

# Retos en el uso de aguas no convencionales para el riego de cultivos tropicales

III Jornada Técnica del Aguacate  
Interempresas

**Miguel Sicilia Aguilar**, Agbar Agriculture

Algeciras (Cádiz), 22 de mayo de 2024



Agbar

# Aguas NO CONVENCIONALES ¿Qué son?

- Agua regenerada
- Agua de mar desalada

Suministro adicional / alternativo en  
escenarios de **escasez hídrica**

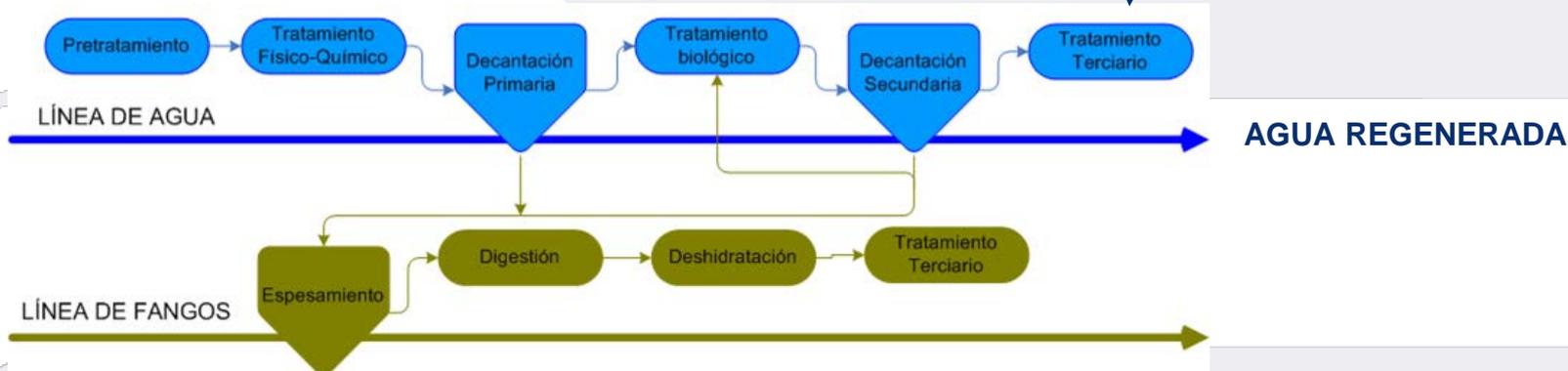


# Aguas NO CONVENCIONALES ¿Qué son?

## Tratamientos terciarios:

- Filtración sobre lecho de arena y antracita
- Cloración mediante hipoclorito sódico
- Ozonización
- Radiación UV

## Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)



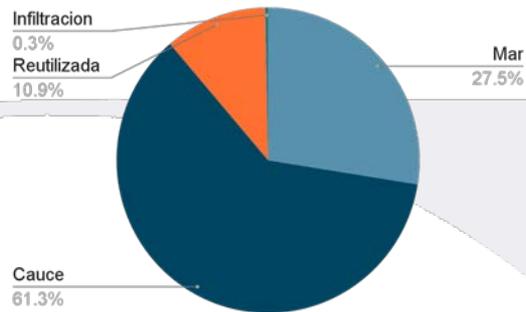
Fuente: Universitat de València

<https://www.uv.es/~fhdez/edar.DEFINICION.edar.sXIX.html>

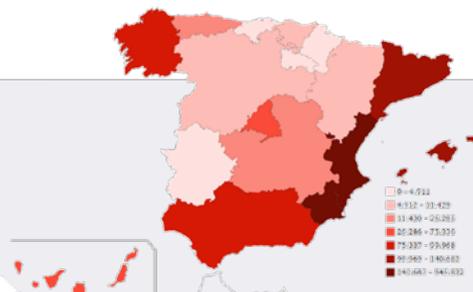


# Aguas Regeneradas: Potencial vs uso actual

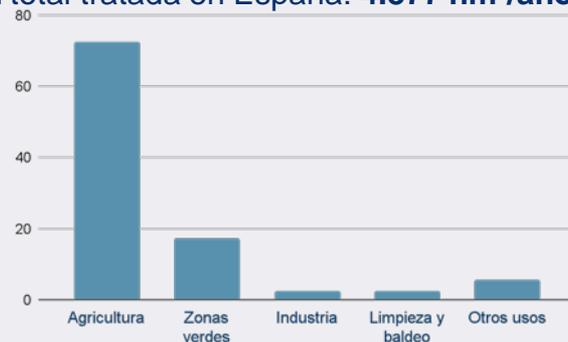
Volumen de agua residual total tratada en España: **4.877 hm<sup>3</sup>/año**



Destino del agua residual tratada



Volumen de agua reutilizada por CCAA (m<sup>3</sup>/d), INE 2020



Uso agua regenerada en España

	m <sup>3</sup> agua regenerada (% sobre total)	Uso Agrícola (%)	Industrial (%)	Ocio y Deportes (%)	Uso limpieza y baldeo (%)	Otros usos (%)
<b>Andalucía</b>	36 (5.2%)	66.9	11.5	10.9	0	10.9
<b>Murcia</b>	105 (91.4%)	86.3	0	0.5	0	13.2
<b>Com. Valenciana</b>	199 (42.5%)	94	1.2	3.2	1.6	0
<b>Cataluña</b>	38 (5.4%)	74.2	1.8	24	0	0

# Marco regulatorio: Uso de aguas regeneradas para riego agrícola

## Categoría de agua regenerada para el riego de subtropicales:

Adaptación del RD español a la norma europea



### A) REQUISITOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS PARA EL USO AGRÍCOLA

Tabla I-2.- Clases de calidad de las aguas regeneradas para uso agrícola y método de riego permitido

Clase de calidad mínima de las aguas regeneradas	Método de riego	Categoría de cultivo
Calidad A. A	Todos los métodos de riego.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cultivos de alimentos que se consumen crudos en los que la parte comestible está en contacto directo con las aguas regeneradas.</li> <li>Cultivos de tubérculos que se consumen crudos.</li> </ul>
Calidad A. B	Todos los métodos de riego.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cultivos de alimentos que se consumen crudos cuando la parte comestible se produce por encima del nivel del suelo y no está en contacto directo con las aguas regeneradas.</li> <li>Cultivos de alimentos transformados.</li> <li>Cultivos no alimenticios, incluidos los cultivos utilizados para alimentar a animales productores de carne o leche.</li> </ul>
Calidad A. C	Riego por goteo u otro método de riego que evite el contacto directo con la parte comestible del cultivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.</li> <li>Cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.</li> </ul>
Calidad A. D	Todos los métodos de riego.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cultivos destinados a la industria no alimentaria, producción de energía y de semillas.</li> </ul>

# Categoría de uso en cultivos subtropicales:

## Parámetros a cumplir

Tabla I-3.- Valor máximo admisible para uso agrícola

Clase	<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Nematodos intestinales (huevo/L)	<i>Legionella</i> <i>spp.</i> (UFC/L)	<i>T. saginata</i> y <i>T. solium</i> (huevo/L)	Contaminantes
Calidad A. A	10	5	10	10	1 para el riego de pastos o forraje	1.000 cuando existe riesgo de aerosolización	---	Ver observaciones
Calidad A. B	100	---	Conforme DARU	Conforme DARU	1 para el riego de pastos o forraje	1.000 cuando existe riesgo de aerosolización	1 para pastos de animales productores de carne	Ver observaciones
Calidad A. C	1.000	---	Conforme DARU	Conforme DARU	1 para el riego de pastos o forraje	1.000 cuando existe riesgo de aerosolización	1 para pastos de animales productores de carne	Ver observaciones
Calidad A. D	10.000	---	Conforme DARU	Conforme DARU	1 para el riego de pastos o forraje	1.000 cuando existe riesgo de aerosolización	---	Ver observaciones



# Ventajas del uso de aguas regeneradas

## CONTINUIDAD DE SUMINISTRO

Recurso hídrico estable en condiciones de sequía y/o escasez

## REDUCCIÓN IMPACTO AMBIENTAL

- Reducción de la explotación del agua subterránea
- Tendencia al “vertido cero” (menos carga contaminante al mar)

## MENOR CONTENIDO EN BORO

Respecto al agua de mar osmotizada con los tratamientos convencionales

## ALTERNATIVA ECONÓMICA

Recurso hídrico **más barato** dentro de las aguas NO convencionales (desalación)

## BENEFICIOS

## INCREMENTO DE LAS PRODUCCIONES

Aprovechamiento agronómico de elementos en el agua

## ECONOMÍA CIRCULAR

Aprovechamiento de los recursos, reducción de la huella hídrica y de carbono de las CCRR y agricultores

## REDUCCIÓN COSTES ABONADO

Ahorro importante en capítulo de fertilizantes (aporte de nutrientes NPK)

# Problemática de aguas con alta salinidad en subtropicales

- capacidad de **absorción** por la planta
- **fitotoxicidad** por iones/cationes
- dispersión de agregados en el **suelo**



Disminución de la producción.  
Degradación del suelo,  
Muerte de la plantación



# Sensibilidad de cultivos subtropicales a la salinidad



Sintomatología de toxicidad por cloruros en follaje de aguacate 'Hass'



## AGUACATE:

Conductividad ideal:  
En torno a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
Conductividad aceptable\*:  
1.000-1.300  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
Na < 5-8 meq = 175-280 ppm  
Cl < 4 meq/l = 140 ppm

"El aguacate y su manejo integrado", Téliz et al, 2015:

Na < 3 meq/L  
Cl- < 107 ppm  
Boro < 0,7 ppm

\*Depende de la duración de uso de ese agua. Uso puntual vs. recurrente

## MANGO:

Daños a partir de  
1.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
Cl- < 200 ppm  
(Galán Saúco, 2009)

En extracto saturado, daños a partir de  
1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Máximo 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
(Hermoso, Guirado y Farré, 2018)  
Boro < 0,1 ppm  
(Guirado, 2024)



Sintomatología de toxicidad por cloruros en hoja

[http://www.avocadosource.com/oldslides/aa004\\_16.htm](http://www.avocadosource.com/oldslides/aa004_16.htm)



# Sensibilidad de cultivos subtropicales a la salinidad



Hoja de un patrón de raza mexicana junto a hoja de la variedad 'Hass'

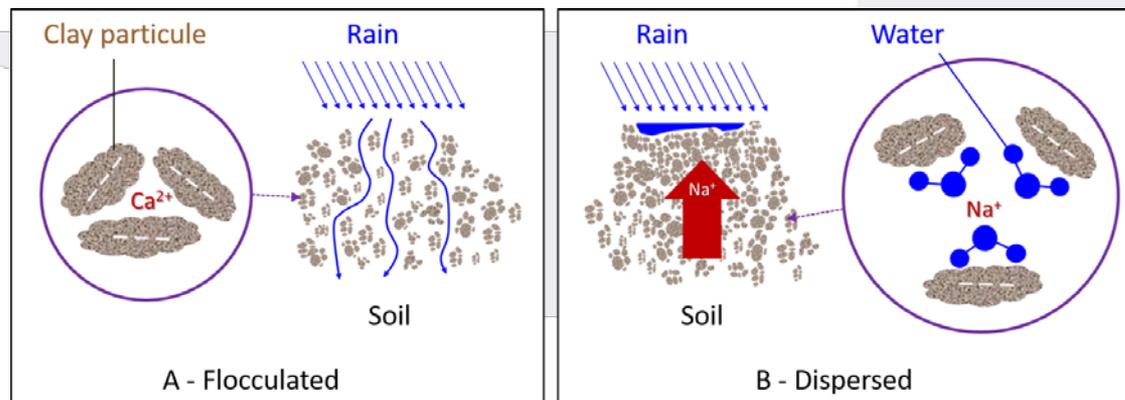
EXTRACTO SATURADO	PATRONES DE RAZA MEXICANA	PATRONES DE RAZA GUATEMALTECA	PATRONES DE RAZA ANTILLANA
CLOURUROS (g/l)	0,177	0,213	0,2663
CLOURUROS (mg/l = ppm)	177,5	213	266,3
CLOURUROS (mmol/l)	5	6	7,5
CLOURUROS (meq/l)*	5	6	7,5

\* 1 meq=1 mmol/valencia, en cationes de valencia=1  
(ej. Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>), 1 mmol=1 meq

Fuente: "Salt tolerance and growth of 13 avocado rootstocks related to best chloride uptake"; Nydia Geliz y Donald Suárez, Univ. California Riverside, 2018

# El problema del sodio en el suelo

## Dispersión de microagregados



# Soluciones al riego con alta salinidad

## Manejo agronómico:

### Consideraciones:

- contenido en arcilla del suelo
- duración del uso de aguas con alta salinidad
- disponibilidad otras aguas para mezcla
- sensibilidad a asfixia radicular de la especie y el patrón
- tolerancia a la salinidad de la especie y el patrón

### Soluciones

- **Fracción de lavado**
- Aplicación de **otros cationes** para desplazar al Na del complejo de cambio
- Manejo del pH en fertirrigación
- Aumentar contenido de materia orgánica en el suelo

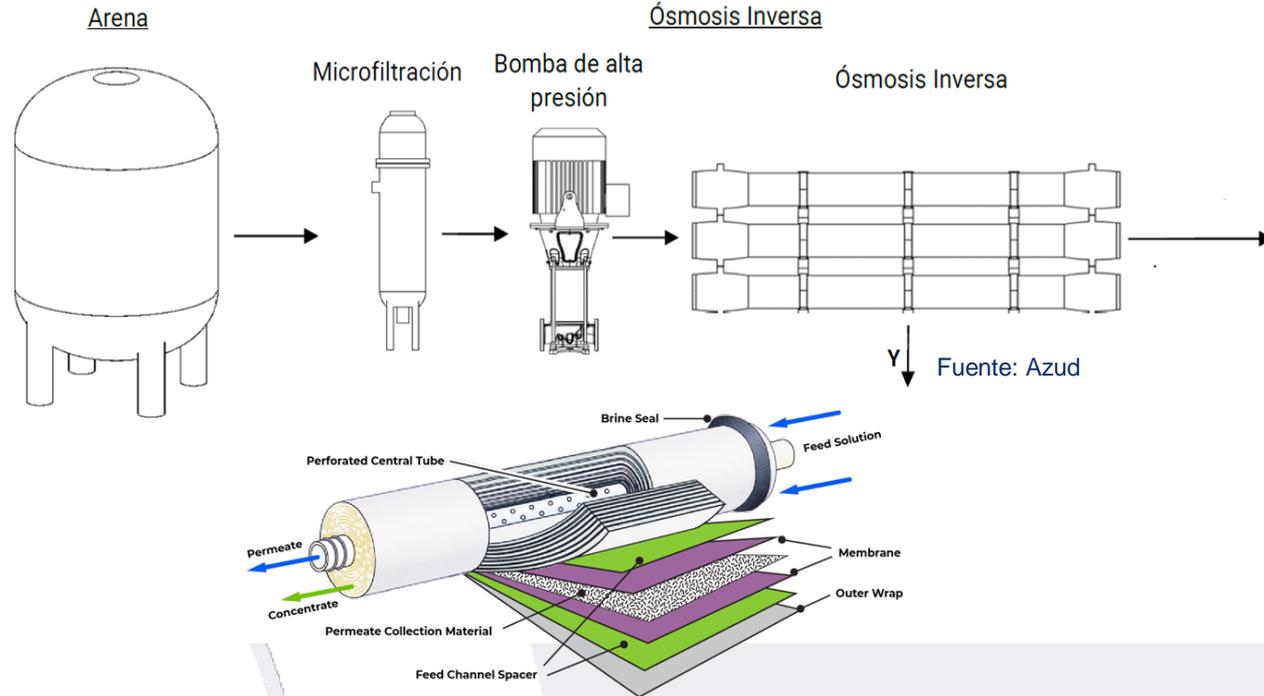
## Tratamiento del agua:

- **ósmosis inversa**
- otros tratamientos (R&D)



# Soluciones a la salinidad:

## Ósmosis inversa



# Soluciones a la salinidad:

## Parámetros de diseño de planta de ósmosis inversa

Parámetros más importantes a tener en cuenta en el **dimensionamiento de una planta de ósmosis inversa:**

- **Caudal** a tratar
- **Conductividad** de partida
- Conductividad objetivo
- Concentración de **Cloruros**
- Concentración de **Sodio**
- **Turbidez**
- Concentración de **Manganeso**
- Concentración de **Hierro**



# Casos prácticos

Analíticas y costes de tratamiento

Agua Regenerada A

Agua Regenerada B

Agua de mar Desalada



Agbar



# Casos prácticos:

## Aguas regeneradas de dos EDARs

PARÁMETRO	Caso A	Caso B
pH	7,5	7,8
CONDUCTIVIDAD A 25°C (µS/cm)	1.422	2.470
SALES TOTALES (mg/l)	910	1.581
S.A.R. (meq/l)	5,2	4,9
TURBIDEZ (U.N.F.)	1,6	2,2
S.S.T. (filtración en filtro de fibra de vidrio) (mg/l)	< 5	< 5
ACEITES Y GRASAS (mg/l)	< 8	< 8
DBO5 (mg O2/l)	< 10	< 10
DQO (mg O2/l)	52	< 37
NITRATOS (mg N/l)	11,5	15,2
FÓSFORO TOTAL (mg P/l)	2,69	1,19
CLORUROS (mg Cl/l)	212	425
BORO (mg B/l)	< 0,10	< 0,10
BICARBONATOS (mg HCO3/l)	336	482
CARBONATOS (mg CO32-/l)	< 5	< 5
SODIO (mg Na/l)	170	240
POTASIO (mg K/l)	31	33
CALCIO (mg Ca/l)	45,7	105
MAGNESIO (mg Mg/l)	21,4	47,7
DUREZA TOTAL (mg CaCO3/l)	202	459
RECUESTO DE COLIFORMES TOTALES (U.F.C./100 ml)	56 x 10 <sup>1</sup>	23 X 10 <sup>3</sup>

### AGUACATE:

Conductividad ideal:  
En torno a 800 µS/cm  
Conductividad aceptable\*:  
1.000-1.300 µS/cm  
Na < 5-8 meq = 175-280 ppm  
Cl < 4 meq/l = 140 ppm

“El aguacate y su manejo integrado”, Téliz et al, 2015:

Na < 3 meq/L  
Cl- < 107 ppm  
Boro < 0,7 ppm

\*Depende de la duración de uso de ese agua. Uso puntual vs. recurrente

### MANGO:

Daños a partir de  
1.400 µS/cm  
Cl- < 200 ppm  
(Galán Saúco, 2009)

En extracto saturado, daños a partir de  
1.500 µS/cm  
Máximo 3.000 µS/cm  
(Hermoso, Guirado y Farré, 2018)  
Boro < 0,1 ppm  
(Guirado, 2024)

### **PRECIO AGUA REGENERADA:**

Costa Tropical: 0,22 €/m<sup>3</sup>  
Almería: 0,47 - 0,65 €/m<sup>3</sup>  
Axarquía: 0,25 €/m<sup>3</sup>



# Casos prácticos:

## Agua de mar desalada

**CONDUCTIVIDAD  
AGUA DE MAR:**  
en torno a 50.000  $\mu\text{S/cm}$

Na+: 12.500 mg/l  
Cl-: 22.100 mg/l

**COSTE ENERGÉTICO  
DESALINIZACIÓN DE  
AGUA DE MAR:**  
3 kWh/m<sup>3</sup>  
0,19218 €/m<sup>3</sup>

**Precio agua desalada  
en España**  
0,5 - 1 €/m<sup>3</sup>

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	8,2 ± 0,1
CONDUCTIVIDAD A 25°C ( $\mu\text{S/cm}$ )	617 ± 7,9
SALES TOTALES (mg/l)	
S.A.R. (meq/l)	
TURBIDEZ (U.N.F.)	< 0,2 ± 18%
S.S.T. (filtración en filtro de fibra de vidrio) (mg/l)	
ACEITES Y GRASAS (mg/l)	
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	
NITRATOS (mg N/l)	
FÓSFORO TOTAL (mg P/l)	
CLORUROS (mg Cl/l)	171 ± 12%
BORO (mg B/l)	0,68 ± 15%
BICARBONATOS (mg HCO <sub>3</sub> /l)	23 ± 24%
CARBONATOS (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /l)	< 5 ± 24%
SODIO (mg Na/l)	105 ± 12%
POTASIO (mg K/l)	
CALCIO (mg Ca/l)	10 ± 9,5%
MAGNESIO (mg Mg/l)	
DUREZA TOTAL (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	
RECuento de COLIFORMES TOTALES (U.F.C./100 ml)	0

En el caso de disoluciones acuosas 1ppm = 1mg/l

\*Fuente: "Boron removal from desalinated seawater for irrigation with on-farm reverse osmosis system in Southern Spain", Universidad Politécnica de cartagena, 2022

### AGUACATE:

Conductividad ideal:

En torno a 800  $\mu\text{S/cm}$

Conductividad aceptable:

1.000-1.300  $\mu\text{S/cm}$

Na < 5-8 meq = 175-280 ppm

Cl < 4 meq/l = 140 ppm

"El aguacate y su manejo integrado", Téliz et al, 2015:

Na < 3 meq/L

Cl- < 107 ppm

Boro < 0,7 ppm

### MANGO:

Daños a partir de

1.400  $\mu\text{S/cm}$

Cl- < 200 ppm

En extracto saturado, daños a partir de

1.500  $\mu\text{S/cm}$

Máximo 3.000  $\mu\text{S/cm}$

Boro < 0,1 ppm

**EN EL CASO DE  
CULTIVO DEL MANGO,  
SERÍA NECESARIO  
APLICAR UN  
TRATAMIENTO  
ESPECÍFICO PARA  
REDUCIR EL BORO**

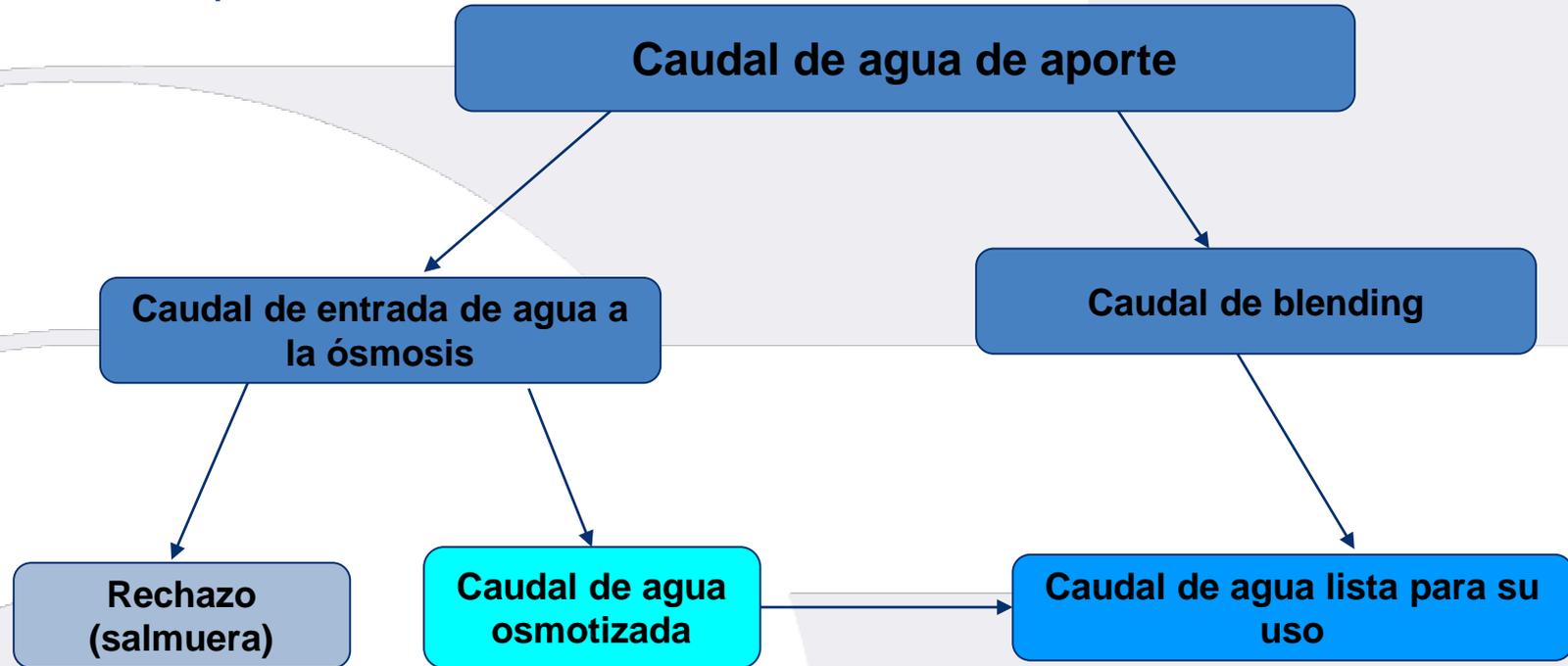
Coste adicional  
aproximado de  
eliminación  
exceso de Boro  
agua de mar  
osmotizada:

0,02-0,12 €/m<sup>3</sup> \* 1



# Costes de tratamiento:

Ósmosis posterior al tratamiento terciario



# Costes de tratamiento:

## Ósmosis posterior al tratamiento terciario

Caso	Tecnología	C.E. entrada (µS/cm)	C.E. salida (µS/cm)	Turbidez entrada (NTU)	Turbidez salida (NTU)
A	Filtro de arena y ósmosis inversa	1.422	1.000-1.300	< 5	--
B	Ósmosis inversa	2.470	1.000-1.300	2,2	--

Caso	Caudal de agua de aporte (m <sup>3</sup> /día)	Tiempo de funcionamiento al día (h)	Caudal de agua de aporte (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de entrada en la ósmosis (m <sup>3</sup> /h)	Porcentaje de osmotización (%)	Caudal de salida ósmosis (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de rechazo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de rechazo (m <sup>3</sup> /día)	Caudal de Blending (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de agua lista para su uso (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de agua lista para su uso (m <sup>3</sup> /día)
A	13800	23	600	106,7	75	80,025	26,675	613,525	493,3	573,325	13186,475
B	23000	23	1000	580	75	435	145	3335	420	855	19665

# Costes de tratamiento:

## Ósmosis posterior al tratamiento terciario

parámetros de diseño

Caso	Volumen a tratar (m <sup>3</sup> /día)	C.E. entrada (µS/cm)	C.E. salida (µS/cm)
A	13.800	1.422	1.000-1.300
B	23.000	2.470	1.000-1.300

Costes de operación y amortización inversión

Caso	Consumo energético kWh/m <sup>3</sup>	Coste energético* € m <sup>3</sup>	Consumibles € m <sup>3</sup>	Mano de obra € m <sup>3</sup>	Amortización € m <sup>3</sup>	Total € m <sup>3</sup>
A	0,068	0,0044	0,0093	0,0104	0,0044	<b>0,0285</b>
B	0,392	0,0251	0,033	0,007	0,0088	<b>0,0739</b>

Resumen costes

Caso	Total OPEX €m <sup>3</sup>	CAPEX €
A	0,0241	431.315
B	0,0651	1.262.548

Costes totales 

-  Conductividad Eléctrica
-  Volumen a tratar
-  Calidad de salida

Suponiendo un coste agua regenerada sin osmotizar de **0,25 €m<sup>3</sup>**  
(dato real de una EDAR de la Axarquía)

Coste final agua regenerada añadiendo gastos de ósmosis:

**0,2785 €m<sup>3</sup>**

**0,3239 €m<sup>3</sup>**

Coste agua de mar osmotizada: **0,5 - 1 €m<sup>3</sup>**

Coste adicional aproximado de eliminación exceso de Boro agua de mar osmotizada:

**0,02-0,12 €m<sup>3</sup>\***

\*Fuente: "Boron removal from desalinated seawater for irrigation with on-farm reverse osmosis system in Southern Spain", Universidad Politécnica de cartagena, 2022

# Conclusiones

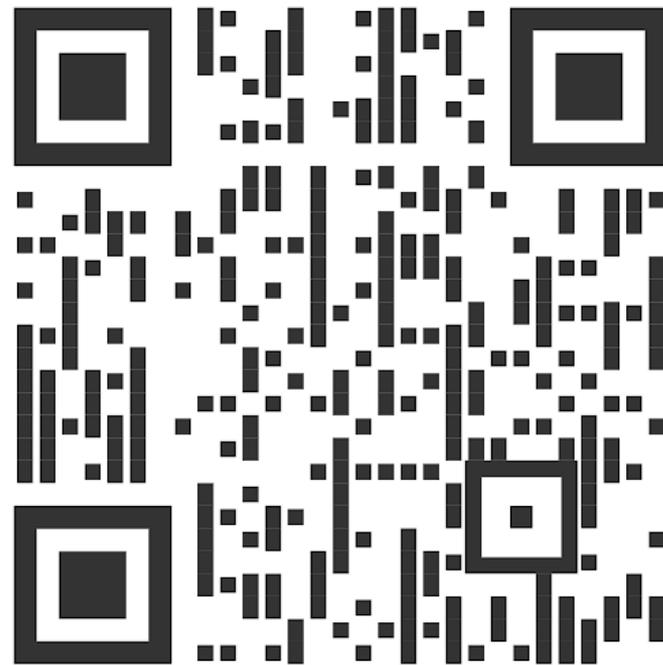
## Uso de aguas no convencionales en cultivos tropicales

- Fuente adicional/alternativa de suministro de agua
- Conocer parámetros limitantes para el cultivo
- Conocer calidad del agua
- Soluciones agronómicas
- Soluciones de tratamiento



# Encuesta Aguas Regeneradas para proyecto I+D NUTRILOOP

Agradeceríamos su colaboración



[www.agbaragriculture.com](http://www.agbaragriculture.com)



Agbar