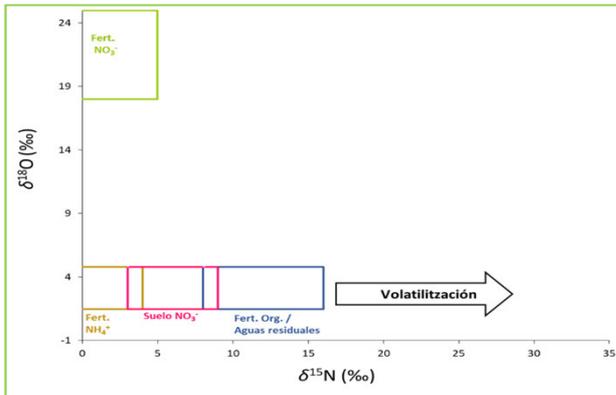


ANEXO I: MÉTODO MULTI-ISOTÓPICO

Composición isotópica de N y O de la molécula de nitrato ($\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ y $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$)

Los isótopos de la molécula de nitrato son una excelente herramienta para discriminar entre nitrato procedente de fertilizantes amoniacales, de nitrato primario de fertilizantes, de nitrato del suelo y de nitrato procedente de fuentes orgánicas.

Cajas composicionales para las principales fuentes nitrogenadas:



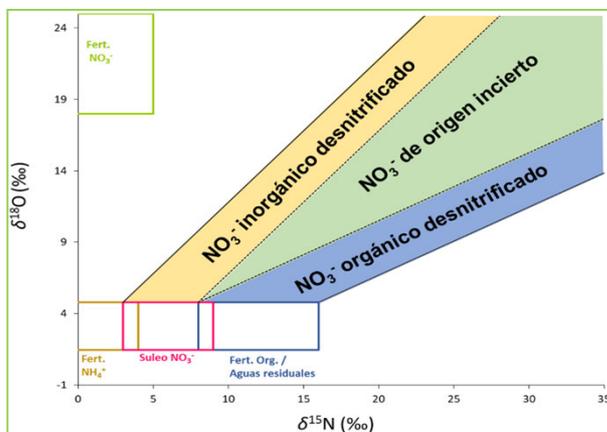
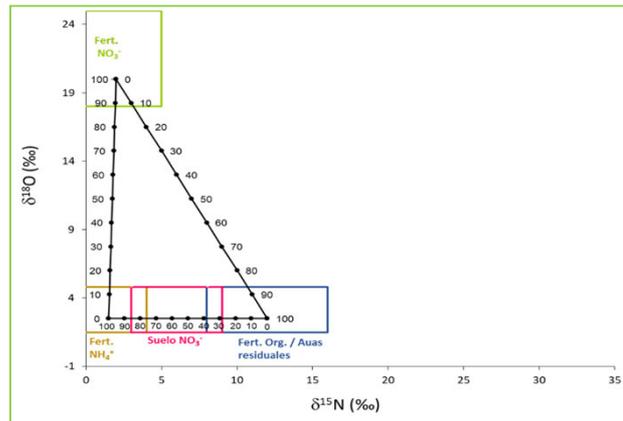
Fuente	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$
Fertilizantes inorgánicos amoniacales	0 ‰	El nitrato procedente de la nitrificación mostrará una $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ característica, cuyo valor será función de la $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ del agua local.
Nitrógeno orgánico natural del suelo	+3 y +7 ‰	
Materia orgánica de purines y aguas residuales urbanas	+8 y 16 ‰	

El valor de $\delta^{18}\text{O-O}_2$ disuelto en el agua suele corresponder al oxígeno atmosférico, el cual presenta una composición de +23,5‰ (Kroopnick y Craig, 1972), mientras que los valores de $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ son variables y dependen de la zona de estudio, ya que su composición está controlada según la zona de recarga, la estación del año en que tiene lugar la recarga, el grado de evaporación, etc.

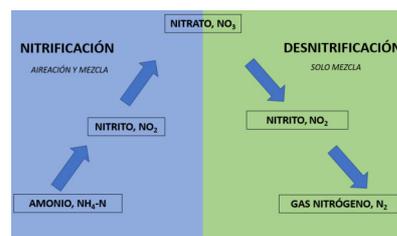
La composición isotópica del nitrato disuelto se puede ver afectada por distintos procesos físicos, químicos y biológicos.

En procesos de mezcla de nitratos, si estas muestran composiciones isotópicas distintas, los nitratos mezclados proyectarán sobre una **recta de mezcla**, permitiendo cuantificar fácilmente los balances de nitrato aportados por cada una de las fuentes.

La composición isotópica de N y O del nitrato disuelto puede permitir el cálculo porcentual aproximado de cada una de las fuentes, siempre que no existan otros procesos que puedan modificar la composición isotópica del nitrato, como por ejemplo la desnitrificación o el reciclaje en el suelo.



La **desnitrificación** es una reacción redox producida por microorganismos que reducen el NO_3^- a N_2 en su ciclo completo. Un nitrato afectado por **desnitrificación** presentará una composición isotópica que **proyectará sobre el campo teórico con una pendiente comprendida entre 1 y 0,5**.



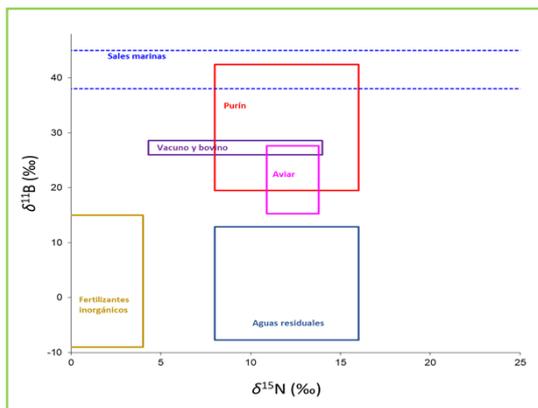
ANEXO I: MÉTODO MULTI-ISOTÓPICO

Geoquímica isotópica del boro disuelto $\delta^{11}\text{B}$

La geoquímica *isotópica del boro* permite discriminar entre fuentes derivadas de **residuos ganaderos y aguas residuales urbanas**, a diferencia de la composición isotópica de N y O del nitrato disuelto (Seiler, 2005; Widory et al., 2005; 2012)

Los isótopos de boro combinados con los isótopos de nitrógeno y oxígeno de la molécula del nitrato ($\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ y $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$) permiten discriminar la contaminación por nitratos de procedencia **humana/animal**, así como de **fertilizantes inorgánicos** (Widory et al., 2004; 2005; Seiler et al., 2005).

El boro presenta distintas fuentes antrópicas como **fertilizantes y aguas residuales** (derivados de la presencia de perboratos en los detergentes), y que también se encuentra presente en los **estiércoles**.

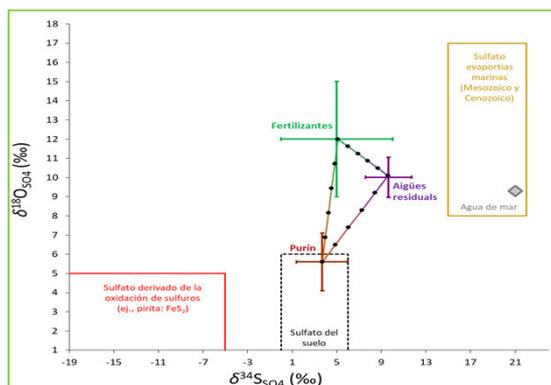


Fuente	$\delta^{11}\text{B}$
Fertilizantes inorgánicos	-2 y +14,8‰
Purines (estiércol)	+19,5 y +42,4‰
Vacuno/bovino/ aviares (estiércol)	+25,9 y +27,6‰
Aguas naturales (agua de mar, superficiales, subterráneas, fluidos geotermales, salmueras)	-16 y +60‰

Geoquímica isotópica de S y O de la molécula del sulfato disuelto

La composición *isotópica del S y O del sulfato* puede permitir discernir la **contribución de las distintas fuentes** en una muestra que presente un **origen incierto del nitrato**.

Existen distintas fuentes antrópicas de sulfato, tales como sulfatos presentes en los **fertilizantes, detergentes de uso doméstico presentes en las aguas residuales urbanas**, los empleados en la **industria** (adobes, tintes, etc.), y los sulfatos o sulfuros de **origen minero**.



Variación de la $\delta^{34}\text{S}$ y $\delta^{18}\text{O}$ del sulfato en un proceso de sulfato-reducción

