GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN
SECRETARÍA DE ESTADO DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL, INNOVACIÓN Y FORMACIÓN AGROALIMENTARIA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE REGADÍOS, CAMINOS NATURALES E INFRAESTRUCTURAS RURALES

JORNADA "AGUAS NO CONVENCIONALES. APLICACIÓN EN EL REGADÍO"

3 de noviembre de 2026

DESALACIÓN DE AGUA PARA RIEGO: SITUACIÓN ACTUAL Y PRINCIPALES ASPECTOS TÉCNICOS Y AGRÓNOMICOS A CONSIDERAR

Prof. Victoriano Martínez Álvarez (*email:* victoriano.martinez@upct.es)

Catedrático de la Universidad Politécnica de Cartagena

Universidad Politécnica de Cartagena MIEMBRO DE EUT+ EUROPEAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Universidad Politécnica de Cartagena MIEMBRO DE EUT+ EUROPEAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CONTENIDO

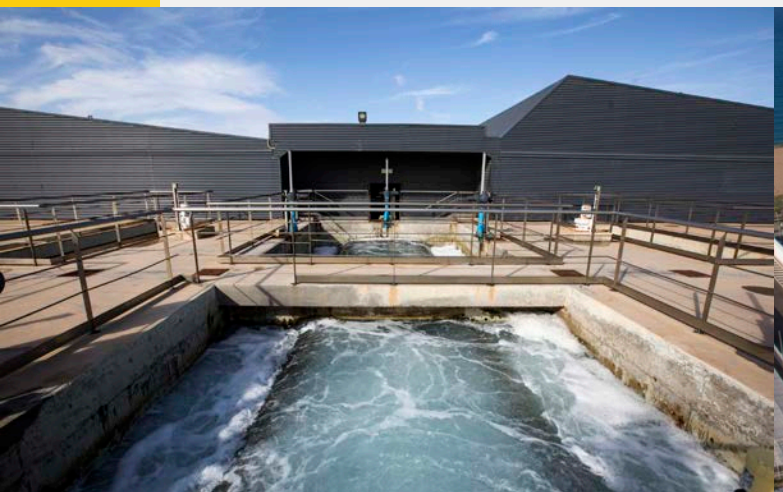
- **Situación actual** del suministro agrícola de Agua Marina Desalinizada (AMD) en España y en el mundo.
- **Análisis DAFO**: fortalezas, debilidades, oportunidades y riesgos.
- Principales **aspectos técnicos** a considerar.
- Principales **aspectos agronómicos** a considerar.





MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

Situación actual del suministro agrícola de AMD en el mundo y en España.



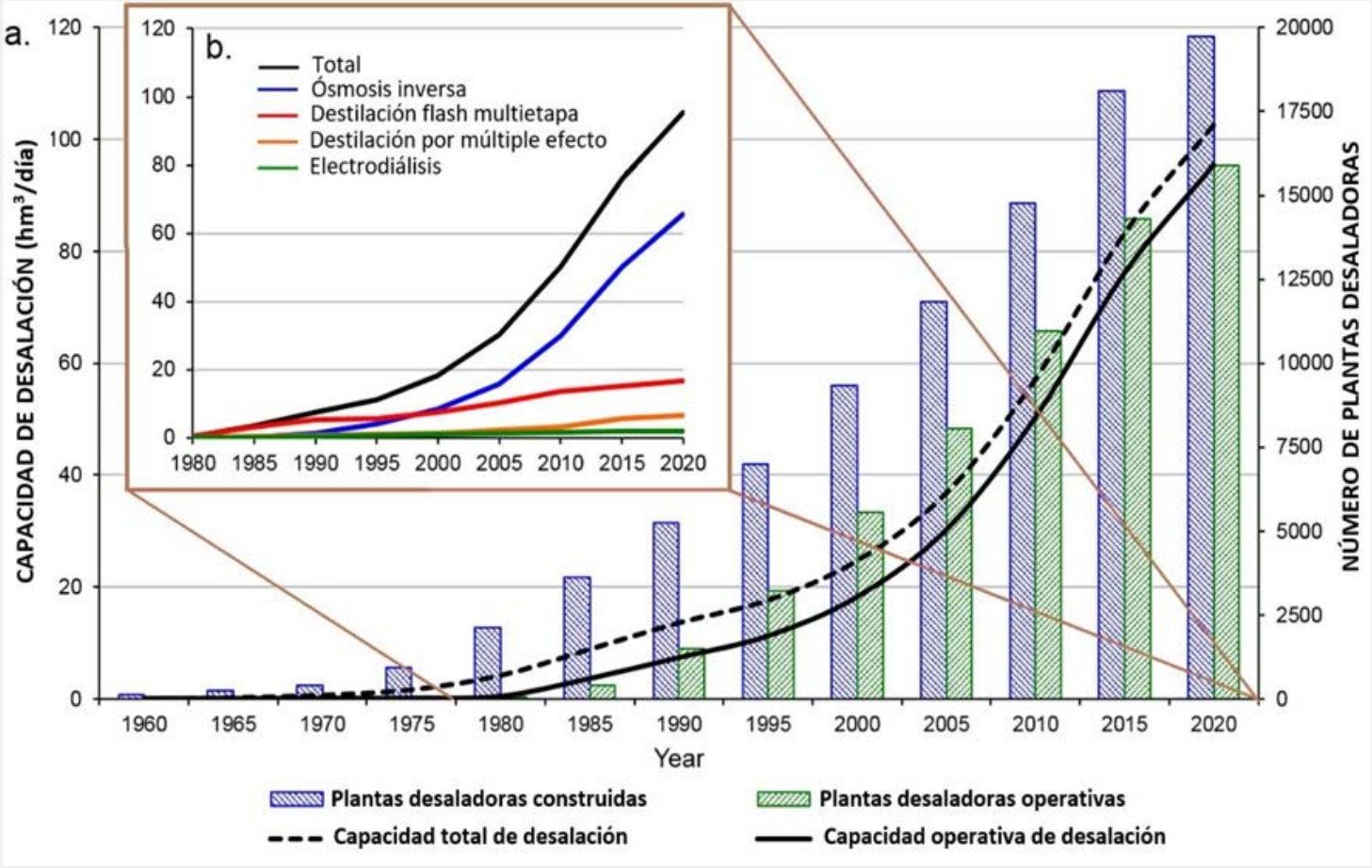




SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE AMD

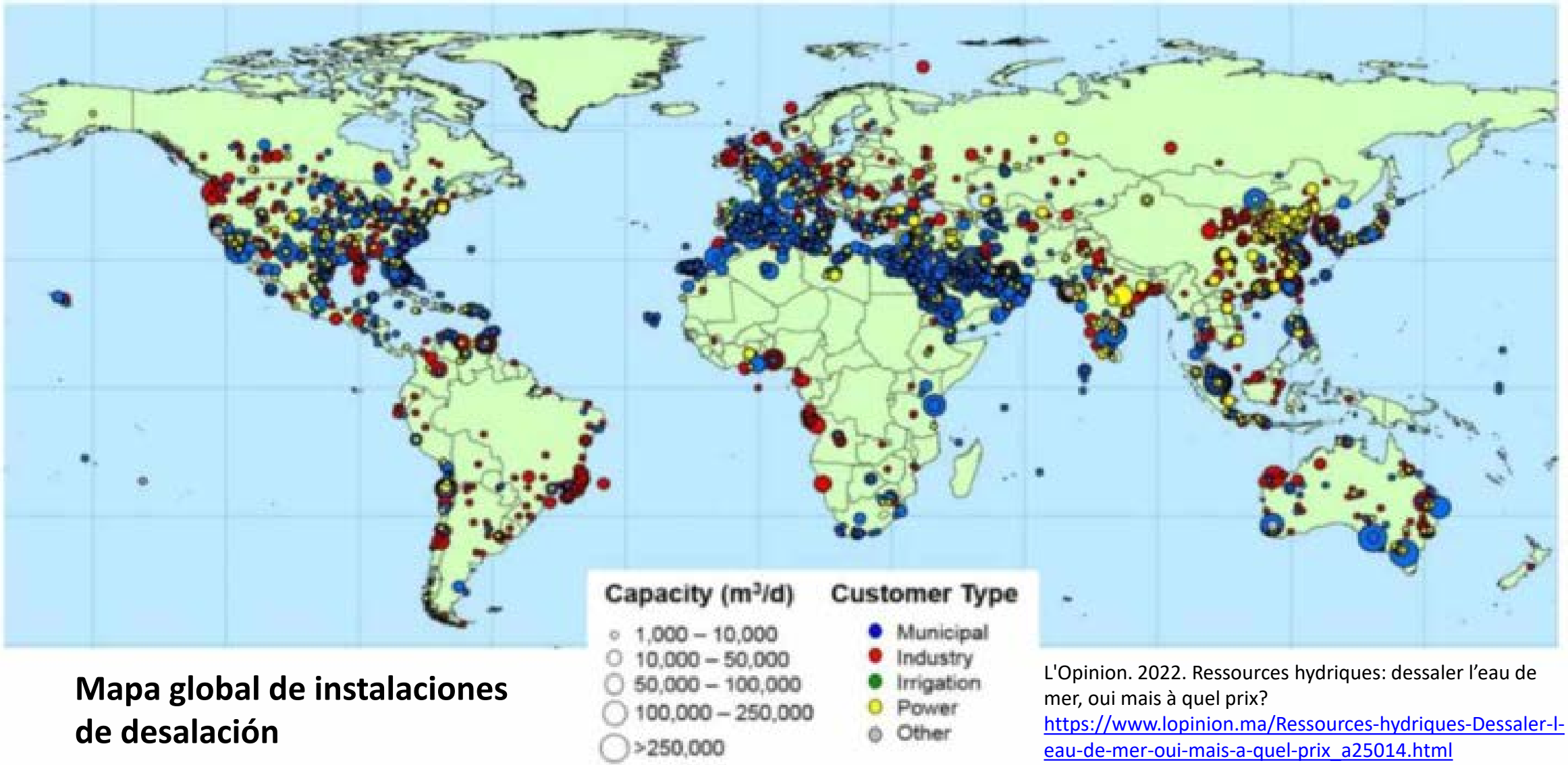
Desalación en el mundo:

- 18.000 desaladoras con una producción ≥ 100 hm^3/día.
- Un 60% son Instalaciones Desaladoras de Agua de Mar (IDAMs).
- El 71% emplean, la técnica de desalación por osmosis inversa (95% en Europa).
- Los Países con mayor capacidad instalada son Arabia Saudí y EEUU.
- España ocupa la 5ª posición y lidera la producción en Europa.



Evolución del número de plantas desaladoras y de su capacidad total en el mundo (a), junto con la tecnología aplicada en el proceso de desalación (b) (Jones et al., 2019)

SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE AMD



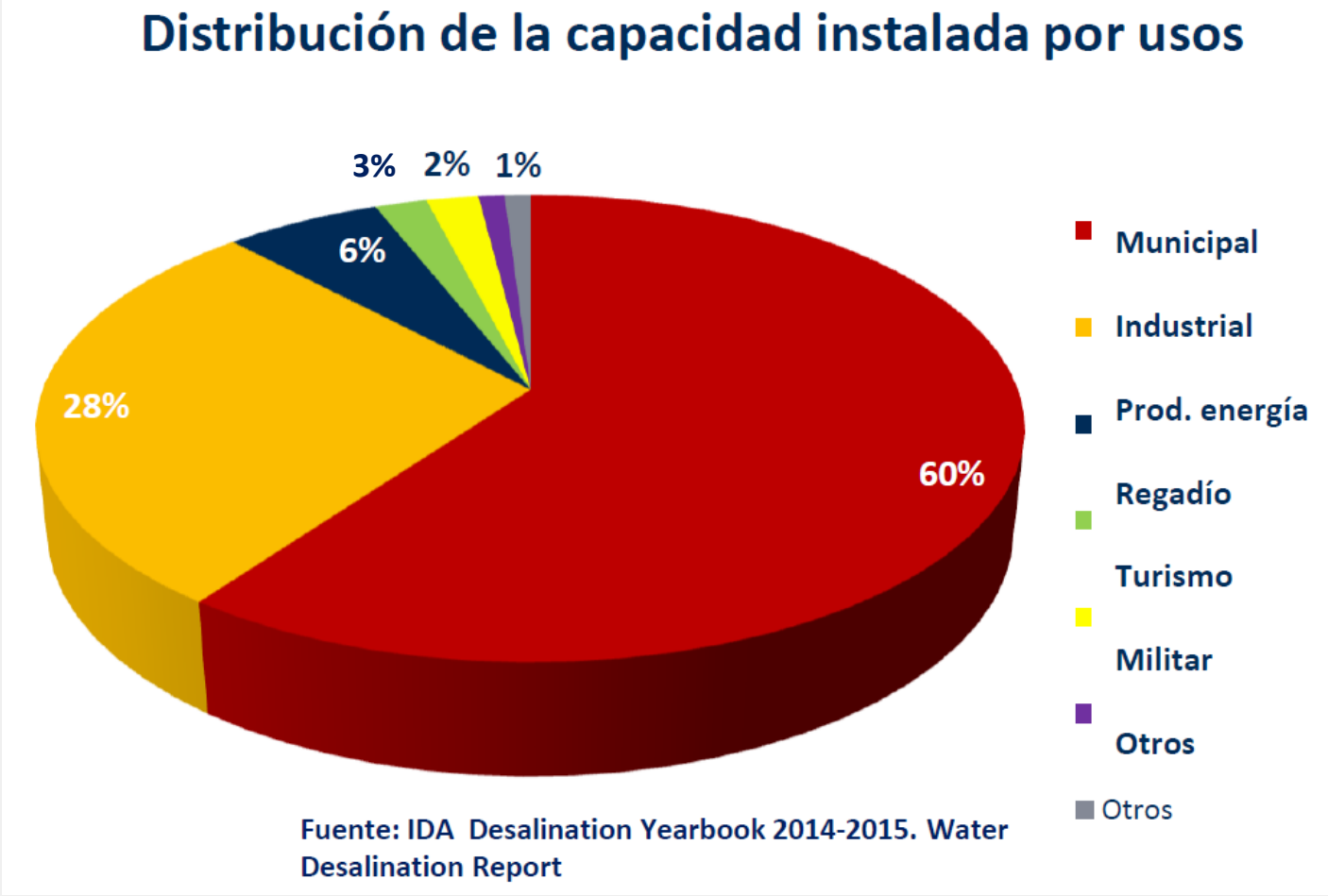
Mapa global de instalaciones de desalación

L'Opinion. 2022. Ressources hydriques: dessaler l'eau de mer, oui mais à quel prix? https://www.lopinion.ma/Ressources-hydriques-Dessaler-l-eau-de-mer-oui-mais-a-quel-prix_a25014.html

SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE AMD

Situación en el mundo:

- Los usos principales son el doméstico y el industrial.
- La desalación para la agricultura sólo representa el 3% de la capacidad instalada.



PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO

Situación en el mundo:

- **Lugares con utilización masiva de AMD para riego:**

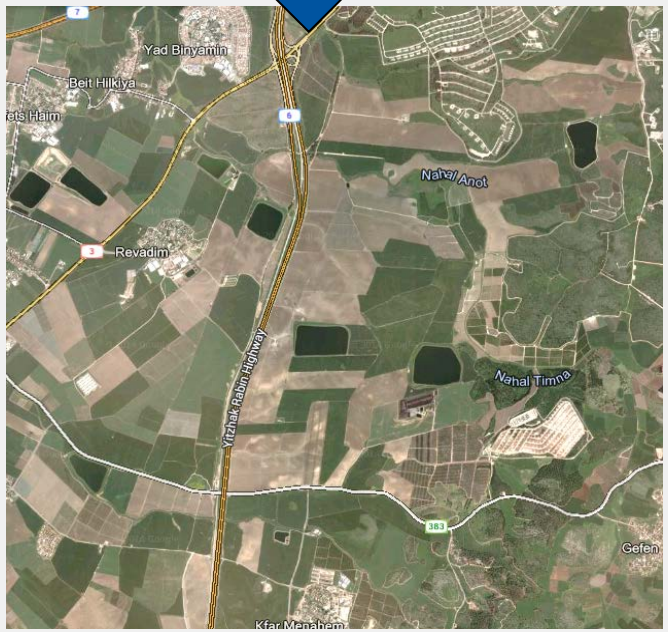




Agadir ≈ 30 hm³/año



Cartagena ≈ 200 hm³/año



Ashkelon ≈ 200 hm³/año

PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO

Características de la iniciativa de Israel:

- Plan concebido en 1997 y puesto en marcha en 2006.
- Uso generalizado de la tecnología de osmosis inversa.
- Producción de 750 hm^3/año en 2020. Entre 25-30% para uso agrícola, concentrado en el sur de Israel (≈ 200 hm^3).
- Contrato de compra por la Israelí Water Authority del volumen proyectado.



PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO

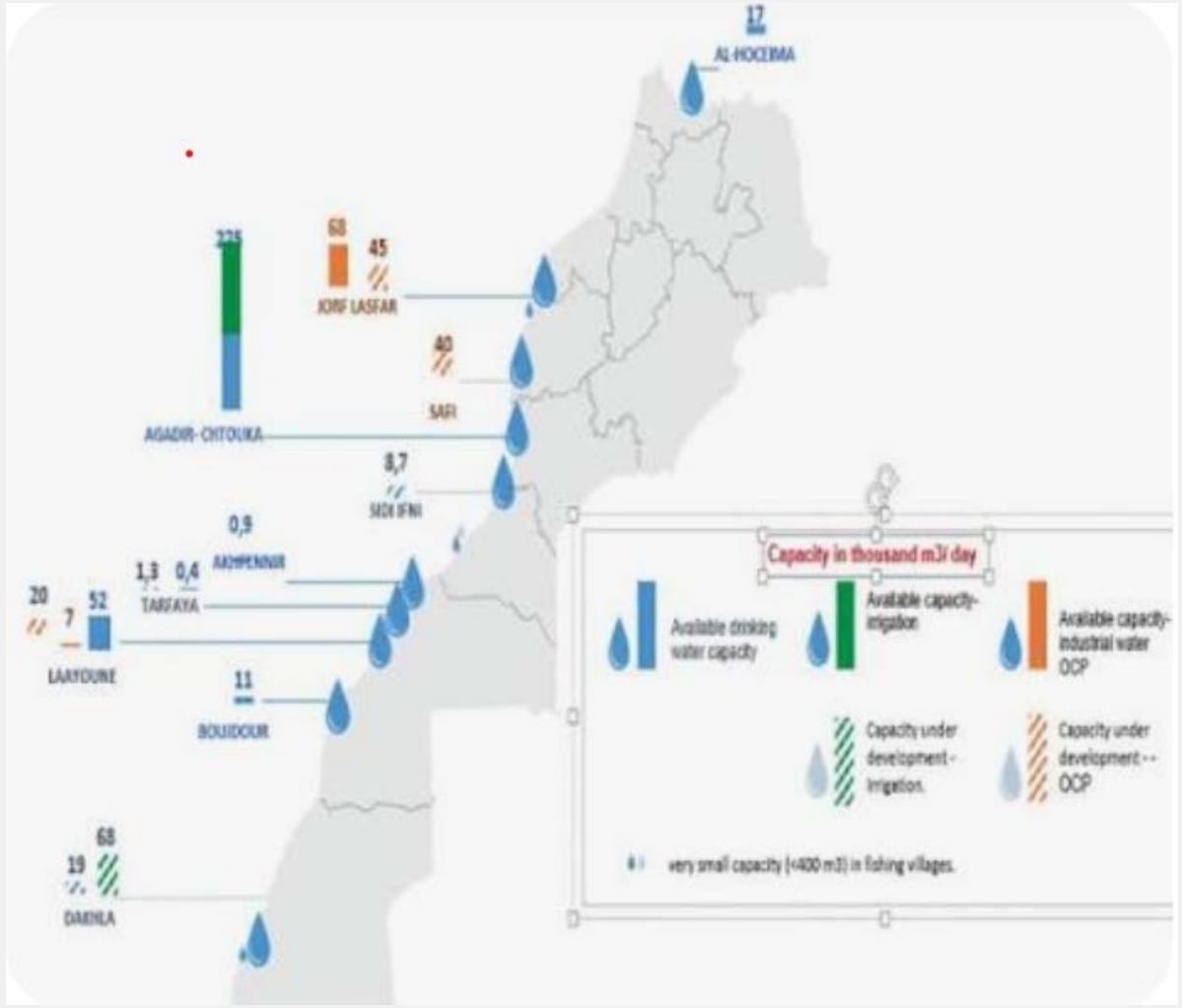
Características de la iniciativa en España:



- La iniciativa privada comienza en 1995 en la CR de Mazarrón.
- La iniciativa pública en 2001 en Carboneras (Campo de Nijar).
- Se potencia en 2004, con la aprobación del Programa Agua: 693 hm^3/año (200 para regadío) en 25 IDAMs.
- No se ejecutan todas las IDAMs, y la mas importantes se encuentran actualmente en las últimas fases de ampliación.
- Los contratos de suministro son particulares, sin que esté garantizada la compra por el volumen total proyectado.

PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO

Características de la iniciativa en Marruecos:



- En 2024 Marruecos presentó su plan de desalinización de AMD: 10 plantas para una capacidad total próxima a los 1700 hm^3, y más del 50 % para regadío.
- Cubre el 60% de las necesidades de agua potable del país.
- Uso generalizado de la tecnología de osmosis inversa.
- Suministro eléctrico basado en energía renovable (eólica y solar).
- IDAM de Agadir: Inaugurada en 2022 combina suministro para la agricultura y suministro de agua potable municipal.

2. SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE AMD

Situación actual en España:

- 100 desaladoras de gran capacidad (10.000 m^3/día ≈ 3,5 hm^3/año), casi todas IDAMs.
- Capacidad total de producción de 5 hm^3/día, lo que representa el **5% de la producción mundial** de AMD, y el **5% del consumo de agua potable** en España.
- **El 26% del agua desalada se usa en la agricultura.**
- 8 de las 20 mayores empresas mundiales en desalación son españolas.







PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO EN ESPAÑA

Situación en la cuenca del Segura:

- Campo de Cartagena
- Guadalentín
- Vega Baja



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO EN ESPAÑA



Situación en Almería:

- Campo de Nijar
- Campo de Dalías

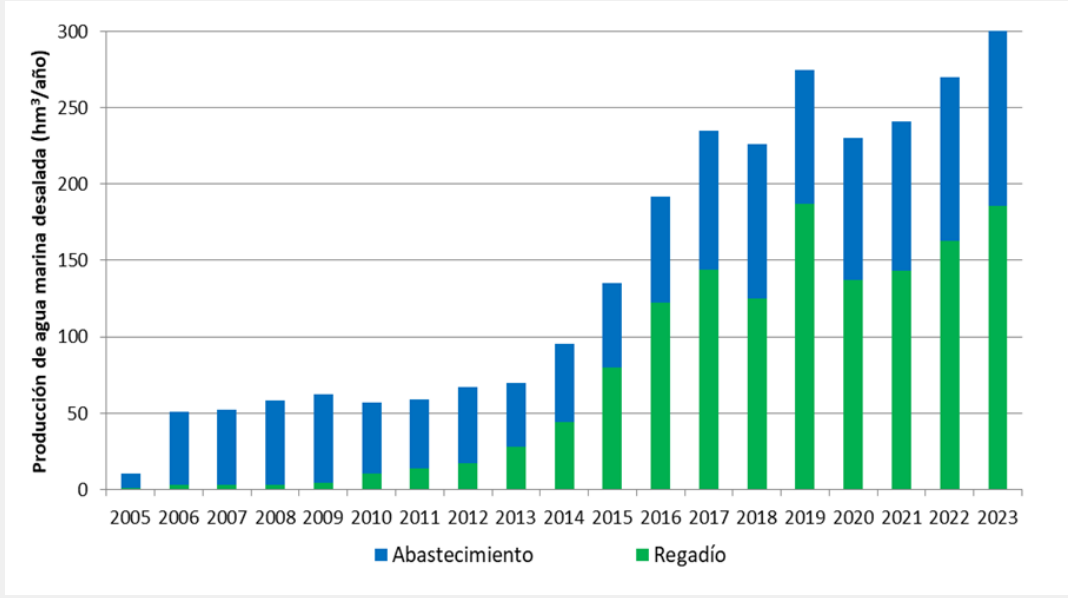


PRODUCCIÓN DE AMD PARA RIEGO EN ESPAÑA

Situación actual en España (Datos ACUAMED):

Desaladora	Capacidad instalada	Antes 2012	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TOTAL
Oropesa	18									1	4	4	5	4	**18**
Moncófar	10									0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	**0,9**
Sagunto	8										0,0	0,2	0,2	0,2	**0,6**
Mutxamel	18					4	7			1	0,2	7	7	11	**37**
Torrevieja	80					11	34	44	43	76	38	36	64	77	**424**
Valdelentisco	48	49	14	17	21	29	35	39	28	30	28	26	29	30	**375**
Águilas	60			17	20	31	41	55	52	56	51	57	53	56	**490**
Carboneras	42	40	10	12	16	25	33	39	38	38	41	40	40	42	**414**
Campo de Dalías	30						7	15	24	30	30	30	30	29	**195**
Marbella	20	38	10	2	6	2	7	6	5	8	3	5	6	8	**106**
Atabal	60	238	39	34	38	36	37	39	40	39	38	38	35	45	**695**
Total	394 (409)	365	73	82	101	138	201	237	230	280	234	244	269	301	2.754

70-90% Regadío



80-90% Abastecimiento

Situación en el SE de España:

- Producción anual en desaladoras mixtas en 2023: 214 hm³ **(178 hm³ regadío).**
- Producción acumulada en desaladoras mixtas: 1.897 hm³ **(1.437 hm³ regadío).**

72% del agua producida ha ido destina al regadío

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

Análisis DAFO: fortalezas, debilidades, oportunidades y riesgos.





ANÁLISIS DAFO (SWOT) DEL RIEGO CON AMD



Fortalezas (Strengths):

- **Fuente de agua prácticamente ilimitada:** El agua de mar constituye una fuente inagotable de agua dulce para las regiones costeras, proporcionando una independencia total de la precipitación y de la variabilidad hidrológica (Garantía de suministro).
- **Alta y constante calidad del agua:** La ósmosis inversa de agua de mar produce agua con muy baja salinidad, libre de patógenos y con una calidad bastante constante, proporcionando un recurso hídrico fiable y de alta calidad para los cultivos.
- **Tecnología probada y escalable:** La osmosis inversa es una tecnología comercialmente madura, financieramente viable y escalable, respaldada por una cadena de suministro global de membranas, bombas y dispositivos de recuperación de energía.
- **Integración con energías renovables:** La desalación alimentada mediante energía solar o eólica puede producir agua dulce con una huella de carbono muy reducida, contribuyendo a los objetivos de neutralidad climática.

ANÁLISIS DAFO (SWOT) DEL RIEGO CON AMD



Debilidades (Weaknesses):

- **Elevado consumo energético y coste:** A pesar de las mejoras tecnológicas, la desalación continúa siendo más intensiva en energía y más costosa que las fuentes convencionales.
- **Limitaciones económicas:** El AMD sigue siendo significativamente más cara que las fuentes convencionales, lo que restringe su utilización principalmente a cultivos de alto valor añadido y, en muchos casos, requiere subvenciones.
- **Dependencia de la ubicación costera:** El suministro de AMD a las zonas agrícolas del interior requiere infraestructuras de transporte con elevados costes energéticos y de inversión.
- **Huella de carbono:** Cuando se emplean combustibles fósiles, la desalación presenta una huella de carbono significativa, en conflicto con los objetivos de mitigación del cambio climático.
- **Ausencia de regulación específica:** En la mayoría de los países no existe una normativa específica que regule el suministro y uso agrícola del agua de mar desalada.

ANÁLISIS DAFO (SWOT) DEL RIEGO CON AMD



Oportunidades (Opportunities):

- **Desalación marina flotante:** Las plantas desaladoras flotantes pueden reducir la competencia por el suelo y facilitar la gestión de la salmuera mediante su descarga en aguas abiertas.
- **Sistemas híbridos:** La integración de la ósmosis inversa y las energías renovables genera sinergias que reducen tanto los costes como los impactos ambientales.
- **Valorización de la salmuera:** Las tecnologías emergentes para la recuperación de minerales de alto valor (litio, magnesio, potasio o uranio) presentes en la salmuera podrían generar coproductos valiosos que mejorasen la rentabilidad económica de los proyectos de desalación.
- **Desalación adaptada al uso agrícola:** El diseño de sistemas de desalación específicamente orientados a cumplir los requisitos de calidad del agua para riego, en lugar de los estándares de agua potable, puede reducir los riesgos agronómicos, el consumo energético y los costes de postratamiento, especialmente si existen otras fuentes de agua disponibles para su mezcla..
- **Incremento de la demanda debido al cambio climático:** A medida que la escasez de agua dulce se intensifique en las regiones costeras como consecuencia del cambio climático, la ventaja competitiva de la desalación frente a fuentes menos fiables será mayor.

ANÁLISIS DAFO (SWOT) DEL RIEGO CON AMD

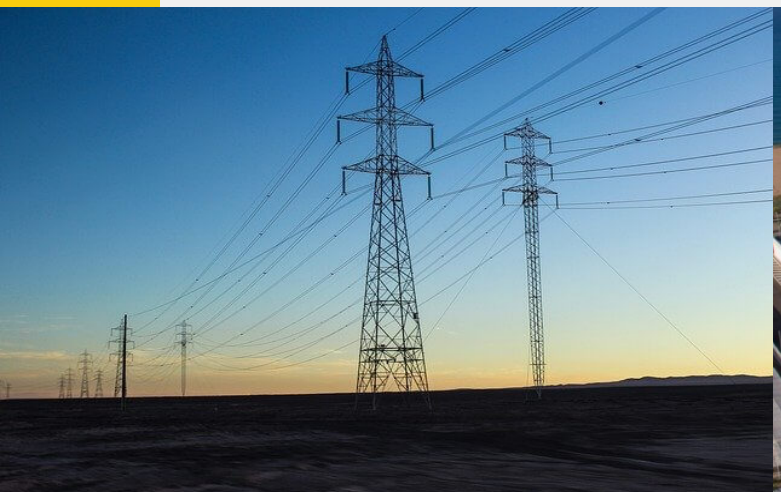


Amenazas (Threats):

- **Riesgos asociados al precio y la disponibilidad de la energía:** La desalación a gran escala genera una dependencia estructural de un suministro energético fiable y asequible. Las subidas del precio de la energía incrementan considerablemente los costes de producción.
- **Composición química del agua de mar desalada:** El contenido de boro puede provocar fitotoxicidad en cultivos sensibles. Además, la baja mineralización y el predominio del sodio pueden favorecer la degradación del suelo, desequilibrios nutricionales o la corrosión de infraestructuras.
- **Impactos sobre los ecosistemas marinos:** La descarga acumulativa de salmuera en mares plantea riesgos a largo plazo para la biodiversidad marina que puede dar lugar regulaciones más estrictas.
- **Oposición social y aceptación pública:** Las comunidades locales próximas a los emplazamientos previstos para nuevas plantas desaladoras pueden mostrar oposición debido a preocupaciones relacionadas con los impactos sobre el litoral, el ruido o el impacto paisajístico.

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

Principales aspectos técnicos del riego con AMD





1. CONSUMO DE ENERGÍA EN PRODUCCION Y SUMINISTRO DE AMD

Evolución histórica del consumo de energía en desalación

AÑO	Tecnología	Kw-h/m³
1970	MSF	22
1980	MSF	18
1985	VC	15
1988	VC	13
1990	RO	8.5
1994	RO	6.2
1996	RO	5.3
1998	RO	4.8
1999	RO	4.5
2000	RO	4.0
2001	RO	3.7
2002	RO	3.5
2005	RO	3
2007	RO	< 3

Cambios

Tecnologías de evaporación



Remplazo de evaporación por tratamiento de membranas



Desarrollo de las turbinas Francis o bombas invertidas

Desarrollo de turbinas Pelton



Sistemas de cámaras isobáricas o hiperbáricas



El límite termodinámico para la separación de sales es aproximadamente 1 Kw-h/m³ para 35.000 ppm de TDS)

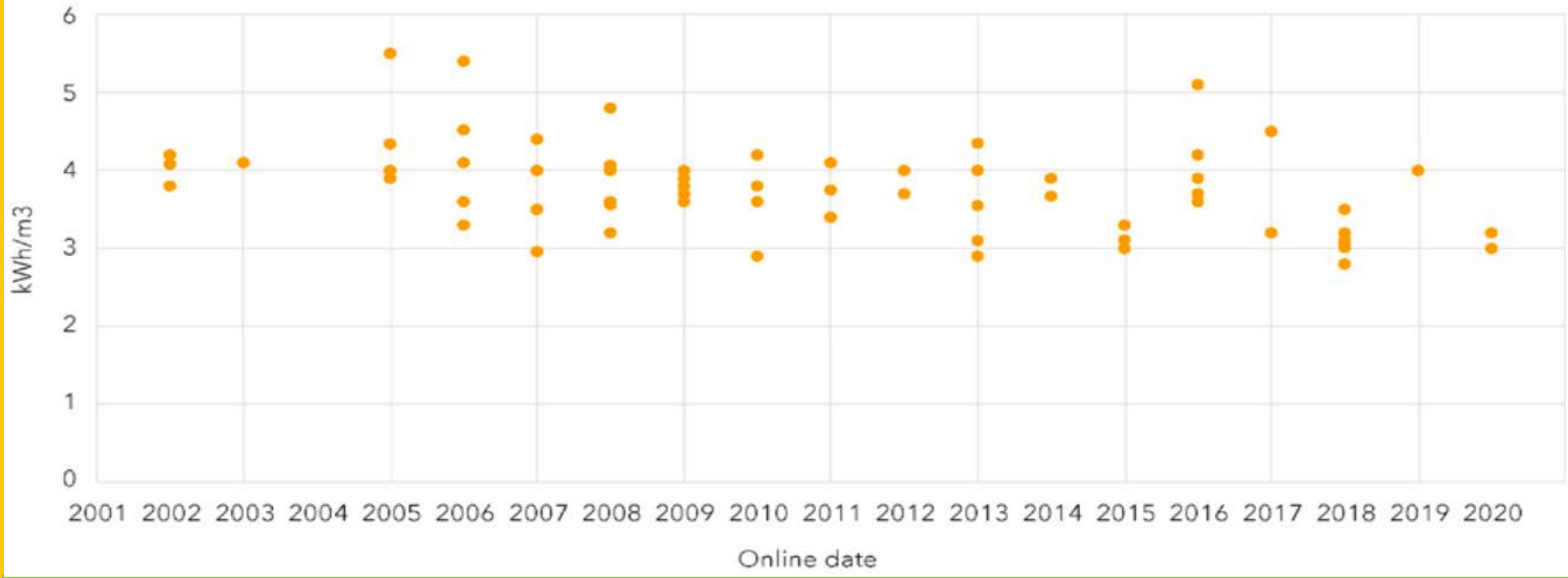
- Las IDAMs más eficientes **actualmente se sitúan en torno a 2,2 kWh/m³** en bastidores**.**
- El resto de procesos en planta (**captación, pre-tratamientos y postratamientos**) consumen 1 kWh/m³ aproximadamente.
- Además, hay que **enviar el AMD al punto de consumo**, siempre contra un gradiente altimétrico (1 kWh/m³ aproximadamente).

1. CONSUMO DE ENERGÍA EN PRODUCCION Y SUMINISTRO DE AMD

Evolución histórica del consumo de energía en desalación

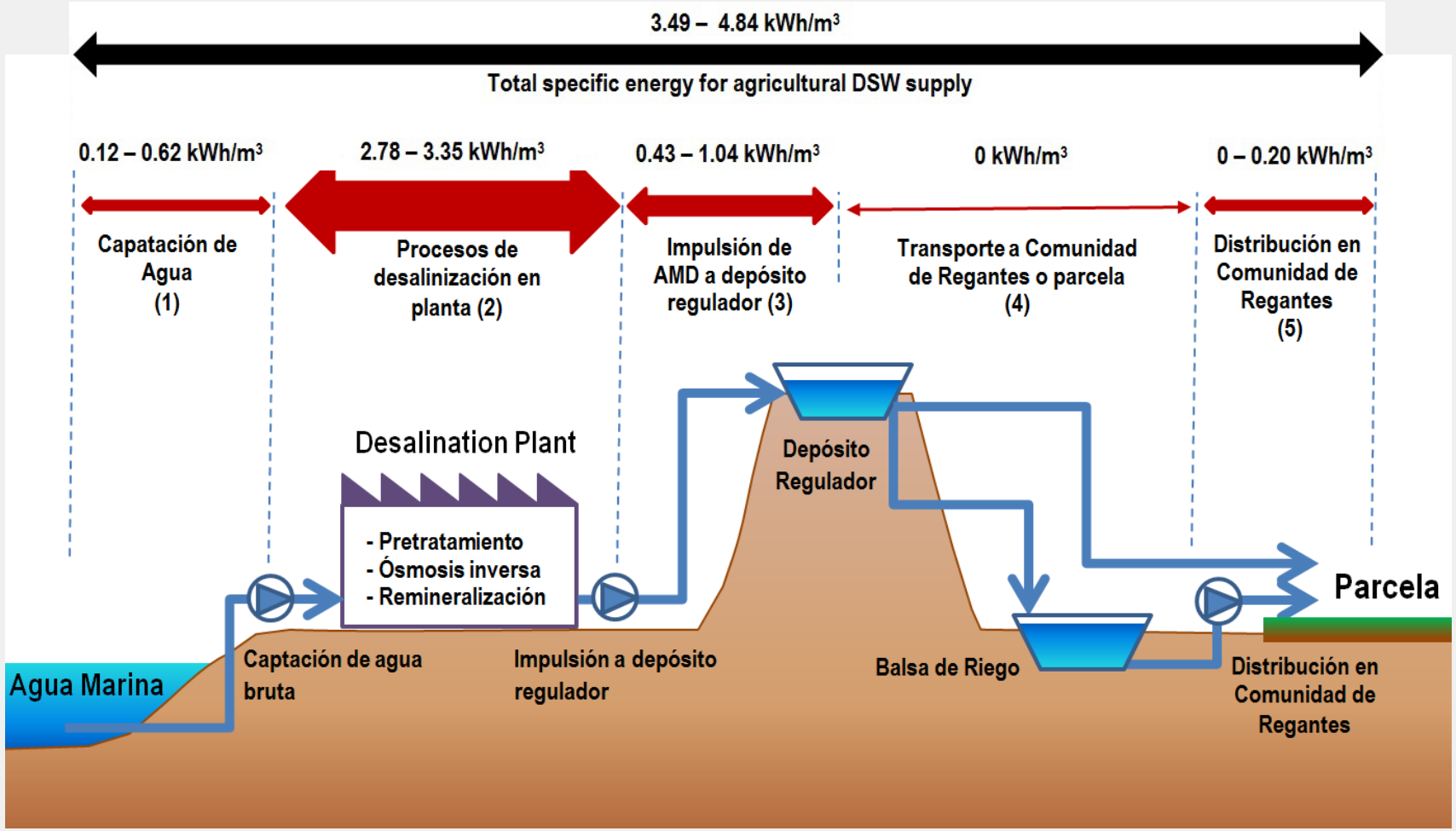
Evolución del consumo específico de energía (kWh/m³) en grandes plantas desaladoras

GWI (Global Water Intelligence). 2020. https://www.researchandmarkets.com/reports/5360570/market-focus-deck-desalination-and-reuse



1. CONSUMO DE ENERGÍA EN PRODUCCION Y SUMINISTRO DE AMD

Consumo en las distintas etapas del suministro agrícola



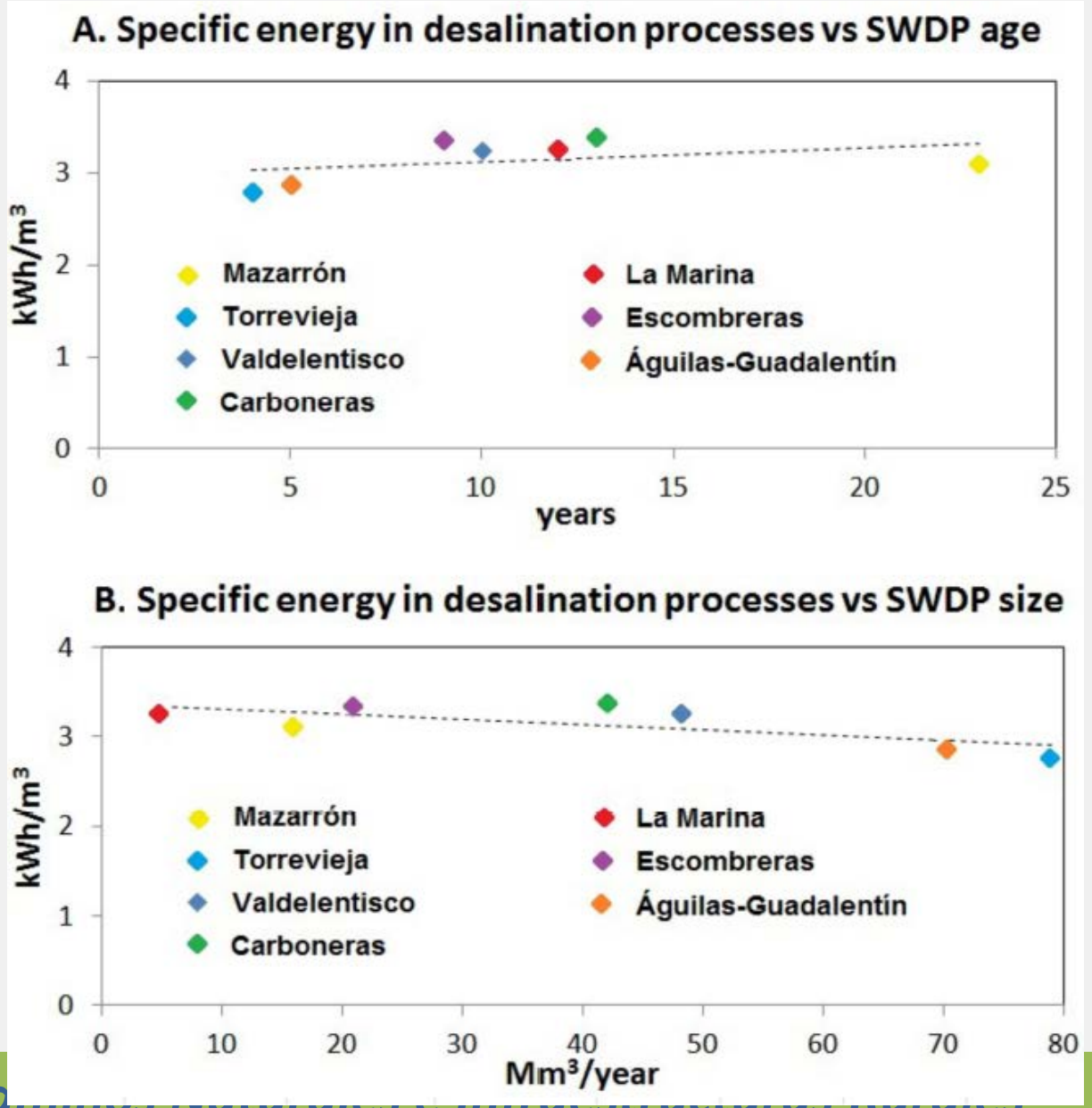
Energía específica por etapas y total (kWh/m³) del suministro de AMD para riego agrícola en el SE Español (Fuente:"Characterization of the Agricultural Supply of Desalinated Seawater in Southeastern Spain" Water 2019, 11, 1233; doi:10.3390/w11061233)

- Los valores habitualmente publicados en distintos artículos e informes no suelen considerar la energía consumida en el **transporte hasta las comunidades de regantes.**
- Tampoco suelen considerar el consumo de **energía para distribuir el agua en las comunidades de regantes**.
- Además, habría que añadir la **energía consumida en parcela para presurizar los sistemas de riego** (≈0,17 kWh/m³ en riego localizado).

1. CONSUMO DE ENERGÍA EN PRODUCCION Y SUMINISTRO DE AMD

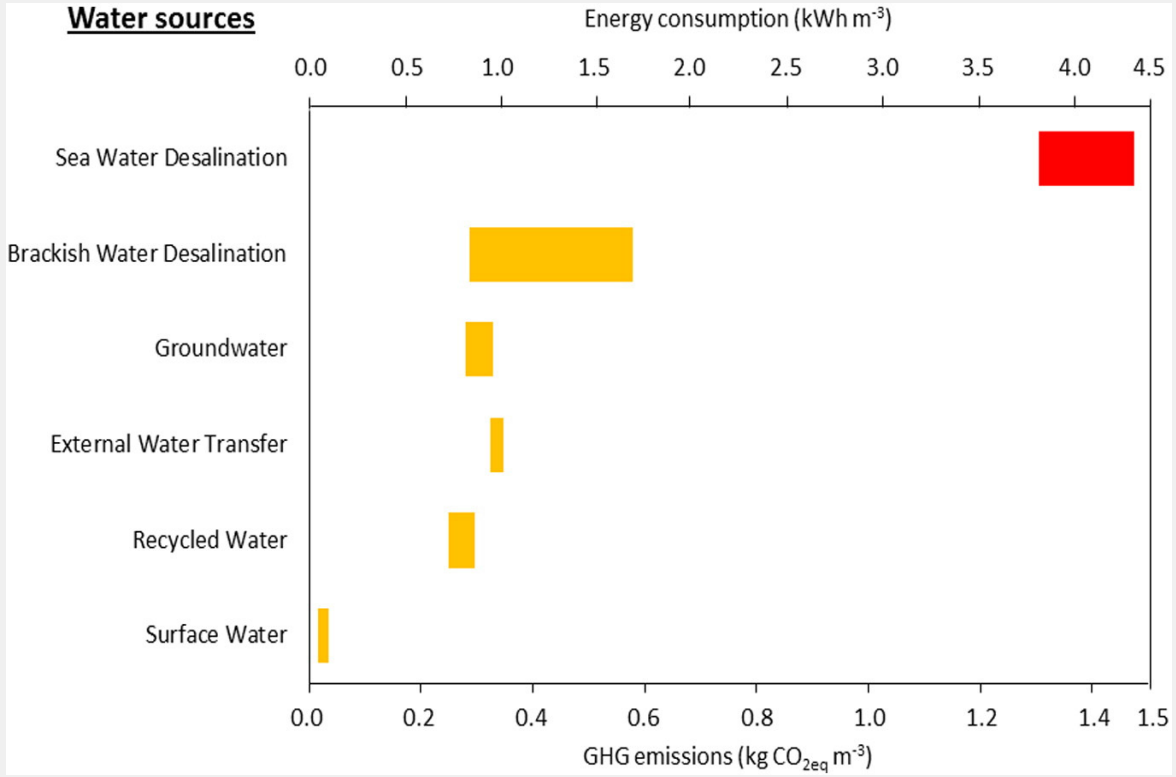
Consumo en las distintas etapas del suministro agrícola

- Cuando se analizan las IDAMs de una región suele apreciarse un claro **efecto de la escala y la antigüedad de la planta** en el consumo de energía específica:

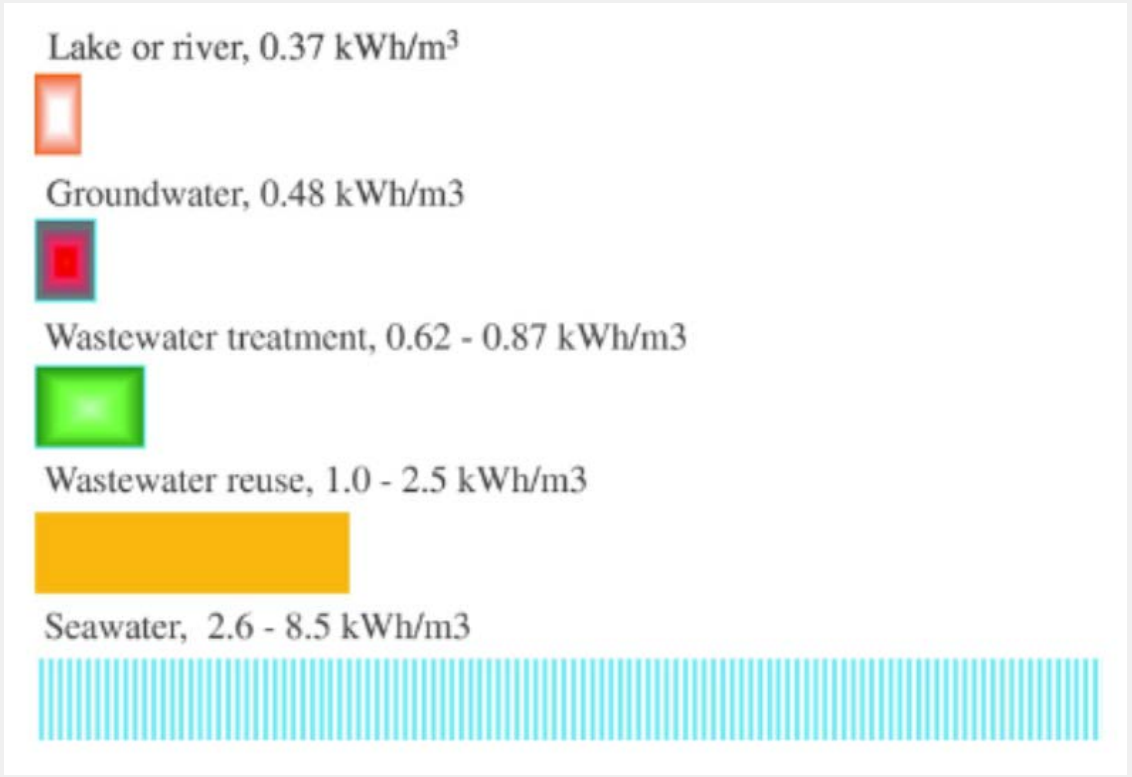


1. CONSUMO DE ENERGÍA EN PRODUCCION Y SUMINISTRO DE AMD

Comparación con otros recursos hídricos



Energía específica de las distintas fuentes de agua para riego agrícola en el SE de España (Fuente:"Seawater desalination for crop irrigation — A review of current experiences and revealed key issues" Desalination 381 (2016) 58–70).



Consumos típicos de energía específica de las distintas fuentes de agua (Fuente:"Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability" Desalination 413 (2017) 52–64).

2. COSTES EN LA PRODUCCIÓN Y SUMINISTRO DE AMD

Tipos de costes

- **Costes específicos o unitarios (**por m^3 de AMD)**.**

C. TOTAL = C. AMORTIZACIÓN Y FINANCIACIÓN (CAPEX) + C. OPERACION y MANTENIMIENTO (OPEX) + COSTE DE TRASPORTE Y DISTRIBUCIÓN

- **CAPEX:** adquisición de terrenos, construcción de la planta, obras de captación y suministro, emisarios marinos, **costes financieros**…

Son dinámicos → Vida útil o periodo de amortización, producción,…

- **OPEX (**mano de obra, reemplazo de membranas, potencia eléctrica, seguros…) y **variables** (consumo eléctrico, aditivos en pre y post-tratamiento, consumibles, …)

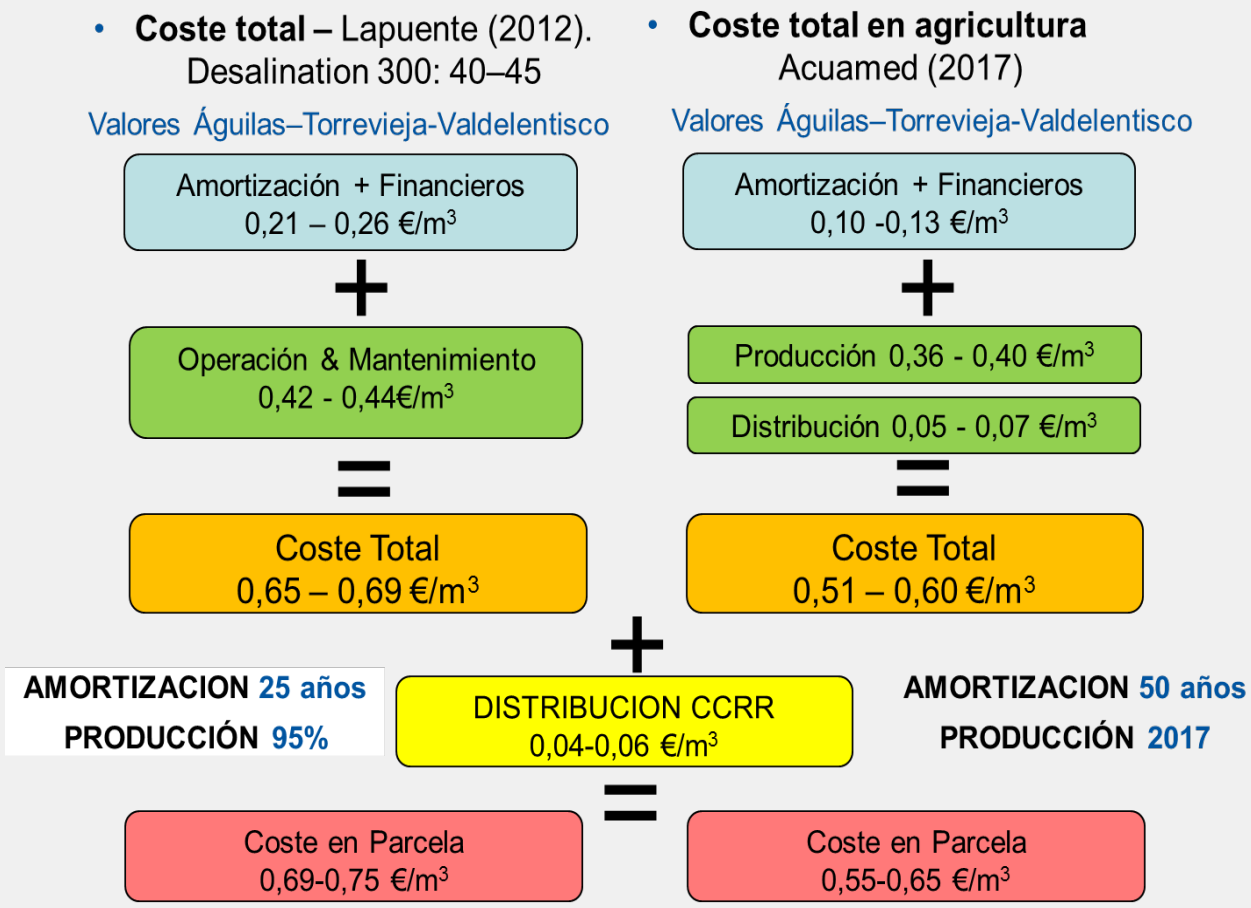
Son dinámicos → Coste energético ≈ 60-80%

- **T&D (CAPEX + OPEX):** Transporte a embalse regulador y distribución final hasta la explotación agrícola. Caracterizados por la **distancia, el desnivel y la singularidad de la Comunidad de Regantes.**

Son dinámicos → Coste energético ≈ 90%

2. COSTES EN LA PRODUCCIÓN Y SUMINISTRO DE AMD

Ejemplos de costes de producción de AMD en España



- Son valores son bastante **parecidos a los publicados para las IDAMs israelitas** (0,50 – 0,66 €/m³), según Spiritos y Lipchin (2013).

- Los valores de coste total de ACUAMED (2017) son **sensiblemente inferiores** a los de Lapuente (2012). Esta diferencia se debe principalmente a dos motivos:
  - (1) los costes del capital para uso agrario se calculan considerando una **vida útil** de 50 años, mientras que Lapuente considera sólo 25 años, resultando en una disminución próxima al 50%;
  - (2) tanto el consumo energético específico como el **coste de suministro eléctrico ha evolucionado favorablemente** en el último lustro.

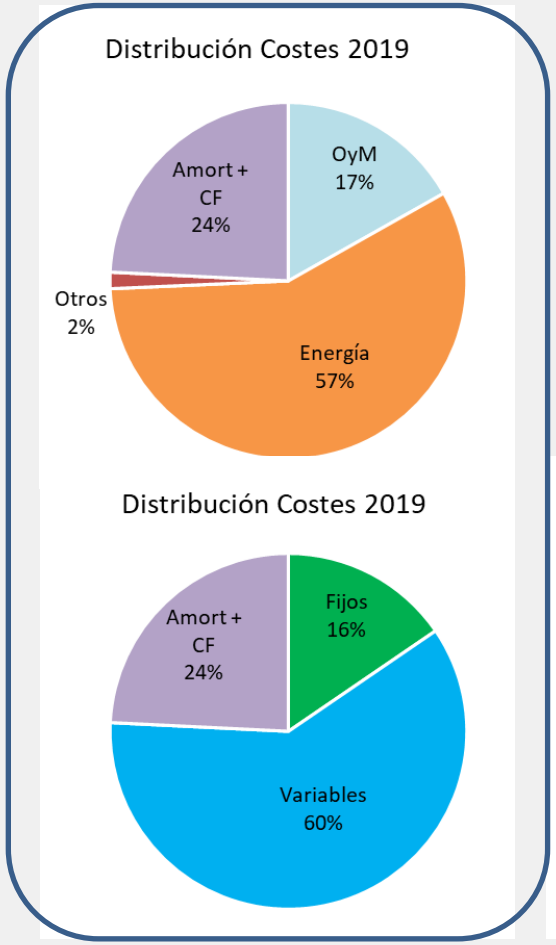
FUENTES:

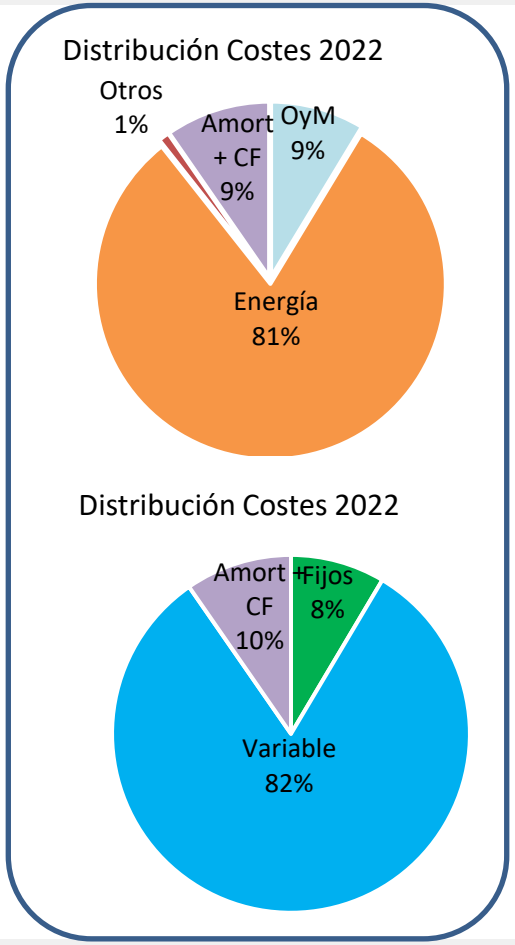
LAPUENTE, E. 2012. Full cost in desalination. A case study of the Segura River Basin, Desalination 300: 40-45

ACUAMED. (2017). El uso del agua marina desalinizada en la agricultura de regadío. I Jornada Cátedra Trasvase y Sostenibilidad – Jose Manuel Claver Valderas. Medidas complementarias para mitigar la escasez estructural de agua en el regadío del sureste español. Cartagena 2017.

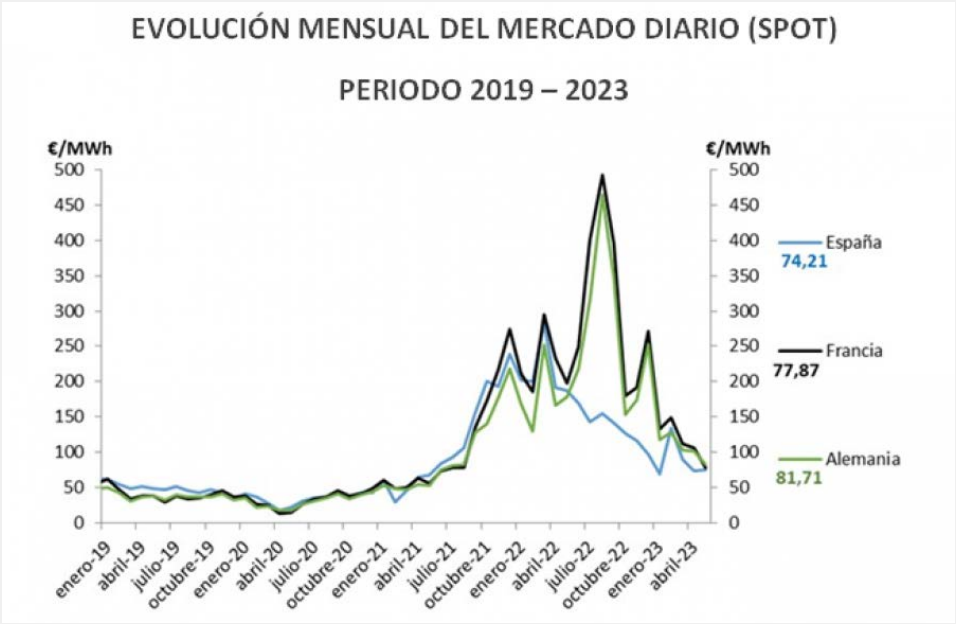
2. COSTES EN LA PRODUCCIÓN Y SUMINISTRO DE AMD

Ejemplos de distribución de costes en España (ACUAMED, 2024)



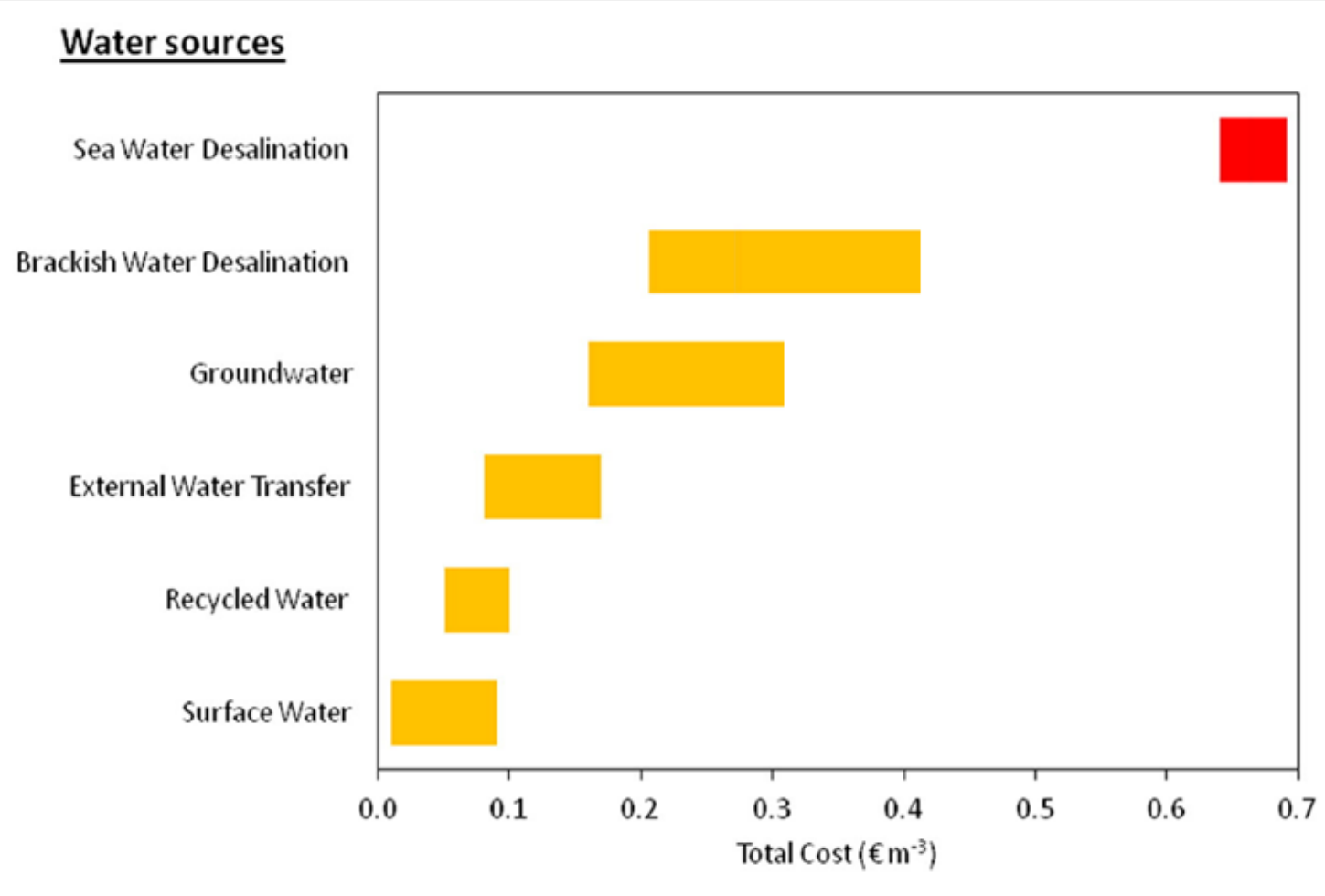


- El **consumo energético ha venido representando cerca del 60%** coste total de producción, pero se disparó hasta el **80% en 2022**.
- El **precio del kWh** es el factor que mas condiciona el coste de producción del AMD, y el más importante en las posibles variaciones del coste total.



2. COSTES EN LA PRODUCCIÓN Y SUMINISTRO DE AMD

Comparación con otros recursos hídricos en el SE de España

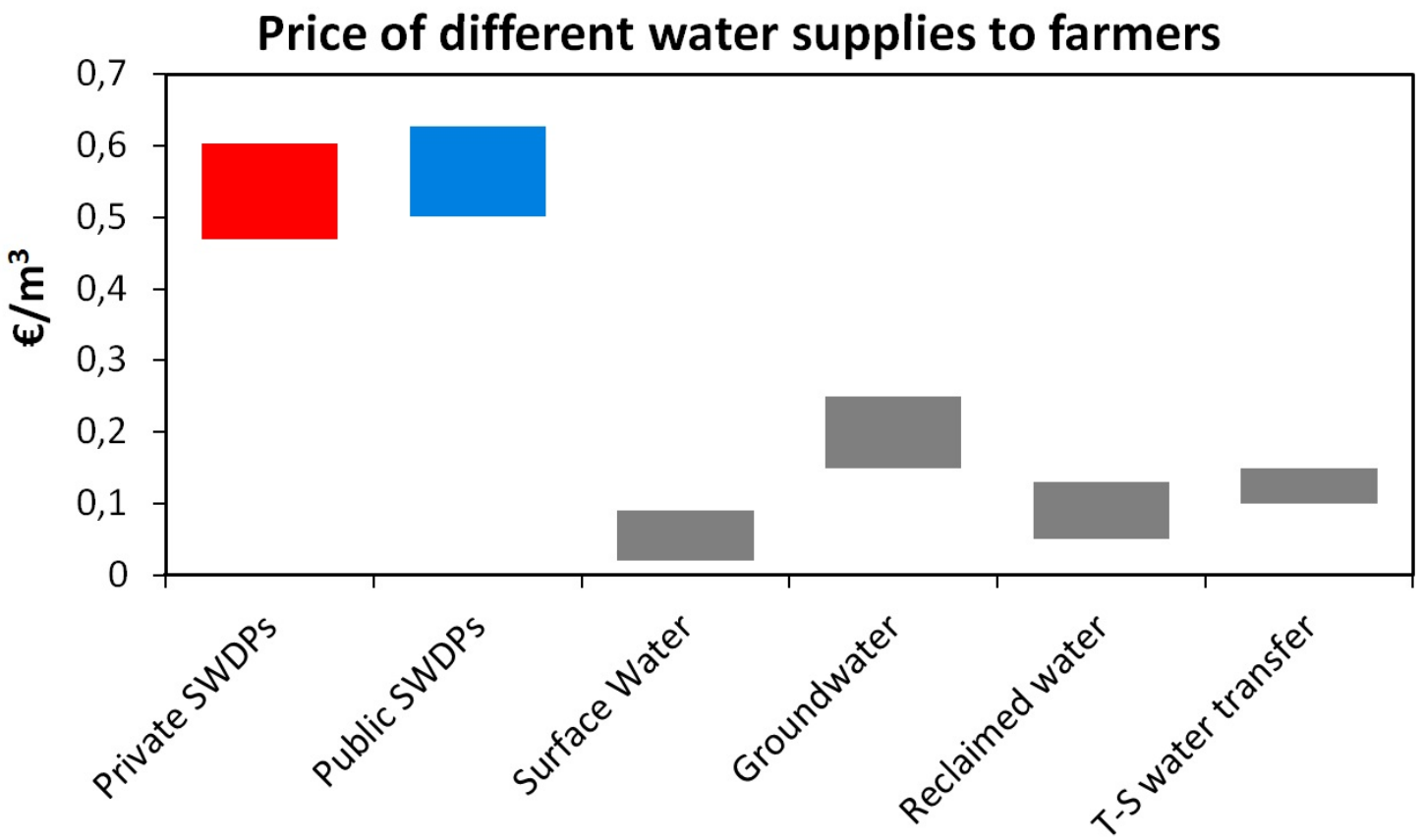


- El coste de producción y suministro del AMD tiene una **repercusión directa en su precio**.
- Dado que **el agua se considera un bien público y común**, el precio del agua suele plantearse con el fin de **compensar los costes totales de producción y suministro**.
- Aunque existen **IDAMs de propiedad privada** (Comunidades de Regantes), en las mismas también rigen los principios de recuperación de costes.

3. PRECIO DEL SUMINISTRO DE AMD PARA RIEGO

Comparación con el precio de otras fuentes de agua en el SE de España

Precios (€/m³) de distintos suministros agrícolas en las comunidades de regantes del Campo de Cartagena y Valle del Guadalentín

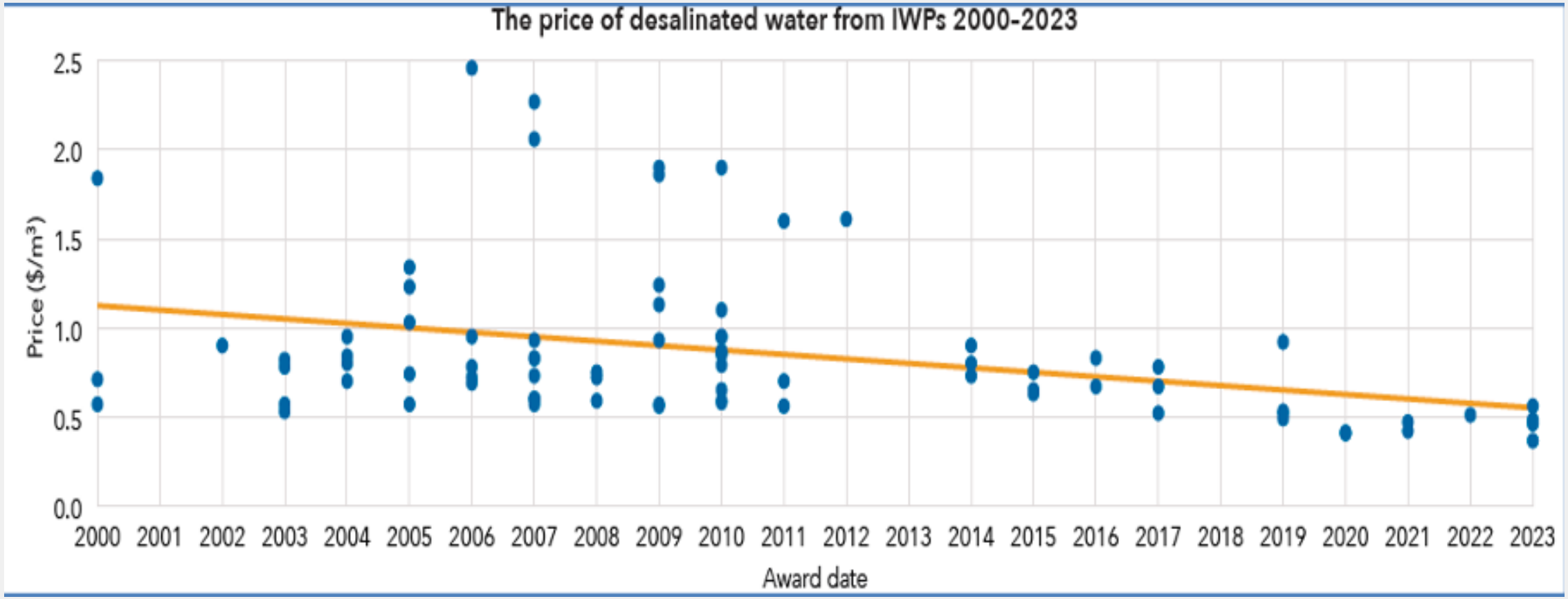


- El **precio final que paga el agricultor** incluye otras cargas como:
  - **Impuestos** (10% IVA).
  - **Canon** por el uso de infraestructuras (canales del postrasvase).
  - El precio se sitúa próximo a los valores del coste total de producción y suministro analizados anteriormente (**trasparencia**).

- El **precio del AMD es muy superior al resto de fuentes de suministro**, por lo que el agricultor evitará su uso siempre que sea posible → problema de **bajo nivel de producción** en IDAMs.

3. PRECIO DEL SUMINISTRO DE AMD PARA RIEGO

Tendencia del precio del AMD a escala global



- Históricamente y a nivel global el precio del AMD ha presentado una **tendencia bajista**, situándose actualmente en el rango 0,5-0,6 €/m^3.
- En el periodo 2022-2023, llegó a superar 1 €/m^3 en las plantas del Sureste Español, como consecuencia de los **elevados costes energéticos**.

3. PRECIO DEL SUMINISTRO DE AMD PARA RIEGO

¿Qué precio están dispuesto a pagar los agricultores?

- Los **agricultores** consideran que precios del AMD en el rango 0,5 – 0,6 €/m^3 son excesivos para garantizar la rentabilidad de sus explotaciones.
- En general, reclaman la consideración de un **precio social**, de forma que ellos asuman hasta 0,35 – 0,40 €/m^3, siendo el resto hasta el precio real asumido por el estado en forma de **subvención**.
- En concordancia con esta reclamación de los agricultores, el MITECO ha diseñado una **"transición hídrica justa"** para compatibilice los aspectos ambientales y de cambio climático con la **incorporación de más recursos de desalación a un coste asumible para el regadío**. Esta transición implica:

3. PRECIO DEL SUMINISTRO DE AMD PARA RIEGO

Comparación con el precio de otras fuentes de agua en el SE de España

- Esta "transición hídrica justa" se materializa mediante la **Orden TED/157/2023**, por la que se establece la **excepción temporal y parcial al principio de recuperación de costes** de la Ley de Aguas, para el aprovechamiento de **recursos hídricos procedentes de desalinizadoras** de agua de mar en la Cuenca Hidrográfica del Segura, en la provincia de Almería y en la conducción Júcar-Vinalopó.
- El régimen transitorio hasta alcanzar el escenario final contempla los siguientes precios del AMD para uso agrícola en las principales IDAMs del sureste español:
- Esta subvención al suministro agrícola de AMD se ha mantenido hasta la actualidad (2026)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Orden TED/157/2023, de 21 de febrero, por la que se establece la excepción temporal y parcial al principio de recuperación de costes del artículo 111 bis del texto refundido de la Ley de Aguas, para el aprovechamiento de recursos hídricos procedentes de desalinizadoras de agua de mar en la Cuenca Hidrográfica del Segura, en la provincia de Almería y en la conducción Júcar-Vinalopó.

Torrevieja:	0,327 €/m^3
Valdelentisco:	0,378 €/m^3
Carboneras:	0,450 €/m^3
Águilas:	0,396 €/m^3
Campo de Dalías:	0,475 €/m^3

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

Principales aspectos agronómicos del riego con AMD



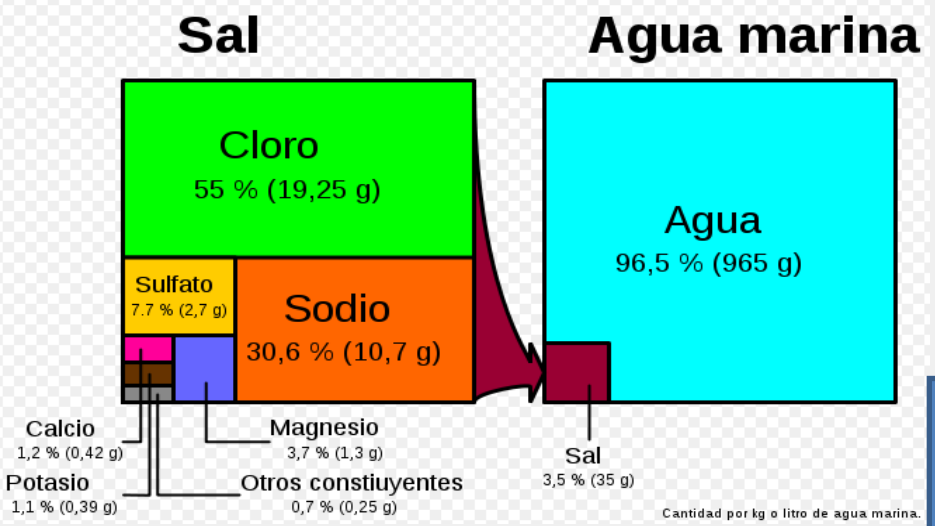






1. PRINCIPALES CARÁCTERÍSTICAS FÍSICO-QUIÍMICAS DEL AMD

- **Composición química del agua marina:**



- **Selectividad de las membranas de OI:**

Ión	Planta de 1 etapa (%)	Planta de 2 etapas (%)
Na^+	99,81	99,90
Mg^{2+}	99,53	99,90
Ca^{2+}	99,51	99,90
K^+	99,00	-
HCO_3^-	94,37	99,35
Cl^-	98,93	99,48
SO_4^{2-}	99,59	99,95
B	71,11	82,84

Agua Osmotizada:

- **pH muy acido.**
- **Muy baja CE: 0,4- 0,7 dS m^{-1} en 1 etapa y 0,1-0,4 dS m^{-1} en 2 etapas.**
- **Alta concentración relativa de Cl^-, Na^+ y boro.**
- **Prácticamente nula concentración de Ca^{2+}, Mg^{2+} y SO_4^{2-}, nutrientes esenciales.**
- **Variabilidad en su composición (membranas, temperatura,…)**

AMD:

Siempre baja CE y alta concentración relativa de Cl^-, Na^+ , el resto de las características muy condicionadas por el tipo e intensidad de los post-tratamientos de remineralización.

1. PRINCIPALES CARÁCTERÍSTICAS FÍSICO-QUIÍMICAS DEL AMD
Objetivos de la remineralización

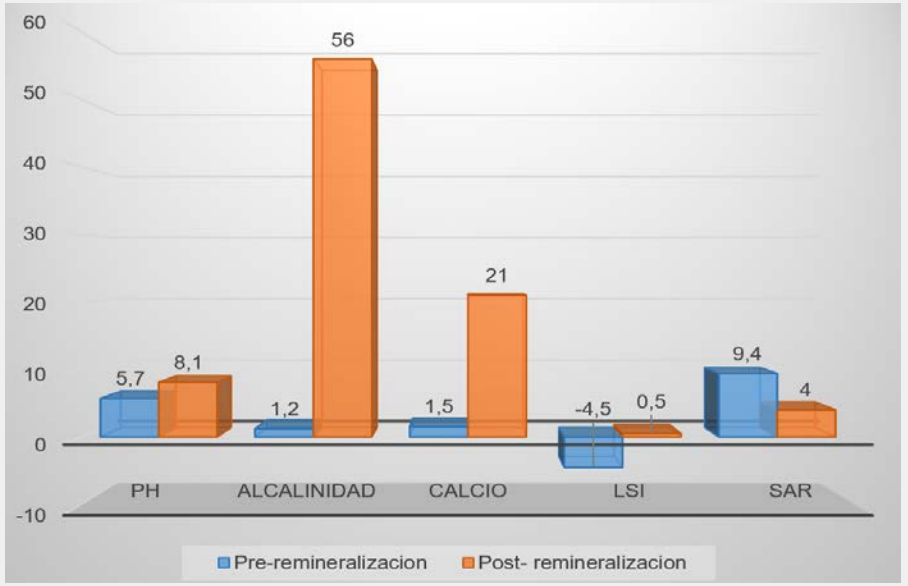
Agua Osmotizada:

- Reducida **salinidad** (CE < 400 dS m^{-1}) principalmente ClNa (≈80%).
- Muy baja **dureza** (Ca^{2+} y Mg^{2+} <2-3 mg/L).
- Muy baja **alcalinidad** (bicarbonatos <2-3 mg/L $CaCO_3$).
- Índice de Langelier (*LSI*) claramente negativo (-3 a -6), lo que implica alta **capacidad corrosiva** y de movilización de precipitados de carbonatos.
- **Índice de absorción de sodio** (*SAR*) elevado (> 9), perjudicial agronómicamente.

AMD (remineralizada):

- Reducida salinidad (CE < 450 dS m^{-1}), donde ClNa (≈70%).
- Incrementa la dureza aumentando los niveles de Ca^{2+} hasta 15-30 mg/L, pero no los de Mg^{2+}. En la naturaleza $[Ca^{2+}] \approx 2\text{-}3\ [Mg^{2+}]$; en AMD $[Ca^{2+}] \approx 8\text{-}10\ [Mg^{2+}]$
- Incrementa el contenido de bicarbonatos y, por tanto, la alcalinidad hasta niveles próximos a 50 mg/L $CaCO_3$. Proporciona capacidad tampón al AMD.
- Se estabiliza el agua químicamente con *LSI* próximo a 0.
- Se reduce el *SAR* a valores de 4-5, lo que no elimina los riesgos agronómicos, pero los reduce.

Ejemplo:



LSI: Langelier Saturation Index

SAR: Relación de adsorción del sodio (RAS)

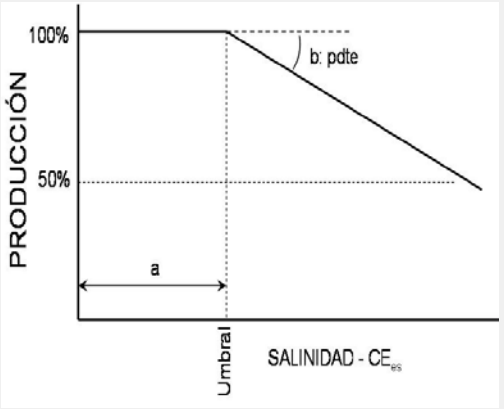
1. PRINCIPALES CARÁCTERÍSTICAS FÍSICO-QUIÍMICAS DEL AMD
Comparación con otras fuentes de agua típicas del SE de España

Parameter	Seawater desalination plants				Water from Tajo-Seg	Brackish groundwater (6)
	Torrevieja (1)	Águilas (2)	Escombreras (3)	Valdelentisco (4)		
EC (dS m^{-1})	0.46	0.48 ± 0.08	0.54	0.54 ± 0.15	0.85 ± 0.05	4.51 ± 0.98
Ca^{2+} (mg L^{-1})	29	14.9 ± 2.4	20	15.6 ± 1.8	94.6 ± 4.0	229.5 ± 39.3
Mg^{2+} (mg L^{-1})	4.3	1.4 ± 0.5	2.4	2.1 ± 1.1	41.7 ± 1.1	99 ± 17
SO_4^{2-} (mg L^{-1})	6.6	–	4.0	–	–	980 ± 364
Cl^- (mg L^{-1})	147	140 ± 30	140	182 ± 47	57 ± 23	972 ± 608
Na^+ (mg L^{-1})	86	76 ± 14	88	115 ± 18	51 ± 9	573 ± 153
B^{3+} (mg L^{-1})	0.56	0.85 ± 0.16	0.9	0.92 ± 0.14	0.13 ± 0.06	1.36 ± 0.54
Alkalinity as mg L^{-1} $CaCO_3$	–	–	52	–	–	–
Langelier Index (LI)	–	−0.06 ± 0.17	−0.10	−0.18 ± 0.18	1.01 ± 0.26	–
SAR	4.0	5.3 ± 1.2	5.0	5.6 ± 1.5	1.1 ± 0.2	15.4 ± 10.6
pH	8.3	8.6 ± 0.2	8.2	8.7 ± 0.2	8.4 ± 0.1	7.4 ± 0.5

(1) Values from 1 analysis (July 2014).
(2) Average value and standard deviation of daily values from January 1st to December 31th in 2015.
(3) Average value of daily values from November 8th in 2015 to November 7th in 2016.
(4) Average value and standard deviation of daily values from January 1st to December 31th in 2014.
(5) Average value and standard deviation of 18 samples taken throughout 2014 and 2015.
(6) Values from samples in 11 wells located in Campo de Cartagena Irrigation District.

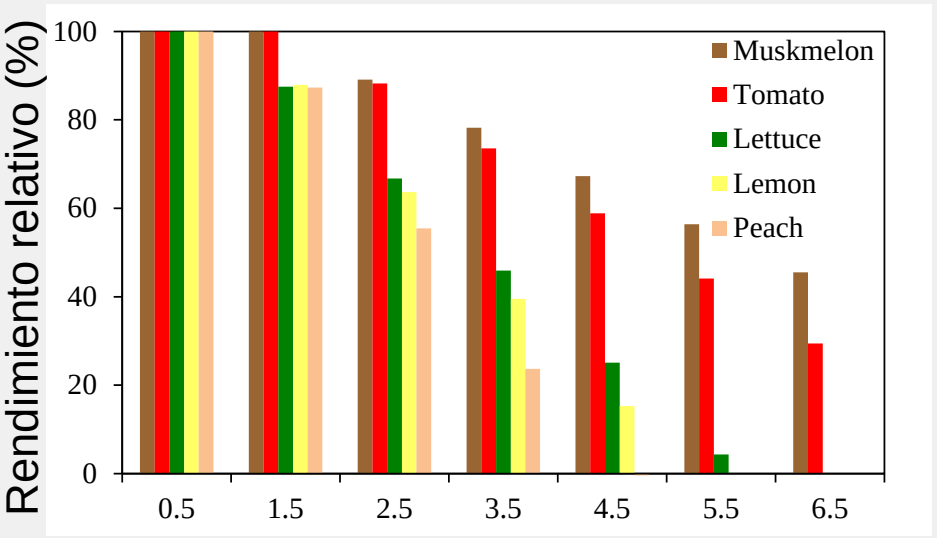
2. EFECTOS DE LA SALINIDAD EN LA PRODUCCIÓN

- La **productividad** de los cultivos se ve limitada por la **salinidad** del agua de riego → **Función de producción (modelo AQUACROP de FAO)**.
- **La baja salinidad del AMD** puede dar lugar a un **aumento de la productividad y de los ingresos**.



Cultivo	CE_e*	CE_a**	CE_e	CE_a	CE_e	CE_a	CE_e	CE_a
	Nivel umbral de salinidad sin disminución de crecimiento y/o rendimiento		Disminución de rendimiento (%) por unidad CE incrementada		CE (mS/cm) que genera una pérdida de rendimiento de 10%		CE (mS/cm) que genera una pérdida de rendimiento de 25%	
Hortalizas								
Lechuga	1,3	0,9	13,2	20,8	2,1	1,4	3,2	2,1
Melón	2,2	1,5	7,1	10,9	3,6	2,4	5,7	3,8
Papa	1,7	1,1	11,9	17,9	2,5	1,7	3,8	2,5
Pepino	2,5	1,7	13,2	20,8	3,3	2,2	4,4	2,9
Pimiento	1,5	1,0	13,9	20,8	2,5	1,5	3,3	2,2
Tomate	2,5	1,7	10,0	14,7	3,5	2,3	5,0	3,4
Frutales								
Aguacate	1,3	0,9	21,3	33,3	1,8	1,2	2,5	1,7
Banana	0,73	0,5	27,8	41,7	1,1	0,7	1,6	1,1
Fresa	1,0	0,7	31,3	50,0	1,3	0,9	1,8	1,2
Manzano	1,7	1,0	15,9	20,8	2,3	1,6	3,3	2,2
Naranjo	1,7	1,1	16,7	21,7	2,3	1,6	3,2	2,2
Uva de Mesa	1,5	1,0	9,6	14,7	2,5	1,7	4,1	2,7

* CE_e = Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo (mS/cm a 25 °C)
** CE_a = Conductividad eléctrica del agua de riego (mS/cm a 25 °C).



Water quality for agriculture
FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 29

2. EFECTOS DE LA SALINIDAD EN LA PRODUCCIÓN y LAS NECESIDADES TOTALES DE RIEGO

ESCENARIO 1. El AMD sustituye aguas de baja calidad (CE superior al valor umbral de la función de producción):

- **Efectos positivos en la producción, más intensos cuanto peor es el agua sustituida.**
- **Disminución de necesidades de riego (menor fracción de lavado de sales).**
- **En las zonas áridas y semi-áridas es frecuente el riego con aguas de baja calidad (subterráneas, regeneradas, retornos agrícolas, …) por lo que será un caso bastante habitual.**

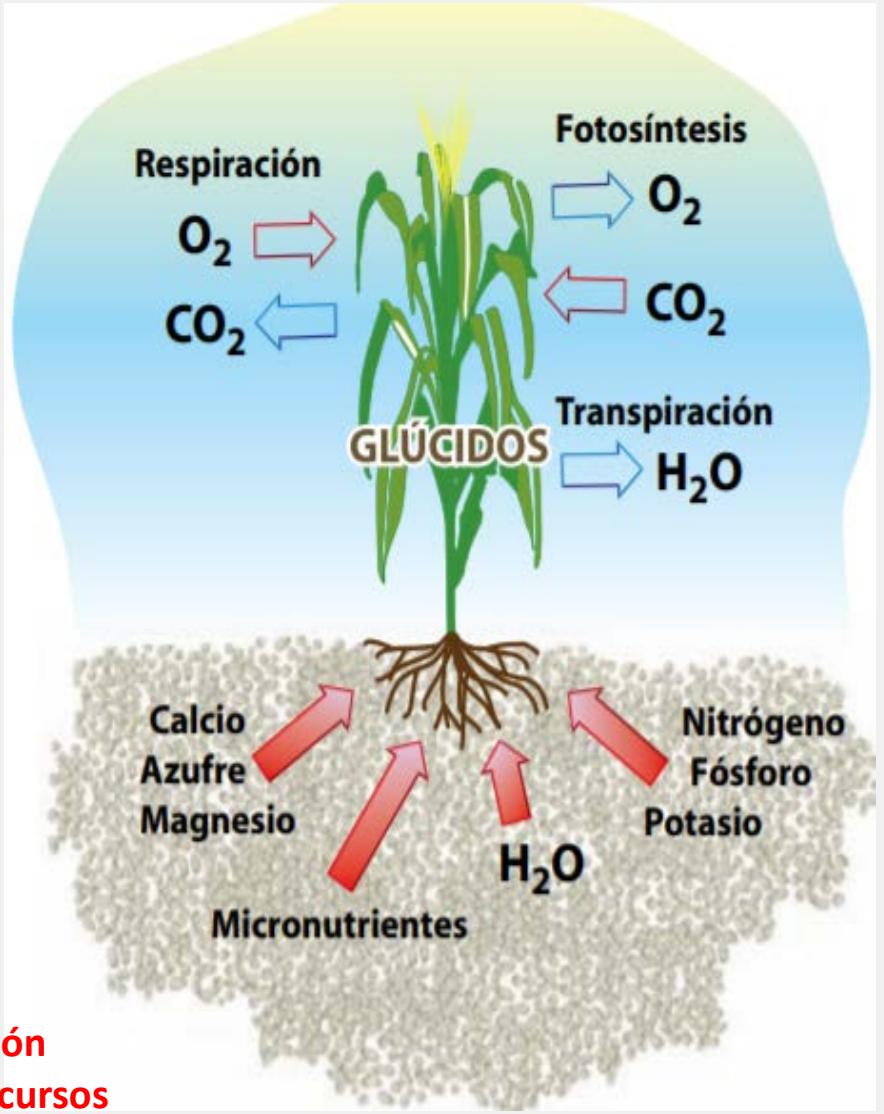
ESCENARIO 2. El AMD sustituye aguas de buena calidad (CE inferior al valor umbral de la función de producción, *ej.* Tajo-Segura → 0,9 dS/m):

- **No son esperables efectos positivos significativos ni en la producción ni en las necesidades totales de riego**

3. Ajustes nutricionales en la fertirrigación (Ca^{2+} y Mg^{2+})

- Calcio, Magnesio y Azufre son **nutrientes esenciales** (macronutrientes) que **se absorben como Ca^{2+} y Mg^{2+} y SO_4^{2-}.**
- Tradicionalmente:
  - En **cultivos en suelo** no suelen formar parte de los programas de fertirrigación. Suficiente **presencia en el suelo y el agua de riego**.
  - En **cultivos sin suelo** (hidropónicos o en sustrato) forma parte de los programas de **fertirrigación ↔ concentración en el agua de riego**.

- Su presencia en el **agua osmotizada** es prácticamente nula.
- La concentración de **Ca^{2+} se incrementa en el postratamiento**, mientras que la de **Mg^{2+} y SO_4^{2-} permanece muy baja.**
- Como resultado , la concentración de estos iones suele ser **bastante inferior a la de las aguas convencionales** y resulta necesario:
  - **Adaptar la fertirrigación** en **cultivos sin suelo**
  - Realizar un **seguimiento preventivo de Ca^{2+} y Mg^{2+}** (suelo y planta) en **cultivos con suelo** y adaptar fertilización si es necesario.



COSTE

Alternativa : Gestión conjunta con otros recursos

3. Ajustes nutricionales en la fertirrigación (Ca^{2+} y Mg^{2+})

¿Cual es el coste de adaptar la fertirrigación?

COSTE **¿Cuanto?**



TECHNICAL REPORTS: VADOSE ZONE PROCESSES AND CHEMICAL TRANSPORT

Fertilization and Blending Alternatives for Irrigation with Desalinated Water

Alon Ben-Gal* and Uri Yermiyahu Agricultural Research Organization
Shabtai Cohen Central and Northern Arava Research and Development

In arid-zone agriculture where available irrigation water is saline, desalination is becoming an attractive method for increasing yields and reducing negative environmental consequences. However, irrigation with desalinated water can be problematic if essential nutrients, including Ca, Mg, and S, removed during reverse osmosis, are not reintroduced. We evaluated two strategies for supplying these nutrients — direct fertilization and blending of desalinated with saline groundwater —experimentally in a greenhouse and in a model for a case study regarding pepper (*Capsicum annuum* L.) production. Reducing salinity from electrical conductivity (EC) 3.20 to EC 0.40 dS m^{-1} by reverse-osmosis desalination increased maximum yields by almost 50% while allowing a reduction of applied irrigation water to half of that with the saline water, but the associated cost of fertilizing with Ca, Mg, and S minerals was high (around $0.50 m^{-3}). Blending 30% saline water with 70% desalinated water brought Ca, Mg, and S minerals to satisfactory levels while producing water with salinity of EC = 1.35 dS m^{-1}. Comparison of relative pepper yields and analysis of simulated results showed that irrigation with blended water maintained yields greater than 90% compared to irrigation with fully desalinated water, but only as irrigation rates were increased by more than 50%. The environmental cost of the increase in irrigation-water salinity from EC 0.40 to EC 1.35 dS m^{-1} in the blended water was shown to be substantial as it involved five times greater leading (into the soil) and leaching (beyond the root zone) of salts and other contaminants.

Copyright © 2009 by the American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

Published in J. Environ. Qual. 38:529–536 (2009).
doi:10.2134/jeq2008.0199
Received 29 Apr 2008.
*Corresponding author (bengal@volcani.agri.gov.il).
© ASA, CSSA, SSSA
677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA

THE use of desalinized water as a source of irrigation water for agriculture is on the rise (Yermiyahu et al., 2007b). Since it is estimated that irrigation is responsible for 87% of global water consumption (Shiklomanov, 1997; Döll and Siebert, 2002), current freshwater resources may soon be insufficient to meet the growing demand for food. Technological advances have made desalination an economically feasible solution for high-return agriculture, especially in arid regions where water cost may be excessive due to distance from, or depth to, the water supply. A recent expert report by the United Nations Food and Agriculture Organization (Martinez Beltran and Koo-Oshima, 2006) concluded that while the costs of desalination are still prohibitively high for full use by most irrigated agriculture, its use with high-value cash crops, such as greenhouse vegetables and flowers, has become economically feasible at the present prices. In fact, desalinization of wastewater effluent or brackish groundwater often found in arid regions typically costs half or less than desalination of seawater (Zhou and Tol, 2005). Such desalinated brackish water is being used more and more by farmers for irrigation (Martinez Beltran and Koo-Oshima, 2006).

Replacing saline irrigation water with desalinated water is anticipated to increase yields due to reduced salinity stress and to allow drastic decreases in the amount of water currently used for leaching salts out of the root zone. For these reasons, desalination has, in fact, become a real option for planners, decision-makers, and growers in areas like Israel's Negev Highlands and Arava Valley. Nevertheless, the initial experience with desalinated water has not been completely positive (Yermiyahu et al., 2007a,b). The water leaving reverse-osmosis desalination plants is not low only in unwanted dissolved salts — it also lacks a number of essential elements that farmers in the arid regions typically take for granted, including Ca, Mg, and S.

Fertilization with Ca, Mg or S is not usually necessary because of the considerable amounts of the minerals present in soils, irrigation water, incidentally applied with (phosphate) fertilizers (Follet et al., 1981) or, in the case of S, provided by atmospheric pollution (Marschner, 1995). Intensive horticulture, use of low-nutrient, highly leached soils, or soil-less media, and use of high-analysis fertilizers have made deficiencies of Ca, Mg, and S more common. Calcium and Mg play roles in plant growth independently and, through interactions with one another, influence product quality and disease resistance (Bangerth, 1973; Marcelis

A. Ben-Gal and U. Yermiyahu, Soil, Water and Environmental Sciences, Agric. Research Organization, Gilat Research Center, mobile post Negev 85280, Israel. S. Cohen, Central and Northern Arava Research and Development, Hazeva, Israel.

Abbreviations: BW, blended (desalinated and saline) water; DW, desalinated water; EC, electrical conductivity; ECe, saturated paste extract EC; ETp, potential evapotranspiration; GW, saline groundwater.

Ben-Gal, A. et al. 2009. *Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water*. Journal of Environmental Quality 38 : 529–536.

En Israel, un **cultivo de pimiento** en invernadero con sistema hidropónico incrementa el coste de fertilización en **3500 $/ha** al incorporar AMD.



Agricultural Water Management 239 (2020) 106257
Contents lists available at ScienceDirect
Agricultural Water Management
journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat

Assessing concerns about fertigation costs with desalinated seawater in south-eastern Spain

V. Martínez-Alvarez*,+, B. Gallego-Elvira*, J.F. Maestre-Valero*, B. Martin-Gorriz*, M. Soto-García*

ARTICLE INFO

Keywords:
Desalination
Irrigation
Fertilization
Water blending
Farming profitability

ABSTRACT

Desalinated sea water (DSW) provides a steady agricultural water supply that overcomes climatological and hydrological constraints, fostering food security and socio-economic stability in water-stressed regions. In the last decade, seawater desalination for irrigation has been massively implemented in south-eastern (SE) Spain amid rising pressure and competition for water resources. However, farmers seem reluctant to replace conventional water sources with DSW due to its higher price and the need for additional fertilization. This article assesses how fertigation cost increases can affect farming profitability when integrating DSW for irrigation. The increases in water and fertilizer costs of totally (100 %) and partially (50 %) replacing conventional water with DSW were calculated for the most representative crops of the Segura basin in SE Spain.

The results show that the total replacement of conventional resources implies a fertigation cost increase equivalent to 3.2–35.8% of the crop production costs. However, replacing only 50 % of the conventional resources reduces these figures by more than half (1.5–15.7%). This supra-linear decrease comes from the fact that although water blending halves the water cost increase, the fertilizer cost increase is reduced by more than half. Looking at the fertigation cost increase relative to crop profit, remarkable profitability losses were observed for all crops in the total replacement scenario (21.6–129.1%), which only fell to more acceptable levels in the partial replacement scenario (10.3–57.1%). In the scenario with 100 % DSW, the estimated revenue increase required to compensate for the increase in the fertigation cost seems unrealistic for traditional crops (> 15 % for melon and > 25 % for lemon) whereas substantially more moderate increases are demanded from all crops (< 10 %) when only 50 % DSW is used. Overall, this study stresses the need to properly evaluate water blending options to maintain agricultural profitability.

1. Introduction

Water-scarce regions increasingly need to devise water management strategies that include non-conventional resources to face the reality that traditional irrigation with conventional water cannot meet current nor future demands of irrigated agriculture (Burn et al., 2015; Kaner et al., 2017). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) put forward desalination as a potential option to adapt agriculture to climate change impacts, especially in arid and semi-arid regions (Bates et al., 2008). The industrial production of desalinated sea water (DSW) provides a steady water supply that overcomes climatological and hydrological constraints and mitigates drought risks. Its incorporation into regional water plans and policies fosters long-term food security and socio-economic stability in water-stressed regions. However, the high price and potential agronomic risks of DSW are bolstering farmers unacceptance and hindering its adoption.

DSW has emerged in the last decade as a promising water supply for the water-starved agricultural sector in the Mediterranean area, particularly in Spain and Israel (Martinez-Alvarez et al., 2016; Bar-Tal et al., 2017; Arabatzis et al., 2018). The first field experiences with DSW for agricultural use have shown both strengths and weaknesses. On the positive side, the low salinity of DSW boosts the quality and quantity of crop yields (since it is often used to replace marginal low-quality resources) while preventing salt leaching and preserving soils and groundwater (Martinez-Alvarez et al., 2017). On the negative side, the main drawbacks are: (i) the high energy consumption for production and distribution, which results in considerably higher unit costs than for conventional water and thus jeopardizes crop profitability (March

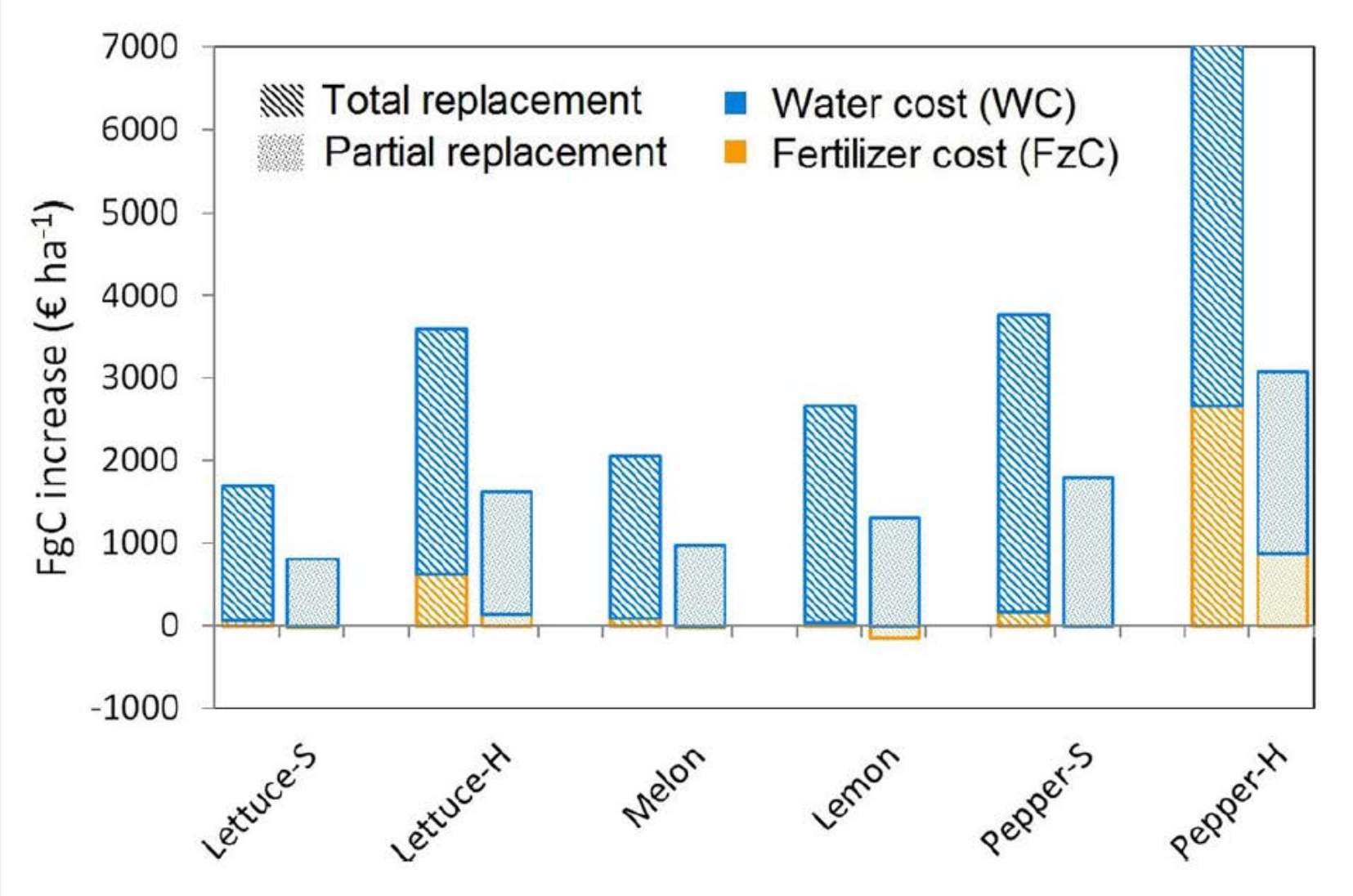
* Corresponding author.
E-mail address: victoriano.martinez@upct.es (V. Martínez-Alvarez).

https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106257
Received 21 February 2020; Received in revised form 30 April 2020; Accepted 6 May 2020
0378-3774/ © 2020 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0/).

Martínez Alvarez et al. 2020. *Assessing concerns about fertigation costs with desalinated seawater in south-eastern Spain*. Agricultural Water Management 239 (2020) 106257.

3. Ajustes nutricionales en la fertirrigación (Ca^{2+} y Mg^{2+})

Análisis del incremento de coste por fertirrigación en riego con AMD



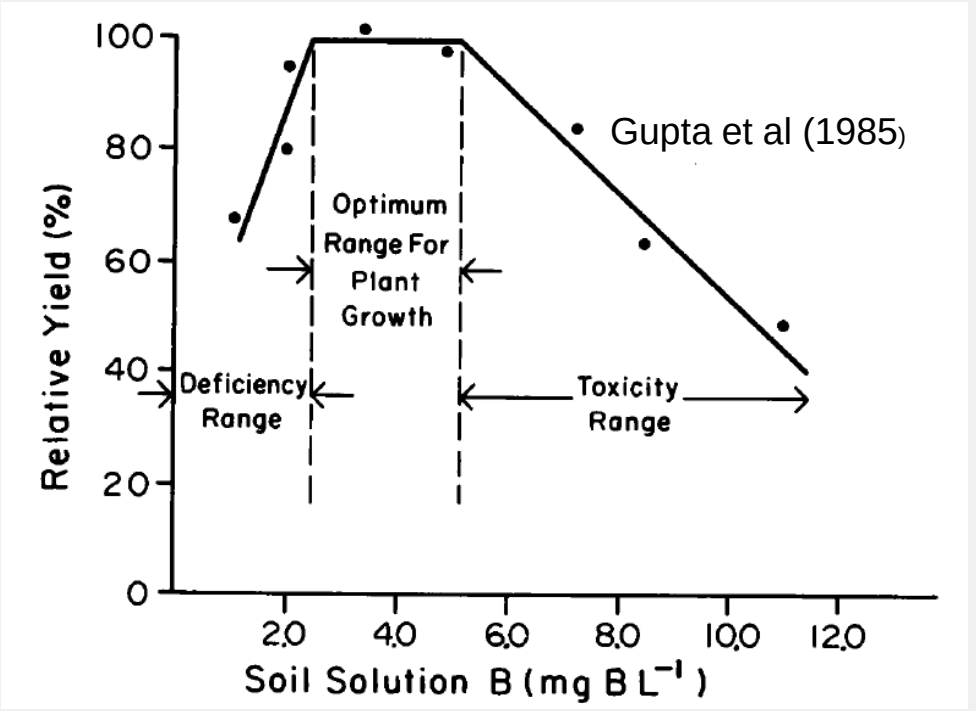
- Los **incrementos por fertilización son inferiores a los producidos por el coste del agua** en todos los casos.
- El incremento de los costes de fertilización al reemplazar el 100% de agua de riego con AMD es **significativo en los cultivos hidropónicos** (500-3000 €/ha-año) y **muy reducido en los cultivos sobre suelo** (50-250 €/ha-año).
- **Cuando se reemplaza sólo el 50% de AMD los incrementos de los costes de fertilización son insignificantes**, excepto para pimiento en hidropónico (≈ 1000 €/ha-año).
- En algunos cultivos (lechuga, melón y limón) incluso se produce un **abaratamiento de la fertirrigación**.
- Interés del uso conjunto de AMD con otras fuentes.

4.1. PROBLEMAS DE FITOTOXICIDAD

Por alta concentración de boro

- El boro es un **micronutriente esencial** para el desarrollo de las plantas, que se absorbe fundamentalmente como **borato** ($H_2BO_3^-$).
- Su presencia en las aguas superficiales y los suelos suele ser escasa, por lo que **suele formar parte de los programas de fertilización de los cultivos**, suministrándose mediante complejos que contienen varios micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Mb).
- Sin embargo, **si se superan determinados umbrales**, puede concentrarse en las hojas de las plantas y producir **fitotoxicidad**.

- Su **presencia en el AMD es elevada por su relativamente baja selectividad en las membranas,** como también puede ocurrir en las aguas regeneradas y en las aguas subterráneas salobres, por lo que **el uso continuado del AMD puede condicionar su utilización en agricultura por fitotoxicidad en especies sensibles** .



Gupta et al (1985)

Parameter	Seawater desalination plants			
	Torrevieja (1)	Águilas (2)	Escombreras (3)	Valdelentisco (4)
Cl^- (mg L^{-1})	147	140 ± 30	140	182 ± 47
Na^+ (mg L^{-1})	86	76 ± 14	88	115 ± 18
B^{3+} (mg L^{-1})	0.56	0.85 ± 0.16	0.9	0.92 ± 0.14

4.1. PROBLEMAS DE FITOTOXICIDAD

Por alta concentración de boro

- Los **valores de tolerancia** (FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Ayers y Westcot, 1994) tienen su origen en Haas (1929) y Eaton (1935):

Tolerance	Boron ($mg\ L^{-1}$)	Crops
Extremely sensitive	<0.5	Blackberry, lemon
Very sensitive	0.5–0.75	Avocado, grapefruit, orange, apricot, peach, cherry, plum, persimmon, Kadota fig, grape, walnut, pecan, onion, apple, plum
Sensitive	0.75–1.0	Garlic, sweet potato, wheat, sunflower, mung bean, sesame, lupine, strawberry, Jerusalem artichoke, kidney bean, snap bean, peanut
Moderately sensitive	1.0–2.0	Broccoli, red pepper, pea, carrot, radish, potato, cucumber, lettuce, pumpkin, spinach, tobacco, olive, roses
Moderately tolerant	2.0–4.0	Cabbage, turnip, Kentucky bluegrass, barley, cowpea, oats, corn, artichoke, mustard, sweet clover, squash, muskmelon, cauliflower
Tolerant	4.0–6.0	Alfalfa, purple vetch, parsley, red beet, sugar beet, tomato, cranberry, cotton, gladiolus, sesame, tulip, peppermint, rye.
Very tolerant	6.0–10.0	Sorghum, cotton, celery
Extremely tolerant	10.0–10.5	Asparagus

- Existe un **evidente riesgo de fitotoxicidad por boro**, ya que la concentración del AMD suministradas a la agricultura en el SE de España está entre 0,5 y 1 mg/L, superando el nivel de tolerancia de muchos cultivos muy sensibles y extremadamente sensibles presentes en la zona.
- Los cultivos más preocupantes son los leñosos (**cítricos y frutales de hueso**).
- En algunas IDAMs del Programa Agua (inicialmente las previstas para el suministro agrícola) se exigen **concentraciones de boro < 0,5 mg/L**, que implican dobles pasos de osmosis inversa. Donde prevalece el **suministro domestico se suelen ajustar a concentraciones ~ 1 mg/L**).



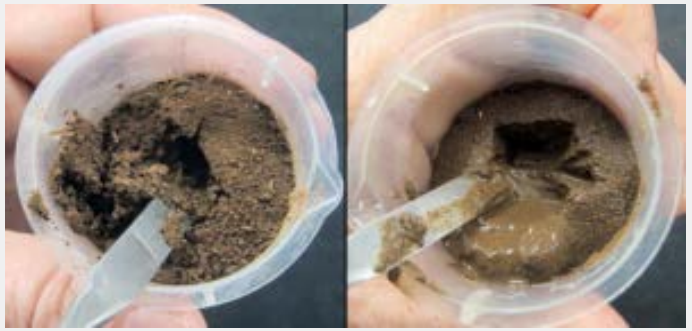
5. RIESGO DE ALCALINIZACIÓN DE SUELOS.

LA ALCALINIZACIÓN O SODIFICACIÓN DE SUELOS

- Se define como un exceso de sodio intercambiable en el **suelo,** estando generalmente asociado valores de **pH >7,5.**
- Bajo **condiciones de alcalinización**, los carbonatos cálcicos y magnésicos son minoritarios frente a los carbonatos sódicos, que causan la expansión de la arcilla cuando están húmedos, dando lugar a unas propiedades físicas desfavorables para la agricultura:
    - Compactación.
    - Pérdida de permeabilidad.
    - Falta de aireación del suelo.

- La principal **causa de la alcalinización** de suelos agrícola es el uso de **aguas de riego** con una mala relación [Na^+] vs [Ca^{2+} + Mg^{2+}].
- **El AMD se caracteriza por unos valores bajos de** [Ca^{2+}] y [Mg^{2+}] (prácticamente nulos antes del pos-tratamiento de remineralización) y valores relativamente altos de [Na^+].



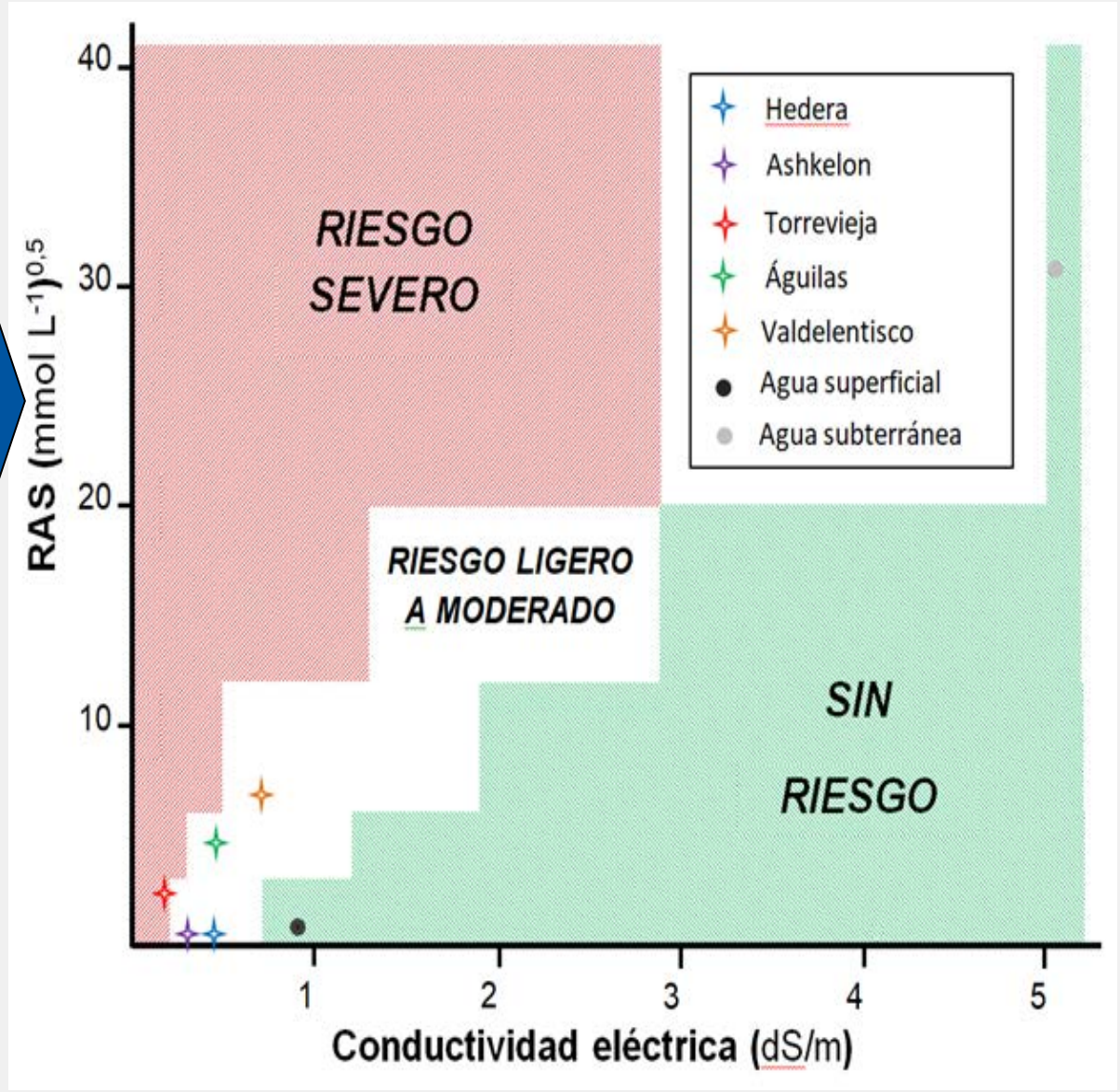


A la izquierda un suelo estructurado que absorbe bien el agua. A la derecha un suelo desestructurado, sin ninguna capacidad drenante.

5. RIESGO DE ALCALINIZACIÓN DE SUELOS.

Parameter	Seawater desalination plants				Water from Tajo-Seg	Brackish groundwater (6)
	Torrevieja (1)	Águilas (2)	Escombreras (3)	Valdelentisco (4)		
EC (dS m^{-1})	0.46	0.48 ± 0.08	0.54	0.54 ± 0.15	0.85 ± 0.05	4.51 ± 0.98
Ca^{2+} (mg L^{-1})	29	14.9 ± 2.4	20	15.6 ± 1.8	94.6 ± 4.0	229.5 ± 39.3
Mg^{2+} (mg L^{-1})	4.3	1.4 ± 0.5	2.4	2.1 ± 1.1	41.7 ± 1.1	99 ± 17
SO_4^{2-} (mg L^{-1})	6.6	–	4.0	–	–	980 ± 364
Cl^- (mg L^{-1})	147	140 ± 30	140	182 ± 47	57 ± 23	972 ± 608
Na^+ (mg L^{-1})	86	76 ± 14	88	115 ± 18	51 ± 9	573 ± 153
B^{3+} (mg L^{-1})	0.56	0.85 ± 0.16	0.9	0.92 ± 0.14	0.13 ± 0.06	1.36 ± 0.54
Alkalinity as mg L^{-1} $CaCO_3$	–	–	52	–	–	–
Langelier Index (LI)	–	−0.06 ± 0.17	−0.10	−0.18 ± 0.18	1.01 ± 0.26	–
SAR	4.0	5.3 ± 1.2	5.0	5.6 ± 1.5	1.1 ± 0.2	15.4 ± 10.6
pH	8.3	8.6 ± 0.2	8.2	8.7 ± 0.2	8.4 ± 0.1	7.4 ± 0.5

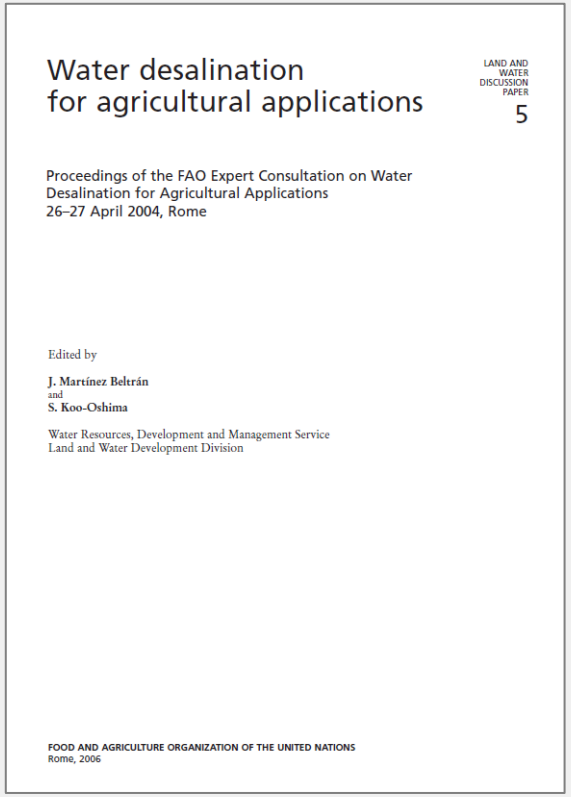
(1) Values from 1 analysis (July 2014).
(2) Average value and standard deviation of daily values from January 1st to December 31th in 2015.
(3) Average value of daily values from November 8th in 2015 to November 7th in 2016.
(4) Average value and standard deviation of daily values from January 1st to December 31th in 2014.
(5) Average value and standard deviation of 18 samples taken throughout 2014 and 2015.
(6) Values from samples in 11 wells located in Campo de Cartagena Irrigation District.



7. RECOMENDACIONES DE MANEJO DE AMD EN AGRICULTURA

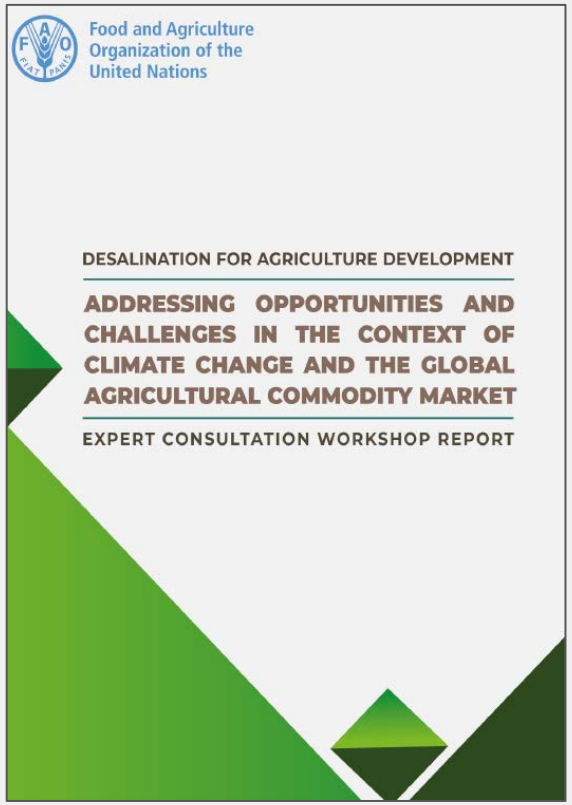
- La gestión conjunta del AMD con otras fuentes de agua (subterráneas, superficiales, regeneradas) compensa la singularidad química del AMD, por lo que se mitigan los riesgos agronómicos y se suaviza el impacto económico (recurso complementario).
- El caso más desfavorable y que conviene evitar es el riego con AMD al 100%. En cítricos se recomienda una monitorización de la explotación mediante programas de analíticas en suelo y hoja de cultivo.
- En todos los casos de sustitución total o parcial de recursos convencionales por AMD son necesarios ajustes en los programas de fertilización:
  - En cultivos en suelo son poco importantes y apenas tienen efectos económicos.
  - En cultivos sin suelo (hortícolas en invernadero) son importantes, especialmente el ajuste de $[Ca^{2+}]$ y $[Mg^{2+}]$ en la fertirrigación. El efecto económico es relevante.
  - En cultivos leñosos (cítricos, melocotonero, etc.) hay que prestar especial atención a la fitotoxicidad por boro, eliminando este elemento del complejo de micronutrientes que se aplica habitualmente.

DOCUMENTACION COMPLEMENTARIA



FAO, 2006

No Viable



FAO, 2025

Viable





GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN
SECRETARÍA DE ESTADO DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL, INNOVACIÓN Y FORMACIÓN AGROALIMENTARIA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE REGADÍOS, CAMINOS NATURALES E INFRAESTRUCTURAS RURALES

JORNADA "AGUAS NO CONVENCIONALES. APLICACIÓN EN EL REGADÍO"

3 de noviembre de 2026

DESALACIÓN DE AGUA PARA RIEGO: SITUACIÓN ACTUAL Y PRINCIPALES ASPECTOS TÉCNICOS Y AGRÓNOMICOS A CONSIDERAR

Prof. Victoriano Martínez Álvarez (*email:* victoriano.martinez@upct.es)

Catedrático de la Universidad Politécnica de Cartagena

Universidad Politécnica de Cartagena MIEMBRO DE EUT+ EUROPEAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Universidad Politécnica de Cartagena MIEMBRO DE EUT+ EUROPEAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY