

SEMINARIO

Síntesis de resultados de los Convenios CHE-CITA: La Red de Control de Calidad Ambiental de Regadíos en la Cuenca del Ebro

**Metodología desarrollada para la realización de
balances de masas a nivel de cuenca hidrográfica**

Maria Balcells

Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC)

CITA-DGA

Zaragoza

TRABAJOS REALIZADOS EN LOS CONVENIOS 2004-2010

	2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		
	EnR	ER	EnR	ER	EnR	ER	EnR	ER	EnR	ER	EnR	ER	EnR	ER	
Lerma	SM	SM	SM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Arba	--	SM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	SM	SM	--	--
Violada	--	--	--	SM	ByM	ByM	ByM								
Alcanadre	--	--	--	--	--	--	--	SM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM	ByM
Clamor Amarga	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SM	ByM	ByM	
Valcuerna	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SM	ByM	ByM	

SM: Solo masas

ByM: Balance y masas

www.chebro.es (Cuenca/Estudios/Agronómicos)

INTRODUCCIÓN

¿**Quién** participa en el grupo de trabajo?

- **Aragüés R., Dechmi F., Isidoro D., Quilez D.**
- **Balcells M., Clavería I.**
- **Personal de laboratorio de la USyR**
- **Personal de campo de la USyR**

INTRODUCCIÓN

¿En qué zonas se está trabajando actualmente?

Arba, Violada, Alcanadre, Clamor Amarga y Valcuerna

¿Cómo distribuimos el trabajo?

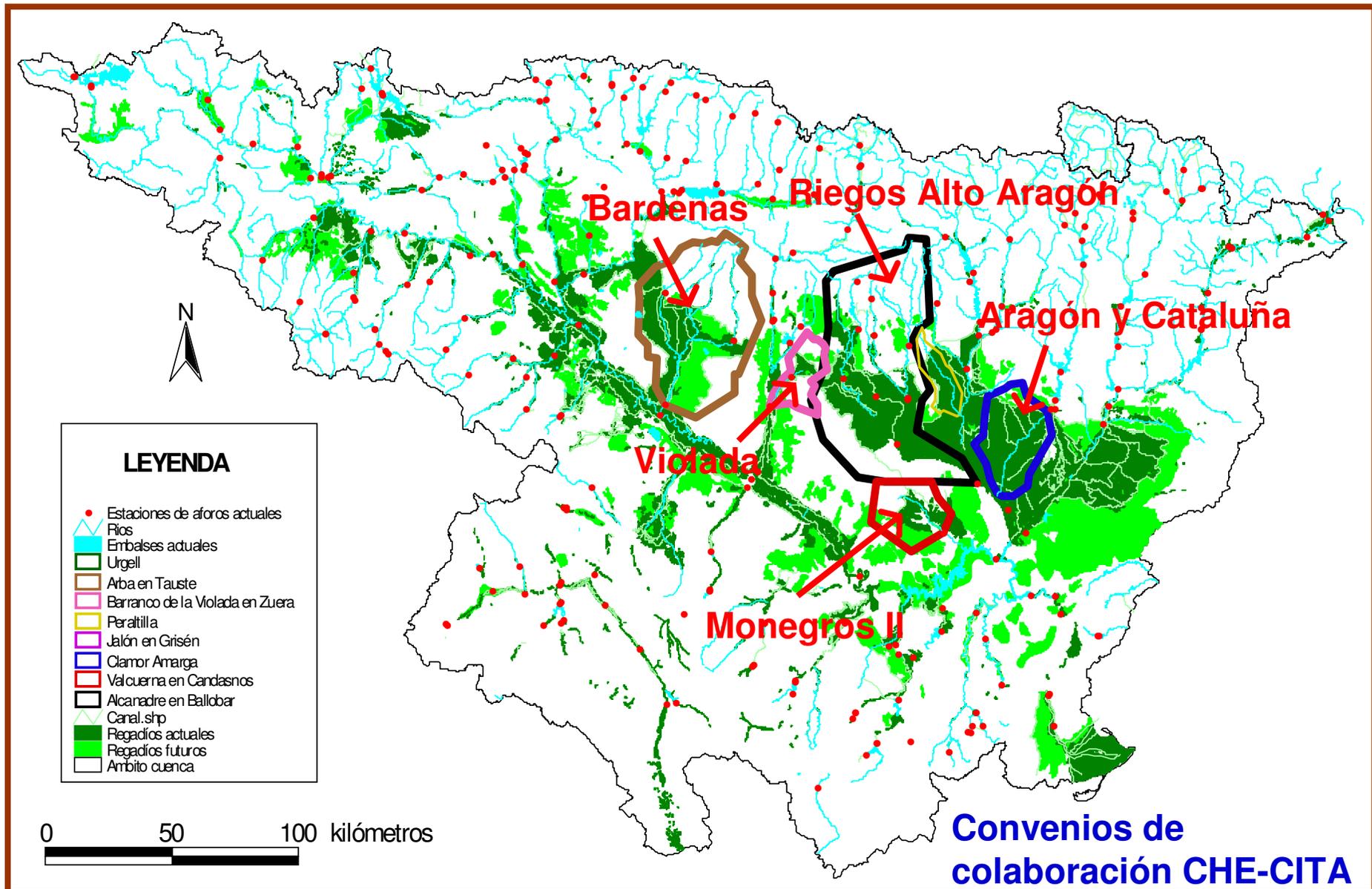
Campo (muestreos y encuestas)

Laboratorio (CE, NO₃, bicarbonatos y RS, iones ppls)

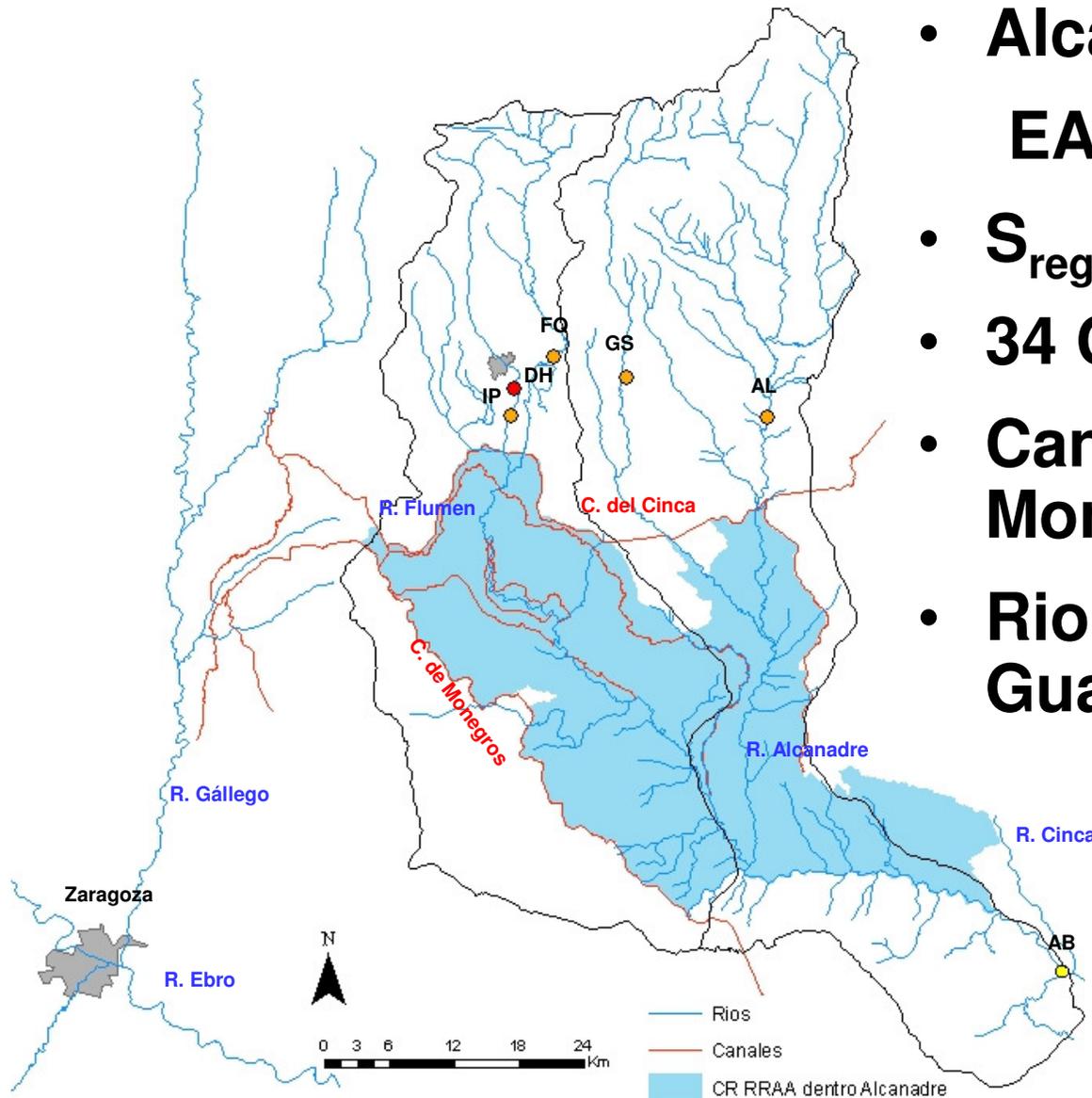
Ordenador (recopilación y procesado de datos)

RECOREBRO:

Sup. total = 708.306 ha; Sup. regable = 184.526 ha



Alcanadre en Ballobar



- Alcanadre → 69% RRAA
EA nº 193 red CEMAS
- S_{regada} (2010) = 63.514 ha
- 34 CR
- Canal del Cinca, Monegros y Pertusa
- Rio Isuela, Flumen, Guatizalema y Alcanadre

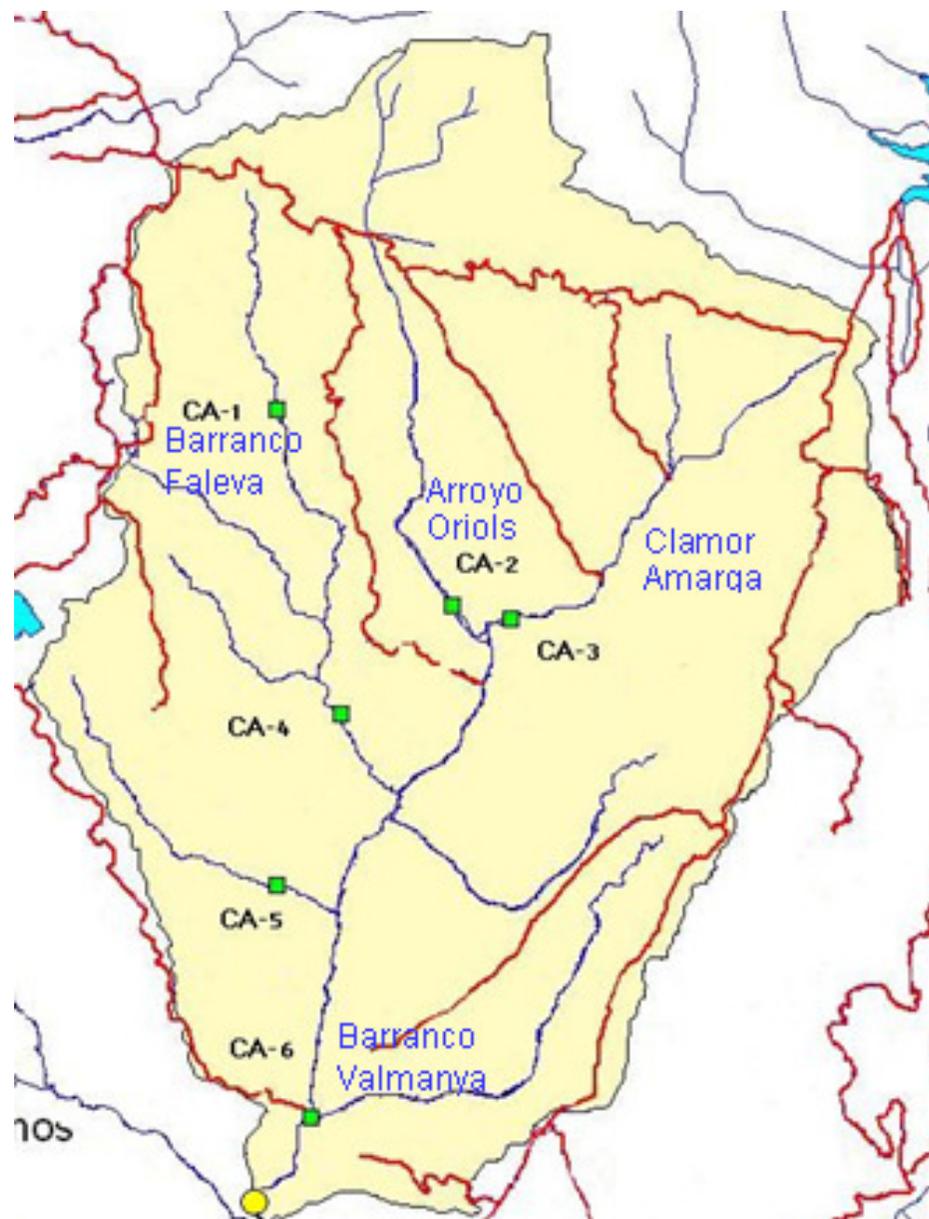
Violada en la Pardina



- S_{regada} (2010) = 4.072 ha
- EA nº 230 red CEMAS
- CR Almudévar, *Tardienta y Gurrea*
- Reciente modernización

Clamor Amarga en Zaidín

- Aragón y Cataluña
- S_{regada} (2010)=50.718 ha
- CAyC y de Zaidín
- EA nº 225 red CEMAS



Valcuerna en Candanos



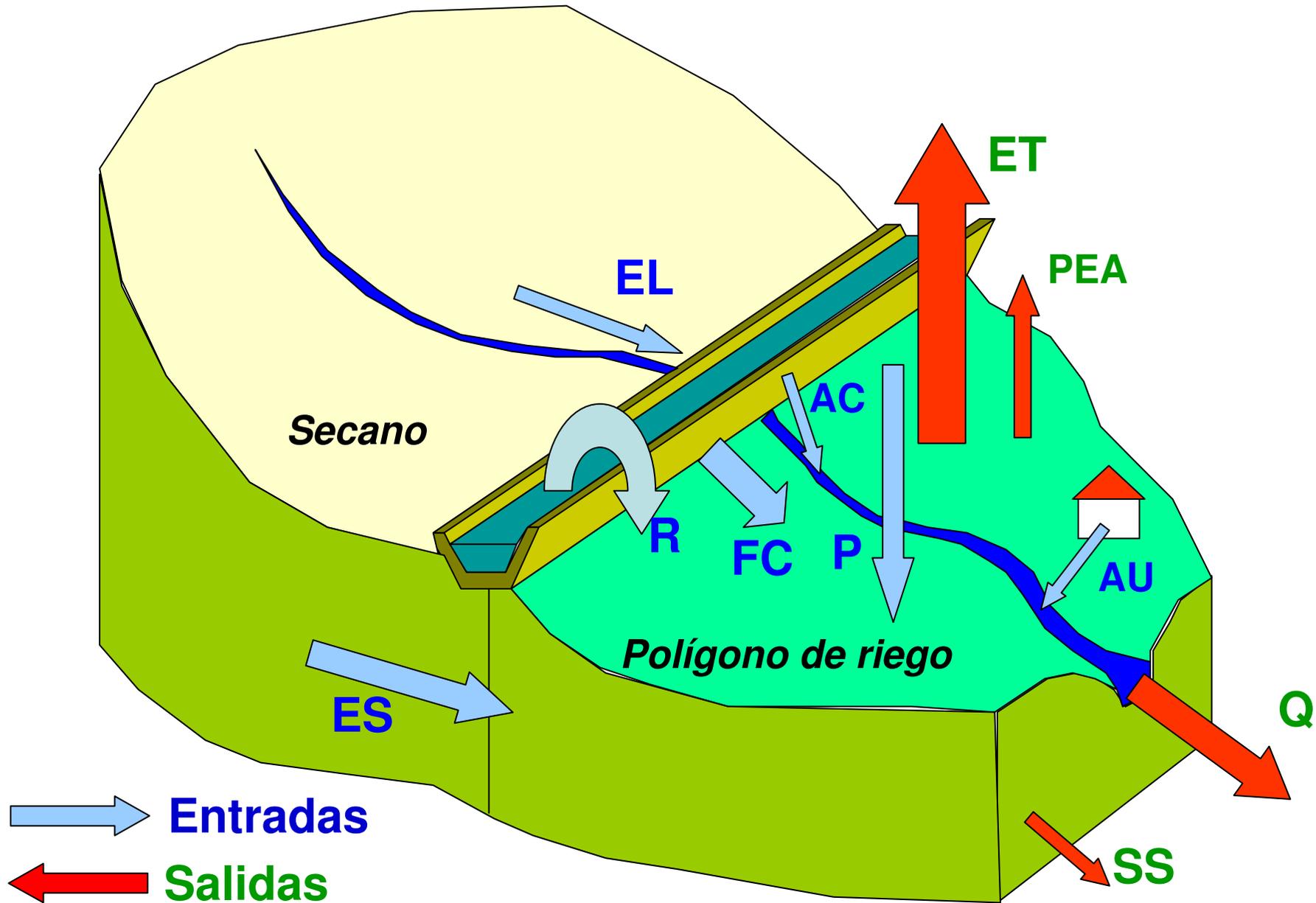
$S_{\text{regada}}(2010) = 7.021 \text{ ha}$

EA nº 231 red CEMAS

CR Montesnegros,
Candanos y San
Miguel

Canal de Monegros y
acequia de Sástago

BALANCES DE MASAS (AGUA, SALES, NITRÓGENO)



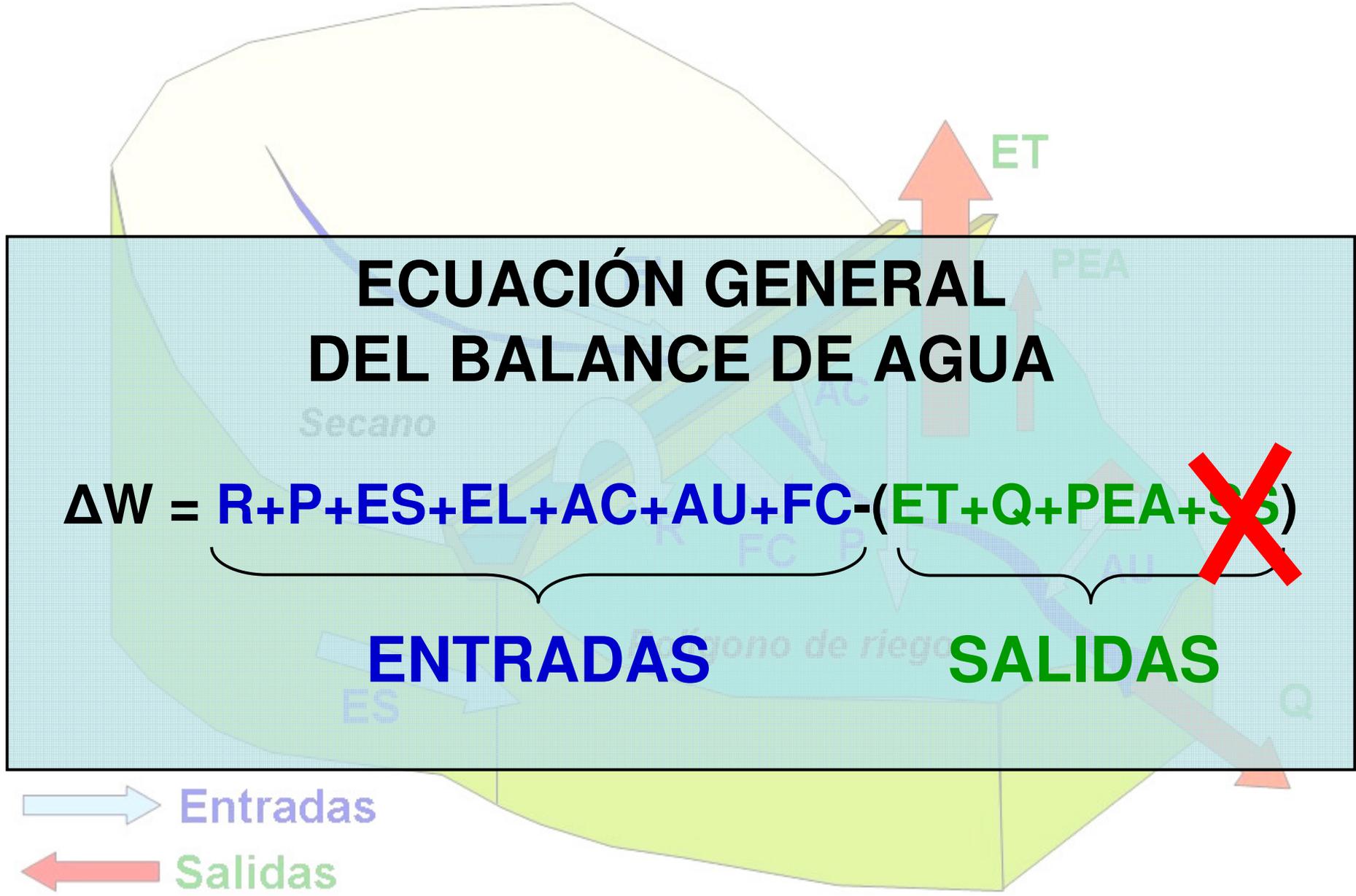
BALANCES DE MASAS (AGUA, SALES, NITRÓGENO)

ECUACIÓN GENERAL DEL BALANCE DE AGUA

$$\Delta W = R + P + ES + EL + AC + AU + FC - (ET + Q + PEA + S)$$

ENTRADAS

SALIDAS



¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--

R = Riego

Of. CHE Hu y Mnz

m= medido

e= estimado

¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--

P = Precipitación

SIAR y MeteoCat

m= medido

e= estimado

¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--

EL = Entradas Laterales

m → Servicio de Aforos y Estadística CHE

e → Separación hidrograma

m = medido
e = estimado

¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--

ES = E. Subterráneas

e → Separación
hidrograma

m = medido

e = estimado

¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--

AU= Aguas urbanas

m→IAA

e→Of. CHE Hu y Mzn

m= medido

e= estimado

¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS							
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e	
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--	
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--	
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--	

AC=Aportes Canal

SAIH

m= medido

e= estimado

¿Cómo determinamos las entradas?

	ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	e	m	m	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m+e	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m+e	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--

FC=Filtraciones
 Canales
 SAIH

m= medido

e= estimado

¿Cómo determinamos las salidas?

	SALIDAS		
	ET_r	PEA	Q
VIOLADA	c	c	m
ALCANADRE	c	c	m
CLAMOR AMARGA	c	c	m
VALCUERNA	c	c	m

Balance de agua en el suelo

m= medido

c= calculado

¿Cómo determinamos las salidas?

	SALIDAS		
	ET _r	PEA	Q
VIOLADA	c	c	m
ALCANADRE	c	c	m
CLAMOR AMARGA	c	c	m
VALCUERNA	c	c	m

Servicio de Aforos y
Estadística de CHE

m= medido

c= calculado

¿Cómo determinamos las salidas?

	SALIDAS		
	ET _r	PEA	Q
VIOLADA	c	c	m
ALCANADRE	c	c	m
CLAMOR AMARGA	c	c	m
VALCUERNA	c	c	m

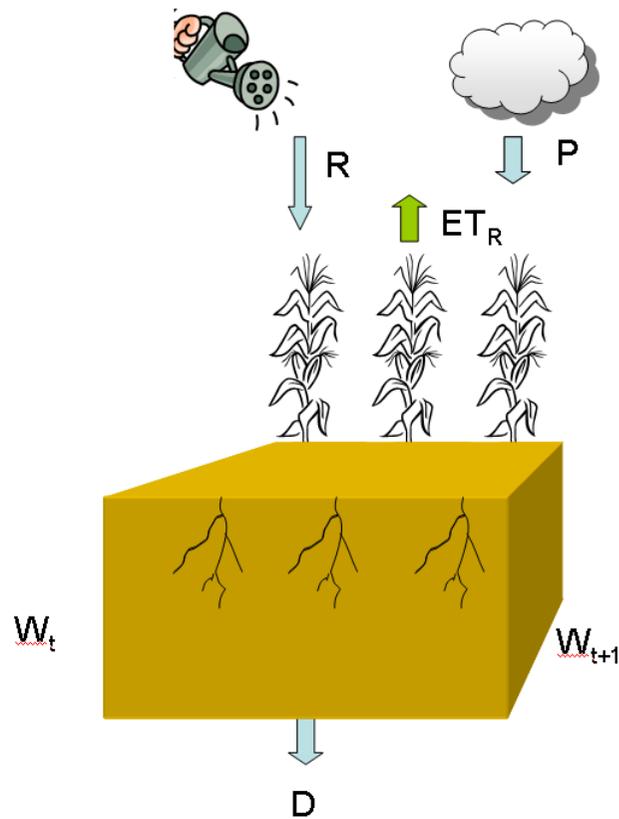
$$Q^* = Q - \text{Otras entradas} = \text{Flujos de Retorno de Riego}$$



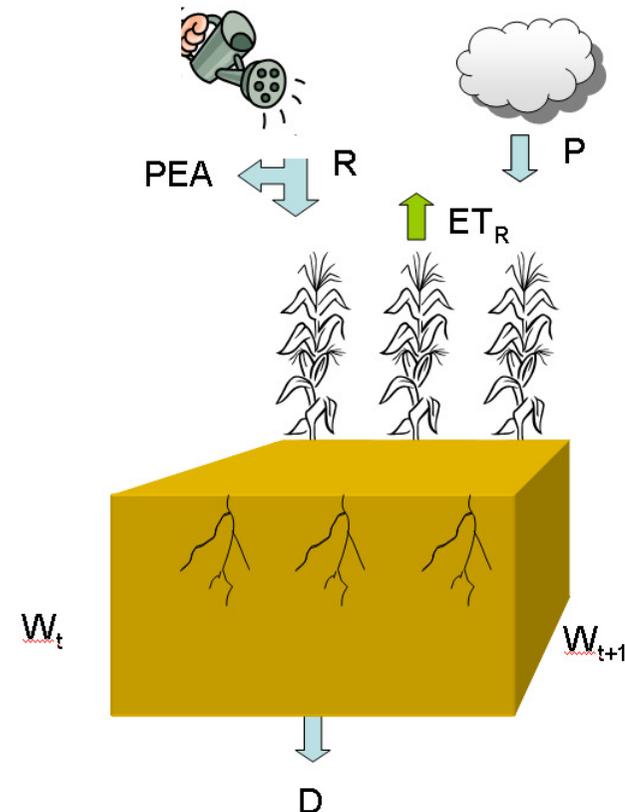
OBJETIVO PRINCIPAL: asignar al regadío la contaminación que le corresponde

ET_r y PEA: Balance de agua en el suelo

- $ET_c = ET_0 \cdot K_c$ = máxima evapotranspiración del cultivo.
- ET_r = evapotranspiración real del cultivo, menor que la ET_c porque viene afectada por estreses bióticos y abióticos.
- ET_r ajustada por posibles déficits de agua en el suelo.



Riego por inundación



Riego por aspersión

BALANCE DE SALES

Masa = Volumen · Concentración



Regresión entre CE (dS/m) y SDT (mg/L)

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	m	b	m	m
ALCANADRE	m	m	m	--	b	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	b	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	b	m	--

R = Riego

Muestreo y análisis

CHE

m= medido

e= estimado

b= bibliografía

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	m	b	m	m
ALCANADRE	m	m	m	--	b	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	b	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	b	m	--

P = Precipitación

m= medido

e= estimado

b= bibliografía

**Muestreo y
análisis**

CITA

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	m	b	m	m
ALCANADRE	m	m	m	--	b	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	b	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	b	m	--

EL = Entradas Laterales

m → muestreo CITA

m → análisis CHE

e → estimado

m = medido

e = estimado

b = bibliografía

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	m	b	m	m
ALCANADRE	m	m	m	--	b	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	b	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	b	m	--

ES = E. Subterráneas

Muestreo y análisis

CITA

m= medido

e= estimado

b= bibliografía

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	m	b	m	m
ALCANADRE	m	m	m	--	b	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	b	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	b	m	--

AU= Aguas urbanas

b→bibliografía

m= medido

e= estimado

b= bibliografía

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS						
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC
VIOLADA	m	m	e	m	b	m	m
ALCANADRE	m	m	m	--	b	m	--
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	b	--	--
VALCUERNA	m	m	e	--	b	m	--

m= medido
e= estimado
b= bibliografía

AC=Aportes Canal

**FC=Filtraciones
Canales**

Muestreo y análisis
CHE

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES SALIDAS		
	ET _r	PEA	Q
VIOLADA			m
ALCANADRE			m
CLAMOR AMARGA			m
VALCUERNA			m

Libres de sales

m = medido

BALANCE DE SALES

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$



Diario → ISCO 3700

SALIDAS

VIOLADA
ALCANADRE
CLAMOR AMARILLO
VALCUERNA

Q

m

m

m

m

Muestreo y
análisis CITA

m= medido

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

CONCENTRACIONES ENTRADAS

	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m	<i>Encuestas</i>	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--		e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

MISMAS ENTRADAS EXCEPTO →

FERTILIZACIÓN
FIJACIÓN SIMBIÓTICA

m= medido

e= estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m		e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--	<i>Encuestas</i>	e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

R = Riego, AC =Aportes Canales y FC= Filtraciones Canales

Muestreo y análisis CHE

m= medido

e= estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m		e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--	<i>Encuestas</i>	e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

P = Precipitación

Muestreado y
analizado

m= medido

e= estimado

CITA

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m		e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--	<i>Encuestas</i>	e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

EL = E. Laterales

m → muestreo CITA

análisis CHE

e → estiamdo

m = medido

e = estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m		e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--	<i>Encuestas</i>	e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

ES = E. Subterráneas
Muestreo y análisis
CITA

m= medido

e= estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m		e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--	<i>Encuestas</i>	e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

AU= Aguas urbanas

m→IAA

m= medido

e= estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								FS
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m	<i>Encuestas</i>	e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--		e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--		e

Encuestas a agricultores
y cooperativas de la zona

m= medido

e= estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

	CONCENTRACIONES ENTRADAS								
	R	P	EL	ES	AU	AC	FC	Fertilización	FS
VIOLADA	m	m	e	m	m	m	m		e
ALCANADRE	m	m	m	--	m	m	--	<i>Encuestas</i>	e
CLAMOR AMARGA	m	m	--	--	m	--	--		e
VALCUERNA	m	m	e	--	m	m	--	e	

FS = Fijación simbiótica

estimado a partir de

NC, NF y S_{alfalfa}

m= medido

e= estimado

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

CONCENTRACIONES SALIDAS				
	ET_r	PEA	Exc	Q
VIOLADA				m
ALCANADRE				m
CLAMOR AMARGA				m
VALCUERNA				m
		Libres de N	<i>Encuestas</i>	
			Extracción cultivos	

MISMAS SALIDAS EXCEPTO →

BALANCE DE NITRÓGENO

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Concentración}$$

VIOLADA
ALCANADRE
CLAMOR AMARGA
VALCUERNA



Diario → ISCO
3700

DAS

Q

m

m

m

m

Muestreo y análisis
CITA

CULTIVO DE MAÍZ

Campaña agrícola.....

Superficie (ha)

Sembrada sobre MAÍZ u otros

Sembrada sobre ALFALFA

Datos del cultivo

Fecha de siembra	<input type="text"/>
Tratamiento de la semilla	<input type="text"/>
Fecha de cosecha (prevista)/maíz seco	<input type="text"/>
Rendimiento <i>SECO</i> aproximado (Tm/ha)	<input type="text"/>
¿Qué hará con los residuos? (quemar, enterrar...)	<input type="text"/>
Tipo de riego (aspersión, inundación...)	<input type="text"/>

Aplicaciones de plaguicidas y herbicidas

Fecha	Producto	Dosis (Litros/ha)	Observaciones

Aplicaciones de fertilizantes (cultivo anterior de maíz)

Abonado	Fecha	Sólido o líquido	Tipo de abono	Dosis (kg/ha)	Observaciones
Presiembra					
1ª cobertera					
2ª cobertera					
3ª cobertera					

Si el cultivo anterior fue alfalfa, ¿aplicó un abonado diferente? SÍ NO

Si el abonado fue diferente especifique las aplicaciones de fertilizantes

Abonado	Fecha	Sólido o líquido	Tipo de abono	Dosis (kg/ha)	Observaciones
Presiembra					
1ª cobertera					
2ª cobertera					
3ª cobertera					

Aplicación de estiércol o purín (señalar si es sobre cultivo anterior de alfalfa o maíz)

¿Ha aplicado estiércol este año en la parcela? SÍ NO

Si ha aplicado estiércol, rellene la tabla siguiente, por favor

Fecha	Cantidad (Tm/ha)	Tipo de estiércol (vacuno, ovino, gallinaza, etc.)

¿Ha aplicado purín este año en la parcela? SÍ NO

Si ha aplicado purín, rellene la tabla siguiente, por favor

Fecha	Cantidad (m³/ha)

Riegos

¿Ha aplicado riego de huebra? SÍ NO

En caso de que sí: ¿Cuántos riegos? Fecha (o fechas) Volumen en cada riego (m³/ha)

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------

Para el resto de los riegos:

Fecha del primer riego	<input type="text"/>
Fecha del último riego	<input type="text"/>
¿Cuántos riegos ha aplicado al maíz? (después de la siembra)	<input type="text"/>
Número de días entre dos riegos	<input type="text"/>
Volumen en cada riego (m³/ha)	<input type="text"/>

INDICADORES DE CALIDAD

A partir del balance de masas se definen indicadores de:

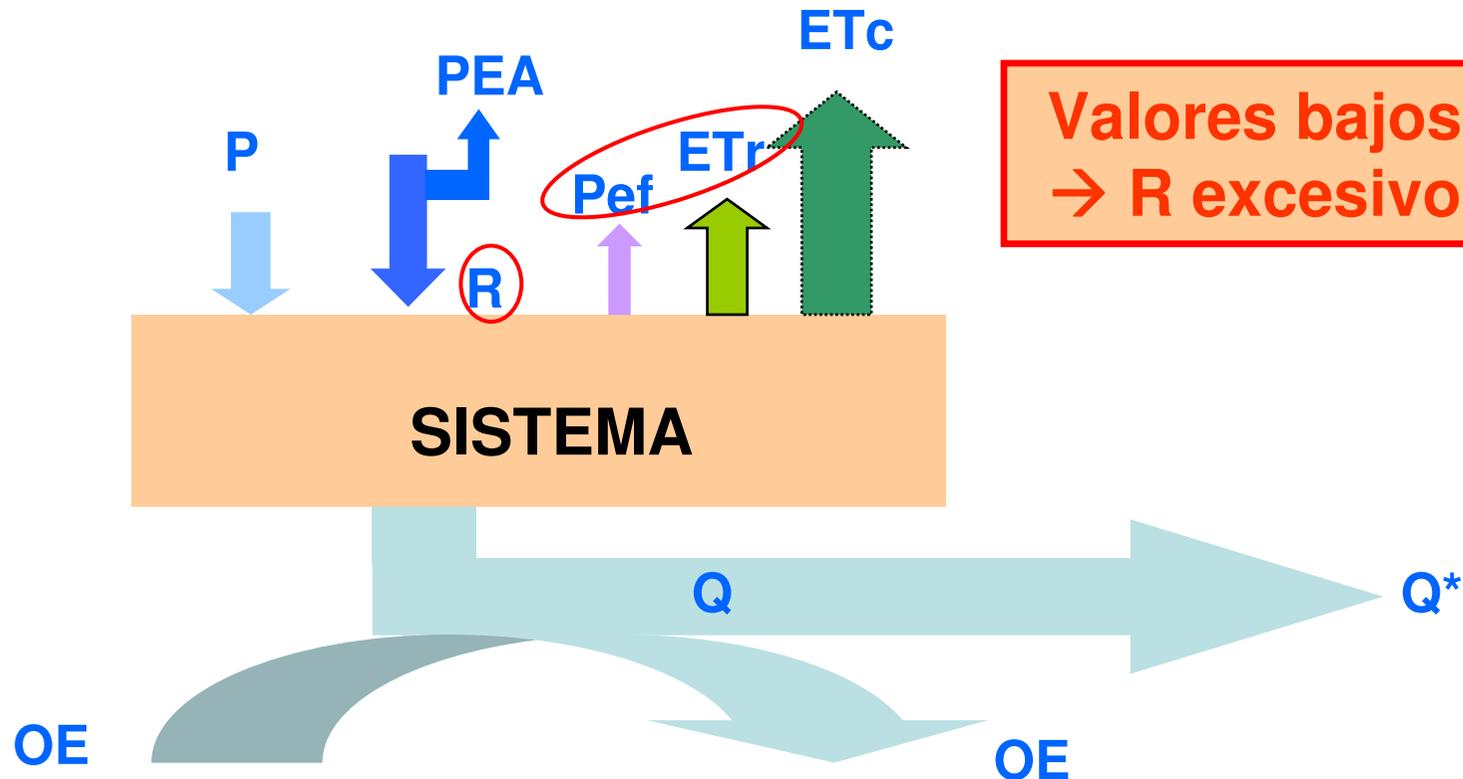
- Calidad del riego**
- Contaminación sales**
- Contaminación nitrógeno**

Indicadores de calidad del riego

Eficiencia de Riego

$$EfR = 100 \frac{ET_r - P_{ef}}{R}$$

Fracción del riego aplicado que es evapotranspirado por los cultivos

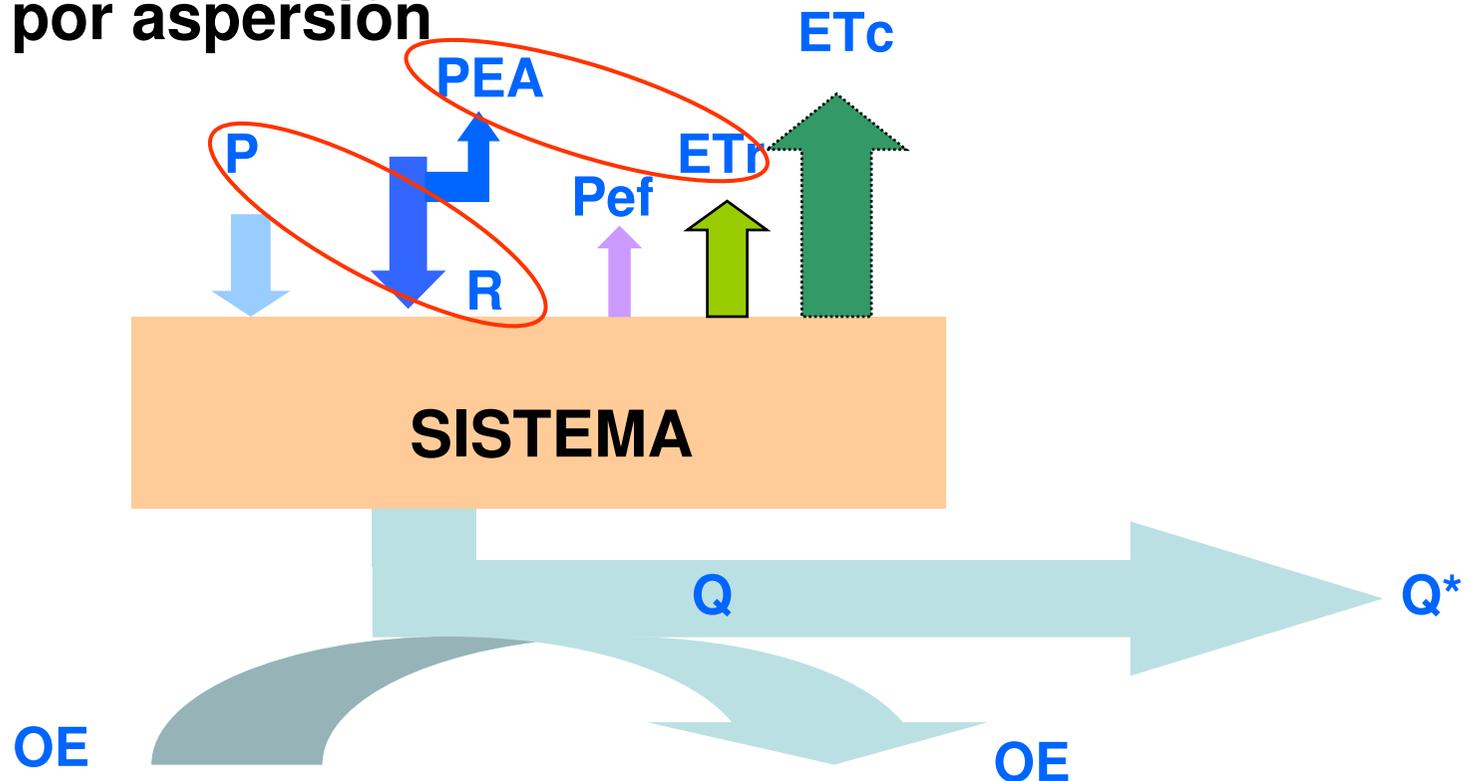


Indicadores de calidad del riego

Fracción de las entradas totales de agua que es evapotranspirada por los cultivos mas las pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión

Fracción Consuntiva

$$FC = 100 \frac{ET_r + PEA}{R + P}$$

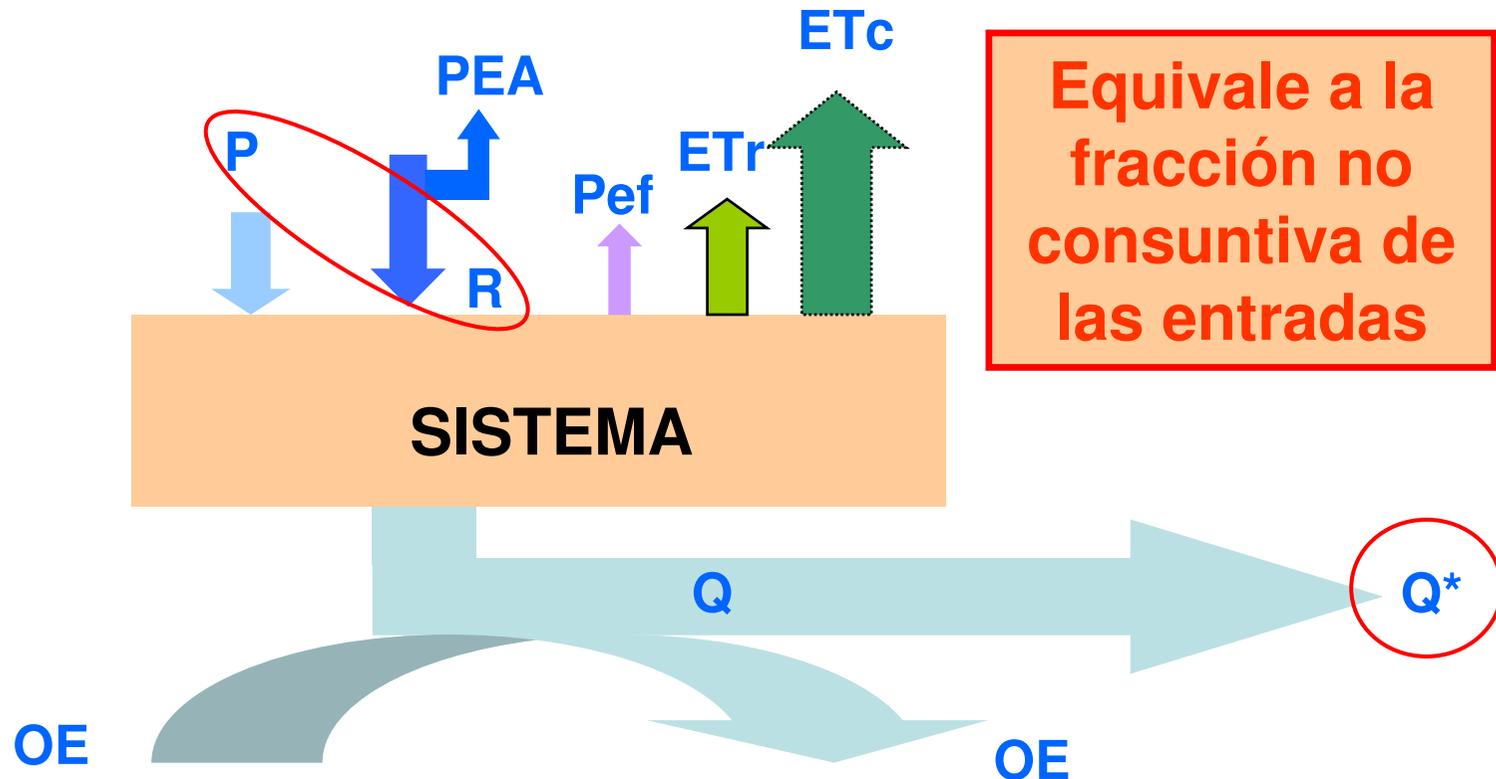


Indicadores de calidad del riego

Fracción de Drenaje

$$FD = 100 \frac{Q^*}{R + P}$$

Fracción de las entradas totales de agua ($R + P$) exportada como flujos de retorno de riego (Q^*)



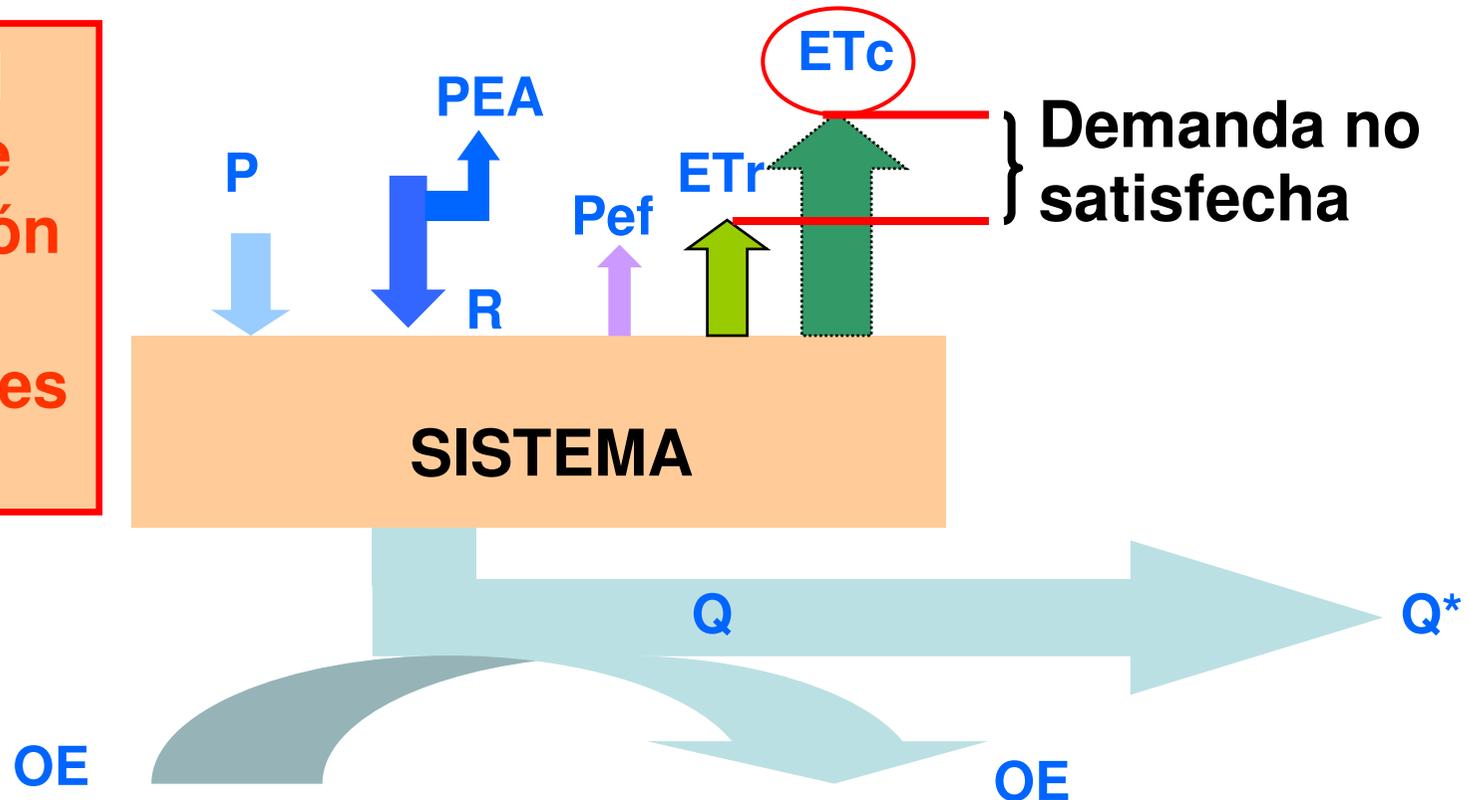
Indicadores de calidad del riego

Déficit Hídrico

Fracción de la demanda consuntiva de los cultivos no satisfecha

$$DH = 100 \frac{ET_c - ETr}{ET_c}$$

Indica el grado de satisfacción de las necesidades hídricas



Indicadores de contaminación por sales y N

Los indicadores más relevantes son:

la masa unitaria de sales exportada con los flujos de retorno de riego

$$MSu = \frac{SQ^* \text{ (Mg)}}{S_{\text{regada}} \text{ (ha)}}$$

la masa unitaria de N exportada con los flujos de retorno de riego

$$MNu = \frac{NQ^* \text{ (kg)}}{S_{\text{regada}} \text{ (ha)}}$$

permite comparar las exportaciones netas de la zona regable entre distintas cuencas

