias en los albardones de paleocauces; de textura pesada en lomas bajas y áreas de derrame.

### CAPÍTULO III

Los suelos pertenecen a los órdenes Alfisoles, Molisoles, Inceptisoles y Entisoles (Ledesma y Zurita, 1995a).

#### Figura 1

Ubicación del Área de Estudio al Sur del Departamento Almirante Brown (Chaco, Argentina).



#### Tabla 1

Puntos de Georreferencia que Delimitan el Área de Estudio.

1 - Noreste
26° 7' S 60°48' O
2 - Sureste
26°40' S 60°54' O
3 - Suroeste
26°39' S 61°42' O
4 - Noroeste
26°6'S 61°42' O

## CAPÍTULO III

La vegetación dominante es de bosque alto abierto, en explotación forestal y la agricultura en suelos de desmonte. Este sector del “Impenetrable” carece de aguas superficiales, y la subterránea es, en general, de mala calidad (Ledesma y Zurita, 1995a).

### 2.1 EVALUACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Mediante información preliminar de la Carta de Suelos del Departamento Almirante Brown (actualmente en elaboración) se seleccionaron cuatro Series de suelos, representativas del área, contrastantes entre sí y clasificadas como Clase de Uso IV en el Sistema de clasificación por capacidad de uso (Klingebiel y Montgomery, 1964). A continuación, se describen brevemente cada una de las Series de suelos (Figura 2):

Serie Tolosa (To): se encuentra en lomas tendidas, evolucionadas, de relieve normal. Es un *Haplustept Udico*, Horizontes diagnósticos: epipedón ócrico, horizonte cámbico, horizonte Ck. Su vegetación natural es de bosque maderable (Zurita, 2007).

Serie Luz (Lj): se encuentra en lomas medias tendidas de relieve normal. Es un *Haplustol Óxico*. Horizontes diagnósticos: epipedón mólico, horizonte cámbico, y horizonte Ck. Su vegetación natural es de bosque de dos estratos (Zurita, 2007).

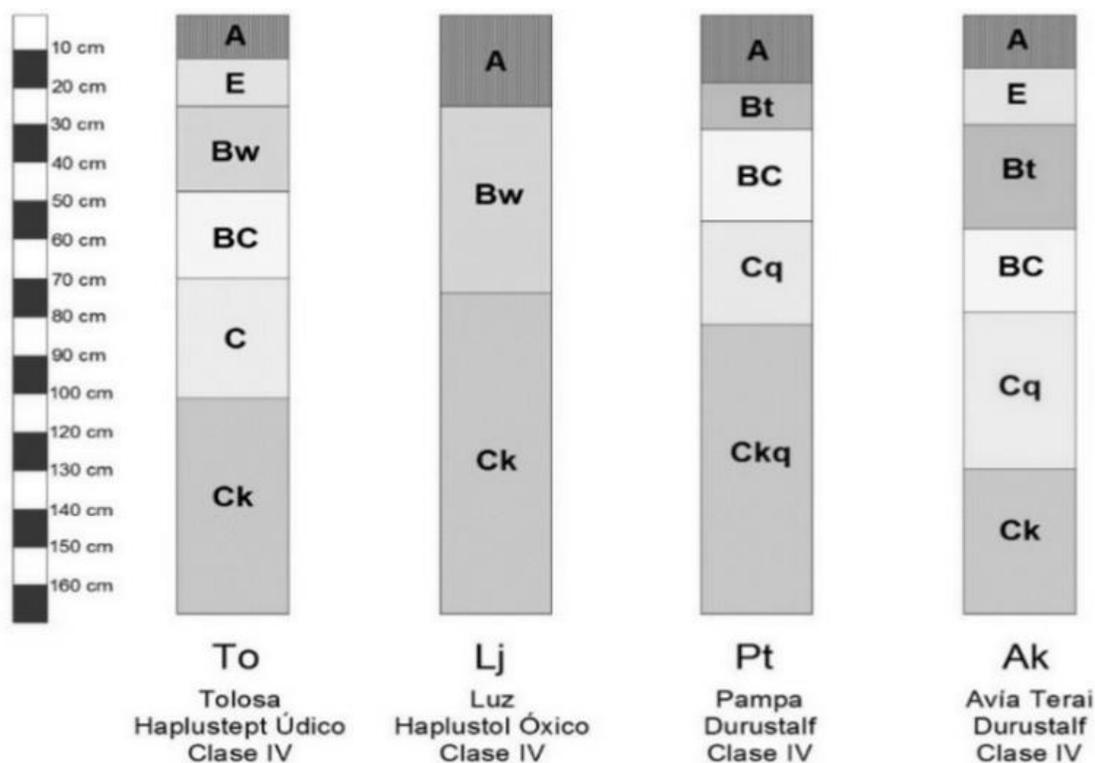
Serie Pampa (Pt): se encuentra en lomas tendidas, moderadas, de relieve normal. Es un *Durustalf*. Horizontes diagnósticos: epipedón ócrico y horizonte argílico moderadamente textural, duripán, horizonte Ck. Su vegetación natural es de pajonal con un arbustal que puede alcanzar la forma de ralera (Ledesma y Zurita, 1995b).

Serie Avía Terai (Ak): Se encuentra en lomas medias bajas tendidas, evolucionadas, de relieve subnormal. Es un *Durustalf*. Horizontes diagnósticos: epipedón ócrico, horizonte argílico fuertemente textural, duripán, horizonte Ck. Su vegetación natural es de fachinal y vegetación basal, rodeados por ralera (Ledesma y Zurita, 2003).

## CAPÍTULO III

**Figura 2**

*Esquema de los perfiles modales (horizontes y espesores) de las Series de suelos Tolosa (To), Luz (Lj), Pampa (Pt) y Avía Terai (Ak), indicando su clasificación taxonómica y aptitud de uso.*



Seguidamente, se procedió a ubicar los lotes experimentales que tuvieran las Series de suelos seleccionadas, pero que además presentaran a campo las condiciones de uso de bosque, y luego del desmonte y habilitación, de un año de cultivo y de seis años de monocultivo de soja, bajo SD. Se eligió la secuencia soja sobre soja por ser el sistema más común en suelos desmontados y puestos en producción, en el área de estudio.

### CAPÍTULO III

**Tabla 2**

*Tratamientos evaluados (T1 a T12), integrando Series de suelos (Tolosa, Luz, Pampa y Avía Terai) con condiciones de uso (bosque, un año de cultivo y seis años de monocultivo de soja).*

TRATAMIENTOS	SERIES DE SUELOS - CONDICIÓN DE USO
T1	Tolosa – Bosque
T2	Tolosa - Soja un año posterior al desmonte
T3	Tolosa - Soja continua durante seis años posteriores al desmonte
T4	Luz - Bosque
T5	Luz - Soja un año posterior al desmonte
T6	Luz - Soja continua durante seis años posteriores al desmonte
T7	Pampa - Bosque
T8	Pampa - Soja un año posterior al desmonte
T9	Pampa - Soja continua durante seis años posteriores al desmonte
T10	Avía Terai - Bosque
T11	Avía Terai - Soja un año posterior al desmonte
T12	Avía Terai - Soja continua durante seis años posteriores al desmonte

Para el análisis de la evolución de las propiedades edáficas se establecieron 12 tratamientos integrando cuatro Series de suelos con tres condiciones de uso (Tabla 2), resultando cuatro tratamientos (T1, T4, T7 y T10) de suelos con bosques (Bo), cuatro tratamientos (T2, T5, T8 y T11) de suelos con un año de cultivo de soja (1S), y cuatro tratamientos (T3, T6, T9 y T12) de suelos con seis años de monocultivo de soja (6S).

Por otra parte, en cada Serie de suelo se seleccionaron siete sitios de evaluación, distribuidos según la condición de uso, habiendo un sitio para bosque, y tres para un año de soja y seis años de monocultivo de soja, respectivamente, siendo en total 28 sitios.

### CAPÍTULO III

Asimismo, en cada sitio de Bo se ubicaron cinco estaciones de evaluación, mientras que se dispusieron quince estaciones en los 1S y 6S. En cada sitio de 1S y 6S, las cinco estaciones se instalaron en una transecta diagonal en los lotes evaluados, distanciadas 80 metros unas de otras y alejadas de los límites de las unidades cartográficas, constituyendo un total de 140 estaciones. La extracción de las muestras de suelo y la medición de las variables edáficas a campo, se llevaron a cabo, con posterioridad a la cosecha del cultivo de soja de la campaña 2012/2013. Para la evaluación del estado actual de los suelos, en los Bo, 1S y 6S, se determinaron las siguientes variables:

**Densidad aparente (DA):** La DA de un horizonte o determinado espesor de suelo, es la relación que existe entre la masa de suelo seco a 105°C y el volumen que ocupa, incluyendo los poros, y se expresa en  $\text{g.cm}^{-3}$ . La DA del suelo varía, entre otros factores, con la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y las labranzas. Se determinó mediante el método del cilindro basado en Stengel (1983). Se tomaron muestras en cada estación de muestreo en los espesores de 0 - 5, 5 - 10 y 10 - 20 cm.

**Resistencia mecánica a la penetración (RMP):** se determinó a través del índice de cono (IC) utilizando un penetrómetro de impacto (Stolf, 1991). La RMP expresada en mega pascuales (MPa), fue medida a 0 - 10 y 10 - 20 cm en todos los tratamientos, con 15 repeticiones en cada estación de muestreo. Debido a que la RMP está condicionada por el contenido de humedad al momento del muestreo, los valores relevados se corrigieron a un porcentaje de humedad relacionado a la friabilidad de los suelos mediante una recta de ajuste (Jorajuría Collazo, 2004; Zerpa, 2006).

**Carbono Orgánico Total (COT):** El nivel de carbono orgánico oxidable se determinó, por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro, siguiendo la norma IRAM-SAGPyA 29571-2 (2011), la cual se basa en la metodología propuesta por Walkley y Black (1934). Las determinaciones de COT se realizaron sobre las muestras compuestas (10 submuestras) tomadas en cada estación de muestreo en los espesores de 0 - 10 y 10 - 20 cm. Los resultados fueron expresados en términos de concentración en porcentaje (%), como COT.

**Nitrógeno Total (N):** El nivel de N en el suelo, se determinó por el método Kjeldahl modificado, escala semi-micro (Bremmer and Mulvaney, 1996), siguiendo la norma IRAM-

### CAPÍTULO III

SAGyP 29572-1 (2011). Las determinaciones de N se realizaron sobre las muestras compuestas (10 submuestras) tomadas en cada estación de muestreo en los espesores de 0 - 10 y 10 - 20 cm. Los resultados fueron expresados en términos de concentración en porcentaje (%).

**Fósforo extraíble (P):** El contenido de P, se determinó por el método Bray Kurtz 1 modificado, mediante extracción con solución de fluoruro de amonio y ácido clorhídrico, siguiendo la Norma IRAM-SAGPyA 29570-1 (2010). Las determinaciones se realizaron sobre las muestras compuestas (10 submuestras) extraídas en estación de muestreo en los espesores 0 - 10 y 10 - 20 cm. Los resultados fueron expresados en partes por millón (ppm).

**Potencial Hidrógeno (pH):** El pH, se midió con un potenciómetro, sobre una suspensión de suelo:agua en relación 1:2,5 (m/V) siguiendo la norma IRAM-SAGyP 29574 (2011). Las determinaciones se realizaron sobre las muestras compuestas (10 submuestras) extraídas en los espesores 0 - 10 y 10 - 20 cm, en cada estación de muestreo.

**Conductividad Eléctrica (CE):** La CE se midió con un conductímetro sobre el extracto suelo:agua con una relación, 1:2,5 (m/V) y se expresó la lectura en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Las determinaciones se realizaron sobre las muestras tomadas en cada sitio de estación de muestreo en los espesores de 0 - 10 y 10 - 20 cm.

**Infiltración (INF):** La INF básica se utiliza como parámetro de calidad de suelos porque es sensible a condiciones cercanas a la superficie (USDA, 1999). Los datos de INF se refieren a la velocidad con que ingresa el agua en la superficie del suelo en  $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ . Se determinó en cada estación de muestreo, con un infiltrómetro-permeámetro de disco, adaptado por el Instituto de Suelos de INTA Castelar. (Gil, 2006).

**Estabilidad de Agregados (EEA):** La EEA fue determinada por el método descrito por De Boodt y De Leenheer (1967), para ello se tomaron muestras no disturbadas, en los espesores de 0 - 10 y 10 - 20 cm en cada tratamiento en estudio. Se obtuvo el cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP, mm) como una medida de la estabilidad de los agregados. A mayor CDMP menor es la estabilidad de los agregados del suelo.

## CAPÍTULO III

### 2.2 DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

**Análisis de la Varianza:** El análisis de las variables de suelo se realizó a través de un Análisis de la Varianza correspondiente a un diseño Completamente Aleatorizado con 12 tratamientos (Tabla 2). El procesamiento de los datos se realizó con el software InfoStat versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2016; licencia adquirida por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

**Análisis de correlación:** El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la magnitud de la asociación lineal entre dos variables que no depende de las unidades de medida de las variables originales. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables pH, CE, COT, N, P, RMP, DA, INF y CDMP. Se obtuvo una matriz de correlaciones entre todas las variables, con su respectivo coeficiente de correlación.

**Análisis multivariado:** Las herramientas multivariadas como el análisis de componentes principales (ACP) permiten estudiar el comportamiento simultáneo de las variables con el objetivo de evaluar si las mismas pueden separar las condiciones principales de estudio. El análisis de las variables se realizó separando los datos según los espesores estudiados de 0 - 10 y 10 - 20 cm.

## 3. RESULTADOS

**3.1 DENSIDAD APARENTE:** Los valores de DA se incrementaron cuando los lotes se destinaron a la producción agrícola, siendo en el sexto año del cultivo de soja donde se produjo el mayor valor para los tres espesores estudiados, simultáneamente, la misma, aumentó en profundidad en cada uno de los tratamientos. En los 1S la DA aumentó ( $1,11 \text{ g.cm}^{-3}$ ) en relación a los Bo ( $0,96 \text{ g.cm}^{-3}$ ) y más aún en los 6S ( $1,24 \text{ g.cm}^{-3}$ ), existiendo diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre ellas. Los CV fueron 10,71% para los Bo, 12,69% para los 1S y 9,26% para los 6S.

La interacción de los valores de DA entre los tratamientos analizados y los espesores no fue significativa ( $p > 0,05$ ), por lo que se describirán los resultados para los tratamientos con los tres espesores en conjunto. Las diferencias de DA fueron significativas entre tratamientos ( $p < 0,0001$ ).

### CAPÍTULO III

En la Tabla 3 se muestran los valores medios de DA de los tratamientos, los coeficientes de variación y las diferencias estadísticas encontradas entre ellos. El valor máximo fue de 1,28 g.cm<sup>-3</sup> en el T12 y el valor mínimo fue de 0,91 g.cm<sup>-3</sup> en el T1.

**Tabla 3**

*Densidad aparente (DA; g.cm<sup>-3</sup>) y coeficiente de variación (CV; %) en los 12 tratamientos evaluados, independientemente de los espesores. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la DA entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	DA (g.cm <sup>-3</sup> )	CV (%)
T1	0,91 A	9,75
T2	1,22 D	8,76
T3	1,21 D	8,43
T4	0,94 AB	8,81
T5	1,09 C	13,28
T6	1,27 E	8,86
T7	1,02 B	12,40
T8	1,12 C	9,29
T9	1,22 D	8,53
T10	0,97 AB	8,21
T11	1,01 B	12,55
T12	1,28 E	10,05

Al comparar según la condición de uso, los Bo T1 y T7, se diferencian significativamente. En los 1S, T2 se diferencia significativamente de T5, T8 y T11 y, por otra parte, T11 se diferencia de T5 y T8. En los 6S, T3 y T9 se diferencian significativamente de T6 y T12.

### CAPÍTULO III

Al comparar las condiciones de uso, se diferenciaron estadísticamente los Bo frente a los 1S ( $p < 0,0001$ ) y 6S ( $p < 0,0001$ ), lo mismo sucede al contrastar esta última con los 1S ( $p < 0,0001$ ).

**3.2 RESISTENCIA MECÁNICA A LA PENETRACIÓN:** La interacción entre las condiciones de uso y los espesores fue significativa ( $p = 0,022$ ), como así también entre las condiciones de uso ( $p < 0,0001$ ) y entre los espesores estudiados ( $p < 0,0001$ ).

Las diferencias de los valores de RMP entre las condiciones de uso en los primeros 10 cm fueron estadísticamente significativas ( $p > 0,0001$ ), siendo de 0,69 MPa en los Bo, 1,19 MPa en los 1S y 1,64 MPa en los 6S.

La mayor variabilidad se observó en los Bo (CV 42,0%) en relación a los 1S y 6S (27,1 y 25,0%, respectivamente).

En el espesor de 10 a 20 cm, si bien, la RMP aumentó con el uso agrícola, al igual que en el espesor superficial, las diferencias sólo fueron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en 6S (2,22 MPa) respecto de Bo (1,69 MPa) y 1S (1,90 MPa). Los CV en este espesor fueron 25,2% en los Bo, 15,3% en los 1S y 22,9% en los 6S. Al considerar los valores de RMP de los 12 tratamientos, los dos espesores estudiados y la interacción entre ambos factores, se hallaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ).

La Tabla 4 muestra los valores medios de la RMP determinados en el espesor de 0 - 10 cm. La mayor RMP se presentó en T6 y el menor valor en el T1. En el espesor superficial, al confrontar los 12 tratamientos puede observarse que, para la misma Serie de suelo, en los casos de Tolosa (T1-T2-T3) y Luz (T4-T5-T6) se diferenciaron significativamente entre sí para las diferentes condiciones de uso. Sin embargo, en Pampa (T7 y T8) y Avía Terai (T10 y T11) no se diferenciaron de T9 y T12, respectivamente.

### CAPÍTULO III

**Tabla 4**

*Resistencia mecánica a la penetración (RMP; MPa) y coeficiente de variación (CV%) en los 12 tratamientos evaluados en el espesor 0 - 10 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la RMP entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	RMP (MPa)	CV (%)
T1	0,51 A	6,39
T2	1,43 C	22,63
T3	1,70 D	30,58
T4	0,60 A	24,04
T5	1,11 B	20,9
T6	1,72 D	19,5
T7	0,81 AB	28,77
T8	1,12 B	32,71
T9	1,44 C	28,96
T10	0,84 AB	57,03
T11	1,11 B	22,93
T12	1,68 CD	19,64

Además, los Bo (T1-T4-T7-T10) no se diferenciaron significativamente entre ellos, sin embargo, los 1S, T5, T8 y T11 se diferenciaron significativamente de T2, y en los 6S, T9 se diferencia significativamente de T3 y T6.

La Tabla 5 muestra los valores medios de la RMP determinados en los distintos tratamientos en el espesor de 10 a 20 cm. La mayor RMP se observó en T6 con 2,40 MPa y el menor valor en el T7 con 1,47 MPa. En el espesor subsuperficial, al confrontar los 12 tratamientos se observó que, para el mismo suelo, en el caso de la Serie Tolosa, T1 se diferencia de T2, y en Pampa y Avía Terai, se diferenciaron los tratamientos con 6S, es decir, T6 y T9. Cabe destacar que T6 presenta los valores máximos en los dos espesores.

## CAPÍTULO III

**Tabla 5**

*Resistencia mecánica a la penetración (RMP; MPa) y coeficiente de variación (CV%) en los 12 tratamientos evaluados en el espesor 10 - 20 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la RMP entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	RMP (MPa)	CV (%)
T1	1,64 AB	1,04
T2	2,20 CD	1,11
T3	2,02 BC	5,01
T4	1,81 ABC	19,5
T5	1,83 ABC	12,2
T6	2,40 D	3,32
T7	1,47 A	8,45
T8	1,69 AB	3,84
T9	2,23 CD	0,73
T10	1,84 ABC	5,39
T11	1,88 ABC	7,91
T12	2,23 CD	1,63

Además, los Bo (T1-T4-T7-T10) no se diferenciaron significativamente entre ellos, sin embargo, en los 1S, T2 se diferenció significativamente de T8, y en los 6S, T3 se diferencia significativamente de T6.

**3.3 CARBONO ORGÁNICO TOTAL:** Las concentraciones de COT en general disminuyeron en los lotes cultivados y fueron más bajos en el espesor subsuperficial.

El análisis completo de todos los datos de COT mostró diferencias significativas para las condiciones de uso ( $p < 0,0001$ ), los dos espesores estudiados ( $p < 0,0001$ ) y la interacción entre las diferentes condiciones de uso y los espesores ( $p < 0,0001$ ).

### CAPÍTULO III

Las concentraciones de COT, en los primeros 0 - 10 cm fueron de 3,43% en Bo, 2,25% en los 1S y 1,80% en los 6S, siendo estas diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ), con CV de 25,44, 17,05 y 21,11%, respectivamente.

En el espesor de 10 - 20 cm, si bien, los valores de COT disminuyeron con el uso agrícola, al igual que en el espesor superficial, las diferencias sólo fueron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en 6S (1,32%) respecto de Bo (1,75%) y 1S (1,57%). Los CV para este espesor en Bo, 1S y 6S fueron 21,62, 21,85 y 29,21%, respectivamente.

Las concentraciones de COT determinadas en el espesor subsuperficial, permiten clasificarlos como suelos moderadamente provistos en Bo y 1S, y como pobremente provistos en 6S.

El análisis de los valores de COT de los 12 tratamientos, los dos espesores estudiados y la interacción entre ambos factores, detectó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ), en todos los casos.

La Tabla 6 muestra los valores medios de COT determinados en los distintos tratamientos en el espesor de 0 - 10 cm. El valor máximo fue de 4,23 en el T1, y el valor mínimo de 1,71 en el T6.

En el espesor superficial, al observar los tratamientos de igual Serie de suelo, se puede ver que, en Tolosa, T1 se diferencia significativamente de T2 y T3, en Luz (T4, T5 y T6) y Avía Terai (T10, T11 y T12) los tratamientos se diferencian significativamente entre sí, y en Pampa T7 y T8 se diferencian de T9. El análisis según la condición de uso, puso en evidencia que, en los Bo, T1 y T4 se diferencian significativamente de T7 y T10, en los 1S, T2 se diferencia de T5, T8 y T11. Sin embargo, en los 6S no se observan diferencias significativas entre ellos. Al contrastar las condiciones de uso, Bo fue estadísticamente diferente de 1S ( $p < 0,0001$ ) y 6S ( $p < 0,0001$ ), como así también lo fue 1S de 6S ( $p < 0,0001$ ).

### CAPÍTULO III

**Tabla 6**

*Concentración de carbono orgánico total (COT; %) y coeficiente de variación (CV %) en los 12 tratamientos evaluados en el espesor 0 - 10 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el contenido de COT entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	COT (%)	CV (%)
T1	4,23 E	10,22
T2	1,99 A	16,35
T3	1,75 A	26,13
T4	3,78 E	22,49
T5	2,32 B	12,25
T6	1,71 A	17,06
T7	2,76 CD	13,10
T8	2,36 BC	19,96
T9	1,99 A	21,03
T10	2,97 D	30,18
T11	2,34BC	14,25
T12	1,74A	16,35

La Tabla 7 muestra los valores medios del contenido de COT determinados en los distintos tratamientos en el espesor de 10 a 20 cm. El valor máximo fue de 1,94 en el T7 y el valor mínimo de 1,19 en el T6.

La comparación de los tratamientos de igual Serie de suelo, mostró que, en Tolosa, T1 se diferencia significativamente de T2, en Luz T4 y T5 lo hacen de T6; en Pampa T7 y T8 son diferentes de T9, mientras que en Avía Terai los tratamientos no se diferencian significativamente entre sí.

### CAPÍTULO III

**Tabla 7**

*Concentración de carbono orgánico total (COT; %) y coeficiente de variación (CV; %) en los 12 tratamientos evaluados en el espesor 10 - 20 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el contenido de COT entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	COT (%)	CV (%)
T1	1,78 CD	16,48
T2	1,33 AB	26,84
T3	1,48 BC	27,03
T4	1,63 BCD	18,80
T5	1,60 BCD	11,61
T6	1,19 A	34,07
T7	1,94 D	14,48
T8	1,75 CD	21,85
T9	1,31 AB	26,25
T10	1,64 BCD	35,48
T11	1,57 BC	18,78
T12	1,32 AB	28,67

El análisis según la condición de uso, determinó que los Bo no se diferencian significativamente entre ellos, T2 se diferencia de T8 en los 1S y, T3 de T6 en los 6S.

Al contrastar entre Series de suelos se encontró que en el espesor 10 - 20 cm solo se diferencia Luz de Pampa ( $p = 0,048$ ). El análisis por las condiciones de uso diferenció estadísticamente los Bo de los 1S ( $p = 0,0474$ ) y 6S ( $p < 0,0001$ ), lo mismo sucedió al contrastar estas dos últimas ( $p = 0,0003$ ).

### CAPÍTULO III

**3.4 NITRÓGENO TOTAL:** El análisis completo de todos los valores de N presentó diferencias significativas para las condiciones de uso ( $p < 0,0001$ ), los dos espesores estudiados ( $p = 0,0285$ ) y la interacción entre éstos ( $p = 0,0031$ ). La concentración de N, en el espesor superficial, disminuyó significativamente ( $p < 0,0001$ ) cuando los suelos fueron puestos en producción agrícola. Los valores medios de N fueron de 0,219% en Bo, 0,165% en 1S y 0,138% en 6S. Lo que permitiría clasificar a los Bo como muy bien provistos, a los 1S como bien provistos y a los 6S como moderadamente provistos de N. Los datos de N en Bo presentaron mayor variabilidad (CV 22,61%) en relación a los 1S y 6S (CV 18,67 y 17,91%, respectivamente). La concentración de N, en el espesor de 10 - 20 cm, registró diferencias estadísticamente significativas en 1S (0,128%) con respecto a Bo (0,115%) y a 6S (0,107%). No obstante, en estas tres condiciones de uso, los suelos estarían moderadamente provistos de N. Siendo los CV de esos contenidos de N, 15,83, 20,63 y 21,21%, para Bo, 1S y 6S, respectivamente.

El análisis estadístico de los valores medios de N determinados en los 12 tratamientos, los espesores y la interacción entre ambos, mostró diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) en todos los casos.

En la Tabla 8 se pueden observar los valores medios de los contenidos de N del espesor de 0 - 10 cm, determinados en los distintos tratamientos, donde el valor máximo fue 0,256% en T1 y, el valor mínimo 0,124% en T6.

### CAPÍTULO III

**Tabla 8**

*Concentración de Nitrógeno total (N; %) y coeficiente de variación (CV; %) de los 12 tratamientos evaluados en el espesor 0 - 10 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el contenido de N entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	N (%)	CV (%)
T1	0,256 F	5,70
T2	0,154 BCD	6,61
T3	0,148 BC	7,73
T4	0,218 EF	3,25
T5	0,174 D	4,33
T6	0,124 A	7,55
T7	0,176 DE	0,91
T8	0,166 CD	4,71
T9	0,144 AB	9,67
T10	0,216 E	9,26
T11	0,166 CD	7,16
T12	0,138 AB	2,23

Asimismo, al considerar los tratamientos de igual Serie de suelo, se puede ver que, en Tolosa, T1 se diferencia significativamente de T2 y T3, en Luz (T4, T5 y T6) y en Avía Terai (T10, T11 y T12), todos se diferencian entre sí, sin embargo, en Pampa, T7 y T8 lo hacen de T9. Ahora bien, al tener en cuenta las condiciones de uso se puede ver que, en los Bo, T1 se diferencia significativamente de T7 y T10, en los 6S T3 lo hace de T6, por el contrario, en los 1S no hay diferencias entre ellos.

Los valores medios de la concentración de N determinados en los distintos tratamientos en el espesor de 10 a 20 cm se muestran en la Tabla 9.

Se puede observar que el mayor valor de concentración fue 0,138% en T8 y el menor fue 0,097% en T6. Cabe destacar que T6 presentó el valor mínimo de concentración de N, en los dos espesores estudiados.

## CAPÍTULO III

**Tabla 9**

*Concentración de Nitrógeno total (N; %) y coeficiente de variación (CV; %) de los 12 tratamientos evaluados en el espesor 10 - 20 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el contenido de N entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	N (%)	CV (%)
T1	0,126 BCD	16,46
T2	0,113 BC	23,74
T3	0,115 BC	20,11
T4	0,123 BCD	15,77
T5	0,129 CD	15,97
T6	0,097 A	26,99
T7	0,102 AB	14,54
T8	0,138 D	22,95
T9	0,113 ABC	19,35
T10	0,110 ABC	9,09
T11	0,127 CD	16,11
T12	0,104 AB	15,37

Asimismo, se observó que, entre los tratamientos de igual Serie de suelo, los contenidos de N no se diferenciaron significativamente en Tolosa, sin embargo, en Luz el T4 y el T5 se diferenciaron del T6; en Pampa el T7 y el T9 lo hicieron significativamente del T8, y en Avía Terai el T11 lo hizo del T12. Por otra parte, según la condición de uso, entre los Bo (T1, T4, T7, T10) no hubo diferencias en el contenido de N. Por el contrario, el T2 (0,113%) se diferenció del T8 (0,138%) entre los 1S, y el T3 (0,115%) lo hizo del T6 (0,097%) entre los 6S.

**3.5 FÓSFORO EXTRAÍBLE:** Los niveles de P, expresados en partes por millón (ppm), en las diferentes condiciones de uso y en los dos espesores estudiados, fueron significativamente diferentes ( $p < 0,0001$ ), no así, la interacción entre las condiciones de

### CAPÍTULO III

uso y los espesores ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, estos niveles en todos los casos clasifican a los suelos, en los espesores analizados, como muy bien provistos de este elemento.

La concentración de P, al comparar entre las condiciones de uso, fue significativamente mayor en los 1S (144,2 ppm) en relación a los 6S (121,7 ppm) y a los Bo (107,9 ppm), siendo en éstos últimos significativamente menor. Los CV fueron de 26,02%, 25,14% y 26,17% para los Bo, 1S y 6S, respectivamente. El análisis, de la concentración de P, en función a los espesores estudiados, determinó que existen diferencias significativas entre ellos ( $p < 0,0001$ ). La Tabla 10 muestra los valores medios de P determinados en los 12 tratamientos, se puede observar, que el valor máximo fue 166,81 ppm en el T2 y el valor mínimo 97,56 ppm en el T7.

**Tabla 10**

*Concentración de fósforo extraíble (P; ppm) y coeficiente de variación (CV; %) en los 12 tratamientos evaluados independientemente de los espesores. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de P entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	P (ppm)	CV (%)
T1	112,05 ABC	9,2
T2	166,81 E	6,97
T3	126,09 BC	5,53
T4	107,53 AB	9,15
T5	131,58 C	5,82
T6	122,63 BC	5,47
T7	97,56 A	10,34
T8	129,18 BC	5,95
T9	123,53 BC	5,59
T10	114,59 ABC	9,18
T11	149,27 D	5,50
T12	114,49 ABC	6,66

### CAPÍTULO III

Además, se puede observar que, el T2 se diferencia significativamente de T1 y T3 en Tolosa, T4 lo hace de T5 en Luz, en Pampa el T7 se diferencia de T8 y T9, mientras que en Avía Terai el T11 lo hace de T10 y T12, al considerar los niveles de P en tratamientos de igual Serie de suelo. Al considerar, los tratamientos por su condición de uso, no se observan diferencias significativas entre los Bo y entre los 6S, lo contrario sucede entre los 1S, siendo T2 y T11 diferentes entre ellos y distintos de T5 y T8.

**3.6 POTENCIAL HIDRÓGENO:** Los valores de pH del suelo, resultaron ser estadísticamente diferentes ( $p < 0,0001$ ) entre las condiciones de uso, sin embargo, no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los espesores estudiados. Asimismo, tampoco hubo interacción significativa ( $p > 0,05$ ).

El valor medio de pH mostró un incremento significativo, desde los Bo (6,54), a los 1S (6,93) y de éstos, a los 6S (7,11). Es decir, de acuerdo a la escala de pH (USDA, 2017), los Bo, se clasificaron como levemente ácidos, mientras que los 1S y 6S resultaron ser neutros. Los CV fueron 9,4, 5,2 y 4,3% para los Bo, 1S y 6S, respectivamente. Por otra parte, el análisis estadístico, mostró diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre los valores medios de pH del suelo de los tratamientos. Sin embargo, no fue significativa la diferencia entre los espesores, como así tampoco, la interacción entre tratamientos y espesores ( $p > 0,05$ ).

La Tabla 11 muestra los valores medios de pH determinados en los distintos tratamientos, independientemente de los espesores. El pH más alto, se determinó en el T3 con un valor de 7,18 (neutro), y el más bajo, en el T7, con un valor de 6,18 (levemente ácido). Se puede observar que las diferencias de pH, entre tratamientos con la misma serie de suelo, fueron significativas ( $p < 0,05$ ) entre T1 (débilmente ácido) de T2 y T3 (neutros), no así entre estos dos últimos. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los T4, T5 y T6 (neutros), correspondientes a suelos de la Serie Luz. Al igual que en Tolosa, T7 (levemente ácido) se diferenció de T8 y T9 (neutros), pero no hubo diferencias entre ellos ( $p > 0,05$ ), en Pampa. Por otro lado, en Avía Terai, el T12 se diferenció significativamente de los T10 y T11, aunque todos fueron clasificados como suelos neutros.

## CAPÍTULO III

**Tabla 11**

Valor medio del potencial hidrógeno (pH) y coeficiente de variación (CV; %) de los tratamientos (T1 a T12), evaluados en el espesor de 0 - 20 cm. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) de pH entre los tratamientos.

TRATAMIENTOS	Ph	CV (%)
T1	6,32	10,93
T2	7,06 CD	4,44
T3	7,18 D	4,91
T4	6,96 BCD	4,85
T5	6,90 BC	4,20
T6	7,05 CD	4,65
T7	6,18 A	8,79
T8	7,04 CD	3,87
T9	7,08 D	3,67
T10	6,71 B	8,47
T11	6,71 B	6,47
T12	7,12 D	4,05

También, por la condición de uso, entre los Bo, T1 y T7 (levemente ácidos) se diferenciaron significativamente de T4 y T10 (neutros); entre los 1S, T2, T5 y T8 (neutros) no se diferenciaron entre ellos, sin embargo, T2 y T8 lo hicieron de T11 (neutro). Asimismo, entre los 6S, no se observaron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre ellos.

**3.7 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:** La CE en las tres condiciones de uso ( $p < 0,0001$ ) y los dos espesores estudiados ( $p = 0,0008$ ), fue significativamente diferente, no así la interacción entre éstos ( $p > 0,05$ ).

El mayor valor de CE se observó en los 1S ( $0,36 \text{ dS.m}^{-1}$ ), siendo estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) al valor de los Bo ( $0,20 \text{ dS.m}^{-1}$ ) y de los 6S ( $0,23 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Sin embargo, los valores de CE medidos permiten clasificar a estos suelos como no salinos (USDA,

### CAPÍTULO III

2017), dado que se encuentran dentro de rangos que no afectan el crecimiento de las plantas. Los CV fueron de 61,87% para la condición de Bo, 55,17% para 1S y 56,07% para los 6S. El análisis estadístico de los tratamientos, determinó diferencias significativas entre ellos ( $p < 0,0001$ ). En la Tabla 12 se puede visualizar que, entre los tratamientos de igual Serie de suelo, en Tolosa el T2 se diferencia significativamente del T3.

**Tabla 12**

*Conductividad eléctrica (CE;  $dS.m^{-1}$ ) y coeficiente de variación (CV; %) en los 12 tratamientos evaluados independientemente de los espesores. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la CE entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	CE ( $dS.m^{-1}$ )	CV (%)
T1	0,28 BCD	61,88
T2	0,37 DE	71,10
T3	0,26 BC	59,66
T4	0,21 ABC	57,43
T5	0,43 E	43,78
T6	0,25 BC	45,03
T7	0,20 ABC	47,74
T8	0,38 DE	41,08
T9	0,19 AB	54,14
T10	0,13 A	42,36
T11	0,28 CD	55,71
T12	0,21 ABC	60,51

El T4 y el T6, se diferencian del T5 en Luz. Así también, en Pampa el T8 se diferencia del T7 y el T9, mientras que, en Avía Terai el T10 lo hace del T11.

## CAPÍTULO III

El valor máximo  $0,43 \text{ dS.m}^{-1}$  se observó en el T5, y el mínimo  $0,13 \text{ dS.m}^{-1}$  en el T10. Por otra parte, se puede ver, que, según la condición de uso, dentro de los Bo, el T1 se diferencia del T10; el T5 lo hace del T11, en los 1S. Mientras, que no se observan diferencias entre los 6S.

**3.8 INFILTRACIÓN BÁSICA:** La INF si bien mostró un leve aumento en la condición 1S ( $2,68 \text{ cm.h}^{-1}$ ) no se diferenció significativamente ( $p > 0,05$ ) de las condiciones Bo ( $2,42 \text{ cm.h}^{-1}$ ) y 6S ( $2,54 \text{ cm.h}^{-1}$ ). Los CV para la condición Bo, 1S y 6S fueron 47,07, 33,81 y 36,18%, respectivamente. Si bien, la variabilidad de los resultados fue alta, los CV se encuentran dentro de rangos aceptables, de acuerdo a los valores estimados para este parámetro (Pennock *et al.*, 2008).

El análisis entre los tratamientos arrojó diferencias significativas entre ellos ( $p = 0,0025$ ). La Tabla 13, muestra los valores medios de INF ( $\text{cm.h}^{-1}$ ) determinados en los distintos tratamientos. La INF máxima fue de  $3,75 \text{ cm.h}^{-1}$  en el T1 y la mínima fue de  $1,64 \text{ cm.h}^{-1}$  en el T7, ambas corresponden a tratamientos bajo la condición de uso Bo. Se puede visualizar, al comparar los tratamientos en la misma Serie de suelo, que, en Tolosa, el T3 presenta significativamente menor INF que el T1 y el T2. Tanto, en Luz (T4, T5 y T6), como en Avía Terai (T10, T11 y T12), no se observan diferencias significativas, entre los valores de INF de los tratamientos correspondientes.

## CAPÍTULO III

**Tabla 13**

*Infiltración básica (INF; cm.h<sup>-1</sup>) y coeficiente de variación (CV; %) correspondientes a los 12 tratamientos evaluados. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la INF entre tratamientos.*

TRATAMIENTOS	INF (cm.h <sup>-1</sup> )	CV (%)
T1	3,75 E	8,35
T2	3,25 DE	3,78
T3	2,47 ABC	2,17
T4	2,32 ABC	3,72
T5	2,51 ABC	3,11
T6	2,53 ABC	4,41
T7	1,64 A	8,70
T8	2,33 ABC	7,91
T9	2,88 CDE	2,24
T10	1,96 AB	6,90
T11	2,64 BCD	3,95
T12	2,29 ABC	9,78

En Pampa, se puede ver un aumento de la INF, que va desde el T7 (Bo) hasta el T9 (6S), siendo las diferencias sólo significativas entre estos dos.

Por otra parte, si se compara la INF de los tratamientos según las condiciones de uso, se destaca que, entre los Bo, el T1, se diferencia significativamente de los demás tratamientos (T4, T7 y T10). Entre los 1S, el T2 se diferencia significativamente con mayor INF, del T5 y el T8. Los 6S (T3, T6, T9 y T12), no se diferenciaron significativamente entre ellos.

**3.9 ESTABILIDAD ESTRUCTURAL:** Los resultados sugieren que la EEA se vio afectada una vez que los lotes se destinaron a la producción agrícola. No se detectó interacción ( $p > 0,05$ ) entre las condiciones de uso y los espesores sobre el CDMP. El CDMP aumentó en

### CAPÍTULO III

los 1S (0,36 mm) y luego en los 6S (0,38 mm) en relación a los Bo (0,26 mm), siendo estas diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, la menor EEA en los 6S no fue estadísticamente diferente a la evaluada luego en los 1S ( $p > 0,05$ ).

En el análisis de los 12 tratamientos se hallaron diferencias significativas entre ellos ( $p < 0,0001$ ), al igual con los espesores ( $p = 0,0011$ ), pero no ocurrió lo mismo en la interacción entre ambos, por lo que se describirán los resultados para los dos espesores en conjunto.

La Tabla 14 muestra los valores medios de CDMP determinados en los 12 tratamientos. El valor máximo fue 0,49 mm en el T9, mientras que, el valor mínimo fue 0,22 mm en el T4.

**Tabla 14**

*Cambio del diámetro medio ponderado (CDMP; mm) de los agregados en los 12 tratamientos evaluados independientemente de los espesores. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el CDMP entre los tratamientos.*

TRATAMIENTOS	CDMP (mm)	CV (%)
T1	0,33 ABC	79,6
T2	0,43 CD	41,8
T3	0,33 AB	42,2
T4	0,22 A	37,5
T5	0,32 AB	35,6
T6	0,32 AB	42,3
T7	0,24 A	35,1
T8	0,38 BC	46,0
T9	0,49 D	57,3
T10	0,26 A	32,4
T11	0,33 AB	26,6
T12	0,40 BC	37,0

## CAPÍTULO III

Los resultados de CDMP teniendo en cuenta los tratamientos de igual Serie de suelo, diferenciaron significativamente el T2 del T3, en Tolosa. En Luz, los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos, mientras que si lo hicieron en Pampa. Asimismo, en Avía Terai, el T10 presentó un valor de CDMP estadísticamente diferente al T12. Al comparar los tratamientos según la condición de uso, se observa que los Bo no se diferenciaron entre ellos. En los 1S, el T2 se diferenció del T5 y del T11, pero no del T8. Por otra parte, el T9 se diferenció de los demás (T3-T6-T12), en los 6S.

### **Análisis de correlación**

El análisis estadístico muestra que existe una alta correlación positiva entre DA y RMP (0,59), parámetros físicos asociados a compactación del suelo y entre COT y N (0,87) relacionados con la fertilidad química. Por otra parte, se obtuvo correlación negativa entre DA con COT (-0,6) y N (-0,55), y entre RMP con COT y N (-0,93 y -0,82, respectivamente).

### **Análisis multivariado**

Si bien se identificaron correlaciones entre variables que simplifican la interpretación de los efectos y diferencias entre tratamientos, se optó por utilizar todas ellas a efectos de disponer de una escena más amplia. A continuación, se presentan los resultados del ACP separados por espesores.

### **Análisis de componentes principales (CP) para el espesor de 0 a 10 cm**

Las tres primeras CP explicaron un 69,37 % de la variabilidad total. Las variables que más contribuyeron a la construcción de la CP 1 fueron la RMP y la DA en el eje positivo y el COT y el N en el eje negativo. Para la CP 2, la mayor carga la tuvieron el P y la CE y para la CP 3 la infiltración y el CDMP. Se observa que en la CP 1 se oponen parámetros físicos que indican compactación como la RMP y DA, con parámetros que indican fertilidad química como COT y N. Cuando los tratamientos no se diferenciaron por estas propiedades, lo hicieron por P y CE y las variables que tuvieron mayor peso en la CP 3 fueron la infiltración y el CDMP relacionados a la porosidad del suelo y por ende al movimiento del agua y aire.

## CAPÍTULO III

### **Análisis de componentes principales para el espesor de 10 a 20 cm**

Las tres primeras CP explicaron un 70,4 % de la variabilidad total. Las variables que más contribuyeron a la construcción de la CP 1 fueron el COT y el N en el eje positivo y la RMP en el eje negativo. Para la CP 2, la mayor carga la tuvieron el P, el pH, la DA y la CE y para la CP 3 el pH en el eje positivo y el P y la CE en el eje negativo. Se observa que en la CP 1 se oponen parámetros que indican fertilidad química como COT y N, con la RMP que está relacionada a cuestiones físicas como compactación subsuperficial. Cuando los tratamientos no se diferenciaron por estas propiedades, lo hicieron por P, pH, DA y CE y las variables que tuvieron mayor peso en la CP 3 fueron el pH, el P y la CE, todas de índole químico.

## **4. DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos, al comparar las Series de suelos representativas del sector sur del Impenetrable Chaqueño, mediante la cuantificación de parámetros edáficos, permitieron desarrollar la siguiente discusión de cada uno de ellos.

Los valores de DA se incrementaron cuando los lotes se destinaron a la producción de cultivo de soja, siendo luego de seis años donde se detectó la mayor DA en los tres espesores estudiados. Numerosos autores (Sanzano *et al.*, 2012; Rojas *et al.*, 2016; Álvarez Arteaga *et al.*, 2017; Hernández Jiménez *et al.*, 2017) mencionan incrementos de la DA cuando se destinan a la producción agrícola, en especial, en sistemas de monocultivo y bajo SD. Las menores DA encontradas en superficie (0 - 5 cm), en todos los tratamientos, estarían relacionadas con las mayores concentraciones de COT presentes en los suelos de bosques y, en los suelos cultivados se adiciona la estratificación producida bajo este sistema de labranza (Franzluebbers, 2002; Duval *et al.*, 2016). Así también, la mayor compactación en los espesores inferiores podría deberse al constante tránsito de maquinarias (Botta *et al.*, 2007; Labelle y Jaeger, 2011; Schmidt y Amiotti, 2015), a la textura franco limosa predominante en estos suelos, como así también, a la realización de operaciones agrícolas con niveles inadecuados de humedad (Rojas *et al.*, 2016), y a los menores contenidos de COT.

### CAPÍTULO III

El estudio de la DA en diferentes Series de suelos y distintas condiciones de uso evidencia que suelos con presencia de horizonte E, pero con diferencias de textura, posición en el relieve y de COT, revelaron disímiles compactaciones frente al uso agrícola. En la Serie Avía Terai, las diferencias se evidenciaron luego de seis años de monocultivo bajo SD, probablemente como consecuencia de condiciones de hidromorfismo que se producen por su drenaje algo pobre, que potencian la compactación del suelo por el tránsito de la maquinaria (Ledesma y Zurita, 2003). Sin embargo, en la Serie Tolosa aumentó luego del primer año, no obstante, se mantuvo constante tras seis años; este aumento inicial, podría ser explicado, por la disminución del COT, producto de la mezcla del horizonte A con el horizonte E por las labranzas durante la habilitación del suelo, favorecida por la baja resistencia de esta Serie al tránsito de la maquinaria, provocando el consiguiente aumento de la DA (Brest *et al.*, 1999).

En general, la RMP aumentó con los años de uso agrícola, al igual que lo informado por Draghi *et al.* (2005) y Rey Montoya *et al.* (2017), siendo la compactación menos intensa en el espesor superficial que en el subsuperficial, lo que podría estar asociado a diferencias texturales, estratificación del COT, al sistema SD (Duval *et al.*, 2016; Bonel *et al.*, 2018), y al tránsito de maquinarias asociadas a la habilitación de tierras (Aparecida Silva y Simões de Castro, 2015). Dado que RMP mayores a 2 MPa son consideradas impedancias mecánicas críticas para muchas especies (Letey, J., 1985.), se advierte que esta variable presentó altos valores en el espesor subsuperficial.

Las concentraciones de COT, disminuyeron con el cambio de uso, los años de producción agrícola y el espesor de suelo considerado. Las mayores concentraciones de COT estuvieron asociadas a los valores más bajos de DA y RMP. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por numerosos autores (Six *et al.*, 2002; Sanzano *et al.*, 2005; Taboada y Micucci, 2008; Álvarez Arteaga *et al.*, 2017; Zúñiga Ugalde *et al.*, 2018) que asocian los atributos del COT en la agregación del suelo, aireación, actividad de macrofauna en los primeros centímetros del suelo, y la estratificación bajo SD.

Las mayores concentraciones de COT se observaron en el espesor superficial, en la condición de bosques. Sin embargo, el análisis que incluyó a los suelos diferenció a las

### CAPÍTULO III

Series Tolosa y Luz, con mayores contenidos, de Pampa y Avía Terai. Estas mayores concentraciones de COT de Tolosa y Luz, estarían asociadas al tipo de bosque, ya que, en los bosques altos hay mayores aportes de restos orgánicos y la tasa de descomposición es más lenta debido a las menores temperaturas en la superficie del suelo por el efecto del sombreado (Prause *et al.*, 2012; Toledo *et al.*, 2013; Galicia *et al.*, 2015). No obstante, luego de un año de producción agrícola, todas las Series de suelo mostraron una disminución de las concentraciones de COT. Esto se debería, principalmente, a la mineralización de la fracción lábil o particulada del COT del bosque que se encontraba protegida en los agregados del suelo y que fue expuesta por las prácticas de habilitación de las tierras. (Six *et al.*, 2002; Roldán *et al.*, 2014, 2015; Conti *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2016). Asimismo, las menores e iguales concentraciones de COT determinadas, en todas las Series de suelos, luego de 6 años de producción bajo monocultivo de soja, estarían más asociadas a la baja cantidad y calidad de los rastrojos aportados al suelo en el espesor superficial (Arolfo *et al.*, 2010).

La concentración de N, al igual que ocurrió con el COT, disminuyó con el cambio de uso, los años de producción agrícola, y la profundidad, tanto en el espesor superficial como en el subsuperficial (Rojas, 2012; Toledo *et al.*, 2013). Sin embargo, en éste último, al año de producción de soja se observó un mayor contenido de N. Las condiciones generadas por la presencia del bosque, permiten en el espesor superficial del suelo, la acumulación de restos orgánicos en distintos grados de descomposición, que se traduce en suelos bien provistos de materia orgánica y N. Estos elementos, al ingresar los suelos a producción agrícola, y modificarse el ambiente que los generó, sufren un proceso acelerado de descomposición y mineralización (Silberman *et al.*, 2015; Delgado Restrepo *et al.*, 2016; Álvarez Arteaga *et al.*, 2017). Las menores concentraciones de N, en el espesor subsuperficial, determinadas en el bosque, están en concordancia con la estratificación del material orgánico en los primeros centímetros del suelo y, a la distribución natural de la biomasa radical (Arzuaga *et al.*, 2016). Sin embargo, en este espesor, luego de un año de producción agrícola, los contenidos de N aumentan respecto al observado en el bosque,

### CAPÍTULO III

lo cual estaría vinculado a la mineralización de la materia orgánica, por exposición del material orgánico protegido y la probable lixiviación.

Las concentraciones de P, en el espesor de 0 - 20 cm, en todos los tratamientos estudiados permitieron categorizar a los suelos como muy bien provistos de P (> 30 ppm) (García *et al.*, 2014b). Los suelos con un año de cultivo de soja, mostraron concentraciones de P significativamente mayores en relación a los suelos prístinos, poniendo en evidencia, la activación de algún *pool* de P no disponible anteriormente, por el efecto de la habilitación de las tierras (Six *et al.*, 2002; Galantini *et al.*, 2007). Por otra parte, el cambio de uso produjo un aumento del pH, lo cual podría deberse a una menor actividad de los iones de hierro (Fe) y aluminio (Al), en la disolución de P inicialmente precipitado (García *et al.*, 2014b). Asimismo, el incremento del pH del suelo estuvo acompañado por el de la CE, lo que hace suponer un aumento de P disponible, atribuido a las cenizas (Certini, 2005; Varela Teijeiro, 2007), producto de la quema de restos de vegetación en la habilitación de tierras (Sánchez, 1981; Paruelo *et al.*, 2004).

Sin embargo, las menores concentraciones de P observadas luego de seis años de monocultivo de soja en la capa superficial, podrían estar asociadas principalmente a las pérdidas por remoción de los productos de cosecha y, a la insuficiente reposición de los rastrojos aportados por la soja (Buschiazzo *et al.*, 2007; Aimar *et al.*, 2010).

Las mediciones de pH realizadas en los suelos bajo estudio, permitieron determinar que, al ser éstos cultivados se producen cambios en el estrato superficial. El pH del suelo se modificó, de levemente ácido a neutro (USDA, 2017), cuando la condición de uso cambió de bosque a producción agrícola. Estos cambios en el pH, podrían tener múltiples causas, siendo una de ellas, como ya se mencionó anteriormente, el efecto de las cenizas en la solución del suelo, provenientes de las actividades de habilitación posteriores al desmonte, condición coincidente con lo encontrado en suelos de bosques recientemente habilitados para uso agrícola en Chaco (Varela Teijeiro, 2007; Rojas, 2012).

La CE también se incrementó ligeramente en el primer año de cultivo en relación a los bosques, en todos los suelos, con valores superiores en la capa superficial respecto a la subsuperficial. Esto, al igual que el aumento del pH y P, podría atribuirse a la presencia

### CAPÍTULO III

de cenizas producto de la quema de restos en el desmonte. Posteriormente, después de seis años de monocultivo, la CE disminuye, posiblemente debido al lavado de las sales solubles. No obstante, todos los valores son muy bajos (siempre en el rango de suelos no salinos), en coincidencia a lo encontrado por Campitelli *et al.* (2010) y Rojas *et al.* (2016).

Las mediciones de INF realizadas, no permitieron determinar diferencias entre condiciones de uso, sin embargo, se observaron discrepancias importantes entre tratamientos. Estas modificaciones en los estratos superficiales afectan propiedades físicas e hidráulicas, y podrían tener múltiples causas. En Tolosa, al año de la siembra, disminuyó la INF, posiblemente por la menor porosidad total del suelo y al aumento de la DA, como consecuencia del efecto de la mezcla del horizonte A con el horizonte E en las operaciones de habilitación, lo cual coincide con lo hallado por Rojas (2012) en igual Serie de suelos. En Pampa sucedió lo contrario, inicialmente la INF presentó valores bajos, lo cual ya fue descrito por Brest *et al.* (1999), y luego de uno y seis años de agricultura la INF se incrementó, ello podría deberse al cambio de uso, el cual reduciría el efecto del encostramiento superficial presente en este suelo en condiciones prístinas.

La EEA, determinada a través del CDMP, fue directamente proporcional a las concentraciones determinadas de COT. Numerosos autores, (Tisdall y Oades, 1982; Buchmann y Schaumann, 2018), mencionan que la EEA depende de los materiales orgánicos del suelo, pudiendo ser éstos transitorios, temporarios y persistentes y mencionan al COT como el principal agente ligante de las partículas minerales del suelo. El CDMP fue menor en los tratamientos con bosques respecto a las otras condiciones de uso, lo que estaría en concordancia con los mayores niveles de COT evaluados en éstos, con respecto a los determinados bajo cultivo. Cacchiarelli *et al.* (2008) y Tiwari *et al.* (2018), mencionan que los agregados son frecuentemente expuestos a una disrupción física, producto de la actividad agrícola, resultando en una menor cantidad de agregados estables al agua. Tal como se esperaba, los resultados muestran una marcada disminución de la EEA al año de siembra, debido al gran disturbio ocasionado por las actividades de desmonte, y habilitación de las tierras (Caruso y Miranda, 2012). Por otra parte, luego de seis años de cultivo, las diferencias observadas entre tratamientos podrían deberse a las

### CAPÍTULO III

concentraciones originales de COT (0 - 10 cm), donde aquellas Series de suelos con mayores contenidos fueron resilientes (To) o se mantuvieron estables (Lj) (Studdert *et al.*, 2005; Rojas *et al.*, 2015; Duval *et al.*, 2016).

Las mediciones de algunas variables, pusieron en evidencia la importancia de tomar la Serie de suelo como determinante para la evaluación de indicadores de suelo, ya que, de no hacerlo, las diferencias entre condiciones de uso podrían quedar enmascaradas.

El análisis de correlación de las variables edáficas indicó que a mayores contenidos de COT y N hay menores valores de DA y RMP; esto podría relacionarse a las propiedades del COT en la estructuración del suelo y su efecto en la dinámica del N (Blanco Sepúlveda, 2009; Campitelli, *et al.*, 2010; Hernández Vigoa, *et al.* 2018).

Los resultados de los ACP contribuyeron a detectar y seleccionar las variables COT, DA, RMP, INF y CDMP y revelar interrelaciones, confirmando su utilidad ya mencionado por numerosos autores (Jaramillo *et al.*, 2011; Rojas *et al.*, 2015; Villazón Gómez *et al.*, 2017), suministrando información para la diferenciación de los tratamientos.

Se ha puesto de manifiesto que las Series de suelos estudiadas presentan distintos comportamientos al ser destinadas al uso agrícola, específicamente al monocultivo de soja. Estas diferencias se dan fundamentalmente por causas debidas a la degradación ocurrida producto de la gestión productiva (Studdert *et al.*, 2005; Duval *et al.*, 2016), lo cual fue claramente manifestado en las variables analizadas, que redundan en la provisión de agua, aire y oferta de nutrientes. Al considerar las distintas Series de suelos, Avía Terai es la que mayores cambios presenta en los indicadores medidos desde que es destinada a la producción agrícola y luego de seis años de monocultivo. Lo contrario sucede con Tolosa en la que, se modifican algunos valores muy levemente, no afectando su aptitud de uso, al menos en el período estudiado. En Luz y Pampa ocurren cambios que afectan sus desempeños productivos, fundamentalmente en las impedancias mecánicas; en la primera, probablemente asociados, en parte, a su textura rica en limo (Zurita *et al.*, 2012); y en la segunda, posiblemente debido a características genéticas propias inherentes a su conformación morfológica, tales como el escaso espesor del horizonte A y un horizonte B

### **CAPÍTULO III**

moderadamente textural (Ledesma y Zurita, 1995b; Brest *et al.*, 2007) que inciden en la profundización y exploración de las raíces del cultivo.

Los resultados obtenidos indican que los suelos estudiados, luego del desmonte, y al ser destinados al uso agrícola con cultivo de soja, con diferentes años de antigüedad, son afectados negativamente en los parámetros analizados.

#### **5. CONCLUSIONES**

Se confirmó que los suelos destinados al cultivo de soja luego del desmonte poseen distinta susceptibilidad a la degradación, y que la conformación morfológica y las propiedades físicas y químicas, condicionan el desempeño ante el impacto del uso agrícola, revelado fundamentalmente por incrementos en la manifestación de las impedancias mecánicas.

Se demostró la importancia de considerar la Serie de suelo como determinante para la comparación de indicadores de suelo entre condiciones de uso, además del tipo de cobertura. Las Series de suelos deberían ser tenidas en cuenta en la planificación de las actividades productivas, dado que inciden en el resultado de los emprendimientos y en la conservación de los recursos naturales.

La tendencia de degradación de los suelos indicó claramente que el monocultivo de soja en SD, impacta negativamente sobre las propiedades del suelo, de manera diferente según el tipo de suelo. Sería conveniente continuar las investigaciones para verificar si la tendencia que manifiestan los indicadores persiste en el tiempo.

Esta investigación aporta conocimientos tendientes a la conservación de la calidad de los suelos de la región, generando elementos técnicos y científicos, que apoyen la creación de políticas adecuadas para la planificación del uso sustentable de las tierras.

#### **6. AGRADECIMIENTOS**

La información presentada en este trabajo es parte de la Tesis de Maestría del primer autor, como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina.



### CAPÍTULO III

Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y está disponible con acceso abierto en el Repositorio Hipermedial UNR de la Universidad Nacional de Rosario (<http://rephip.unr.edu.ar/>) y en INTA Digital (Repositorio Institucional-Biblioteca Digital) (<https://repositorio.inta.gob.ar/>).

#### REFERENCIAS

- Aimar, S.B., Iturri, A., Rojas, J. M., Guevara, G. y De Buschiazzo. (2010). Nutrient losses by wind erosion in an Entic Haplustoll of Chaco, Argentina. Conferencia; ICAR VII International Conference on Aeolian.
- Álvarez Arteaga, G., García Fajardo, B., Orozco Hernández, ME; Mireles Lezama, P. y Contreras Martínez, J. (2017). Estimation of carbon stocks under different soil uses in the central highlands of Mexico. *Acta Agronómica*, 66 (1): 21-26.
- Aparecida Silva, A. y S Simões De Castro. (2015). Transformações no uso da terra e na estrutura de solos no Cerrado em áreas de expansão da canade- açúcar: o caso da microrregião de Quirinópolis, Goiás. *Revista Ateliê Geográfico* 9 N°2: 114. Complementary Index, EBSCOhost.
- Arolfo, RV., Bedano, JC y Becker, AR. (2010). Effects of transgenic soybean cultivation under no-tillage on soil mite taxocenosis in Haplustolls of Central Córdoba. *Ci. Suelo*, 28 (2): 191-200.
- Arzeno, J. (2008). Guía Técnica. Proyectos de habilitación de tierras para su uso sustentable. INTA EEA Salta.
- Arzuaga, SA., Toledo, DM., CONTRERAS LEIVA, SM y VÁZQUEZ, S. (2016). Stocks y relaciones de estratificación del carbono y nitrógeno en Oxisoles bajo sistemas forestales. *Ci. Suelo*, 34 (1): 13-20.
- Blanco Sepúlveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, 43(3), 231-239.
- Boletín Oficial DE Chaco. (2018). Disposición N° 300/18. Subsecretaría de Recursos Naturales. Novedades normativas en materia ambiental.

### CAPÍTULO III

- Bonel, BA., NC Di Leo y Montico, S. (2018). Evaluación de la compactación de suelos en sistemas de producción del sur de Santa Fe. Capítulo 11. Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos. 344-374.
- Botta, GF., O Pozzolo, O., Bomben, M., Rosatto, H., Rivero, D., Ressia, M., Tourn, M., Soza, E. y Vazquez, J. (2007). Traffic alternatives for harvesting soybean (*Glycine max* L.): Effect on yields and soil under a direct sowing system. *Soil & Tillage Res.* 96: 145-154.
- Brest, EF., Melgratti, MR., López, AE. y Zurita, JJ. (1999). Evaluación del impacto ambiental en áreas transformadas. Proyecto 510. Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación. Convenio SRNyDS-INTA-GTZ.
- Brest, EF, López, AE. y Zurita, JJ. (2007). Zonificación agroedáfica. Atlas climático Región Noreste. Oficina de Riesgo Agropecuario. [http://www.ora.gob.ar/eval\\_atlas\\_nea.php](http://www.ora.gob.ar/eval_atlas_nea.php).
- Brest, EF; López, AE. y Zurita, JJ. (2018). Fragipanes en la provincia del Chaco: identificación, propiedades y distribución. Capítulo 2. Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos. pp. 58-88.
- Buchmann, C. y Schaumann, GE. (2018). The contribution of various organic matter fractions to soil–water interactions and structural stability of an agriculturally cultivated soil. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 181: 586-599.
- Buschiazzo, DE; Zobeck, TM. y Abasca, SA. (2007). Wind erosion quantity and quality of an Entic Haplustoll of the semi-arid pampas of Argentina. *Journal of Arid Environments.* 69: 29–39.
- Cacchiarelli, J., Galantini, JA., y Rosell, RA. (2008). Estabilidad estructural y P en fracciones de agregados en la cuenca del A<sup>o</sup> El Divisorio (Coronel Pringles, BA). *Ci. Suelo*, 26 (1): 71-79.
- Campitelli, P., Aoki, A., O Gudel, O., A Rubenacker, A. y Sereno, R. (2010). Soil quality indicators of the effects of land use and agricultural practices in a pilot area of the central region of Córdoba. *Ci. Suelo*, 28 (2): 223-231.
- Caruso, H. y Miranda, S. (2012). Efecto del método de desmonte sobre los indicadores de calidad del suelo y la condición de las pasturas en el Chaco semiárido salteño. *AgriScientia*, v. 29, n. 2, 2012.

### CAPÍTULO III

- Casas, R. y Michelena, R. (1983). La degradación de los suelos y la expansión de la frontera agropecuaria en el Parque Chaqueño Occidental. Séptima Reunión Nacional para el Estudio de las regiones áridas y semiáridas. San Luis. Buenos Aires. IDIA N°36:141-146.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. USDA, 2017. Soil Survey Manual. Handbook No. 18. (3). *Oecología* 143: 1–10.
- Conti, ME., González, MG., Gómez, E., Ferrero Holtz, E. y Moreno, G. (2014). Soil organic carbon fractions as influenced by soybean cropping in the humid Pampa of Argentina. *Terra Latinoamericana*, 32(3): 195-200.
- Cuadra, DE. (2012). La problemática forestal en la provincia del Chaco, Argentina. Un análisis desde la geografía. *Revista Geográfica Digital*. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 9. N° 18. <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default>.
- Cuadra, DE y Mónaca, NA. (2016). El centro-sudoeste de la provincia del Chaco (Argentina): Un bastión agrícola. *Revista Geográfica Digital*. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 13. N° 26. <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm>.
- De Boodt, M. y De Leenheer, L. (1967). West European Methods for Soil Structure Determination, VII. The State Faculty Agricultural Sciences. Gent. Bélgica. 60-62.
- Delgado Restrepo, OM., Menjivar Flores, JC. y Muñoz Arboleda, F. (2016). Influence of management systems on the nitrogen mineralization and fertilization of sugarcane. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 69 (1): 7755-7762.
- Di Rienzo, JA., Casanoves, F., MG Balzarini, MG., González, L. Tablada, M. y Robledo, CW. InfoStat versión (2016). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL.
- Draghi, LM; Botta, GF., Balbuena, RH, Claverie, JA. y H Rosatto, H. (2005). Differences in mechanical conditions of a clayey soil under different tillage systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9 (1): 120-124.
- Duval, ME., Galantini, JA., Martínez, JM. y Iglesias, JO. (2016). Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ci. Suelo*, 34 (2): 197-209.

### CAPÍTULO III

- Franzluebbers, AJ. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Res.* 66: 95-106.
- Galantini, JÁ., Suñer, LG. y Iglesias, JO. (2007). Sistemas de labranzas en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fosforo en el suelo. *RIA.* 36 (1): 63–81. INTA. Argentina.
- Galicía L., Saynes, V. y J Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Bot.* 93 (3): 473-484.
- García, M., Román, M. y González, MC. (2014a). Desmonte y soja en una provincia del norte argentino: implicaciones ecosistémicas y socioeconómicas. *Ambiente y Desarrollo,* 18 (34): 109-124.
- García, FO; Picone, LL. y Ciampitti, IA. (2014b). Fósforo. en: Echeverría, HE y FO García (eds.). *Fertilidad de suelo y fertilización de cultivos.* 2da. Ed. Ediciones INTA. 229–264.
- Gil, RC. (2006). Infiltrómetro-Permeámetro de disco. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy.
- Hernández Jiménez, A., Vera Macías, I., Naveda Basurto, CA., Guzmán Cedeño, Á., Monserrate, M., Vivar Arrieta, Roberto Zambrano, T., Mesías Gallo, F., Ormanza, K., Aguilar, L., Venancio, R. y López Alava, GA. (2017). Variations in some soil properties because of the land use change in the middle and low parts of the Membrillo micro-watershed, Manabi, Ecuador. *Cultivos Tropicales,* 38 (1): 50-56.
- Hernández Vigoa, G., Cabrera Dávila, G., Izquierdo Brito, I., Socarrás Rivero, AA., L Hernández Martínez, L., y JA Sánchez Rendón, JA. (2018). Indicadores edáficos después de la conversión de un pastizal a sistemas agroecológicos. *Pastos y Forrajes,* 41(1), 3-12.
- Iram-Sagyp 29570-1. (2010). Determinación de fósforo extraíble en suelos - Parte 1 - Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con solución de fluoruro de amonio - ácido clorhídrico). Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Iram - Sagpya 29571-2. (2011). Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2: Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

### CAPÍTULO III

- Iram-Sagyp 29574. (2011). Determinación de pH en suelo para uso agropecuario. Esquema A1. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Jaramillo, DF., Anaya Gómez, ML., Restrepo Moná, CA., González Sánchez, HÁ. y Álvarez Mejía, F. (2011). Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 46 (12): 1707-1715.
- Jorajuría Collazo, D. (2004). La resistencia mecánica a la penetración como parámetro mecánico del suelo. En: Filgueira, R y F Micucci (Ed.) *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría*. Editorial de la Universidad de la Plata. Colección Naturales. pp. 43-53.
- Klingebiel, AA. y Montgomery, PH. (1964). Clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras. Departamento de Agricultura de EE.UU. Servicio de Conservación de Suelos. Manual de Agricultura Nº 210. Centro Regional de Ayuda Técnica (AID) Méjico.
- Labelle, ER y Jaeger, D. (2011). Soil Compaction Caused by Cut-to-Length Forest Operations and Possible Short-Term Natural Rehabilitation of Soil Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75 (6): 2314-2329.
- Ledesma, LL. y Zurita, JJ. (1995a). Los suelos de la Provincia del Chaco, República Argentina. INTA - Gobierno del Chaco.
- Ledesma, LL. y Zurita, JJ. (1995b). Carta de suelos de la República Argentina. Los suelos del Departamento General Belgrano. INTA - Gobierno del Chaco. (<https://inta.gob.ar/documentos/mapa-de-suelo-departamento-belgrano>).
- Ledesma, LL. y Zurita, JJ. (2003). Carta de suelos de la República Argentina. Los suelos del Departamento Comandante Fernández. INTA - Gobierno del Chaco. (<http://cedei.produccion.chaco.gov.ar/cartas-de-suelos/>).
- Letey, J. (1985). Relationship between soil properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1:273-294.
- Moro, EC., Ingaramo, OE., Venialgo, CA. y Gutierrez, NC. (2005). Infiltración en un Argiustol Údico con diferentes sistemas de uso en el departamento 9 de Julio, Chaco. *Agrotecnia* 14. pp. 14-19.

### CAPÍTULO III

- Olivares, R., Zurita, J., Parera, J., Brest, EF. y López, AE. (2005). Evaluación de tierras. Regulación de la Frontera Agropecuaria. Ministerio de la Producción del Chaco.
- Olivares, R. y Mansilla, CN. (2010). Evaluación de la situación actual de los suelos de la Provincia del Chaco. Dirección de Suelos y Agua Rural. Subsecretaría de Recursos Naturales. Ministerio de Producción y Ambiente.
- Paruelo, JM., Oesterheld, M. Del Pino, F., Guerschmann, JP., Verón, SR., Piñeiro Guerra, G., Volante, J., Baldi, G., Caride, C., Arocena, D., Vasallo, M., Porfirio, L. y Durante, M. (2004). Patrones Espaciales y Temporales de la Expansión de Soja en Argentina: Relación con Factores Socio-Económicos y Ambientales. Informe final LART/ FAUBA al Banco Mundial.
- Pennock, D., Yates, T. y Braidek, J. (2008). Soil Sampling Designs. In: Carter, MR & EG Gregorich (eds.). 2008. Soil Sampling and methods of analysis. 2nd. Ed. Taylor & Francis Group. LLC. 25-39.
- Perucca, SC. y Kurtz, DB. (2016). Evaluación de tierras para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Agrotecnia* 24: 11-16.
- Pla, I. (2013). Análisis crítico de la calidad de suelos y sus indicadores. *Suelos Ecuatoriales*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 43 (1): 1-81.
- Prause J.; Fernandez López, C., Contreras Leiva, SM. y Gallardo Lancho, JF. (2012). Aporte y descomposición de hojas y re-absorción de N, P y K en un bosque primario de *Schinopsis balansae Engler* con y sin manejo silvopastoril en el Parque Chaqueño Húmedo. FACENA. Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. FACDYA, Vol. 28, pp. 41-50.
- Rey Montoya, TS., Paredes, FA., Dalurzo, HC., Fernández Lopez, C. y Kersting, RM. (2017). Propiedades Físicas de un Argiudol Ácuico bajo diferentes sistemas de manejo. *Ci.Suelo*, 35 (1):171-180.
- Rojas, JM. (2012). Indicadores de calidad de suelos desmontados y destinados a la producción agrícola en el Área piloto de la Ecorregión Chaqueña. Tesis Maestría en

### CAPÍTULO III

- Ciencias Agrarias Orientación: Producción Sustentable. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán.
- Rojas, JM., Roldán, MF. y Guevara, GS. (2015). Influencia de rotaciones en la calidad del suelo en la zona central del Chaco y su relación con la producción de algodón. *Ci. Suelo*, 33 (2): 239-246.
- Rojas, JM., Prause, J., Sanzano, GA., Arce, OEA y Sánchez, MC. (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil & Tillage Res.* 155: 250-262.
- Rojas, JM. y Zurita, JJ. (2017). Ecorregión Chaqueña. Agricultura de secano en siembra directa sobre suelos forestales sujetos a cambios en el uso del suelo. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. pp. 19– 199.
- Roldán, MF., Studdert, GA., Videla, C., Picone, L. y San Martino, S. (2015). Cambios de distribución de las fracciones de carbono orgánico en agregados del suelo en relación a su situación prístina. En: Impacto de los sistemas actuales de cultivos sobre las propiedades químicas del suelo. (Eds. Sa Pereira *et al.*), pp. 118-122.
- Sánchez, PA. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo. 1ra. Ed. IICA. Costa Rica.* 354-421.
- Sanzano, GA; RD Corbella; JR García y GS Fadda. (2005). Degradación física y química de un Haplustol Típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ci. Suelo*, 23 (1): 93-100.
- Sanzano, GA; C Hernández; M Morandini; F Sosa; H Rojas Quinteros; C Sotomayor y J Romero. (2012). Evaluation of soil compaction under no tillage systems in the Chacopampeana Plain in Tucumán, Argentina. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 89 (1): 31-38.
- Schmidt, E; y N Amiotti. (2015). Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ci. Suelo* 33 (1): 79-88.
- Silberman, JE; AL Arinques; JA Domínguez Núñez; CG Kunst y AS Albanesi. (2015). La cobertura arbórea en un sistema silvopastoril del Chaco y su contribución diferencial al suelo. *Ci. Suelo* 33 (1): 11-17.

### CAPÍTULO III

- Six, J; RT Conant; EA Paul y K Paustian. (2002). Stabilization mechanisms for soil organic matter: implications for C saturation of soils. *Plants Soil*, 141: 155–176.
- Sobral, R. (2009). Proyecto Específico: Aplicación de sistemas de evaluación de la aptitud actual y potencial de las tierras para el ordenamiento territorial (OT). Programa Nacional ecorregiones. INTA.
- Stengel, P. (1983). *Analyse de la porosité. Séminaire CEE - Agrimed, 14-18 p. Mars, INRA, Avignon.*
- Stolf, R. (1991). Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 15 (2): 229-35.
- Studdert, GA; Domínguez, GF., Eiza, MJ. y VIDELA, CC. (2005). Manejo de cambios en el suelo a través de rotaciones de cultivos y labranzas en el sudeste bonaerense: algunos resultados de ensayos de larga duración. Simposio Impacto de la intensificación de la agricultura sobre el recurso suelo. Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo - Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Colonia del Sacramento, R.O. Uruguay.
- Taboada, MA y Micucci, FG. (2008). Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. En: Taboada, MA y CR Álvarez (eds). *Fertilidad física de los suelos*. 2da. Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina. pp. 94–151.
- Tisdall, JM, y Oades, JM. (1982). Organic matter and water - stable aggregates in soils. *Soil Sci.* 33 (1):141-163.
- Tiwari, R; Naresh, RK., Vivek, Jat, L., Purushattom, Suniti y Singh, A. (2018). Soil aggregation and aggregate associated organic carbon fractions and microbial activities as affected by tillage and straw management in a rice-wheat rotation: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7 (5): 2865-2893.
- Toledo, DM., Galantini, JA., Ferreccio, E., S Arzuaga, S., Gimenez, L. y Vázquez, S. (2013). Indices and indicators of soil quality in natural and cultivated red soil systems. *Ci. Suelo*, 31 (2): 201-212.

### CAPÍTULO III

- United States Department of Agriculture (USDA, 1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos.
- United States Department of Agriculture (USDA, 2017). Soil Survey Manual. Handbook N° 18. (3).
- Varela Teijeiro, MF. (2007). Efectos de los incendios forestales en la degradación física de los suelos de Galicia. Universidad de Vigo. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Facultad de Biología. (<http://www.cesam.ua.pt/files/TESIS%20M.E.%20VARELA.pdf>).
- Villazón Gómez, JA., Gutiérrez, GM. y Cobo Vidal, Y. (2017). Análisis multivariado de las propiedades químicas de los suelos pardos erosionados. *Revista Centro Agrícola*, 44 (1): 56-62.
- Volante, JN., MJ Mosciaro, MJ., Alcaraz Segura, D., Vale, LM., Viglizzo, EF. y Paruelo, JM. (2014). Dinámica del avance de la frontera agropecuaria y cambios funcionales en ecosistemas del Noroeste de Argentina. *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina*. Capítulo 27. Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Walkley, A. y Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, as a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zerpa, G. (2006). Degradación de suelos de uso pasturil. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario.
- Zúñiga Ugalde, F., Huertas, J., Guerrero, G., Sarasty, J., Dörner, J. y Burbano Orjuela, H. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *Revista Terra Latinoamericana*. [S.l.], 36 (2): 183-196.
- Zurita, JJ. (2007). Carta de suelos de la República Argentina. Los suelos del Departamento General Güemes. INTA - Gobierno del Chaco. <https://inta.gob.ar/documentos/mapa-de-suelo-departamento-guemes>.