

Riego inteligente para ahorrar agua y fertilizantes: Los resultados del proyecto Flow-Aid

Durante la presentación de apertura de la sesión técnica de riego y fertirriego en Atenas, Jos Balendonck –del Centro de Investigación de la Universidad Wageningen–, reseñó los resultados del proyecto Flow-Aid, que fue desarrollado por un grupo de institutos de investigación y universidades europeas.

Para lograr una mayor productividad por gota de agua los agricultores pueden mejorar sus prácticas de riego en pocos pasos. Primero, evitando pérdidas por infiltración y evaporación o por tubos de drenaje cerrados, usando goteo en vez de riego por surcos o aspersión, y así mismo pueden utilizar coberturas de suelo. Para mejorar aún más la Eficiencia de Uso del Agua (EUA), las prácticas de programación fija se pueden mejorar aproximando aún más la oferta de agua a la demanda instantánea del cultivo. El enfoque más común es usar un modelo de ET, por ejemplo el de Penman–Monteith, o un derivado como el Sistema de Información de Gestión del riego de California (CIMIS por sus siglas en inglés). Este modelo utiliza datos climáticos en tiempo real y debe ser alimentado con parámetros dependientes del cultivo y su estado fenológico, por ejemplo con el coeficiente de cultivo (Kc). Otro método es el uso de sensores de humedad para activar el programa de riego (SMS-IS), que se basa



Jos Balendonck

en la estimación del agua disponible en la zona de las raíces al medir el contenido de agua del suelo a diferentes profundidades. Cuando la demanda de agua del cultivo es mayor a la cantidad de agua disponible, los agricultores se ven forzados a aplicar menos agua o a usar fuentes de agua de mala calidad, por ejemplo agua salada, tratada o aguas residuales regeneradas. Esta práctica es conocida como riego deficitario (RD). Estudios recientes muestran que el RD puede incrementar exitosa-

mente la productividad del agua en diferentes cultivos sin causar grandes pérdidas de rendimiento cuando las aplicaciones de fertilizantes se ajustan a los requerimientos de la planta y al riego. Para esto los agricultores necesitan de buenas herramientas de gestión. Flow-Aid es un sistema de gestión de RD a nivel de agricultor basado en un concepto de control por SMS-IS y la asignación de fuentes de agua de múltiples calidades. Gracias a la implementación de varios sistemas para diferentes cultivos, el proyecto ha demostrado su potencial para ahorrar agua dulce y reducir lixiviación, manteniendo rendimientos aceptables.

UNA RED DE CONTROLADORES DE RIEGO, VÁLVULAS Y SENSORES DE SUELO DENTRO DEL CAMPO

El sistema consiste en una red de controladores de riego, válvulas y sensores de suelo conectados de forma inalámbrica a los computadores de los agricultores. Un sistema de soporte de decisiones (DSS), que corre en el mismo computador o en un servidor externo, ayuda a los productores a seleccionar una estrategia de programación de riego que considerará cantidad y calidad del agua de

riego disponible, estado de planta, clima y limitaciones locales. Durante tres temporadas (2007 a 2009), diferentes versiones del sistema fueron evaluadas en hortalizas de alto valor y en ornamentales. Los casos de estudio diferían en sus objetivos y en sus limitaciones locales, así como en la infraestructura de riego y en la cantidad y calidad del agua disponible: (1) Pepinos en invernadero regados por goteo en clima de invierno suave (Turquía), para minimizar la lixiviación de fertilizantes; (2) berenjena regada por goteo en clima semiárido (Líbano), para optimizar la EUA; (3) tomate regado por goteo en clima árido (Jordania), para utilizar agua residual tratada; (4) ornamentales cultivadas en contenedores en clima mediterráneo (Italia), para probar fuentes de agua duales, de alta y baja salinidad; y (5) lechuga regada por goteo bajo condiciones de secano (Holanda), para reducir la lixiviación de nitrato.

PROGRAMACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO MEDIANTE SENSORES

Se observó que la programación de RD por SMS-IS pudo mejorar significativamente la EUA (eficiencia en el uso de agua) y reducir la lixiviación. En los estudios, en comparación con las prácticas normales de los agricultores, se

Instituciones participantes del proyecto:

Se asociaron la Universidad de Pisa (Italia), Rothamsted Research (UK), Universidad Ege (Turquía), Universidad jordana de Ciencia y Tecnología (Jordan), Universidad de Castilla la Mancha (España), el Instituto de Investigación Agrícola Libanés (Líbano) y la compañía GEOMATIONS S. A. (Grecia), Spagnol – Greenhouse Technologies (Italia) y Delta-T Devices Ltd. (UK).

ahorró entre un 19% y un 69% de agua manteniendo aceptables rendimientos (-6% a +17%) y calidad del cultivo. Se pueden usar fuentes de agua salina o tratada incluso bajo régimen de RD, sin embargo, para prevenir pérdidas de producción por aumento de la salinidad es aconsejable usar ocasionalmente agua de baja conductividad para mantener la CE del suelo en niveles aceptables y para realizar lavados cuando se requiera.

Según Balendonk, la programación de riego deficitario activado por sensores aumenta mucho la EUA, al ahorrar entre 16 y 69% de agua y reducir la lixiviación. Se obtuvo buena calidad de producto comercial utilizando RD moderado y un rendimiento aceptable usando agua de mala calidad.

En el sistema se utilizó tecnología comercial disponible, la que se integró en un sistema de gestión del riego mediante la adición de software y hardware. Sin embargo, el sistema Flow-Aid como un todo aún no está disponible en el mercado por lo que Balendonk alienta a los proveedores de equipos de riego a implementar sus principios. ■

Fertirrigación de precisión en ambiente desértico

El uso del agua en cultivos en arena puede ser muy ineficiente y a menudo está basado en la tradición y no en información sobre el contenido de agua del suelo. Una alta CE en suelo y agua por lo general requiere de la aplicación de una gran cantidad de agua para evitar el daño por sales. Independientemente de los niveles de salinidad, los análisis revelan una alta ineficiencia de uso del agua con las consecuentes pérdidas de recursos, contaminación y bajas de producción. La ineficiencia en la fertilización en tanto, se relaciona al desbalance o excesiva aplicación de varios nutrientes esenciales. Según el estado de crecimiento el exceso puede ser incorporado (absorción de lujo) o lixiviar. En general los excesos y las deficiencias afectan la calidad del producto.

Para evitar las ineficiencias se puede utilizar equipos de medición del contenido de humedad en el suelo, análisis de datos e información técnica sobre el balance ideal para cada etapa de cultivo.

Menores costos y mayores rendimientos

Los datos clave para determinar un programa de fertirrigación en el desierto incluyen tasa de infiltración de agua, contenido de nutrientes en cada estado de desarrollo, producción objetivo, tasa de emisión de agua del sistema de riego y volumen de raíces. Esta información es fácilmente obtenible. La determinación de la tasa de infiltración de agua es un componente esencial para prevenir riegos



Dr S.A. Oosthuyse

deficitarios o excesivos y puede ser determinada de varias maneras. Como por ejemplo, enterrar acumuladores de agua o tensiómetros. La tasa de infiltración de agua y el dato de la profundidad de las raíces absorbentes permitirá evitar las pérdidas.

En fertirriego, la concentración de nutrientes y la tasa de crecimiento deben ser bien correlacionadas. Los factores relativos a la tasa de crecimiento, principalmente temperatura ambiente y estado de desarrollo, deben ser considerados en la distribución de nutrientes según estado fenológico, pero asegurándose de que la concentración de nutrientes no lleve a una CE crítica. De acuerdo con Oosthuyse estos requerimientos pueden ser fácilmente alcanzados posibilitando en la práctica la fertirrigación de precisión. El esfuerzo adicional será recompensado por la reducción de costos y el incremento en el rendimiento y la calidad del producto. ■

Novedades en fertirriego en invernaderos



Dr. A. P. Papadopoulos

Una óptima aplicación de fertilizantes es posible en el cultivo de tomates bajo invernadero gracias a una mejor comprensión de la nutrición del cultivo y a sofisticados sistemas de fertirriego. Sobre lo dicho trató la presentación del Dr. A. P. Papadopoulos, conocido investigador del Greenhouse and Processing Crops Research Centre at Agriculture and Agri-Food de Canadá.

Los principios generales de la respuesta de un cultivo a la nutrición son más conocidos en tomate que en cualquier otro cultivo hortícola. Esto hace del tomate de invernadero el modelo de cultivo preferido para desarrollar y probar los programas de fertirriego. Con el advenimiento del fertirrigador computarizado, se hizo posible la aplicación oportuna y la evaluación de una serie de programas de fertirrigación en otras hortalizas de invernadero y es posible desarrollar programas avanzados de fertirrigación de temporada para otros cultivos de alto valor.

EL MARCO TEÓRICO

Hoy hay muchas computadoras que controlan el clima y su uso en invernaderos es un éxito. Sin embargo, el desarrollo de sistemas para el control de la fertirrigación no ha avanzado al mismo ritmo y en el mercado no existe una que provea una combinación efectiva de control ambiental y fertirrigación. Inicialmente la mayoría de los sistemas computarizados de mezcla de fertilizantes controlaban en forma limitada la fertirrigación, lo que raramente va más allá de programar el riego y controlar pH y CE (un indicador que solo informa sobre la concentración total de fertilizantes). Es común, especialmente en Europa, mezclar fertilizantes en un número de soluciones concentradas (usualmente dos: A y B) e incorporarlos simultáneamente al agua de riego, a tasas que dependen de la deseada CE.

El problema con el sistema de tanques A y B es la dificultad para cambiar la relación entre nutrientes una vez que las soluciones madre A y B han sido preparadas. Para solucionar este problema - hace entre 20-25 años atrás- se introdujeron al mercado inyector multicabezales capaces de inyectar soluciones madre de fertilizantes individuales en las líneas de riego a tasas variables según el ajuste de cada bomba. Estos inyector multicabezales facilitan un cambio rápido en la concentración sin cambiar las soluciones madre. Pero los sistemas de inyector multicabezales no fueron bien recibidos por los productores comerciales de cultivos de invernadero fuera de EEUU.

Un sistema ideal de inyección de fertilizantes debería tener la capacidad de controlar la concentración de cada nutriente esencial de forma independiente de acuerdo al tipo de cultivo, condiciones ambientales insumos utilizados, etc., en coordinación con el controlador ambiental.

Un sistema automatizado para aportar nutrientes debe considerar dos condiciones. Primero, es necesario conocer la mejor mezcla de nutrientes para cada momento del ciclo. Segundo, es necesario un aparato que implemente la recomendada nutrición en el tiempo requerido.

Con posterioridad a establecer los valores para cada nutriente esencial (y niveles de CE y pH) se deberá utilizar un software especializado para 1) efectuar ajustar

los valores de acuerdo a una cantidad de factores conocidos que influyen los requerimientos nutricionales del cultivo (luz, humedad relativa, carga frutal, etc.) y 2) ajustar la concentración de nutrientes y que esta no se desvíe excesivamente de los valores objetivo.

LA PRÁCTICA EN TOMATES DE INVERNADERO

El tomate absorbe nutrientes en las siguientes tasas promedio: nitrógeno, 370 kg/ha; fósforo, 50 kg/ha; potasio, 680 kg/ha; magnesio, 290 kg/ha; y calcio, 45 kg/ha. En la temporada aparentemente se debe aplicar el doble de K que N y casi tanto Mg como N para cubrir las necesidades de la planta. Pero eso es simplista. De hecho, los programas de fertilización son ajustados regularmente a través de la temporada para coincidir con los cambiantes requerimientos del cultivo. Además la fertilización es usada como herramienta para controlar el crecimiento del cultivo y la calidad de fruta. Por ejemplo, una producción exitosa de tomate en invernadero dependerá de la habilidad del agricultor para mantener el adecuado balance dinámico entre el crecimiento vegetativo y reproductivo durante la temporada. Las fallas en el balance, especialmente durante los primeros dos o tres meses, pueden provocar ya sea crecimiento excesivo con poca cuaja de fruta o una gran carga frutal pero con lento crecimiento de las plantas. ■

Riego de alta frecuencia: ¿El camino a seguir?

En la actualidad, la fertirrigación a través del riego por goteo es sinónimo de sistemas agrícolas modernos, especialmente en condiciones áridas o semi-áridas, o en invernaderos con sustratos artificiales. El consumo de agua y nutrientes por las raíces lleva a diferencias en su concentración entre la rizósfera y el suelo, y a la formación de una zona de agotamiento en las proximidades de la

superficie radicular, que puede limitar el transporte de agua y nutrientes hacia la raíz. Así, si el período entre riegos sucesivos es más largo, la concentración de nutrientes en la rizósfera puede ser alta o incluso excesiva inmediatamente después del riego, y puede caer a niveles de déficit a medida que pasa el tiempo. Reducir el intervalo de tiempo entre riegos, a través de emisiones sucesivas per-

mite mantener un contenido de agua constante y adecuado, puede reducir las variaciones en la concentración de nutrientes, aumentando su disponibilidad para las plantas y disminuyendo la lixiviación. El efecto de la frecuencia de riego en la absorción de nutrientes ha demostrado ser $P > K > N$, lo que sigue el orden de la movilidad de estos elementos en el suelo. El aumento en las concentraciones de P foliar luego del aumento de la frecuencia de riego (Figura 1) se atribuyó a ambos efectos directo e indirecto, en la concentración de P en la superficie radicular. El efecto directo es la eliminación de la zona de agotamiento en la superficie de las raíces al aplicar una solución de nutrientes durante y después de cada riego. Por otra parte, una mayor frecuencia de riego mantiene una mayor concentración de P disuelto en la solución del suelo al disminuir el período en que éste es retenido. El efecto indirecto en la disponibilidad de P se manifiesta a través de un mayor flujo convectivo del P disuelto desde la solución del sustrato a la superficie radicular, el cual aumenta a mayor frecuencia de riego. La Figura 2 representa las relaciones entre producción de peso seco y concentración de P foliar inducida por frecuencia de riego en varios cultivos. Múltiples regresiones por pasos que relacionaron concentración de nutrientes en la planta y rendimiento, revelaron una significativa correlación entre el peso seco y la concentración de P en hojas, indicando que el principal efecto de la frecuencia de fertirrigación fue una mejora en la movilidad y absorción de P. ■



Avner Silber

Figura 1. Efectos de la frecuencia de riego y nivel de P del agua en la concentración de P foliar en pimiento. Barras verticales indican el error estándar. Basado en Silber et al., 2005.

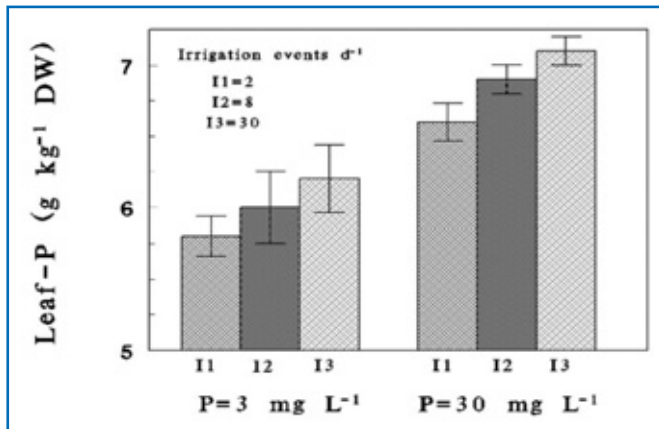
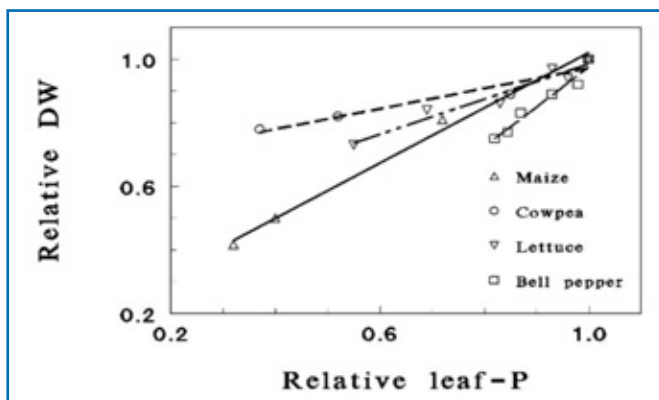


Figura 2. Relaciones entre producción de peso seco (DW) y concentración de P foliar determinadas por frecuencia de riego. Los valores son relativos al peso seco y concentración de P foliar obtenidos en el mejor tratamiento (datos para maíz y frejol fueron tomados de Mbagwu & Osuigwe 1985, para lechuga de Silber et al., 2003, y para pimiento de Silber et al., 2005).



En su conferencia de Atenas, Avner Silber, del Instituto de Suelos, Agua y Ciencias del Ambiente, Israel, afirma que el riego de alta frecuencia es un medio muy eficiente para la reducción de los riesgos de contaminación de suelos y aguas, y para mejorar la absorción de nutrientes por las plantas. El efecto de la frecuencia de riego en la absorción de nutrientes ha demostrado ser $P > K > N$, lo que sigue el orden de la movilidad de estos elementos en el suelo.

Experiencia en fertirriego de arroz en la India

El profesor V. Kumar explicó cómo optimizar agua y nutrientes para maximizar el rendimiento en arroces híbridos fertirrigados por goteo. Se realizaron experimentos de campo en el Agricultural College and Research Institute, de Madurai, para estudiar el efecto de la fertirrigación por goteo en el arroz híbrido CO(R)-H3 durante las temporadas 2008 -09.

El ensayo contempló dos regímenes de riego. I1 riego por goteo al 100% de PE, I2 riego por goteo al 150% de PE, con cinco niveles de nutrientes, N1: aplicaciones al suelo de 100% de RDF, N2: DF de 100% de RDF (P base, N y K como urea y KCl), N3: DF de 50% de RD de P y K (50% de P y K base, dejando N, P y K como WSF + LBF), N4: DF de 75% de RD de P y K (50% de P y K base, dejando N, P y K como WSF + LBF), N5: DF de 100% de RD de P y K (50% de P y K base, dejando N, P y K como WSF + LBF).

El riego por goteo al 150% de PE incrementó significativamente el crecimiento del arroz híbrido: altura de la planta, no de macollos por hilera, LAI, DMP, volumen y peso seco de raíces. El fertirriego por goteo al 100% de RD de P y K registró los mayores valores de parámetros de crecimiento.

Los días al 50% de floración fueron más tempranos con riego por goteo al 100% de PE en comparación con el riego a 150% de PE. Los parámetros de cosecha tales como macollos por hilera, largo de la panícula, número de granos llenos por panícula y peso de mil granos, se vieron significativamente afectados tanto por los niveles de riego como de nutrientes. Semejantes altos rendimientos de granos y paja se obtuvieron con riego al 150% de PE y fertirrigación al 100% de RD de P y K.



V. Kumar

La mayor absorción de N, P y K se asoció a riego por goteo al 150% de PE. Entre los niveles de nutrientes, el fertirriego al 100% de RD de P y K (50% de P y K base, dejando N, P y K como WSF + LBF) registró una mayor absorción de N, P y K. En cuanto al agua total utilizada y a eficiencia de uso, el riego por goteo a 150% de PE registró un mayor consumo de agua y el fertirriego al 100% de RD de P y K (50% de P y K base, dejando N, P y K como WSF + LBF) registró una mayor eficiencia de uso del agua. Resultó que el retorno neto y la relación costo beneficio fue mayor con riego por goteo a 150% de PE en conjunto con fertirriego al 75% de RD de P y K (50% de P y K base, dejando N, P y K como WSF + LBF). ■

Los problemas de desplazamiento de los pivotes centrales

Sobre los problemas de desplazamiento de los pivotes centrales y lineares expuso en Atenas François Davel, Gerente Regional para África y Australia de la compañía norteamericana Senninger Irrigation. Pese a que los pivotes funcionan bien en la mayoría de los suelos en algunos casos se producen problemas de tracción.

Aunque los problemas de desplazamiento rara vez se deben a una sola causa, la forma de aplicar el agua puede resolver los problemas. Un incorrecto desplazamiento de las ruedas puede causar que los pivotes centrales se traben y afecten la programación de riego o incluso que se dañe su estructura. Además de considerar el tamaño de los neumáticos y su presión, se debe incrementar la flotación de las ruedas para prevenir que se entierren en el barro y programar el riego de modo de minimizar los tiempos en que el pivote central realiza un giro. Mientras más giros realiza un pivote peor se pone la pista de la rueda.

LA ELECCIÓN DEL TIPO DE ASPERSOR

Davel mostró cómo, al usar ciertos tipos de aspersores, se resuelven algunos problemas de aplicación de agua. La aplicación de agua en las pistas de las ruedas ha sido tradicionalmente manejada mediante el uso de pantallas para solo mojar las pistas de las ruedas de atrás del pivote. Otro método es limitar el agua que se aplica en la pista de la rueda para mantener las pistas en condiciones aceptables.

Esto se hace mediante el uso de aspersores que solo mojan una parte del círculo. Sin embargo, cuando se aplica agua en semicírculo la tasa de aplicación se incrementa si se mantiene el caudal. Con una mayor tasa de aplicación en la pista de la rueda la posibilidad de escurrimiento aumenta. La solución es bajar el caudal de modo de bajar la tasa de aplicación, pero así se reduce mucho el área mojada y queda una franja seca cerca de la pista de la rueda, y la pérdida de rendimiento puede ser significativa.

AJUSTE DE LA TASA DE APLICACIÓN A LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL SUELO

En vez de bajar el caudal en dichas áreas se puede ajustar la tasa de aplicación a la tasa de infiltración del suelo de modo de que haya un mínimo escurrimiento y exceso de agua en la pista de la rueda. No es posible mantener la pista seca pero logra disminuir el escurrimiento y se logra un rendimiento óptimo del cultivo incluso cerca de las ruedas. En vez de reducir el caudal para reducir la tasa de aplicación ciertos aspersores con deflectores rotatorios amplían la huella mojada. Este caudal sobre un área más grande reduce la tasa de aplicación hasta la tasa de infiltración del suelo. Si ampliar la huella mojada no baja lo suficiente la tasa de aplicación entonces se puede bajar el caudal. El efecto general es un cultivo más homogéneo de mejor rendimiento pero con menos problemas de desplazamiento. ■