

REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR LIXIVIACIÓN DE NITRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS

Francisco Padilla Ruiz

Departamento de Agronomía, Universidad de Almería

f.padilla@ual.es

Laboratorio de Nitrógeno y Riego de la UAL

Marisa Gallardo: mgallard@ual.es - Rodney Thompson: rodney@ual.es

El nitrógeno (N) en la agricultura

Las dos caras del uso del N en la agricultura



1. Componente fundamental de nuestro sistema de alimentación
2. Grandes pérdidas de N al medio ambiente y a cuerpos de agua (superficiales y subterráneos)

Lixiviación de nitrato - comportamiento del N en el suelo

El nitrógeno en el suelo

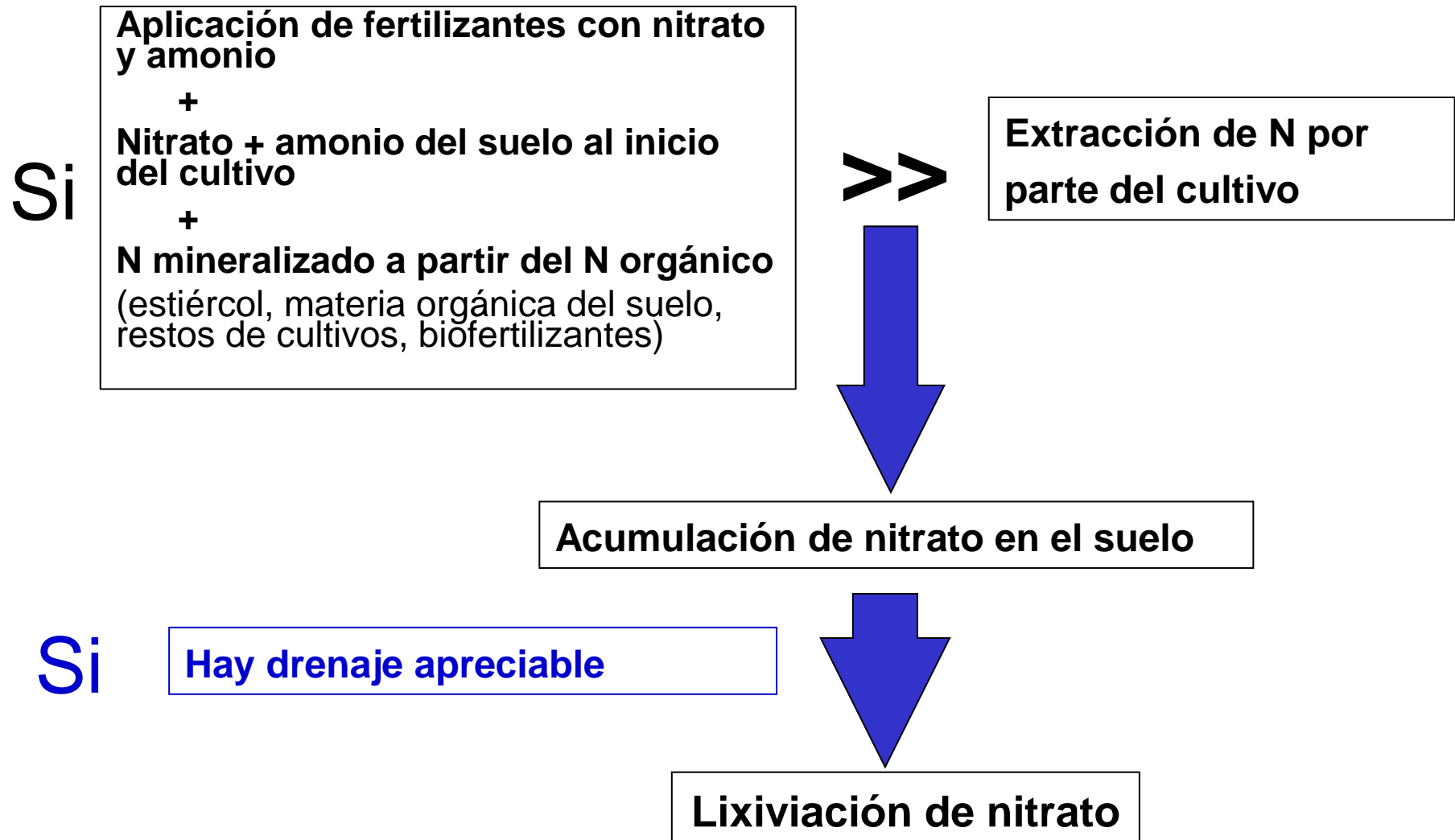
- ❖ La mayor parte del N en el suelo está en forma orgánica, pero el N orgánico no es absorbible directamente por las plantas
- ❖ La forma de N asimilable por las plantas es, principalmente, en forma mineral o inorgánica, como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+)
- ❖ El N orgánico del suelo se transforma, de forma natural, en amonio (NH_4^+) a través del proceso de *mineralización*
- ❖ El amonio del suelo se transforma de manera muy rápida, de forma natural, en nitrato (NO_3^-) a través del proceso de *nitrificación*
- ❖ Esto provoca que el nitrato sea la forma de N mineral dominante en el suelo y apenas haya amonio en el suelo

Lixiviación de nitrato - comportamiento del N en el suelo

Características del nitrato en el suelo

- ❖ El nitrato (NO_3^-) no es retenido por las partículas con carga negativa del suelo
- ❖ El nitrato se mueve libremente con la solución de agua del suelo (lateral y verticalmente)
- ❖ Cuando hay drenaje de la zona de las raíces, el nitrato se lixivia con el drenaje

Factores responsables de la lixiviación de nitrato

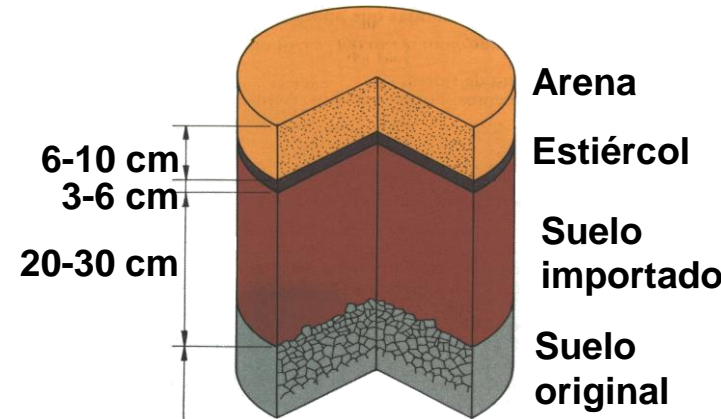


Características relevantes del sistema de invernaderos en Almería

Medio de cultivo

90% de cultivos en suelo, de los cuales

- ❑ Casi el 60% son suelos artificiales "enarenados"
 - ❖ 20-30 cm de suelo franco importado y colocado sobre el suelo original
 - ❖ Gran aplicación de estiércol ($300-600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en la construcción del invernadero
 - $2.500-5.000 \text{ kg N ha}^{-1}$
 - ❖ 8-10 cm de acolchado de arena en la parte superior
- ❖ Tradicionalmente, el estiércol se repone cada 2-5 años en bandas de 30 cm de ancho
 - promedio de $\text{N aplicado } 1.000 \text{ kg N ha}^{-1}$



En las ZVN, el límite de aplicación de N orgánico (p.ej., estiércol) es de $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

Medio de cultivo

10% de cultivos en sustrato

- ❑ Casi todos son sistemas “**abiertos**”, de drenaje libre al suelo
- ❑ Fracciones de drenaje del 20-40% del total del riego aportado



Prácticas de manejo de los cultivos en cuanto a riego, aplicación de fertilizantes y estiércol

Encuestas a agricultores

- ❑ Gestión del abonado N y del riego basado en la **experiencia local**
 - ❑ de los asesores técnicos, de los agricultores o de ambos
- ❑ El riego y la aplicación de fertilizantes minerales son excesivos
- ❑ Aproximadamente el 75% del N mineral aplicado es como nitrato
- ❑ Poco uso de los análisis químicos de suelo y planta
- ❑ Las **grandes cantidades de N aplicadas en el estiércol** no suelen tenerse en cuenta en las aplicaciones de fertilizantes de N

Fuentes:

- *Thompson et al. 2007. Agr Water Manag.*
- *Fernández et al. 2007. Agr Water Manag.*
- *García García et al 2016 "El Sistema de producción hortícola de la provincial de Almería", IFAPA, España*

Medida de las pérdidas por lixiviación de nitrato

Pérdidas por lixiviación de nitrato medidas en cultivos manejados de forma convencional en invernaderos de Almería cultivados en suelo

Cultivo	Volumen de drenaje (L m ⁻²)	N lixiviado (kg N ha ⁻¹)	Concentración media de NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)
Melón	86	211	930
Melón	73	111	682
Pimiento	137	211	682
Pimiento	129	215	744
Pimiento	118	168	620
Promedio	109	183	732

1090 m³ ha⁻¹

Fuentes:

- Granados (2011) Tesis doctoral, Universidad de Almería
- Granados et al. (2013) Gestión del agua en la agricultura
- Magán et al., (en prensa) Acta Horticulturae

Pérdidas por lixiviación de nitrato medidas en cultivos manejados de forma convencional en invernaderos de Almería cultivados en sustrato

Cultivo	Fracción de drenaje (%)	N lixiviado (kg N ha ⁻¹)	Concentración media de NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)
Tomate (6 cultivos experimentales)	25-30	-	1 240
Tomate (10 cultivos comerciales)	31	238	930
Promedio			1085

Fuentes: Thompson et al. 2013. *Sci. Hort.* 150, 387-398.

Thompson et al 2013. "Measurement of nitrate leaching in commercial vegetable production in SE Spain", NEV2013 proceedings.

Herramientas de manejo para reducir la lixiviación de nitrato

¿Cómo garantizar la producción y reducir la lixiviación de nitrato?

CULTIVOS EN SUELO

- 1) Reducir sustancialmente la aplicación de estiércol**
- 2) Optimizar el manejo de los abonos de N**
- 3) Optimizar la gestión del riego para reducir el drenaje**
- 4) Aprovechar la gran capacidad técnica de los sistemas de fertirrigación y riego para una aplicación precisa**

CULTIVOS EN SUSTRATO

- 1) Recoger y recircular el drenaje**
- 2) Optimizar la gestión del abonado N y del riego**

Manejo prescriptivo-correctivo del N y del riego

Manejo prescriptivo

- ❑ También se denomina "Planificación"
- ❑ Preparación de planes de cultivo para emplazamientos específicos
- ❑ La mejor manera de hacerlo es con un **Sistema de Apoyo a la toma de Decisiones (DSS)**, en ordenador o con Apps

Manejo correctivo

- ❑ También llamado "monitorización", "manejo adaptativo"
- ❑ Utilización de **técnicas de monitorización** que permitan realizar ajustes que garanticen un estado óptimo
- ❑ La **monitorización** debe ser frecuente

Manejo prescriptivo

Sistema de ayuda a la toma de decisiones (VegSyst-DSS) para calcular las necesidades de abono N y de riego

- ❑ Cálculo de las recomendaciones de abono de N que **tiene en cuenta todas las fuentes principales de N**
- ❑ El N de los fertilizantes minerales se considera un complemento de otras fuentes de N
- ❑ Cálculo de las necesidades de riego
- ❑ Cálculos realizados por días, semanas, todo el cultivo

<https://w3.ual.es/GruposInv/nitrogeno/VegSyst-DSS%20-%20ESP.shtml>

VegSyst-DSS

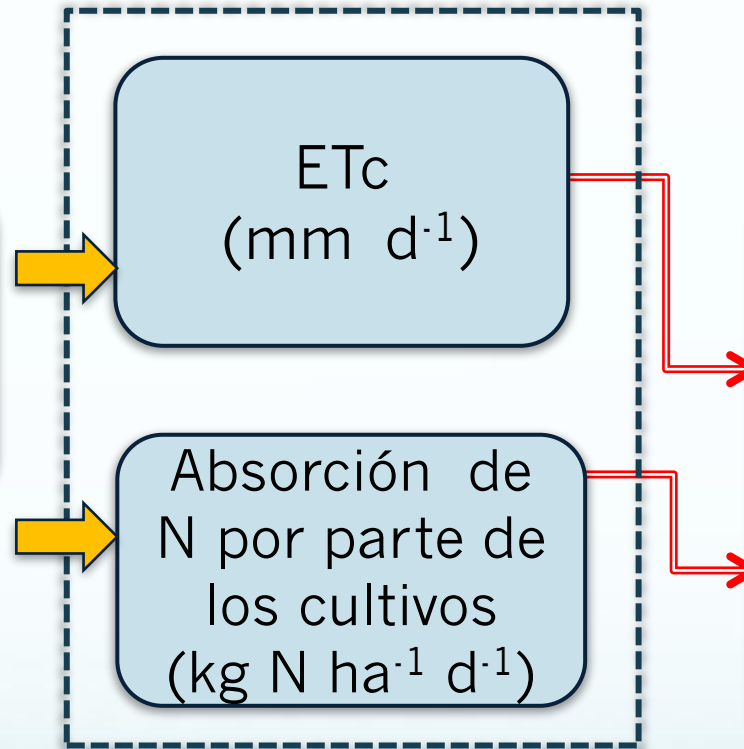


Ejemplo del sistema VegSyst-DSS

Entradas

Datos climáticos
Fechas del cultivo
N suelo
Aporte de estiércol

Modelo de simulación VegSyst



VegSyst-DSS

- Volumen de agua a aplicar (mm d⁻¹)
- Aplicación de fertilizante N (kg N ha⁻¹ d⁻¹)
- N Concentración de la solución nutritiva (mmol L⁻¹)

Fuente: Gallardo et al., (2014) Irrigation Science 32, 237-253

Manejo correctivo del riego

CONTROL CON SENSORES

- ❑ Método recomendado: tensiómetros



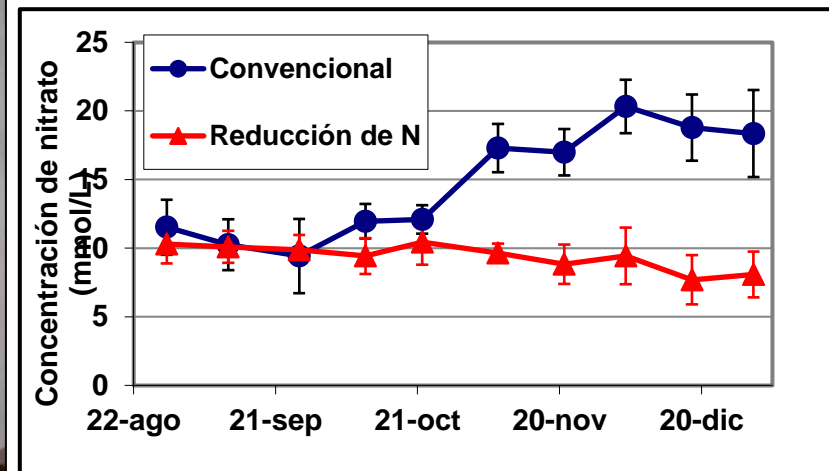
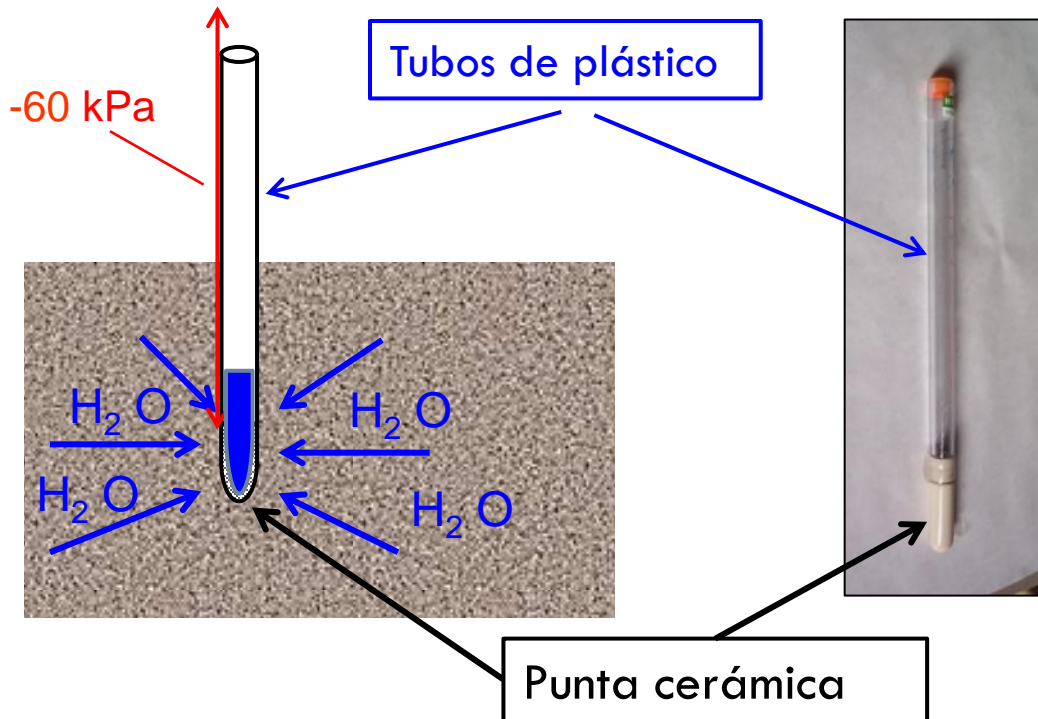
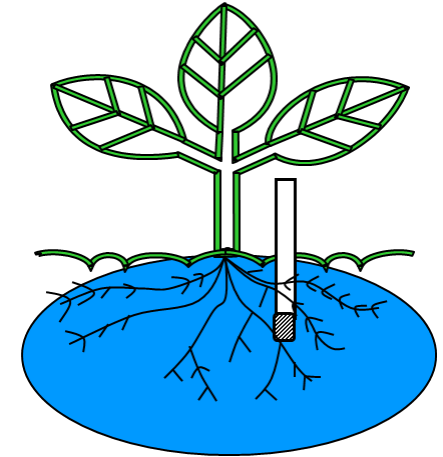
Manejo correctivo del N

- ❑ **Análisis de la solución del suelo**
 - ▣ Muestreo de la solución del suelo con sondas de succión
- ❑ **Análisis de planta**
 - ▣ Análisis de la savia del peciolo
- ❑ **Monitorización del cultivo con sensores ópticos**
 - ▣ Medidores de clorofila (SPAD)

Análisis de la solución del suelo

Sondas de succión

- ❑ Punta cerámica porosa colocada en la zona de máxima densidad radicular, a 10-20 cm de profundidad
- ❑ Vacío de -60 kPa aplicado durante 12-24 horas



Fuente: Gallardo et al., Acta Horticulturae, 700, 221-224.

Análisis de planta

Análisis de la concentración de NO_3^- de la savia de peciolo

- ❑ La $[\text{NO}_3^-]$ de la savia de peciolo es un indicador sensible de la nutrición del cultivo
- ❑ La savia se puede analizar en la finca con medidores rápidos o en un laboratorio químico
- ❑ Muestreo periódico a lo largo de todo el ciclo de cultivo



Monitorización con sensores ópticos

Medidores de clorofila (SPAD)


- ❑ La cantidad de clorofila en hoja es un indicador sensible de la nutrición del cultivo
- ❑ La cantidad de clorofila se mide de forma no destructiva a lo largo de todo el ciclo de cultivo
- ❑ En la UAL se han desarrollado valores de suficiencia



 cv. Ramyle

Sensor	Index	Phenological phase				Promedio
		Vegetative	Flowering	Early fruit growth	Harvest	
SPAD-502	Chlorophyll	57.7±1.4	55.3±1.4	51.3±1.7	57.0±3.7	55.3

Fuente: Padilla *et al.* 2015. *Ann App Biol*; Padilla *et al.* 2018. *Acta Horticulturae*

 cv. Strategos

Phenological phase	Sufficiency values for phenological phases	
	Growth	Yield
Vegetative	47.5	44.0
Reproductive	46.9	42.8
Harvest	44.9	44.9
Average	46.4 ± 0.8	43.9 ± 0.6
	45.2 ± 0.7	

Fuente: Padilla *et al.* 2017. *Comp Elec Agr*

 cv. Melchor

Phenological stage	SPAD
Vegetative	49.7 ± 2.3
Flowering	56.6 ± 4.6
Early fruit growth	62.7 ± 2.3
Harvest	65.2 ± 6.3
Promedio	58.6

Fuente: de Souza *et al.* 2019. *Sensors*

Reducción de la lixiviación de nitrato de cultivos en suelo mediante una gestión mejorada del riego y el N respecto a la gestión convencional

Cultivo	Mejora del manejo del N	Mejora del manejo del riego	Reducción de la lixiviación de nitrato	Referencia
Pimiento	- Reducción de N - Solución del suelo	- PrHo DSS - Tensiómetros	58%	Granados et al., (2013)
Melón	- Reducción de N - Solución del suelo	- PrHo DSS - Tensiómetros	>45%	Granados et al., (2013)
Pimiento	- Solución del suelo	- PrHo DSS - Tensiómetros	49%	Granados (2011)
Melón	- Reducción de N - Solución del suelo	- PrHo DSS - Tensiómetros	72%	Granados (2011)
Pimiento	- VegSyst DSS - Solución del suelo - Savia	- PrHo DSS - Tensiómetros	63%	Magán et al., (2019)

En cada uno de los cultivos, la producción fue muy similar con los dos tratamientos de manejo mejorado y convencional

OBSERVACIONES FINALES

- ❑ Con los conocimientos y las herramientas disponibles en la actualidad, se puede reducir considerablemente la lixiviación de nitrato en la agricultura intensiva almeriense
 - ❑ Planificación precisa
 - ❑ Monitorización sensible
 - ❑ Manejo con gran capacidad de respuesta
- ❑ Después de los distintos éxitos de la horticultura intensiva almeriense, el próximo reto es el ajuste del manejo de los nutrientes y del riego para minimizar las pérdidas de nutrientes al medio ambiente

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!