

AGRICULTURA DE REGADÍO Y MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS

Daniel Isidoro
Unidad de Suelos y Riegos CITA-DGA
(Unidad Asociada EEAD-CSIC)
Tel: 976 716393
E-mail: disidoro@aragon.es

Esquema de la presentación

- Introducción
 - ★ Necesidad y perspectivas del regadío en el mundo y en España
- **IMPACTOS DEL REGADÍO SOBRE EL MEDIO**
 - Impacto de las obras de riego (presas)
 - Alteraciones del régimen hidrológico
 - Efectos internos
 - ★ Elevación de la capa freática → Salinización
 - ★ Salinización del suelo
 - ★ Sodificación del suelo → Pérdida de permeabilidad
 - Efectos externos (sobre la calidad de las aguas)
 - ★ Salinidad
 - ★ Contaminación por nutrientes (eutrofización e hipoxia)
 - ★ Contaminación por plaguicidas
 - ★ Sedimentos
 - Otros efectos
- ¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

❑ El regadío en el mundo

- ★ Aumento de la superficie cultivable en los países en desarrollo

Año	Millones de ha			Incremento superficie regada (%)
	Total	Secano	Regadío	
1998	956	754	202	9%
2015	1017	796	221	10%
2030	1076	834	242	

[Fuente: FAO]

❑ Satisfacer nuevas demandas

- ★ Hábitos de consumo nuevos en países en desarrollo
- ★ Producción de energía a partir de productos agrícolas (bio-combustibles)

❑ ¿Qué aporta el regadío en España?

- ★ S = 3 761 034 ha [Cuenca del Ebro 783 948 ha; Aragón: 421 079 ha]
- ★ La producción en regadío es muy superior a la de secano [Ratio de productividad regadío/secano = 6.38]
- ★ La agricultura de regadío ocupa el 14% de la superficie cultivable; pero origina el 55% de la producción final agrícola
- ★ La agricultura y actividades relacionadas suman un 6.8% del PIB y un 14% de las exportaciones y dan trabajo a 1.5 millones de personas

Fuente: Plan Nacional de Regadíos (1998)

❑ ¿Qué aporta el regadío en Aragón?

★ Fijación de la población en zonas rurales

Aragón (excluidas capitales de provincia)		
Regadío por municipios (% superficie agrícola)	Densidad 2001 (hab/km ²)	Δ Densidad 1970-2001 (%)
> 50	36	+0.2
25 – 50	21	-10.8
9.4 – 25	17	-13.1
< 9.4	7	-27.9

★ Mantenimiento del nivel de vida de los agricultores

- Aragón (2000): 34700 personas
7% de la población activa [Δ = -30% (∇)]
- Aragón (1991-2000): Δ PFA = -5.7% (∇)
Δ Renta = -12.5% (∇) [Renta per cápita: Δ=20%]

Fuente: CESA (2002, 2003)

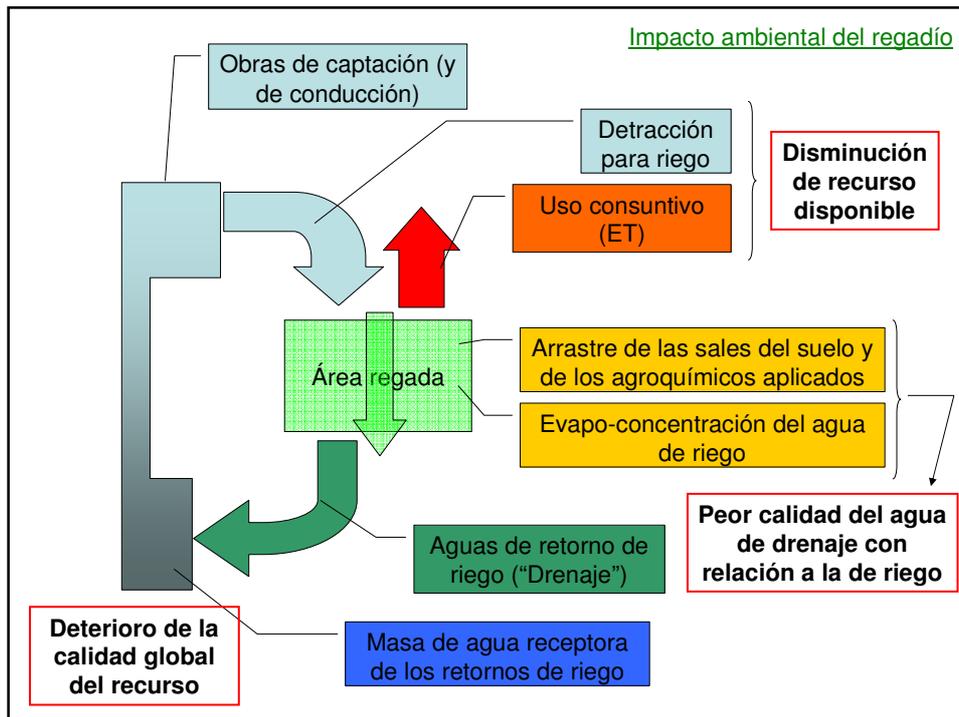
❑ El regadío en España: PLAN NACIONAL DE REGADÍOS

Superficie afectada (ha) Horizonte 2008			
Nuevos regadíos		Consolidación y mejora (modernización)	
España	Aragón	España	Aragón
652 277	55 660	1 134 891	142 332
			Mejora estructuras hidráulicas: 115 693 Cambio de sistema de riego: 67 029

Fuente: Plan Nacional de Regadíos (1998)

❑ Importancia de la **Modernización de regadíos**

★ DEMANDA: Establecer el efecto de los nuevos sistemas de riego sobre la calidad de las aguas (y sobre el consumo de agua)



Conclusión...

El regadío parece necesario para proveer las necesidades de alimentos y producción energética crecientes de la Humanidad (especialmente en países en desarrollo) y para mantener la productividad agrícola y el nivel de vida rural en nuestro entorno.

Pero el regadío también es fuente de problemas ambientales que deben afrontarse para lograr la **sostenibilidad** de la actividad agrícola de regadío.

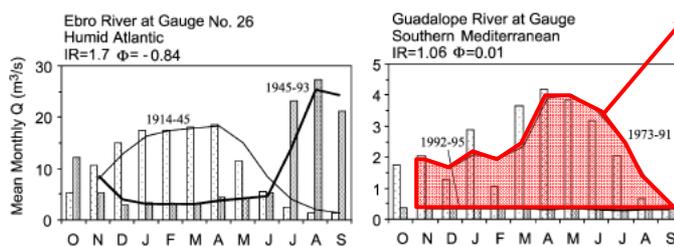
- ❑ Construcción de presas para riego
 - ★ Desplazamiento de personas (destrucción del patrimonio histórico)
 - ★ Modificaciones del entorno natural
 - Área inundada y afectada por la inundación
 - Impacto sobre la vida salvaje (migración de peces)
 - Alteración de las condiciones naturales del flujo de agua y sedimentos (transporte de sedimentos a los deltas)
- ❑ Efectos de la construcción de obras de infraestructura
 - ★ Red de riego, carreteras, red eléctrica, red de drenaje
 - ★ Reutilización del material de construcción (modernización)
 - ★ Consideraciones propias de la ejecución de cualquier obra (IA)
 - ★ Plazos de ejecución y periodos de actuación en zonas protegidas por la legislación



Impacto de las obras de riego

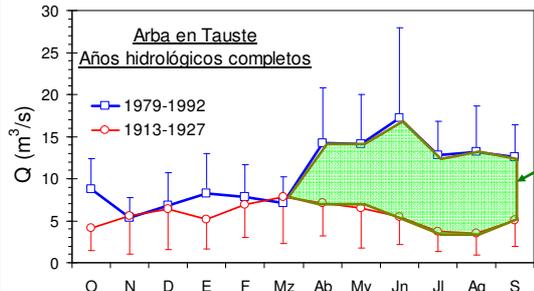


Alteración del régimen hidrológico natural



□ Uso consuntivo (ET): disminución de los recursos disponibles globales

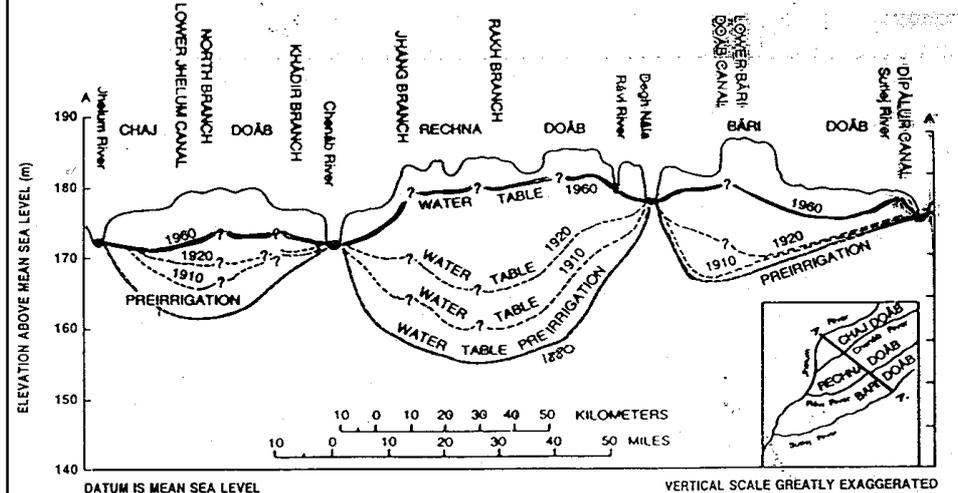
Batalla et al. (2004)



□ Río Arba (retornos de riego de Bardenas): cambio del hidrograma anual e incremento de los recursos en verano (riego procedente del río Aragón)

Efectos internos: Salinización y sodificación del suelo

❑ “Water-logging” → Elevación de la capa freática inducida por el regadío (Valle del Indo, Pakistán)

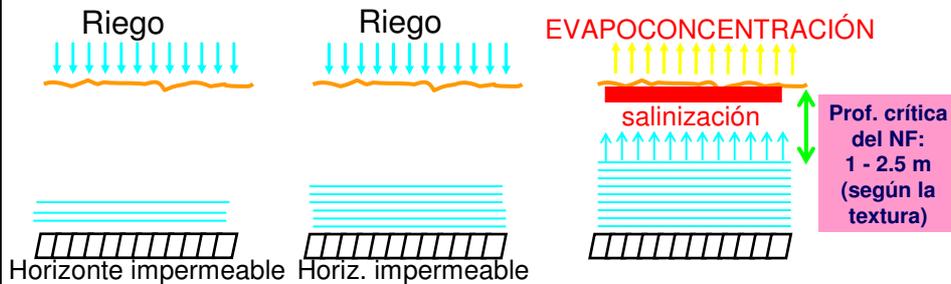


Tanji y Kielen (2002)

Efectos internos: Salinización y sodificación del suelo

❑ Salinización del suelo (en regadío)

- ★ Aplicación excesiva de agua en suelos con drenaje limitado
- ★ Aparición de un nivel freático somero:
 - Restricción para el lavado de sales
 - Ascenso capilar que se evapora en la superficie del suelo dejando en éste las sales que contiene

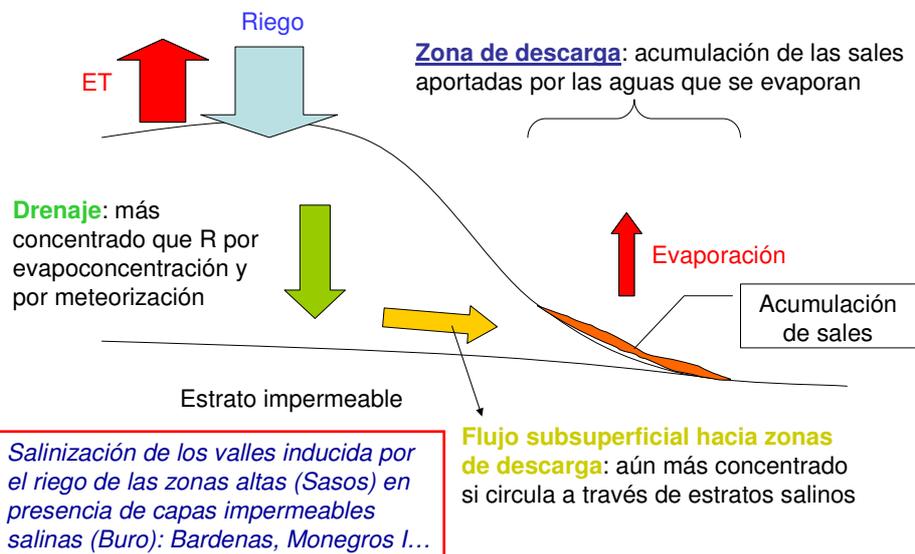


Fuente: Aragüés

Efectos internos: Salinización y sodificación del suelo

❑ **Salinización del suelo** (en regadío)

★ Salinización en zonas de descarga (efecto evapoconcentración y aporte)



Efectos internos: Salinización y sodificación del suelo

❑ **ARAGÓN (suelo salino)**



Efectos internos: Salinización y sodificación del suelo

❑ Sodificación

- ★ Dispersión de las arcillas ← Fracción de Na sobre Ca+Mg las posiciones de cambio de las arcillas (PSI o ESP)
- ★ El ESP está relacionado con el SAR (o RAS) de la solución del suelo
- ★ Pérdida de permeabilidad → **Abandono de la tierra** [o cambio a cultivos que conviven con (o necesitan) un sustrato impermeable, como el arroz → *Zona del Flumen*]
- ★ **La salinidad se puede resolver mediante lavado, la sodificación es más difícil de solucionar porque los suelos se vuelven impermeables (lavado difícil)**

Efectos internos: Salinización y sodificación del suelo

❑ Degradación del suelo inducida por el regadío

- ★ Extensión del problema en los regadíos de la cuenca del Ebro

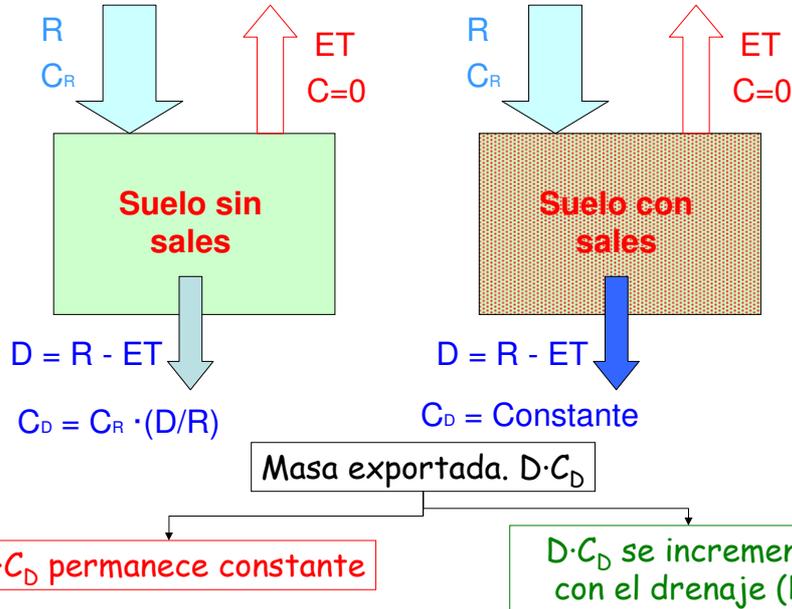
Superficie afectada por salinidad ($CE_e > 4dS/m$) o sodicidad ($PSI > 15$)

Zona regable	ha	%
1ª Parte del Canal de Bardenas	13500	41.8
2ª Parte del Canal de Bardenas	13284	20.1
Canal del Cinca (sectores 23-37)	5569	14.4
Canal del Cinca (sectores 1-22)	13458	23.7
Canal de Aragón y Cataluña	34700	25.5
Canal del Flumen	12883	46.9
1ª Parte del Canal de Monegros (tramos 2º-3º)	6178	17.2
1ª Parte del Canal de Monegros (tramo 4º)	4645	52.8
2ª Parte del Canal de Monegros	46479	34.7
TOTAL	150696	28.1

Fuente: Herrero y Aragüés (1988)

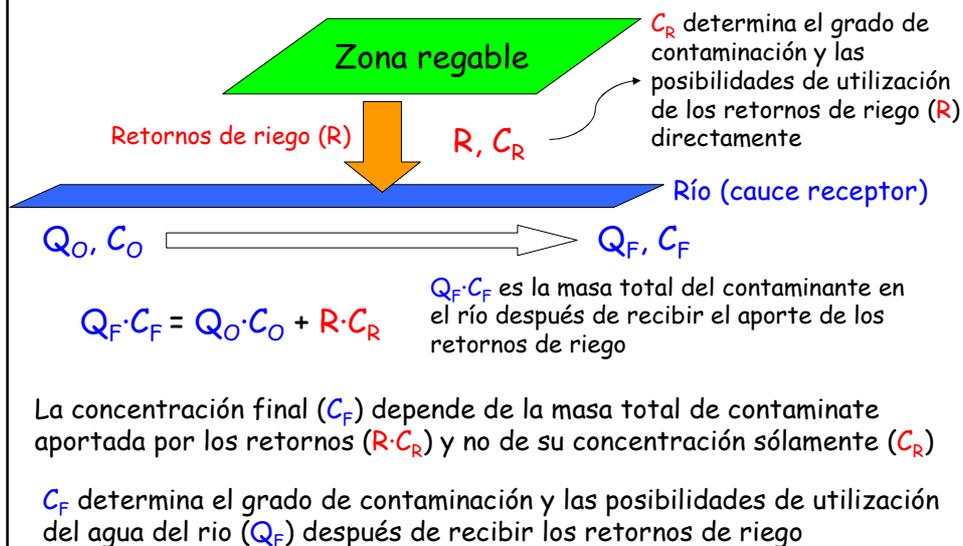
Efectos externos: Calidad de las aguas

Salinidad: Evapoconcentración y aporte



Efectos externos: Calidad de las aguas

Por qué importan las masas exportadas



Puesto que la masa de sales exportada aumenta (linealmente) con el drenaje o se mantiene constante con él:

el principal factor para reducir la exportación de sales es el control del drenaje

- a) Reducir el drenaje al mínimo en terrenos salinos
- b) Impedir que el drenaje alcance zonas del subsuelo ricas en sales
- c) Pero SIEMPRE ha de existir drenaje (lavado de las sales aportadas por el agua de riego)

□ Contaminación por nutrientes (N y P) en las ARR

★ Nitrógeno

- El N se exporta generalmente en forma de NO_3 (soluble y fácilmente lavable) en el agua de drenaje → Contaminación por NO_3 de las aguas subterráneas
- Concentraciones altas de NH_4 son poco usuales e indican un estado ecológico del agua inadecuado (contaminación orgánica por presencia de núcleos urbanos o granjas). El NO_2 (tóxico) es una forma de transición entre NO_3 y NH_4 (∇ concentración)
- No suelen presentarse cantidades altas de N asociadas a los sedimentos, pero puede ocurrir

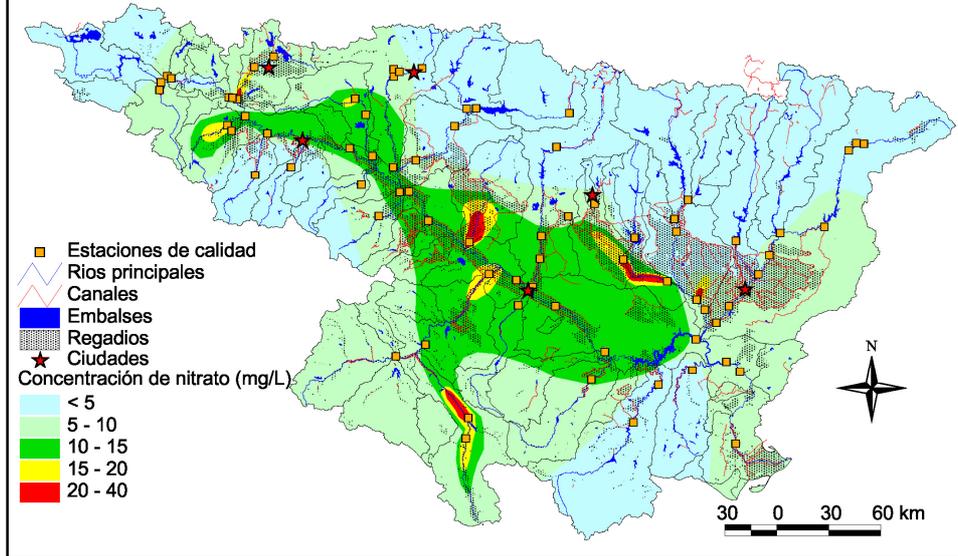
★ Fósforo

- El P es menos móvil que el N (adsorción a las partículas)
- El P se exporta tanto disuelto (PO_4) como principalmente asociado a los sedimentos → Control de la erosión

★ N y P dan lugar a la **eutrofización** e **hypoxia** de las aguas superficiales

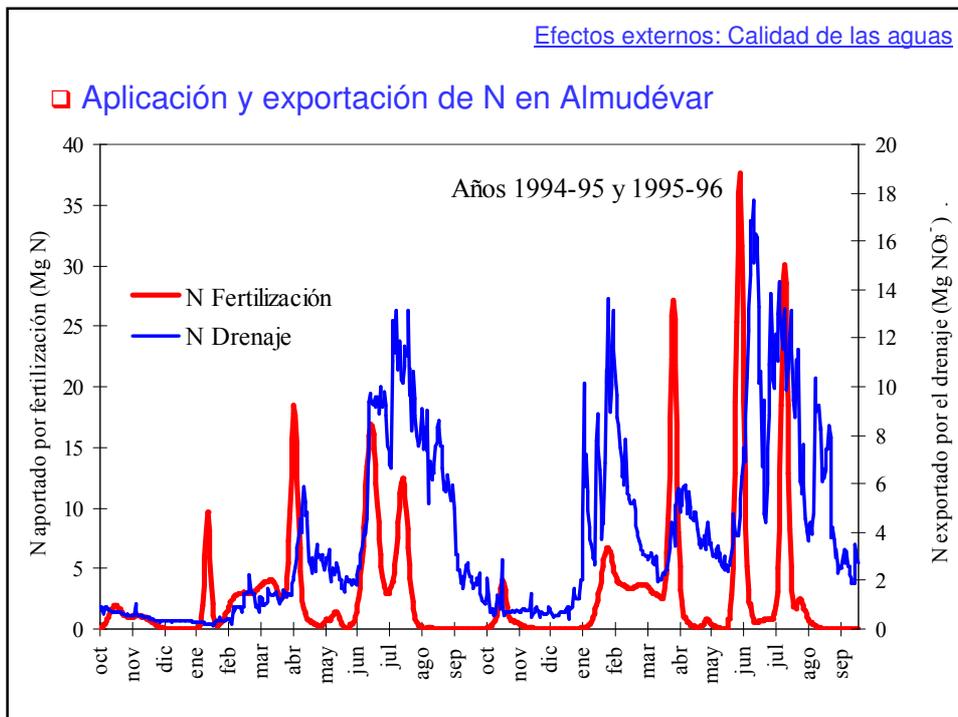
Efectos externos: Calidad de las aguas

- **Isolíneas de NO₃ y zonas de regadío en la cuenca del Ebro**
- ★ (El NO₃ es un problema más agudo en las aguas subterráneas)



Efectos externos: Calidad de las aguas

- **Aplicación y exportación de N en Almedívar**



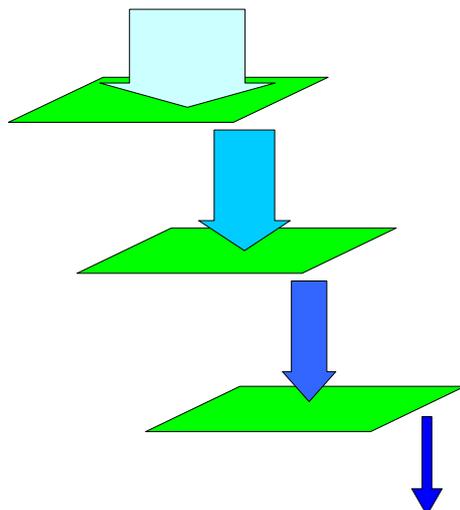
□ Contaminación por nutrientes (N y P) en las ARR

★ Prevención de la pérdida de nutrientes de los fertilizantes

- Racionalización de la fertilización y del riego
- Limitaciones a las aplicaciones (impuestos, declaración de zonas vulnerables, etc.)
- Captación por la vegetación:
 - Uso de franjas de vegetación (márgenes de los cauces)
 - Humedales a lo largo de los cauces
 - Ambientes muy húmedos y ricos en nutrientes favorecen las emisiones de N_2O :

$\Delta \nabla$ Emisiones de N_2O – Exportación de NO_3

□ La reutilización del agua de drenaje como factor reductor de las emisiones de sales y nutrientes



- La masa de sales exportada disminuirá, aunque las concentraciones serán mayores
- Se favorece el mejor aprovechamiento de los nutrientes al emplear para riego aguas progresivamente más cargadas en N o P → Se pueden reducir las aplicaciones de fertilizantes

□ Contaminación por sedimentos

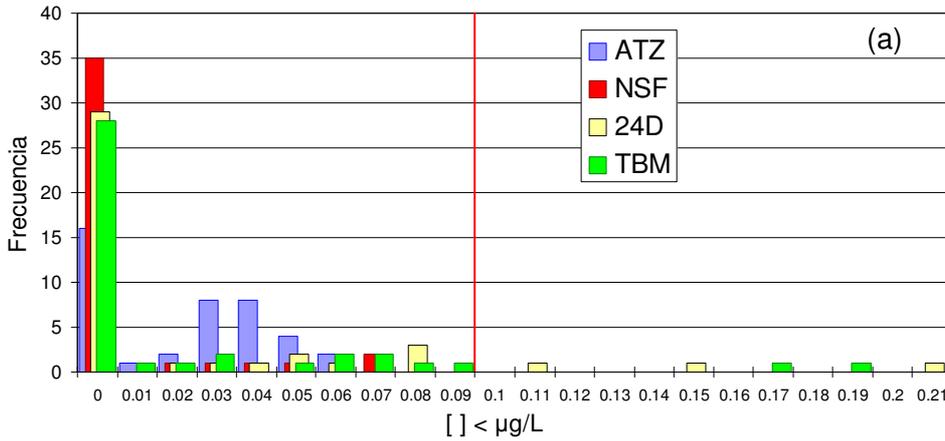
- ★ Sedimentos → Indicador de erosión (sostenibilidad)
- ★ Problemas físicos:
 - **Turbidez: limita la penetración de la luz solar**
 - En ambientes muy eutróficos puede ser beneficioso
 - **Sedimentación en el lecho de los cauces**
 - Alteración de las características hidráulicas de los cauces (inundaciones)
 - Destrucción de zonas de desove para peces
 - Colmatación de embalses
- ★ Problemas químicos:
 - **Sustancias adsorbidas a las partículas del sedimento**
 - Fósforo
 - Metales pesados
 - Compuestos clorados y fosforados (plaguicidas)
- ★ Control de la erosión → ∇ Pérdida de P y arrastre de plaguicidas

□ Plaguicidas

- ★ Dinámica muy compleja: volatilización, degradación (a veces a metabolitos igualmente peligrosos), adsorción en el suelo, fenómeno de persistencia y partición, etc. →
 - ***Necesidad de muestrear en todo el sistema: Agua, Sedimentos y Biota [muestreo multi-media]***
- ★ Determinación analítica complicada y cara
- ★ Toxicidad para el hombre
 - A corto plazo (medida en laboratorio como DL_{50})
 - A largo plazo: Capacidad para causar cáncer (similitud con hormonas humanas y comportamiento como disruptores endocrinos)
- ★ Toxicidad para los organismos de los ecosistemas
 - Disrupción endocrina, supresión inmunológica, deformidades...
Indicadores de la toxicidad para el hombre

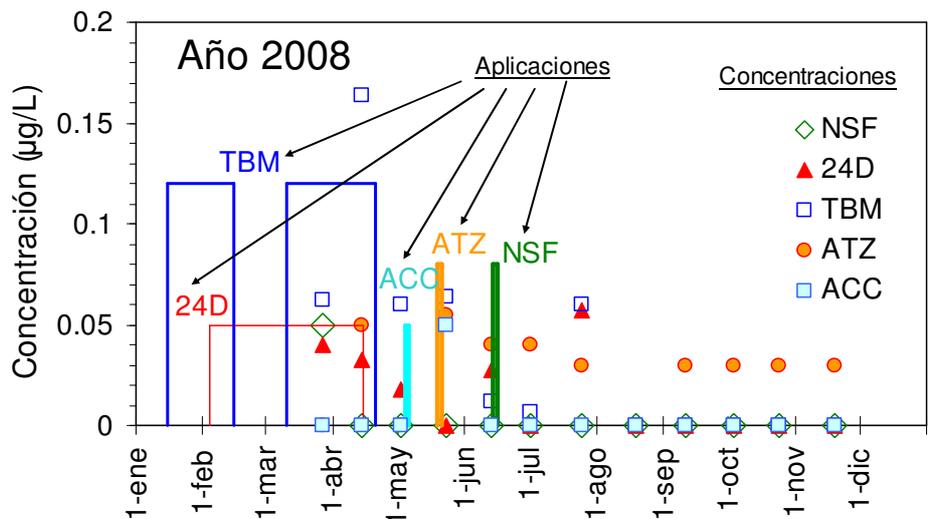
Efectos externos: Calidad de las aguas

- Concentraciones de plaguicidas en el B^{co} de La Violada (2007-2009)
- Plaguicidas más usuales: **ATZ** (61%), **TBM** (32%), **24D** (29%) y **NSF** (15%)
- Plaguicidas más utilizados (encuestas): **24D**, **TBM**, **CPM**, **NSF** y **ACC**



Efectos externos: Calidad de las aguas

- Fechas de aplicación y concentraciones detectadas. Año 2008

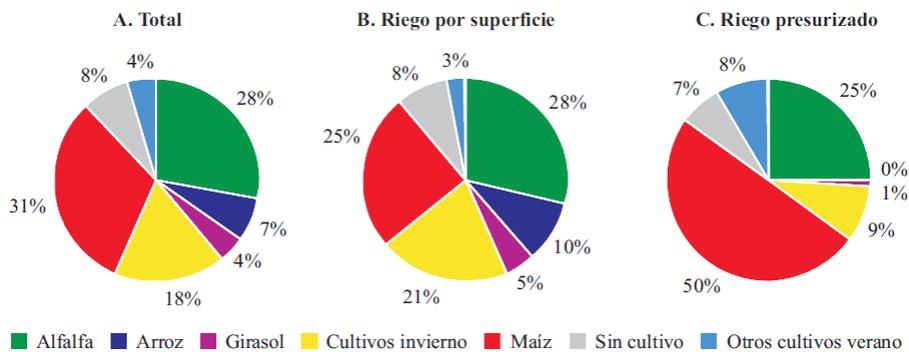


❑ Otros efectos derivados del riego...

- ★ Aparición de coliformes en las aguas de drenaje y de riego (países en desarrollo sin tratamiento de aguas residuales) → Asociado a las aguas residuales de los asentamientos urbanos
- ★ Condiciones adecuadas para el crecimiento de mosquitos (vectores de enfermedades parasitarias) → cólera, paludismo, fiebres tifoideas
- ★ Toxicidad asociada al $\text{NO}_3\text{-NO}_2$ (aguas subterráneas para consumo)
- ★ Toxicidad asociada a metales pesados (origen en las dietas del ganado (porcino especialmente))
- ★ Emisión de gases de efecto invernadero (N_2O asociado a la fertilización y CH_4 asociado a la ganadería y al cultivo de arroz)

¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

- ❑ Intensificación de cultivo: cambiamos a riegos presurizados para incrementar la producción (y para mejorar la calidad de vida: inclemencias del riego a turno)
- ❑ Patrón de cultivos según sistema de riego en Riegos del Alto Aragón:

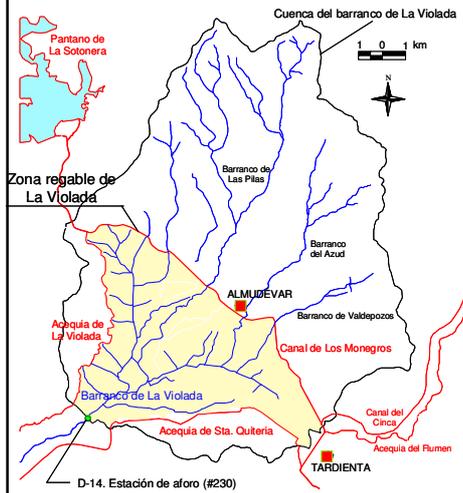


❑ Incremento de producción → Incremento en el uso consuntivo (ET)

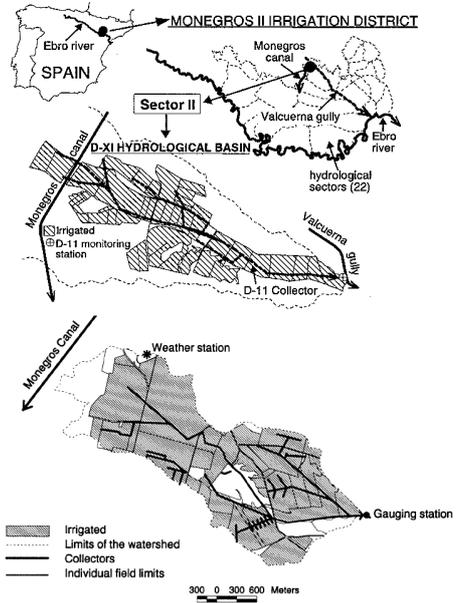
Fuente: Lecina et al. (2009)

¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

Comparación de las exportaciones de N entre dos cuencas regadas por aspersión en Monegros II y la CR Almudévar (1995-98)



A. Tedeschi et al./Agricultural Water Management 49 (2001) 31-50



¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

	Riego por superficie		Riego por aspersión	
	Violada	D-IX	D-XI	
Superficie (ha)	3863	494	470	
Maíz	50%	48%	57%	
Alfalfa	21%	17%	33%	
Girasol	5%	8%	4%	
Cereal	5%	18%	2%	
Abandono	7%	0%	0%	
Fertilización (kg N/ha)				
1994-95 (maíz)	244.8 (398)	-	-	
1995-96	300.5 (453)	-	-	
1996-97	-	242.0 (371)	-	
1997-98	-	180.3 (368)	224.7 (392)	
Drenaje (mm)				
1994-95	494	-	-	
1995-96	649	-	-	
1996-97	725	93	-	
1997-98	601	48	194	
Drenaje medio (mm)	618	76	194	

¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

	Riego por superficie			Riego por aspersión					
	Violada			D-IX			D-XI		
Riego (mm)	947			474			740		
(1)	[NO ₃] mg/L	MN kg/ha	%Fert (%)	[NO ₃] mg/L	MN kg/ha	%Fert (%)	[NO ₃] mg/L	MN kg/ha	%Fert (%)
1994-95	30.5	57.8	27%	-	-	-	-	-	-
1995-96	33.7	68.6	33%	-	-	-	-	-	-
1996-97	41.3	84.1	-	116.4	19.4	10%	-	-	-
1997-98	55.3	122.4	-	129.3	8.9	7%	102.3	24.8	22%
Media	40.3	83.2	30%	122.8	14.2	8%	102.3	24.8	22%

(1) La concentración de nitrato [NO₃] y la masa de nitrógeno exportada (MN) corresponden a la estación de riego (abril-septiembre); mientras que el porcentaje de N exportado sobre el N aplicado con la fertilización corresponde al año hidrológico completo

¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

□ **Mayor consumo de agua**

- La detracción para riego “puede” reducirse pero, al desaparecer el déficit hídrico actual de los cultivos, la ET real aumentará
- En riego por superficie (Violada): $ET_r \approx 80\% ET_c$ (DH=20%: Un 20% de las necesidades de los cultivos no llegan a satisfacerse)
- **Mejor aprovechamiento del agua (EfR ↑)**

□ **Mejor aprovechamiento del N**

- Menores pérdidas de fertilizante nitrogenado (ahorro) —si el manejo es adecuado

□ **Mayor facilidad de operación y manejo del riego**

- Riego más cómodo
- Operación de las balsas: eliminación de pérdidas operacionales
- Posibilidad de riego a la demanda (EfR ↑)

¿Qué pasa al cambiar a riego por aspersión?

❑ **Disminución del volumen de drenaje**

➤ Derivado de un mejor aprovechamiento del agua de riego (y de un volumen de riego inferior) y que puede verse aún más reducido si aumenta el volumen de reutilización

❑ **Mayor concentración de sales y NO₃ en la agua de drenaje**

➤ Se superará el umbral de 50 mg/L en los desagües de las zonas regables (posiblemente)

➤ Es posible un aumento de los sólidos en suspensión en los desagües (supresión de los tablares y riego por aspersión) que puede conllevar un aumento en la concentración de P y de plaguicidas

❑ **Menor masa exportada de N (y sales)**

➤ Impacto global menor sobre los cauces receptores (Ebro)

