

CAPÍTULO 7

IMPORTANCIA DEL NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN ZONAS ÁRIDAS.

Meyer, J. N.¹; Hurtado, P.¹ y Piccinetti, C².

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA San Luis. Argentina

²Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola. Castelar. Buenos Aires. Argentina

1- INTRODUCCIÓN	109
1.1 ¿Por qué es importante realizar una gestión racional del Nitrógeno?.....	109
1.2 ¿De dónde proviene el nitrógeno que es adsorbido por las plantas?	111
1.3 ¿Cómo se pierde el nitrógeno del suelo?	112
1.4 ¿En que nos puede ayudar el conocer el ciclo del nitrógeno?	115
1.5 ¿Qué nos cuestionamos y qué queremos lograr?	116
2- MATERIALES Y MÉTODOS	116
2.1 Área de estudio.....	116
2.2 Diseño y muestreos	118
3- RESULTADOS.....	119
4- CONSIDERACIONES FINALES	124
5- BIBLIOGRAFÍA	125

1- INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Por qué es importante realizar una gestión racional del Nitrógeno?

El Nitrógeno (N) es un nutriente muy importante para la producción agrícola debido a las cantidades requeridas por los cultivos, siendo uno de los principales constituyentes de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, como también de las paredes celulares y clorofila.

Debido a la importancia del nitrógeno en las plantas, junto al fósforo (P) y al potasio (K) se los clasifican como macronutrientes. Además, es el nutriente que en general más influye en el rendimiento y calidad del producto a obtener en la actividad agrícola. Por tal razón es importante su presencia actual y potencial en el suelo, aplicando tecnologías que favorezcan el aprovechamiento más eficiente del mismo (Hurtado et al. 2016).

El nitrógeno en el suelo sufre sucesivas reducciones y oxidaciones, para transformarse en formas asimilables por el metabolismo animal, vegetal y de los microorganismos. Estos procesos son controlados principalmente por bacterias, siendo su actividad regulada por las condiciones ambientales, que determinaran dónde ocurre cada proceso, el grado de intercambio entre las distintas formas de nitrógeno y las posibles interacciones físicas, químicas y biológicas que pueden darse (Cerón Rincón et al. 2012).

De esta manera el nitrógeno transita entre el suelo, el agua y la atmósfera, transformándose en sus diferentes fracciones (Figura 7.1).

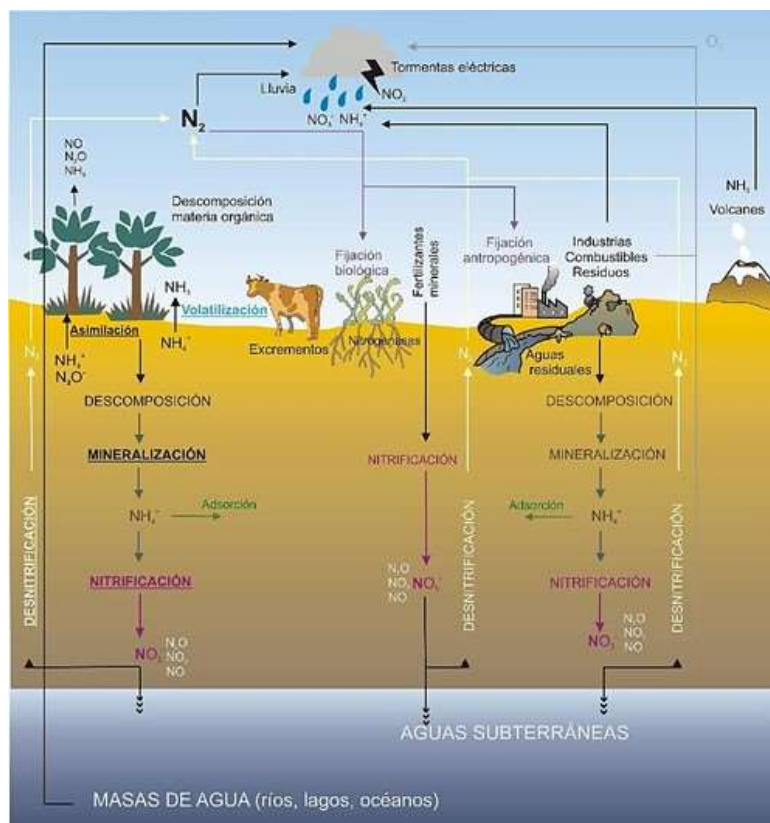


Figura 7.1: Descripción del ciclo biogeoquímico del Nitrógeno. (Tomado de <https://cienciasnaturales.files.wordpress.com/2011/06/ciclos.jpg>)

1.2 ¿De dónde proviene el nitrógeno que es adsorbido por las plantas?

Las plantas se nutren de nitrógeno, básicamente por dos fuentes naturales:

a) El nitrógeno disponible en el suelo proveniente de:

- 1) La mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo, es el proceso en el que los microorganismos descomponedores convierten a la materia orgánica en minerales, liberando la forma reducida de ion amonio (NH_4^+) que fue transformado desde el nitrógeno orgánico de la biomasa edáfica muerta.

Las bacterias Nitrosomonas y Nitrococcus, en un ambiente oxigenado, oxidan al NH_4^+ en nitrito (NO_2^-) y las bacterias del género Nitrobacter, oxidan el nitrito en nitrato (NO_3^-).

Este proceso es favorecido en presencia de oxígeno por lo que serán más factibles en suelos de texturas gruesas, bien estructurados, con alta porosidad y bien drenados.

- 2) A través de las deposiciones atmosféricas, siendo las principales formas aportadas por las precipitaciones el amonio (NH_3^-), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y óxido nitroso (N_2O), estas formas también son producidas por la microflora del suelo.

Para que el nitrógeno atmosférico sea utilizable por los organismos y las plantas debe ser fijado en forma de moléculas inorgánicas (amonio, nitritos y nitratos). Las descargas eléctricas que se producen durante las tormentas sintetizan óxidos de nitrógeno a partir del nitrógeno (N_2) y del oxígeno (O_2) del aire, siendo conducidos hasta el suelo por la lluvia.

Estos ingresos varían en función de la localización geográfica, estación del año y de la cantidad de partículas existentes en el aire, que dependen del grado de alteración del entorno por las actividades del hombre.

Está documentado que la cantidad de nitrógeno en las precipitaciones pueden variar entre 1,12 y 56 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ dependiendo de la actividad industrial, el crecimiento poblacional y la producción agropecuaria (Havlin 1999), habiendo un promedio de 48 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en zonas agrícolas.

b) Por la fijación biológica, que pueden realizar ciertos grupos de especies de la familia *Leguminosae*, mediante la simbiosis o asociación con microorganismos del

suelo (rizobios), a través de la cual logran proveerse de nitrógeno a partir del nitrógeno atmosférico (N_2), que es un gas inerte e ilimitado de la atmósfera.

1.3 ¿Cómo se pierde el nitrógeno del suelo?

El nitrógeno en el suelo puede disminuir o perderse según se resume en la figura 7.2.

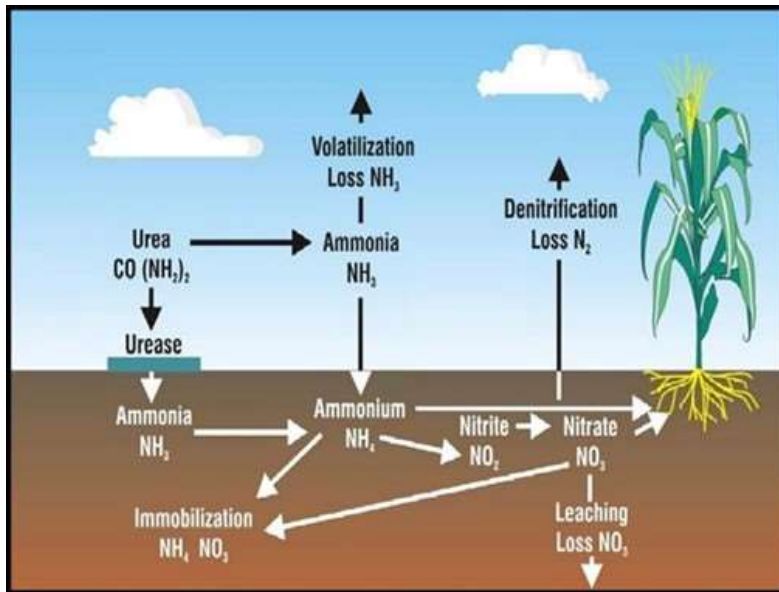


Figura 7.2: Vías de pérdidas del nitrógeno del suelo (Tomado de <http://fgonzalesh.blogspot.com.ar/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>)

- a) Las pérdidas por lixiviación de la solución del suelo se producen en forma de nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) debido que son sustancias extremadamente solubles, las cuales pueden ser fácilmente arrastradas, alcanzando napas y llegar al mar (Duxbury y Mosier 1993).
- b) Las emisiones de gases de nitrógeno molecular (N_2), óxido nitroso (N_2O), amoníaco (NH_3) y óxido nítrico (NO) producidos por ciertos grupos de microorganismos del suelo, en los procesos de nitrificación y desnitrificación.
 - 1) La desnitrificación, es más factible que ocurra ante la ausencia de oxígeno en suelos con altos niveles de humedad, de texturas finas o suelos desestructurados, (Rochette 2008). En la cual los nitratos (NO_3^-) se degradan a nitrógeno molecular (N_2), el cual se libera a la atmósfera y los

microorganismos utilizan el oxígeno para su propia respiración. Su proceso se puede observar en la figura 7.3.

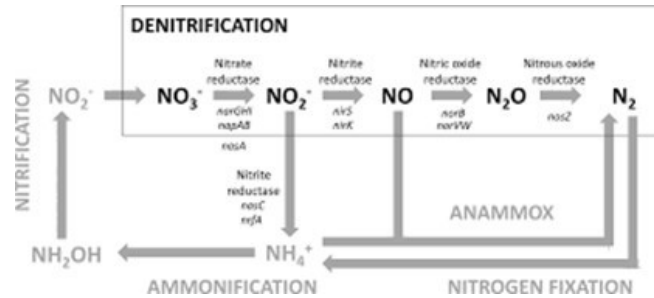


Figura 7.3: Proceso de reducción del nitrógeno orgánico hasta nitrógeno molecular.

- 2) La volatilización, es la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco gaseoso desde el suelo a la atmósfera, como se observa en la figura 7.4, esto es debido a que el amonio del suelo se transforma en amoníaco que es un gas muy volátil.

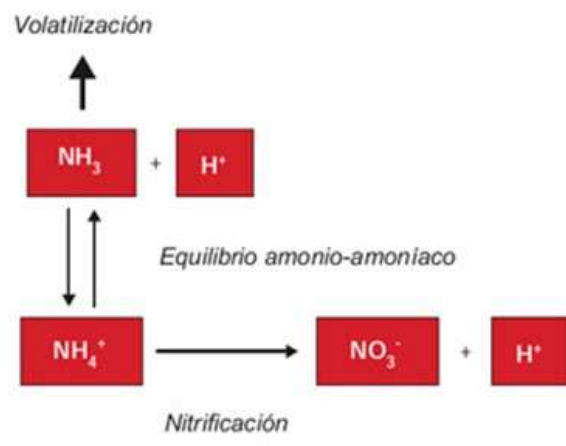


Figura 7.4: Volatilización del nitrógeno (Adaptado de L. Ventimiglia y L. Torrens Baudrix 2013).

- 3) A través del óxido nitroso, que es considerado uno de los gases más importantes, por ser causante del cambio climático debido que su potencial de calentamiento es 300 veces mayor que el dióxido de carbono (CO_2). En la figura 7.5, se puede observar los aportes de este gas a la atmósfera, por las

actividades agropecuarias, a las que se les adjudican el 97% de las emisiones globales.

Dentro de los factores que regulan las emisiones de N_2O se encuentra el contenido de nitrógeno inorgánico disuelto en la solución del suelo. Los diferentes residuos en el suelo influyen de manera distinta en las emisiones de N_2O ya que, por ejemplo, los cultivos de leguminosas contienen una mayor proporción de nitrógeno en su estructura que los de gramíneas.

El contenido hídrico del suelo, es otro factor que influye en las emisiones de óxido nitroso, porque en su cuantificación se considera el porcentaje de poros llenos de agua (%PLLA) que sería la inversa a la aireación del suelo (Sainz Rozas et al. 2004; Giltrap 2010; Carvalho 2009; Johnson 2007; Ciarlo 2007). Y el tercer factor determinante es la temperatura dado que es consecuencia de la actividad biológica del suelo (Rochette 2004).

Su concentración en la tropósfera aumenta en una tasa de $0.26\% \text{ año}^{-1}$ (Clough et al. 2010), y es la principal fuente de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (Forster et al. 2007; Ravishankara et al. 2009). Y se ve estimulado por las secuencias de cultivos y/o prácticas de manejo del suelo (Alvarez et al. 2012).

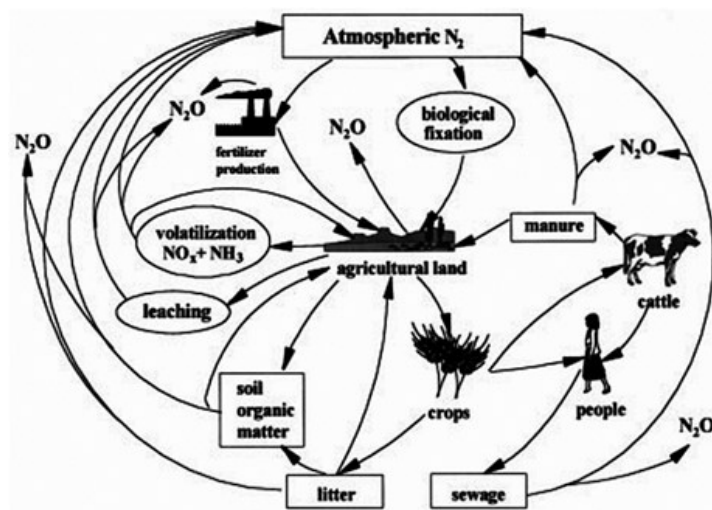


Figura 7.5: Descripción del ciclo del óxido nitroso en agricultura. Adapted from Nevison et al.1996. Oonk & Kroeze (1998) by permission of John Wiley & Sons, Inc.

- c) El que es transportado cuando las partículas de suelo son removidas del lugar por erosión hídrica o eólica.

En ambientes antropizados se pueden incrementar las pérdidas por las vías recientemente mencionadas a lo que se le suma la exportación de nutrientes tras las cosechas de biomasa y/o granos. Lo que conlleva a un empobrecimiento del suelo que es remediado con la aplicación de fertilizaciones químicas, los cuales no alcanzan a revertir otros daños físicos y químicos del suelo provocados por la sobreexplotación.

1.4 ¿En que nos puede ayudar el conocer el ciclo del nitrógeno?

El ciclo del nitrógeno ha sido objeto de especial atención por diversas razones, entre las que podemos destacar:

- El incremento de los procesos de nitrificación y desnitrificación pueden ir acompañado, directa o indirectamente, de un aumento de la producción de óxido nitroso (N_2O) y nítrico (NO).
- La variación de la concentración de nitratos (NO_3^-) asociado al proceso nitrificante es un factor regulador de la dinámica de cationes en los ecosistemas edáficos.
- Las pérdidas de nitrógeno en forma de nitratos (NO_3^-) son, en muchas ocasiones, mayores que las pérdidas de cualquier otro nutriente dada su alta movilidad en la solución del suelo.
- La disponibilidad de nitrógeno para la nutrición vegetal es uno de los factores determinantes en la composición de las paredes celulares, lo que condiciona los aportes de compuestos fenólicos y de materia orgánica fácilmente degradable. Los compuestos fenólicos acidifican el sustrato, inmovilizando a la mayoría de los nutrientes del suelo.
- Efectos negativos de los excesos de nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) en el ambiente, sobre la salud humana.

1.5 ¿Qué nos cuestionamos y qué queremos lograr?

Las innovaciones tecnológicas, adoptadas por los productores tiempo atrás, eran en función de sus efectos asociados al incremento de los rendimientos y alta competitividad en el mercado. Hoy en día, son bien conocidas y demostradas las consecuencias ocurridas tras la sobrexigencia de los recursos naturales, logrando una degradación de los mismos y su rápido agotamiento.

Por tales motivos, hay un incentivo en los investigadores en desarrollar tecnologías que impacten en la producción agropecuaria, que reduzcan los costos de inversión pero considerando la conservación de los recursos. En el caso particular del nitrógeno, para maximizar la eficiencia de su uso, es necesario conocer su dinámica en el sistema suelo-planta-atmosfera y cómo el manejo de suelos y cultivos la afectan.

Para lograr una gestión eficiente del nitrógeno, es fundamental estudiar su dinámica para determinar la velocidad de los flujos que existen entre sus diversas fracciones y su cuantificación, para determinar las principales fuentes de ingreso – egreso y los factores influyentes, y asociarlos a fomentar prácticas que incrementen el elemento en el suelo y mermen sus pérdidas.

Si bien, están descriptos los mecanismos de ganancia de nitrógeno por deposición atmosférica (lluvias) y pérdidas de nitrógeno del sistema por volatilización y emisión de gases (NH_4^- y N_2O , respectivamente), falta información local cuantificada y la dinámica de estos procesos; por lo tanto, en este trabajo se planteó como objetivos iniciar la cuantificación de los aportes de nitrógeno por deposición de las lluvias y determinar las pérdidas parciales de nitrógeno por volatilización de NH_4^- y emisión de N_2O de un agroecosistema semiárido considerado frágil.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

Este estudio preliminar se realizó en el campo experimental del INTA San Luis, ubicado en la localidad de Villa Mercedes.



Figura 7.6: Imagen de las parcelas.

Las evaluaciones se efectuaron en un lote que tiene 10 años de agricultura, con la secuencia de cultivo Sorgo-Soja (Sg-S); otro con una alfalfa implantada hace 3 años, uno con digitaria (D) sembrada hace una década y un sector sin disturbar tomado como referencia.

El suelo es de textura limosa, conteniendo en el horizonte superficial 21 % de arcilla, 50.8 % limo y 28.2 % de arena, la fracción limosa se va incrementando en profundidad. Estos suelos se desarrollaron sobre la planicie arenosa y pertenecen a la Serie Villa Reynolds clasificados como *Haplustol ácuico* debido que la napa freática fluctúa entre los 60-200 cm de profundidad. Cuando se instalaron los instrumentales de medición, se realizó un análisis de fertilidad de cada lote, que se presenta en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Análisis de fertilidad potencial de los lotes de producción realizados al inicio de las evaluaciones

Lote	Carbono %	MO %	Nt mg/g	P ppm	CE dS/m	pH
A	0.738	1.273	1.2	11.3	0.47	7.65
D	0.827	1.425	1.4	9.9	0.56	7.95
eef	0.678	1.302	1.7	34.5	0.71	7.82
Sg-S	1.236	2.13	1.3	18.3	0.37	7.50

2.2 Diseño y muestreos

El diseño del experimento correspondió al esquema de parcelas divididas donde el efecto principal fue el factor tiempo (fecha de medición) y la subparcela fueron los tratamientos (secuencia/cultivo).

Para la cuantificación del nitrógeno ingresado por las precipitaciones se instaló un pluviómetro que permitió cuantificar los milímetros de agua de lluvia caídos desde septiembre de 2015 hasta abril de 2016. La determinación del aporte N por las precipitaciones se realizaron utilizando el método Kjeldahl.

El método utilizado para realizar las evaluaciones de óxido nitroso fue el de "cámara cerrada no-estática", que consta de dos componentes: una base metálica insertada a 10 cm en el suelo y una cámara de acumulación que se acopla sobre la base (fig. 7.7).

El gas emitido desde el suelo se acumula dentro de las cámaras y es recuperado en viales pre-evacuados. El tiempo de acumulación del gas fue de 30 minutos y los momentos de muestreos a los 0, 15 y 30 minutos de instalada la cámara de acumulación. La concentración de N_2O se determina por cromatografía gaseosa con un equipo Agilent GC 6890N, utilizando un detector μ ECD y columna HP- Plot Molesieve 30m x 530 μ m x 25 μ m.



Figura 7.7: Imágenes del muestreo del N_2O mediante el método cámara cerrada no-estática en el ensayo de larga duración del campo experimental de la EEA.

Las tasas de emisión de N_2O se calculan mediante la siguiente ecuación (1):

$$E = \frac{\Delta c}{\Delta t} * \frac{V_c}{S_c} (1)$$

Donde E es la tasa de emisión de N-N₂O ($\mu\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) del suelo,

$\frac{\Delta c}{\Delta t}$ corresponde a la tasa de acumulación del N-N₂O ($\mu\text{g N}\cdot\text{N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) dentro de las cámaras, la que se calcula utilizando el modelo de regresión lineal (LR).

$\frac{V_c}{S_c}$ es la relación entre el volumen y la superficie de la cámara (m).

Para realizar los cálculos también se requirió registrar las temperaturas del suelo y ambientales, como la humedad edáfica expresada como porcentaje de poros llenos de agua (%PLLA) del suelo en cada fecha de medición.

Las mediciones se iniciaron en septiembre de 2015 siendo tres los momentos de medición durante el mes, luego desde diciembre hasta febrero el seguimiento fue mensual y a partir del mes de abril, la toma de datos fue semanal debido a que el cultivo de soja comenzó la etapa R6, cuando comienza a perder su follaje, la senescencia nodular y su posterior cosecha.

El análisis de los datos se realizó mediante el ANAVA de parcelas divididas y medidas repetidas en el tiempo utilizando modelos mixtos (Infostat v 16e) y el test desviación media estándar (DMS) para la comparación de medias secuenciales.

3- RESULTADOS

En transcurso de los meses muestreados ocurrieron 14 eventos de precipitaciones que alcanzaron un total de 413 mm. En la figura 7.8, se muestran las concentraciones de nitrógeno en mg/L que contuvieron el agua recolectada del pluviómetro. La concentración varió entre 5 y 25, obteniéndose un promedio de 14,6 mg N/L.

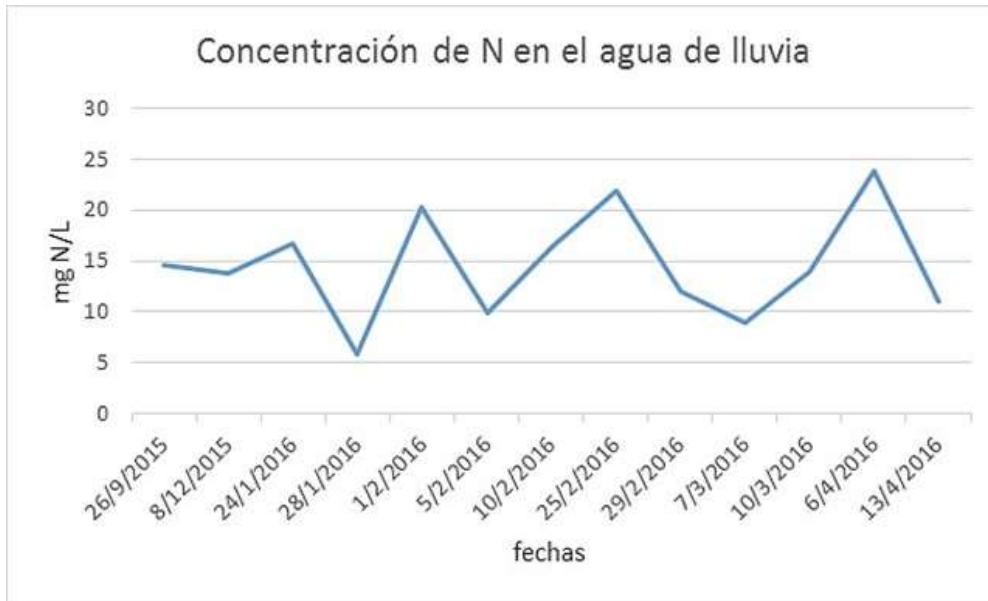


Figura 7.8: Evolución de las precipitaciones durante el período de desarrollo de la experiencia desde Sep-2015 hasta Abr-2016 en la EEA San Luis

Con respecto a las emisiones de N_2O , durante el período muestreado, septiembre 2015 a mayo 2016, la tasa media determinada de emisión de los cuatro tratamientos fue $24 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$. Habiendo sido la emisión mínima en el cultivo de digitaria en septiembre con $22 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ y el máximo $433 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$.

Al comparar las tasas promedio de emisión de N_2O , la menor fue determinada para digitaria con $5,3 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ seguida por la alfalfa con $10,3 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, siguiendo la del sector si disturbar de $14,9 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ y la más alta en la secuencia Sorgo-Soja con $63,9 \mu\text{g N-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (figura 5).

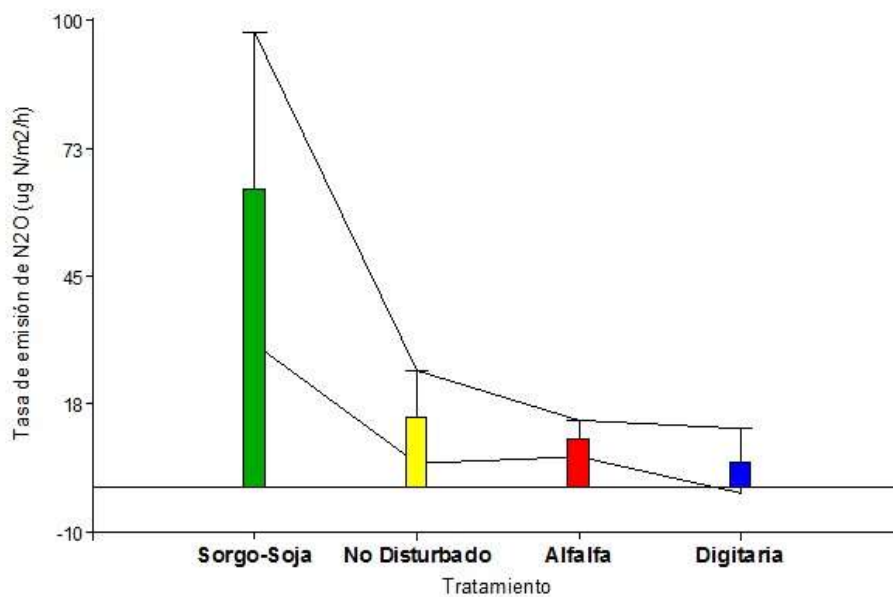


Figura 7.9. Tasas promedio de emisión de N₂O e intervalos de confianza para los tratamientos durante el período evaluado (Sept-15 hasta Mayo-16)

En la figura 7.9 también se grafican los intervalos de confianza, siendo de mayor amplitud el del lote con la secuencia Sorgo-Soja, lo que indica que las mediciones obtenidas en ese lote fueron muy variables entre sí. En cambio el intervalo de confianza del tratamiento de alfalfa es el de menor amplitud, lo que nos da a entender que las emisiones captadas en ese lote fueron estables a lo largo del tiempo.

En cuanto a la cinética de las emisiones en función del tiempo se observó que la Digitaria tuvo en el tiempo las menores tasas promedio, lote que durante el periodo de muestreo no estuvo siendo pastoreado ni realizándosele cortes, manteniendo en forma constante abundante cobertura vegetal por lo que los cambios meteorológicos fueron atemperados.

Se destacan las tasas de emisión al final del ciclo del cultivo de Soja correspondiendo al estado reproductivo avanzado y cosecha. Cabe mencionar que los meses de abril-mayo 2016 fueron muy lluviosos lo que retrazó la cosecha, perdiendo el cultivo una gran cantidad de hojas, vainas y semillas las que se depositaron en la superficie del suelo (Figura 7.10).

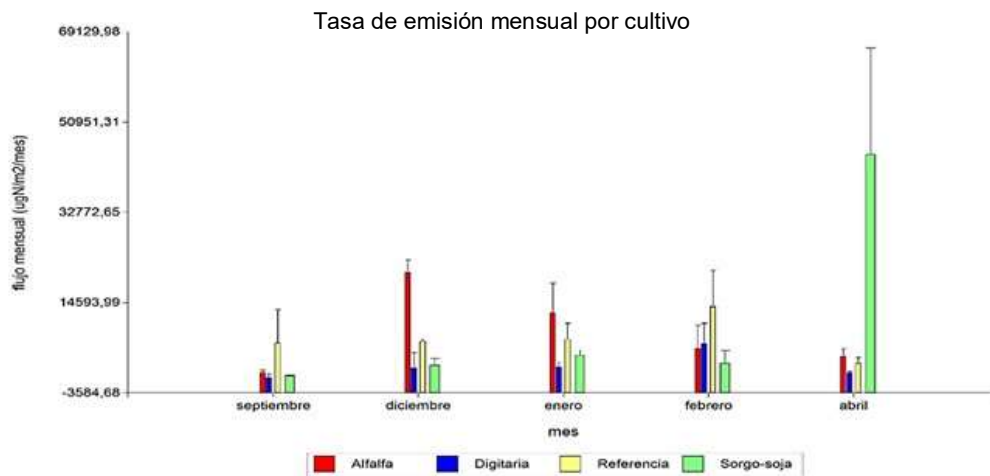


Figura 7.10. Tasa de emisión de óxido nitroso mensual por cultivo evaluado.

La Alfalfa, que fue cortada para rollos a medida que llegaba al 10% floración, tuvo sus mayores emisiones durante el periodo de máxima producción de biomasa (primavero-verano) y en cuanto al sector no disturbado tuvo en primavera mayor variabilidad de emisión y luego se comportó como una pastura (Figura 7.11).

En revisiones actualizadas sobre las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), fue modificado el factor directo de emisión que “penalizaba” a los cultivos de leguminosas por su condición fijadoras de nitrógeno debido que se demostró que la Fijación Biológica de Nitrógeno por sí misma no generaba mayores emisiones directas de N_2O (Zhaozhan et al. 2009; Rochette y Janzen 2005).

Existiendo en la agricultura dos momentos críticos en cuanto a la emisión de N_2O , uno es en el momento de finalización de un determinado cultivo, donde aumenta la cantidad de rastrojo en el suelo por tanto aumenta la descomposición del mismo y el otro momento de mayor emisión sucede en los momentos de fertilización química nitrogenada.

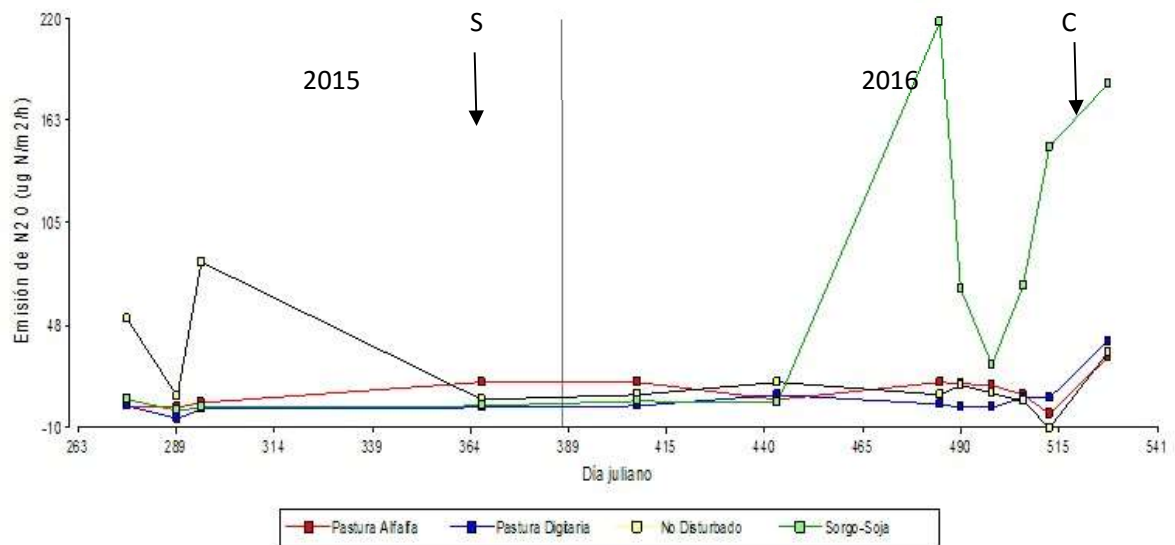


Figura 7.11. Dinámica de las emisiones de N₂O para los tratamientos durante el período evaluado (Sept-15 hasta Mayo-16) en la EEA San Luis

El análisis estadístico confirmó la interacción de los tratamientos con el efecto momento de medición (tiempo) siendo una respuesta esperable ya que en el ambiente durante el transcurso de las estaciones se producen cambios en la temperatura, la humedad, la ocurrencia de precipitaciones y los efectos de los cultivos sobre el suelo, como se muestra en las Figura 7.11 y 7.12.

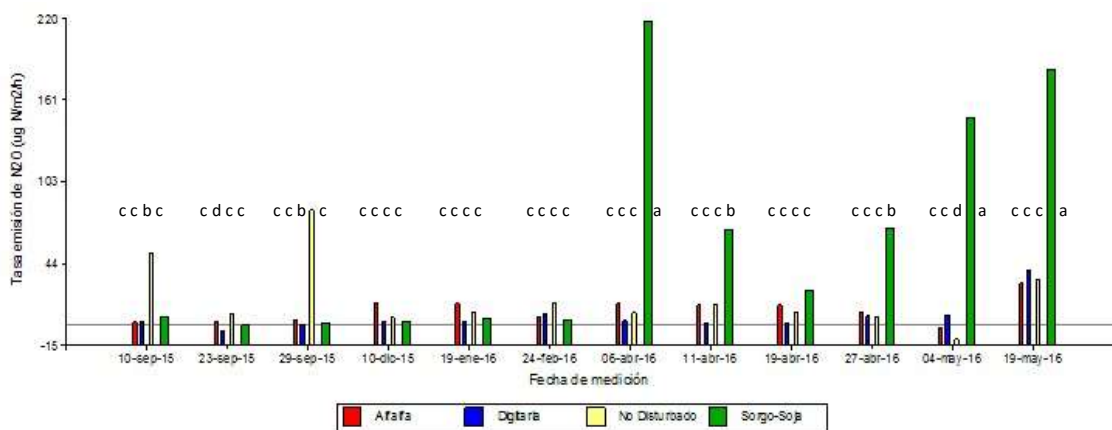


Figura 7.12: Dinámica de las mediciones de óxido nítrico para los diferentes tratamientos según la época del año.

4- CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados hasta ahora obtenidos sobre los contenidos de nitrógeno en el agua de lluvia, nos hacen reflexionar sobre los beneficios que se podrían lograr si al plantear un sistema productivo se tuviesen en cuenta los aportes de las precipitaciones. Siendo que en la campaña que recién finaliza, la lluvia aportó al suelo una cantidad de nitrógeno equivalente al aporte promedio de fertilizante que requiere un cultivo de maíz en la zona.

A pesar que no todo el nitrógeno que ingresa con el agua de lluvia, es aprovechado por el cultivo, estamos convencidos que el nitrógeno aportado por las precipitaciones sería una cantidad que puede ser determinante en la producción de los cultivos y que optimizaría el uso de nitrógeno aumentando el aprovechamiento del nutriente.

La mineralización de nitrógeno de los rastrojos es regulada por factores del suelo y del residuo (Smith et al. 1990). La variación en la composición química de los residuos en el tiempo afecta la actividad microbiana (Sanchez 1996), alterando los patrones poblacionales de la microflora con requerimientos diferenciales de nitrógeno (Paul et al. 1989) y por ende influyen en la dinámica del nitrógeno en el suelo (Green 1995).

Con estas determinaciones, se puede observar que los sistemas de producción que mantienen el suelo con cobertura tienden a reducir las pérdidas de nitrógeno en forma de gas. Mientras que la incorporación de secuencias de cultivos anuales y los aportes de residuos producidos dentro de la secuencia estimula los procesos biológicos de producción de N_2O , aumentando las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), tendientes a incrementar las pérdidas de nitrógeno con un efecto perjudicial para el sistema productivo y colateral no deseado.

El manejo de los residuos de los cultivos en rotación, no solo permitirían reducir las emisiones de GEI sino también mejorar la calidad físico-química del suelo y mermar el impacto en el deterioro ambiental tras la optimización de los recursos, procesos y flujos dentro de los sistemas.

Alternativas serían los cultivos de cobertura, los cuales aprovechan el nitrógeno proveniente del rastrojo del cultivo anterior o el uso de cultivos que fijen nitrógeno como son las leguminosas, las cuales tienen dos efectos benéficos, la disminución de N_2O y la

disminución de la necesidad de utilizar fertilizantes químicos nitrogenados, disminuyendo la contaminación e implicando una disminución en costos por parte del productor

5- BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, C.; Costantini, A.; Alvarez, C. A; Alves, B. J. R; Jantalia, C. P.; Martellotto, E. and Urquiaga, S. (2012). Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. *Nutr Cycl Agroecosyst* DOI 10.1007/s10705-012-9534-9

Carvalho, J.L.N.; Cerri, C.E.P.; Feigl, B.J.; Píccolo, M.C.; Godinho, V.P. and Cerri, C. C. (2009). Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil & Tillage Research* 103 (2009) 342–349.

Cerón Rincón, L.E y Aristizábal Gutiérrez, F. A (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. XIV No. 1. 285-295.

Ciarlo E.; Conti, M; Bartoloni, N and Rubio, G. (2007). The effect of moisture on nitrous oxide emissions from soil and the $N_2O/(N_2O+N_2)$ ratio under laboratory conditions. *Biol Fertil Soils* 43: pp 675–681

Duxbury JM & Mosier AR (1993) Status and issues concerning agricultural emissions of greenhouse gases. In: Kaiser HM & Drennen TE (eds) *Agricultural Dimensions of Global Climate Change*, pp 229–258. St. Lucie Press. Delray Beach, FL

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R.G. Prinn, G. Raga, M. Schulz, and R. Van Dorland. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. p. 129–234. In S. Solomon et al. (ed.) *Climate change 2007: The physical basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Giltrap D.L.; Li, C., Sagar, S. (2010). DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agriculture, ecosystems & environment*. 136(3-4): 292-300

Green CJ, Blackmer AM (1995). Residue decomposition effects on nitrogen availability to corn following corn or soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1065-1070.

Havlin, J. L. (1999). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. New Jersey, USA: Editorial Prentice Hall.

Hurtado P, Piccinetti C, Meyer J (2016). Determinación de las concentraciones de nitrógeno en las precipitaciones de primavera-verano 2015-2016, en el campo experimental EEA San Luis.

Johnson, J. M. F.; Franzluebbers, A. J.; Lachnicht Weyers, S.; Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution* 150 (2007) 107-124.

Paul EA, Clark FE (1989). *Soil microbiology and biochemistry*. Academic press, Inc., San Diego, California, EUA. 279p.

Ravishankara, A.R., J.S. Daniel, and R.W. Portmann. (2009). Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 326:123–125

Rochette, P. (2008). No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. *Soil & Tillage Research* 101 97–100.

Rochette, P. and Janzen, H. (2005) Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2005) 73:171–179.

Rochette, P.; Angers, D. A.; Belanger, G.; Chantigny, M. H.; Prevost, D. and Levesque, G. (2004). Emissions of N₂O from Alfalfa and Soybean Crops in Eastern Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:493–506 (2004).

Smith S. J. and Sharpley A. N. (1990). Soil Nitrogen Mineralization in the Presence of Surface and Incorporated Crop Residues. *Agron. J.* 82:112-116

Sainz Rozas, H. R.; Echeverría, H. E. and Barbieri, P. A. (2004). Pérdidas por desnitrificación en un suelo bajo siembra directa en función de la presencia de plantas de maíz y de la dosis de nitrógeno. *Ciencia del Suelo*. 22: 27-35

Sánchez SR, Studdert GA, Echeverría HE (1996). Descomposición de residuos de cosecha en un argiudol típico. *Ciencia del suelo*, 14:63-68

Clough Tim J. and Condrón Leo M. Lincoln University Biochar and the Nitrogen Cycle: Introduction. (2010).

Zhaozhan, Z.; Lemke, R. L.; Nelson, L. M. (2009). Nitrous oxide emissions associated with nitrogen fixation by grain legumes. *Soil Biology & Biochemistry* 41 (2009) 2283–2291