



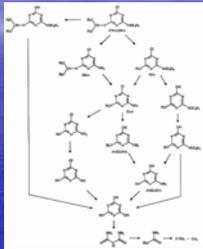
Las aguas subterráneas en la  
**Directiva Marco de Aguas:**  
programas de seguimiento en  
**Tenerife**

**Presencia de  
microcontaminantes  
en las aguas subterráneas**

**Lucila Candela**  
Dep. de Ingeniería del Terreno  
Universidad Politécnica de Cataluña-Barcelona



### **EFFECTOS DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS**



**Cantidad**

Descenso/ascenso del  
nivel del agua en los  
Acuíferos

**Calidad**

**Contaminación difusa por  
fertilizantes y plaguicidas**  
**Cambios de usos del  
suelo (salinidad)**

## CONTAMINACIÓN DIFUSA (1) FERTILIZANTES, NITRATOS,

- Rangos de aplicación muy variables
- Los mas frecuentes:

*Urea  $CO(NH_2)_2$*

*Amonio  $(NH_3)$*

*Sales de amonio  $(NH_4^+)$*

*Nitrato  $(NO_3^-)$*

## CONTAMINACIÓN DIFUSA (2) PLAGUICIDAS

- *Substancias destinadas a destruir, atraer, repeler o controlar cualquier plaga de especies no deseadas de plantas o animales*
- *Agrupados según acción específica (herbicidas, fungicidas, etc) o estructura química (triazinas, carbamatos, etc)*

• **LA DEFINICIÓN DE PLAGUICIDA  
ENGLoba COMPUESTOS ORGÁNICOS,  
INORGÁNICOS, ORGANISMOS Y  
DIVERSAS SUBSTANCIAS**



- **Reguladores del crecimiento**
- **Defoliantes**
- **Desecantes**
- **Substancias aplicadas a las plantas en la recogida, almacenamiento y transporte**



*Después de su aplicación, pueden ser transformados mediante una variedad de procesos en compuestos muy diferentes del original (metabolitos) con diversa toxicidad y comportamiento medioambiental*

*Habitualmente se aplican un gran número de plaguicidas, bajo diversas formulaciones*

### ***PROBLEMAS!!!***

- Desconocimiento de tipo, cantidad y naturaleza del compuesto activo aplicado
- Continua variación de los compuestos aplicados
- Aplicación simultánea de varios compuestos
- Inexistencia de normativa de muestreo
- Falta de validación de técnicas analíticas
- Inexistencia de confirmación mediante MS
- No es habitual conocer las características de la zona muestreada

## ***PLAGUICIDAS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS***

- Aparición en concentraciones de 0.1 µg/l y movilidad de ciertos compuestos (aldrin, azimfos, captan, heptaclor, etc.)
- Hasta los años 80 se suponía que el suelo constituiría una barrera protectora de los acuíferos
- Conocer el proceso de contaminación del agua subterránea por un plaguicida es difícil, dado el escaso conocimiento del comportamiento de estos compuestos en la zona no saturada.

## ***LA ZONA VADOSA***

*(la tierra de nadie, Meinzer, 1942)*

- Se sitúa entre el nivel freático y la franja capilar
- Los poros del suelo están parcialmente rellenos de agua; el contenido de humedad  $\theta$  es inferior a la porosidad  $n$
- La presión del agua  $p$  es inferior a la atmosférica; el potencial de presión  $\Psi$  es menor que cero
- El potencial hidráulico  $h$  debe ser medido con un tensiómetro
- La conductividad hidráulica  $K$  y el contenido de humedad  $\theta$  son función del potencial de presión  $\Psi$
- Para flujo no saturado:  
 $\Psi < 0$ ;  $\theta = \theta(\Psi)$  y  $K = K(\Psi)$

## TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS (1) FACTORES Y PROCESOS



*FACTORES que afectan a la infiltración de un plaguicida:*

- Características físico-químicas del compuesto orgánico
- Características del suelo
- Condiciones de manejo y aplicación del plaguicida
- Condiciones climáticas



*PROCESOS que sufre un plaguicida en la ZNS:*

- Solubilidad en agua ( $\Delta S$ )
- Adsorción en suelo
- Volatilización
- Persistencia en el suelo y degradación
- Otros factores que afectan al transporte (clima, gestión agrícola..)

## TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS(2) CONDICIONES

■ *FLUJO Y TRANSPORTE EN LA ZONA VADOSA*

■ **El flujo de agua a través del suelo predominante 1-D** (ecuación de Darcy-Richards)

■ **Mecanismos transporte** (Advección, difusión molecular y dispersión: no reactivos)

■ *CAPACIDAD ASIMILATIVA DEL SUELO*

■ **Sorción**

■ **Degradación**

■ **Volatilización (Hc, ley Henry)**

■ **Solubilidad**

## DEGRADACIÓN

**Química** producida por reacciones oxidación-reducción, hidrólisis o eliminación de grupos funcionales

**Bioquímica** transformación inducida biológicamente

$$r = dC/dt = -k_t C$$

(modelo cinético de primer orden)

*r = degradación (mg/g.día), C (concentración mg/g), t (días), k<sub>t</sub> (coeficiente de degradación 1/día)*

*vida mitad o periodo de semidesintegración (t<sub>1/2</sub> días y t<sub>1/2</sub> = 0.693/k<sub>t</sub>)*

## ADSORCIÓN/DESORCIÓN

- Los procesos de adsorción-desorción de un plaguicida tienen un papel fundamental en el control y magnitud de los procesos producidos en el suelo
- La mayor capacidad de ser adsorbido por la fracción sólida del suelo determina la movilidad del plaguicida en la solución intersticial y es expresado mediante el *coeficiente de reparto (k<sub>d</sub>)*

$$k_d = S(\text{mg/kg}) / (C \text{ mg/l})$$

$$K_{oc} = k_d / f_{oc}$$

- Importancia de arcillas y m.o en el suelo

## CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS: VALORACIÓN DE LA TENDENCIA AL LIXIVIADO

*Basados en aproximaciones empíricas*

*Basados en modelos matemáticos sencillos*

$$GUS = [\log t_{1/2}] [4 - \log k_{oc}]$$

(Gustafson, 1987)

*Lixiviables  $GUS > 1.8$*

*No lixiviables  $GUS < 1.8$*

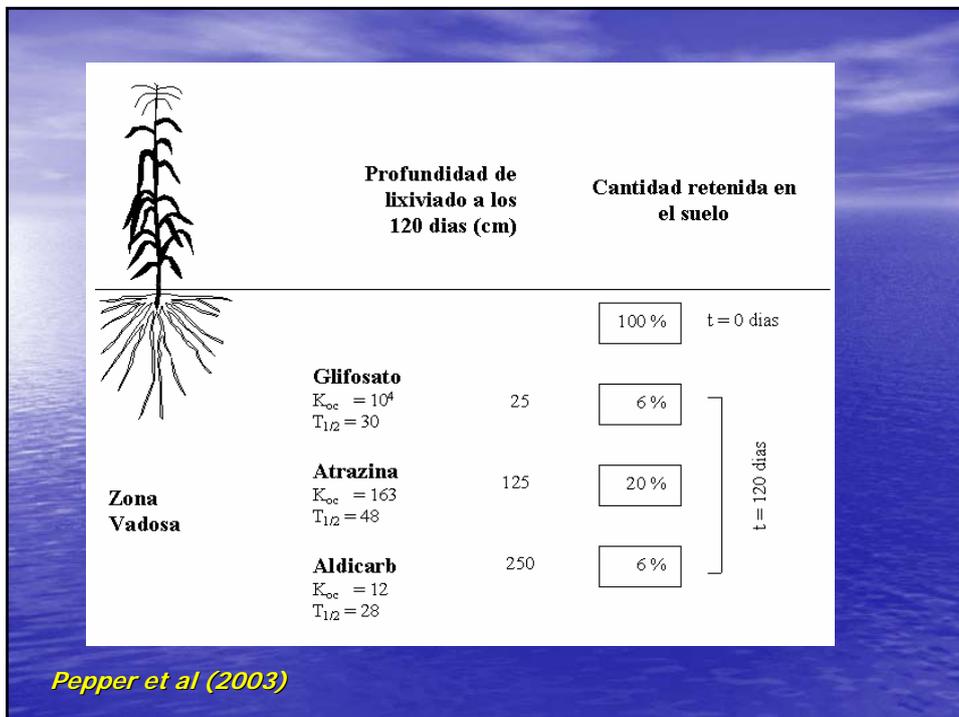
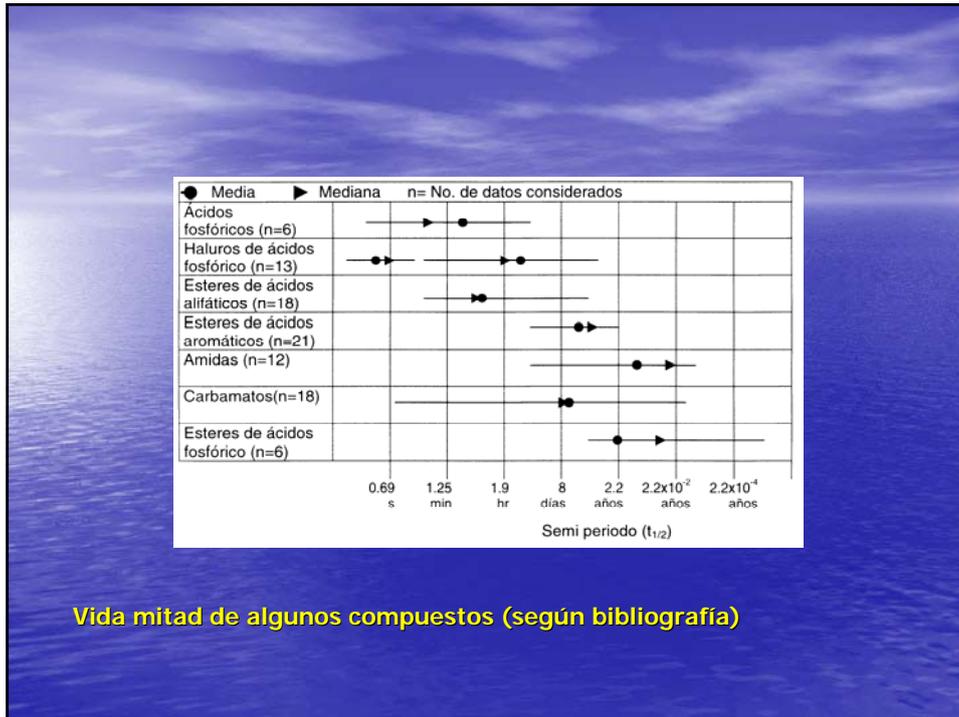
$$RF = 1 + [(r_b f_{oc} k_{oc}) / q_{fc}]$$

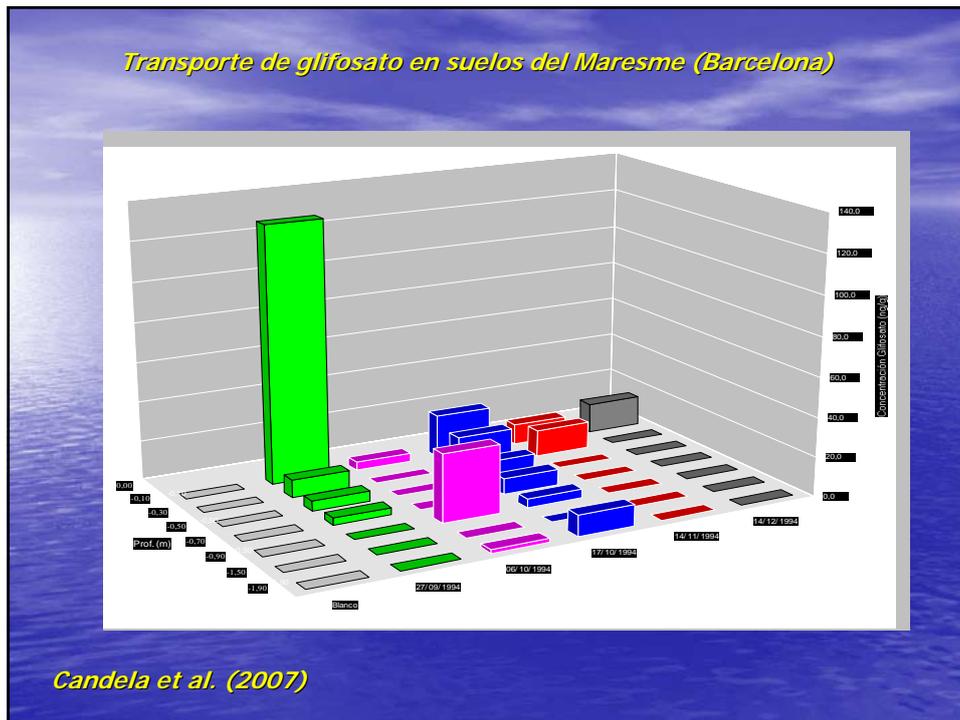
(Factor de retardo) (Rao, 1987)

### Valoración lixiviado plaguicidas mediante GUS

Índice GUS para alguno de los plaguicidas más comunes

PLAGUICIDA	$t_{1/2}$ días	$k_{oc}$ cm <sup>3</sup> /g	GUS
Aldicarb	2.4	7.99	1.18
Atracina	50	124.1	3.24
Captan	1	127.5	0
Clorpirifos	94	498.1	2.57
2,4D (pH<5)	8	391	1.27
Glifosato	38	166.6	2.81
Metolaclor	101	175.1	3.52
Simacina	59	115.6	3.43
Terbutilacina	114	306	3.11
Ziram	40	10.4	4.78





**Contaminación difusa (3)**  
**PRODUCTOS FARMACÉUTICOS Y DE USO**  
**PERSONAL-PPCs**

Analgésicos (tylenol, Advil, Voltaren...)

Ansiolíticos (Valium)

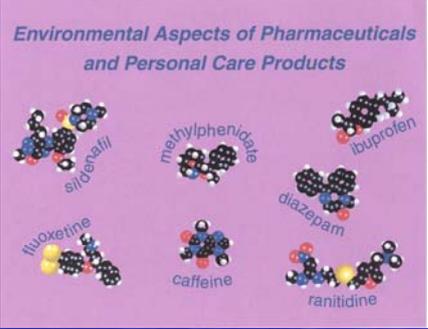
Antisépticos (dentífricos)

Fragancias

\*Cafeína



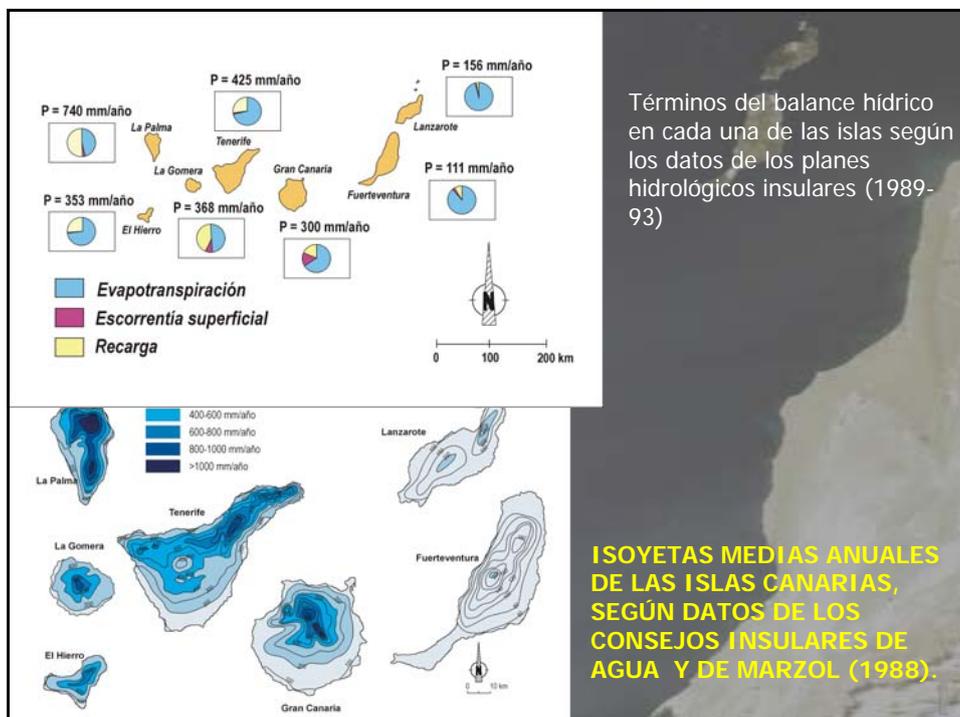
*Environmental Aspects of Pharmaceuticals and Personal Care Products*



\* 505 ng/l, proyecto CONSOLIDER-TRAGUA (Llobregat)

## CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS

**EL SUELO ES HETEROGÉNEO Y ANISÓTROPICO. PARA DESCRIBIR LOS PROCESOS DE TRANSPORTE A ESCALA REAL SON NECESARIOS ENSAYOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO**



## Hidrogeología de rocas volcánicas Factores determinantes

Enfriamiento rápido	Diaclasas	Vertical Horizontal
Porosidad primaria	Lavas escoriáceas	
Factor tiempo	Tubos de lava volcánica	Porosidad desconectada

### *SORRIBAS!!!!*

Fracturas columnares

Almagre y fracturas columnares de enfriamiento

Porosidad primaria en un lapilli joven

Fotos M.C Cabrera





COMPUESTOS ANALIZADOS (seguimiento Tenerife)			
PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS	TRICLOROBEN CENOS	CARBAMATOS	OTROS
Alpha-HCH			
beta-HCH	1,2,3- Triclorobenceno	Aldicarb	Fenamifos
gamma-HCH (lindano)	1,2,4- Triclorobenceno	Paraquat	Etoprofos
delta-HCH	1,3,5-Triclobenceno	Diquat	Cadusafos
Heptacloro		Carbofurano	
Aldrin		Oxamilo	
Heptaclor epóxido		Benfuracarb	
Endosulfán I			
Dieldrin			
p,p'-Dde			
Endrin			
Endosulfán II			
p,p'-DDD			
Endosulfán sulfato			
endrin cetano			

Ninguno detectado

### *Lista sustancias prioritarias (ámbito de la política de aguas)*

CAS	<i>sustancia</i>
15972-60-8	Alacloro
120-12-7	Antraceno
1912-24-9	Atrazina
71-43-2	Benceno
No aplicable	Difeniléteres bromados
7440-43-9	Cadmio y sus compuestos
85535-84-8	C10-13-cloroalcanos
470-90-6	Clofenvinfos
2921-88-2	Cloropirifos
107-06-2	1,2-dicloroetanos
75-09-2	Diclorometano
117-81-7	Di(2-etilhexil)ftalano
330-54-1	Diurón
115-29-7	<b>Endosulfán</b>
959-98-8	(alfa-endosulfán)

### *Lista sustancias prioritarias (ámbito de la política de aguas)*

CAS	<i>sustancia</i>
206-44-0	Fluoranteno
118-74-1	Hexaclorobenceno
87-68-3	Hexaclorobutadieno
608-73-1	Hexaclorociclohexano
58-89-9	(isomero gamma-lindano)
34123-59-6	Isoproturon
7439-92-1	Plomo y sus compuestos
7439-97-6	Mercurio y sus compuestos
91-20-3	Naftaleno
7440-02-0	Niquel y sus compuestos
25154-52-3	Nonilfenoles
104-40-5	4-(para)-nonilfenol
1806-26-4	Octilfenolles

## *Lista sustancias prioritarias (ámbito de la política de aguas)*

CAS	sustancia
140-66-9	(Para-ter-octilfenol)
608-93-5	Pentaclorobenceno
87-86-5	Pentaclorofenol
No aplicable	Hidrocarburos poliaromáticos
50-32-8	(Benzo(a)pireno)
205-99-2	(Benzo(b)fluoranteno)
191-24-2	(Benzo(g,h,i)perileno)
207-08-9	(Benzo(k)fluoroanteno)
193-39-5	(Indeno(1,2,3-cd)pireno)
122-34-9	Simazina
688-73-3	Compuestos del tributilestaño
36643-28-4	Tributilin cation del tributilestaño
12002-48-1	Triclorobencenos
120-82-1	(1,2,4-triclorobenceno)
67-66-3	Triclorometano (cloroformo)
1582-09-8	Trifuralina

## **EVALUACIÓN VULNERABILIDAD PLAGUICIDAS**

- Vulnerabilidad de Acuíferos (DRASTIC)
- GIS acoplado a modelo Transporte (riesgo)

