

Química del Suelo

Contenido:

- **Nitrógeno del suelo**
- **El Fósforo del suelo**
- **Calcio y Magnesio del suelo**
- **Potasio del suelo**
- **Azufre del suelo**
- **oligoelementos del suelo**



Cátedra de Edafología
Facultad de Agronomía y Zootecnia
Universidad Nacional de Tucumán



NITRÓGENO DEL SUELO

Lic. Adriana Plasencia
Ing. Agr. MSc. Roberto D. Corbella

IMPORTANCIA

El Nitrógeno (N) es uno de los elementos más ampliamente distribuidos en la naturaleza. Es muy dinámico: circula entre la atmósfera, el suelo y los organismos vivos.

El átomo de N presenta diferentes estados de oxidación y en el pasaje entre ellos intervienen los organismos del suelo.

Entre los elementos que el vegetal toma del suelo, el N es el de mayor importancia cuantitativa.

Los principales roles del N en la nutrición de las plantas son:

- Componente de la molécula de clorofila.
- Componente de los aminoácidos, unidad estructural de las proteínas.
- Componente de las moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos.
- Esencial en la utilización de carbohidratos.
- Estimula el desarrollo y la actividad radicular.

Las deficiencias de N se pueden presentar en todo tipo de suelo, manifestándose en los vegetales por la aparición de color amarillento en las hojas más viejas o color amarillo-verdoso con tendencia a la caída de las mismas.

ORIGEN Y CONTENIDOS

La fuente principal de N es la atmósfera, donde es el gas predominante (79 % del volumen). El N atmosférico (N_2) es un gas diatómico muy inerte debido a su alta energía de enlace. Las plantas superiores no pueden utilizar el N del aire.

El proceso de convertir el N atmosférico en formas usables por las plantas se llama **fijación**. La fijación es efectuada por ciertos microorganismos y fenómenos atmosféricos como los rayos.

La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra formando compuestos orgánicos quedando disponible para las plantas a través del proceso de mineralización.

Las reservas de N en el suelo están constituidas por:

- Materia orgánica de descomposición rápida
- Compuestos húmicos de mineralización más lenta
- una pequeña fracción se encuentra en combinaciones inorgánicas como NH_4^+ y NO_3^- . Formas que son aprovechables por las plantas con más importancia en el NO_3^- .

NITRÓGENO ORGÁNICO

Representa entre el 85 al 95 % del N total. Esta fracción está constituida por:

- 20 - 40 % aminoácidos.
- 5 - 10 % aminoazúcares.
- 1 - 2 % bases púricas y pirimídicas.
- Formas difíciles de identificar. Integran heterociclos de las moléculas húmicas.

Las reservas mineralizables en un plazo relativamente corto están constituidas por:

- Materia orgánica fresca fácilmente descomponible.
- Materia más lábil de humus (ácidos fúlvicos)
- Humina microbiana.
- Biomasa muerta.
- Cadenas peptídicas unidas a núcleos aromáticos.

NITRÓGENO INORGÁNICO

Es la fracción realmente disponible para las plantas y su contenido es generalmente menor al 10 % del total. Se encuentra principalmente bajo la forma aniónica (NO_3^-) y catiónica (NH_4^+).

El NO_3^- es la principal forma de absorción por las plantas. Es muy móvil, fácil de lavarse con el agua de lluvia y riego en virtud de la ausencia de mecanismos de retención como adsorción y precipitación. Son compuestos muy solubles.

El NH_4^+ es absorbido principalmente por los microorganismos y algunos vegetales como el arroz. El NH_4^+ intercambiable no supera el 2% del N total. Muchos suelos pueden contener cantidades de NH_4^+ no intercambiable en horizontes inferiores, con lo cual se podría retener cantidades importantes de NH_4^+ aportados por la fertilización.

En muy pequeñas cantidades y difíciles de detectar están las formas gaseosas del N:

- **N_2O** : óxido nitroso
- **NO** : óxido nítrico
- **NO_2** : dióxido de nitrógeno
- **NH_3** : amoníaco
- **N_2** : nitrógeno molecular presente en la atmósfera del suelo.

EL CICLO DEL NITRÓGENO

El ciclo del nitrógeno (Figura 1) está constituido por las interacciones de las distintas formas de N con el suelo, los organismos y la atmósfera. En las transformaciones están involucradas las formas orgánicas e inorgánicas que ocurren en forma simultánea.

La conversión de N_2 (gas) a formas combinadas se produce a través de la fijación biológica.

Las formas orgánicas son convertidas a NH_4^+ o NO_3^- por mineralización. Y el NO_3^- puede volver a la atmósfera por desnitrificación en forma de N_2 o perderse por lixiviación.

Existe un subciclo del N en el suelo. En él están incluidos los microorganismos, las raíces y la materia orgánica que básicamente están representados por la mineralización y la inmovilización, que es la transformación de N inorgánico en N orgánico.

La base de las transformaciones biológicas del N radica en las reacciones de oxidación y reducción, algunos de

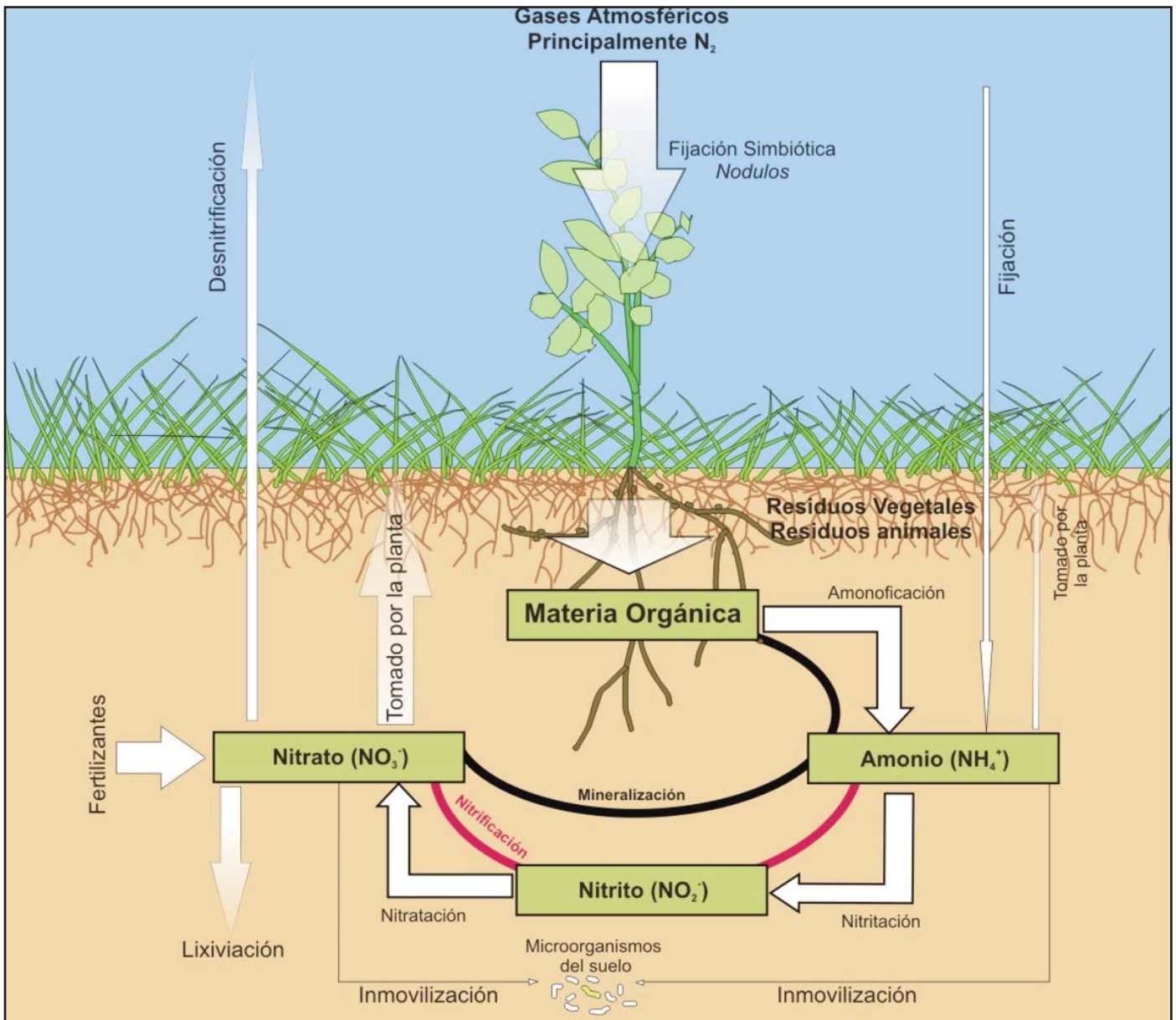
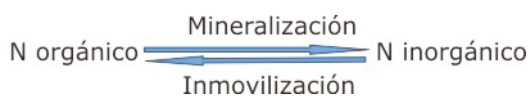


Figura 1: Ciclo del Nitrógeno en la naturaleza.

los cuales tiene lugar en las células de los microorganismos y otras en los tejidos de las plantas superiores incluyendo como intermediarios a las formas gaseosas, minerales y orgánicas en los diferentes estados de oxidación.

TRANSFORMACIONES DEL NITRÓGENO EN EL SUELO

Un rasgo distintivo son los cambios que se producen a través de los procesos de mineralización e inmovilización.



MINERALIZACIÓN

Consiste en todos los procesos por los cuales el N orgánico es transformado a N inorgánico por los micro-

organismos heterótrofos del suelo.

La mineralización es un proceso que se cumple en dos etapas:

- Amonificación
- Nitrificación

AMONIFICACIÓN

Proceso mediante el cual los compuestos nitrogenados de los tejidos de los organismos se descomponen y producen como producto final el NH_4^+ según la siguiente reacción.



Es una reacción alcalina, influencia por:

- Temperatura
- Humedad
- pH
- Aireación

La producen una amplia gama de bacterias, hongos y actinomicetes en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Las bacterias liberan más NH_3 que los hongos.

NITRIFICACIÓN

Es la oxidación de NH_4^+ a NO_3^- . Las reacciones de oxidación mediante las cuales las bacterias llevan a cabo la nitrificación son:

Nitritación



Nitratación



La nitrificación puede ser llevada a cabo tanto por microorganismos heterótrofos como quimioautótrofos, siendo estos últimos los más importantes. Se lleva a cabo entre 25-35 °C.

Por lo general este es un proceso más afectado por las altas temperaturas que la amonificación, de ahí que el NH_4^+ se pueda acumular más en climas tropicales.

La reacción neutra a alcalina puede favorecer la nitrificación.

Los niveles de O_2 y contenido de humedad actúan sobre la nitrificación. La nitrificación ocurre sobre condiciones aeróbicas por lo tanto el medio debe tener O_2 libre.

La humedad óptima se encuentra a capacidad de campo y declina a medida que la aireación se restringe.

FACTORES QUE AFECTAN LA MINERALIZACIÓN

- pH
- Temperatura
- Humedad
- Materia orgánica

pH: Favorece la mineralización del N los pH cercanos a la neutralidad. Sin embargo hay que tener en cuenta que los valores de pH próximos o superiores a 7 favorecen la volatilización en forma de NH_3

Temperatura: Afecte la tasa de mineralización porque las enzimas que catalizan las reacciones son sensibles a la temperatura. Siendo la óptima de 35-40°C.

Humedad: Las bacterias son más sensibles al exceso de humedad que a condiciones de suelo seco. La máxima producción de NH_3 coincide con humedad próxima a cero.

Materia Orgánica: Puede producir en muchos casos inmovilización por aumento de la actividad microbiana. Si los residuos orgánicos incorporados al suelo tienen menos del 1,5 % de N se favorece la inmovilización y si tienen más del 1,5 % se favorece la mineralización.

Aireación: Debe haber suficiente cantidad de O_2 para que la nitrificación se lleve a cabo.

INMOVILIZACIÓN

Es el proceso inverso a la mineralización. Es la conversión de N inorgánico (NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^-) a las formas orgánicas debido a reacciones asociadas principalmente con el crecimiento y metabolismo microbiano que utilizan el N inorgánico y lo convierten en formas constitutivas de sus tejidos quedando el N inmovilizado.

GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE NITRÓGENO

GANANCIAS

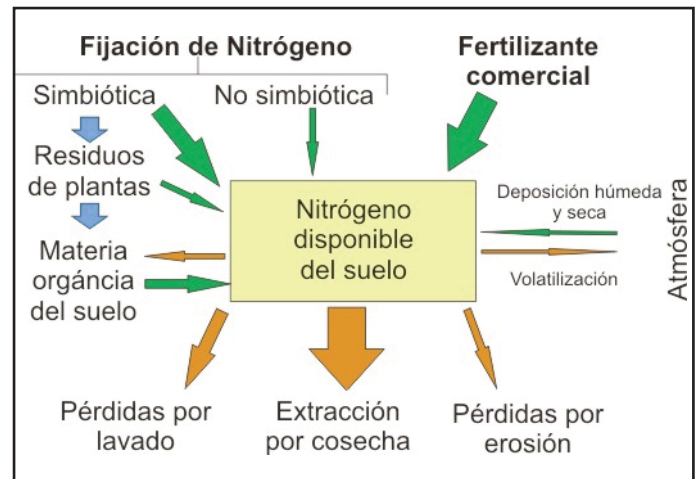


Figura 2: Ganancias y pérdidas de Nitrógeno

- Fijación del N atmosférico por microorganismos
 - Fijación simbiótica
 - Fijación no simbiótica
- Aporte de N inorgánico y sales arrastradas por las lluvias
- Fertilización
- Biomasa muerta

FIJACIÓN DE NITRÓGENO ATMOSFÉRICO POR MICROORGANISMOS

La fijación del N atmosférico, junto con la fotosíntesis y la respiración, es considerada uno de los procesos más importantes en la naturaleza.

Hay distintos grupos de bacterias y cianobacterias capaces de reducir el N_2 en NH_3 e incorporarlo para producir aminoácidos.

Estos microorganismos pueden tener vida libre: fijadores libres, o pueden asociarse con vegetales: simbioses.

Fijación simbiótica

Simbiosis es una asociación de dos organismos que se benefician mutuamente. La planta le suministra energía y un medio favorable y los microorganismos sintetizan aminoácidos y otros compuestos nitrogenados.

Las bacterias se alojan en nódulos que se forman en las raíces de las plantas cuando ingresan los microor-

ganismos. Estos son del género *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, y se alojan en las leguminosas. En suelos tropicales se encuentran los *Azospirillum* que infectan raíces de gramíneas fijando N en espacios inter e intracelulares.

Fijación libre

La rizosfera crea un ambiente favorable para los microorganismos fijadores de N. En este proceso participan bacterias, cianobacterias y actinomicetes. Entre las bacterias hay aerobias, anaeróbicas facultativas y anaeróbicas obligadas.

Las condiciones favorables son:

- Temperatura de 15-35 °C
- pH 5-9
- Humedad adecuada
- Presencia de fuentes de energía
- Mínima presencia de compuestos nitrogenados
- Adecuada cantidad de nutrientes

La cantidad de N fijado por simbiosis es mucho mayor que la de fijadores libres. La diferencia se debe a la energía disponible como carbohidratos que ceden las plantas y al ambiente reductor que originan las raíces.

APORTE DE NITRÓGENO INORGÁNICO Y SALES ARRASTRADAS POR LAS LLUVIAS

Puede ingresar de la atmósfera, además de N_2 , otros gases como N_2O , NH_3 , NO y NO_2 provenientes de combustiones del petróleo, vegetales, industrias y descargas eléctricas.

El polvo atmosférico puede contener NO_3^- , NH_4^+ , como también N orgánico.

En total el N que llega de la atmósfera es un promedio de 5-60 kg/ha/año, dependiendo de la polución ambiental. Para los suelos agrícolas estas entradas son pequeñas.

FERTILIZACIÓN

El NH_4^+ y NO_3^- provenientes de los fertilizantes actúan igual que los derivados de la descomposición de residuos orgánicos por los microorganismos.

Su concentración en zonas localizadas tiende a acidificar el suelo y favorecer la desnitrificación o la volatilización.

PÉRDIDAS

DESNITRIFICACIÓN BIOLÓGICA

Es un proceso de reducción bioquímica a través del cual el NO_3^- es devuelto a la atmósfera como N_2 y N_2O . Este proceso es llevado a cabo por bacterias anaeróbicas facultativas.

Las condiciones favorables son:

- Temperatura de 25 °C
- pH neutro a ligeramente alcalino

- Anaerobiosis
- Presencia de sustratos carbonados y NO_3^-

VOLATILIZACIÓN

Se produce fundamentalmente cuando se utilizan fertilizantes amoniacales u orgánicos en suelos alcalinos que sufren desecamiento rápido. El principal fertilizante que padece estas pérdidas es la urea.

LIXIVIACIÓN

El NO_3^- es muy vulnerable a la lixiviación por ser soluble, perdiéndose en aguas profundas.

EXTRACCIÓN POR COSECHAS

En la mayoría de los cultivos el N es extraído en las cosechas, salvo en pasturas en las que el 85% del mismo retorna en la excreta del animal. Por ello es muy importante el manejo del rastrojo.

EROSIÓN

Las pérdidas de materia orgánica por erosión traen asociada la pérdida de N asociada a esta.

EL NITRÓGENO Y EL MEDIO AMBIENTE NATURAL

Los problemas ambientales causados por el nitrógeno están principalmente asociados con el movimiento del nitrato a través de las aguas de drenaje a las aguas subterráneas. El puede llegar a pozos de agua y también de las aguas subterráneas y por flujo, a superficies de agua como riachuelos, lagos y estuarios.

El nitrato puede contaminar el agua de bebida y causar eutrofización.

Otro problema asociado a efectos tóxicos del nitrato es la Metemoglobinemia ó también llamada *Síndrome del niño azul* que ocurre cuando ciertas bacterias, encontradas en los intestinos de animales rumiantes e infantes humanos, causada por una transformación del nitrato ingerido en nitrito. El nitrito interfiere con la capacidad de la sangre de transportar oxígeno a las células del cuerpo. Este fenómeno ocurre cuando hay altas concentraciones de nitrato en el agua de bebida.

La cantidad de nitrato perdido en las aguas de drenaje depende de dos factores básicos:

- 1) La tasa de agua de lavado a través del suelo.
- 2) La concentración de nitratos en el agua de drenaje.

La precipitación y las tasas de riego junto con la textura y estructura, influyen las tasas de lavado. Los suelos arenosos en regiones húmedas son particularmente susceptibles al lavado de nitratos, en cambio en los suelos de las regiones áridas y semiáridas de secano

las pérdidas de nutrientes son generalmente muy bajas.

El nitrógeno también puede perderse a la atmósfera, cuando el ión nitrato es convertido a formas de nitrógeno gaseosas por una serie de reacciones bioquímicas de reducción (desnitrificación). Esto ocurre principalmente en condiciones de anaerobiosis pudiendo llegar a ser el producto final, en condiciones muy extremas, el gas de nitrógeno diatómico (N_2).



Los óxidos de nitrógeno son gases muy reactivos: el NO_2 y NO liberados a la atmósfera por desnitrificación pueden contribuir a la formación de ácido nítrico, uno de los principales componentes de la lluvia ácida o como NO contribuir a incrementar el efecto invernadero o calentamiento de la superficie terrestre.

BIBLIOGRAFÍA

- **BRADY N. C. and WEIL R. R.** 1999. The nature and properties of soils
- **UBA.** 2000. Principios de Edafología, con énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía.