



Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ciencias Agrarias

Trabajo Final de Graduación

Título:

**Propiedades biológicas de suelos de la provincia del
Chaco con diferentes manejos agropecuarios.**

Modalidad: Tesina.

Alumno: Ballatore, Bárbara Milena.

Director: Ingeniera Agrónoma (Mgter.) Sotelo, Cristina Esther.

INTRODUCCIÓN

La agricultura fue uno de los motores de la civilización y su desarrollo sigue siendo esencial para el futuro de la humanidad. El soporte para esta actividad es esencialmente el recurso natural, limitado y no renovable (Ferrerías *et al.*, 2015).

El suelo es la capa superior de la superficie sólida del planeta y se forma por la interacción de los cinco factores formadores: el **clima**, en especial las precipitaciones y las temperaturas; los **organismos** vivos, son las fuerzas activas que cambian paulatinamente el material original; el **relieve** que condiciona al clima y los organismos viviente; la naturaleza del **material original** que determina el perfil que se forma; y el **tiempo** necesario para que se produzcan los cambios, transformando al suelo en un perfil con diferentes horizontes en el que las plantas desarrollan sus raíces (Duchaufour, 1975).

Para lograr una producción sostenible es necesario conocer su funcionamiento y realizar el adecuado manejo del mismo, promoviendo actividades que no lleven a la pérdida de propiedades físicas, químicas ni biológicas, favoreciendo el ciclado de nutrientes, el movimiento hídrico, el soporte estructural filtro y buffer, la resistencia y resiliencia, el hábitat y la biodiversidad, conservando así la calidad del suelo (Baridon, 2015).

La calidad de un suelo se define como su capacidad para funcionar dentro de los límites del ecosistema, sustentar la productividad biológica, mantener la calidad del agua y del aire y promover la salud de animales, plantas y humanos (Karlen *et al.*, 1997; Toledo *et al.*, 2013).

Una herramienta para definir el uso adecuado del recurso es la clasificación según la aptitud de uso de suelo proporcionada por el servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos que permite la obtención de patrones edáficos, climáticos y topofisiográficos del área de estudio, proporcionando una interpretación práctica fundamentada en la idoneidad natural del suelo.

En la Argentina, debido a la expansión de la frontera agrícola se han eliminado millones de hectáreas de bosques (Torrella *et al.*, 2007) de manera que la conservación y el uso eficiente del suelo son hoy una prioridad. Actualmente existe una ley para el ordenamiento territorial que es la acción y el efecto de colocar cosas en el lugar adecuado generando un instrumento de política nacional de planificación para lograr múltiples objetivos de desarrollo sustentable, considerando actividades productivas, sociales y económicas a corto, mediano y largo plazo (Cisneros, 2012). Con la promulgación de la ley N° 26.331 de presupuestos mínimos ambientales para la

protección de bosques nativos en el año 2007 y puesto en vigencia en el año 2008 se establecieron presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos y los servicios ambientales que ellos brindan a la sociedad. La ley establece criterios ecológicos y diferentes categorías de conservación que apuntan a planificar las actividades forestales, agrícolas y ganaderas evitando la fragmentación y degradación del bosque nativo: categoría I (rojo): sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse; categoría II (amarillo): sectores de mediano valor de conservación y que pueden ser sometidos a usos de aprovechamiento sostenible (sistemas silvopastoril), turismo, recolección e investigación científica; categoría III (verde): sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, aunque dentro de los criterios de la ley (Ley 26.331, 2007). En la provincia del Chaco el ordenamiento territorial de los bosques nativos está regulado por la ley N° 1762-R (ex ley N° 6409) categorizando los sectores en: rojo, amarillo y verde (Ley 1762-R).

Nuestra zona de estudio pertenece a la localidad de Colonia Elisa en la provincia del Chaco y se encuentra dentro de la categoría verde. La misma integra la superficie geomorfológica Río Negro- Nogueira. Donde los suelos se caracterizan por ser la continuación del primer ciclo del Interfluvio Teuco Bermejito. Las etapas sucesivas que desarrollaron las áreas geomorfológicas que se continúan hacia el Río Bermejo caracterizaron en éstas dos situaciones claramente diferenciables: una al Norte, con cauces inactivos y otra al Sur, con cauces activos donde el riacho Nogueira y el Río Negro son los principales agentes que modelaron el paisaje de ambas. En la clasificación en subregiones ecológicas la zona queda incluida en el oeste en la subregión IV de esteros, cañadas y selvas de rivera. El material originario es aluvial local desarrollado en los albardones de agua de segunda y tercera categoría que producen suelos de escaso desarrollo A-C y preferentemente ácidos por la influencia de la vegetación de selva de ribera bajo la cual se encuentran y sus aportes de materia. (Ledesma, 1995).

Estas características de los suelos de la zona de estudio fueron alterados a través de los años por factores antrópicos, siendo los más importantes la implementación de sistemas de labranzas agresivos e inapropiados y la agricultura continua. Cuando los atributos de fertilidad física, química y biológica son alterados, la calidad del suelo se afecta negativamente con una consecuente disminución de su capacidad productiva. Por ello es necesaria la búsqueda e identificación de indicadores sensibles, ya que son instrumentos cuantitativos de diagnóstico y toma de decisiones para aquellos que lo

administran. El uso de parámetros físicos y químicos son indicadores de calidad a largo y mediano plazo, en cambio, los parámetros biológicos pueden resultar sensibles a los cambios a corto plazo y en general adecuados para estimar la calidad del suelo puesto que están relacionados con los ciclos de los elementos y con la transformación de la materia orgánica (Albanesi, 2013; Toledo *et al.*, 2015).

Para cuantificar la actividad del componente biótico, la respiración (RES) es uno de los parámetros más usados. El incremento de la población microbiana trae consigo un aumento en la concentración del CO₂ y éste puede ser usado como índice de la actividad biológica del suelo como respuesta a una mayor o menor cantidad de sustratos disponibles para la flora y fauna del suelo (Dalurzo *et al.*, 2005).

Powlson y Jenkinson (1976) propusieron que la cantidad de biomasa puede servir como alerta temprana al ser el indicador más sensible de las condiciones cambiantes del suelo, por ejemplo, por el contenido de materia orgánica total, variaciones en la entrada de sustrato o aumentos en los contenidos de metales pesados.

La determinación de la concentración de glomalina y el stock de carbono en el suelo fue estudiada por Lovelock (2004) en un estudio desarrollado en suelos tropicales de Costa Rica. Su autor determinó que los valores medios de glomalina para una profundidad de 0-10cm corresponde cerca de un 3% del total de C del suelo. También existen correlaciones con las cantidades de P, K, Ca y Al y observó que esas cantidades de las fracciones glomalina fácilmente extraíble y de glomalina total fueron mayores en bajos niveles de fertilidad. Otros estudios hablan de la capacidad de la glomalina de absorber metales tóxicos afirmando que cada gramo de la glicoproteína puede absorber hasta 1,88 mg de Mg, 0,08mg de Cd y 1,12mg de Pb, pudiendo además utilizarse como indicador de desórdenes ambientales (Siqueira *et al.*, 2010).

La Materia Orgánica (MO) interviene laboriosamente en la formación de la estructura del suelo (Haynes *et al.*, 1990), modificando la distribución del espacio poroso (Iglesias *et al.*, 1998) y la actividad de los microorganismos (Van Veen *et al.*, 1990). Actúa sobre la resistencia a la compactación (Soane 1990, Quiroga *et al.*, 1999), la susceptibilidad a la erosión eólica o hídrica (Cannell *et al.*, 1994), así como la dinámica y la retención del agua, además influye sobre la fertilidad. También en las propiedades químicas que modifican la disponibilidad de nutrientes y actúa manteniendo los micronutrientes, acompleja sustancias tóxicas, modifica su color cambiando su comportamiento térmico (De Nobili *et al.*, 1993) y es una de las reservas más importantes de carbono del planeta (Galantini, 2008). La materia orgánica se encuentra en un continuo estado de transformación donde no existen límites definidos, pero desde el punto de vista teórico

es importante fijarlos. El fraccionamiento físico permite separar en base al tamaño de partículas, que está asociado a la transformación del material orgánico en el suelo, cuantificar sus fracciones y caracterizar el estado del sistema. Estas son químicamente menos destructibles y los resultados obtenidos directamente relacionados con la estructura y la función de la materia orgánica in situ. El contenido de materia orgánica está asociado a la capacidad de los suelos de proveer nitrógeno a las plantas. El suministro de nitrógeno para las plantas depende en gran medida de la velocidad de mineralización y por ello la información obtenida es útil para el estudio de la dinámica de la materia orgánica en el muy corto plazo (Galantini, 2005).

A través de este trabajo se evaluarán los suelos bajo diferentes manejos agrícolas y ganaderos con respecto a su condición inicial, bajo monte mediante el uso de indicadores biológicos.

OBJETIVO GENERAL

- Generar conocimientos del efecto de distintos manejos agropecuarios sobre las propiedades biológicas de suelos chaqueños.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el contenido de carbono de la biomasa microbiana en las diferentes situaciones.
- Analizar nitrógeno potencialmente mineralizable y la actividad respiratoria global de los suelos.
- Determinar el contenido de glomalina, proteína reactiva fácilmente extraíble.
- Analizar el carbono y nitrógeno oxidable en las distintas fracciones orgánicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio y muestreo

El clima de la región de estudio, ubicada en el sureste de la provincia del Chaco es subhúmedo continental, con precipitaciones estacionales concentradas en primavera y verano e inviernos secos. La temperatura media anual es de 21.4°C, la máxima media de 28.2°C y la mínima media de 14. (INTA, 2021); la precipitación media total es de 1145,3 mm para el período 1956-2019 (Policía del Chaco, 2021).

El ensayo se estableció sobre un lote ubicado en la localidad de Colonia Elisa perteneciente al departamento Cabral caracterizado como aluvial local, depositado por cursos fluviales de segundo y tercer orden. La actividad de estas corrientes produjo diferentes tipos de suelos, con depósitos arenosos o arcillosos donde el espesor de los horizontes y la estructura dependen de la actividad que hayan tenido estos ríos y riachos (Ledesma, 1995).

El trabajo se realizó sobre la serie Cottera clasificada como Natrustol típico que se encuentra en albardones semifósiles con formas de lomas tendidas, moderadas, de relieve normal. Tiene un horizonte superficial de color pardo de textura pesada, un subsuelo de similares características, que descansa sobre un material amarillento rojizo de textura media. Presenta un contenido medio de materia orgánica; buena retención de agua y fuertemente ácido en superficie; moderadamente alcalino en profundidad; rico en calcio, magnesio y potasio; moderadamente alta capacidad de intercambio de cationes; medio porcentaje de saturación de bases; alto contenido de fósforo (Ledesma, 1989).

Es un suelo de capacidad de uso II, III y IV donde su vegetación natural es de bosquetes maderables de dos estratos: fachinal y vegetación basal (Ledesma, 1989).

Se muestrearon tres situaciones de uso de suelo, todas en la serie Cottera. Un suelo de monte (M), uno de chacra agrícola (ChAg) y uno de chacra con antecesor de ganadería (ChMix).

El tratamiento de monte presenta características no prístinas debido al ingreso de los animales estacionalmente.

La chacra agrícola tuvo un manejo convencional de más de 40 años y luego con varios años en descanso desarrollando las siguientes especies por manchones: *Paspalum notatum* y *Desmodium incanum*. Desde el año 2013 se comenzó a trabajar el lote nuevamente, se aplicó glifosato y se comenzó con el manejo de siembra directa. La secuencia de cultivos fue sorgo/trigo/maíz/soja/melilotus/sorgo.

El lote designado como mixto presentaba un manejo ganadero por más de 40 años, desarrollando luego un tapiz continuo debido a un período de descanso con pastura natural de *Paspalum notatum* y *Desmodium incanum*. A partir del año 2013 se trabajó el lote nuevamente, se aplicó glifosato y se comenzó con el manejo de siembra directa. La secuencia de cultivos fue sorgo/trigo/maíz/soja/melilotus/sorgo.

El muestreo fue en parcelas divididas (sistema mixto, sistema agrícola y monte) al azar con 5 repeticiones a profundidades de 0- 10cm y 10-20cm. Se tomaron muestras compuestas por diez sub-muestras en los meses de septiembre-octubre, siendo

acondicionadas a campo donde fueron mezcladas y homogeneizadas. Las muestras se secaron al aire, molidas y tamizadas por un tamiz de 2 mm (N° 10, USA standart ASTM E11-61) para una homogenización profunda, rotura de los agregados y retiro de raíces y residuos vegetales. Las determinaciones analíticas correspondientes, se realizaron en el laboratorio de biología de suelos del Instituto Agrotécnico “Pedro M. Fuentes Godo”

Variables biológicas:

El carbono de la biomasa microbiana (CBM) se determinó con el método de fumigación-extracción” (Brookes *et al.*, 1985) y valorado por dicromatometría y espectrofotometría (Vance *et al.*, 1987). Se fumigó 7,5 g de suelo humedecido y tamizado (2 mm) con cloroformo como biocida, se realizó una extracción con K_2SO_4 0,5M (Vance *et al.*, 1987), y una alícuota del extracto se digirió a 140°C (30 min), luego se cuantificó el carbono orgánico por espectrofotometría. El carbono de la biomasa microbiana se determinó por la diferencia entre la muestra fumigada y no fumigada, utilizando un factor de corrección denominado k_c (constante determinada que representa la fracción de la biomasa total del suelo que puede ser mineralizada en estas condiciones) (Vance *et al.* 1987).

La respiración del suelo (RES) se realizó mediante técnicas de incubación (Schinner *et al.*, 1996) colocando 30 g de suelo seco y tamizado (2 mm), humedecido a capacidad de campo y colocado en bolsitas de polietileno permeables a gases e impermeable a vapor de agua, estas a su vez se introducen en envases de cierre hermético que contienen NaOH 0,5 N y fenolftaleína. El CO_2 producido se recoge en el NaOH y se titula con HCl 0,5 N y fenolftaleína como indicador, realizándose el control a los 7 días de incubada la muestra, de la diferencia entre la cantidad de NaOH presente inicialmente y el remanente después de la exposición al CO_2 genera la cantidad de gas producido por respiración (Anderson, 1982).

Las proteínas del suelo reactiva a Bradford-BRSP (glomalina fácilmente extraíble) (GFE) se determinaron por la metodología propuesta por Wright y colaboradores (1996). Se pesó 0,25 g de suelo en tubos de centrifuga, a los que se le añadió 2 mL de $Na_3C_6H_5O_7$ (citrato de sodio) 50 mM pH 7,0 como extractante y se autoclavó a 121°C por 30 minutos a 1 atm. Se centrifugó y se extrajo el sobrenadante en tubos Eppendorf. En una alícuota del extracto se determinó espectrofotométricamente a 595 nm la GFE por el método de Bradford para proteínas. En simultáneo se construyó una curva de calibración con albúmina de bovino, que comprendía concentraciones en el

rango de 2,5 hasta 35 µg. Las concentraciones de GFE se expresaron en mg.g⁻¹ de suelo.

La determinación del contenido de N-NH₄⁺ producido se midió en incubación anaeróbica (NAN) por el método de Waring y Bremner modificado por Keeney y Nelson (1982). Se pesaron 5 g suelo por duplicado para cada muestra, en una se determinó el nitrógeno total inicial y en la otra el nitrógeno total incubado. En la determinación de nitrógeno total inicial se colocó 30 mL de CLK 2 N, agitó 1 hora y centrifugó 6 minutos. Se tomó una alícuota de 10 mL + 25 mL agua destilada + 3 mL NaOH 10 N y por destilación por arrastre de vapor se determinó el NH₄ producido, recibiendo el destilado en 5 mL H₃ B₃ O₄, titulando con H₂SO₄ 0,01N estandarizado. El nitrógeno total incubado se determinó agregando 15 mL de agua destilada e incubando por 7 días a 40°C. Luego de la incubación se agregó 15 mL de CLK 4 N y se procedió de la misma manera que en el nitrógeno inicial. Una vez obtenidos los valores del nitrógeno total inicial y el total incubado se realizó la diferencia para obtener el nitrógeno potencialmente mineralizable.

$$NPM = NT_{incubado} - NT_{inicial}$$

Variables químicas

El fraccionamiento físico de la MO por tamaño de partícula permite separar en base al tamaño que está asociado al grado de transformación de la materia orgánica. Se pesó 50g de suelo (<2 mm) en un frasco de 120 mL de capacidad, se agregó 100 mL de agua destilada, 10 bolitas de vidrio y se agitó vigorosamente durante 1-6 horas (dependiendo de la textura del suelo). Se pasó la suspensión resultante por un juego de tamices de 12 cm de diámetro y 53 µm de abertura de malla, lavando con agua destilada hasta visualizar agua limpia. Se obtuvieron en forma separada dos fracciones, la fracción fina (< 53 µm) que contiene minerales asociados al carbono orgánico (CO) así como limo y arcillas minerales y la fracción gruesa o particulada (>53 µm) que incluye partículas gruesas de carbono orgánico (COP) y arenas finas a gruesas (Bruckert et al., 1978; Andreux et al., 1980)

El carbono presente se obtuvo por el método de oxidación húmeda en cual se determinó el carbono orgánico joven o particulado asociado a la fracción gruesa (Galantini, 2008; Norma IRAM/ SAGyP 29571-3:2011) y además se obtuvo el Nt en

cada fracción por el método de Kjeldahl modificado basado en la oxidación húmeda (Norma IRAM/ SAGyP 29572:2018).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron por medio de análisis de componentes principales (ACP) con el fin de describir y analizar observaciones multidimensionales de las distintas situaciones, separados por profundidades, con los procedimientos incluidos en el software estadístico de INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2012) y se analizaron la variables mediante ANOVA y una prueba de Tukey para comparación de los promedios ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables biológicas

La variable CBM mostró variaciones estadísticamente significativas, siendo Mon0-10 el que presenta el valor más alto, diferenciándose de las demás situaciones (Figura 1). Esto podría explicarse porque la acumulación de CO en el monte regula la dinámica del agua en el agroecosistema y permite un aporte permanente de C y sustancias orgánicas al suelo, usadas como fuentes de nutrientes y de energía por los microorganismos del suelo (Balota y Chaves, 2011), favoreciendo el crecimiento y el desarrollo de las comunidades microbianas. La vegetación y el tipo de suelo son factores claves, que pueden modificar sus características y son fundamentales para mantener una microbiota estable (Bastida *et al.* 2008). Varios autores encontraron la misma variación en el CBM, comparando la situación prístina respecto a diversos sistemas de manejo (Glaeser *et al.* 2010; Notaro *et al.* 2014; Lammel *et al.* 2015; Durango *et al.* 2015).

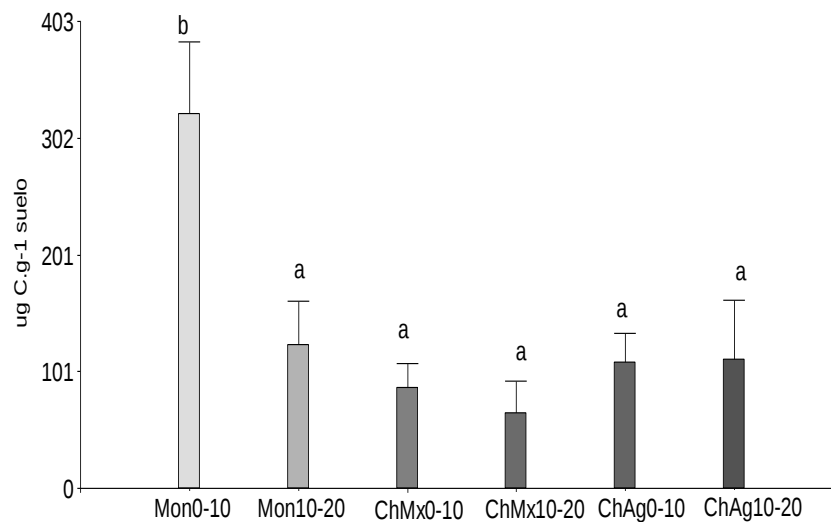


Figura 1: Carbono de la biomasa microbiana ($\mu\text{gC.g}^{-1}\text{suelo}$) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo. Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha = 0,05$).

En cuanto a la respiración del suelo, del análisis realizado se observó que hubo diferencias significativas estadísticamente, donde las dos profundidades de monte presentaron los mayores valores respecto a la ChMx10-20 (Figura 2).

Estos resultados se relacionan con lo encontrado por Abellan *et al.*, 2013 en donde los valores de RES del suelo fueron mayores en las parcelas testigo a diferencia de las parcelas de usos forestales. Barrales- Britos *et al.*, (2020) obtuvieron en los primeros 10 cm del perfil los valores más altos de CO_2 para todos los usos del suelo analizados; detectándose en los bosques los mayores contenidos. Ellos también hallaron que, en los horizontes con mayor profundidad, la RES fue menor, por lo que los primeros 30 cm de profundidad fue la capa más activa para la dinámica de carbono en el suelo. Sus datos indican que, con una mejor estabilidad del suelo, existe una cantidad de carbono no disponible para el ataque microbiano y reduce la cantidad de CO_2 que se emite por el proceso de mineralización.

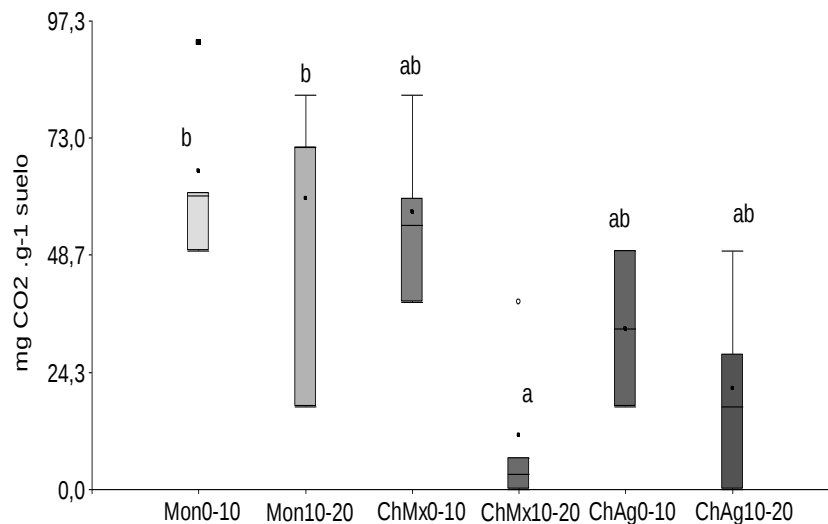


Figura 2: Respiración del suelo ($\text{mgCO}_2 \cdot 100\text{g}^{-1}\text{suelo}$) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo. Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha = 0,05$).

Toledo *et al.*, (2018) estudiaron que en suelos forestados y suelos vírgenes, la RES estuvo dentro del rango considerado con una actividad de suelo ideal. Contrariamente a nuestros datos, la actividad biológica global de los suelos bajo forestación presentó valores más altos en comparación con los vírgenes. Esto puede relacionarse con el suelo desnudo luego del desmonte y su exposición a la acción de agua, la preparación del terreno intensiva llevada a cabo antes de la implantación del bosque y durante el período inicial del crecimiento del cultivo. Además, esta diferencia con Toledo *et al* (2018), puede deberse a la metodología utilizada donde respiración de suelo fue medida con cámaras y tubos draeger.

Los resultados del contenido de las proteínas del suelo reactiva a Bradford-BRSP (GFE) se observan en la Figura 3. En general se detectó un comportamiento relacionado con la situación de muestreo y la profundidad de los mismos, donde Mon0-10 presentó valores altos con diferencias significativas con respecto a las situaciones de ChaAg en las dos profundidades. Esto mismos encontraron Rodríguez-Yon *et al.*, (2020) afirman que la GFE tuvo un comportamiento relacionado al uso de la tierra en las dos profundidades (0-10 y 10-20 cm), donde los bosques presentaron valores altos con diferencias significativas a diferencia de las áreas cultivadas con pasto y caña de azúcar con valores intermedios y los valores inferiores fueron en el cultivo de la papa.

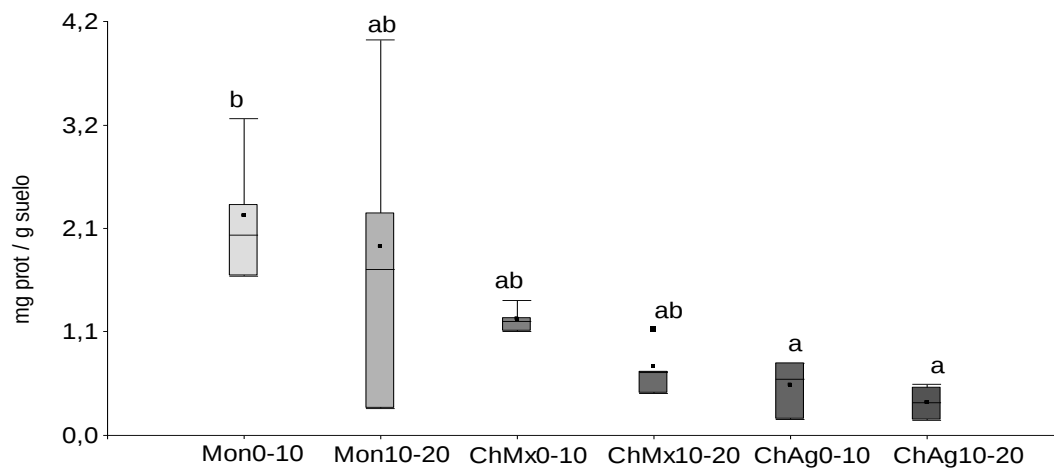


Figura 3: Proteínas del suelo reactiva a Bradford-BRSP (glomalina fácilmente extraíble) (mg prot / g suelo) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo. Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha = 0,05$).

Los valores de NAN de cada sitio y profundidad se presentan en la Figura 4. Los mayores valores de NAN se hallaron en el Mon en ambas profundidades, mientras que el menor valor se encontró en la ChAg10-20. Los sitios ChMx0-10, ChMx10-20 y ChAg0-10 presentaron valores intermedios, sin diferencias significativas.

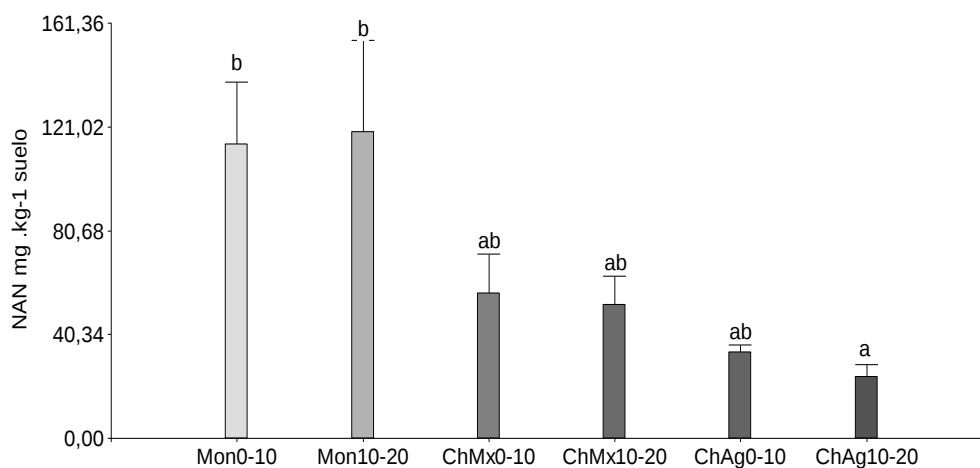


Figura 4: Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (mg.kg¹suelo) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo. Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha = 0,05$).

Di Gerónimo *et al.* (2017) reportaron que los sitios con mayor CO, no fueron los de mayor NAN. Esto se diferencia de nuestros datos donde las situaciones con valores mayores de CO fueron los de mayor NAN, coincidiendo con los datos de Studdert *et al.*, (2006) donde en todos los tratamientos el NAN fue altamente dependiente del contenido de CO.

Genovese *et al.* (2009) determinaron una disminución en la concentración de NAN frente al aumento en los años de agricultura, lo cual es coincidente con la caída de COP (Studdert *et al.*, 2010). Para el Sudeste Bonaerense, Diovisalvi *et al.* (2009) determinaron que un 35 y 85% de los lotes de las zonas de producción agrícola-ganadera y agrícola, respectivamente, presentaron valores de NAN inferiores a 100 mg kg⁻¹ en el estrato superficial, lo que pone en evidencia el efecto del uso del suelo sobre el contenido de NAN. Estos últimos autores observaron lo mismo que lo hallado en nuestro estudio, ya que el Mon presentó valores mayores a 100 mg.kg⁻¹ suelo y en las dos situaciones productivas los valores fueron menores.

Urquieta (2008) estudió que para suelos prístinos del Sudeste Bonaerense los niveles de NAN serían, en promedio, de 138,4 mg kg⁻¹, siendo los valores hallados en este trabajo, 121 mg kg⁻¹ en promedio.

Variables químicas

Las variables CO y Nt tuvieron la misma variación en las diferentes situaciones, siendo estas estadísticamente significativas (Figura 5). El CO presentó mayores valores en el Mon0-10 seguido de Mon10-20 y ChMx0-10 y por último la ChAg10-20. La disminución del contenido de Nt en orden decreciente fue Mon0-10; Mon10-20; ChMx0-10; ChMx10-20; ChAg10-20; ChAg0-10. Esto coincide con Di Gerónimo *et al.*, (2017) y Duval *et al.* (2013), que encontraron que el CO y Nt fueron afectados significativamente por la situación de muestreo a ambas profundidades y que los mayores valores se presentaron en la primera profundidad. Studdert y Echeverría (2000) relacionaron el contenido de CO con los cambios en el manejo y uso del suelo. Weil y Magdoff (2004) fundamentaron estos datos porque el laboreo lleva a una disminución del contenido de CO, ya que favorece la aireación, el contacto sustrato-suelo y la exposición de las fracciones lábiles del C a la degradación por los microorganismos.

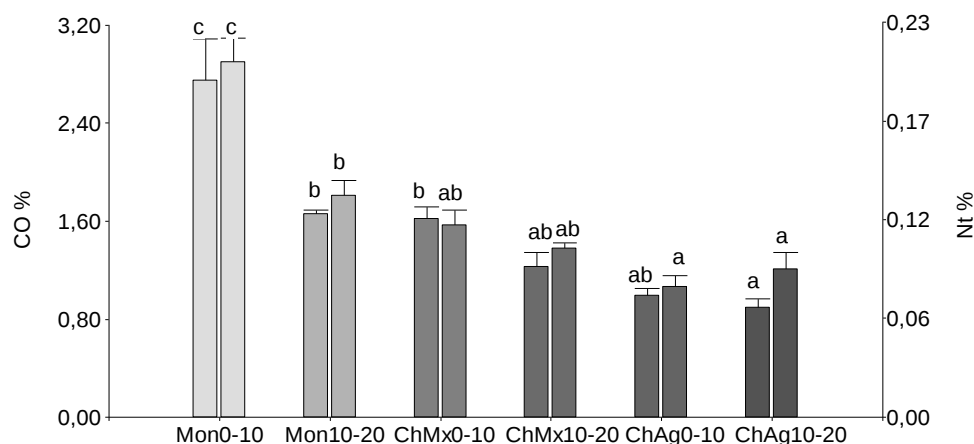


Figura 5: Carbono orgánico total (%) y nitrógeno orgánico total (%) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo. Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha = 0,05$).

Duval *et al.*, (2016) observó una disminución del contenido de COP y NOP por efectos de las prácticas agrícolas y la profundidad. En relación con la situación prístina, las prácticas agrícolas disminuyeron un 50% los contenidos de COP. En este trabajo la pérdida fue del 50 y 75 %, dependiendo la situación de producción (Tabla 1). Esto puede deberse a las condiciones climáticas de la zona, ya que la tasa de mineralización es superior a la Pampa húmeda.

Tabla 1. Resultados de Carbono orgánico particulado (COP) y Nitrógeno orgánico particulado en las distintas situaciones y a una profundidad de muestreo de 0-20cm. Mon0-20cm; ChMx0-20 cm y ChAg0-20cm.

Sitios de muestreo	COP %	NOP %
Mon0-20	0,43 a	0,033 a
ChMx0-20	0,26 b	0,015 b
ChAg0-20	0,13 c	0,010 c

Para sintetizar los resultados e interpretar el efecto de las distintas situaciones sobre las variables analizadas, se realizó un Análisis de Componentes Principales (APC). Se conservaron los dos primeros componentes cuyos autovalores fueron > 1 (Tabla 2). Los componentes CP1 y CP2 del ACP explicaron en suma 94,2% de la varianza total

acumulada. El CP1 explicó 85% de la varianza y las variables CO, Nt, GFE, NAN y RES que se correlacionaron positivamente. Las variables biológicas se asociaron con el suelo monte principalmente (Figura 6). El CP2 explicó sólo el 9,2% de la varianza con CMB asociado positivamente y Res y NAN negativamente. Las variables pudieron separar al monte de las situaciones productivas. En el plano bidimensional construido a partir de las dos primeras componentes principales se distinguieron claramente tres grupos (Figura 6): el primero constituido por ChAg y ChMx10-20, el segundo por ChMx0-10, el tercero por Mon. El primer grupo al encontrarse a la izquierda de la CP 1 se caracterizó por menores contenidos de CO, Nt, RES, GFE, NAN, CBM; el segundo se caracterizó por valores intermedios y el tercer grupo, al encontrarse a la derecha de la CP 1, se caracterizaron por magnitudes mayores de dichas variables.

Los ángulos formados entre los vectores que representan a la variable GFE estuvieron correlacionados positivamente con las variables químicas CO y Nt (Figura 6). Esto concuerda con Seguel *et al.* (2008) quienes encontraron una alta relación positiva entre las glomalinas y la materia orgánica del suelo en estudios de bosques nativos en Chile.

Tabla 2. Correlaciones de componentes (CP1 y CP2) y las variables de suelo estudiadas.

Variables	CP1	CP2
	85,0%	9,2%
CBM	0,38	0,66
GFE	0,43	-0,03
RES	0,39	-0,43
NAN	0,39	-0,56
CO	0,43	0,17
Nt	0,43	0,19

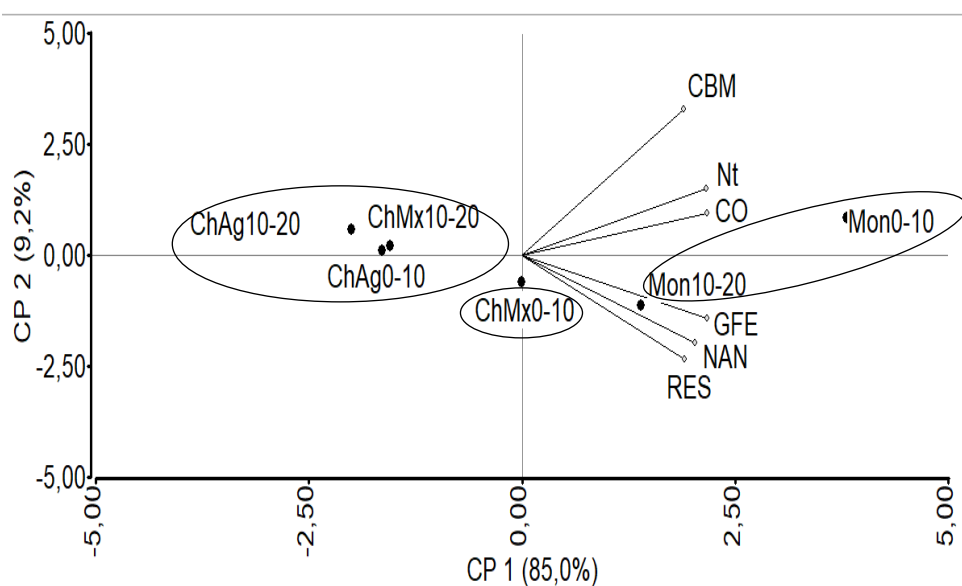


Figura 6. Biplot CP1- CP2 en las distintas situaciones y profundidades de muestreo. Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm.

Los suelos cubiertos con especies arbóreas o pastos presentan mayor concentración de glomalinas que los suelos libres de vegetación, lo cual se explica por la presencia permanente de plantas que propician abastecimiento constante de fotosintatos para alimentar los hongos micorrícicos arbusculares estrechamente relacionados con la producción de glomalinas (González-Chavez *et al.*, 2004; Rillig *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen en evidencia la importancia de las variables biológicas como indicadores sensibles e instrumentos cuantitativos de diagnóstico para la toma de decisiones según las condiciones de cada agroecosistema.

Los atributos de GFE y NAN resultaron buenos indicadores de calidad con mayores diferencias significativas detectando cambios producidos entre la situación prístina y la agrícola-ganadera.

En el estudio de las distintas fracciones orgánicas del suelo las mayores diferencias se dieron en el COP y NOP mostrando su sensibilidad para diferenciar sistemas naturales de los diferentes manejos agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellan, A. M., Wic Baena, C., Picazo Cordoba, M.I., Candel Pérez, D., Molero Carrasco, J., Martínez García, E., Dadi, T., Rubio, E., García Morote, F.A., López Serrano, F.R., Bastida Lopez, F, Lucas Borja, M. E. 2013. .El uso de las propiedades microbiológicas y actividades enzimáticas del suelo como indicadores en la gestión forestal. Ed. Sociedad Española de Ciencias forestales. Vitoria Gasteiz. Página 10-14.
- Albanesi, A. 2013. Microbiología Agrícola: un aporte de la investigación en Argentina. Segunda Edición. Tucumán: Magna Publicaciones, 2013.
- Anderson, J. 1982. Soil respiration. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) Methods of soilanalysis: 2. Chemical and microbiological properties. Am SocAgron, Madison, Wisconsin, pp 467-476.
- Andreux, F; S Bruckert; A Correa; B Souchier. 1980. Sur une méthode de fractionnement physique et chimique des agrégats des sols: origines possibles de la matière organique des fractions obtenues. C.R. Acad. Sci. Paris 291: 381-384.
- Balota, E.L.; Chaves, J.C. 2011. Microbial activity in Soil cultivated with different summer legumes in Coffee Crop. Brazilian Archives of Biology and Technology. 54 (1): 35-44. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000100005>.
- Baridon, J. 2015. Cambios físicos, químicos y microbiológicos en suelos subtropicales de la provincia de Formosa ante el proceso de agriculturización. Un aporte a la calidad del suelo y sus indicadores. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de La Plata.
- Barrales-Britos, E., J; Paz-Pellat, F.; Etchevers-Barra, Jorge Dionisio; Hidalgo Moreno, Claudia; Velázquez Rodríguez, A. 2020. Dinámica del carbono en agregados de suelos con diferentes tipos de usos del suelo en Monte Tlálloc, Estado de México. Terra Latinoam. vol.38, n.2, pp.275-288. Publicación electrónica 20 de junio de 2020. ISSN 2395-8030. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.680>.
- Bastida, F.; Zsolnay, A.; Hernández, T.; García, C. 2008. Past, Present and Future of soil quality indices: A biological perspective. Geoderma. 147:159-171. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007>.

- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive Method for the Quantization of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein Dye Binding. *Analytical Biochem* 72: 253:293-299.
- Brookes, P.C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 22: 725-727.
- Bruckert, S; F Andreux; A Correa; KJM Ambouta; B Souchier. 1978. In: Proc 11e Congrès A.I.S.S., Edmonton, Canada.
- Cannell R.Q., J.D. Hawes. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research* 30: 245-282.
- Cisneros, J. 2012. Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo. 1ª edición Río Cuarto: UniRío Editora 2012. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Dalurzo H. C.; Toledo D. M; Vásquez S. 2005. Estimación de parámetros químicos y biológicos en oxisoles con uso agrícola. *CI. SUELO (ARGENTINA) Volumen 23 (2)* 159-165.
- De Nobili M., A. Maggioni. 1993. Influenza della sostanza organica sulle proprietà fisiche del suolo. En: *Ciclo della sostanza organica Nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici e selvicolturali* (Ed. P. Nannipieri) Pàtron Editore. Bologna, Italia.
- Di Gerónimo P., Videla, C., Laclau, P. 2017. Distribución de carbono y nitrógeno orgánico en fracciones granulométricas de suelos bajo pastizales, agricultura y forestaciones. *CI SUELO (ARGENTINA) Volumen 36 (1)* 11-22.
- Diovisalvi, N; A Berardo; N. Reussi Calvo. 2009. Nitrógeno anaeróbico potencialmente mineralizable: una nueva herramienta para mejorar el manejo de la fertilización nitrogenada. *Actas Simposio Fertilidad 2009*. Pp. 169-171. 12 al 13 de mayo de 2009. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Di Rienzo J.A., M. Balzarini, F. Casanaves, L. Gonzáles, M. Tablada; C.W. Robledo. 2012. Infostat Profesional. Versión 2012. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duchaufour P. 1975. Manual de Edafología. Edit. Toray-Masson, Barcelona. ISBN 84-311-0141-5.

- Durango, W.; Uribe, L.; Henríquez, C.; Mata, R. 2015. Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 39(1):37-46.
- Duval, M., Galantini J., Iglesias J., Canelo S., Martinez J., Wall L. 2013. Análisis de fracciones orgánicas como indicadores de la calidad del suelo en sistemas naturales y cultivados. *Investigación de suelos y labrazas* 11-29. Volumen 21.
- Duval M., Galantini J., Martinez J.; Iglesias J. 2016. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ciencia del suelo (Argentina)*. Volumen 32 N°2: 197-209.
- Ferreras L., Toresani S., Faggioli V.; Galarza C. 2015. Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana argentina. *SJSS. Spanish Journal of Soil Science* volumen 5 issue 3.
- Galantini J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual "Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible". L. Marban y S. Ratto (Eds.). AACs. Cap. IV parte 2, 95-106.
- Galantini, J.; Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *AgriScientia*, Volumen 25 (1), 41–55.
- Galantini, J. 2008. Estudio de las Fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. *Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo*. 1ª ed. – Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur- Edinus. Página 19 – 40.
- Genovese, F; Echeverrú, HE; Studdert G. A.; H Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *CI SUELO* Volumen 27 (2), 225-236.
- Glaeser, D.; Mercante, F.; Alves, M.; Da Silva, R.; Komori, O. 2010. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo orgânico em cultivos de café. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*. 14(2):103-114.
- González-Chávez, M.C.A.; M.C. Gutiérrez-Castorena; S. Wright. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *TERRA Latinoamericana* Vol. 22, Núm. 4 pp. 507-514.
- Haynes R.J., Swift R.S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41: 73-83.

- Iglesias, J.O., Galantini J.A., Miglierina A.M, Landriscini M.R., Rosell, R. 1998. Cambios en la distribución del espacio poroso debidos al sistema de labranza y al tránsito en un Hapludol Típico de la Región Subhúmeda Argentina. *Revista Facultad de Agronomía (UBA)* 18: 19-26.
- Instituto Nacional de tecnología agropecuaria (INTA), Estación experimental agropecuaria Sáenz Peña. Última visita 02-10-2021. <https://inta.gob.ar/paginas/agrometeorologia-s-pena>.
- Jenkinson, D. S.; Powlson, D. S. 1976. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*.24: 675- 683.
- Karlen, DL; MJ Mausbach; JW Doran; RG Cline; RF Harris y GE Schuman.1997. Soil quality: a concept, definition, and framework forevaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 4-10.
- Keeney, D. R. y Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-Inorganic Forms. En: Page, A. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph 9, Part 2* (2nd ed., pp. 643-698). Madison, WI: ASA, SSSA.
- Lammel, D.R.; Azevedo, L.C.; Paula, A.M.; Armas, R.D.; Baretta, D.; Cardoso, E.J. 2015. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. *Braz. J. Biol.* 75(4):894-905. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02414>.
- Ledesma, L. 1989. Carta de suelos de la República Argentina. Provincia del Chaco. Los suelos del departamento Sargento Cabral.
- Ledesma, L. 1995. Los suelos de la provincia del Chaco, República Argentina.
- Ley N° 1762-R de ordenamiento territorial de los bosques nativos, Provincia del Chaco.
- Ley N° 26.331 de presupuestos mínimos de protección ambiental de los Bosques Nativos.
- Lovelock, C.; S.F. Wright; D A. Clark; R.W. Ruess. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscularmycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *J. Ecol.* 92: 278-287.
- Norma Argentina IRAM/SAGyP 29752. Primera edición 2018-10-9. Determinación de Nitrógeno en suelo por el método de Kjeldhal modificado.

- Norma Argentina IRAM/SAGyP 29571-2. 2011. Determinación de carbono orgánico en el suelo. 2011. Parte 2 – Determinación de carbono orgánico por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro. Calidad ambiental- calidad de suelo.
- Notaro, K.A.; Medeiros, E.V.; Duda, G.P.; Silva, A.O.; Moura, P.A. 2014. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Scientia Agricola* 71(2):87-95.<https://doi.org/10.1590/s0103-90162014000200001>.
- Policía del Chaco. República Argentina. Última visita 02-10-2021. <https://policia.chaco.gob.ar/index.php/ecmLluvias?sfPaginationPage=2&sfPaginationCount=10>.
- Quiroga, A.R., D.E. Buschiazzi, N. Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampa. *Soil Till. Res.* 52: 21-28.
- Rillig, M.; P. Ramsey; S. Morris; E. Paul. 2003. Glomalin, an arbuscularmycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. *Plant Soil* 253(2): 293-299.
- Rodríguez-Yon, Y., Chiriboga-Morocho, R., Gilberto Concha-Egas, T., Ponce de León-Lima, D. 2020. Caracterización de las fracciones de glomalina en suelos Ferralíticos Rojos con diferente uso. *Cultivos Tropicales*, vol. 41, N° 4.
- Schinner, F.; R. Sonnentag. 1996. En: *Bodenökologie: Microbiologie und Bodenenzymatik*. SpringerVerlag. 450 pp.
- Seguel A., Rubio R, Carrillo R., Espinosa A., Borie F. 2008. Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. *Bosque Valdivia*. Volumen 29 N°1.
- Siqueira J., de Souza F., Cardoso Elke J.; Siu Mui Tsai. 2010. *Micorrizas: 30 años de pesquisas no Brasil*. Ed. UFLA. 716 p.
- Soane B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil Till. Res.* 16: 179-201.
- Studdert, G. A; Domínguez G. F; Fioriti N., Cozzoli M.V.; Diovisalvi N.V.; Eiza M. J. 2006. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia orgánica de

Molisoles de Balcarce. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 19 al 22 de septiembre de 2006. Salta-Jujuy, Argentina. En CD.

Studdert, G; Domínguez G; Agostini M.; Monterubbianesi M. 2010. Cropping systems to manage Southeastern Pampas' Mollisol health. I. Organic C and mineralizable N. In: X Liu; C Song; RM Cruse; T Huffman (eds). «New Advances in Research and Management of World Mollisols, Proceedings of the International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols». Pp. 199- 200.13 al 16 de julio de 2010. Harbin, Heilongjiang, R.P. China.

Studdert, G.; Echeverría H. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1496-1503.

Toledo, D., Galantini J., Ferreccio E., Arzuaga S., Gimenez L.; Vázquez S. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. Ciencia del suelo (Argentina) volumen 31 N°2.

Toledo, D., Arzuaga S., Contreras Leiva, S.; Vázquez S. 2015. Biological indicators of soil quality in natural and cultivated subtropical systems. Journal: Journal of advances in agricultura. Volumen 4 N° 2 (392-397).

Toledo, D., Arzuaga S., Galantini J., Vázquez S. 2018. Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en Sistemas Forestales. Ciencia del suelo (Argentina) volumen 36 N° 2.

Torrella, S., Ginzburg R.; Adámoli J. 2007. Expansión agropecuaria en el Chaco Argentino: Amenazas para la conservación de la biodiversidad. Panorama de la ecología de paisajes en Argentina y países sudamericanos. Página 53 – 63.

Urquieta, JF; GF Domínguez; GA Studdert & S Tettenborn. 2008. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia orgánica de suelos del Sudeste Bonaerense. Actas 21° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, mayo de 2008. En CD.

Van Veen, J.A.; P.J. Kuikman. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. Biogeochemistry 11: 213-233.

Vance, E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem.19: 703-707.

- Waring, S.A.; Bremner, J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201: 951-952.
- Weil, R.R.; F. Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. In: K Magdoff; RR Weil (eds). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Pp. 1-43. CRC Press, Florida, USA.
- Wright, S. F.; A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*, v. 161, n. 09, p. 575-586.

ANEXO FOTOGRÁFICO

MUESTREO DE SUELOS



Figura 7. Situación de Monte.



Figura 8. Homogenización a campo de muestras.



Figura 9. Toma de muestras situación ChAg.



Figura 10. Situación ChAg.



Figura 11. Situación ChMx

VARIABLES BIOLÓGICAS

CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA

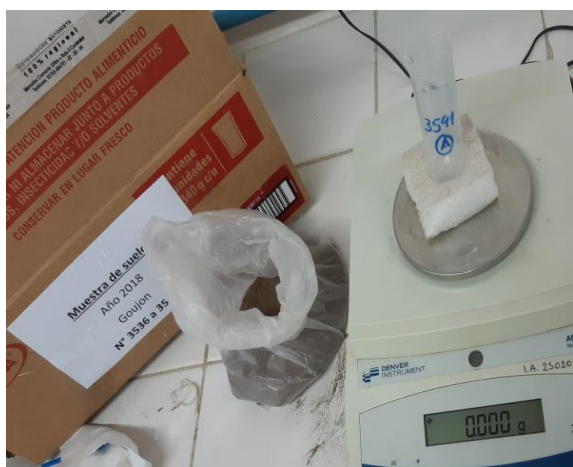


Figura 12. Pesado de muestras.



Figura 13. Agregado de Cloroformo.



**Figura 14. Agregado
de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.0667 M.**

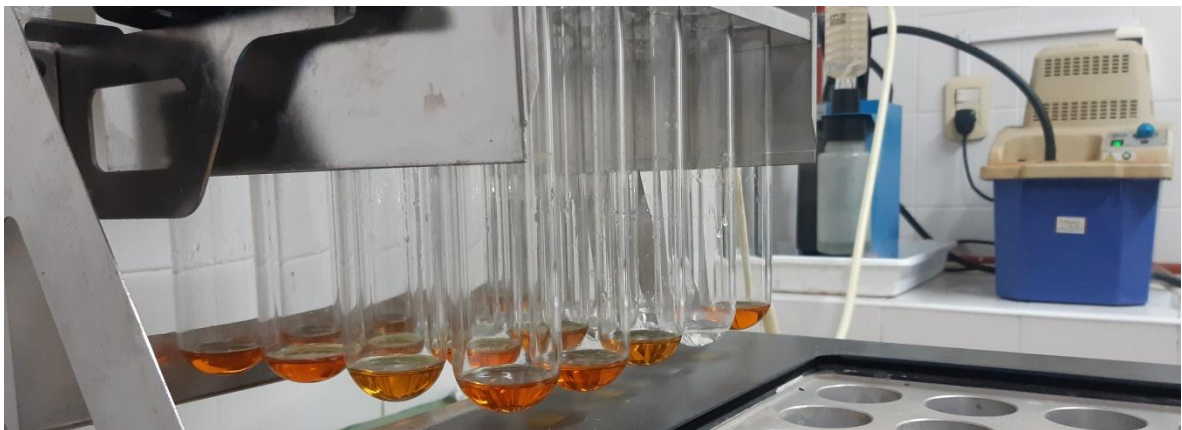


Figura 15. Digestión a 140°C durante 30 minutos

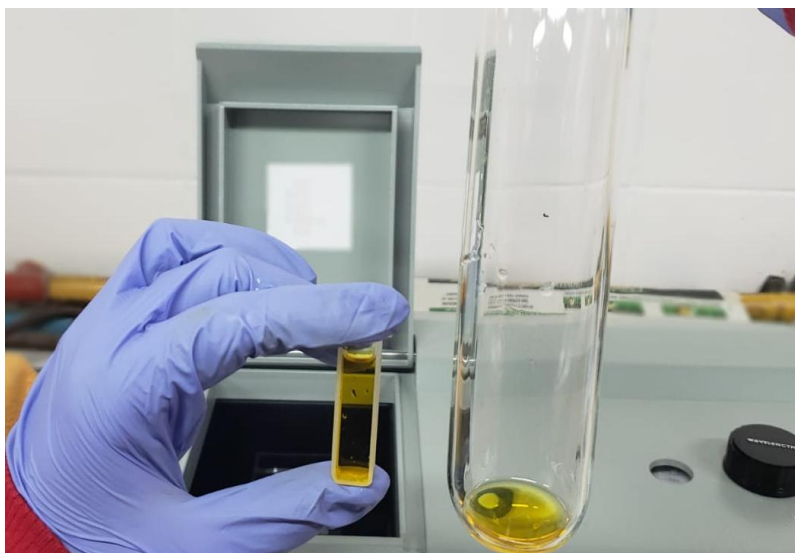


Figura 16. Lectura en espectrofotómetro a 590 nm.



Figura 17. Curva de calibración.

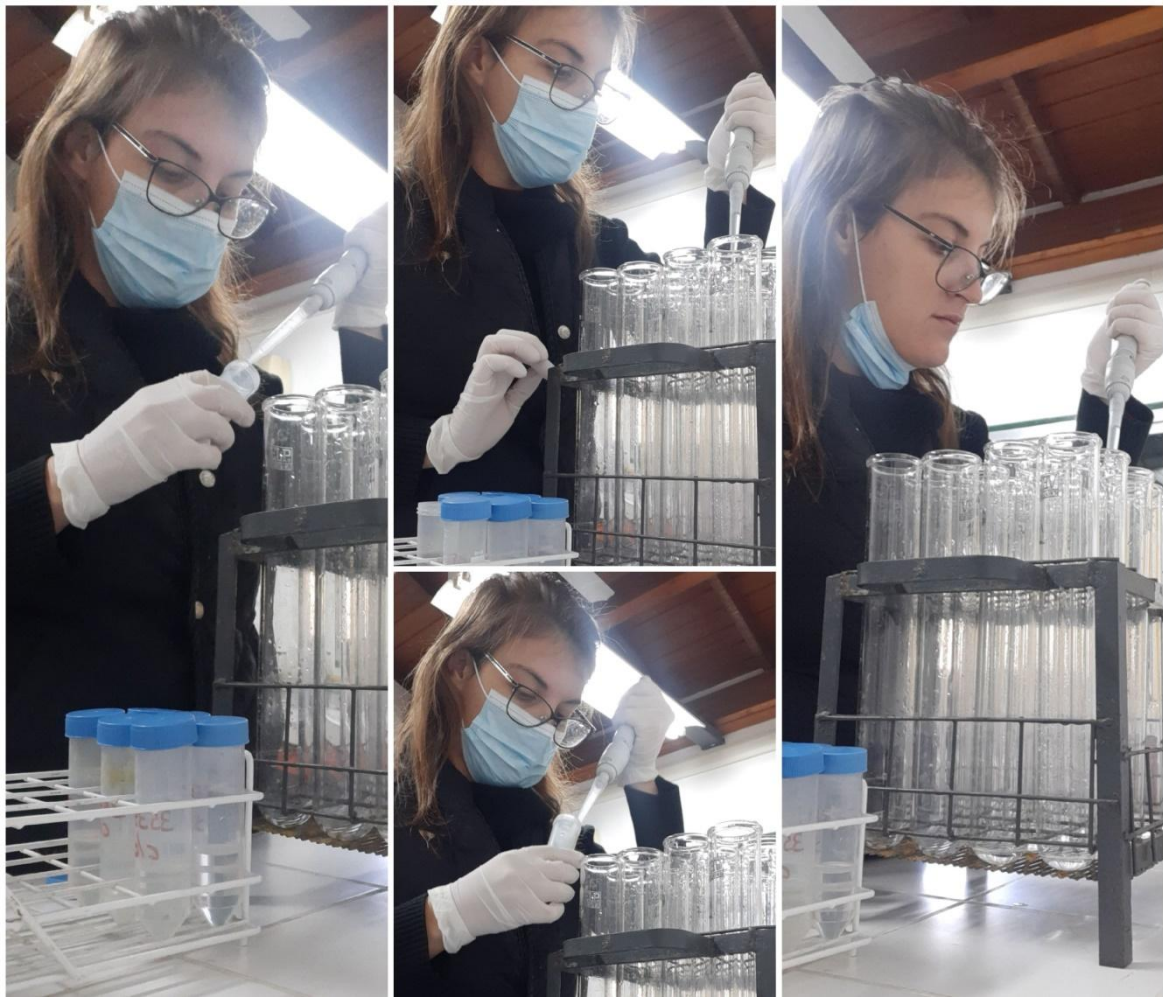


Figura 18. Determinación de curva de calibración previa digestión.



Figura 19. Determinación de NAN.



Figura 20. Determinación de RES



Figura 20. Determinación de GFE.

VARIABLES QUÍMICAS

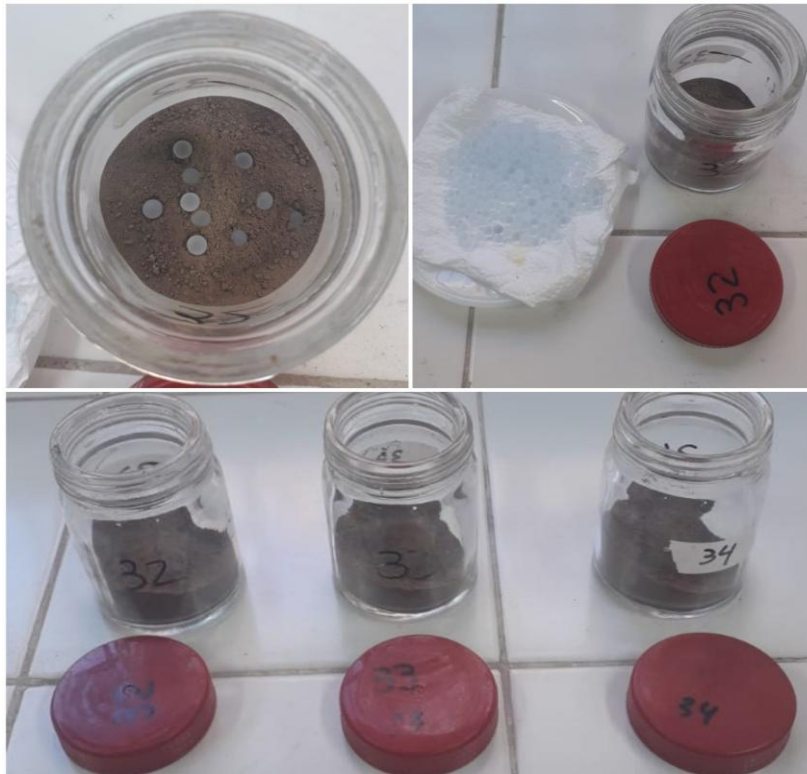


Figura 20. Fraccionamiento físico por tamaño de partícula.

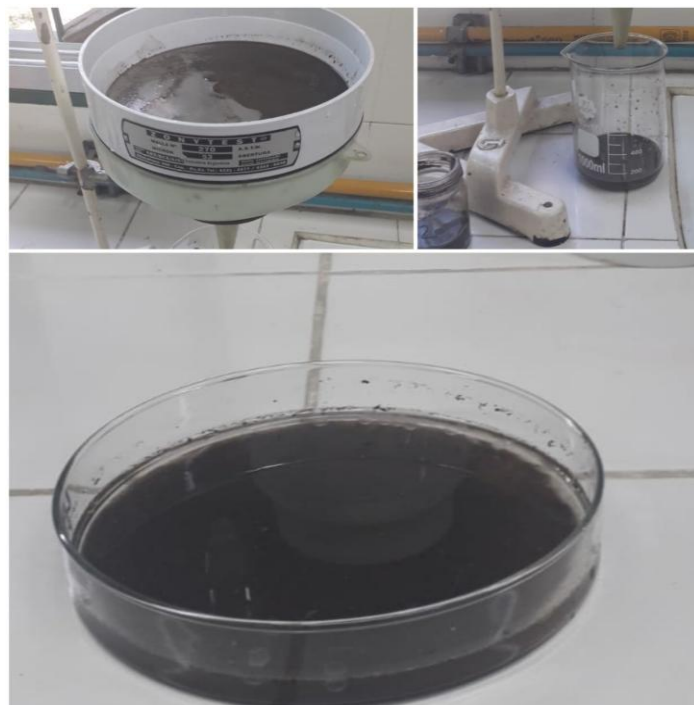


Figura 21. Obtención de dos fracciones: fracción fina y fracción gruesa.