



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

MODALIDAD: PASANTÍA

Título: “Medición de la resistencia mecánica a la penetración en un suelo Argiudol con manejo de base agroecológica”

Autor: Wirz, Juan Martín

Asesora: Ing. Agr. (Dra.) Rey Montoya, Tania Soledad

Tribunal evaluador: Ing. Agr. (Mgter.) Cespedes Flores, Flora Elizabet
Ing. Agr. (Mgter.) Gándara, Luis
Ing. Agr. (Dr.) Stahringer, Nicolás Ignacio

AÑO 2022.

Índice:

Tema

Introducción..... 3

Objetivos..... 4

Tareas a desarrollar..... 4

Materiales y métodos..... 7

Resultados y discusiones..... 14

Conclusión..... 15

Bibliografías..... 16

Introducción:

La resistencia mecánica a la penetración, es un atributo físico considerado en la evaluación de la calidad de un suelo. Es habitualmente adoptado como indicador de procesos de compactación por tener una relación directa con el crecimiento de las plantas, afectada especialmente por el contenido hídrico del suelo, aunque también por su textura, condición estructural y contenido orgánico.

La resistencia a la penetración es un indicador de nivel de compactación de un suelo. La compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces (Herrick y Jones, 2002; Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003). Una forma de medir la resistencia a la penetración es calcular la resistencia del suelo al movimiento de un cono de penetración, y dividirla entre la profundidad de penetración. Los penetrómetros pueden ser estáticos o dinámicos. Los estáticos miden la fuerza empleada para empujar una sonda en el suelo a una velocidad constante, en tanto que los penetrómetros dinámicos miden la resistencia a la penetración al golpear la sonda repetidamente en suelo. (Herrick y Jones (2002)), evaluaron el uso práctico de ambos tipos de penetrómetros y llegaron a la conclusión de que los dinámicos son instrumentos confiables, durables y de bajo costo que permiten evaluar la compactación del suelo; además, pueden ser utilizados por operarios sin experiencia. Todos los penetrómetros son sensibles a las diferencias que existen en la humedad, densidad aparente, textura del suelo y contenido orgánico (Vaz y Hopmans, 2001; Herrick y Jones, 2002).

Según Restovich et al. (2011), el uso de cultivos de cobertura en sistemas agrícolas intensificados aumenta la cantidad de materia orgánica (Constantin et al., 2010) y mejora el estado físico del suelo, favoreciendo la agregación, aumentando la infiltración y la porosidad total, y disminuyendo la compactación (Magdoff y Weil, 2004). La implementación de los cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas actuales poco diversificados podría constituir una herramienta agronómica para mitigar la degradación física de los suelos, entre otros beneficios. Álvarez et al., 2017, concluyen que las propiedades físicas del suelo mejoraron cuando se reemplazó el período de barbecho por cultivos de cobertura.

Los cultivos de cobertura promueven la permanencia de raíces a lo largo del año, las que participan en la formación de poros del suelo mientras que diversifican y estabilizan los hábitats de la macro y microfauna (Chenu et al, 2000; Cosentino et al., 2006). La labranza cero o siembra directa (SD) promueve también un aumento sensible de la abundancia y de la actividad de la macro, meso y microfauna (Zaccagnini y Calamari, 2001). Así, en sistemas bajo SD y aún más cuando se incluyen CC es esperable modificaciones en los procesos mediados por la biología del suelo. Así, los suelos más sensibles a la actividad biológica, como aquellos que poseen alto porcentaje de limos o con arenas muy finas, verán modificada su arquitectura y diseño espacial de acuerdo a la actividad, cantidad y disposición espacial de los microorganismos del suelo. Es esperable que los distintos manejos agrícolas se vinculen directamente con los factores que determinan la dinámica de la estabilidad de la estructura del suelo. En general, la eficacia de los CC en promover mejoras químicas, físicas y biológicas dependen del tipo de suelo, condición dinámica y especies incorporadas.

LUGAR DE REALIZACIÓN:

Se trabajó en un ensayo llevado a cabo por el grupo de Agricultura Familiar y en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Vegetales del grupo de Recursos Naturales de la Estación Experimental Corrientes del INTA en El Sombrero, Provincia de Corrientes.

OBJETIVOS:

Los objetivos propuestos fueron:

Adquirir experiencia en muestreo de suelos y en medición de la resistencia mecánica a la penetración.

Relacionar el contenido orgánico del suelo con los valores de resistencia mecánica a la penetración.

Comparar los cambios en las condiciones edáficas respecto de la situación cultivada con y sin cobertura de suelo.

Tareas Desarrolladas:

Se participó en la realización de un ensayo en condiciones controladas en la Estación Experimental Corrientes del INTA en El Sombrero, Provincia de Corrientes. Los suelos pertenecen a la Serie Treviño, clasificado por el Soil Taxonomy, 2014 como Argiudol acuértico, descrito por Escobar et al., 1996.

Dentro de los Argiudoles, están los mejores suelos para la agricultura. Son muy difundidos en Corrientes y se ubican principalmente en albardones disectados y sectores con pendientes suaves. La secuencia de horizontes es: A, Bt y C. El A es mólico, el Bt es argílico y puede presentar concreciones de carbonato de calcio (Btk). El subgrupo ácuico presenta moteados dentro de los 40 cm., desde la superficie.

Se trabajó sobre un experimento factorial empleando un diseño en parcelas divididas con estructura en bloques completamente aleatorizados (DBCA) para evaluar el desempeño de los cultivos y su efecto en el suelo. Sobre el factor principal, cultivo, se asignaron de manera aleatoria los niveles del otro factor (cultivos de cobertura) según se detalla en la Tabla 1.

Se utilizaron como cultivos de renta Maíz (*Zea mays*), Caupí (*Vigna unguiculata*) y Mandioca (*Manihot esculenta*) como cultivos de cobertura utilizamos avena como cobertura de invierno y caupí como cobertura de verano.

Tabla 1. Factores (parcela principal) y niveles (subparcelas) a evaluar en las combinaciones (tratamientos).

	Factores		Tratamiento
	Cultivo principal renta (CRP) Parcela principal	Cultivo de cobertura (CC) Subparcela	
	Parcela principal Cultivos principal (CP)	Subparcela Cultivo de cobertura (CC)	
Niveles	Mandioca	Sin CC	Mn-SCC
		CC verano – Caupí	Mn-Ca
		CC invierno – Avena negra	Mn-Av
		CC verano-invierno – Caupí+Avena	Mn-Ca+Av
	Maíz	Sin CC	Mz-SCC
		CC verano – Caupí	Mz-Ca
		CC invierno – Avena negra	Mz-Av
		CC verano-invierno – Caupí+Avena	Mz-Ca+Av
	Caupí	Sin CC	Ca-SCC
		CC verano – Caupí	Ca-Ca
		CC invierno – Avena negra	Ca-Av
		CC verano-invierno – Caupí+Avena	Ca-Ca+Av

Cada tratamiento (Tabla 1) se asignó al azar en parcelas principales de 240 m²; a su vez, las parcelas principales se dividieron en cuatro subparcelas de 80 m² para evaluar los efectos de los cultivos de servicio.

Previo a la implantación de los cultivos estivales se realizó la medición de resistencia mecánica a la penetración utilizando para ello un penetrómetro de punta cónica, y al mismo tiempo se tomó muestras para determinar humedad presente con un barrenador y se tomarán muestras con pala para determinación de materia orgánica.

Variables	Unidad	Método
Materia orgánica	%	Oxidación húmeda con dicromato de K.
Resistencia mecánica a la penetración de raíces	MPa	Pla Sentis, 1996
Contenido de agua	%	Método gravimétrico

Los resultados de los análisis físicos y químicos basados en la masa del suelo con humedad, fueron ajustados o normalizados con base en el “suelo seco a estufa”, valor obtenido por el método gravimétrico y lo llamamos corregidos por factor de humedad

Método para determinar contenido de materia orgánica (%):

Procedimiento:

Grado de molienda del suelo: La mayoría de los autores recomiendan un grado de molienda del suelo tal que pase por un tamiz de 0,5 mm para asegurar una mayor recuperación del CO y evitar errores de submuestreo.

Temperatura de reacción: La relación 2:1 de ácido:dicromato, indicada originalmente por Walkley y Black (1934) resulta ser la óptima para alcanzar temperaturas cercanas a los 120-140°C, y para ello es conveniente una rápida disolución del ácido, lograda a través de la agitación orbital del recipiente de reacción (tubo o erlenmeyer), evitando que queden partículas de suelo adheridas a las paredes del mismo y fuera del alcance de la mezcla oxidante. El nivel de oxidación dependerá no sólo de la temperatura máxima alcanzada, sino también de la persistencia del calor generado. Por ello tanto el recipiente utilizado en la reacción como el grado de aislamiento del medio son factores determinantes que regulan el control de la temperatura y que necesariamente deben ser normalizados.

Factor de conversión de C oxidable a C orgánico: En su trabajo publicado en 1934, Walkley y Black, encuentran que, para los veinte suelos ensayados, el porcentaje de C recuperado promediaba el 77 %, proponiendo el uso de un factor de 1,3 para expresar los resultados en porcentaje de carbono orgánico. Trabajos posteriores confirman en general ese valor medio, pero ponen de relieve la gran variabilidad para los diferentes tipos de suelos.

Oxidación de la MO:

Se pesaron en un Erlenmeyer 0,5 g de suelo tamizados por tamiz N° 35.

A continuación, se añadieron mediante una pipeta 2,5 ml de $K_2Cr_2O_7$, sobre el suelo, mezclando ambos mediante un movimiento impreso al Erlenmeyer. Se añade seguidamente 5 ml de H_2SO_4 concentrado y se sigue mezclando mediante un giro suave durante 1 minuto, para asegurar el íntimo contacto del reactivo con el suelo, con cuidado para evitar que el suelo quede adherido a las paredes del Erlenmeyer fuera de contacto con el reactivo. Se deja la mezcla en reposo durante 30 minutos, luego se agregan 15 ml de agua destilada con el fin de cortar la reacción.



En este método la única fuente de calor es el ácido sulfúrico agregado, por ello es importante el aislamiento del medio. Los factores que regulan y controlan la temperatura son: El tamaño del recipiente Erlenmeyer muy grandes provocan mayor pérdida de calor. Hay que tener en cuenta también la superficie de apoyo de los Erlenmeyer para conservar el calor.



Valoración por retroceso:

Se diluye la solución con 15 ml de agua destilada y se añade 1 ml de H_3PO_4 al 85% y 1 ml de ferroína. Se valora la solución por retroceso con el reductor “sal de Mohr” agregado gota a gota por una bureta. El color marrón oscuro (debido a los iones cromo) en un principio se desplaza hacia un color rojo brillante medida que avanza la valoración. En el punto final este color es rojo brillante, dando el viraje con una gota. El agregado de H_3PO_4 antes de la titulación mejora notablemente la definición del punto final al eliminar los iones férricos del sistema.



Calculos:

$$\text{Carbono orgánico \%} = \frac{A}{B} \left(1 - \frac{M}{P} \right) \cdot \text{fc}_1$$

B P

Dónde:

A: volumen (ml) de dicromato de potasio 1N utilizados.

M: volumen (ml) de sal Mohr consumidos por la muestra problema.

B: volumen (ml) de sal Mohr consumidos por el blanco.

P: peso en gramos de la muestra.

fc₁: factor de corrección de humedad.

$$F = \frac{12}{4000} \times \frac{100}{0,77}$$

Dónde:

12/4000: peso del meq de Carbono en g.

0,77: factor de corrección por oxidación (Walkey-Black)

100: para expresar en porcentaje.

$$\text{Luego, MO (\%)} = \text{Carbono orgánico (\%)} \times 1,72$$

Nota: El porcentaje de CO o MO obtenido con el procedimiento descrito se refiere a suelo seco al aire, siendo esta la expresión usada más comúnmente. Si se desea referir estos porcentajes a suelo seco a estufa, será necesario obtener la humedad higroscópica del suelo y realizar las correcciones pertinentes.

Método gravimétrico para contenido de humedad (%):

El método permite expresar la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Generalmente se expresa como porcentaje:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(M_{\text{suelo}} - M_{\text{suelo seco en estufa}})}{M_{\text{suelo seco en estufa}}} \times 100$$

El término “suelo seco a estufa” se refiere al suelo que se ha secado a 105°C hasta alcanzar peso constante (normalmente se logra en 24-48 horas).

El suelo seco en estufa se usa como base para calcular el contenido de humedad por su naturaleza constante y reproducible bajo distintas condiciones ambientales. Por la misma razón, se usa como base para expresar los resultados de análisis de suelos.



Materiales:

Balanza de precisión.

Estufa para secado.

Cápsulas para secar y pesar las muestras (pesafiltros).

Procedimiento

- . Tarar un pesafiltro.
- . En el pesafiltro tarado colocar alrededor de 2 g de suelo tamizado.
- . Pesar todo en balanza de precisión. Por diferencia entre el peso del pesafiltro más el suelo y la tara del pesafiltro, conoceremos el peso exacto del suelo secado al aire.
- . Llevar el pesafiltro destapado a estufa a 105°C, hasta peso constante.
- . Colocar el pesafiltro en un desecador hasta que se enfríe.
- . Extraer el pesafiltro del desecador, cuidando de colocar su tapa, y pesar.

Interpretación

$$H (\%) = \frac{\text{pérdida de peso}}{\text{peso del suelo seco en estufa}} \times 100$$

Cálculos

T: Tara del pesafiltro.

Peso del pesafiltro + suelo seco al aire. Peso del pesafiltro + suelo seco en estufa.

Peso del suelo seco en estufa.

Factores de corrección

Se usan como base para expresar contenidos de diferentes parámetros físicos y químicos del suelo (p.e.: CIC, MO, etc.), a partir de la humedad del suelo seco al aire al momento de la medición.

Factor de corrección 1:

Este factor se utilizará:

Para referir los resultados de análisis químicos: Ca, Mg, K, P, MO, C.I.C., etc., obtenido de suelos secos al aire, a suelos secos a estufa.

Cuando se desea obtener una determinada cantidad de un suelo seco en estufa, a partir de un suelo seco al aire. Se multiplicará el peso indicado, por el factor, y el resultado será la cantidad a pesar. Los resultados de análisis realizados sobre muestras así procesadas, no requerirán posterior ajuste por humedad.

$$f_{c_1} = \frac{100}{100 - H}$$

Dónde:

fc1: factor de corrección 1.

H: porcentaje de humedad del suelo seco al aire.

Factor de corrección 2:

Este factor se utilizará cuando sea necesario corregir, dentro de la fórmula (física, química, etc.), al suelo seco al aire pesado, a suelo seco en estufa. Se multiplicará el peso del suelo directamente por el factor. Esta operación eximirá al resultado obtenido de cualquier otro ajuste por humedad.

$$f_{c_2} = \frac{100 - H}{100}$$

Dónde:

fc2: factor de corrección 2.

H: porcentaje de humedad del suelo seco al aire.

Método para determinar la resistencia mecánica a la penetración del suelo (MPa):

Materiales y equipo:

Un penetrómetro

Una hoja de datos y un lápiz

Especificaciones del penetrometro:

Dado que un experto en trabajar con metales puede construir un penetrómetro, aquí damos las especificaciones del aparato.

Al construir un penetrómetro las dimensiones no tienen que ser exactamente iguales; este es solo un ejemplo del penetrómetro que se utiliza en el CIMMYT. No obstante, es

muy importante conocer las dimensiones exactas del aparato, especialmente del cono, a fin de poder hacer los cálculos correctamente.

Parte superior: 42 cm



Procedimiento:

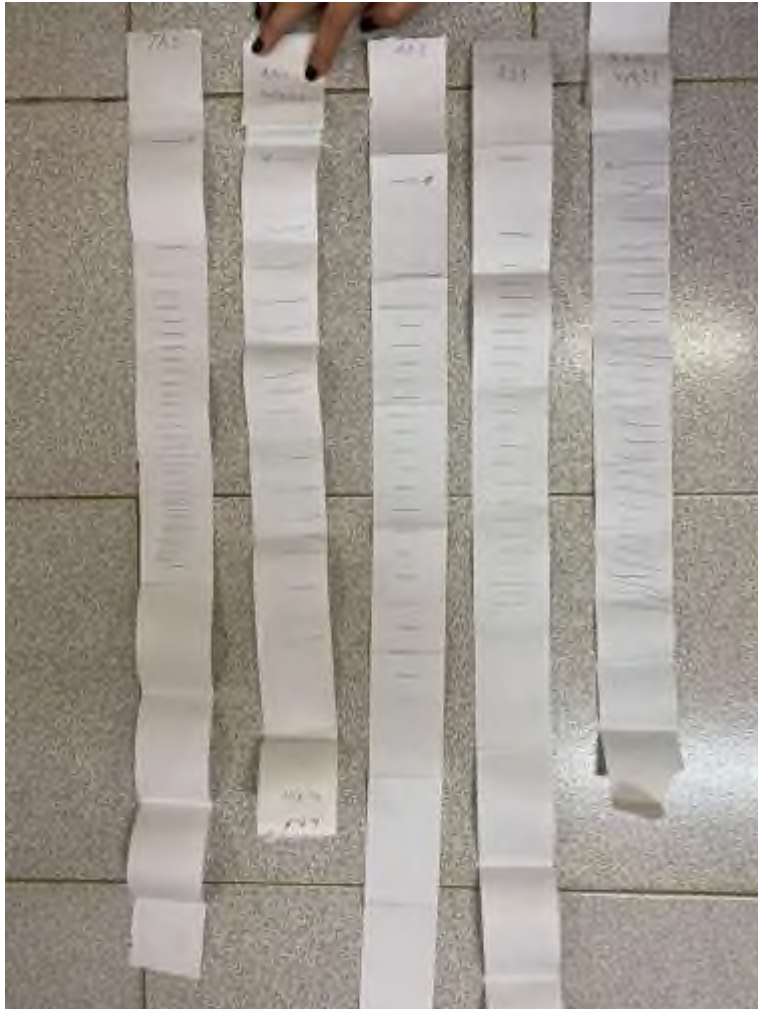
Teniendo en cuenta el indicador de profundidad del penetrómetro. Al comienzo, sostuve el penetrómetro perpendicular a la superficie del suelo; sin embargo, si el ángulo del penetrómetro cambiaba mientras realizaba las mediciones, no se corregía. Con cuidado de evitar las irregularidades del suelo, como las grietas. Para operar el penetrómetro, se sube la pesa deslizante al nivel más alto y déjala caer.

Anoté el número de impactos que se requerían para empujar el cono a una distancia pre-establecida dentro del suelo.

El número de impactos que se necesitaban dependería de las características del suelo, la profundidad de labranza entre otros factores. Además, los incrementos empleados para cubrir la distancia pre-establecida deben basarse en algún parámetro pertinente, por ejemplo, en los horizontes pedológicos. Se evaluó la resistencia a la

penetración en diferentes profundidades y con muchas mediciones para asegurarse de obtener resultados precisos.

En este experimento se realizó una repetición por cada tratamiento. Se utilizaron incrementos de profundidad de 10 cm: 0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm.



Cálculos:

La resistencia a la penetración se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$(N \times M \times g \times SD)$

$R =$

$(A \times PD)$

donde:

R = la resistencia a la penetración (Pa)

N = el número de impactos M = la masa de la pesa (5 kg) g = la gravedad = 9.81 m/s^2

SD = la distancia que se desliza el martillo (m)

A = el área de la superficie del cono (m^2)

PD = la distancia de penetración (m)

El área de la superficie del cono se calcula como sigue:

$$A = \pi \times r \times s$$

donde:

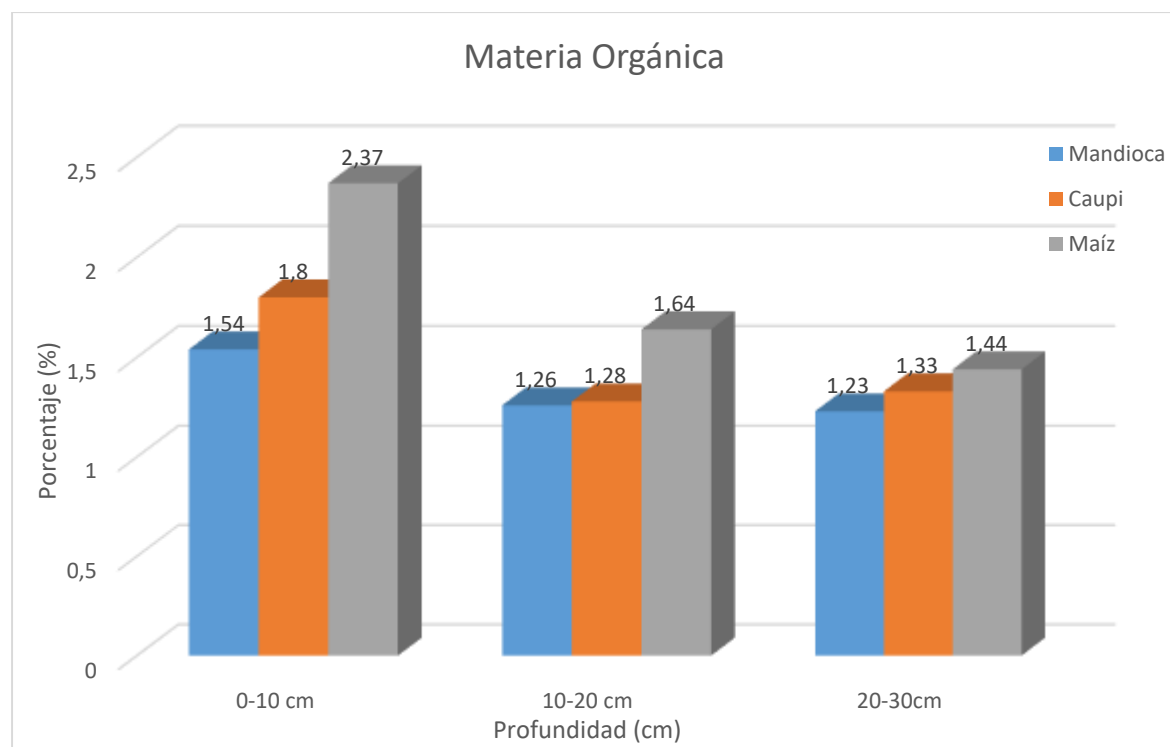
A = el área de la superficie del cono (m^2)

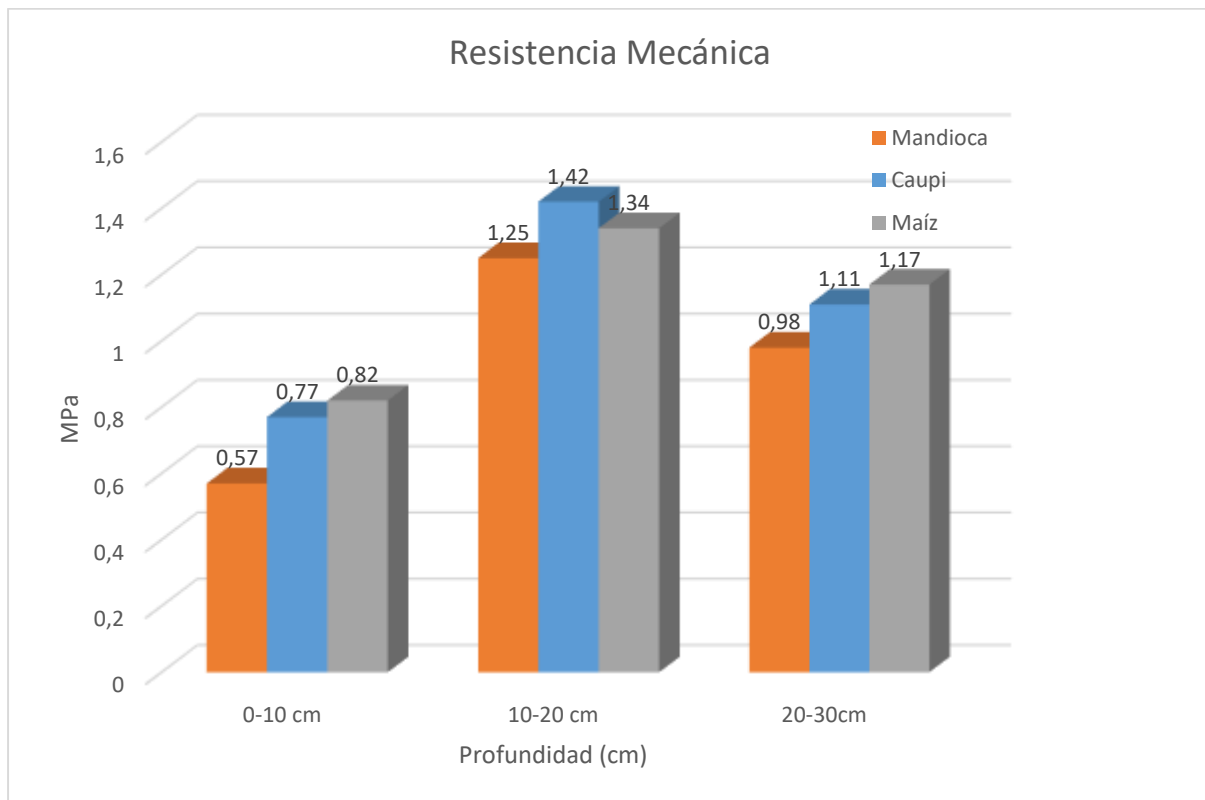
r = el radio del cono (m)

s = el largo del cono (m)

Resultados y Discusiones:

Al realizar la estadística no se encontraron diferencias significativas entonces analizamos solamente los cultivos de renta, comparando con los cultivos de cobertura.





Según los resultados podemos ver como aumenta la resistencia mecánica hasta los primeros 20 centímetros de profundidad, esto se podría explicar debido al continuo pasaje de maquinaria, lo que puede formar un piso de arado.

Se encontró que el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad y se ven diferencias significativas en los valores de materia orgánica en uno de los cultivos de renta (Maíz), específicamente en los primeros centímetros de profundidad, esto lo podemos relacionar con su contenido de raíces adventicias ya que estamos hablando de una gramínea.

Conclusión:

Se adquirió experiencia en muestreo de suelos, técnicas para medición de la humedad del suelo, contenido de materia orgánica y de resistencia mecánica a la penetración. Relacionamos el contenido de materia orgánica con la resistencia a la penetración y comparamos los cambios edáficos de las distintas situaciones según las distintas coberturas de suelo y las distintas profundidades de muestreo.

Bibliografías consultadas:

- Álvarez, C & C Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. Jornada profesional Agrícola. INTA Gral. Villegas.
- Bauder, JW, Randall, GW y Swan, JB (1981) Efecto de cuatro sistemas de labranza continua sobre la impedancia mecánica de un suelo franco arcilloso. Soil Science Society of America Journal, 45, 802-806.
- Baver L.D; - Walter H. Gardner - Wilford R. Gardner. 1991. Física de suelos.
- Carreira, Daniel. 2005. Capítulo IV. Carbono orgánico. En: Tecnología en análisis de suelos: Alcance a laboratorios agropecuarios. Eds. Liliana Marban y Silvia Ratto. 1era. Ed. 91-93. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires.
- Chenu, C., J. Gue´rif, and A.M. Jaunet. 1994. Polymer bridging: A mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. p. 403–410. XVth World Congress of Soil Science, 3a.ISSS, Accapulco, Mexico.
- Cosentino, D., Cipollari, P., Pasquali, V., 2006. El Jurásico Plataforma de carbonato pelágico de los montes Cornicolani. (Lacio, centro de Italia). En: G. Pasquarè y C. Venturini, Mapeo geología en Italia, APAT - SELCA. CIG Florencia, 2004.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Laurent, F., Duyme, F., Cohan, J.P., Mary, B., Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. Plant and Soil, submitted for publication.
- Dewis, J. y F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos N°10. FAO. Roma.
- FARRELL, D.A. y GREACEN, E.L. 1966. Resistance to penetration of fine metal probes in compressible soil. Aust. J. Soil Res. 4:1-17.
- Forsythe, Warren, 1975. Física de suelos. Editorial Trilla, 212 p.
- Herrick, J.E., Jones, T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, 1320–1324.
- Jackson, ML, 1970. Análisis químico de suelos. Editorial Omega, Barcelona.
- Lampurlanés, J., Cantero-Martinez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. Agron. J. 95, 526–536.
- Magdoff, F. y Weil, RR, Eds., Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture, CRC Press, Boca Raton, 1-43.
- Restovich, SB; AE Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. Field Crops Res. 128: 62-70.
- Vaz, C.M.P., Hopmans, J.W. 2001. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer–TDR moisture probe. Soil Sci. Soc. Am. J. 65, 4–12.
- Yúfera, EP y JMC, Dorrien, 1973. Química Agrícola. I. Suelos y Fertilizantes. Ed. Alhambra. Madrid.
- Zaccagnini, ME & NC Calamari, J.L. Panigatti, D. Buschiazzi y H. Marelli (2001) Labranzas conservacionistas, siembra directa y biodiversidad.