



06

El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados

Integrated management of water in agriculture: need of implementation and linked aspects

DrC. Carmen Rosa Betancourt Aguilar¹

E-mail: crbetancourt@ucf.edu.cu

MSc. Tania Tartabull Puñales¹

MSc. Yeny Labaut Betancourt²

¹Universidad de Cienfuegos, Cuba.

²Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Betancourt-Aguilar C., Tartabull-Puñales, T., & Labaut-Betancourt, Y. (2017). El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista científica Agroecosistemas*, 5 (2), 40-54. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

RESUMEN

Para el año 2030 la demanda de agua ascenderá a un 40% superior al agua disponible y el 46% de las áreas cultivables en el mundo necesitan ser irrigadas debido a factores relacionados con el cambio climático y con las condiciones meteorológicas en general. Esta revisión bibliográfica está dirigida a ofrecer elementos teóricos relacionados con el manejo integral del agua, con énfasis en su gestión en la agricultura, así como algunos factores vinculados a dicho manejo. Se analizan los antecedentes y la evolución del paradigma Manejo Integral de los Recursos Hidráulicos en el mundo, en Latinoamérica y el Caribe y su necesidad de implementación. Este, en relación a la agricultura, considera aspectos relacionados con la cantidad de agua usada y con prácticas dirigidas a conservar su calidad. Se incluyeron aspectos relacionados con el manejo de productos químicos (pesticidas, fertilizantes y otros), la mitigación de procesos erosivos, el control de las aguas de retorno, el uso y evaluación de aguas residuales para el riego, entre otros. El calentamiento global constituye otro factor vinculado al manejo del agua. Los cambios en los patrones de lluvia y la humedad del aire, afectan el uso del agua por los cultivos y los requerimientos mínimos, lo que genera la necesidad de establecer estrategias de manejo.

Palabras clave:

Erosión, aguas de retorno, desalinización, riego, calentamiento global, manejo integral de los recursos hidráulicos

ABSTRACT

By 2030 the demand for water will be 40% higher than the available water and 46% of the arable areas in the world need to be irrigated due to factors related to climate change and weather conditions in general. This bibliographical review is aimed at offering theoretical elements related to the integral management of water, with emphasis on its management in agriculture, as well as some factors related to this management. The background and evolution of the paradigm of Integral Management of Hydraulic Resources in the world, in Latin America and the Caribbean and their need for implementation are analyzed. This, in relation to agriculture, considers aspects related to the amount of water used and practices aimed at preserving its quality. It included aspects related to the management of chemical products (pesticides, fertilizers and others), the mitigation of erosive processes, the control of return waters, the use and evaluation of wastewater for irrigation, among others. Global warming is another factor linked to water management. Changes in rainfall patterns and air humidity affect the use of water by crops and minimum requirements, which generates the need to establish management strategies.

Keywords:

Erosion, return flows, desalination, irrigation, global warming, integral management of water resources

INTRODUCCIÓN

Para el año 2030 la demanda de agua ascenderá a un 40% superior al agua disponible (Gilbert, 2010). La escasez de este recurso es evidente, no solamente en las regiones áridas, sino también en las zonas geográficas donde las precipitaciones tradicionalmente han sido abundantes (Daccache, Keay, Jones, Weatherhead, Stalham & Knox, 2012). Tanto la escasez como el deterioro de su calidad debido al crecimiento poblacional acelerado, unido al impacto del cambio climático sobre aspectos cualitativos y cuantitativos, conducen a la necesidad de un manejo integrado del recurso. Para alcanzar la sustentabilidad se deben establecer indicadores sociales, económicos, ambientales y culturales, con estrategias de crecimiento y desarrollo vinculadas al manejo integrado (Torrecillas, 2016).

Según Valipour (2013), el 46% de las áreas cultivables en el mundo necesitan ser irrigadas debido a factores relacionados con el cambio climático y con las condiciones meteorológicas en general. Informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) (2016), plantean que cada año caen sobre la tierra 814 mm de precipitaciones, el 56% vuelve a evaporarse a través de los bosques, el 5% a través de la agricultura de secano y solo el 39%, que equivale a 16,000 lts/persona/día, quedan disponibles para uso humano.

El uso eficiente del agua en el riego tiene una notable influencia sobre el rendimiento de los cultivos. Según Gregory (2012), el área sometida al riego agrícola constituye entre 15-20% del área cultivable en el mundo, pero contribuye al 33-40% de la producción de alimento. Este autor señala que las dos terceras partes del agua usada en el riego se pierden en el drenaje y la escorrentía y aproximadamente un 30% se pierde en el almacenamiento y la transportación.

Es evidente que la agricultura de regadío es esencial para la seguridad alimentaria del planeta, pero a su vez tiene impactos sobre el ambiente (Cid, Herrera, López, & González, 2012) y en particular sobre las aguas. Sin embargo, el logro del manejo integral del agua en la agricultura, requiere considerar otros aspectos, además de los puramente cuantitativos; la calidad es uno de ellos. El control de la calidad del agua de riego, tanto a nivel fuente (aguas de riego y su impacto interno sobre cultivos y suelos), como a nivel sumidero (retornos de riego y su impacto externo sobre la calidad de los sistemas receptores), es un aspecto fundamental (Aragüés, 2013).

La problemática de la calidad del recurso está indisolublemente asociada al concepto de la sustentabilidad. Con frecuencia se usan en el riego aguas residuales que son ricas en sustancias contaminantes

(nitrógeno, fósforo, materia orgánica, microorganismos patógenos, entre otros) (FAO, 2016). Actualmente se publican trabajos científicos que resaltan que las aguas de riego son fuente de microorganismos patógenos (Olaimat & Holley, 2012; Park et al, 2012; Gil et al, 2015); entre estos se incluyen las bacterias los virus y los parásitos (protozoos y helmintos).

Cualquier contaminante que lleve el agua de riego se concentrará en las aguas de drenaje, y por lo tanto, las aguas de retorno tendrán una calidad inferior (mayores concentraciones) a la del agua de riego. El incremento de la fracción de evapotranspiración, incrementa la concentración de contaminantes en la disolución del suelo y en las aguas de retorno (Aragüés, 2013). También genera un incremento de la salinidad y sodicidad tanto de las aguas de drenaje como en los cuerpos receptores (Morábito et al, 2005).

La erosión del suelo por el agua es un proceso que afecta tanto la calidad del suelo como la del agua y constituye un problema en muchos países del mundo (Sadeghi, Gholami, Sharifi, Khaledi & Homaei, 2015; Robichaud et al, 2013). Se conoce que la agricultura tiene la más alta tasa de erosión en relación a otros sectores de la economía. Entre las principales causas se incluyen el laboreo convencional, la escasa cubierta vegetal, la compactación del suelo por el uso de maquinaria pesada, entre otros (Arnáez, Lana-Renault, Lasanta, Ruiz-Flaño, & Castroviejo, 2015).

Esta revisión bibliográfica está dirigida a ofrecer elementos teóricos relacionados con el manejo integral del agua, con énfasis en su gestión en la agricultura, así como algunos factores vinculados a dicho manejo.

DESARROLLO

Manejo integral del agua. Conceptos y antecedentes

El agua es indispensable para las diferentes formas de vida y para el desarrollo social y económico. La escasez y contaminación de este recurso y el incremento de la frecuencia de aparición de inundaciones y sequías, afecta a todos los países en menor o mayor grado. Entre los factores que ejercen mayor presión sobre los recursos hidráulicos, se encuentran los socioeconómicos y el cambio climático que resulta menos controlable. El crecimiento poblacional resulta un factor importante que de forma simultánea demanda mayor cantidad de agua y genera mayores volúmenes de residuales y contaminación ambiental (Hassing, Ipsen, Clausen, Larsen, &

Lindgaard-Jørgensen, 2009). Un manejo efectivo de los recursos hídricos requiere de la articulación de los diferentes usos de la tierra y el agua a través de las grandes cuencas de captación y de los acuíferos.

El primer planteamiento sobre el Manejo Integral de los Recursos Hidráulicos (MIRH) se estableció en el Decenio Hidrológico Internacional (DHI), 1965-1974, promovido en la XIII Sesión de la Conferencia General de la UNESCO, con el fin de impulsar la cooperación internacional en los trabajos, investigaciones y formación de técnicos especialistas en el campo de la hidrología científica. Hasta los años ochenta el paradigma predominante para la gestión del agua era la “misión hidráulica”, cuyo objetivo era satisfacer todas las demandas de agua de la sociedad, convencidos de poder superar los límites que la naturaleza dicta. Este paradigma no solucionó las dificultades en relación al recurso y gradualmente se empieza a considerar que la “crisis del agua” es en verdad la consecuencia de una mala gestión de los recursos hídricos y se comienzan a descubrir las dimensiones políticas de esta (Vogel, 2007).

Según Biswas (2004), aunque se ha hablado de este concepto desde hace años, es a partir de los años noventa que vuelve a retomarse con una nueva visión. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) afirma que en la región latinoamericana la gestión del agua es uno de los factores dinamizantes no climáticos de los sistemas de agua dulce en el futuro y un componente esencial que deberá adaptarse bajo el modelo del MIRH para hacer frente a las presiones climáticas y socioeconómicas de los próximos decenios (IPCC, 2007).

El MIRH como política pública y desde el concepto de hidrohegemonía, constituye un modelo impuesta de arriba hacia abajo con dos fases articuladas (Warner, 2008). La primera fase denominada “visión”, corresponde a la formulación en el escenario internacional, cuyos actores con un rol dominante son: el Banco Mundial (BM), el Consejo Mundial del Agua (WWC por sus siglas en inglés) y la Alianza Mundial del Agua (GWP por sus siglas en inglés). La GWP considera que el concepto del MIRH es ampliamente debatido y no existe una definición exacta, señala que el MIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, de la tierra y de los recursos relacionados. Todo esto a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de una gestión equitativa que no cause detrimento a la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Varias definiciones se han usado por diversas instituciones para el MIRH (Davis, 2007).

La visión incluye: utilización eficiente del agua, aplicación del MIRH, cooperación entre países en cuencas transfronterizas, valoración del agua, participación de los gestores, participación privada en las inversiones, rol del Estado como ente regulador del mercado y reformas de orden institucional. La segunda fase de la evolución se estableció en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada en Rio de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992 (Orengo & Miro, 2013). Esta fase se denominó “marco para acción” y desarrolla estrategias para la implementación del MIRH en los escenarios nacionales. Los expertos regionales y nacionales del sector, aparentemente actores no políticos o neutrales, son los principales agentes de la reforma hídrica, que no forma parte de la agenda ni por demanda ni por acción de gobierno, sino a través del conocimiento que detentan (Gutiérrez, 2010).

Tanto los problemas de la escasez como los de sustentabilidad del agua, tienen una explicación esencialmente política en relación a los asuntos de cooperación entre actores involucrados (Caldera, 2010). Las estadísticas muestran muchos casos en que la educación pública ha llevado a la conservación y al mejor uso del agua disponible. Lo anterior indica que el estudio del uso eficiente del agua requiere de un acercamiento multidimensional. Este pensamiento conduce a la necesidad de tomar decisiones y acciones de naturaleza integral, transdisciplinarias y participativas y constituyen los principios que dieron origen, en relación a la gestión del agua, al paradigma del MIRH (Cazorla, 2003). Un enfoque participativo involucra la formación de conciencia sobre la importancia del agua entre los formuladores de políticas y el público en general.

Según (Pangare, Pangare, Shah, Neupane, & Rao, 2006), los principios del MIRH incluyen: el reconocimiento del agua dulce como un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente; las actividades humanas afectan la productividad y el funcionamiento de los recursos hidráulicos. Estos autores señalan que el desarrollo y la gestión de aguas, debería estar basada en un enfoque participativo, involucrando usuarios, planificadores y gestores de políticas en todos los niveles; las mujeres desempeñan un rol fundamental en la provisión, gestión, y salvaguarda del agua. El agua debe ser accesible; sus necesidades deben ser manejadas y coordinadas en los diferentes niveles, sectores e instituciones; el agua tiene un valor económico en todos sus niveles de uso, y debiera ser reconocido como un bien económico y social.

La importancia del uso eficiente del agua, ha variado según regiones y épocas. En igualdad de condiciones, las regiones áridas y semiáridas requieren una mayor cantidad de agua que las regiones húmedas. Pero los simples patrones geográficos ocultan otros factores de igual importancia (Cooka & Bakkerb, 2012). Las condiciones económicas muchas veces aumentan o reducen la eficiencia en el uso del recurso. Las condiciones sociales también pueden ser de importancia al examinar el uso eficiente del agua.

Resulta difícil identificar el significado exacto de la frase manejo integrado de los recursos hídricos, al igual que otras frases técnicas. Cada palabra se usa ampliamente por los planeadores e investigadores y en particular la palabra “integrado” se usa frecuentemente para comunicar la necesidad de una política compleja (Grigga, 2008). La toma de decisiones en relación al agua puede ser compleja y controversial y el término MIRH se relaciona con comunicar cómo deben ser manejados la complejidad y los conflictos. Este paradigma sostiene la promesa de que mediante un manejo holístico se puede hacer una gestión del agua más justa (Cherlet, 2012) y el concepto ha sido ampliamente debatido (Blanco, 2008; McDonnell, 2008; Watson 2010) y aceptado, especialmente en el sector profesional.

El Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en América Latina y el Caribe

América Latina presenta abundantes recursos hídricos en una superficie que aunque constituye apenas el 15% de la superficie del planeta, capta casi el 30% de la precipitación y genera el 33% de la escorrentía global. La región cuenta con menos del 10% de la población mundial y genera una cifra de oferta de agua por habitante de 28 000 m³/hab/año como media, la cual es superior a la media mundial de 8 000 m³/hab/año (ONAA, 2000; Ávila, 2002). Sin embargo, su distribución espacial y temporal provoca escasez en extensas zonas del continente (CEPAL, 2007).

Pese a ser un tema objeto de gran número de programas de formación en posgrado (Carvajal, 2008) y de poseer abundancia del recurso, América Latina atraviesa una crisis de gestión. La dimensión cultural del agua, también ha sido poco reconocida en las estrategias y políticas de manejo hídrico. La integralidad en la relación de actividades tradicionales, usos y costumbres culturales, tiene una visión occidentalizada que asume al agua como un recurso de uso y consumo, infinito y renovable (Cazorla, 2003). Según este autor, para mejorar la gestión hídrica, todo uso, incluso tradicional, ha de ser sometido a cuestionamiento en referencia a su efectividad y pertinencia. Este proceder puede aportar beneficios para la elaboración de una estrategia de MIRH.

En los Estados Latinoamericanos durante el período correspondiente a la visión competitiva y a partir de la legitimación de escasez, se observan dos momentos (Malvares, 2011). El primero en los años 90 con la privatización del abastecimiento urbano mediante reformas estructurales de primera generación en el marco de las políticas neoliberales. El segundo, a partir del II Foro Mundial, que establece la Visión del Agua del Siglo XXI bajo el argumento de que la escasez del agua obedece a una Crisis de Gobernabilidad por la falta de políticas hídricas integrales en los Estados.

En los países donde existen organismos de cuenca, hay una diferencia notable a favor de la mejora en la capacidad gestora del agua. La gestión de los recursos hídricos de los Estados, se está viendo influenciada por políticas de la globalización a partir de la creación de un Sistema Internacional del Agua. Esta influencia es mayor en los países en desarrollo (Díaz-Alpuente, 2007). Se busca promulgar la Ley de Aguas impulsando un cambio paradigmático, desde el manejo de la oferta a la gestión competitiva de las demandas con instrumentos económicos financieros en las cuencas, mediante la implementación del MIRH. Esta ley deberá ser impulsada como política pública en los escenarios nacionales mediante reformas legales e institucionales (Malvares, 2009; Mansilla, 2011).

En Cuba existe una Política Nacional del Agua, la cual constituye una vía para alcanzar el desarrollo hidráulico, con estrategias participativas de todos los usuarios del agua. La política establece 22 principios y cuatro prioridades: uso racional y productivo del agua disponible, uso eficiente de la estructura construida, gestión de riesgos asociados a la calidad del agua y gestión de los riesgos asociados a eventos extremos (INRH, 2012).

El agua y la agricultura

Se estima que el riego de tierras agrícolas consume entre el 33 y el 90% de los recursos hídricos en el mundo (EEA, 2012), lo cual lo convierte en una actividad ineficiente que afecta el recurso agua (Martínez, 2010). Según la FAO, (2016) la agricultura es responsable del gasto del 70% del agua disponible en todo el mundo y países como África y Asia destinan a esta actividad, el 83 y 80 % de sus recursos hídricos, respectivamente. Para lograr la optimización del riego es preciso garantizar un uso eficiente del agua, con una alta productividad por cada gota de agua disponible, mediante un método que contribuya al incremento de los rendimientos económicos (Kadasiddappa et al, 2017).

En el uso del agua para el riego, es necesario diferenciar entre los volúmenes de agua que se extraen y los que se usan para el desarrollo de los cultivos. Las causas que inciden en los altos consumos de agua por la agricultura,

son provocadas por la baja eficiencia en su uso. Inciden varios aspectos como el almacenamiento, la conducción y uso en los sistemas agrícolas (Lobo, Ramírez & Díaz, 2011), así como las prácticas empleadas. El sector agrícola no puede continuar con ese excesivo consumo sin considerar el valor del agua; debe hacer más con menos y aplicar sistemas de riego más eficientes.

Namara et al (2010), señalan que el manejo del agua en la agricultura reduce la pobreza en el mundo porque mejora la producción, incrementa las oportunidades de empleo, estabiliza los ingresos, facilita el acceso al agua potable e incrementa el valor de los productos disponibles para las personas. Además, el buen manejo del agua es necesario para que los alimentos procedentes de la agricultura tengan un valor nutricional que contribuya a la salud de la población, a la equidad social y a la salud de los ecosistemas.

Es necesario hacer énfasis en la mejora de las prácticas de riego para incrementar la productividad de los cultivos, sosteniendo los niveles de producción (Kalpana & Fanish, 2014), para lo cual es necesario la adopción de técnicas modernas, simples, fáciles de operar y que incrementen la eficiencia en el uso del agua. El riego por goteo es uno de las formas preferidas por su alta eficiencia (90-95%) (Varughese & Habeeburrahman, 2015), es de amplia aceptación e incrementa la productividad del agua (Yenesew & Tilahun, 2009), aún en condiciones de escasa disponibilidad del recurso (Silungwe, Mahoo & Kashaigili, 2010). Cun, Rodríguez, Rosales, Aguilera, y Rodríguez (2016) en una investigación para evaluar la calidad del riego mediante el estudio de patrones de distribución, demostraron que cuando el emisor se situó a una altura de 0,15 m sobre el cantero, los rendimientos del cultivo de la lechuga se incrementaron. Estos resultados demuestran que la adopción de buenas prácticas puede contribuir a un manejo sostenible del recurso.

Cuando se aplica el riego, no toda el agua queda almacenada en la zona del suelo que permite a las raíces tomarla, parte de ella se pierde por evaporación, arrastre del viento, escorrentía y percolación profunda, siendo muy diferente la cuantía de cada tipo de pérdida según el tipo de suelo, y sistema de riego entre otros (Ribeiro, Furtado & Nobre, 2012). Estos aspectos deben ser considerados para el manejo eficiente del agua. El cultivo responde al agua disponible en la zona radicular, por lo tanto, la uniformidad del agua en el suelo es más importante que en la superficie de este (Ortiz, Miranda, & Peroza, 2012). Sin embargo, se ha demostrado que cuando no se suministra la cantidad de agua necesaria para la planta, no solo se afecta el rendimiento del cultivo

sino también su calidad, lo cual minimiza las oportunidades de mercado (Dorado, Grajales & Ríos, 2015).

El MIRH no solo considera los aspectos relacionados con la cantidad de agua usada, también es necesario establecer prácticas dirigidas a conservar su calidad. La agricultura se considera la fuente difusa de mayor contribución a la contaminación de las aguas naturales (Chhabra, Manjunath, & Panigrahy, 2010). El uso de fertilizantes en los diferentes cultivos, contribuye a la eutrofización de las aguas con sus respectivos impactos ambientales, económicos y sociales. La eutrofización se define como el enriquecimiento de las aguas en nutrientes, el cual provoca el aumento de la productividad y de la biomasa (Wetzel, 1975). Las aguas eutróficas generan tupiciones en los sistemas de riego, debido a las microalgas presentes, lo cual puede limitar el tiempo de vida útil de dichos sistemas (Tartabull & Betancourt, 2016) y genera incremento de los gastos.

Los pesticidas usados en los cultivos para el control de plagas y enfermedades, son sustancias químicas poco biodegradables que persisten en el ambiente con afectaciones a la calidad del agua y del suelo (FAO, 2010). Tanto los pesticidas usados como los compuestos químicos derivados de su descomposición, pueden acumularse en el suelo y afectar su microbiota, generando una alteración de su equilibrio ecológico (Prado & Airolti, 2000). Los pesticidas que son lixiviados desde las áreas de riego hasta las aguas naturales, contaminan las aguas para el abastecimiento público y causan enfermedades, entre ellas el cáncer (Williamson, Dodds, Kratz, & Palmer, 2008), lo cual afecta la calidad de vida y la sostenibilidad. Las sustancias disueltas y suspendidas en las aguas de retorno que escurren o percolan, generan contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Aragüés & Tanji, 2003) y provocan impactos ambientales negativos sobre los ecosistemas y en particular sobre las aguas interiores, lo cual encarece su uso.

La erosión del suelo es un proceso físico que varía en dependencia de dónde y cuándo ocurre, está influenciado fuertemente por factores antrópicos, tales como, las malas prácticas agrícolas y los cambios de uso de suelo a gran escala (Martínez, Ramos, & Benites, 2016). Entre las principales causas que incrementan los procesos erosivos, se incluyen el laboreo convencional, la escasa cubierta vegetal, la compactación del suelo por el uso de maquinaria pesada, entre otros (Arnáez et al, 2015).

La erosión que ocurre en las áreas de cultivos posterior a los incendios, incrementa el arrastre de

sedimentos por el agua, y con ello los procesos de sedimentación (Bento-Gonçalves, Vieira, Úbeda & Martin, 2012). La tasa de erosión se incrementa durante los momentos cercanos a la ocurrencia del fuego y posteriormente disminuyen. La siembra a favor de la pendiente constituye otro factor que incrementa la erosión del suelo y la contaminación de las aguas de escorrentías con pesticidas fertilizantes y partículas de suelo. El impacto de las lluvias intensas sobre un suelo descubierto o escasamente cubierto, remueve un volumen de suelo muy superior a cuando está cubierto (Blavet et al, 2009), lo cual deteriora tanto la calidad del agua como del suelo.

Se hace necesario implementar prácticas agrícolas que mitiguen los procesos erosivos. Por ejemplo marcar los surcos según las curvas de nivel del suelo, disminuye los arrastres. El uso de coberturas en el suelo disminuye la erosión y reduce la temperatura del suelo, lo cual garantiza una óptima germinación de las semillas y el desarrollo de la raíz (Vanlauwe et al, 2015). También reduce las tasas de pérdida de suelo y el volumen de agua evaporada (Prosdocimi, Cerdà, & Tarolli, 2016a), así como el arrastre de contaminantes cuando ocurren lluvias intensas (Sadeghi et al, 2015). El uso de diferentes tipos de coberturas en el suelo para minimizar los procesos erosivos, ha sido ampliamente discutido por muchos autores. En un estudio bibliográfico realizado por Prosdocimi, Tarolli, & Cerdà (2016b) (Tabla 1), se obtuvo que la disminución del porcentaje de pérdidas de suelo debido a la cobertura, oscila entre un 12-96,1%.

Tabla 1. Porcentajes de disminución de la erosión mediante el uso de cobertura vegetal. Tasa de erosión (TE), medida en las aguas de escorrentías, en un testigo (T) y en suelos protegidos (SP).

Autores referenciados	TE (mgha-1año-1)		% de reducción
	T	SP	
Bekele y Thomas (1992)	203,5	178,50	-12,3
	203	161,5	-20,6
	203	149,5	-26,5
Abaladejo Montoro et al (2000)	1,7	0,09	-94,8
Barton et al (2004)	0,83	0,46	-44,6
	4,17	0,90	-78,4
	7,5	1,37	-81,7
Liu et al (2012)	0,94	0,77	-18,2
Díaz et al (2012)	2,04	0,22	-89,2
Fernández y Vega (2014)	5,4	0,5	-90,7
	5,4	0,70	-87,0
Prat et al (2014)	8,48	0,63	-92,6
	124,30	7,86	-93,7
Mwango et al (2016)	131,6	7,55	-93,9
	183,6	5,08	-96,1
	75,6	5,31	-96,0
	75,6	19,22	-89,5
	75,6	19,5	-89,4
	75,6	7,57	-90,0
	75,6	8,1	-89,3

Fuente: Prosdocimi et al (2016b)

¿Qué puede hacer la sociedad para adaptarse a la escasez de agua y mejorar su calidad? Puede hacer ajustes tanto en la agricultura como en los demás sectores, manejar la demanda, reutilizar las aguas residuales de mejor calidad, e implementar buenas prácticas dirigidas a minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales.

El uso de residuales en la agricultura y la contaminación microbiológica

La implementación del riego con aguas residuales depende de las circunstancias dadas en un determinado lugar y el balance que exista entre el costo y el beneficio. Los nutrientes y materia orgánica presentes en los residuales, disminuyen los gastos en la adquisición de fertilizantes cuando se usan en el riego y reduce los efluentes vertidos al entorno (FAO, 2014). De manera general, la reutilización del agua constituye una opción para el MIRH. Entre las principales acciones de reutilización, se encuentran el riego para el mantenimiento de áreas verdes, uso recreativo, procesos industriales, recarga del manto freático, entre otros (AQUAREC, 2006).

El uso de aguas residuales en la agricultura, es un aspecto ampliamente tratado por la comunidad científica, y existe evidencia de que esta práctica se realizaba en la antigua Grecia y la civilización romana (Angelakis & Durham, 2006). Su empleo adquiere mayor relevancia en las zonas áridas, donde el agua es escasa y el crecimiento de la población demanda una mayor cantidad de alimento (FAO, 2010). El deficiente tratamiento de las aguas residuales provoca la contaminación de las aguas naturales, lo cual disminuye los volúmenes del agua con buena calidad. La mayor amenaza a la sostenibilidad agrícola la constituye el uso de aguas naturales en el riego, cuando estas son escasas, lo cual hace más dependiente a la agricultura de la reutilización del agua, o el uso de residuales en el riego (ILSI, 2008).

Las aguas residuales pueden contener sales inorgánicas, metales pesados, materia orgánica, detergentes, pesticidas, hormonas y químicos provenientes de desechos farmacéuticos, entre otros (FAO, 2014). Estos autores señalan que entre los residuales de mayor uso en el riego se encuentran los que provienen de asentamientos poblacionales y de la cría de animales que son ricos en nutrientes, materia orgánica y microorganismos patógenos. Según informe del proyecto Alberta (2000), las aguas residuales usadas en el riego deben cumplir los requisitos necesarios establecidos para tales fines y en ocasiones no se cumplen. Entre los aspectos negativos se incluyen las concentraciones de sales u otro constituyente, ya sea químico o biológico, que no pueda usarse en un cultivo determinado, porque limite su desarrollo o perjudique el suelo.

A pesar de que estas aguas residuales son las de mayor aplicación y contienen altas concentraciones de

microorganismos patógenos, es poco conocida su calidad microbiológica (Allende & Monaghan, 2015). La literatura disponible señala que en las aguas residuales prevalecen las bacterias patógenas en dependencia de diversos factores como la localización geográfica, las condiciones del tiempo y las estaciones del año (Gil et al, 2015).

Los virus y parásitos presentes en estas aguas, son de importancia extrema y pueden ser transmitidos a las aguas naturales a través del riego (CPS, 2014), lo cual significa que es necesaria la evaluación de la calidad microbiológica, ya que se trata de una fuente de contaminación de alta significación (Ceuppens et al, 2014; Holvoet, Sampers, Seynnaeve, & Uyttendaele, 2014; Delbeke, et al, 2015; Castro-Ibáñez, Gil, Tudela, Ivanek, & Allende, 2015; Génèreux, Grenier, & Côté, 2015). Otros autores, como Seidu et al (2013), consideran que es necesario establecer relaciones entre la concentración de microorganismos patógenos presentes en el agua de riego y la probabilidad de ocurrencia de enfermedades.

Se estipula que estos residuales pueden usarse después de haber aplicado un tratamiento secundario con procesos de coagulación filtración seguido de la cloración, de manera tal que el número de coliformes totales en 100 mL del residual tratado sea cercano a cero (AQUAREC, 2006). Otros recomiendan combinar el tratamiento físico-químico con la eliminación o reducción del contacto de las hojas de las plantas irrigadas, aplicando para ello técnicas de riego que lo limiten, de manera tal que se garantice un alimento libre de patógenos (Allende & Monaghan, 2015).

La OMS (2006), señala que se debe considerar el cultivo en cuestión e incluir un período que permita la muerte de los patógenos después del último riego, implementar prácticas de higiene para preparar los alimentos (lavado y desinfección de los alimentos, entre otros). Para evaluar el impacto del uso de residuales en la agricultura sobre la salud humana, se deben realizar análisis químicos y microbiológicos, estudios epidemiológicos y evaluación de riesgo químico y microbiológico.

Es necesario realizar estrategias de muestreo que brinden un conocimiento sobre la presencia de bacterias (fundamentalmente las patógenas) en las aguas de riego (Allende & Monaghan, 2015). También incluyen prácticas de manejo, en especial las que pueden desfavorecer la supervivencia y crecimiento de estos microorganismos. Se recomienda el uso de indicadores de contaminación fecal, en especial de *E. coli*, **que permite identificar el recorrido de la contaminación y la categorización de la calidad del agua para el riego** (Uyttendaele, et al, 2015).

En un estudio epidemiológico realizado en Méjico, se reporta que los niños hijos de campesinos que vivían cerca de áreas irrigadas con aguas residuales crudas tenían

una alta prevalencia de parasitismo (Peasey, Blumenthal, Mara, & Ruiz-Palacios, 2000). En este estudio se encontró una correlación positiva entre la tasa de la enfermedad con el grado de tratamiento de los residuales. A pesar de los avances, aún prevalece el riego con aguas residuales sin tratamiento (Bahri, 2009).

El cambio climático y su impacto sobre el manejo del agua

Otro desafío que enfrenta la humanidad en relación a la producción de alimento, es la influencia del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos, como resultado de los cambios asociados a la temperatura y el ciclo de la lluvia, combinado con el deterioro de la calidad del suelo y la aparición de plagas y enfermedades de los cultivos (Babel, Agarwal, Swain & Herath, 2011). Las altas temperaturas durante el día incrementan la evapotranspiración y con ello la necesidad del riego, sin embargo, el rápido crecimiento, desarrollo y maduración de los cultivos debido al clima caliente, puede no solamente disminuir los rendimientos (Meza, Silva & Vigil, 2008). También se ha planteado que una excesiva cantidad de precipitaciones puede ocasionar daños a los cultivos y a la fertilidad del suelo. Cuando esto ocurre al final del ciclo de cultivo, los daños económicos son mayores (Alam, Siwar, Toriman, Molla & Talib, 2012)

El efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos y su manejo, constituye un tema que atrae la atención de la comunidad científica y de las autoridades. El calentamiento global puede dejar sin agua y alimento a muchas personas (IPCC, 2014), con un notable impacto sobre las fuentes de agua y la agricultura. El sector agropecuario es extremadamente vulnerable a la variabilidad climática. Algunos de los impactos más relevantes son las alteraciones en la precipitación, que modifican los períodos de cosecha y siembra, así como aumentos en la temperatura, que propician la propagación de plagas y enfermedades en los cultivos.

El incremento en la temperatura y los cambios en los patrones de lluvia influyen sobre la disponibilidad de agua y la productividad de los cultivos, según Kang y Ramírez (2007). Estos autores señalan que los cultivos incrementarán la demanda de agua debido a cambios en los procesos de fotosíntesis y respiración. También acelera el desarrollo fenológico de los cultivos; minimiza el período de maduración e incrementa los niveles de transpiración (Mo, Guo, Liu, Lin, & Hu, 2013).

De forma general los cambios en los patrones de lluvia y la humedad del aire, afectan el uso del agua por los cultivos y los requerimientos mínimos de agua. La elevada concentración de CO₂ incrementa la tasa fotosintética de las plantas C3, limita la conductancia estomática, lo cual genera una disminución en la tasa de transpiración a nivel de hoja (Rosenberg, Brown, Izaurrealde & Thomson,

2003). Los cambios en otras variables meteorológicas debido al cambio climático, por ejemplo la humedad relativa y la duración del día, tienen gran influencia en la evapotranspiración (Yu, Yang, & Wu, 2002; Mo'allim, Kamal, Wayakok, Ahsan, Mohamed & Moallim, 2016).

Durante las últimas décadas del pasado siglo ocurrieron cambios en los patrones de precipitación, de infiltración, del flujo de agua subterránea, de la evapotranspiración y de la humedad del suelo en diversas áreas del mundo (Wang et al, 2014). Estos cambios sugieren que pueden ocurrir modificaciones más intensas en los ciclos hidrológicos regionales, con mayores impactos sobre los recursos hidráulicos y los sistemas de riego. La demanda de agua para mantener la humedad del suelo depende del balance entre la lluvia y la evapotranspiración y por tanto será diferente, debido a que el efecto invernadero influirá sobre los patrones de temperatura y precipitación (McKenney & Rosenberg, 1993). Wang et al (2014), en un estudio realizado en China, encontraron que la temperatura es el factor determinante en la demanda de agua para el riego y que el incremento de los valores de esta variable, traerá un incremento en la demanda con un impacto diferente para los diversos cultivos.

La evapotranspiración incluye disipación desde el suelo y transpiración desde la superficie de las hojas; de esta manera su potencial puede ser descrito como un transporte de masa. Su cálculo incluye variables como la radiación solar, la humedad, el viento y la temperatura, por lo que cualquier modificación en algunas de estas variables puede cambiar los valores de la evapotranspiración (IPCC, 2014). Existe un método propuesto por la FAO denominado Penman-Monteith para calcular el requerimiento de agua por tipo de cultivo a través de la determinación de la evapotranspiración de referencia (De Carvalho, 2013). La FAO también desarrolló un programa Cropwat 8,0 de licencia libre, que permite el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y de riego a partir de una información de entrada.

Otro de los impactos del cambio climático es la modificación en los patrones de sequías. La sequía se define como un riesgo natural causado por un período anormal de bajas precipitaciones. Se distinguen tres tipos: sequía meteorológica (un largo período de escasas precipitaciones), sequía agrícola (no ocurren precipitaciones sobre los suelos de baja humedad y se afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos) y sequía hidrológica (déficit en las precipitaciones que genera una disminución de los niveles de agua en embalses y ríos por un período largo) (Council, 2013). Se ha definido un cuarto tipo, la socioeconómica, que se puede definir en términos de abastecimiento y demanda, considerando el impacto sobre los sistemas socioeconómicos a corto plazo (Wilhite & Glantz, 1985).

Se espera que se incremente la ocurrencia de sequía, y con ello la escasez de agua en regiones áridas, debido a un grupo de factores que incluye el incremento poblacional y el cambio climático (IPCC, 2014). Los periodos de escasez conducen a otros tipos de problemas, como la salinización de los suelos y pérdidas de producciones, entre otros. La sequía limitará la disponibilidad del agua para el riego en regiones húmedas, debido a los cambios en los patrones de precipitación y la escasa prioridad que se le asigna. Esto refleja la percepción del insuficiente valor del agua para la agricultura en relación a otros usos (por ejemplo, el consumo humano). En Inglaterra, Wales, la Agencia de Medio Ambiente puede prohibir parcial o totalmente el uso del agua para el riego con el fin de garantizar el abastecimiento público y mantener el gasto sanitario para los ecosistemas (DEFRA, 2014). De todo esto se infiere que se requiere crear condiciones en el sector agrícola para un uso eficiente del agua.

La agricultura urbana actualmente se considera una de las soluciones a la adaptación del cambio climático, se relaciona con la ambientalización de ciudades, porque mejora el clima, estimula el reciclaje de desperdicios orgánicos de las ciudades y reduce el consumo de energía (De Zeeuw, 2011). En algunas comunidades mejicanas han adoptado la producción de hortalizas orgánicas como una alternativa de autoconsumo de los productos que siembran (Paredes, Quintana, González, Calderón, & Espinoza, 2014), y con frecuencia llevan a cabo este proceso dentro de los edificios donde habitan, incluso en techos o azoteas construyen invernaderos para realizar la actividad.

La producción de alimentos en áreas interiores de la ciudad, elimina la transportación desde áreas lejanas y garantiza la entrega de alimentos frescos. También contribuye al ahorro del agua por las diferentes formas de sistemas de reciclaje usadas en granjas caseras e invernaderos (Specht et al, 2013). Sin embargo, en Cuba es frecuente usar agua tratada en la agricultura orgánica (Cun et al, 2016), lo cual genera dos dificultades: los gastos innecesarios en la potabilización del agua y el efecto negativo en el suelo que puede tener el cloro usado. Es conocido el efecto bactericida del cloro, lo cual puede pudiera afectar la microbiota del suelo y con ello su fertilidad.

El uso de aguas salinas y salobres como una alternativa para enfrentar el déficit de agua

La desalinización del agua debe ser explorada después que la implementación de un uso eficiente del agua no haya resuelto el déficit (Gregory, 2012). Este proceso permite obtener agua potable a partir del agua de mar y tiene como todos, sus ventajas y

desventajas. Uno de los principales inconvenientes de la desalación es la elevada demanda de energía a partir de combustibles fósiles que se generan con frecuencia, con la consiguiente emisión de gases contaminantes.

La aplicación de tecnologías para la desalinización del agua para el riego, aún es limitada por su alto costo y por la dificultad en la disposición de las salmueras obtenidas en dicho proceso. Sin embargo, países como Chile, China y Australia, realizan evaluaciones para el estudio de la aplicación de estas tecnologías para el agua de regadío (GWI, 2015). Esta opción se ha vuelto más atractiva y competitiva desde el punto de vista económico, porque el costo de la desalinización ha disminuido con el de paso del tiempo.

El uso de la desalinización de aguas salobres (incluyendo el agua de mar), constituye una oportunidad para ofrecer a la agricultura fuentes de agua que no dependen del clima. En los últimos años se ha observado un incremento del número de plantas desalinizadoras en todo el mundo; en España, por ejemplo, desalinizan 1,4 millones de m³/día y el 22% de esta agua se usa en la agricultura en el cultivo de frutas y vegetales. En Kuwait donde la capacidad instalada para desalinizar el agua asciende a un millón de m³/día, el 13% se usa en la agricultura; otros países como Italia, Catar y Estados Unidos, destinan el 1,5, 0,1 y 1,3%, respectivamente (Burn et al, 2015).

Uno de los beneficios del uso del agua desalinizada en el riego, es que incrementa la productividad (Zarzo, Campos & Terrero, 2012) y calidad de algunos productos agrícolas, y al mismo tiempo contribuye a la restauración de suelos afectados por la salinidad. Estos autores señalan que plantaciones de cítricos regadas con agua desalinizadas, incrementaron el rendimiento entre un 10 y 50% (dependiendo de la calidad del agua cruda usada). Este incremento puede estar relacionado con el lavado de sales que genera el bajo contenido salino del agua. Además, cuando se usan aguas residuales desalinizadas se reduce entre un 50 y 30% la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de agua respectivamente.

Existe un significativo número de tecnologías disponibles para la desalinización del agua y muchas de ellas se están comercializando. La más usada es la osmosis inversa, aunque existen otras como la nanofiltración, la electrodialisis y las resinas de intercambio iónico (Burn et al, 2015). La elección de una u otra depende de la calidad de la fuente de abastecimiento, la demanda de energía y lo más

importante: la eficiencia de la planta. Por ejemplo, la presión osmótica para una salinidad de agua de mar de 35 000 mg/L es de 2 800 kPa, mientras que si se usa agua salobre con una salinidad de 1 600 mg/L, la presión osmótica equivale a 140 kPa. Esto significa que cuando se usa para la desalinización un proceso de osmosis inversa, hay que aplicar una mayor presión para que el agua de mar atraviese la membrana semipermeable del filtro que cuando se trata de un agua de menor salinidad. A medida que se necesite incrementar la presión se consume una mayor cantidad de energía.

Consideraciones finales

El manejo integral del agua es un tema ampliamente debatido, porque cada día se hace más necesario para intentar alcanzar un desarrollo sostenible. Es complejo porque incluye factores ambientales, económicos y sociales, lo cual hace difícil su implementación, que con frecuencia adolece de una verdadera integración de todos los factores tributantes.

Generalmente no se consideran los impactos del riego sobre el entorno. Por ejemplo, el uso de las aguas residuales en el riego, trae beneficios desde el punto de vista del ahorro de las aguas naturales necesarias para otros usos que demandan una mejor calidad; sin embargo, puede tener implicaciones negativas en las propias aguas naturales, en el suelo y en el personal que manipula estas aguas y consume los productos irrigados. Todo esto conduce a la necesidad de evaluar detalladamente los impactos potenciales generados por su uso y establecer prácticas que minimicen dichos impactos.

El uso de la desalinización del agua para el riego trae beneficios para el suelo y los rendimientos por cosechas, pero trae perjuicios que es necesario considerar. Esta práctica debe tener en cuenta la energía que se usa para obtener aguas menos salinas. El uso de energía no renovable como el petróleo, para tales fines, puede tener impactos ambientales como el efecto invernadero, entre otros. La disposición final de las sales extraídas debe ser evaluada cuidadosamente para no ocasionar un impacto de mayor envergadura, cuando los volúmenes de agua de mar desalinizadas son altos.

El riego por goteo, si bien disminuye el consumo de agua, puede acarrear un menor lavado de los suelos y con ello, un incremento de su salinidad. Toda práctica encaminada al manejo del agua en la agricultura, debe ser evaluada en consideración al carácter complejo de dichos procesos.

CONCLUSIONES

El crecimiento poblacional genera una demanda de agua para los próximos años superior a su disponibilidad, lo cual determina la escasez del recurso. El MIRH constituye una política pública y surge como una necesidad para enfrentar dicha escasez; en el contexto de la agricultura considera aspectos relacionados con la cantidad de agua usada y con prácticas dirigidas a conservar su calidad. Se incluyó el manejo de productos químicos (pesticidas, fertilizantes y otros), la mitigación de procesos erosivos, el control de las aguas de retorno, el uso y evaluación de aguas residuales para el riego, entre otros. El calentamiento global constituye otro factor vinculado al manejo del agua. Los cambios en los patrones de lluvia y la humedad del aire, afectan el uso del agua por los cultivos y los requerimientos mínimos, por lo que se genera la necesidad de establecer estrategias de manejo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam, M.M., Siwar, C., Toriman, M.E., Molla, R.I. & Talib, B. (2012). Climate change induced adaptation by paddy farmers in Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(2), 173-186.
- Albaladejo-Montoro, J., Alvarez-Rogel, J., Querejeta, J., Díaz, E. & Castillo, V. (2000). Three hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes. *Land Degradation & Development*, 11(4), 315-325.
- Alberta Environment. (2000). *Guidelines for municipal wastewater irrigation. Municipal Program Development Branch Environmental Sciences Division*. Alberta: Environmental Service.
- Allende A. & Monaghan, J. (2015). Irrigation Water Quality for Leafy Crops: A Perspective of Risks and Potential Solutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7457-7477.
- American Meteorological Society Council. (2013). *Drought: An information Statement of the American Meteorological Society*. Washington D.C.: AMS. Recuperado de <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/drought/>
- Angelakis, A.N., & Durham, B. (2006). Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. *Desalination*, 218(1-3), 3-12.
- AQUAREC. (2006). *Integrated Concepts for Reuse of Up-graded Wastewater. Handbook on feasibility studies for water reuse systems*. Aachen, Germany: AQUAREC.
- Aragüés, R. & Tanji, K.K. (2003). Water Quality of Irrigation Return Flows. En Stewart B.A. & Howell T.A. (Eds.) *Encyclopedia of water science* (pp. 502-506). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Aragüés, R. (2013). El reto de la calidad del agua. En *Jornada Innovar la Gobernanza del Agua*. Partenariado Agua del Ebro, Zaragoza, España.
- Arnáez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P. & Castroviejo, J. (2015). Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena*, 128, 122-134.
- Avila, P. (2002). *Cambio Global y Recursos Hídricos en México: Hidropolítica y Conflictos Contemporáneos por el agua*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Babel, M.S., Agarwal, A., Swain, D.K. & Herath, S. (2011). Evaluation of climate change impacts and adaptation measures for rice cultivation in Northeast Thailand. *Climate Research*, 46(2), 137.
- Bahri, A. (2009). *Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset. TEC Background Paper No. 13*. Stockholm: Global Water Partnership.
- Bekele, M.W. & Thomas, D.B. (1992). The influence of surface residue on soil loss and runoff (pp. 439-452). En Hurni, H., Tato, K. (Eds.). *Erosion, Conservation and Small-scale Farming*. Berne: Geographica Bernensia.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martin, D. (2012). Fire and soils: key concepts and recent advances. *Geoderma*, 191, 3-13.
- Biswas, A.K. (2004). Integrated Water Resources Management: A Reassessment. *Water International*, 29(2), 248-256.
- Blanco, J. (2008). Integrated water resources management in Columbia: paralysis by analysis? *International Journal of Water Resources Development*, 24(1), 91-101.
- Blavet, D., et al. (2009). Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Research*, 106(1), 124-136.
- Burn, S., et al. (2015). Desalination techniques. A review of the opportunities for desalination in agriculture. *Desalination*, 364, 2-16.
- Caldera, A.R. (2010). Procesos políticos, instituciones e ideas en la gestión del agua: una propuesta desde el neoinstitucionalismo discursivo. Primer Congreso Red de Investigadores Sociales Sobre Agua, Guanajuato, Méjico.
- Carvajal, Y. (2008). Tendencias en la formación en Ingeniería del Agua en América Latina. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 7, 84-93.

- Castro-Ibáñez, I., Gil, M.I., Tudela, J.A., Ivanek, R., & Allende, A. (2015). Assessment of microbial risk factors and impact of meteorological conditions during production of baby spinach in the Southeast of Spain. *Food Microbiology*, 49, 173-181.
- Cazorla, X. (2003). Conflictos en el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos: la Crisis de la Gobernabilidad y los Usuarios del Agua. Tercer Foro Mundial del Agua, Kyoto.
- Center for Produce Safety (CPS). (2014). Agricultural Water: Five Year Research Review. Davis, CA, USA: Center for Produce Safety.
- Cepal advirtió sobre la escasez de agua en América Latina. (22 de marzo de 2007). *Diario Cooperativa*. Recuperado de <http://www.cooperativa.cl/noticias/sociedad/medioambiente/cepal-advirtio-sobre-la-escasez-de-agua-en-america-latina/2007-03-22/125247.html>
- Ceuppens, S., et al. (2014). Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, 181, 67-76.
- Cherlet, J. (2012). Tracing the Emergence and Deployment of the 'Integrated Water Resources Management' Paradigm. In 12th EASA Biennial Conference, Proceedings. Ghent University, Department of Third world studies, Ghent, Belgium.
- Chhabra, A., Manjunath, K.R., & Panigrahy, S. (2010). Non-point source pollution in Indian agriculture: estimation of nitrogen losses from rice crop using remote sensing and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(3), 190-200.
- Cid, G., Herrera, J., López, T., & González, F. (2012). Algunas consideraciones para lograr una agricultura de riego sostenible. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(1), 3-11.
- Cooka, C., & Bakkerb, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, 22(1), 94-102.
- Cun, R., Duarte, C. & Montero, L. (2012). Influencia de diferentes niveles de humedad del suelo en el cultivo de la lechuga en condiciones de organopónico en La Habana. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2), 60-65.
- Cun, R., Rodríguez, M.R., Rosales, L., Aguilera, J., & Rodríguez, D. (2016). Evaluación de la distribución del riego mediante microaspersión en condiciones de organopónico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1), 19-25.
- Daccache, A., Keay, C., Jones, R.J.A., Weatherhead, E.K., Stalham, M.A., & Knox, J.W. (2012). Climate change and land suitability for potato production in England and Wales: impacts and adaptation. *Journal of Agricultural Science*, 150(2), 161-177.
- Davis, M. (2007). Integrated Water Resource Management and Water Sharing. *The Journal of Water Resource Planning and Management*, 133, 427-445.
- De Carvalho, L. (2013). FAO Penman-Monteith equation for reference evapotranspiration from missing. *Idesia*, 3(3), 39-48.
- De Zeeuw, H. (2011). Cities, climate change and urban agriculture. *Urban Agriculture Magazine*, (25), 39-42.
- Delbeke, S., et al. (2015). Multiplex real-time PCR and culture methods for detection of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* and *Salmonella* Thompson in strawberries, a lettuce mix and basil. *International Journal of Food Microbiology*, 193, 1-7.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2014). *Water abstraction reform and drought: supporting information todigital dialogue on drought*. London: DEFRA. Recuperado de https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/351164/abstraction-reform-drought-info-note-201409.pdf
- Díaz, M., et al. (2012). Mulching and seeding treatments for post-fire soil stabilisation in NW Spain: short-term effects and effectiveness. *Geoderma*, 191, 31-39.
- Díaz-Alpuente, F. (2007). *La Gobernabilidad del Agua*. VIII Congreso Español de Ciencia Política y la Administración. Asociación Española de Ciencia Política y Administración, Valencia.
- Dorado, D., Grajales, L.C., & Ríos, L. (2015). Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 87-93.
- European Environment Agency (EEA). (2012). *Towards efficient use of water resources in Europe*. EEA Report No. 1/2012. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/towards-efficient-use-of-water>
- Fernández, C., & Vega, J.A. (2014). Efficacy of bark strands and straw mulching after wildfire in Spain: effects on erosion control and vegetation recovery. *Ecological Engineering*, 63, 50-57.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *Evaluación de los Recursos Hídricos Renovables*. FAO: Global Water Information System. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010). *The wealth of waste: The economics of wastewater use in agriculture*. FAO water reports 35. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). *Producción, recolección, tratamiento y uso del agua residual municipal*. FAO: Global Water Information System. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
- Généreux, M., Grenier, M., & Côté, C. (2015). Persistence of *Escherichia coli* following irrigation of strawberry grown under four production systems: Field experiment. *Food Control*, 47, 103-107.
- Gil, M.I., et al. (2015). Pre and post-harvest preventive measures and intervention strategies to control microbial food safety hazards of fresh leafy vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4), 453-468.
- Gilbert, N. (4 de octubre de 2010). How to avert a global water crisis? *Nature*. Disponible en: <http://www.nature.com/news/2010/101004/full/news.2010.490.html>
- Global Water Intelligence (GWI). (2015). Market-leading Analysis of the International Water Industry. *Global Water Intelligence*, 16(5), 37-38. Recuperado de http://www.apateq.com/files/1505_global_water_intelligence.pdf.
- Gregory, P.J. (2012). Soils and food security: challenges and opportunities (pp. 1-30). En Hester, R.E., & Harrison, R.M. (Eds.). *Soils and Food Security*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1039/9781849735438>
- Grigga, N.S. (2008). Integrated water resources management: balancing views and improving practice. *Water International*, 33(3), 279-292.
- Gutiérrez, R. (2010). When Experts Do Politics: Introducing Water Policy Reform in Brazil. *Governance: An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*, 23(1), 59-88.
- Hassing, J., Ipsen, N., Clausen, T.J., Larsen, L., & Lindgaard-Jørgensen, P. (2009). *Integrated Water Resources Management in Action*. United Nations Educational, World Water Development Report 3. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001818/181891E.pdf>
- Holvoet, K., Sampers, I., Seynaeve, M., & Uyttendaele, M. (2014). Relationships among hygiene indicators and enteric pathogens in irrigation water, soil and lettuce and the impact of climatic conditions on contamination in the lettuce primary production. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 21-31.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). (2012). *Política Nacional del Agua*. Habana, Cuba: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- International Life Sciences Institute (ILSI). (2008). *Considering Water Quality for Use in the Food Industry*. Recuperado de <http://ilsilife.org/mexico/wp-content/uploads/sites/29/2016/09/Considering-Water-Quality-for-Use.pdf>
- Kadasiddappa, M.M., et al. (2017). Effect of irrigation (drip/surface) on sunflower growth, seed and oil yield, nutrient uptake and water use efficiency - A review. *Agricultural Reviews*, 38(2), 152-158.
- Kalpana, R., & Fanish, A. (2014). Microirrigation and fertigation to maize and millets. *Agricultural Reviews*, 35(2), 103-112.
- Kang, B., & Ramírez, J.A. (2007). Response of streamflow to weather variability under climate change in the Colorado Rockies. *Journal of hydrologic engineering*, 12(1), 63-72.
- Liu, Y., et al. (2012). Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China. *Agriculture Water Management*, 110, 34-40.
- Loba, J., Ramírez, S., & Díaz, J. (2011). Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en Capas. *Revista de la Escuela Integral de Antioquia*, 16, 29-41.
- Malvares, M. (2009). *Gestión de Recursos Hídricos en el marco de los antagonismos entre Estado Post-Social y la sociedad post-neoliberal. El caso Argentino*. IV Encuentro del Centro de Reflexión en Política Internacional y II Jornadas del centro de Estudios Sudamericanos. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Malvares, M. (2011). *El Agua en Movimiento. El papel de los Movimientos Sociales Latinoamericanos en defensa del agua como Bien Social y Derecho Humano*. Primeras Jornadas Internacionales Sociedad, Estado y Universidad. UNMDP, Mar del Plata.
- Mansilla, G. (2011). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Los casos de Brasil, España, Francia, México y Argentina*. En Isuani, F. (Ed.) *Política Pública y gestión del agua*. Aportes para un debate necesario. Buenos Aires: EUDEBA.

- Martínez, J.A., Ramos, M.C., & Benites, G. (2016). Soil and water assessment tool soil loss simulation at the sub-basin scale in the Alt Penedès-Anoia vineyard region (Ne Spain) in the 2000s. *Land Degradation & Development*, 27(2), 160-170.
- Martínez, L. (2010). Estudio de la calidad agronómica del agua de riego de las islas Baleares. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- McDonnell, R. (2008). Challenges for integrated water resources management: how do we provide the knowledge to support truly integrated thinking? *International Journal of Water Resources Development*, 24, 131-143.
- McKenney, M.S., & Rosenberg, N.J. (1993). Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64(1), 81-110.
- Meza, F.J., Silva, D., & Vigil, H. (2008). Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*, 98(1), 21-30.
- Mo, X., Guo, R., Liu, S., Lin, Z., & Hu, S. (2013). Impacts of climate change on crop evapotranspiration with ensemble GCM projections in the North China Plain. *Climatic change*, 120(1-2), 299-312.
- Mo'allim, A.A., Kamal, R. Wayakok, A., Ahsan, A., Mohamed, A.A., & Moallim, A.A. (2016). Utilization of Global Circulation Models for Climate Change Impacts Assessments on Agricultural Water and Crop Production: A Review. *Asian Journal of Applied Sciences*, 4(2), 226-240.
- Morábito, J., et al. (2005). Calidad del agua en el área regada del río Mendoza (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 1, 1-23.
- Mwango, S.B., et al. (2016). Effectiveness of mulching under miraba in controlling soil erosion, fertility restoration and crop yield in the Usambaramountains, Tanzania. *Land Degradation & Development*, 27, 1266-1275.
- Namara, R., et al. (2010). Agricultural water management and poverty linkages. *Agricultural Water Management*, 97(4), 520-527.
- Olaimat, A.N., & Holley, R.A. (2012). Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiology*, 32(1), 1-19.
- Orengo, H.A. & Miro, C. (2013). Reconsidering the water system of Roman Barcino (Barcelona) from supply to discharge. *Water History*, 5(3), 243-266.
- Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación (ONAA). (2000). *El riego en América Latina y el Caribe en Cifras*. Roma: ONAA.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guidelines for the use of wastewater, excreta y greywater. Volumen 2. Wastewater use in agriculture*. Geneva: OMS.
- Ortiz, J., Miranda, H., & Peroza, D. (2012). Distribución del agua bajo riego por aspersión y su efecto sobre el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1), 106-116.
- Pangare, V., Pangare, G., Shah, V., Neupane, B., & Rao, P. (2006). Global perspectives on integrated water resources management: A resource kit. New Delhi, India: Academic Foundation.
- Paredes, D., Quintana, R., González, L.A., Calderón, Z.E., & Espinoza, P.G. (2014). Investigación de mercados para implementar a traspaso un sistema de producción acuá-agrícola sustentable en la comunidad en Benito Juárez, Sonora, México. *Revista Global de Negocios*, 2(2), 125-134.
- Park, S., et al. (2012). Risk factors for microbial contamination in fruits and vegetables at the preharvest level: A systematic review. *Journal of Food Protection*, 75(11), 2055-2081.
- Peasey, A., Blumenthal, U., Mara, D., & Ruiz-Palacios, G. (2000). *A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective*. WELL Study. London, UK: Water and Environmental Health at London and Loughborough (WELL).
- Prado, A.G. & Airoidi, C. (2000). Effect of the pesticide 2,4-D on microbial activity of the soil monitored by microcalorimetry. *Thermochimica Acta*, 349(1-2), 17-22.
- Prosdocimi, M., Cerdà, A., & Tarolli, P. (2016a). Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena*, 141, 1-21.
- Prosdocimi, M., Tarolli, P., & Cerdà, A. (2016b). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191-203.
- Ribeiro, D., Furtado N., & Nobre, F. (2012). Distribuição de laminas de agua em sistema de irrigação por aspersão fixo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 6(2), 12-20. Recuperado de http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/115/pdf_102.
- Robichaud, P.R., et al. (2013). Post-fire mulching for runoff and erosion mitigation. Part II: effectiveness in reducing runoff and sediment yields from small catchments. *Catena*, 105, 93-111.

- Rosenberg, N.J., Brown, R.A., Izaurralde, R.C., & Thomson, A.M. (2003). Integrated assessment of Hadley Centre (HadCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States: I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117(1), 73-96.
- Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Sharifi, E., Khaledi-Darvisahan, A., & Homaei, M. (2015). Scale effect on runoff and soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions. *Solid Earth*, 6, 1-8.
- Seidu, R., et al. (2013). Modeling the die-off of *E. coli* and *Ascaris* in wastewater-irrigated vegetables: Implications for microbial health risk reduction associated with irrigation cessation. *Water Science Technology*, 68(5), 1013-1021.
- Silungwe, F.R., Mahoo, H.F., & Kashaigili, J.J. (2010). *Evaluation of water productivity for maize under drip irrigation*. Second RUFORUM Biennial Meeting. Sokoine University of Agriculture, Tanzania.
- Specht, K., et al. (2013). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and Human Values*, 31(1), 33-51.
- Tartabul, T., & Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego, principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Agroecosistemas*, 4(1), 47-61. Recuperado de <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/75/108>.
- Torrecillas, C.E. (2016). *Diseño metodológico de manejo integral para la sustentabilidad de cuencas: caso de estudio la cuenca de los Twin Streams, Auckland, Nueva Zelanda* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Uyttendaele, et al. (2015). Microbial hazards in irrigation water: Standards, norms, and testing to manage use of water in fresh produce primary production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 336-356.
- Valipour, M. (2013). Necessity of Irrigated and Rainfed Agriculture in the World. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 9, e001.
- Vanlauwe, B., et al. (2015). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. *Soil*, 1, 491-508.
- Varughese, A., & Habeeburrahman, P.V. (2015). Fertigation and plastic mulching in tomato and brinjal-A review. *Agricultural Reviews*, 36(3), 246-249.
- Vogel, M. (2007). La utilidad de aproximaciones globales para la solución de la "crisis del agua": El ejemplo del Perú. Barcelona: CIDOB edicions.
- Wang, W., et al. (2014). Responses of rice yield, irrigation water requirement and water use efficiency to climate change in China: Historical simulation and future projections. *Agricultural Water Management*, 146, 249-261.
- Warner, J.F. (2008). Contested hydrohegemony: hydraulic control and security in Turkey. *Water alternatives*, 1, 271-278.
- Watson, N. (2010). Moving from 'participation' to 'collaboration' in Integrated Water Resources Management. Third International Symposium, Managing on sequences of a Changing Global Environment. British Hydrological Society, Newcastle.
- Wetzel, R.G. (1975). *Limnology*. United States of American: W. B. Saunders Company.
- Wilhite, D.A., & Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- Williamson, C.E., Dodds, W., Kratz, T.K., & Palmer, M. (2008). Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(5), 247-254.
- Yenesew, M., & Tilahun, K. (2009). Yield and water use efficiency of deficit irrigated maize in semi-arid region of Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9(8), 50-57. Recuperado de <https://www.ajol.info/index.php/ajfand/article/view/48403>
- Yu, P.S., Yang, T.C., & Wu, C.K. (2002). Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*, 260(1), 161-175.
- Zarzo, D., Campos, E., & Terrero, P. (2013). Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalination Water Treatment*, 51(1-3), 53-56.