

Informe de Avance de Tesis de Maestría

Alumno: Ing. Agr. GARCÍA, Gisela Vanesa

Director: Ing. Agr. STUDDERT, Guillermo Alberto (*M.Sc., Dr. Ing. Agr.*)

Asesores: Ing. Agr. WYNGAARD, Nicolás (*M.Sc., Ph.D.*)

Ing. Agr. REUSSI CALVO, Nahuel (*Dr.*)

Prof. Silvina SAN MARTINO (*M.Sc., Dra.*)

Título de proyecto de tesis:

“NITRÓGENO ANAERÓBICO COMO INDICADOR DE SALUD EDÁFICA”

1. Exposición sintética de la labor experimental desarrollada (trabajos, técnicas empleadas, métodos, análisis estadístico, resultados preliminares). No exceder de 4000 palabras.

1.1. Materiales y Métodos

1.1.1. Muestreo de suelos

Se realizó la búsqueda y selección de los sitios de muestreo. Para ello, se tuvieron en cuenta los siguientes requisitos: i) que los lotes no tuvieran pendientes mayores que 2% para evitar muestrear lotes dañados por erosión, ii) que no fueran suelos bajos inundables, iii) que tuvieran registros de historia de manejo del lote de por lo menos los últimos 10 años, iv) que estuvieran destinados a la siembra de trigo (*Triticum aestivum* L.) o cebada (*Hordeum vulgare* L.) en la campaña 2016, y v) que fuera posible la realización de un ensayo. Posteriormente, en el período de julio a septiembre de 2016, se tomaron muestras de suelo en 34 lotes de producción del Centro-Sudeste Bonaerense en posiciones georreferenciadas (Figura 1) cubriendo suelos de diferentes texturas (desde franco-arenosos a franco-arcillosos) y situaciones de manejo (sistemas de labranza, secuencias de cultivos, años de agricultura), destinados a la siembra de trigo o cebada. En cada lote muestreado, se marcaron parcelas de 400,00 m² de superficie (20,00 x 20,00 m). En esa dimensión, se tomaron muestras de 0-5 y 5-20 cm de profundidad (compuestas por 15 y 5 submuestras de 0-5 cm y 5-20 cm, respectivamente), con un muestreador tubular de 4,41 cm de diámetro. Una vez retirado el muestreador del suelo, la muestra fue colocada en una bandeja para cortarla cuidadosamente con un cuchillo a la profundidad deseada (0-5 y 5-20 cm). El volumen de la muestra obtenida fue de 1145,59 cm³ para cada profundidad.

Asimismo, se tomaron muestras de suelo (compuestas por 5 submuestras) de 0-5 y 5-20 cm de profundidad con una pala, desechando todas las partes de cada submuestra que habían sido afectadas por el corte de la herramienta. Las muestras fueron puestas cuidadosamente en recipientes plásticos, evitando dañar los agregados. Además, se tomaron muestras de suelo (compuestas por 10 submuestras) de 0-60 cm de profundidad, a la siembra de los cultivos para la posterior determinación de nitrógeno (N) en forma de nitrato (N-NO_3^-), con un muestreador de 1,92 cm de diámetro (excepto en los sitios 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 24, 25, 28 y 29).

Se tomaron también muestras de 0-5 y 5-20 cm de profundidad con el muestreador tubular de 4,41 cm de diámetro y con la pala, de una situación de referencia para cada situación de manejo y de tipo de suelo (i.e. una muestra de suelo de sectores sin disturbio por muchos años que pueda ser equiparable a la situación prístina).

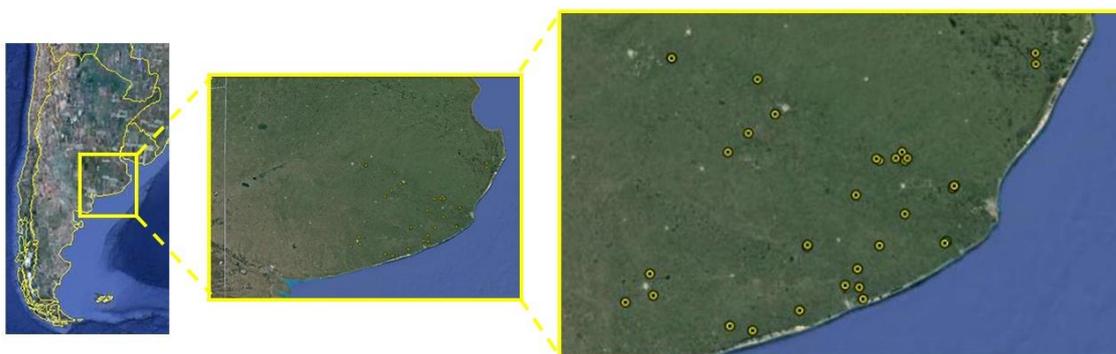


Figura 1: Sitios de muestreo en 34 lotes de producción del Centro-Sudeste Bonaerense.

1.1.2. Ensayos de fertilización nitrogenada

En cada sitio de muestreo se hizo un pequeño ensayo de fertilización nitrogenada en los cultivos de trigo o cebada, a efectos de relacionar las variables a determinar en el suelo con su capacidad de proveer N y la respuesta de los cultivos al agregado de N. Para ello, en 19 sitios (sitios 1, 3, 4, 9, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 30, 31 y 32), las parcelas de 400,00 m² marcadas en cada lote no recibieron fertilización nitrogenada (tratamiento SIN N). El tratamiento con fertilización nitrogenada (CON N), estuvo constituido por una parcela aledaña de igual dimensión, en la que el cultivo recibió la dosis de fertilización nitrogenada aplicada por el productor.

En 11 sitios (sitios 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 24, 25, 28 y 29), se contó con datos de contenido de N-NO_3^- , rendimiento en grano y biomasa aérea total de los cultivos SIN N y CON N, de ensayos realizados para la Tesis de Maestría en curso del Ing. Agr. Ignacio Queirolo.

En el sitio 12, se contó con un ensayo de fertilización nitrogenada de larga duración de la Estación Experimental Agropecuaria Integrada INTA Barrow. En 3 sitios (sitios 2, 33 y 34) no fue posible la realización de ensayos.

1.1.3. Procesamiento de muestras

Las muestras de suelo tomadas fueron procesadas y almacenadas hasta su análisis. El procesamiento de las muestras tomadas con el muestreador tubular de 4,41 cm de diámetro consistió en el pesado de las muestras en húmedo, la homogeneización y la extracción de una alícuota de la muestra. Dicha alícuota fue pesada y secada a 105°C hasta peso constante para la determinación de contenido de agua. El resto de la muestra fue secado en estufa a 50°C con circulación forzada de aire hasta peso constante y molido hasta pasar por tamiz de 2,00 mm, eliminando el material vegetal identificable que quedaba sobre el tamiz.

Las muestras de suelo tomadas con la pala fueron cuidadosamente separadas con las manos en sus agregados por sus líneas naturales de ruptura, hasta pasar por un tamiz de 8,00 mm de apertura de malla. Esto fue realizado inmediatamente luego de la extracción (i.e. en condición húmeda). Se obtuvieron así agregados menores que 8,00 mm de diámetro. Luego, fueron secadas a 50°C en estufa con circulación forzada de aire hasta peso constante.

Las muestras tomadas con el muestreador tubular de 1,92 cm de diámetro, para la determinación de $N-NO_3^-$, fueron homogeneizadas y secadas en estufa a 50°C con circulación forzada de aire hasta peso constante. Posteriormente, fueron molidas hasta pasar por tamiz de 2,00 mm de apertura de malla.

1.1.4. Determinaciones analíticas

A partir de las muestras de suelo de 0-5 y 5-20 cm de profundidad tomadas con el muestreador tubular de 4,41 cm de diámetro, se realizaron las determinaciones de densidad aparente, carbono (C) orgánico total (COT) y particulado (COP), y nitrógeno anaeróbico (NAN) en la masa total del suelo. La determinación de densidad aparente se realizó según el método del muestreador descrito por Agostini *et al.* (2014), mediante el cociente entre la masa de suelo seco y el volumen de muestra para cada profundidad.

Para la determinación del COP se realizó el fraccionamiento físico de las muestras según el método descrito por Cambardella y Elliott (1992), recuperándose la fracción <53 μm en la que se determinó C orgánico asociado a la fracción mineral (COA). Para ello, se tomaron 10,00 g de suelo seco y tamizado por 2,00 mm, se le agregaron 30,00

mL de hexametáfosfato de sodio ($[\text{Na}_2(\text{PO}_3)_n]$) (5 g L^{-1}) y se agitaron durante 15 h. El sodio produce la dispersión de las partículas necesaria para la separación de las fracciones. El contenido del recipiente de agitación se volcó sobre un tamiz de $53 \mu\text{m}$ de apertura de malla. Se ayudó a pasar el material a través del tamiz con agua desionizada. En el tamiz quedó retenida la fracción arena y la materia orgánica particulada. El resto (limo, arcilla y materia orgánica asociada a minerales) fue recogido en un recipiente de 500 mL. El material retenido en el tamiz fue descartado. A la fracción recuperada en el recipiente, se le agregaron 5,00 mL de cloruro de calcio (CaCl_2) 2N para acelerar la floculación. Luego de 24 a 36 h, se extrajo el sobrenadante de los recipientes. El material se secó en estufa a 50°C con circulación forzada de aire hasta peso constante y se homogenizó con un mortero. Posteriormente, se realizó la determinación de C orgánico.

El COT y el COA se determinaron por combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (120°C) durante 90 minutos (Schlichting *et al.*, 1995). Para ello, se procedió colocando 0,25 g de suelo seco y molido en un mortero, en un matraz aforado de 50,00 mL. Se realizó un blanco preparado de la misma forma, pero sin colocar el suelo. Se agregaron 7,50 mL de H_2SO_4 concentrado y 5,00 mL de una solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 2N y se agitó cuidadosamente. Se colocaron los matraces en la estufa a 120°C y se los mantuvo durante 90 min, agitándolos cada 30 min. Se sacaron los matraces de la estufa y se agregó agua desionizada hasta el nivel del cuello. Se dejaron enfriar en agua y luego se enrasaron y se homogeneizó la suspensión. Se trasvasaron 10,00 mL de la muestra a un tubo de ensayo y se centrifugaron a 3000 revoluciones por minuto durante 10 min. Por último, se midió la absorbancia de luz de la solución a una longitud de onda de 578 nm con espectrofotómetro de luz UV-infrarrojo (Cany Precision Instruments Co., Ltd, Shanghai, China).

La materia orgánica del suelo se oxida con el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en solución de ácido sulfúrico (Schlichting *et al.*, 1995). En la reacción redox, el Cr^{+6} es reducido a Cr^{+3} en un medio ácido. La cantidad de Cr^{+3} formada es equivalente a la del carbono oxidado en la reacción. La concentración del Cr^{+3} de color verde es medida por espectrofotometría y la concentración de C correspondiente es obtenida de una curva de calibración. La calibración es necesaria para establecer una relación entre la absorbancia medida y la concentración correspondiente de C. Para tal fin, se mide la coloración (por absorción espectral) que se produce por la oxidación de una sustancia orgánica con concentración conocida de C (tartrato de sodio ($\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)). La solución estándar usada contiene una sustancia orgánica, cuyo contenido y nivel de oxidación del C es conocido. Se prepara una serie de diluciones (diferentes

concentraciones) y se procede a realizar el análisis descripto para las muestras. La absorbancia medida se grafica en función de la concentración de C orgánico y se expresa la relación entre ambas por una línea de regresión. La absorbancia espectral medida en la solución está relacionada linealmente con la concentración de Cr^{+3} , que a su vez es proporcional a una distinta concentración de C oxidada.

El COP se determinó por diferencia entre los contenidos de COT y de COA (Cambardella y Elliott, 1992). Los resultados de cada fracción de C orgánico fueron expresados como concentración ($g\ kg^{-1}$).

Para la determinación del NAN en el suelo se utilizó el método de incubación anaeróbica corta. Para esto se colocaron 5,00 g de suelo en tubos de ensayo (150,00 mm de alto x 16,00 mm de diámetro) y se completó el volumen de los mismos con agua desionizada. Se cerraron herméticamente asegurando una condición de anaerobiosis y se los incubó durante 7 días a 40 °C (Keeney, 1982). Finalizada la incubación, se agitó cada tubo enérgicamente y se transfirió su contenido a un balón de destilación. Para completar la transferencia se utilizaron 15,00 mL de KCl 4M. Se agregaron aproximadamente 0,20 g de MgO al balón de destilación para generar un medio alcalino. La determinación del N de amonio ($N-NH_4^+$) mineralizado durante la incubación, se realizó por destilación por arrastre de vapor (Keeney y Nelson, 1982). El destilado se recogió en 5,00 mL de H_3BO_3 al 2%. Finalmente, se tituló con H_2SO_4 0,005N. Los valores de $N-NH_4^+$ fueron expresados en $mg\ kg^{-1}$ de suelo.

A partir de las muestras de suelo de 0-5 y 5-20 cm tomadas con la pala y tamizadas por 8,00 mm, se realizó la separación por tamaño de agregados (Six *et al.*, 1998) y la determinación de estabilidad de agregados (EA). Para ello, se separó el suelo en cuatro clases de tamaño de agregados: i) 2000-8000, ii) 250-2000, iii) 50-250 y iv) $<50\ \mu m$, mediante tamizados sucesivos en agua a través de tamices con distintas aperturas de malla. Esta metodología contempla la aplicación de dos métodos de re-humedecimiento de los agregados secos antes del tamizado en agua: i) re-humedecimiento por capilaridad hasta capacidad de campo (mojado por capilaridad, MC) y ii) la inmersión rápida en agua (mojado violento, MV). Para el MC se colocó gomaespuma en la base de una bandeja plástica. Ésta fue humedecida con aproximadamente 40,00 mL de agua desionizada y sobre ella se esparcieron 100,00 g de suelo seco y tamizado por 8,00 mm de apertura de malla. Con ello, se llevaron los agregados secos hasta capacidad de campo, contenido de agua en el que la EA es máxima (Hofman y de Leenheer, 1975). Posteriormente, las bandejas fueron cerradas para evitar la evaporación y se dejaron a temperatura ambiente durante 24 h, aproximadamente. El MV consistió en sumergir directamente en agua durante 5 min los 100,00 g de suelo seco distribuidos en el primer

tamiz (2000 μm), antes de iniciar el tamizado. Los suelos se tamizaron en agua secuencialmente, a través de una serie de tres tamices de 2000, 250 y 50 μm de apertura de malla. Tanto para MV como para MC, el proceso de tamizado se inició 5 min después de haber colocado los agregados secos (MV) y los pre-humedecidos (MC) en el primer tamiz. El tamizado se realizó con movimiento de arriba hacia abajo del tamiz dentro del agua, con un recorrido de 3 cm y 50 repeticiones durante un período de 2 min. A efectos de asegurar la igualdad de condiciones de operación entre los distintos tamizados de una muestra y entre muestras, se utilizó un dispositivo diseñado y construido para tal fin (Roberto y Germán Domínguez, construcción *ad hoc*) cuyo funcionamiento reproduce el recorrido y la frecuencia de repeticiones de los movimientos ascendente y descendente indicados en el protocolo utilizado. El proceso de tamizado se inició con el tamiz de 2000 μm y una vez finalizado el tiempo de tamizado, los agregados que quedaron sobre este tamiz fueron recuperados cuidadosamente por retro-lavado con agua desionizada en un recipiente plástico (fracción 2000-8000 μm). Para agilizar la floculación, se agregaron entre 1,00 y 2,50 mL de cloruro de calcio (CaCl_2) 2N, dependiendo de la cantidad de agregados recuperada. El agua más los agregados que pasaron el tamiz de 2000 μm de apertura de malla se vertieron sobre el tamiz de 250 μm , y se procedió al tamizado y recuperación de los agregados de la misma manera que con el primer tamizado (fracción 2000-250 μm). Los agregados y agua que pasaron el tamiz de 250 μm se volcaron luego sobre el tamiz de 50 μm y nuevamente se realizó el tamizado y recuperación correspondientes (fracción 250-50 μm). La suspensión remanente que pasó el último tamiz (fracción <50 μm , entre 5,00 y 6,00 L de suspensión) fue descartada y calculada como la diferencia entre los 100,00 g de suelo iniciales y el peso de cada una de las fracciones de agregados recuperadas. Luego de 24 h, se retiró y descartó el sobrenadante de todos los recipientes y los agregados se secaron en estufa a 50 °C con circulación forzada de aire hasta peso constante. Una vez alcanzado éste, las fracciones obtenidas fueron pesadas y luego almacenadas a temperatura ambiente. Con el peso de los agregados obtenidos en cada tamiz se determinó el diámetro medio ponderado (DMP) para cada método de humedecimiento (MC y MV), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$DMP = \sum_{i=1}^4 X_i W_i$$

donde i identifica a cada fracción de agregados incluyendo la que pasó por el tamiz de 50 μm , X_i es el diámetro promedio de la fracción i (mm) calculado como la media aritmética de la apertura de malla de dos tamices sucesivos, y W_i es la proporción del peso de la fracción i respecto de la muestra total tamizada (100,00 g). Por diferencia

entre los DMP de MC y MV se obtuvo el cambio en DMP (CDMP, mm) como una medida de la EA.

Las fracciones de macroagregados (2000-8000 y 250-2000 μm) fueron almacenadas para la determinación de COT, COP y NAN (aún no realizadas).

Los contenidos de COT y COP y los valores de NAN y CDMP se presentan también para la capa de 0-20 cm, a través del cálculo de promedios ponderados por espesor de los contenidos de las variables a las dos profundidades muestreadas (0-5 y 5-20 cm).

A partir de las muestras de suelo de 0-60 cm tomadas con el muestreador de 1,92 cm de diámetro, se determinó el contenido de N-NO_3^- a la siembra de los cultivos (Keeney y Nelson, 1982). La extracción de N-NO_3^- se realizó mediante la suspensión y agitación de 20,00 g de suelo en 50,00 mL de sulfato de potasio 0,10 N. Luego, se realizó una centrifugación a 3500 revoluciones por minuto durante 4 min y se tomó una alícuota del extracto, que fue secado en estufa a 60 °C. Al residuo de esta evaporación se le agregó 1,00 mL de ácido fenoldisulfónico, y luego de 10 min, se adicionaron 14,00 mL de agua desionizada y 10,00 mL de hidróxido de sodio al 25%. El ácido fenoldisulfónico reacciona fácilmente con el N-NO_3^- dando, en medio básico, una solución de coloración amarilla cuya intensidad se relaciona con la concentración del N-NO_3^- . A partir de una solución de concentración de N-NO_3^- conocida (100,00 mg L^{-1}) se preparó una solución de 50,00 mg L^{-1} de N-NO_3^- y luego, con pipeta de doble enrastre, se prepararon soluciones estándar con 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 mg L^{-1} de N-NO_3^- en matraces aforados de 50,00 mL. Las soluciones estándar obtenidas, fueron tratadas de igual forma que los extractos de suelo. Posteriormente, a alícuotas de estas soluciones se les determinó la absorbancia de luz de una longitud de onda de 420 nm, mediante el uso de un espectrofotómetro UV-infrarrojo (Cany Precision Instruments Co., Ltd, Shanghai, China). Se construyó así una curva de calibrado, que luego fue utilizada para obtener la concentración de N-NO_3^- (mg L^{-1}) en los extractos obtenidos de las muestras, a partir de la medición de su absorbancia. Los resultados de N-NO_3^- fueron expresados en mg L^{-1} y kg ha^{-1} .

1.1.5. Muestreo y procesamiento de plantas

Al finalizar el ciclo de los cultivos de trigo y cebada, se realizó el muestreo de plantas en los sitios 1, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 30 y 31. Se cortaron 3 repeticiones de 3,00 m lineales cada una (un total de 9,00 m lineales) de plantas al ras del suelo en las parcelas SIN N (excepto en los sitios 1, 3, 4 y 19 porque fueron fertilizadas por error) y CON N. Las plantas fueron secadas en estufa a 60°C y pesadas. Posteriormente, se separaron las espigas del resto de la planta. Las espigas

fueron trilladas y los granos obtenidos fueron secados en estufa a 60°C y pesados. Se determinó biomasa aérea total como peso total de plantas (sin considerar las raíces) por unidad de superficie, y rendimiento en grano como peso de granos por unidad de superficie (en kg ha⁻¹).

Tanto los granos como el resto de la planta fueron molidos hasta pasar por tamiz de 2,00 mm y almacenados para la determinación de N en planta y en grano (aún no realizado).

1.1.6. Análisis estadístico

Los resultados preliminares fueron obtenidos a partir del análisis estadístico de los datos utilizando modelos de regresión lineal simple y múltiple con el programa R Core Team (2016). Para la significancia de las regresiones se utilizó un valor de p menor que 0,05 ($p < 0,05$).

1.2. Resultados preliminares

1.2.1. Relación del NAN con el COT, el COP y la EA

Regresiones lineales simples mostraron que el NAN varió de manera directamente proporcional a las variaciones de COT (Figura 2a, b y c) y de COP (Figura 2d, e y f) en las tres profundidades analizadas (0-5, 5-20 y 0-20 cm). Esto reafirma lo informado por otros autores en horizontes superficiales de suelos del Sudeste Bonaerense (Studdert *et al.*, 2006; Urquieta *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2016). Las relaciones entre NAN y COT, y NAN y COP tuvieron un mejor ajuste en la capa de 0-5 cm (Figura 2a y d, respectivamente), lo que coincide con lo reportado por otros autores (Studdert *et al.*, 2006; Urquieta *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2016). Los R^2 de las regresiones entre NAN y COT fueron 0,83, 0,58 y 0,72 para las capas de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente (Figura 2a, b y c). Las regresiones entre NAN y COP mostraron pendientes superiores a las de NAN en función de COT. No obstante, a diferencia de lo observado en resultados previos (Studdert *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2016), las variaciones de NAN no fueron mejor explicadas por las variaciones en COP (Figura 2d, e y f) que por las variaciones en COT (Figura 2a, b y c). Los R^2 de las relaciones entre NAN y COP fueron 0,82, 0,54 y 0,74 para 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente (Figura 2d, e y f).

Lo observado hasta aquí confirma que el NAN se relaciona positivamente con el COT y el COP y que, por lo tanto, presenta un comportamiento similar a los de COT y COP. Es así que, la dinámica del NAN podría ser explicada a través de la del C orgánico del suelo y la de sus fracciones lábiles. Las fracciones lábiles del C orgánico del suelo están

estrechamente ligadas a la capacidad del suelo para mineralizar N (Gregorich *et al.*, 2006).

Por otro lado, se observaron relaciones significativas ($p < 0,05$) entre el CDMP (como una medida de la EA) y el COT, el COP y el NAN para las tres profundidades analizadas (0-5, 5-20 y 0-20 cm). Los R^2 de las regresiones entre CDMP y COT fueron de 0,54, 0,39 y 0,50 para las profundidades de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente. Las regresiones entre CDMP y COP mostraron ser más estrechas con R^2 de 0,59, 0,57 y 0,68 para las profundidades de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente. La relación entre la EA y la materia orgánica y sus fracciones lábiles confirma lo reportado en publicaciones previas (Eiza *et al.*, 2006; Agostini *et al.*, 2012). Las variaciones en el CDMP estuvieron mejor explicadas por las variaciones en NAN que por las de COT y COP. Los R^2 fueron de 0,65, 0,59 y 0,71 para las profundidades de 0-5, 5-20 y 0-20 cm, respectivamente. Dada la relación de la EA con la materia orgánica y sus fracciones lábiles, y la de éstas con el NAN, es de esperar que el NAN se relacione con la EA. Los resultados observados confirman lo reportado por Domínguez *et al.* (2016) para un experimento realizado en condiciones controladas y para un único tipo de suelo. La comprobación de dicha relación para un mayor rango de situaciones (diferentes texturas e historias de manejos), como sucede en este trabajo, amplía el espectro de características edáficas cuyos cambios asociados con el manejo se relacionan con cambios en el NAN, mejorando su posibilidad de uso como indicador de salud edáfica.

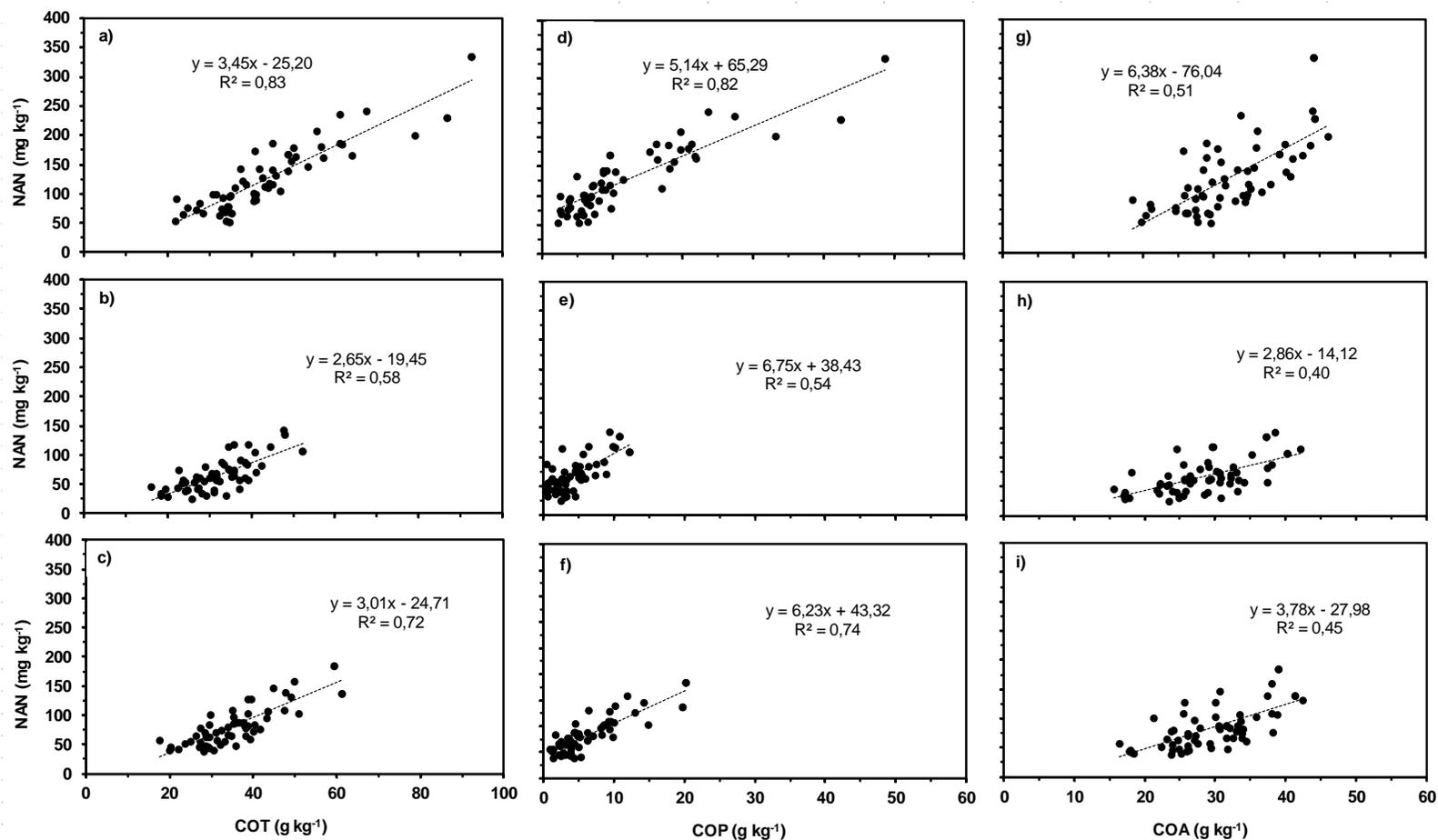


Figura 2: Relaciones entre nitrógeno incubado anaeróbico (NAN) y carbono orgánico total (COT) (a, b, c), carbono orgánico particulado (COP) (d, e, f) y carbono orgánico asociado a minerales (COA) (g, h, i) de 0-5 (a, d, g), 5-20 (b, e, h) y 0-20 cm (c, f, i). Todas las regresiones fueron significativas ($p < 0,05$).

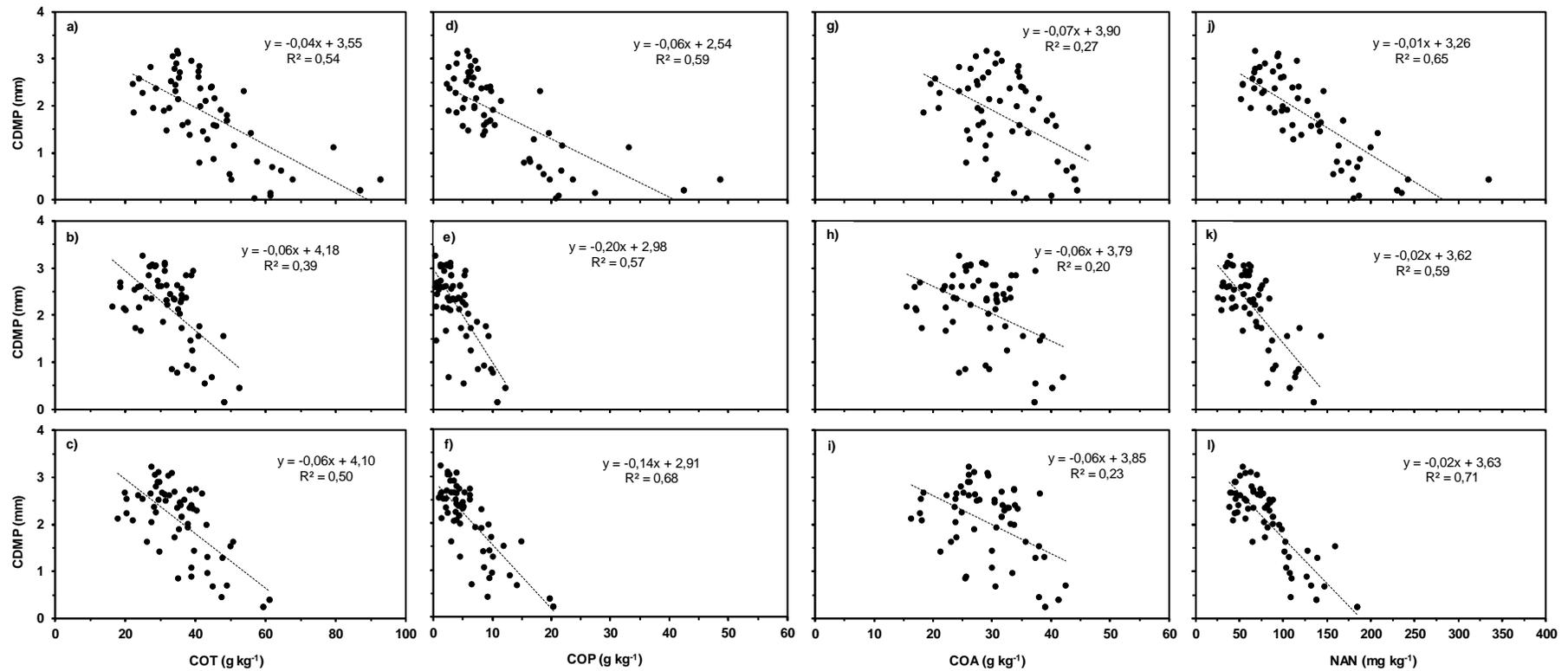


Figura 3: Relaciones entre cambio de diámetro medio ponderado (CDMP) y carbono orgánico total (COT) (a, b, c), carbono orgánico particulado (COP) (d, e, f), carbono orgánico asociado a minerales (COA) (g, h, i), y nitrógeno anaeróbico (NAN) (j, k, l) de 0-5 (a, d, g, j), 5-20 (b, e, h, k) y 0-20 cm (c, f, i, l). Todas las regresiones fueron significativas ($p < 0,05$).

1.2.2. Relación del NAN con el rendimiento en grano

Contrariamente a lo esperado, regresiones lineales simples no mostraron relaciones significativas de rendimiento SIN N, biomasa SIN N, rendimiento relativo y respuesta a N en función del NAN de 0-5 ni de 0-20 cm de profundidad, tanto para el cultivo de cebada (Figura 4) como para el de trigo (Figura 5). Lo observado no coincide con lo reportado previamente por otros autores para maíz (*Zea mays* L.), que hallaron relaciones positivas entre rendimiento sin fertilización nitrogenada y NAN en experimentos realizados para una misma condición edafo-climática (Domínguez *et al.*, 2006; 2016).

Asimismo, no se encontraron modelos de regresión lineal múltiple incluyendo como variables explicativas el NAN (de 0-5 y de 0-20 cm) y el contenido de N-NO₃⁻ a la siembra (de 0-60 cm, expresado como mg kg⁻¹ o kg ha⁻¹) que explicaran las variables respuesta antes mencionadas. Reussi Calvo *et al.* (2013) ajustaron un modelo de regresión lineal múltiple para estimar el rendimiento sin fertilización nitrogenada de trigo, presentado a continuación:

$$GY_{0N} = -1555 + 80,7 N - NO_3^- - 0,38 (N - NO_3^-)^2 + 47,4 NAN$$

GY_{0N} es el rendimiento en grano sin fertilización nitrogenada (en kg ha⁻¹), $N - NO_3^-$ es el contenido de nitratos de 0-60 cm a la siembra de los cultivos (en kg ha⁻¹), y NAN es el nitrógeno anaeróbico de 0-20 cm (en mg kg⁻¹). Dicho modelo no ajustó significativamente para los datos de rendimiento SIN N obtenidos en este trabajo (Figura 6). Las relaciones entre los datos de rendimiento observados en función de los estimados fueron no significativas y tuvieron R² de 0,02 y 0,00 para trigo y cebada, respectivamente. Probablemente, esto se deba a que otras variables (textura, sistema de labranza, cultivo antecesor, precipitaciones, otros nutrientes) pudieron haber influenciado el rendimiento en grano SIN N de los cultivos de trigo y cebada utilizados en este trabajo y no están siendo consideradas. Es probable que durante la campaña 2016, los cultivos de trigo y cebada de los ensayos contemplados en este trabajo no hayan tenido una disponibilidad de agua adecuada para su desarrollo (datos aún no obtenidos). Asimismo, en todos los sitios muestreados hubo precipitaciones abundantes antes del momento de la siembra de los cultivos, razón por la cual los contenidos de N-NO₃⁻ determinados pueden no haber reflejado adecuadamente la capacidad del suelo de proveer N a los cultivos.

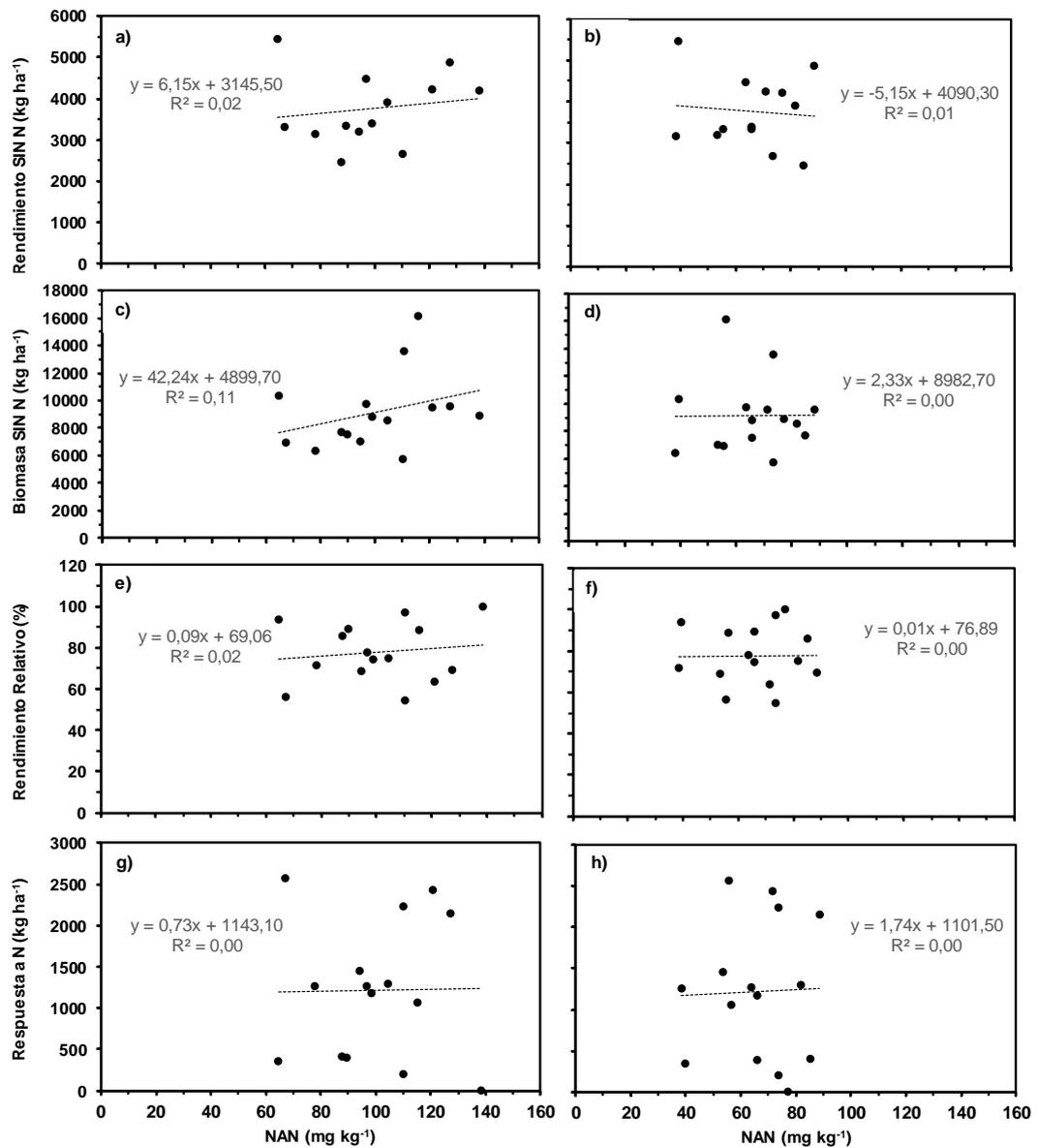


Figura 4: Relaciones entre rendimiento sin fertilización nitrogenada (Rendimiento SIN N) (a, b), biomasa sin fertilización nitrogenada (Biomasa SIN N) (c, d), rendimiento relativo (e, f) y respuesta a la fertilización nitrogenada (Respuesta a N) (g, h) y nitrógeno incubado anaeróbico (NAN) de 0-5 (a, c, e, g), y 0-20 cm (b, d, f, h) para el cultivo de cebada. Todas las regresiones fueron no significativas ($p > 0,05$).

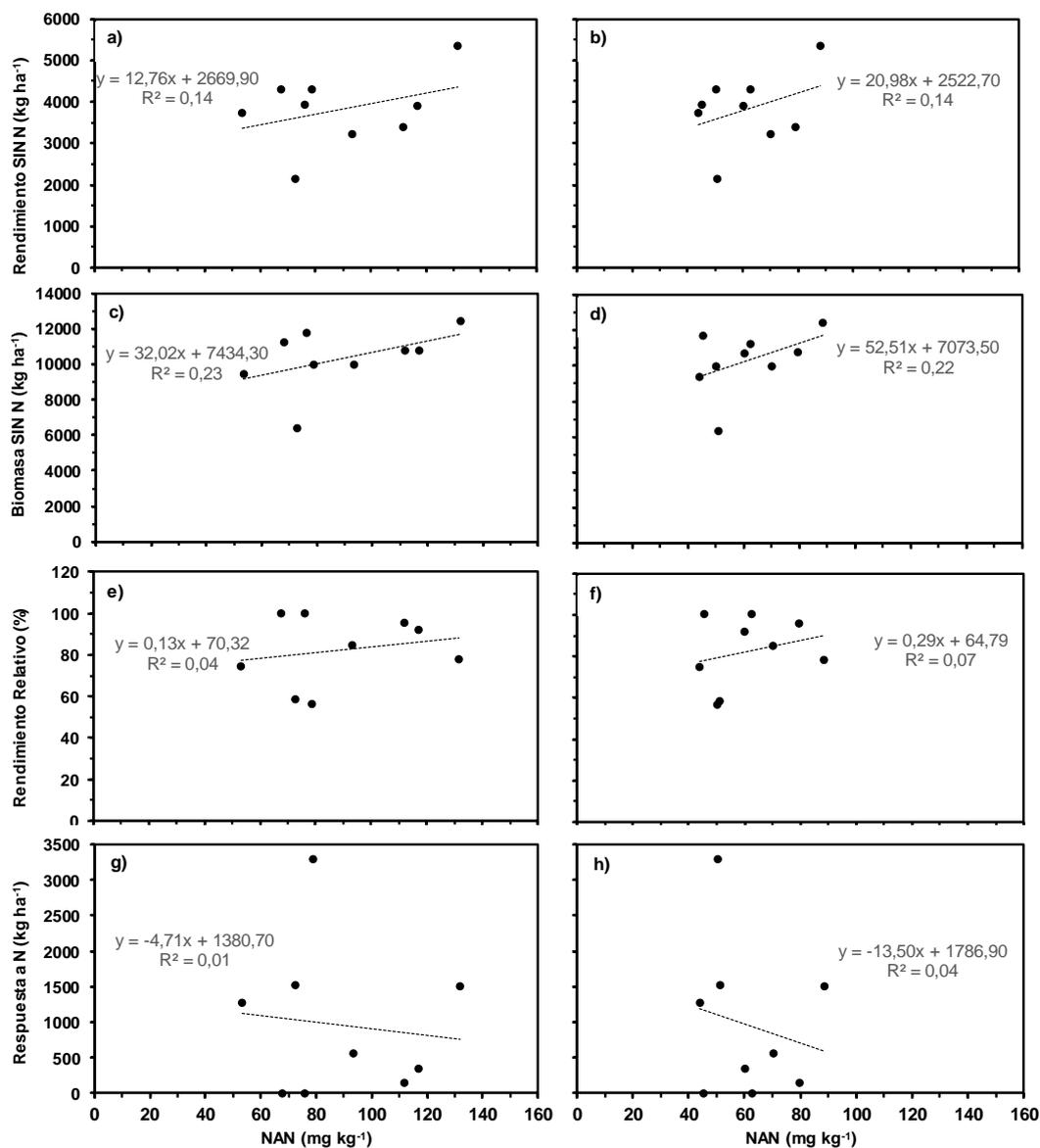


Figura 5: Relaciones entre rendimiento sin fertilización nitrogenada (Rendimiento SIN N) (a, b), biomasa sin fertilización nitrogenada (Biomasa SIN N) (c, d), rendimiento relativo (e, f) y respuesta a la fertilización nitrogenada (Respuesta a N) (g, h) y nitrógeno incubado anaeróbico (NAN) de 0-5 (a, c, e, g), y 0-20 cm (b, d, f, h) para el cultivo de trigo. Todas las regresiones fueron no significativas ($p > 0,05$).

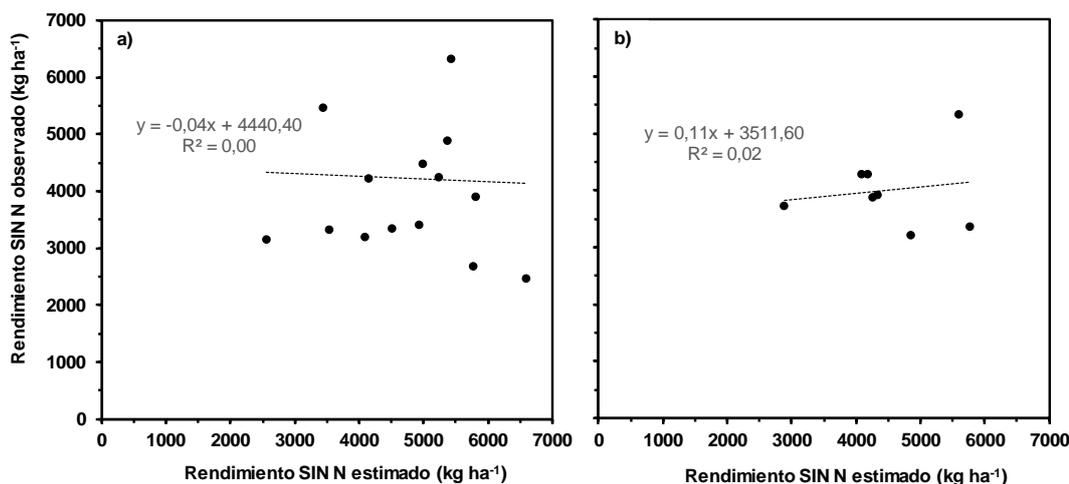


Figura 6: Relaciones entre rendimiento sin fertilización nitrogenada (Rendimiento SIN N) observado y estimado con el modelo de regresión lineal múltiple de la ecuación 1 para el cultivo de cebada (a) y trigo (b). Las regresiones fueron no significativas ($p > 0,05$).

1.3. Conclusiones preliminares

Los resultados preliminares obtenidos hasta el momento contribuyen a la prueba de la primera hipótesis planteada. Ésta postula que, “*para suelos bajo producción agrícola del Centro-Sudeste Bonaerense, el NAN en la masa total del suelo de la capa arable (0-20 cm) puede ser utilizado como indicador de salud edáfica porque se relaciona positivamente con la capacidad de provisión de N del suelo y a la vez con la EA*”. En las condiciones en las que se desarrolló este trabajo, se reunieron evidencias suficientes para rechazar parcialmente dicha hipótesis. A partir de los resultados obtenidos, se observó que el NAN no se relacionó positivamente con el rendimiento de los cultivos evaluados. Por esta razón, se rechaza la parte de la hipótesis que plantea que el NAN se relaciona positivamente con la capacidad de provisión de N del suelo a los cultivos. No obstante, se reunieron evidencias suficientes para aceptar la parte de la hipótesis referida a que el NAN se relaciona con la EA.

Aún no se tienen resultados para responder a la segunda hipótesis que plantea que “*el NAN en los macroagregados ($>250 \mu\text{m}$) de la capa arable (0-20 cm) es más sensible que el determinado en la masa total y mejora su desempeño como indicador de salud edáfica*”.

2. Principales dificultades para la ejecución del trabajo:

En la ejecución del proyecto de Tesis, hasta el momento se han presentado las siguientes dificultades:

- 2.1. Pérdida total de tres ensayos de fertilización nitrogenada (sitios 7, 15 y 32) por condiciones meteorológicas adversas a la producción del cultivo (heladas y déficit hídrico).
- 2.2. Pérdida de las parcelas sin fertilización nitrogenada en cuatro ensayos (sitios 1, 3, 4 y 19).
- 2.3. Problemas en la selección de algunos lugares de referencia (i.e. Prístinos) (sitios 3, 5, 6, 15, 25).
- 2.4. Dificultad en la obtención de la información de la historia de manejo de los lotes muestreados.
- 2.5. Mayor tiempo empleado que el previsto en el acondicionamiento de muestras de suelo, específicamente en la ruptura de agregados “en fresco” hasta pasar por tamiz de 8 mm.
- 2.6. Mayor tiempo empleado que el previsto en la determinación de estabilidad de agregados y separación de macroagregados debido a que es una técnica consumidora de muchas horas hombre, y a que es necesaria la realización de muchas repeticiones. Esto último se debe a que presenta una gran variabilidad en los resultados obtenidos, y a que se recupera una baja cantidad de macroagregados en cada repetición, que no son suficientes para la realización de las técnicas que se tienen que llevar a cabo en ellos (COT, COP y NAN).

No obstante, dichas dificultades no fueron de gran magnitud e importancia y, por lo tanto, no impidieron la continuidad de la ejecución de la Tesis, sino que sólo provocó retrasos en los tiempos inicialmente previstos.

3. Grado de cumplimiento del proyecto original:

Se estima que hasta el día de la fecha se ha realizado el 60% de las actividades propuestas en el proyecto original, que contemplan:

- 3.1. la búsqueda y selección de los sitios de muestreo,
- 3.2. la toma de muestras de suelo,
- 3.3. la realización de los ensayos de fertilización nitrogenada,
- 3.4. el procesamiento y acondicionamiento de las muestras de suelo,

- 3.5. la determinación de densidad aparente, COT, COP y NAN en la masa total del suelo, EA y separación de macroagregados y $N-NO_3^-$,
- 3.6. la toma de muestras de plantas, su acondicionamiento y determinación de rendimiento en grano y biomasa aérea total,
- 3.7. la recopilación de parte de la información correspondiente a la historia de manejo de cada lote muestreado.
- 3.8. el análisis estadístico preliminar de los datos obtenidos hasta el momento.

Durante los próximos nueve meses, se realizará el 40% de las actividades restantes del proyecto de Tesis. Las mismas se listan a continuación:

- 3.9. determinación de textura, COT, COP y NAN en macroagregados, y N en planta y en grano,
- 3.10. recopilación de la información faltante de la historia de manejo de los lotes muestreados.
- 3.11. análisis de datos,
- 3.12. escritura de la tesis y de publicaciones y/o presentaciones a congresos.

4. Cronograma para cumplir las tareas a completar dentro del plazo (24 meses para maestría/ 12 meses para especialización):

Tabla 1: cronograma de 24 meses de actividades de la carrera de Maestría en Producción Vegetal. En color azul se presentan las actividades realizadas hasta el día de la fecha. En color rojo se presentan las actividades que quedan por realizar para finalizar dicha Carrera.

	Primer año												Segundo año											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AAGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
Actividades académicas de posgrado	X	X	X	X	X	X	X	X	X															
Búsqueda bibliográfica y preparación y presentación del proyecto de Tesis	X	X																						
Muestreo de suelos y procesamiento de muestras				X	X	X	X																	
Análisis de laboratorio							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Procesamiento y análisis estadístico de la información														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Preparación de publicaciones y/o presentación a congresos																			X	X	X	X	X	X
Escritura de Tesis																			X	X	X	X	X	X

5. Publicaciones relacionadas con el proyecto de tesis:

Durante el transcurso del año 2016, se publicaron tres trabajos científicos citados a continuación:

- 5.1. Domínguez, G.F.; García, G.V.; Studdert, G.A.; Agostini, M.A.; Tourn, S.N.; Domingo, M.N. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as a soil quality/health indicator? Spanish Journal of Soil Science. 6(2):82-97.
- 5.2. García, G.V.; Studdert, G.A.; Domingo, M.N.; Domínguez, G.F. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. Ciencia del Suelo. 34(1):127-138. ISSN (impresa): 0326-3169. ISSN (en línea): 1850-2067.
- 5.3. Studdert, G.A.; Domingo, M.N.; García, G.V.; Monterubbianesi, M.G.; Domínguez, G.F. 2017. Carbono orgánico del suelo bajo sistemas de cultivo contrastantes y su relación con la capacidad de proveer nitrógeno. Ciencia del Suelo. 35(2): en prensa.

En dichos trabajos no se publicaron resultados correspondientes a la Tesis de Maestría, sino que contemplan resultados de mi Tesis de Grado para optar al título académico de Ingeniera Agrónoma. No obstante, están totalmente relacionados con mi Tesis de Maestría, dado que corresponden al mismo tema de investigación y, por lo tanto, contribuyen a la evaluación del nitrógeno anaeróbico para ser utilizado como indicador de salud edáfica.

6. Grado de avance en la redacción del manuscrito de tesis:

No hay ningún grado de avance en la redacción del manuscrito hasta el día de la fecha.

7. Bibliografía

AGOSTINI, M.A.; MONTERUBBIANESI, M.G.; STUDDERT, G.A.; MAURETTE, S. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. Ciencia del Suelo 32:171-176.

AGOSTINI, M.A.; STUDDERT, G.A.; DOMÍNGUEZ, G.F. 2012. Relación entre el cambio en el diámetro medio de agregados y el carbono orgánico y sus fracciones. Actas 19° Congreso Latinoamericano y 23° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina. Abril de 2012. En CD.

- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- DOMÍNGUEZ, G.F.; GARCÍA, G.V.; STUDDERT, G.A.; AGOSTINI, M.A.; TOURN, S.N.; DOMINGO, M.N. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil quality/health indicator? *Spanish J. Soil Sci.* 6:82-97.
- DOMÍNGUEZ, G.F.; STUDDERT, G.A.; COZZOLI, M.V.; DIOVISALVI, N.V. 2006. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maíz. *Actas 22° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina, septiembre 2006.* En CD.
- EIZA, M.J.; STUDDERT, G.A.; FIORITI, N.; DOMÍNGUEZ, G.F. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en molisoles de Balcarce. En: *Actas 20° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo; Salta-Jujuy, Argentina, septiembre 2006.* En CD.
- GREGORICH, E.G.; BEARE, M.H.; MCKIM, U.F.; SKJEMSTAD, J.O. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:975-985.
- HOFMAN, G.; DE LEENHEER, L. 1975. Influence of soil prewetting on aggregate instability. *Pedologie* 25: 190-198.
- KEENEY, D.R.; NELSON, D.W. 1982. Nitrogen inorganic forms. In Page, A.L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Agron. Monogr. 9. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Coc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU.* pp. 643-698.
- KEENEY, D.R. 1982. Nitrogen-availability indexes. In Page, A.L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. 9. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Coc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU.* pp. 643-698.
- R CORE TEAM. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- REUSSI CALVO, N.I.; SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.E.; BERARDO, A. 2013. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105:1-8.
- SCHLICHTING, E.; BLUME, H.P.; STAHR, K. 1995. *Bodenkundliches Praktikum.* Paul Parey. Hamburg, Berlin. 209 p.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 62:1367-1377.
- 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 20° Congreso de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina, septiembre de 2006.* En CD

URQUIETA, J.F.; DOMÍNGUEZ, G.F.; STUDDERT, G.A.; TETTENBORN, S. 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.