

FERTICIT: UN SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN EN LA PROGRAMACIÓN DE FERTIRRIEGO EN CÍTRICOS.

Ferrer, P.J.(1), Cebolla, V.(2)*, Molinero, J.J., Trénor, I. (2), Soler, J.(2), Legaz, F.(2), Illa, F.(1)

(1) S.D.T.A. CAPA (2) I.V.I.A. CAPA
Carretera de Moncada a Náquera, Km 5. 46113 Moncada (Valencia)

Abstract

Ferticit: a decision support system in citrus fertirrigation programming.

Key words: fertilisation, drip irrigation, cost, database, internet, technology transfer.

Fertiliser calculation, selection and distribution, either in trickle irrigation or in conventional irrigation is a hard task, mainly if one wishes to compare several options to adopt a final decision.

The system allows to adjust the needs specifically to each crop, taking into account factors such as age, spacing, size or irrigation method, and whether, analytical values of soil, water and leaves are available.

By means of combinations of fertilisers selected from one list, one can choose the fertiliser combination assigning their proportion to each season, so that they will adapt to a distribution of the fertiliser elements previously established.

The system allows to obtain a better efficiency of fertilisation, through rationalisation of amounts, leading to an improvement in production and quality, whereas nitrate contamination is reduced.

The calculation procedure is based upon the knowledge and experience of the Department of Citriculture of the Valencian Institute for Agricultural Research and is applied both to crops with conventional irrigation and with trickle irrigation.

It has two ways of working: a) automatic, in which the system selects the options, based on data introduced, and b) the expert mode, where the user can approach, change, and personalise all the options in an interactive form to facilitate the decision.

Resumen

El cálculo, selección de abono y su distribución tanto en riego localizado como en riego tradicional, es una tarea laboriosa, sobre todo, si se desea comparar varias opciones para adoptar una decisión final.

El sistema permite ajustar las necesidades específicamente a cada plantación teniendo en cuenta factores como edad, marco, tamaño o método de riego, y si los hubiese, los valores analíticos de suelo, agua y hojas.

Mediante combinaciones de abonos seleccionados de una lista, se puede escoger la combinación de fertilizantes asignando su proporción para cada época, de forma que se adapten a una distribución de los elementos fertilizantes previamente establecida.

El sistema permite obtener una mejor eficacia del abonado, mediante la racionalización de las aportaciones, lo que conduce a una mejora de la producción y de la calidad al tiempo que se reduce la contaminación por nitratos.

El procedimiento de cálculo está basado en los conocimientos y experiencias del Departamento de Citricultura del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias y se aplica tanto a plantaciones con riego tradicional como en riego localizado.

Posee dos modos de funcionamiento: a) automático, en el que el sistema selecciona las opciones en función de los datos introducidos y b) en modo experto, en el que el usuario puede acceder, variar y personalizar todas las opciones de forma interactiva para facilitar la decisión.

1. INTRODUCCIÓN

La Agricultura, que ha sido desde el principio de la civilización una actividad con capacidad para reciclar desechos (estiércol, restos de cosechas, etc.), tras el desarrollo de nuevas tecnologías, ha pasado a ser en la actualidad contaminante en cierta manera (plaguicidas, abonos)

Uno de los aspectos ligados a esta transformación de los usos agrícolas fue la intensificación de los medios de producción y, entre ellos, el consumo de fertilizantes. En las zonas de agricultura intensiva, tanto tradicionales como de nueva creación, la aplicación de cantidades abusivas de fertilizantes ha sido la norma habitual, motivado, sin duda, por una coyuntura comercial favorable, defectos en la formación y capacitación de los agricultores y deficiencias en los sistemas de experimentación y transferencia de tecnología.

Los conocimientos actuales sobre las necesidades de los cultivos son más amplios y esta perfectamente establecida la influencia negativa que el exceso de abonado tiene sobre la calidad de los productos agrícolas y sobre la contaminación, sobre todo de los acuíferos de zonas de agricultura intensiva.

El riego localizado permite obtener resultados óptimos mediante un uso eficiente del agua y los fertilizantes, pero pueden originar trastornos y desequilibrios nutricionales cuando no se regula bien la dosificación y distribución de los fertilizantes.

La Consellería de Agricultura Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana, a través de la Dirección General de Investigación, Sanidad y Tecnología, marcó unas directrices de trabajo encaminadas a la lucha contra la contaminación y empleo racional de los fertilizantes.

La Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (O.T.R.I.) del IVIA, integrada por personal del propio Instituto y del Servicio de Transferencia de Tecnología Agraria de la Conselleria de Agricultura han desarrollado una herramienta informática con el objeto de facilitar la labor de transferencia de tecnología al sector agrario, en lo referente a planes de fertilización.

2. OBJETIVOS

Se planteó como principal objetivo que el sistema pudiera realizar, de forma rápida y segura, recomendaciones de abonado perfectamente ajustadas a las necesidades específicas de cada plantación, teniendo en cuenta factores tales como edad, variedad, marco de plantación, tamaño del árbol, etc., junto con los valores analíticos de suelo, agua y hojas, cuando los hubiere, así como las características de la instalación de riego localizado, lo que permite orientaciones para un uso más adecuado y eficiente de los fertilizantes.

- 2.1. Esta herramienta debe facilitar el empleo de los mismos criterios, dando una homogeneidad a las recomendaciones. No obstante el sistema debe permitir, y de hecho lo permite, la corrección y la personalización por parte del técnico que lo utiliza de manera que este esté siempre por encima de la máquina.
- 2.2. No debe consistir en un simple programa de cálculo sino que, actuando de manera interactiva, sea más bien un sistema de ayuda a la decisión en agricultura. Para ello debe permitir realizar con facilidad supuestos y variaciones e incluso, dentro de ciertos límites, dar orientaciones sobre el coste del abonado. Sistemas de este tipo presentan numerosas ventajas entre las que cabe destacar que, gracias a la sistematización de la entrada de datos, se tienen en cuenta en los cálculos y en las recomendaciones todos los aspectos que influyen en la fertilización.
- 2.3. Debe ser una herramienta amigable, de fácil y cómodo uso, rápida, versátil, fácilmente amoldable a los casos particulares y rigurosa en el tratamiento y que permita su utilización, incluso, por aquellos que "le tienen respeto a los ordenadores".
- 2.4. Debe guardar los datos de manera masiva y facilitar la consulta de los mismos por tanto requiere una base de datos centralizada.
- 2.5. El sistema debe ser accesible a través de Internet para dar las máximas facilidades de uso a distancia

3. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del sistema se organiza en cuatro áreas principales:

- 3.1. La primera se ocupa del cálculo de las necesidades de nitrógeno, P_2O_5 , K_2O , MgO y hierro, basándose en los datos del cultivo tales como edad, tamaño del árbol, marco de plantación, tipo de riego.
- 3.2. En la segunda se llevan a cabo las correcciones en función de los análisis de suelo, agua y foliar, siguiendo los criterios de Legaz F. y Primo-Millo E. (1988). Si existe análisis de suelo y el método de riego es por inundación, se realizan

correcciones afectando al nitrógeno, como consecuencia del contenido en materia orgánica del suelo, y al fósforo y potasio según contenido y textura y cantidad de carbonato cálcico. Con análisis foliar, las correcciones se realizan en función de la variedad o grupo de variedades, pudiendo afectar tanto al nitrógeno como al fósforo, al potasio o al hierro. A través del análisis de agua se establecen correcciones en la dosificación de nitrógeno, por el contenido en nitrato, y de potasio y magnesio según los valores que presenten dichos cationes en el análisis.

Para el cálculo de las aportaciones que, de los diferentes elementos, puede realizar el agua, es necesario conocer la cantidad total que se aporta. Para ello, en riego tradicional, se tienen en cuenta el número de riegos que se realizan y el volumen. Si el método de riego es el localizado, la cantidad de agua puede calcularse por medio de datos climáticos (E_o , E_{To}), que pueden estar almacenados en forma de fichero, y del coeficiente de cultivo (K_c), que el programa calcula en función del área sombreada (Castel J.R. et al 1987), (Castel J.R.1991) por la planta según la ecuación $K_c = 0,043 + (0,089 \times PAs)$ en donde PAs es el porcentaje de área sombreada por la planta.

- 3.3. La tercera área de cálculo corresponde a la distribución de las cantidades calculadas de elementos fertilizantes, según las proporciones y épocas deseadas y su conversión en los abonos comerciales seleccionados, dando lugar al plan de abonado.
 - 3.3.1. Cuando se selecciona para el abonado algún complejo ternario, la combinación de cantidades de fertilizantes que se ajusta a las necesidades se puede calcular partiendo, bien del nitrógeno del complejo, bien del fósforo o del potasio. El sistema analiza las distintas combinaciones y ayuda en la toma de decisiones calculando los balances e indicando el coste de cada una de las opciones, según los datos que están almacenados en la base de abonos.
 - 3.3.2. Tanto la distribución deseada de los elementos fertilizantes como los abonos seleccionados y su proporción pueden almacenarse, en forma de fichero, para su posterior uso en otras recomendaciones que requieran idéntica distribución o selección de abonos.
 - 3.3.3. Los datos de identificación junto con las necesidades calculadas, el plan de abonado, los datos analíticos y su interpretación y los datos de riego constituyen la recomendación de abonado o informe que emite el sistema.
- 3.4. La cuarta área corresponde a la gestión de la información y resultados, que se almacenan en una base de datos, de donde se puede recuperar la información para consultas o nuevas recomendaciones.

4. Estructura y manejo

El sistema, que lleva el nombre de FERTICIT consta de un número de módulos escritos en Turbo Pascal, C++ y Clipper bajo sistema operativo DOS, interrelacionados entre sí y gestionados desde un módulo principal. Su manejo, a través de ventanas y menús lo hace amigable con el usuario y permite evitar errores de teclado gracias al uso de ayudas en línea.

Mediante las opciones del menú principal se accede a todos los procedimientos:

- 4.1. El menú Ficheros permite la gestión de los archivos. Las diferentes opciones permiten comenzar una Nueva recomendación, Guardar para su posterior consulta la que se acaba de realizar y almacenar los datos en la base que se genera al efecto, Recuperar para cambios, modificaciones, consultas o nueva recomendación de los datos y parámetros almacenados.

Sin embargo, es el apartado de Configuración el que confiere una mayor especificidad al programa. En él se puede determinar desde el cambio de tipo de monitor hasta cuales serán las Distribuciones y Selecciones de abono que se van a utilizar, por defecto, según los grupos y el momento de recolección o el tipo de suelo. También permite predeterminar cuales serán los datos climáticos que se van a tener en cuenta para el cálculo de las necesidades de agua, así como la periodicidad de los riegos en el caso de sistemas de riego localizado.

Para permitir su uso por parte de personas con escasa formación agraria, se ha dotado al apartado Configuración de la posibilidad de funcionamiento en modo Automático, de forma que sea el sistema quien seleccione las diferentes opciones en función de los datos introducidos, sin que el operador tenga que detenerse a decidir. Existe otro modo de funcionamiento, el modo experto, en el que el usuario puede acceder a todas las opciones y a las posibilidades de alterar los contenidos.

- 4.2. La opción Datos permite identificar al titular de la explotación, la parcela y el cultivo incluidos los datos analíticos de Hojas, Suelo y Agua de riego. La superficie, marco de plantación, edad, tamaño, patrón, variedad, tipo de riego, etc. determinan las necesidades teóricas de elementos fertilizantes.

Desde las ventanas de Análisis se puede obtener una interpretación de los valores analíticos de tierra y hojas, presentado mediante un diagrama de barras. Si existen los datos analíticos, las necesidades teóricas son corregidas teniendo en cuenta esta interpretación.

- 4.3. La opción Riego depende del tipo de riego que se emplee. Si es tradicional, de pié o por aspersión, únicamente se solicita el volumen de agua que se aplica (nº de riegos y volumen unitario). Sin embargo, si el riego es localizado intervienen los datos climáticos (evaporación o evapotranspiración), las características de la

instalación y las del cultivo, lo que permite al programa dar una recomendación, de tipo orientativo, sobre dosificación de agua y tiempo de riego. Si en los datos de análisis de agua existe nitrato, el programa calcula la disminución de la cantidad del abonado nitrogenado, en función del volumen de agua de riego que se aplica, como consecuencia del nitrógeno aportado por el agua. Otro tanto sucede si el agua posee cantidades apreciables de potasio o magnesio.

4.4. En la ventana Fertilización hay disponibles tres opciones que determinan las cantidades a emplear, así como los abonos que se van a utilizar y las épocas de aplicación.

4.4.1. La Distribución de abono se presenta en forma de una tabla de doble entrada, con los meses del año y los elementos fertilizantes a considerar en la fertilización. En cada una de las casillas se introduce el tanto por ciento, del correspondiente elemento, que se desea aplicar ese mes. De esta forma se consigna una distribución mensual y porcentual para cada uno de los elementos.

4.4.2. El apartado Selección de abono permite escoger, de una base de datos de fertilizantes comerciales, los abonos complejos ternarios, nitrogenados, fosfóricos, potásicos, magnésicos y de hierro que se desean utilizar para la fertilización, con selección de los meses en los que se desea aplicar y la proporción entre ellos, si se selecciona más de uno, mediante los correspondientes cuadros.

4.4.3. El tercer apartado, Recomendaciones, es el que pone en marcha los cálculos para establecer las necesidades y las correcciones en las dosis de elementos fertilizantes (N, P_2O_5 , K_2O , MgO y Fe), según las decisiones adoptadas por cada uno de los módulos. De esta forma se obtiene una propuesta de Necesidades corregidas, que el experto puede cambiar si lo desea. Tanto las distribuciones como las selecciones de abonos que se confeccionen pueden almacenarse en forma de fichero, pudiendo ser recuperadas para su empleo en posteriores recomendaciones.

4.4.4. Si en la selección de fertilizantes intervienen abonos ternarios. El sistema ofrece como criterios de selección primero, de entre los abonos escogidos, la combinación que consiga el mejor balance de nutrientes y, en caso de igualdad de balance, la combinación de menor coste económico.

4.4.5. Si los niveles foliares de microelementos son inferiores a lo normal, el programa lo detecta y realiza una recomendación para su corrección.

4.5. La opción Salidas permite que los resultados y recomendaciones puedan formalizarse en un Informe, que bien se puede editar, para añadir comentarios o correcciones, Guardar en forma de fichero ASCII si así se desea, y obtener una copia escrita a través de la impresora. Este menú de salidas permite manejar y

gestionar la Base de datos, de forma que se pueden consultar o recuperar datos de propietarios, parcelas o análisis almacenados con anterioridad y utilizarlos en otra recomendación. Esto resulta particularmente interesante en el caso de riegos comunitarios, en los que un solo análisis puede servir en muchas parcelas.

- 4.6. La aparición de las autovías de información ha mejorado de una manera extraordinaria la posibilidad de comunicación entre ordenadores, y esto ha permitido que el IVIA disponga de una página OTRI en su propia Web, que contiene un formulario de solicitud en el que se pueden incluir todos los datos necesarios para realizar una recomendación. Después de Enviar el formulario los datos llegan a la OTRI, son procesados, y el informe de fertilización es remitido al solicitante ya sea por correo electrónico o convencional

5. RESULTADOS.

Durante la campaña 1994-1995 se puso en marcha un sistema de recomendaciones de cara a los agricultores, que sirvió al mismo tiempo que se daba un servicio, para depurar los errores que pudieran aparecer al tratar con datos reales de nuestros campos

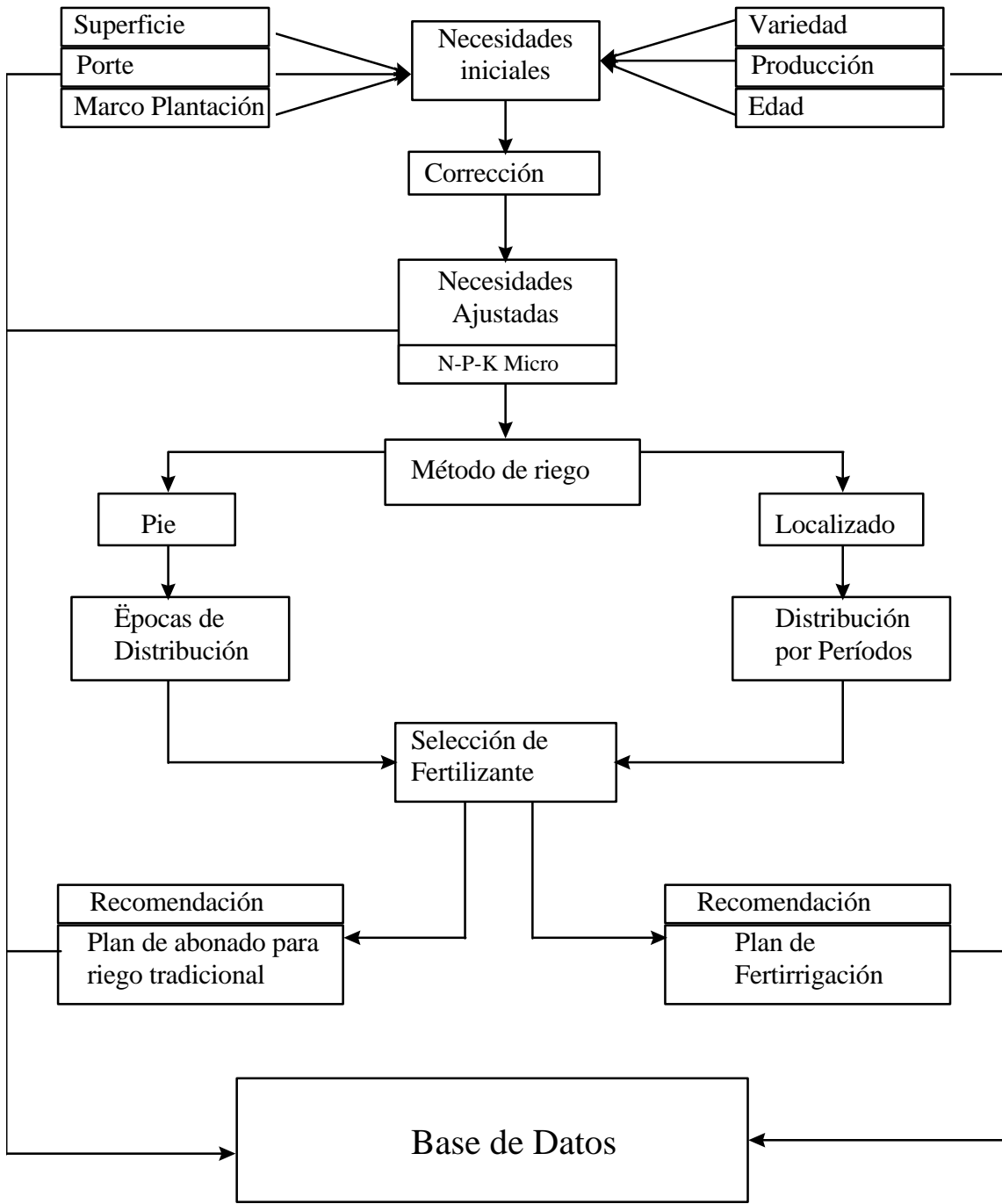
La Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) del IVIA, que ha desarrollado el programa informático, se encarga igualmente la misión de realizar las recomendaciones, con la colaboración del Laboratorio Agroalimentario, Estaciones Experimentales, Oficinas Comarcales Agrarias, FECOAV, COARVAL, AVA.

La posibilidad de acceso a través de Internet ha despertado sin duda un gran interés, y el número de accesos aumenta constantemente, sobre todo desde lugares remotos.

Después de tres años de explotación se han superado las 4000 recomendaciones de fertilización realizadas mediante este sistema, con un alto nivel de aceptación, si se tiene en cuenta que el consumo de fertilizantes recomendado se reduce sustancialmente si se compara con lo que suelen usar la mayoría de nuestros agricultores.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Castel J.R.; Bautista I.; Ramos C.; Cruz G. 1987. Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrigation and Drainage Systems* 3:205-217
- Castel J.R. 1991. El riego de los cítricos. *Hortofruticultura* 5:41-52
- Legaz P.; Primo-Millo E. 1988. Normas para la fertilización de los agrios. *Fulletts de Divulgació* nº 5-88. Generalitat Valenciana. 29pp.
- Legaz F.; Serna M.D.; Ferrer P.; Cebolla V.; Primo-Millo E. 1994. Análisis de Hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. *Fulletts de divulgació*. Generalitat Valenciana. 24pp.



Esquema de funcionamiento de FERTICIT