

Estudios sobre el contenido de amonio en un Vertisol de secano mediterráneo. Influencia del sistema de laboreo y profundidad de suelo.

L. López-Bellido, V. Muñoz-Romero, P. Fernández-García, R. J. López-Bellido

La mineralización es un concepto que no siempre se interpreta del mismo modo. A veces se considera como la conversión de N orgánico a formas inorgánicas (amonio, amoniaco y nitratos) y otras se considera como un sinónimo de la amonificación (conversión de N orgánico a amonio y amoniaco). La mineralización es un proceso importante en el ciclo de nutrientes de las plantas, ya que clásicamente se acepta que la nutrición requiere la mineralización y liberación de nutrientes como paso previo a su absorción por las raíces de las plantas. La mineralización está siempre unida con la inmovilización; ambos procesos están íntimamente conectados y son dependientes. La amonificación depende principalmente de las bacterias aerobias y se favorece con un pH neutro, humedad, buena aireación y un sustrato de carbono adecuado. Además, el fertilizante nitrogenado tiene algunas veces un efecto preparatorio en la amonificación, a través de la estimulación del crecimiento bacteriano.

Existe controversia sobre la influencia del sistema de laboreo en la mineralización. Los Vertisoles plantean problemas específicos de laboreo y tienen por ello requerimientos particulares y sus propiedades varían considerablemente tanto en el espacio como en el tiempo. El laboreo convencional y el cultivo continuo conducen, entre otros factores, a un incremento de la densidad y la resistencia del suelo y a la degradación de los espacios de macroporos. Por el contrario, los sistemas de mínimo laboreo o laboreo cero y la incorporación del rastrojo pueden mejorar la estructura del suelo, incrementar el contenido de materia orgánica y la capacidad de retención y conservación de agua del suelo y mejorar la fertilidad química.

El amonio en el suelo procede de: 1) la mineralización del nitrógeno orgánico existente en el estiércol, residuos de plantas y humus; 2) la aplicación de fertilizante que contenga amonio; 3) la deposición aérea; 4) la hidrólisis de la urea fertilizante, un proceso rápido que se completa unos días después de la aplicación. Por su carga positiva puede ser

adsorbido por los coloides del suelo, existiendo una pequeña cantidad en la solución del mismo. En general, a medida que la cantidad de amonio declina en la solución de suelo, más amonio será liberado en la misma y será extraído por las plantas. Cuando esto ocurre, el amonio se considera como fijado o no intercambiable. Si el contenido de agua del suelo está próximo a la saturación y el agua contiene una alta concentración de iones amonio, después de la fertilización nitrogenada en particular, éste puede penetrar profundamente a capas más bajas del suelo por flujo de masas.

Existen numerosos estudios sobre la mineralización entendida como el proceso de conversión de N orgánico a N inorgánico. Sin embargo, son más escasos los que determinan la cantidad de amonio que existe en el suelo. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia del sistema de laboreo, rotación y dosis de nitrógeno en la acumulación de amonio en el perfil de un suelo Vertisol bajo las condiciones de secano mediterráneas durante 13 años, en el marco de un experimento de larga duración en la campiña andaluza.

METODOLOGÍA

Los experimentos fueron realizados en Córdoba, durante un periodo de 13 años, en el marco de un experimento de larga duración denominado “Malagón” sobre un suelo Vertisol de secano típico de la región Mediterránea. El diseño del experimento fue en parcelas sub-subdivididas, con tres repeticiones, siendo la parcela principal el sistema de laboreo (no laboreo y laboreo convencional), la subparcela la rotación bianual de cultivo (trigo-girasol, trigo-garbanzo, trigo-habas y monocultivo de trigo), y la sub-subparcela la dosis de N fertilizante aplicado al trigo (0, 50, 100 y 150 kg N/ha). La superficie de cada parcela básica fue 50 m² (5 x 10m). Cada rotación fue duplicada en la secuencia inversa para obtener datos de todos los cultivos anualmente. Cada año, fue aplicado a las parcelas de trigo fósforo fertilizante (65 kg P/ha), incorporándose al suelo en el laboreo convencional y localizándose en bandas con la sembradora en el no laboreo.

En cada parcela de trigo fueron tomadas tres muestras de suelo antes de la siembra, a la profundidad de 0-90 cm. Las muestras fueron divididas en 3 porciones correspondientes a 0-30, 30-60 y 60-90 cm de profundidad para su análisis. El contenido de amonio del

suelo fue determinado por el método colorímetro de Griess Illosvay modificado por Barnes y Folkard y Bremner, utilizándose un equipo de flujo continuo Bran Luebbe.

Fue utilizada una estación meteorológica Delta-T situada en el mismo experimento que mide la temperatura del aire y suelo y la pluviometría.

Los niveles de amonio fueron sometidos a un análisis de varianza y la significación de los efectos fue calculada siguiendo el método de la mínima diferencia significativa.

RESULTADOS

Condiciones climáticas

La distribución estacional de la lluvia difirió entre los años de estudio, concentrándose principalmente en otoño donde la precipitación media del periodo de estudio fue 250 mm frente a los 44, 108 y 171 mm en verano, primavera e invierno, respectivamente. Las mayores precipitaciones anuales tuvieron lugar en los años 1996 y 1997 (953 y 935 mm, respectivamente) y las más escasas en los años 2005, 1999 y 1995 (263, 281 y 284 mm, respectivamente) (Fig. 1).

A lo largo del experimento, las temperaturas medias de suelo fueron 11.9 °C en invierno, 20.3 °C en primavera, 25.4 °C en verano y 15.1 °C en otoño. Los años 2001 y 2002 registraron la temperatura de suelo media de verano más alta (30.8 y 30.1 °C, respectivamente) (Fig. 1). Por otro lado, la temperatura media de suelo más baja del invierno ocurrió en los años 1999 y 2005 (10.5 y 9.5 °C, respectivamente) (Fig. 1).

La temperatura del suelo osciló menos que la del aire en cada estación, siendo los valores medios del aire ligeramente mayores que los del suelo en primavera y verano (20.7 y 26.6 °C, respectivamente) y menores para otoño e invierno (13.9 y 11.2 °C, respectivamente).

Influencia de la lluvia y la temperatura en el contenido de amonios del suelo.

El contenido de amonio del suelo estuvo estrechamente relacionado con la precipitación anual. La mineralización es favorecida por un contenido alto de humedad del suelo. La mineralización del nitrógeno se incrementa a medida que el porcentaje de poros del suelo se llenan de agua hasta un nivel en torno al 60%. Sin embargo, cuando la lluvia es

excesiva y se producen condiciones anaerobias en el suelo el proceso de mineralización se detiene en la formación de amonio, dado que las condiciones oxidativas necesarias para la nitrificación no tienen lugar. Bajo estas condiciones se acumula más amonio que nitratos en el suelo.

El mayor contenido de amonio del suelo se observó en el año 1997 que fue el de mayor precipitación (935 mm) junto con el año anterior (953 mm). Por el contrario, el menor contenido de NH_4^+-N fue registrado en el año 2005, en el que la precipitación fue la más escasa de todo el periodo de estudio (263 mm). El contenido de agua en el suelo controla la difusión de solutos y la distribución de masas de los productos de la actividad microbiana. Un bajo contenido de agua en el suelo limitará la actividad biológica y por lo tanto la mineralización y el contenido de amonio.

El contenido de amonio del suelo fue muy diferente según los años. Es bien conocido que la mineralización puede estar profundamente influenciada, además de por la lluvia por los cambios de temperatura que se producen normalmente bajo condiciones de campo. Sin embargo, en nuestro experimento la temperatura del suelo o del aire no tuvieron influencia en el contenido de amonio. Las altas temperaturas favorecen la extracción de amonio por los cultivos cuando el pH del suelo es ácido, mientras que cuando el pH es básico, como es nuestro caso (pH=7.6) la temperatura del suelo no tendría mucha influencia en la extracción de amonio por la planta y consecuentemente no cabría esperar que el amonio acumulado en el suelo variará por este motivo.

Influencia de los tratamientos en el contenido de amonio en el suelo.

El contenido de amonio acumulado en el perfil total del suelo (0-90 cm) fue significativo para todos los tratamientos aunque no tuvo un patrón claro de comportamiento a lo largo de los años (Fig. 2), registrándose fuertes oscilaciones entre los mismos. El año 1997 fue el de mayor contenido de amonio (144 kg $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{ha}$) y el de menor 2005 (27 kg $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{ha}$) (Fig. 3).

También existió una estrecha relación positiva entre el contenido de amonio en el perfil total del suelo y la precipitación anual según el sistema de laboreo (Fig. 3). El contenido de amonio en el no laboreo aumentó con la precipitación en mayor medida que con el laboreo convencional. Por el contrario, no existió relación entre el contenido del amonio y la temperatura del suelo o del aire. En el conjunto de los años, el contenido de amonio

en el suelo fue mayor en el no laboreo que en el laboreo convencional (57 y 48 kg NH_4^+ -N/ha, respectivamente), encontrándose diferencias significativas sólo en cinco de los trece años de estudio: 1995, 1997, 2002, 2004 y 2006 (Fig. 2). Con el laboreo de conservación cabe esperar menos mineralización de N, entendida como el paso del N orgánico a formas inorgánicas (amonio + nitratos) en comparación con el laboreo convencional debido a una reducción de la perturbación del suelo que resultaría en una descomposición más lenta de la materia orgánica del suelo y por consiguiente una liberación de N más lenta. Esta podría ser la causa por la que en un estudio realizado en el mismo experimento, López-Bellido et al. (2013) encontraron mayor contenido de nitratos en el laboreo convencional respecto al no laboreo. El hecho que en nuestro estudio el contenido de amonio del suelo fuese mayor bajo el no laboreo podría atribuirse a que el cultivo bajo este sistema demanda menos cantidad de amonio del suelo, ya que la biomasa microbiana y la protección física del material orgánico es menor en los macroagregados en comparación con el laboreo convencional. Normalmente, y en especial en los Vertisoles, el suelo está más aireado bajo laboreo convencional que bajo no laboreo. En los suelos bien aireados el amonio puede transformarse rápidamente en nitratos, lo que conllevaría a una menor concentración de amonio en el suelo bajo el laboreo convencional.

Aunque la rotación de cultivo y la dosis de nitrógeno fertilizante fueron significativas en relación al contenido de amonio en el suelo, no existió un patrón claro del comportamiento entre los distintos tratamientos. Se ha sugerido que la adición de N disponible como, como en fertilizante por ejemplo, estimula la mineralización, lo que es conocido como “efecto priming” o efecto acelerador de la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, numerosos estudios han puesto de manifiesto que este fenómeno que es poco probable sea significativo en muchas circunstancias.

No hubo relación del contenido de amonio con el de nitratos del suelo estudiado en el mismo experimento (López-Bellido et al., 2014), ni con la materia orgánica del suelo tanto en el perfil completo como en las distintas profundidades.

Influencia de la profundidad en el contenido de amonio en el suelo.

En el conjunto de los años, el contenido de amonio fue mayor en los perfiles más profundos de suelo (30-60 cm y 60-90 cm) que en el más superficial (0-30 cm), con

valores de 21.0, 21.4 y 19.5 kg NH₄⁺-N/ha, respectivamente. En la mayoría de los años estudiados fue observada esta tendencia, a excepción del año 1995 donde el contenido de amonio fue menor a medida que aumentó la profundidad en el perfil de suelo, y 2000 donde no existieron diferencias significativas entre las profundidades (Fig. 4).

El patrón de comportamiento del contenido de amonio en función de la profundidad varió entre el primer año de estudio (1995) y el último (2009). En el primer año, el amonio del suelo disminuyó progresivamente con la profundidad (17, 13 y 10 kg NH₄⁺-N/ha en 0-30, 30-60 y 60-90 cm de suelo, respectivamente). Sin embargo, en el último año, el amonio del suelo fue mayor en las capas más profundas (21 kg NH₄⁺-N/ha) comparado con la más superficial (11 kg NH₄⁺-N/ha) (Fig. 5). Excepto en la profundidad 0-30 cm del primer año (1995), donde el contenido de amonio en el no laboreo fue superior al laboreo convencional, no hubo diferencias significativas entre sistemas de laboreo (Fig. 5).

Las altas concentraciones de amonios presentes en el subsuelo indican que los organismos nitrificantes estén probablemente ausentes o inhibidos por las condiciones ambientales. Algunos autores también han especulado que la fijación periódica del amonio en las intercapas de arcilla, como en los Vertisoles, puede reducir las tasas de nitrificación al proteger el amonio de la acción de los organismos nitrificantes. Asimismo en los Vertisoles se pueden producir condiciones de hidromorfismo, sobre todo en profundidad, siendo la ausencia o baja concentración de oxígeno la que puede inhibir la actividad nitrificante. Otro factor que limita la nitrificación es la salinidad del suelo, al ser afectadas adversamente las poblaciones microbianas por altas concentraciones de sal. La conductividad eléctrica medida en el suelo de nuestro experimento en el año 2010 se incrementó con la profundidad, desde 0.44 dS/m en la superficie a 2.4 dS/m en el horizonte de 60-90 cm de profundidad debido a la salinización inducida por las dosis más altas de fertilización (López-Bellido et al., 2013).

La variación del contenido de amonio en profundidad que se observa desde el primer año del experimento al último puede estar relacionada, además de con lo anteriormente citado, con el papel que juegan las grietas en los Vertisoles. Con el paso de los años y la alternancia de periodos secos y húmedos tan característicos del clima Mediterráneo, se forman grietas de varios centímetros de anchura en la superficie del suelo y que pueden alcanzar profundidades entre 60 y 100 cm. La materia orgánica se puede desplazar a

través de estas grietas desde los primeros centímetros a las capas más profundas del suelo, lo que podría relacionarse con una mayor presencia de amonio.

CONCLUSIONES

El contenido de amonio en el suelo, estuvo directamente relacionado con la precipitación anual, registrándose mayor cantidad de amonio en los años más lluviosos y menos en los secos.

El sistema de no laboreo registró mayor contenido de amonio en el suelo que el laboreo convencional, como consecuencia de que en el no laboreo existe una biomasa microbiana menor y protección física del material orgánico en los macroagregados en comparación con el laboreo convencional. Además, normalmente los Vertisoles bajo laboreo convencional están más aireados que bajo no laboreo, lo que conlleva una transformación más rápida del amonio en nitratos, reduciéndose la cantidad del primero presente en el suelo.

Los horizontes más profundos de suelo estudiados (30-60 y 60-90 cm), registraron mayor contenido de amonio que el horizonte superficial (0-30 cm), posiblemente a causa de una nitrificación más limitada o inhibida en las capas más profundas. Es bien conocida la anaerobiosis que puede ocurrir en las capas más profundas debido a las condiciones de hidromorfismo típicas de los Vertisoles. También una mayor salinidad del suelo en los horizontes más profundos podrían afectar de manera negativa a la población microbiana. Por último, las típicas grietas que se forman en los Vertisoles contribuyen al desplazamiento de la materia orgánica desde la superficie del suelo hacia las capas más profundas.

Referencias

López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Fernández-García, P., López-Bellido, R.J. 2014. Ammonium accumulation in soil: the long-term effects of tillage, rotation and N rate in a Mediterranean Vertisol. *Soil Use and Management* 30, 471–479.

López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., López-Bellido, R.J. 2013. Nitrate accumulation in the soil profile: Long-term effects of tillage, rotation and N rate in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research* 130, 18–23.

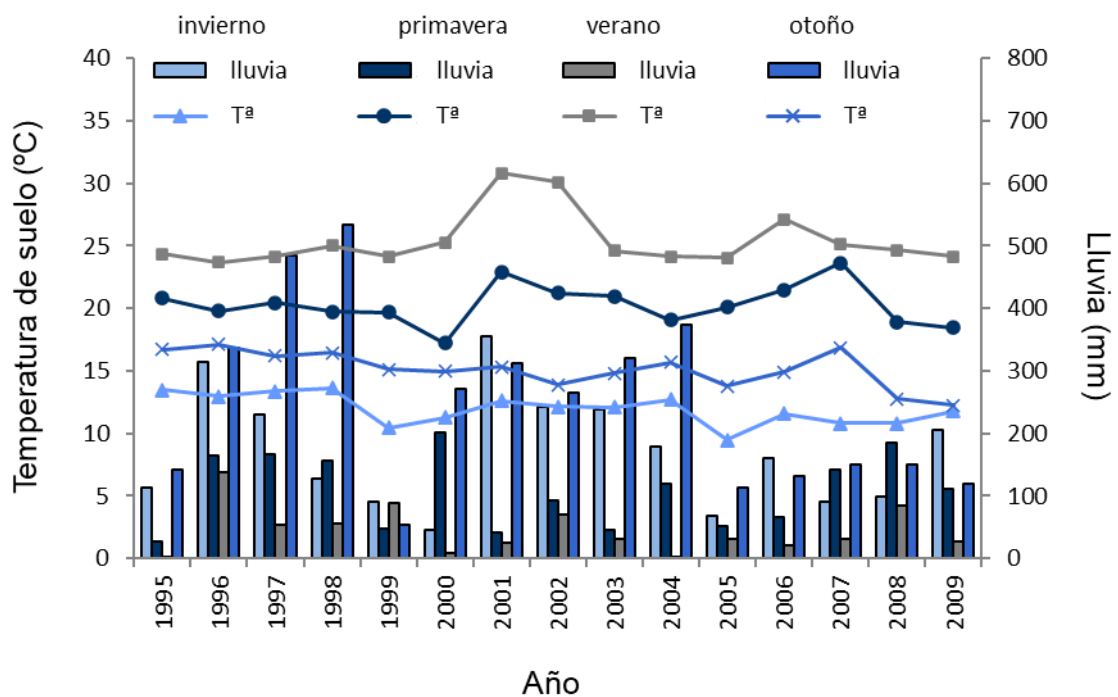


Figura 1. Precipitación estacional y temperatura de suelo a lo largo de 13 años de estudio en Córdoba.

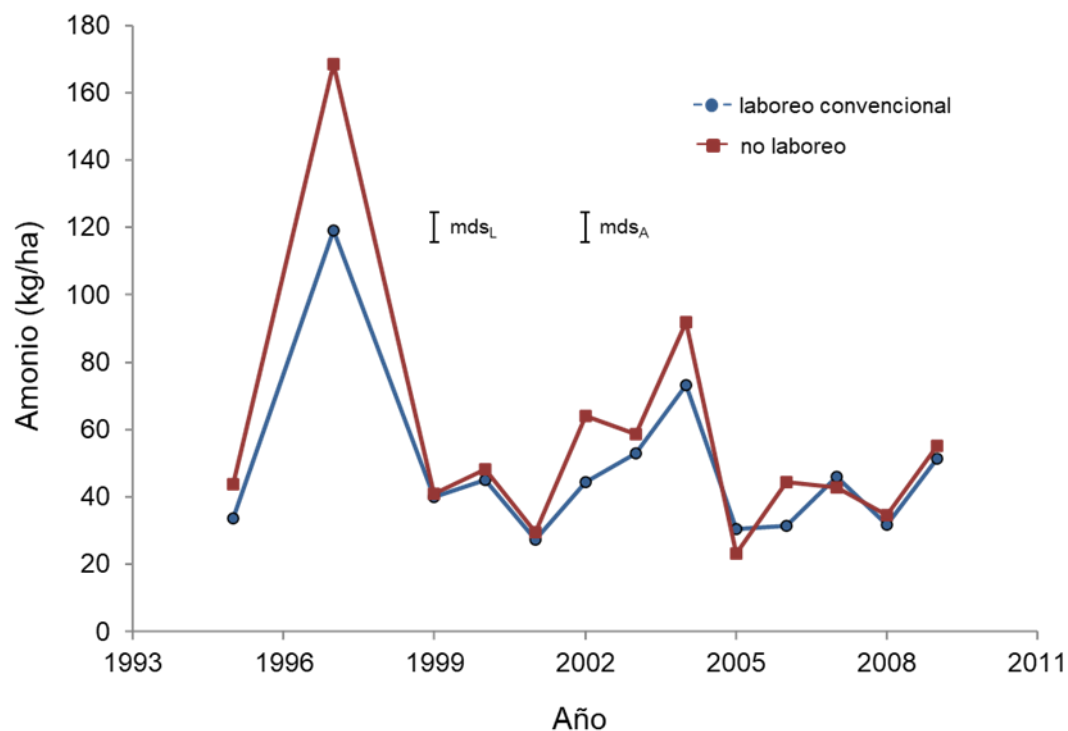


Figura 2. Evolución del contenido de amonio en el perfil de suelo (0-90 cm) según el sistema de laboreo durante 13 años de estudio en Córdoba. Las barras verticales indican la mínima diferencia significativa al 95% para comparar: mds_L , entre sistemas de laboreo dentro del mismo año; mds_A , entre años.

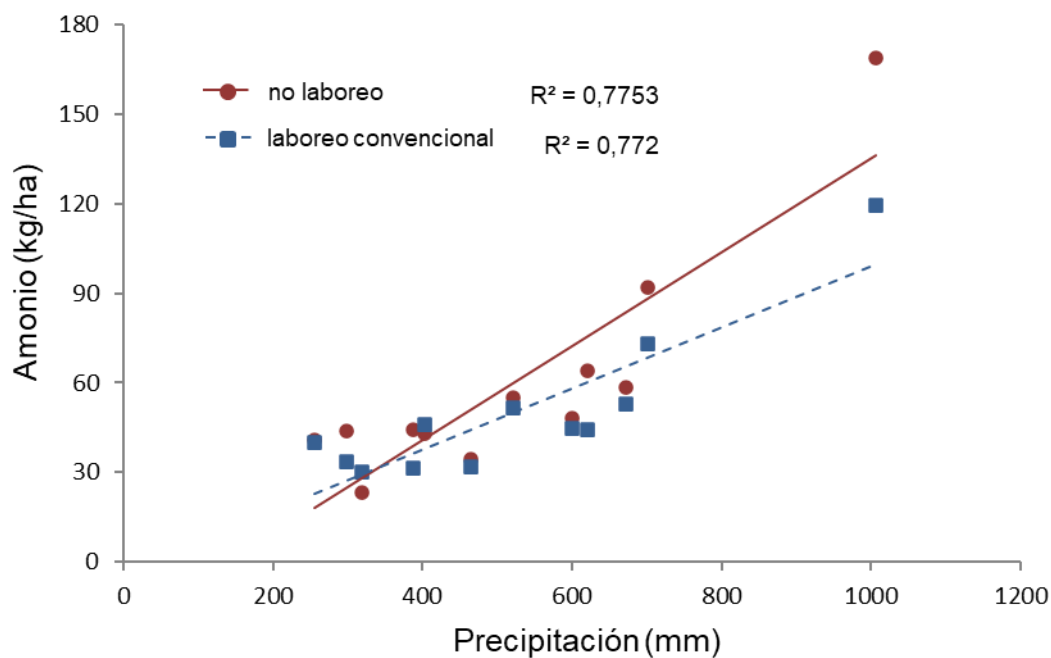


Figura 3. Relación entre precipitación anual y contenido de amonio en el perfil de suelo (0-90 cm) según el sistema de laboreo en Córdoba.

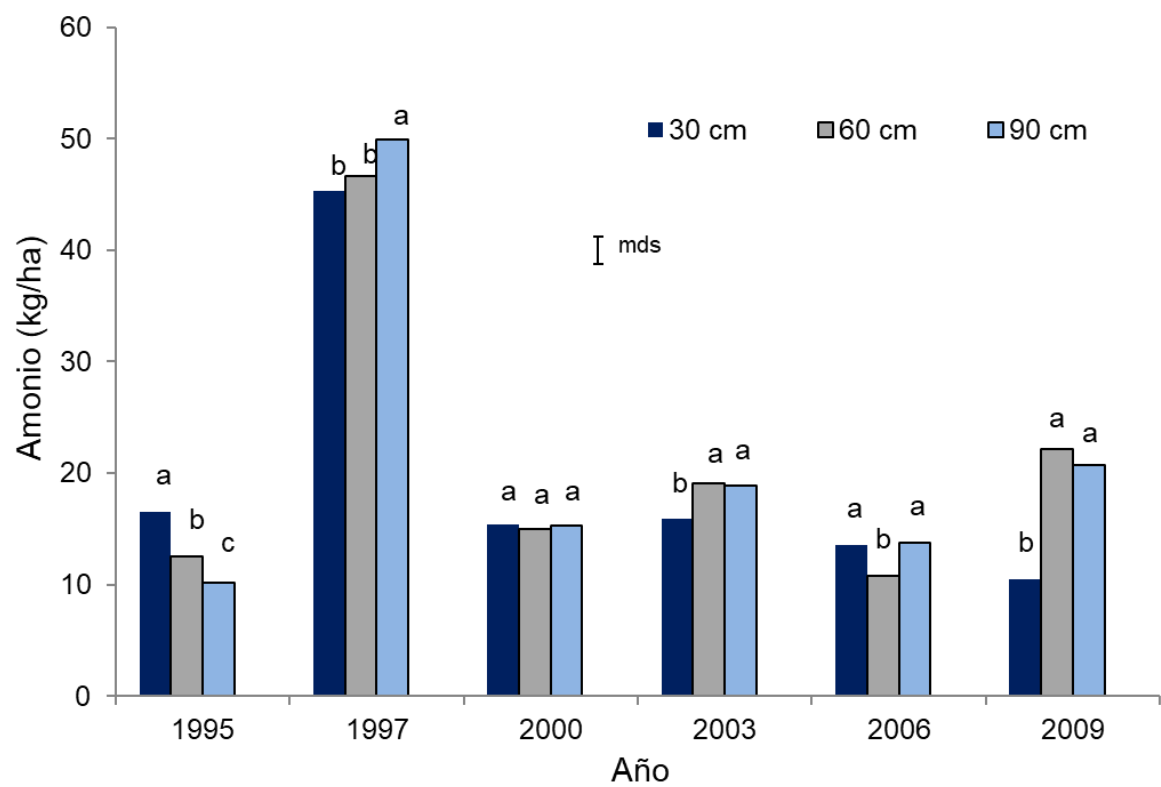


Figura 4. Contenido de amonio en el suelo según el año y la profundidad. Las letras diferentes para cada año indican diferencias significativas entre profundidades al 95%. La barra vertical indica la mínima diferencia significativa al 95% para comparar entre años.

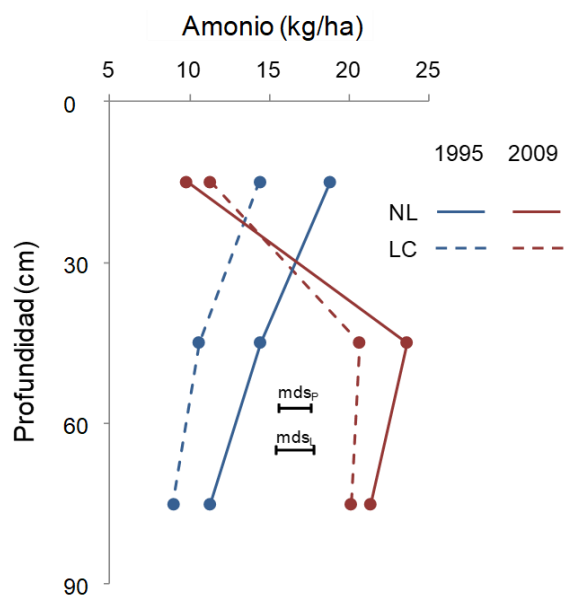


Figura 5. Contenido de amonio en el suelo según el sistema de laboreo (NL, no laboreo; LC, laboreo convencional) y la profundidad para el primer y último año del experimento. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para comparar: mds_P , entre profundidades dentro del mismo año y laboreo; mds_L , entre sistemas de laboreo dentro del mismo año.