

AHORRO DE AGUA Y ENERGÍA CON RIEGO LOCALIZADO SUBSUPERFICIAL

Leonor Rodríguez Sinobas, María Gil Rodríguez, Raúl Sánchez Calvo y Luis Juana Sirgado¹

Resumen

La escasez de alimentos básicos es motivo de gran preocupación actual. La FAO, en su perspectiva para el año 2030 estima que la producción de los mismos debe crecer al ritmo de años anteriores. En consecuencia, la productividad de los cultivos debe aumentar, y el riego habrá de seguir teniendo un papel fundamental. Ahora bien, su marco de actuación no será el mismo que en épocas pasadas.

La escasez de agua, el respeto al medio natural y la sostenibilidad de los ecosistemas serán los condicionantes a que deberá ajustarse el riego del futuro, y será un reto en los próximos años el desarrollo de la tecnología para mejorar sistemas de riego y lograr la aplicación del agua con riegos más eficientes.

De entre los métodos modernos de riego, el riego subsuperficial es uno de los que se ve favorecido por los nuevos condicionantes, dado que ahorra agua al reducir o eliminar la evaporación, con resultados del riego que mejoran, en ocasiones, a los del goteo tradicional. Por otra parte, la carga en cabeza de estos sistemas es menor, por lo que también favorece el ahorro de energía. Si a esto añadimos que son adecuados para el uso de aguas residuales, su futuro aún es más prometedor. El trabajo destaca el potencial del riego subsuperficial para reducir el consumo de agua y de energía sin afectar a la capacidad de producción de otros riegos localizados.

Palabras clave: Riego subsuperficial; escasez alimentos; ahorro; agua; energía.

Abstract

Key crops shortage is of a big concern nowadays. FAO in its prospects for 2030 points out that production of such us crops might follow the same increasing trend than in the last decades. Therefore, their productivity should rise and thus irrigation will play an important role. However its framework will be different than in past times.

Irrigation might adjust to the conditions of water scarcity and the environmental and ecological sustainability. The technical development in irrigation equipments to supply water more efficiently will be one goal of the future irrigation.

Subsurface drip irrigation is one of the irrigation methods favoured by the new framework. It shows higher capability for minimizing the loss of water by evaporation, runoff, and deep percolation in comparison to other methods. Its efficiency, sometimes, is better than surface irrigation; and it requires smaller inlet heads. Thus energy savings are also enhanced. On the other hand, its development in the near future is promising since wastewaters can be used with risk reduction in human and animal health. The work highlights the potential of subsurface irrigation to reduce water and energy maintaining the efficiency and productivity of other localised methods.

¹ Grupo de Investigación Hidráulica del Riego de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Perspectiva global de la producción de alimentos en el horizonte 2030

Los últimos estudios de la FAO alertan de la **escasez de alimentos básicos**, sobre todo de cereales. Esta tendencia continuará hacia el año 2030. Los cereales son el alimento básico en la alimentación humana y animal por lo tanto, la incertidumbre en este sector será crucial para mantener el abastecimiento de la población en el mundo y, quizás, la producción de biocombustibles.

En la Figura 1 se observa un aumento de la producción de cereales en 1 billón de toneladas desde la mitad de 1960 hasta la actualidad. Este incremento debería continuar durante los próximos 30 años pero no se sabe si se tendrá la capacidad para suministrar dicha cantidad tal como lo ha hecho hasta ahora.

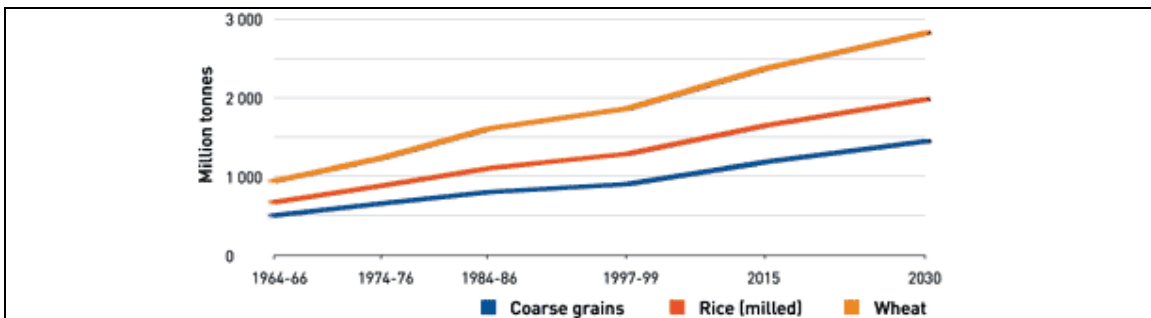


Figura 1. Demanda mundial de cereales desde 1965 a 2030. (Fuente: FAO Tendencias pasadas y predicciones futuras).

La Unión Europea ha pasado de importar 21 millones de toneladas de grano en la mitad de los años 70 a exportar 24 millones de toneladas en los años 1997-1999. Este comportamiento ha estado condicionado por la Política Agraria Comunitaria (PAC) que ha primado políticas proteccionistas y de precios regulados. A partir de 1999 varias reformas de la PAC han propiciado una cierta liberalización en los precios de los cereales europeos asemejándolos más a los internacionales. Aún así, aunque la liberalización de precios continúe la Unión Europea seguirá siendo un claro exportador de estos alimentos.

El aumento de la producción de alimentos conllevará en los países en desarrollo, a parte del uso de **fertilizantes y fitosanitarios**, el incremento de la superficie dedicada a los cultivos y el aumento de las **tierras regadas**. En el primero, se corre el riesgo de erosión del suelo y deforestación, lo que en el futuro conduciría a la disminución de la producción y desertificación. En el segundo, el mayor riesgo es el de la salinización del suelo ó problemas de avenamiento y la escasez de agua.

Con frecuencia, se muestra la preocupación de incrementar la producción de los cultivos básicos para abastecer la demanda mundial en los próximos años a costa de dañar el **medio ambiente** y de esquilmar los **recursos naturales**. Sin embargo, hay métodos que auspician una **agricultura sostenible** donde producciones óptimas se consiguen con un mínimo daño ambiental.

La mayoría de la **producción mundial** se produce mediante **riego**. En el mundo hay 278,8 millones de ha² regadas. De ellas, el 68% están en Asia, 17% en América, 9% en Europa, 5% en África y el 1% en Oceanía. En los años 1997-99, en los países desarrollados el 20% de la tierra agrícola era en regadío. Sin embargo, debido a sus mejores rendimientos y a una rotación mayor de cultivos proporcionaron el 40% de la producción total de alimentos y cerca del 60% de cereales. Esta tendencia continuará en las tres décadas siguientes. Se espera

² International Water Management Institute, IWMI, GMIA: Global Map of Irrigated Area, 2006.

que el aumento de tierras regadas en países en desarrollo aumente desde 202 millones de ha en 1997-99 a 242 millones de ha en 2030.

La FAO no ha hecho el estudio del futuro del riego en países desarrollados que contabilizan cerca del 25% de la superficie regada en el mundo. El riego en estos países aumentó rápidamente en la década de los años 70; pero desde 1990 el crecimiento se ha reducido y se estima crezca en un 0,3 % anual.

La agricultura demanda el 70% del agua consumida por el hombre en el mundo por lo que la producción de alimentos podría verse afectada por la **escasez de agua**. A este respecto, FAO señala que, a escala global, esta posibilidad no es alarmante pero indica que a escala más pequeña (región, país..) la escasez del agua puede ser un problema a considerar. En su estudio estima que el 20% de estos países sufrirá escasez de agua y estima que el agua dedicada al riego aumentará un 14% hasta el año 2030.

La FAO ha elaborado una clasificación de zonas agroecológicas en varios países en vías de desarrollo para conocer las tierras adecuadas para cultivo con el fin de conseguir la máxima productividad (ver Figura 2a). En el pasado, los agricultores con acceso a la tecnología, factores de producción y mercados han respondido rápidamente al aumento de los precios agrícolas. Parece claro que incluso si no se desarrollan nuevas tecnologías, hay todavía margen para incrementar la producción conforme a los requerimientos.

Uno de los factores para aumentar la producción es el aumento de los fertilizantes y se estima que un tercio del aumento de la producción de cereales desde 1970 hasta 1980 ha sido atribuido a dicho aumento. En la Figura 2b puede verse como las dosis aplicadas varían drásticamente entre países. América del Norte, Europa Occidental y el este y sur de Asia contabilizan el 80% del total de fertilizantes en los años 1994-1999.

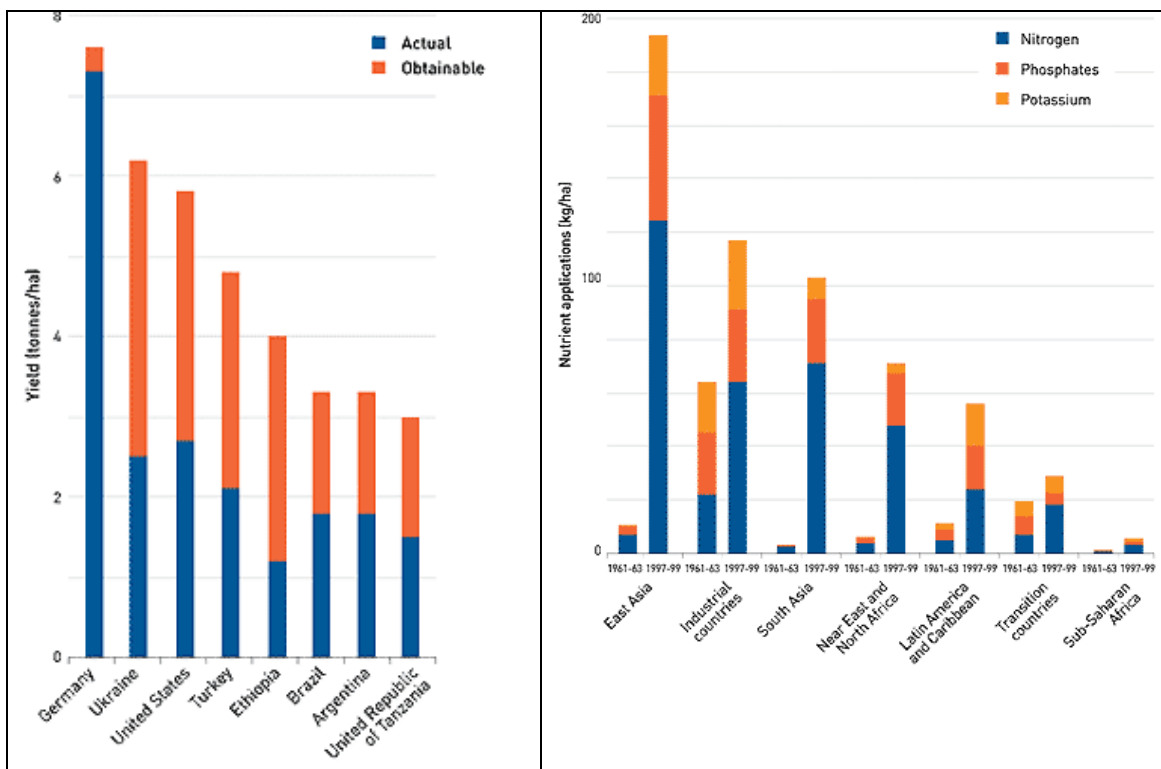


Figura 2a: Productividad actual de trigo y su predicción futura. (Fuente: FAO).

Figura 2b: Tendencia en la dosis de fertilizantes, aplicados desde 1961 a1999. (Fuente: FAO)

El consumo de fertilizantes aumentó fuertemente en las décadas: 1960, 1970 y 1980 pero disminuyó rápidamente en la de 1990. En países industrializados, esta disminución fue debida a la reducción de las ayudas de los gobiernos a la agricultura y al aumento de la concienciación de su impacto ambiental. En países en transición, el consumo de fertilizantes también ha caído rápidamente pero por otras causas de tipo económico como la recesión y reestructuración de los países. A escala mundial el consumo de fertilizantes se prevé que aumente una media de 1%/año durante las próximas tres décadas (mayor crecimiento en los países en desarrollo y menor en los desarrollados). El mayor crecimiento se prevé en países de la zona subsahariana.

Las incertidumbres en el sector agroalimentario mundial abiertas en los estudios de FAO obligan a nuevos retos y esfuerzos que permitan incrementar la **productividad** garantizando una **gestión sostenible** de los **recursos**. La situación agroalimentaria mundial, que se manifiesta con el encarecimiento de los alimentos, tiene consecuencias inmediatas para los grupos de población y países más vulnerables.

Perspectivas del regadío

El estudio mencionado arriba muestra al riego y los fertilizantes (mayoritariamente aplicados con el agua del riego) como dos factores básicos para aumentar o mantener la producción de alimentos. Por lo tanto, el regadío, como en tiempos pasados, volverá a ser un pilar decisivo, para tal fin, en las próximas décadas. Ahora bien, el contexto donde se desarrollará es diferente. El recurso agua es limitado y la presión de los organismos oficiales para preservar o recuperar el medio natural es cada vez mayor. Así, el regadío debe de concebirse dentro de un marco de **sostenibilidad con su entorno**.

La Política Agraria Común (PAC) ha ido integrando progresivamente nuevas demandas de la sociedad europea tales como el medio ambiente, la salud pública o la sanidad y el bienestar animal. La reforma de la PAC de 2003 ha condicionado las ayudas agrícolas, no sólo a los denominados requisitos legales de gestión, sino también a las buenas prácticas agrarias y medioambientales.

Las medidas para proteger la calidad de las aguas subterráneas van a hacer que la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios cada vez sea más rigurosa. El desarrollo de códigos de buenas prácticas agrícolas de organismos competentes para la **conservación del medio natural** irá en aumento con el fomento, entre otras medidas, de la aplicación de fertilizantes de manera controlada para reducir la contaminación de aguas subterráneas por la filtración profunda de los riegos. La programación de riegos deberá atender a los condicionantes impuestos por dichas agencias.

Los recursos de agua destinados a usos agrícolas han disminuido durante las últimas décadas. Por ello, es necesario que los métodos de riego sean cada vez más **eficientes**. La eficiencia en el uso del agua depende en gran medida del manejo del sistema por lo que las evaluaciones de campo deberían ser indispensables. Asimismo, las aguas superficiales y subterráneas destinadas al riego son cada vez más escasas y con problemas de calidad (salinización). La utilización de otros recursos: aguas desaladas y aguas residuales es ya una realidad y estos recursos se verán potenciados en el futuro.

Por otra parte, la **energía** es otro factor decisivo para el riego a presión y para las plantas desalinizadoras. La energía no es ilimitada por lo que su eficiencia, igual que la del agua, deberá ser optimizada. En este respecto cabe indicar, que el diseño de los nuevos modelos de emisores de riego debería primar no sólo el abaratamiento de costes sino también la forma hidrodinámica de los mismos para reducir las pérdidas de carga localizadas y por

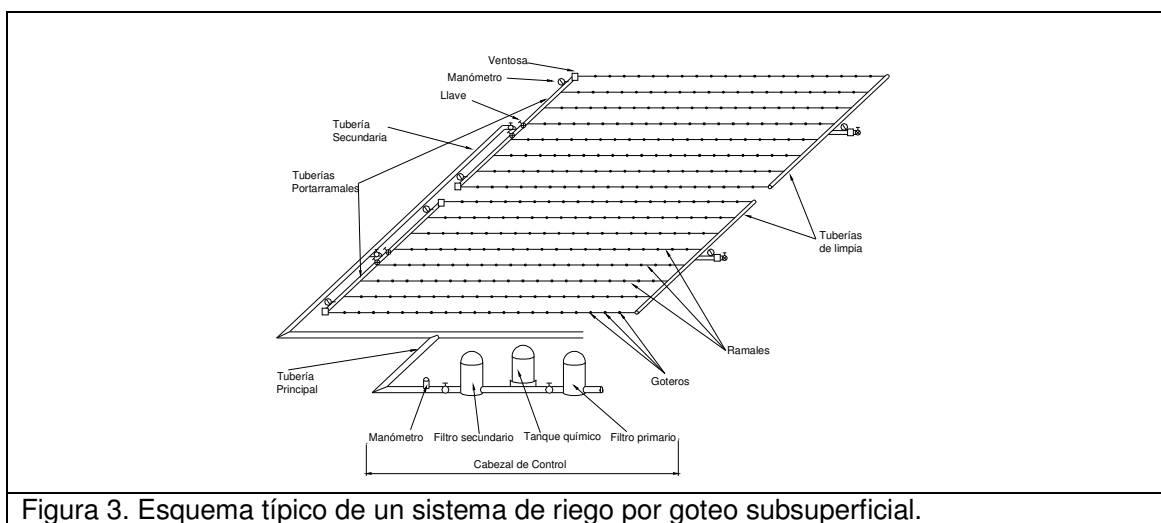
tanto el requerimiento energético del sistema. En algunos modelos de emisores dichas pérdidas de carga son mayores que las de las tuberías.

El riego a la demanda tiene un coste energético, la **automatización** de las aplicaciones puede facilitar un riego con una demanda restringida más eficiente. Elementos necesarios como filtros y elementos de **regulación de presión o caudal** provoca pérdidas de energía importantes. Asimismo, los convertidores de frecuencia, cada vez más baratos, pueden seguir optimizando los rendimientos de las estaciones de bombeo. Al igual que con el agua, la evaluación de dichos elementos para comprobar, con cierta periodicidad, el buen funcionamiento de los mismos deberá ser prioritaria en las próximas décadas.

El riego por goteo subsuperficial en el ahorro de agua y energía

Entre los métodos de riego, los riegos localizados (goteo, microaspersión, etc.) se consideran los de mayor eficiencia. Como una alternativa al riego por goteo tradicional, los ramales se pueden enterrar a una determinada profundidad, lo que se conoce como riego subsuperficial. Según los estándares de ASAE (1996), el riego por goteo subsuperficial consiste en la “aplicación de agua bajo la superficie del suelo a través de emisores y con caudales similares a los utilizados en riego por goteo superficial”.

En el riego subsuperficial los ramales y tubería porta-ramales van enterrados. Los componentes del sistema de riego son similares al riego por goteo convencional, salvo que la red de tuberías de la unidad de campo de riego es mallada, con una tubería de limpia que une la cola de todos sus ramales (ver Figura 3). Los emisores de riego suelen ser también similares, con la salvedad de que los destinados al subsuperficial se les impregna de una solución herbicida para impedir la entrada de las raíces en el punto de desagüe del emisor.



En las últimas décadas el riego subsuperficial ha aumentado su extensión debido a las ventajas que presenta sobre el riego tradicional de goteo. Algunas de las ventajas e inconvenientes de este riego se exponen a continuación (Lamm , 2002 y Payero, 2005):

Ventajas del riego subsuperficial

La eficiencia potencial en el uso del agua es mayor dado que se elimina o se reduce en gran medida la evaporación, la escorrentía superficial y la filtración profunda. Además, se tiene un menor riesgo de contaminación del agua ya que se reduce el movimiento de fertilizantes y otros compuestos químicos por filtración profunda hacia los acuíferos. Asimismo, se puede utilizar agua de baja calidad, como aguas residuales, dado que la aplicación del agua bajo la

superficie del suelo reduce el contacto de personas y animales con la misma y elimina malos olores.

La **aplicación más precisa y oportuna de fertilizantes y pesticidas** puede mejorar la eficiencia de su aplicación y, en algunos casos, la reducción de las cantidades aportadas. También se mejora el control de malas hierbas dado que, con frecuencia, se reduce la germinación y el crecimiento de las mismas en las zonas secas. Al estar la superficie del suelo seco los trabajos manuales son más fáciles que en suelo húmedo. Asimismo, se facilita la cosecha doble al permitir ajustar mejor el calendario de labores de los cultivos dado que no es necesario desinstalar la unidad en la recolección y reinstalar, posteriormente, para plantar una segunda cosecha. Por otra parte, los ramales y las tuberías sufren menos daños y se reducen, además, los posibles daños por vandalismo. Finalmente, las **presiones de trabajo suelen ser menores** que en el riego por goteo superficial lo que unido al ahorro de agua repercute en una reducción del coste energético.

Inconvenientes del riego subsuperficial

Al estar la unidad enterrada no se ve el desagüe de los emisores por lo que es difícil la evaluación en campo de las unidades de riego para conocer la uniformidad de la aplicación del agua por el sistema y el resultado del riego, así como para evaluar el funcionamiento del sistema.

Si el caudal del emisor supera la infiltración del suelo se producirá una sobrepresión en el punto de desagüe del emisor lo que podría provocar la formación de charcos en superficie.

Se debe controlar la **intrusión de raíces** en los ramales, especialmente con determinados cultivos vivaces, cuyas raíces pueden estrangular los ramales y reducir o eliminar el flujo del agua. Los ramales deben ser lavados, con periodicidad, para eliminar acumulaciones de limo y otros sedimentos. El funcionamiento y el manejo requieren un mayor cuidado que otros sistemas de riego. Asimismo, en estos sistemas, las partículas de suelo pueden entrar al ramal al acabar el riego si se produce vacío, por ello, deben instalarse ventosas que funcionen correctamente (ver Figura 3).

Uniformidad del riego subsuperficial

Un proyecto y manejo apropiado de estos sistemas permite una eficiencia potencial del uso del agua mayor del 95% (Payero, 2005). La uniformidad de la aplicación del agua CV en ramales enterrados podría ser mayor que en los superficiales en suelos uniformes sobre todo en suelos con textura fina (ver Tabla 1). Dicha uniformidad disminuye al considerar la variabilidad espacial del suelo (ver Tabla 2). No obstante, en las evaluaciones realizadas, la diferencia de uniformidades en uno y otro caso fue pequeña y en todas ellas, se cumplieron los estándares de ASAE (1996).

La uniformidad de aplicación en unidades de riego subsuperficiales es buena y comparable a la del riego superficial en la mayoría de los suelos (ver Tabla 3). En suelos uniformes incluso, la uniformidad podría ser mayor en suelos de textura fina. Se observa que el emisor con caudal menor es el de mayor uniformidad por lo que, a su vez, los requerimientos de energía serán menores.

Perspectiva del riego subsuperficial en España

De la superficie regada en el mundo, el riego localizado le corresponde 6.089.534 ha³ (2,2%). Este método de riego ha experimentado un gran desarrollo en los últimos 25 años

³ IWMI, 2006.

aumentado casi 14 veces su superficie desde 1981 a 2006 (Figura 4). Hay un consenso general sobre el aumento de superficie regada por riego subsuperficial, pero es difícil obtener datos que confirmen tal crecimiento. En Estados Unidos se cifraba en 156.070 ha la superficie total regada en el país de 1999⁴, lo que supone un 0,6% de la superficie total (25.501.831 ha).

	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4	Ramal 5	Ramal 6
\bar{q} (L/h)	2,79	2,82	3,21	3,18	3,95	3,87
\bar{h}_0 (m)	8,1	8,5	11,4	11,2	16,1	15,7
\bar{h}_L (m)	5,4	5,8	8,0	7,8	11,1	10,9
CV_{sup}	0,085	0,085	0,083	0,083	0,081	0,081
CV_{ent}	0,082	0,080	0,077	0,077	0,078	0,078

Nota: longitud del ramal= 50 m; diámetro del ramal= 14,6 mm y separación entre emisores= 0,3 m. Exponente de gasto del emisor $x=0,48$; Coeficiente de variación de manufactura = 0,058 y pérdidas de carga en la inserción del gotero $l_e=0,76$ m. Los subíndices indican $_{sup}$ = superficial y $_{ent}$ = enterrado.

Tabla 1. Uniformidad de riego en ramales de riego subsuperficial de emisores no compensantes en un suelo franco uniforme. (Fuente: Gil, 2008)

	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4	Ramal 5	Ramal 6
\bar{q} (L/h)	2,75	2,77	3,13	3,10	3,91	3,82
\bar{h}_0 (m)	8,1	8,5	11,4	11,2	16,1	15,7
\bar{h}_L (m)	5,4	5,8	8,0	7,9	11,2	10,9
$CV_{q\ sup}$	0,081	0,081	0,078	0,079	0,076	0,076
$CV_{q\ ent}$	0,116	0,115	0,106	0,107	0,091	0,092

Nota: longitud del ramal= 50 m; diámetro del ramal= 14,6 mm y separación entre emisores= 0,3 m. Exponente de gasto del emisor $x=0,48$; Coeficiente de variación de manufactura = 0,058 y pérdidas de carga en la inserción del gotero $l_e=0,76$ m. Los subíndices indican $_{sup}$ = superficial y $_{ent}$ = enterrado.

Tabla 2. Uniformidad de riego en ramales de riego subsuperficial en suelo franco con variabilidad espacial. (Fuente: Gil, 2008)

Las explotaciones agrarias sustituyen sistemas de riego por goteo tradicional por sistemas subsuperficiales, esto es, crece el porcentaje de este riego dentro de los riegos localizados, lo que pone de manifiesto el fuerte crecimiento que podría experimentar este método de riego en el caso de que el crecimiento continúe como hasta ahora.

⁴ Departamento de Agricultura de Estados Unidos, U.S.D.A., Farm and Ranch Irrigation Survey, 1999.

En España, la superficie regada en 2006 ascendía a 3.319.790 ha⁵. En la Tabla 4 se muestra la superficie regada según el método de riego. Se observa que el riego localizado (41,6% del total) ya supera al de superficie (35,0%). Ambos, suponen más del 75% de los regadíos españoles.

	Suelo	$q_{nominal}$ (L/h)	CV_q	C_u (%)
UNIDAD SIN MALLAR SUPERFICIAL		1	0,057	95,48
		2	0,099	92,05
UNIDAD MALLADA SUBSUPERFICIAL SUELO UNIFORME	ARENOSO	1	0,056	95,51
		2	0,097	92,20
	FRANCO	1	0,055	95,60
		2	0,092	92,62
	ARCILLOSO	1	0,053	95,77
		2	0,086	93,16
UNIDAD MALLADA SUBSUPERFICIAL SUELO VARIABLE	ARENOSO	1	0,057	95,48
		2	0,097	92,28
	FRANCO	1	0,058	95,36
		2	0,103	91,99
	ARCILLOSO	1	0,068	94,71
		2	0,135	89,02

Tabla 3. Uniformidad de riego en unidades subsuperficiales. (Fuente: Gil, 2008)

Puede observarse un incremento del riego localizado año tras año (6,1% en 2006 respecto a 2005 y 15,9% respecto al período 2002-05). Durante el año 2006 el riego localizado ha superado en 218.580 ha (Figura 5) al de superficie. Se observa, también, que los métodos de riego de superficie y automotriz, han descendido tanto en el año 2006 respecto a 2005 como al período 2002-05.

Como puede verse en la Figura 6, en nuestro país se riegan con este método una mayor superficie en las zonas donde los recursos hídricos disponibles son menores. Los cultivos más regados con riego localizado son: el olivar, el viñedo, los frutales, cítricos y hortalizas.

Esta expansión del riego localizado, método que se considera más eficiente, se ha visto favorecido en los últimos años por la política de regadío llevada a cabo por el Ministerio de Agricultura, cuyo Plan de Choque tiene entre sus objetivos el ahorro de agua y conseguir una agricultura sostenible y más respetuosa con el medioambiente. Por otra parte, el consumo de energía es importante en el riego a presión, y el riego localizado es el que menos energía requiere. Según el Plan Nacional de Regadíos – Horizonte 2008, la

⁵ Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivo (ESYRCE), elaborada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en el año 2006.

agricultura consume el 3.5 % del total nacional y, de ese porcentaje, casi una cuarta parte, 2867 GW·h, corresponde al regadío.

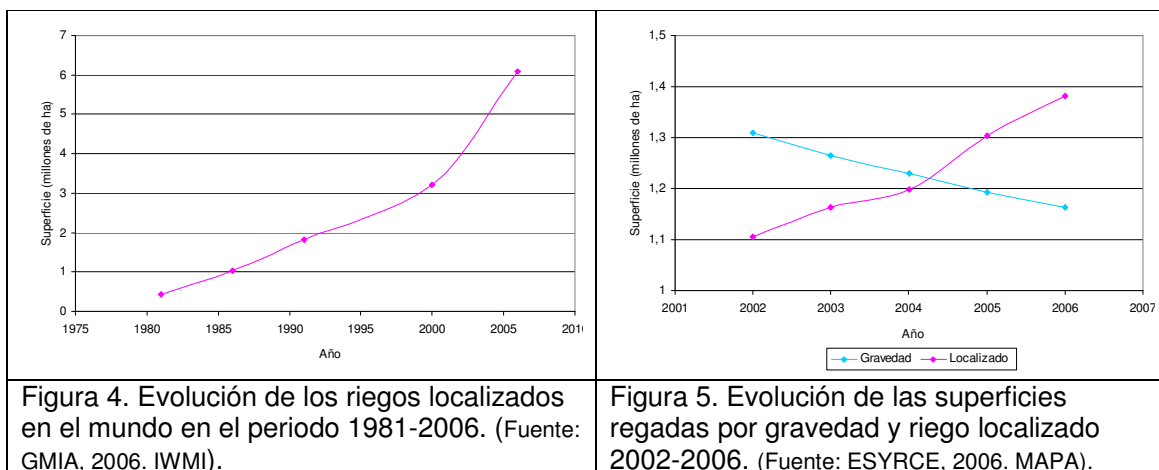


Figura 4. Evolución de los riegos localizados en el mundo en el periodo 1981-2006. (Fuente: GMIA, 2006. IWMI).

Figura 5. Evolución de las superficies regadas por gravedad y riego localizado 2002-2006. (Fuente: ESYRCE, 2006. MAPA).

Método de riego	Superficie	Superficie
Superficie	1.163.254	35,0%
Aspersión	493.430	14,9%
Automotriz	251.598	7,6%
Localizado	1.381.835	41,6%
Otros sistemas	9.369	0,6%
Sin información	20.304	0,3%
TOTAL	3.319.790	100,0%

Tabla 4. Métodos de riego y superficie ocupada en España en el año 2006 (Fuente: ESYRCE, 2006. MAPA).

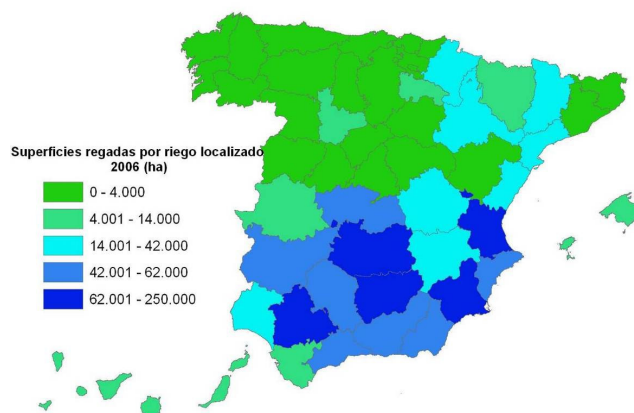


Figura.6.- Superficie regada por riego localizado en el año 2006. (Fuente: ESYRCE, 2006. MAPA).

Las perspectivas de futuro de este riego son buenas ya que como se ha dicho antes la cantidad de agua aplicada con este método es menor que en el tradicional, dado que, al ir enterrado, la evaporación se anula y dado que, al localizarse la aplicación del agua en la zona radical, se puede reducir también la cantidad de agua y fertilizantes perdidos por filtración profunda. Asimismo, se ha observado que las producciones obtenidas tienden a ser mayores que en el riego superficial. Si a esto añadimos que las alturas de presión requeridas para obtener una misma uniformidad en la aplicación de agua son más bajas (3 a

10 mca), aparte del correspondiente ahorro de agua se ahorra también energía. Al tener una red mallada, la presión en la unidad es más uniforme que en la red ramificada del riego superficial por lo que su uniformidad del riego podría ser mayor. Asimismo, este método se presta al uso de aguas residuales sin riesgo de malos olores o de contaminación de los regantes, por lo que su expansión en un futuro puede verse aún más favorecida.

Por otra parte, la utilización de herbicidas en la fabricación de ramales y emisores de riego subsuperficial será cada vez será más restringido por lo se debe impulsar el estudio de otras alternativas que eviten o dificulten la entrada de raíces en el emisor. Algunas casas comerciales ya están desarrollando geometrías de emisores que obstruyen el paso de raíces. Asimismo, el desarrollo de equipos de filtración que proporcionen el mismo grado de filtrado que los actuales con menores pérdidas de carga será otro reto a afrontar para disminuir el consumo de energía. En cada riego la tecnología compuesta por sistemas de impulsión con convertidores de frecuencia, equipos de filtración, llaves automáticas de regulación y control de caudales y/o presiones y la propia unidad de riego debe de garantizar la eficiencia tanto del riego como de la energía con la que se proyectó el sistema.

Referencias bibliográficas

- ASAE .1996. ASAE standards and engineering practices data. 43rd edition: 864. Michigan.
- FAO. 2007. World agriculture: towards 2015-2030. Summary Report. 2007. <http://www.fao.org/docrep/004/y3557e/y3557e00.htm>
- Gil, M. 2008. "Caracterización hidráulica y simulación del riego por goteo subsuperficial". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 180 pgs.
- International Water Management Institute. 2006. Global Map of Irrigated Areas (GMIA).
- Lamm, F.R. 2002. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. In Proceedings International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation 13. Puerto de La Cruz, Tenerife.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 2006. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE).
- Payero J.O. 2005. Subsurface Drip Irrigation: Is it a good choice for your operation? Crop Watch news service. University of Nebraska-Lincoln, Institute Of Agriculture and Natural Resources 3.
- United states department of agricULTURE. 1999. Farm and Ranch Irrigation Survey.