

NITRÓGENO ORGÁNICO DISUELTO EN COMUNIDADES VEGETALES DEL SO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Manuel Delgado Baquerizo y Antonio Gallardo Correa

Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales. Universidad Pablo de Olavide. Crta. Utrera km 1. 41013-SEVILLA (España). Correo electrónico: mdelbaq@hotmail.com agallardo@upo.es

Resumen

La concentración de nitrógeno orgánico disuelto (DON) ha cobrado relevancia en los últimos años, no solo porque puede ser una fuente directa de N para las plantas, sino porque importancia relativa a otras formas es indicadora de la disponibilidad de nitrógeno (N) en los suelos de ecosistemas naturales. A pesar de su creciente importancia apenas hay datos en suelos de ecosistemas mediterráneos. En este trabajo se ha estudiado la concentración de DON, amonio y nitrato en suelos de 10 comunidades mediterráneas en dos épocas del año, primavera y verano. Las concentraciones de DON son muy bajas en comparación con otros ecosistemas, siendo sin embargo, la forma dominante de N en la mayoría de las comunidades, al menos en primavera. En el verano cambia la dominancia hacia el nitrato en el suelo en las comunidades desarrolladas sobre suelos arenosos, pero no en los otros tipos de suelo. Las proporciones en las formas de nitrógeno en los suelos coincide con comunidades muy pobres en nitrógeno según la hipótesis de SCHIMEL & BENNETT (2004).

Palabras clave: *Suelos, DON, Amonio, Nitrato, Ecosistemas mediterráneos*

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes que con más frecuencia limita la producción primaria en los ecosistemas terrestres. El papel del N orgánico disuelto (DON) en el ciclo del N ha sido escasamente abordado, sin embargo recientes estudios han puesto de manifiesto que puede jugar un importante papel en éste, ya que puede ser fuente de N no solo para los microorganismos, sino también para las plantas (SCHIMEL & BENNETT, 2004; JASON *et al.*, 2003; Figura 1). Efectivamente, se ha observado que las plantas pueden absorber directamente formas orgánicas de N, sin necesidad de su mineralización microbiana previa, lo que podría ser importante en las relaciones competitivas entre plantas y microor-

ganismos por este nutriente, obteniendo una mayor relevancia en ecosistemas pobres. Además de la competencia directa entre plantas y microorganismos, se plantean como factores importantes en esta nueva visión del ciclo del N, la despolimerización tanto física como biológica de la materia orgánica y la importancia de las dinámicas propias de cada microsistema. (SCHIMEL & BENNETT, 2004).

Por otro lado SCHIMEL & BENNETT (2004) plantean la correlación entre la dominancia de una determinada forma de N y la riqueza en N de un determinado ecosistema. Así pues, en un ecosistema extremadamente pobre en N, por ejemplo, la tundra, los microorganismos y las plantas competirían directamente por el N orgánico disuelto, y la mineralización en estos ecosiste-

mas sería muy escasa, habiendo pequeñas cantidades de NH_4^+ y prácticamente nulas de NO_3^- . Este sería el caso de comunidades con bajas tasas de descomposición de materia orgánica debido a condiciones climáticas adversas. Así pues los microorganismos de estas zonas absorberían el DON existente y raramente mineralizarían N. En ecosistemas con disponibilidades de N intermedias, por ejemplo en ecosistemas templados, existiría mineralización, y por tanto producción de amonio, por el cual competirían plantas y microorganismos, si bien no existiría nitrificación, existiendo escasas cantidades de nitrato en el sistema. Aún existiría, aunque en menor medida, acceso por parte de las plantas al DON. En último lugar y en lugares donde la disponibilidad de N es mucho mayor, existiría una dominancia de la nitrificación y por tanto la presencia de nitrato. En este sistema la competencia de plantas y microorganismos se vería reducida, ya que las plantas accederían directamente al N mineralizado por los microorganismos, sistema propio del paradigma clásico del ciclo del N.

El objetivo de este trabajo, es estimar la concentración de DON en distintas comunidades vegetales mediterráneas, de las que prácticamente no existe información, así como observar la evolución de estos niveles a lo largo del tiempo. Se observaron a sí mismo las proporciones relativas de DON, NH_4^+ y NO_3^- para cada comunidad, de forma que podamos comprobar la hipótesis de SCHIMMEL & BENNETT (2004) acerca de la dominancia de distintas formas de N en los ecosistemas.

MATERIAL Y METODOS

En este estudio, se ha llevado a cabo, la determinación de niveles de DON en suelos de 10 comunidades vegetales mediterráneas al suroeste de la península ibérica: sabinar (*Juniperus phoenicia*), Brezal (*Erica scoparia*), dunas de *Ammophila arenaria*, dehesa de encinas (*Quercus ilex*), dehesa de alcornoques (*Quercus suber*), bosque de ribera (*Salix atrocinerea*, *Fraxinus angustifolia*), pinar (*Pinus pinea*), acebuchal (*Olea europaea* var. *sylvestris*), y dos comunidades de alcornocal (*Quercus suber*) (Tabla 1).

Las zonas de estudio elegidas se encuentran poco antropizadas, poseyendo algún tipo de figura de protección. Así pues, pertenecen al parque natural de Doñana las comunidades de *Ammophila arenaria* y el bosque de ribera, y al parque natural de Doñana (pre-parque nacional) las comunidades de Dehesa de encinas, dehesa de alcornoques, pinar y sabinar. Por otro lado las comunidades de alcornocal, brezal y acebuchal pertenecen al parque natural de los Alcornocales

El muestreo fue realizado en primavera y verano del 2007. En cada una de las zonas se recogieron aleatoriamente muestras de los 10 primeros centímetros de suelo, que fueron transportadas en neveras hasta el laboratorio. Para la extracción física de la muestra se emplearon cilindros de 5x15cm.

Las muestras fueron extraídas en fresco con K_2SO_4 0,5M empleando una relación 1:5 (peso/volumen). La extracción se llevo a cabo mediante agitación a velocidad constante (200 rpm) durante 1 hora. Posteriormente las muestras fueron filtradas (Millipore 0,45 μm) e introducidas en una nevera a 4°C o congeladas en función del tiempo que fuera a transcurrir hasta el siguiente paso. El filtrado obtenido fue digerido, con $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ a 121°C durante 55 min mediante el uso del autoclave, según el método descrito por SOLLINS *et al.* (1999). Los valores de DON fueron calculados a partir de la determinación colorimétrica de N inorgánico en los extractos digeridos y sin digerir, calculándose el N orgánico por diferencia entre el primero y el segundo de los casos y el inorgánico en el segundo. Para la medición colorimétrica reducidos el NO_3^- a NH_4^+ empleando el reactivo devarda, dejando incubar las muestras durante el transcurso de una noche, siguiendo el procedimiento descrito en SIMMS *et al.* (1995).

Las diferencias entre comunidades y muestreos se comprobaron mediante un ANOVA. Cuando los datos no se ajustaron a una distribución normal (Shapiro-Wilk), se empleó el test de Kruskal- Wallis

RESULTADOS

Durante la primavera los niveles de DON oscilaron entre los máximos de 10,92 μg DON.

COMUNIDADES	SITUACIÓN	CLIMA	VEGETACIÓN	EDAFOLOGÍA	USO DE SUELO
Sabinar: bajo Sabinas	SE Huelva. Elev. 22m 37°01' N 6°34' O Localidad: Matalascañas	T ^m : 17°C P: 500mm/año	<i>Juniperus phoenicia</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Corema album</i> , Presencia de costra biológica en primavera (musgos y líquenes)	Regosol eútrico	Parque natural
Sabinar: entre sabinas	SE Huelva. Elev. 22m 37°01' N 6°34' O Localidad: Matalascañas	T ^m : 17°C P: 500mm/año	<i>Juniperus phoenicia</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Corema album</i> , Presencia de costra biológica en primavera (musgos y líquenes)	Regosol eútrico	Parque natural
Brezal	S Cadiz Elev. 160 m 36°28' N 5°37' O Localidad: Alcalá de los Gazules.	T ^m : 18°C P: 800mm/año	<i>Erica scoparia</i> , <i>Lavandula stoechas</i>	Leptosol	Parque Natural
<i>Ammophila arenaria</i>	SE Huelva. Elev. 0m 36°58' N 6°31' O Localidad: Matalascañas	T ^m : 17°C P: 500 mm/año	<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>australis</i> , <i>Elymus farctus</i> , <i>Medicago marina</i> , <i>Corema album</i> , <i>Lotus creticus</i>	Arenosol	Alcornocales
Dehesa encinas	SO Sevilla Elev. 26m 37°14' N 6°17' O Localidad: Villamanrique de la Condesa	T ^m : 18°C P: 600 mm/año	<i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus pinna</i>	Planosol eútrico	Parque natural
Dehesa alcornocal	SE Huelva, Elev. 76m 37°15' N 6°28' O Localidad: Hinojos	T ^m : 18°C P: 800mm/año	<i>Quercus suber</i>	Planosol eútrico	Parque natural
Bosque ribera	SE Huelva, Elev. 15m 37°8' N 6°32' O Localidad: El Rocío	T ^m : 18°C P: 600 mm/año	Arboles: Fresnos (<i>Fraxinus angustifolia</i>), Sauces (<i>Salix atrocinerea</i>), Sanguinios (<i>Frangula alnus</i> subsp. <i>baetica</i>). Trepadoras: madreleña (<i>Lonicera periclymenum</i> subsp. <i>hispanica</i>), parra silvestre (<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>silvestris</i>) y zarzaparrilla (<i>Smilax aspera</i>) Helechos: <i>Pteridium aquilinum</i>	Fluvisol eútrico	Parque Nacional Doñana
Pinar	SE Huelva Elev. 89m 37°16' N 6°23' O	T ^m : 18°C P: 800mm/año	<i>Pinus pinna</i> , <i>Chamaerops humilis</i>	Planosol eútrico	Doñana (Acebron)
Acebuchal	S Cadiz Elev. 160 m 36°28' N 5°37' O Localidad: Alcalá de los Gazules	T ^m : 18°C P: 800mm/año	<i>Olea europaea</i> subsp. <i>silvestris</i>	Cambisol eútrico	Parque Natural
Comunidad alcornocal 1	S Cadiz Elev. 140m 36°16' N 5°34' O Localidad: El Barrio	T ^m : 18°C P: 800mm/año	<i>Quercus suber</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Digitalis purpurea</i> var. <i>tormentosa</i> , <i>Ruscus hypophyllum</i> , <i>Allium triquetrum</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Erica ar-borea</i> , <i>Olea europaea</i> subsp. <i>silvestris</i> , <i>Cytisus linifolius</i> , <i>Cistus populifolius</i>	Cambisol eútrico	Parque Natural
Comunidad alcornocal 2	S Cadiz Elev. 160 m 36°28' N 5°37' O Localidad: Alcalá de los Gazules	T ^m : 18°C P: 800mm/año	<i>Quercus suber</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Digitalis purpurea</i> var. <i>tormentosa</i> , <i>Ruscus hypophyllum</i> , <i>Allium triquetrum</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Erica ar-borea</i> , <i>Olea europaea</i> subsp. <i>silvestris</i> , <i>Cytisus linifolius</i> , <i>Cistus populifolius</i>	Leptosol	Parque Natural

Tabla 1. Descripción de las distintas comunidades de estudio

g⁻¹ suelo y 8,46 µg DON.g⁻¹ suelo pertenecientes a las comunidades de sabinar (entre sabinas y bajo sabinas respectivamente) y valores mínimos de 2,39 µg DON.g⁻¹ de suelo y 1,66 µg DON.g⁻¹ de suelo pertenecientes a las comunidades dunares de *Ammophila arenaria* y a las de bosque de ribera respectivamente (Tabla 2).

Por otro lado durante el verano los valores oscilaron desde los 5,04 µg DON.g⁻¹ de suelo y 4,82 µg DON.g⁻¹ de suelo en la comunidades de alcornocal y sabinar respectivamente, a valores de 0,247µg DON.g⁻¹ de suelo y 0,03 µg DON.g⁻¹ de suelo en las comunidades de bosque de ribera y *Ammophila arenaria* respectivamente (Tabla 2).

De forma general, los niveles de DON disminuyeron desde el muestreo de primavera al muestreo de verano. Sin embargo, en el brezal, en una comunidad de alcornocal y en el pinar se vieron incrementados los niveles de DON, pasando de 3,67 a 4,76 µg DON.g⁻¹, de suelo de 3,21 a 5,04 µg DON.g⁻¹ de suelo, y de 2,63 a 3,23 µg DON.g⁻¹ de suelo respectivamente (Tabla 2).

Las proporciones relativas de amonio, nitrato y DON variaron en función de la comunidad de estudio. En términos generales el nitrato aumentó en verano. El amonio por otro lado per-

maneció más fluctuante, aumentando o disminuyendo en función de la comunidad (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Los datos obtenidos en este trabajo demuestran que los niveles de DON en ecosistemas mediterráneos muestreados son extremadamente bajos. Esto se hace patente al comparar estos con los de otros ecosistemas más húmedos, los cuales ostentan niveles de DON mucho mas elevados. Así por ejemplo, RODRÍGUEZ *et al.* (2007) encuentra valores en matorrales templados del noroeste de España entre 21 y 23 µg.g⁻¹, dos veces mayores que los encontrados en nuestras comunidades mediterráneas, y PARAMÁ (2006) encuentra valores entre 50 y 79 µg g⁻¹, entre cinco y siete veces mayores que los encontrados en nuestras comunidades (Figura 2).

La escasez de DON en ecosistemas mediterráneos, se debe probablemente a la escasa productividad de los mismos, los bajos niveles de materia orgánica y su dificultad de descomposición (GALLARDO & MERINO, 1993). Además, los bajos niveles de DON en las comunidades mediterráneas disminuyen aun más al llegar el verano

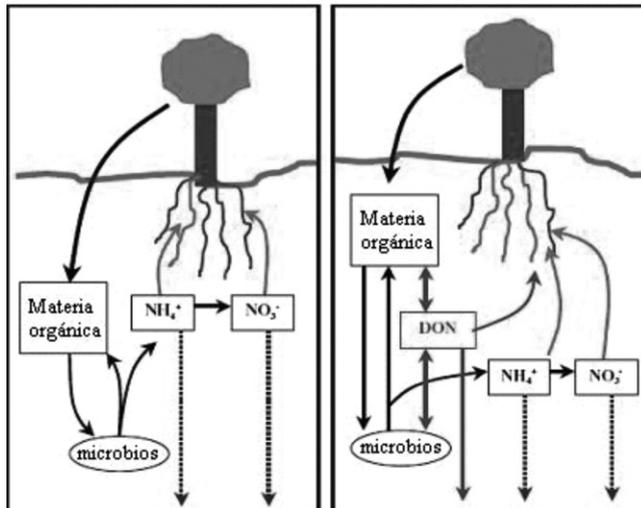


Figura 1. Paradigma clásico del ciclo de N (izquierda) y nuevo paradigma del ciclo del N (derecha): las plantas pueden absorber DON directamente. Las líneas negras continuas indican los procesos de mineralización llevados a cabo por microorganismos. Las líneas gruesas indican procesos físicos y biológicos del ciclo del DON. Las líneas punteadas indican pérdidas de N que pueden ser reguladas por las plantas. A partir de NEFF *et al.* (2003)

ZONAS	ESTACIÓN	DON (µg/g suelo)	% DON	AMONIO(µg/g suelo)	% AMONIO	NITRATO(µg/g suelo)	% NITRATO
Sabinar: bajo Sabinas	Primavera	8,465	64,66	2,95	22,55	1,675	12,79
Sabinar: bajo Sabinas	Verano	4,824	71,58	0,946	15,74	0,785	12,68
Sabinar: entre sabinas	Primavera	10,928	90,92	1,092	9,08	0	0
Sabinar: entre sabinas	Verano	3,3	55,09	0,76	12,69	1,93	32,22
Brezal	Primavera	3,67	62,53	2,106	34,37	0,236	3,1
Brezal	Verano	4,76	55,88	3,426	40,22	0,332	3,9
<i>Ammophila arenaria</i>	Primavera	2,394	72,53	0,693	22,47	0	0
<i>Ammophila arenaria</i>	Verano	0,032	1,34	0,175	7,15	2,243	91,51
Dehesa encina	Primavera	3,99	63,62	1,688	26,91	0,595	9,47
Dehesa encina	Verano	1,02	17,36	3,366	35,11	3,443	47,53
Dehesa alcornocal	Primavera	2,775	56,43	1,368	27,82	0,775	15,76
Dehesa alcornocal	Verano	0,713	16,14	1,218	24,49	2,97	59,37
Bosque ribera	Primavera	1,657	52,49	1,219	38,61	0,281	8,9
Bosque de ribera	Verano	0,247	8,61	0,609	21,18	2,018	70,21
Pinar	Primavera	2,639	65,03	0,785	19,34	0,634	15,63
Pinar	Verano	3,238	52,28	1,601	27,34	1,018	17,38
Acebuchal	Primavera	2,519	19,5	6,422	61,72	1,963	18,78
Acebuchal	Verano	1,243	16,78	2,319	31,32	3,843	51,9
Comunidad alcornocal 1	Primavera	4,145	50,81	3,051	36,23	1,082	12,96
Comunidad alcornocal 1	Verano	3,026	48,35	2,845	45,46	0,3875	6,19
Comunidad alcornocal 2	Primavera	3,211	43,25	1,997	26,96	2,2072	29,79
Comunidad alcornocal 2	Verano	5,043	62,05	2,209	27,18	0,8752	10,77

Tabla 2. Proporciones relativas de DON, amonio y nitrato en cada una de las comunidades estudiadas

en algunas de las comunidades estudiadas, disminuyendo con mayor intensidad en el caso del sabinar, las dehesas, o la comunidad de *Ammophila arenaria*; comunidades desarrolladas sobre suelos arenosos en donde se ve favorecida la nitrificación al final de la estación de crecimiento. Por el contrario, en algunas comunidades aumenta la concentración de DON, como es el caso del brezal, pinar o el alcornocal, las comunidades desarrolladas sobre los suelos menos arenosos, en donde las condiciones de nitrificación probablemente sean menos favorables.

Nuestros resultados confirman la dominancia de DON frente a las formas minerales en la mayoría de las comunidades mediterráneas estudiadas para la estación de crecimiento (primavera), siendo especialmente significativo en *Ammophila arenaria*, y en las muestras recogidas entre sabinas. Estas comunidades, ambas dunares, poseen unos suelos con los valores más bajos de nitrógeno mineral, y su carácter muy arenoso probablemente se traduzca en condiciones climáticas más adversas para la descomposición del DON, y que suscitaría el uso del DON por parte de las plantas y la competencia con los microorganismos, tal y como predice la hipótesis de SCHIMEL & BENNETT (2004) para las comunidades más pobres en nutrientes.

Sin embargo, en las comunidades de acebuchal y bosque de ribera, los suelos menos arenosos, observamos una presencia de amonio

significativa, siendo en el acebuchal la forma predominante, debido quizás a la presencia de arcillas en estos suelos que implicarían una mayor retención de amonio (POWELL & PROSSER, 1992). Estos, son ecosistemas con suelos más desarrollados (menos arenosos), y posiblemente con unas condiciones más apropiadas para que se den los procesos de descomposición.

Por último cabe destacar las elevadas tasas de nitrificación observadas en algunos de los ecosistemas mediterráneos con la llegada de la estación de verano, produciéndose cambios radicales en las proporciones relativas de formas de N, pasando a dominar las formas inorgánicas, mientras que en primavera predominaban las formas orgánicas. Esto puede ser debido al paro del crecimiento de la vegetación debido a las condiciones adversas del verano mediterráneo dominado por las sequías y las altas temperaturas. Los procesos de nitrificación se ven favorecidos con la temperatura hasta que alcanza unos valores óptimos, si bien se da en zonas con cierto grado de humedad (SPRENT, 1987). Del mismo modo los microorganismos nitrificantes requieren un grado de aireación óptimo debido a su metabolismo aerobio (HAYNES, 1986), viéndose favorecidos posiblemente en suelos arenosos, donde la aireación es mayor. A su vez un mayor contenido de amonio favorecería la nitrificación, dándose esto en suelos más arcillosos (POWELL & PROSSER, 1992).

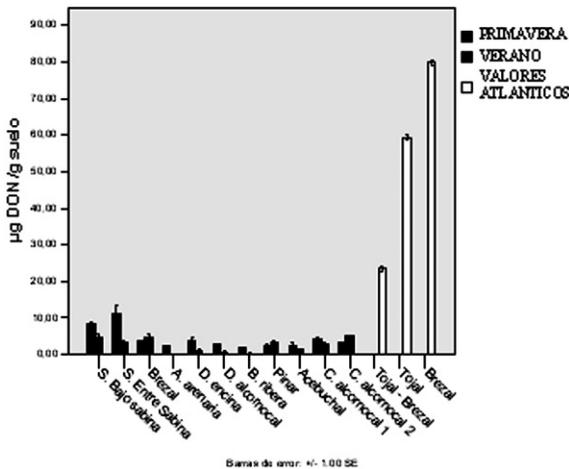


Figura 2. Comparación de niveles de DON entre comunidades mediterráneas y comunidades de matorral atlántico

Nuestros resultados muestran valores de DON muy bajos en ecosistemas mediterráneos, compatibles con el bajo contenido en materia orgánica de los suelos y la baja tasa de descomposición encontrada en ecosistemas mediterráneos, sin embargo, el DON es la forma mayoritaria de N en muchas comunidades, al menos en primavera, durante la estación de crecimiento, lo que concuerda con comunidades muy pobres en nutrientes según la hipótesis de SCHIMEL & BENNETT (2004).

BIBLIOGRAFÍA

- GALLARDO, A. & MERINO, J.; 1993. Leaf decomposition in two ecosystems of southwest Spain. Influence of litter quality. *Ecology* 74: 151-163.
- HAYNES, R.J.; 1986 b. *The decomposition process: mineralization, immobilization, humus formation and degradation*. In: T.T. Kozlowski (ed.), *Mineral nitrogen in the plant-soil system*: 52-126. Academic Press, Inc. Orlando, FL
- NEFF, J.C.; CHAPIN F.S. III & VITOUSEK, P.M.; 2003. Breaks in the cycle: dissolved organic nitrogen in terrestrial ecosystems. *Front. Ecol. Env.* 1: 205-211
- POWELL, S.J. & PROSSER, J.I.; 1992 Inhibition of biofilm populations of *Nitrosomonas* europea. *Microbiol. Ecol.* 24: 43-50.
- RODRÍGUEZ, A.; DURÁN, J. & GALLARDO, A.; 2007. Influence of legumes on N cycling in a heathland of NW Spain. *Web Ecology* 7: 87-93.
- SCHIMEL, J.P. & BENNETT, J.; 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology* 85: 591 - 602
- SIMS, G.K.; ELLSWORTH, T.R. & MULVANEY, R.L. 1995. Microscale determination of inorganic nitrogen in water and soil extracts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 303-316.
- SOLLINS, P.; GLASSMAN, C.; PAUL, E.A.; SWANTSTON, C.; LAJTHA, K.; HEIL, J.W. & ELLIKOTT, E.T.; 1999. Soil Carbon and Nitrogen: Pools and Fraction. In: Robertson et al. (eds.), *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research*. Oxford University Press. Oxford.
- SPRENT, J.I.; 1987. *The ecology of the N cycle*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.