

ALGORITMO RECURSIVO PARA MEJORAR LA INTEGRACIÓN DE LA DEMANDA DIARIA DE RIEGO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

A RECURSIVE ALGORITHM TO IMPROVE THE INTEGRATION OF THE DAILY IRRIGATION WATER DEMAND OF A DISTRIBUTION NETWORK

Juan Arista-Cortes¹, Juan M. González-Camacho^{1*}, Waldo Ojeda-Bustamante²

¹Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Posgrado en SEI-Computación Aplicada. 56230. Carretera Federal México-Texcoco, Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México (jmgc@colpos.mx). ²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 62550. Jiutepec, Morelos. (wojeda@tlaloc.imta.mx)

RESUMEN

La gestión de la distribución del agua en los distritos de riego representa una actividad esencial para optimizar la calidad y oportunidad del servicio de riego a los usuarios. Esta actividad involucra el procesamiento de grandes volúmenes de información hidrométrica usando herramientas informáticas. En esta investigación se presenta la estructura e implementación de un algoritmo recursivo para realizar la integración de demandas diarias de riego a diferentes niveles de operación de la red de distribución de un módulo de riego. El algoritmo fue incorporado al sistema informático de gestión de la distribución del agua de riego, denominado SIGE-MR. El algoritmo fue probado y validado con datos hidrométricos del módulo Santa Rosa del distrito de riego 075 El Fuerte, Sinaloa, México. La solución propuesta permite mejorar la confiabilidad e integridad del proceso de integración de demandas diarias de riego en una red de distribución.

Palabras clave: Sistema de gestión, servicio de riego, eficiencia de operación.

INTRODUCCIÓN

En México, la mayor parte de los recursos hídricos disponibles son utilizados por el sector agrícola de riego, donde los distritos de riego cubren 60 % de la superficie regable y las pérdidas de agua debidas a una operación deficiente son las más importantes y pueden ser 40 % (Comisión Nacional del Agua, 2007). En los sistemas de distribución de agua por gravedad, la entrega oportuna del agua a los cultivos es una tarea difícil, más aún si se realiza con

ABSTRACT

The administration of water distribution in the irrigation districts represents an essential activity for optimizing the quality and opportunity of the irrigation service to users. This activity involves the processing of large volumes of hydrometric information using informatic tools. This investigation presents the structure and implementation of a recursive algorithm to carry out the integration of daily water demand at different operation levels of the distribution network of an irrigation module. The algorithm was incorporated to the informatic system of administration of the distribution of irrigation water, denominated SIGE-MR. The algorithm was tested and validated with hydrometric data of the Santa Rosa module of irrigation district 075 El Fuerte, Sinaloa, México. The proposed solution permits the improvement of reliability and integrity of the process of integration of daily water demand in a distribution network.

Key words: Administration system, irrigation service, operation efficiency.

INTRODUCTION

In México, most of the available water resources are used by the irrigation agricultural sector, where the irrigation districts cover 60 % of the irrigable surface and water losses due to deficient operation are the most important, and can represent as much as 40 % (Comisión Nacional del Agua, 2007). In gravity water distribution systems, the timely delivery of water to the crops is a difficult task, even more so if it is made with partial information. The demands for irrigation are processed as they are received, without consideration of the development stage of the crop. The irrigation modules make weekly hydrometric reports for

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2008. Aprobado: Agosto, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 841-850. 2009.

información parcial. Las solicitudes de riego se procesan conforme se solicitan, sin considerar el estado de desarrollo del cultivo. Los módulos de riego elaboran informes hidrométricos semanales para fines administrativos y de planeación, los cuales se realizan en forma aproximada y en algunos casos son poco confiables. La estimación de la demanda de riego en los puntos de control de entrega-recepción se realiza aplicando coeficientes globales de pérdidas de agua a las demandas solicitadas en parcelas, lo cual conduce a una sobreestimación de la demanda de riego. El método de entrega por pedido o demanda controlada es el más común en los distritos de riego de México, que consiste en programar la extracción de agua de la fuente de abastecimiento según las solicitudes de riego de los usuarios en un periodo; el volumen de extracción y el caudal conducido por la red de distribución deben ajustarse en periodos de 7 d (Palacios y García, 1989).

La programación y distribución del agua de riego son actividades básicas para optimar la calidad y oportunidad del servicio de riego, para lo cual se debe integrar diariamente las demandas diarias de riego desde una toma parcelaria hasta una red de distribución. Este proceso de integración es de naturaleza recursiva, ya que la demanda de riego en un punto de entrega en el canal principal depende de la integración de las demandas en los puntos de entrega de los canales secundarios aguas abajo de éste y así, sucesivamente, hasta llegar a los puntos de entrega en la parcela, que son los puntos terminales de una red arborescente de distribución del agua de riego.

La tecnología informática ha sido usada para mejorar la entrega del agua a los usuarios de riego. En México se han desarrollado sistemas informáticos para mejorar la distribución eficiente del agua en distritos de riego, como el sistema SICODE (Mundo *et al.*, 1997) y el sistema SPRITER (Ojeda *et al.*, 2007). Un método para estimar las entregas de agua en redes de distribución por gravedad, usando técnicas de Geomática fue propuesto por Mobin-ud-Din *et al.* (2004). Mateos *et al.* (2002) desarrollaron un sistema para soporte de decisiones relativo a la gestión de zonas de riego por gravedad. Asimismo, Fortes *et al.* (2004) propusieron un sistema de información geográfica para modelar la programación de los riegos y mejorar el uso del agua a la escala de una zona de riego. La importancia de la variabilidad espacio-temporal de la eficiencia en la entrega de agua en los

propósitos de administración y planeación, que se llevan a cabo en aproximaciones y en algunos casos son poco confiables. La estimación de la demanda de riego en los puntos de control de entrega-recepción se realiza aplicando coeficientes globales de pérdidas de agua a las demandas solicitadas en parcelas, lo cual conduce a una sobreestimación de la demanda de riego. El método de entrega por pedido o demanda controlada es el más común en los distritos de riego de México, que consiste en programar la extracción de agua de la fuente de abastecimiento según las solicitudes de riego de los usuarios en un periodo; el volumen de extracción y el caudal conducido por la red de distribución deben ajustarse en periodos de 7 días (Palacios y García, 1989).

La programación y distribución del agua de riego son actividades básicas para optimar la calidad y oportunidad del servicio de riego, para lo cual se debe integrar diariamente las demandas diarias de riego desde una toma parcelaria hasta una red de distribución. Este proceso de integración es de naturaleza recursiva, ya que la demanda de riego en un punto de entrega en el canal principal depende de la integración de las demandas en los puntos de entrega de los canales secundarios aguas abajo de éste y así, sucesivamente, hasta llegar a los puntos de entrega en la parcela, que son los puntos terminales de una red arborescente de distribución del agua de riego.

La tecnología informática ha sido usada para mejorar la entrega del agua a los usuarios de riego. En México se han desarrollado sistemas informáticos para mejorar la distribución eficiente del agua en distritos de riego, como el sistema SICODE (Mundo *et al.*, 1997) y el sistema SPRITER (Ojeda *et al.*, 2007). Un método para estimar las entregas de agua en redes de distribución por gravedad, usando técnicas de Geomática fue propuesto por Mobin-ud-Din *et al.* (2004). Mateos *et al.* (2002) desarrollaron un sistema para soporte de decisiones relativo a la gestión de zonas de riego por gravedad. Asimismo, Fortes *et al.* (2004) propusieron un sistema de información geográfica para modelar la programación de los riegos y mejorar el uso del agua a la escala de una zona de riego. La importancia de la variabilidad espacio-temporal de la eficiencia en la entrega de agua en los

distritos de riego fue analizada por Bos *et al.* (2001) y Sanaee y Feyen (2001).

Debido a la dificultad para integrar la demanda de riego diaria, en la práctica la integración se efectúa sobre valores promedio y suponiendo pérdidas promedio, pero puede causar una sobreestimación de la demanda diaria de riego (Sanaee y Feyen, 2001; Mateos *et al.*, 2002). El proceso de integración de la demanda diaria de riego es simple y tedioso, debido a los diferentes niveles de operación de una red de distribución que abastece a cientos o miles de tomas parcelarias durante la época de riego.

Por ello, en la presente investigación se propuso la aplicación de un algoritmo recursivo para integrar los gastos diarios demandados, a diferentes niveles de operación de una red de distribución por gravedad, considerando el método de entrega por demanda controlada. El algoritmo se incorporó al sistema informático de gestión de la distribución del agua de riego denominado SIGE-MR para mejorar la elaboración y seguimiento de la entrega diaria del agua de riego en las parcelas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de datos experimentales

Los datos de cultivos, hidrométricos y topológicos de la red de distribución fueron obtenidos del módulo de riego III-1 Santa Rosa, del distrito de Riego 075 (DR075) El Fuerte, estado de Sinaloa, México. Los datos son relativos a la configuración geométrica de la red de canales de distribución, la localización geográfica de los puntos de control (PC) de entrega-recepción de agua en la red de canales, al patrón de cultivos de un año agrícola, las superficies sembradas en cada parcela, la localización de parcelas con respecto a la red de distribución, y las solicitudes diarias de riego del ciclo otoño-invierno. Una solicitud de riego incluye: fecha, clave única de riego, tiempo de riego y gasto de entrega en el punto de control toma granja (TG) o toma directa (TD). Una solicitud de riego está asociada a cada parcela con la clave única del permiso de siembra. Los datos recolectados corresponden a una semana típica de operación de la sección 37 servida por el canal sublateral 23+700 y los canales ramales 5+700, 6+700 y 7+700 del módulo Santa Rosa.

Plataforma de desarrollo

El algoritmo se implementó en el sistema SIGE-MR en lenguaje Pascal con la plataforma de desarrollo DELPHI 6, sistema

Because of the difficulty of integrating the daily irrigation demand, in practice the integration is made over average values and assuming average losses, but can cause an overestimation of the daily irrigation demand (Sanaee and Feyen, 2001; Mateos *et al.*, 2002). The process of integration of the daily irrigation demand is simple and tedious, due to the different operation levels of a distribution network which supplies hundreds or thousands of field connections during the irrigation period.

Therefore, the present investigation proposed the application of a recursive algorithm for integrating the daily demands of water, at different operation levels of a gravity distribution network, considering the method of delivery by controlled demand. The algorithm was incorporated to the informatic system of administration of the distribution of irrigation water, called SIGE-MR in order to improve the elaboration and execution of the daily delivery of irrigation water in the plots.

MATERIALS AND METHODS

Collection of experimental data

The data of crops, hydrometrics and topologies of the distribution network were obtained from the irrigation module III-1 Santa Rosa, of Irrigation District 075 (DR075) El Fuerte, state of Sinaloa, México. The data are relative to the geometric configuration of the network of distribution canals, the geographic location of the control points (PC) of delivery-reception of water in the network of canals, the crop pattern of an agricultural year, the sown surfaces in each plot, the location of plots with respect to the distribution network, and the daily demands of irrigation of the fall-winter cycle. A request for irrigation includes: date, unique code of irrigation, time of irrigation and flow of delivery in the control point of the farm connection (TG) or direct connection (TD). A request for irrigation is associated with each plot with the single code of the sowing permit. The collected data correspond to a typical week of operation of section 37 served by sublateral canal 23+700 and the branch canals 5+700, 6+700 and 7+700 of the Santa Rosa module.

Development platform

The algorithm was implemented in the system SIGE-MR in Pascal code with the development platform DELPHI 6, operative system Windows XP and relational data base

operativo Windows XP y base de datos relacional PARADOX (Silberschatz *et al.*, 2005). La base de datos cuenta con información de la red de distribución, parcelas, cultivos, siembras y solicitudes de riego. En la Figura 1 se muestra la interfaz gráfica del sistema SIGE-MR donde queda incorporado el algoritmo recursivo de integración de la demanda diaria de riego.

Proceso de integración de la demanda de riego

La integración de la demanda de riego en un PC (nivel sección, zona o módulo de riego) se realiza acumulando los gastos demandados en cada uno de los PC en la parcela (TG y TD) para cada día de la semana y modificados por coeficientes de pérdidas por conducción. El gasto total demandado en un PC para un día específico se expresa por:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^t Q_{Pijk} \tag{1}$$

donde, Q_T es el gasto ($L^3 T^{-1}$) acumulado desde el PC aguas abajo de la red de distribución hasta el PC final aguas arriba predefinido; t es el número de parcelas que riegan simultáneamente a partir de una TG; $k=1,2,\dots,t$; s es el número de TG de cada canal; $j=1,2,\dots,s$; n es el número de canales entre el PC inicial y el PC final; $i=1,2,\dots,n$; Q_p es el gasto de riego solicitado en la parcela k -ésima, del PC j -ésimo localizado en el canal i -ésimo.

Estructura de datos para manejar la integración de la demanda

Para realizar la integración de gastos diaria se utiliza: una estructura de datos denominada lista enlazada (Cairó y Guardati,

PARADOX (Silberschatz *et al.*, 2005). The data base has information from the distribution network, plots, crops, sowings and requests for irrigation. In Figure 1 it is shown the graphic interface of the system SIGE-MR, where the recursive algorithm of integration of the daily demand of irrigation is incorporated.

Integration process of the water demand

The integration of the water demand in a PC (section level, zone or irrigation module) is made by accumulating the demanded flows in each one of the PC in the plot (TG and TD) for every day of the week and modified by coefficients of losses by conduction. The total demanded flow in a PC for a specific day is expressed as follows:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^t Q_{Pijk} \tag{1}$$

where Q_T is the accumulated flow ($L^3 T^{-1}$) from the PC downstream of the distribution network to the final predefined PC upstream; t is the number of plots simultaneously irrigated from a TG; $k=1,2,\dots,t$; s is the number of TG of each canal; $j=1,2,\dots,s$; n is the number of canals between the initial PC and the final PC; $I=1,2,\dots,n$; Q_p is the irrigation flow demanded in the k^{th} plot, of the j^{th} PC located in the i^{th} canal.

Structure of data for managing the integration of the demand

To carry out the integration of daily flow the following is used: a structure of data called linked list (Cairó and Guardati,



Figura 1. Interfaz principal del Sistema SIGE-MR de gestión de la distribución del agua en módulos de riego.

Figure 1. Principal interface of the System SIGE-MR of administration of water distribution in irrigation modules.

2006) para cada canal de riego que es almacenada en una base de datos; un procedimiento para consultar la lista de cada canal; y un procedimiento recursivo para recorrer las listas de los canales de la red de distribución.

El proceso de acumulación inicia en el canal que contiene el PC deseado y mediante un procedimiento recursivo recorre la lista enlazada en profundidad, con los PC de un canal dado. Si en el recorrido se encuentra con un PC toma-canal, se carga en memoria temporal RAM (Random Access Memory) la lista enlazada del canal del nivel inferior correspondiente y se inicia su recorrido en forma similar al canal de nivel superior. Este proceso se realiza hasta concluir el recorrido de todos los canales con niveles inferiores al canal inicial. En la Figura 2 se muestra un esquema de la red de distribución y su recorrido en forma recursiva.

Cada canal de la red posee un identificador único que facilita la delimitación del alcance de la suma, el cual puede ser un canal intermedio, sin tomar en cuenta las demandas aguas arriba de un PC de dicho canal.

Las solicitudes de riego tienen cinco posibles estados de clasificación: 1) cancelada, se refiere a una solicitud con un riego en turno que debe suspenderse; 2) rechazada, es una solicitud que no tiene el riego autorizado; 3) en espera, es una solicitud registrada que todavía no tiene fecha de riego; 4) autorizada, es una solicitud que todavía no tiene fecha de riego; 5) regando, es una solicitud que con una fecha anterior inició el riego y aún no termina. Con estos criterios el algoritmo de integración procesa las solicitudes según el estado en que se encuentren y genera reportes para diferentes niveles de operación.

2006) for each irrigation canal that is stored in a data base; a procedure for consulting the list of each canal; and a recursive procedure for going through the lists of the canals of the distribution network.

The accumulation process begins in the canal that contains the desired PC and by means of a recursive procedure goes through the linked list in depth, with the PC of a given canal. If in the run a PC canal-connection is encountered, it is stored in the temporary memory RAM (Random Access Memory) the linked list of the corresponding lower level canal and a run is initiated in a similar form of the upper level canal. This process is made until the run is made of all the canals with levels lower than that of the initial canal. A diagram of the distribution network and its run in a recursive form is shown in Figure 2.

Each canal of the network has a unique identifier that facilitates the delimitation of the range of the sum, which can be an intermediate canal, without taking into account the demands upstream from a PC of the canal.

The demands of irrigation have five possible states of classification: 1) canceled, referring to a request with an ongoing irrigation which should be suspended; 2) rejected, is a request that does not have authorized irrigation; 3) pending, is a registered request that still does not have an irrigation date; 4) authorized, is a request that still does not have an irrigation date; 5) irrigating, is a request that began the irrigation on a previous date and is still not finished. With these criteria the integration algorithm processes the requests according to the state in which they are found and generates reports for different levels of operation.

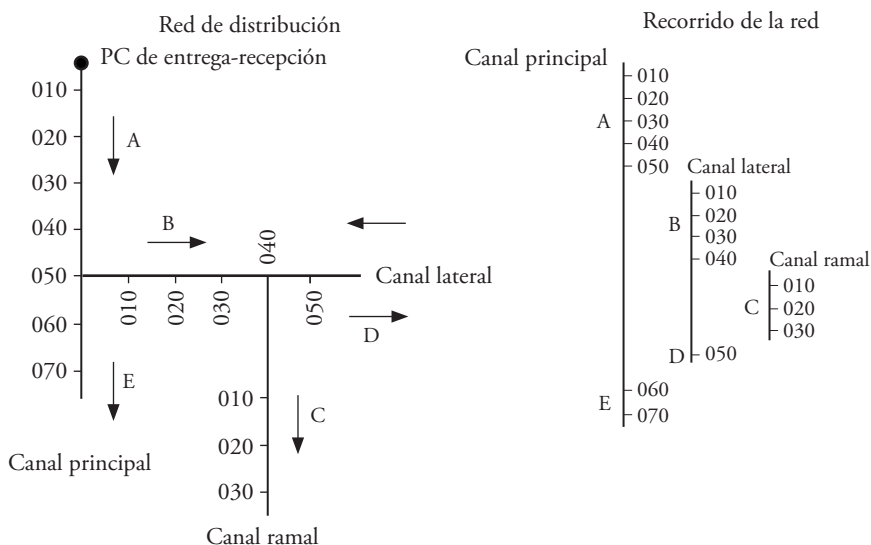


Figura 2. Recorrido recursivo en profundidad de una red arborescente de distribución.
Figure 2. Recursive in-depth run of an arborescent distribution network.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de la lista enlazada

La red de canales de distribución se representa por un conjunto de listas enlazadas. Para conservar la jerarquía de los canales en la red de distribución (principal, lateral, sublateral, etc.) cada PC Toma-canal posee un apuntador al canal de nivel inferior correspondiente. En la Figura 3 se muestra la estructura de un nodo de la lista enlazada: donde, Apuntador Actual es la dirección del PC actual en la lista enlazada; Id_Conducto es el identificador único de un canal de la red de distribución; Id_Pctrl es el identificador único para el PC del canal en cuestión; Apuntador Anterior es la dirección del PC anterior de la lista enlazada; Puntero a Canal contiene el enlace a los canales derivados del canal actual; Nombre Nodo, es el tipo de PC (toma canal, inicio canal, fin canal o toma granja); Cadenamiento es el kilómetro en que se localiza el PC, desde el inicio del canal; Tipo Pctrl es una clave que identifica el canal (I=Inicio, T=Toma granja o directa y C=Toma canal); Apuntador Siguiente es la dirección del siguiente PC de la lista enlazada.

Procedimiento de consulta y procedimiento recursivo

El procedimiento de consulta desarrollado para obtener la lista enlazada del canal cuyos gastos van a acumularse, utiliza el identificador único de cada canal. A continuación se muestra el pseudo código del procedimiento de consulta:

```

Funcion Lista_Del_Canal(canal i):Lista_temporal
Inicio
    Acceder a la tabla que contiene las listas de toda la red;
    Filtra tabla de Listas donde canal=canal i y existan demandas en los PC;
    Lista_temporal=instancia de la tabla filtrada;
    Liberar Acceso a la tabla de listas;
Fin
    
```

RESULTS AND DISCUSSION

Structure of the linked list

The network of distribution canals is represented by a set of linked lists. To conserve the hierarchy of the canals in the distribution network (principal, lateral, sublateral, etc.) each PC Canal –connection has a pointer to the corresponding lower level canal. In Figure 3 it is shown the structure of a node of the linked list: where, Present Pointer is the direction of the present PC in the linked list; Id_Duct is the unique identifier of a canal of the distribution network; Id_Pctrl is the unique identifier for the PC of the canal in question; Previous Pointer is the direction of the previous PC of the linked list; Pointer to Canal contains the link to the canals derived from the present canal; Name Node, is the type of PC (canal connection, start of canal, end of canal or farm connection); Chaining is the kilometer in which the PC is located, from the start of the canal; Type Pctrl is a code that identifies the canal (I=Start, T=Farm or direct connection and C=Canal connection); Following Pointer is the direction of the following PC of the linked list.

Consulting procedure and recursive procedure

The consulting procedure developed for obtaining the linked list of the canal whose flows are going to accumulate, uses the unique identifier of each canal. The pseudo code of the consulting procedure is shown as follows:

```

Funcion List_of_the_Canal(canal i):Temporary_list
Start
    Access to the table that contains the lists of the entire network;
    Filter table of Lists where canal=canal I and there are demands in the PC;
    Temporary_list=instance of the filtered table;
    Free Access to the table of lists;
End
    
```

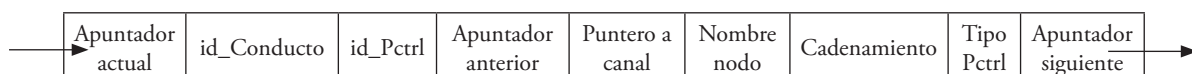


Figura 3. Estructura de un nodo de la lista enlazada.
Figure 3. Structure of a node of the linked list.

El procedimiento recursivo se utiliza para acumular los gastos en un canal, del cual deriva otro canal. A continuación se muestra el pseudo código del algoritmo recursivo:

```

Función Obten_Gasto(Canal i; Estado_Solicitud): Real
Variable
    Gasto: Real;
Inicio
    Gasto = 0;
Lista temporal del canal i=Lista_Del_Canal(canal i)
Para cada elemento de la Lista Temporal hacer
    Inicio
    Si (PC=Toma granja o PC=Toma directa) Y (Gasto del PC>0) Y (el_estado_de_la_solicitud_actual=Estado_Solicitud) entonces
        Gasto=Gasto+Gasto del PC;
    En caso contrario
    Si PC=Apuntador a un Canal entonces
        Gasto=Gasto+(Eficiencia del canal i *
Obten Gasto(Canal i, Estado_Solicitud));
    Fin;
Libera Lista temporal del canal i
    Fin.
    
```

El resultado del último ciclo de la recursión se multiplica por la eficiencia de conducción del canal de inicio.

Prueba y validación

El algoritmo se probó con los datos recolectados en el módulo de riego Santa Rosa. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los gastos acumulados.

En la Figura 4 se muestra la acumulación de gastos para la sección de riego 37 realizada con el algoritmo propuesto.

Cuadro 1. Resumen de gastos acumulados en lps de las solicitudes de riego de la sección 37 para la semana del 06/nov/2006 (día 1) al 12/nov/2006 (día 7).

Table 1. Summary of accumulated flows in lps of the irrigation demands of section 37 for the week of Nov/06/2006 (day 1) to Nov/12/2006 (day 7).

Canal	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Sublateral 23+700	1760.0	2120.0	1777.2	1025	90	90	90
Ramal 5+700	895.0	1190.0	1097.2	685	90	90	90
Ramal 7+700	447.5	510.0	340.0	175			
Ramal 6+700	210.0	250.0	170.0	80			

The recursive procedure is used to accumulate the flows in a canal, from which another canal derives. The pseudo code of the recursive algorithm is shown below:

```

Function Obtain_Flow (Canal i; State_Demand): Real
Variable
    Real Flow;
Start
    Flow = 0;
Temporal list of canal i=List_Of the_Canal(canal i)
For each element of the Temporary List make
    Start
    If (PC = Farm connection or PC = Direct connection) And (Flow of the PC>0) And (the _state_of _the_demand_present =State_Demand) then
        Flow = Flow+Flow of the PC;
    In the contrary case
    If PC = Pointer to a Canal then
        Flow = Flow+(Efficiency of canal i *
Obtain Flow(Canal i, State_Demand));
    End;
Free Temporary list of canal i
End.
    
```

The result of the final cycle of the recursion is multiplied by the conduction efficiency of the starting canal.

Test and validation

The algorithm was tested with the data collected in the Santa Rosa irrigation module. A summary of the accumulated flows is shown in Table 1.

The accumulation of flow for irrigation section 37 made with the proposed algorithm is shown in Figure 4.

Tipo de solicitud: Espera, Autorizada, Regando

Concentrados existentes en esta semana

Clave	Descripción
(0)	Espera

CANAL			LUNES 06/11/2006							MARTES 07/11/2006					MIÉRCOLES 08/11/2006				
Nodo	Descripción	PC	Q	Tr	V	A	L	Q	Tr	V	A	L	Q	Tr	V	A	L		
S	SECCIÓN 37	SE 37	1760	21.1	133.63	61.43	21.75	2120	22.5	171.58	79.24	21.65	1777.2	23	146.88	67.64	21.71		
	SUBLATERAL 23+700	0065	1760	21.1	133.63	61.43	21.75	2120	22.5	171.58	79.24	21.65	1777.2	23	146.88	67.64	21.71		
	RAMAL 5+700	T019	895	22.3	71.93	32.63	22.04	1190	23.6	101.09	46.51	21.73	1097.2	23.7	93.6	43.16	21.69		
	TOMA GRANJA 0080	0080	202.5	24	17.5	8.04	65.45	270	24	23.33	10.72	65.45	213.75	48	18.47	8.4	65.45		
	TOMA GRANJA 0060	0060	187.5	24	16.2	7.29	66.69	250	24	21.6	9.72	66.69	253.5	44	20.7	9.29	90.02		
	TOMA GRANJA 0040	0040	135	24	11.66	5	46.66	180	24	15.55	6.67	46.66	180	24	15.55	6.67	46.66		
	TOMA GRANJA 0090	0090	120	24	10.37	4.8	43.2	240	42	19.01	9.4	60.48	200	48	17.28	8.8	60.48		
	TOMA GRANJA 0010	0010	80	18	5.18	2.5	20.74	80	24	6.91	3.33	20.74	80	24	6.91	3.33	20.74		
	TOMA GRANJA 0009	0009	80	18	5.18	2.5	20.74	80	24	6.91	3.33	20.74	80	24	6.91	3.33	20.74		
	TOMA GRANJA 0070	0070	90	18	5.83	2.5	23.33	90	24	7.78	3.33	23.33	90	24	7.78	3.33	23.33		
	RAMAL 7+700	T021	447.5	20.5	33.05	15.7	21.05	510	19.7	36.22	16.94	21.38	340	23.8	29.09	13.36	21.77		
	TOMA GRANJA 0010	0010	187.5	24	16.2	7.63	63.77	250	24	21.6	10.17	63.77	250	47	21.31	10.03	63.77		
	TOMA GRANJA 0050	0050	90	18	5.83	3	19.44	90	6	1.94	1	19.44							
	TOMA GRANJA 0060	0060	80	18	5.18	2.57	20.16	80	17	4.9	2.43	20.16							
	TOMA GRANJA 0020	0020	90	18	5.83	2.5	23.33	90	24	7.78	3.33	23.33	90	24	7.78	3.33	23.33		
	RAMAL 6+700	T020	210	21.4	16.2	7.59	21.34	250	21.8	19.58	9.12	21.47	170	15.5	9.5	4.45	21.34		
	TOMA GRANJA 0030	0030	120	24	10.37	5.07	40.9	160	41	11.81	5.76	40.9	80	24	6.91	3.33	20.74		
	TOMA GRANJA 0020	0020	90	18	5.83	2.52	23.14	90	24	7.78	3.36	23.14	90	8	2.59	1.12	23.14		
	TOMA GRANJA 0090	0090	127.5	24	11.02	5	44.06	170	24	14.69	6.67	44.06	170	24	14.69	6.67	44.06		
	TOMA GRANJA 0100	0100	80	5	1.44	0.5	28.8												

Figura 4. Acumulación de gastos en la sección 37, sistema SIGE-MR.
 Figure 4. Accumulation of flows in section 37, system SIGE-MR.

Con el sistema SIGE-MR se obtuvieron los hidrogramas de gastos ilustrados en la Figura 5. Estos hidrogramas sólo muestran los gastos demandados de 4 días para propósitos ilustrativos; en un sistema de distribución real el hidrograma de gastos cubre una semana completa.

With the system SIGE-MR, the hydrograms of flows illustrated in Figure 5 were obtained. These hydrograms only show the requested flows of 4 days for illustrative purposes; in a real distribution system the hydrogram of flows covers an entire week.

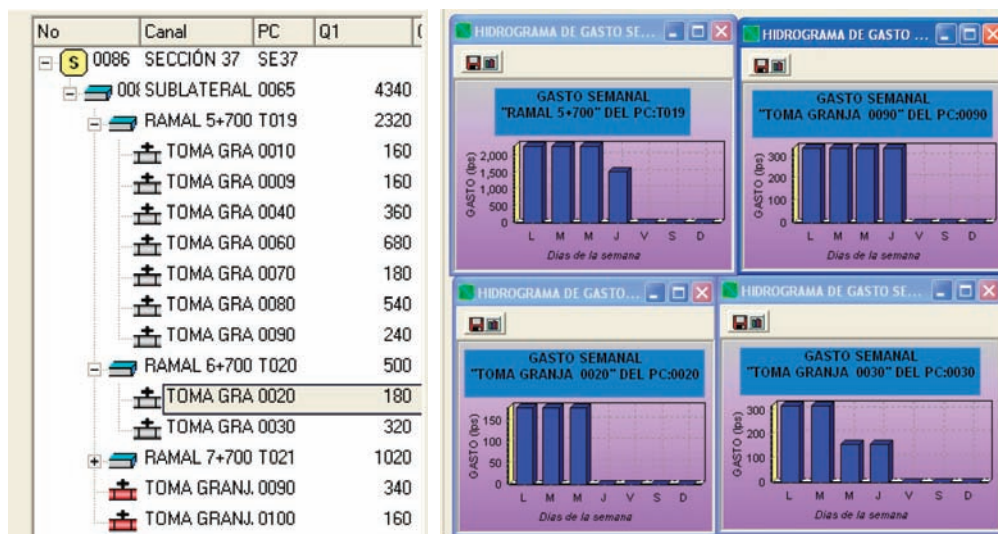


Figura 5. Hidrogramas semanales de gastos solicitados por punto de control, sistema SIGE-MR.
 Figure 5. Weekly hydrograms of demanded flows per control point, system SIGE-MR.

Ventajas y limitaciones del algoritmo propuesto

El algoritmo realiza en forma eficiente la integración diaria de la demanda de riego en cualquier PC de la red de distribución del módulo de riego. El algoritmo ha sido incorporado al sistema SIGE-MR, el cual facilita el registro de solicitudes de riego, la acumulación de gastos semanales y la generación de reportes.

La estructura de lista enlazada permite realizar fácilmente cambios en la configuración física de la red de distribución, es decir, la supresión de un nuevo PC o su inclusión no afecta la estructura global de la red de distribución.

Los procedimientos recursivos requieren mayor capacidad de almacenamiento temporal RAM que los algoritmos iterativos; sin embargo, la disponibilidad actual de tecnología informática de bajo costo y gran capacidad de almacenamiento hacen factible su utilización. Para reducir la demanda de RAM, el algoritmo propuesto realiza previamente una suma de gastos en tomas parcelarias sobre la tabla de solicitudes antes de ejecutar el procedimiento recursivo. De esta forma sólo se trabaja con valores numéricos y no con datos de parcelas como superficie, localización en canal y PC. Asimismo, dado que en la práctica el proceso de acumulación se realiza dos veces por semana, el tiempo de ejecución requerido por el algoritmo no es significativo.

CONCLUSIONES

El algoritmo recursivo propuesto permitió mejorar la rapidez y confiabilidad para realizar la integración de la demanda diaria de riego.

La estructura de datos de lista enlazada propuesta permitió representar la configuración geométrica de la red de distribución y realizar modificaciones a la red, sin afectar su estructura global.

El algoritmo ha sido incorporado al sistema de gestión de la distribución del agua en módulos de riego SIGE-MR, permitiendo la generación de reportes hidrométricos en forma rápida y confiable.

LITERATURA CITADA

Bos, M. G., S. E. Salatino, and C. G. Billoud. 2001. The water delivery performance within the Chivilcoy tertiary unit, Mendoza, Argentina. *Irrigation and Drainage Systems* 15: 311-325.

Advantages and limitations of the proposed algorithm

The algorithm efficiently carries out the daily integration of the demand of irrigation in any PC of the distribution network of the irrigation module. The algorithm has been incorporated to the system SIGE-MR, which facilitates the registration of irrigation demands, the accumulation of weekly flows and the generation of reports.

The structure of linked list makes it possible to easily make changes in the physical configuration of the distribution network, that is, the suppression of a new PC or its inclusion does not affect the global structure of the distribution network.

The recursive procedures require greater temporary storage capacity RAM than the iterative algorithms; however, the present availability of low cost computer technology and great storage capacity make its use feasible. To reduce the demand of RAM, the proposed algorithm previously carries out a sum of flows in plot connections over the table of demands before executing the recursive procedure. In this way it only works with numerical values and not with data of plots such as surface, location in canal and PC. In addition, given that in practice the accumulation process is made twice a week, the execution time required by the algorithm is not significant.

CONCLUSIONS

The proposed recursive algorithm made it possible to improve the speed and reliability for carrying out the integration of the daily demand of irrigation.

The structure of data of the proposed linked list made it possible to represent the geometric configuration of the distribution network and to make modifications of the network, without affecting its global structure.

The algorithm has been incorporated to the administration system of water distribution in irrigation modules SIGE-MR, allowing the generation of hydrometric reports in a rapid and reliable form.

—End of the English version—



- Cairó, O., y S. Guardati. 2006. Estructuras de Datos. 3a. ed., McGraw Hill, México. 467 p.
- Comisión Nacional del Agua. 2007. Estadísticas del Agua en México. 1a. ed., SEMARNAT, México. 259 p.
- Fortes, P.S., A. E. Platonov, and L. S. Pereira. 2005. GISAREG –A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. *Agric. Water Manage.* 77: 159-179.
- Mateos, L., I. López-Cortijo, and J. A. Sagardoy. 2002. SIMIS: The FAO decision support system for irrigation scheme management. *Agric. Water Manage.* 56: 193-206.
- Mundo, M., M., V. Mireles, P. Martínez A., y F. Zazueta. 1997. Sistema computacional para la distribución eficiente del agua en distritos de riego, SICODE v2.1. *Ing. Hidráulica Méx.* XII(2): 29-36.
- Mobin-ud-Din, A., A. Stein, and W.G.M. Bastiaanssen. 2004. Estimation of disaggregated canal water deliveries in Pakistan using geomatics. *Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinformation* 6: 63-75.
- Ojeda-Bustamante, W., J. M. González-Camacho, E. Sifuentes-Ibarra, E. Isidro-Pioquinto, and L. Rendón-Pimentel. 2007. Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agric. Water Manage.* 89: 81-88.
- Palacios V., E., y E. García A. 1989. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. Colegio de Postgraduados. Centro de Hidrociencias, Texcoco, México. 482 p.
- Sanaee, S.J., and J. Feyen. 2001. Spatial and temporal variability performance of the water delivery in irrigation schemes. *Irrigation and Drainage Systems* 15: 215-233.
- Silberschatz, A., H. F. Korth, and S. Sudarshan. 2005. Database System Concepts. 5th. ed. McGraw Hill, New York. 1168 p.