

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO EN EL DISTRITO 048 TICUL, YUCATÁN*

DIAGNOSIS AND EVALUATION OF IRRIGATION SYSTEMS IN THE DISTRICT 048 TICUL, YUCATÁN

José de la Cruz Tun Dzul^{1§}, Genovevo Ramírez Jaramillo¹, Ignacio Sánchez Cohen², Claudia Tania Lomas Barrié¹ y Alejandro de Jesús Cano González³

¹Campo Experimental Mocochá. CIR Sureste. INIFAP. Antigua carretera Mérida-Motul, km 24.5. Mocochá, Yucatán. C. P. 97454. ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. INIFAP. Margen derecha Canal Sacramento, km 6.5. Gómez Palacio, Durango. C. P. 35150. ³Campo Experimental Edzná. CIR Sureste. INIFAP. Carretera Campeche-Pocuyaxum, km 15.5. Campeche, Campeche. C. P. 24520. [§]Autor para correspondencia: tun.jose@inifap.gob.mx.

RESUMEN

El estado de Yucatán cuenta con 48 308 ha de riego, de las cuales 9 689 ha conforman el Distrito de Riego 048, integrado por 179 unidades por bombeo en las que la eficiencia actual es 40%. La disponibilidad del agua no es problema pero el manejo inadecuado propicia su deterioro y contaminación. Se diagnosticó la situación actual y se evaluaron los sistemas de riego por microaspersión, para recomendar tecnologías adecuadas al nivel tecnológico de los productores, e incrementar la eficiencia de uso del agua. En 2009, se realizaron la investigación documental, las encuestas y entrevistas. En 2010 se evaluaron 30 unidades con riego por microaspersión y naranja dulce, para determinar la eficiencia de riego. Los resultados indican que los Leptosoles ocupan 60% del área de estudio y también se encuentran superficies importantes de Luvisoles y Cambisoles. El 90% es propiedad ejidal y la naranja dulce es el principal cultivo, aunque la superficie media por productor es de dos hectáreas, irrigadas con microaspersión. Se clasificó a los usuarios y unidades de riego con base a sus cultivos, sistema de riego y eficiencia de riego. Se aplican entre 200 y 400 L árbol⁻¹ de naranja por día, cada tres días. La eficiencia de distribución del riego por microaspersión es menor a 50% y el coeficiente de uniformidad es menor a 90% en todos los casos. La eficiencia global media es 46.5%, lo cual nos indica que se desperdicia 53.5% de este valioso recurso.

ABSTRACT

Yucatán State has 48 308 ha of irrigation, which 9 689 ha out of them conform the Irrigation District 048, comprised of 179 units by pumping in which the current efficiency is about 40%. Water availability is not a problem, but the improper handling facilitates deterioration and contamination. The current situation was diagnosed and assessed by micro-sprinkler irrigation systems, in order to recommend appropriate technologies to the producer's technological level, and increase the efficiency of water use. In 2009, desk researching, surveys and interviews were conducted. In 2010, 30 units were evaluated by micro-sprinkler irrigation and sweet orange, in order to determine the irrigation efficiency. The results indicate that Leptosols occupy 60% of the studied area and there are also significant areas of Luvisols and Cambisols. The 90% is municipal property, and the sweet orange is the main crop, although the average area per farmer is two hectares, irrigated by micro-sprinkler systems. The users and irrigation units were classified based on their crops, irrigation and irrigation efficiency. Between 200 and 400 L are applied per tree each day, every three days. The irrigation distribution efficiency by micro-sprinkler irrigation is lower than 50% and the uniformity coefficient is less than 90% in all cases. The average overall efficiency is about 46.5%, which indicates that 53.5% of this valuable resource is wasted.

* Recibido: marzo de 2011

Aceptado: septiembre de 2011

Palabras clave: coeficiente de uniformidad, eficiencia de riego, naranja, riego por microaspersión.

Key words: coefficient of uniformity, irrigation efficiency, micro-sprinkler irrigation, orange.

INTRODUCCIÓN

En México se cultivan 20 millones de hectáreas, de las cuales 6.4 millones son de riego, lo que coloca al país entre los primeros del mundo en superficie irrigada. El sector agrícola consume 77% del volumen de agua utilizada en el país (61.2 km³), pero la eficiencia es 45% (CONAGUA, 2008). Los sistemas de producción bajo riego generan 55% de la producción agrícola nacional y 70% de los productos agrícolas de exportación (SIAP, 2009).

En el estado de Yucatán es característica la presencia de un suelo calcáreo, que se distingue por sufrir un proceso de carstificación, el cual consiste en la disolución de la roca (compuesta de CaCO₃), en la presencia de ácido carbónico (H₂CO₃); producto de la reacción entre el bióxido de Carbono (CO₂) y el agua (H₂O) (Suárez y Rivera, 2000). Esta sencilla relación produce los sistemas acuáticos típicos de la región, denominados cenotes, con dominio de corrientes subterráneas, los cuales constituyen la única fuente de agua dulce para la población (Gutiérrez, 2007) y cuya recarga anual es de 25 316 millones de m³. El uso conjuntivo anual en la región es de 2 134 millones de m³, de los cuales 1 343 millones de m³ (63%) se destinan para uso agrícola (CONAGUA, 2008).

El acuífero es libre, por lo que la zona de recarga es toda su extensión; esta característica lo hace vulnerable a la contaminación, ya que las características edáficas y geológicas permiten el paso rápido de los contaminantes del área continental hacia la costa (Marín y Perry, 1994). La explotación del acuífero es indiscriminada y se realiza con diferentes objetivos: uso humano, uso industrial y uso agrícola. La disponibilidad del recurso agua aún no es problema para la región, sin embargo, debido a la intrincada geohidrología de la región, queda una gran tarea por hacer (Cervantes, 2007).

El objetivo fundamental de un sistema de riego, es garantizar las mejores condiciones de utilización del agua y el óptimo aprovechamiento por parte de la planta, que se logra a través de la aplicación del agua en las cantidades necesarias, de una manera oportuna y homogénea en el suelo, de acuerdo a los requerimientos de la planta (Pizarro, 1987; Salcedo *et al.*, 2005). La tecnificación del riego no implica que se alcancen altas eficiencias, si estos sistemas no se operan

INTRODUCTION

In Mexico, 20 million hectares are cultivated, out of which 6.4 million are irrigated, which places the country among the first ones with irrigated area in the world. The agricultural sector consumes 77% of the volume of water used in the country (61.2 km³), but the efficiency is 45% (CONAGUA, 2008). The irrigated production systems generate 55% of the national agricultural production and 70% of the agricultural exports (SIAP, 2009).

The State of Yucatán is characterized by the presence of calcareous soil, which is distinguished by having a karstification process, which involves the dissolution of the rock (composed of CaCO₃) in the presence of carbonic acid (H₂CO₃); produced by the reaction between carbon dioxide (CO₂) and water (H₂O) (Suárez and Rivera, 2000). This simple relation produces typical aquatic systems of the region, called cenotes, fluent in underground streams, which are the only source of fresh water for the population (Gutiérrez, 2007) and whose annual recharge is 25 316 million m³. The conjunctive annual use in the region is about 2 134 million m³, out of which, 1 343 million m³ (63%) are used for agricultural (CONAGUA, 2008).

The aquifer is free, so the recharge zone is throughout. This feature makes it vulnerable to contamination because the edaphic and geological characteristics allow rapid passage of contaminants from the mainland to the coast (Marín and Perry, 1994). The indiscriminate exploitation of the aquifer is performed with different objectives: human use, industrial and agricultural use. The availability of water is not a problem for the region yet; however, due to the intricate geo-hydrology of the region, there's a lot to do still (Cervantes, 2007).

The main objective of an irrigation system is to ensure the best conditions for water use and optimum utilization by the plant, which is achieved through the application of water in the quantities needed, in a timely and homogeneous way into the ground, according to the plant's requirements (Pizarro, 1987; Salcedo *et al.*, 2005). The modernization of irrigation does not imply that high efficiencies are achieved if these systems are

adecuadamente bajo las premisas de su diseño. Por lo tanto, la evaluación de sistemas de riego debe ser un procedimiento rutinario con la finalidad de detectar fallas de manera oportuna para su solución (Román *et al.*, 2005).

Una vez que se instala un sistema de riego, se deben evaluar las características hidráulicas conforme al diseño, como la presión de operación, que contemple las pérdidas de carga hidráulica permisibles no mayores a 20%, que corresponden a un decremento de caudales en la emisión de 10%, y que ambos valores porcentuales permitan que el sistema hidráulico, proporcione una uniformidad de aplicación del agua 90% de las unidades de riego (Merriam y Keller, 1978). Esto es válido para todo sistema de riego presurizado (goteo, microaspersión, o aspersión en todas sus variantes).

En los sistemas presurizados el patrón de mojado depende de la cantidad de agua aplicada, la que a su vez depende de la presión con la que se aplica, siempre y cuando no ocurra flujo superficial por exceso de aplicación (Luna, 1990). La cuantificación de la variabilidad del patrón de mojado permite generar índices de la eficiencia de riego, con base en el cual se pueden tomar decisiones para mejorar la operación del sistema incrementando su rentabilidad, ya sea por mayores rendimientos, mejor calidad de cosecha, ahorro de volúmenes de agua o cualquier combinación de lo anterior.

Los sistemas de riego a presión se proyectan para que la diferencia de volúmenes o láminas de riego en dos puntos extremos en una línea de aplicación no sea mayor a 10%, para una diferencia de presiones no mayor a 20%; esto garantiza que el agua suministrada tenga al menos 90% de uniformidad de distribución (Román *et al.*, 2005). El coeficiente de uniformidad indica el porcentaje de variación en la lámina de agua aplicado a la superficie del suelo de una unidad de riego (Christiansen, 1942). Se obtiene mediante el aforo de 16 emisores (microaspersores) igualmente espaciados en una unidad de riego (Keller y Karmelli, 1975; Burt y Styles, 1994). Este coeficiente es de utilidad tanto para el diseño de riego como para la evaluación del sistema (Merriam y Keller, 1978).

En los sistemas de microaspersión, el agua es aplicada sobre una superficie limitada del terreno en forma pulverizada y se desplaza en el suelo en función de tres factores fundamentales: a) las propiedades y características del perfil físico del suelo; b) el volumen de agua aplicado; y c) el caudal del emisor (Gispert y García, 1994). La mayoría de los sistemas de riego por aspersión requieren un valor mínimo de uniformidad de distribución de agua de 80%. La falta de

not properly operated under the premise of its design. Therefore, the evaluation of irrigation systems should be a routine procedure in order to detect in time faults for resolution (Román *et al.*, 2005).

Once an irrigation system gets installed, the hydraulic characteristics according to its design must be evaluated, such as operating pressure, that includes the permissible hydraulic head loss no greater than 20%, corresponding to a decrease in the emission flow 10%, and that both percentages allow the hydraulic system to providing a uniform application of water 90% of the irrigation units (Merriam and Keller, 1978). This is valid for all pressurized irrigation system (drip, micro, or spraying in all its variants).

In the pressurized systems, the pattern of wetting depends on the amount of water applied which in turn depends on the applied pressure, provided that no surface flow occurs due to excessive application (Luna, 1990). The wet pattern's quantification variability allows the generation of irrigation efficiency's rates, which based on, decisions can be made to improving the operation of the system and increasing its profitability, either through higher yields, better harvest's quality, saving volumes of water or any other combination thereof.

The pressurized irrigation systems are planned in a way that the difference in volume or irrigation sheets in two endpoints in a line of application will not be higher than 10% at a pressure differential no more than 20%; this ensures that the is water provided with at least 90% of distribution uniformity (Román *et al.*, 2005). The coefficient of uniformity indicates the percentage change in the sheet or volume of water applied to the soil's surface in an irrigation unit (Christiansen, 1942). It's obtained by measuring 16 stations (micro-sprinklers) equally spaced on a unit of irrigation (Keller and Karmelli, 1975; Burt and Styles, 1994). This coefficient is useful for both, the irrigation's design and the evaluation of the system (Merriam and Keller, 1978).

In the micro-sprinkler systems, water is applied on a limited area, in powdered form and moves on the ground in terms of three factors: a) the properties and physical characteristics of the soil's profile; b) the volume of water applied; and c) the issuer's flow (Gispert and García, 1994). Most of the sprinkler systems require a minimum water distribution uniformity of 80%. The lack of uniformity in the application

uniformidad en la aplicación puede afectar el rendimiento de la cosecha y la eficiencia de uso del agua, lo cual ha sido demostrado por diferentes investigadores (Warrick y Gardner, 1983; Letey *et al.*, 1984; Montovani *et al.*, 1995; Li, 1998).

La superficie que se cultiva bajo riego en Yucatán es 48 308 ha; la mayor parte (23 378 ha) se localiza en el DDR 179, de las cuales 9 689 ha (41%) conforman el Distrito de Riego (DR) 048 de Ticul (SIAP, 2009). Sólo se cultiva 85% de la superficie con infraestructura hidráulica instalada, y la eficiencia media del riego es 46% (CONAGUA, 2008), la cual se puede incrementar mediante el manejo adecuado de los sistemas de riego. Los cultivos dominantes son los cítricos y el cultivo principal es la naranja dulce, y para el riego se emplean, preferentemente sistemas de riego por aspersión y microaspersión, cuya eficiencia es menor a 60%.

La ineficiencia de manejo del riego da como resultado la producción ineficiente de los cultivos irrigados, cuyos indicadores más evidentes son los bajos rendimientos y la mala calidad de los productos obtenidos; además, propicia el desperdicio del vital líquido e incrementa proporcionalmente el riesgo de contaminación del acuífero, así como los costos de la extracción del agua y de la aplicación del riego, propiciando una baja rentabilidad de los sistemas de producción. Una de las soluciones planteadas es el empleo de técnicas de riego eficientes en el uso del agua y la energía, sobre todo en áreas en las que el recurso hídrico es escaso.

El diagnóstico de la situación actual de las unidades de riego del DR- 048, proporcionará información para caracterizar los sistemas de producción y a los usuarios, para priorizar las acciones necesarias e incrementar la eficiencia de los sistemas de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se dividió en dos etapas: el diagnóstico y la evaluación de los sistemas de riego por microaspersión en las unidades de riego seleccionadas. En la primera etapa a finales de 2009, se realizó el trabajo de gabinete para captar la información documental relacionada con los objetivos del estudio, con base en la cual se elaboró y aplicó una encuesta para reforzarla y captar información adicional necesaria; además, se realizaron entrevistas con los presidentes de los módulos de riego, y finalmente se seleccionaron las unidades de riego que se evaluaron en la segunda etapa.

may affect the crop yield and the water use efficiency, which has been proven by several researchers (Warrick and Gardner, 1983; Letey *et al.*, 1984; Montovani *et al.*, 1995; Li, 1998).

The cultivated area under irrigation in Yucatán is 48 308 ha, the majority (23 378 ha) is located in the DDR 179, out of which 9 689 ha (41%) make up the Irrigation District (DR) 048 Ticul (SIAP, 2009). Only 85% of the surface with water infrastructure installed is cultivated, and the average efficiency of irrigation is 46% (CONAGUA, 2008), which can be increased through proper management of irrigation systems. The dominant crops are citrus fruits and the main crop is the sweet orange, and for irrigation is used, preferably, sprinkler and micro-sprinkler irrigation systems, whose efficiency is less than 60%.

The poorly management of irrigation results in the inefficient production of the irrigated crops, whose most obvious indicators are the low yields and poor quality of the products obtained; in addition, promotes the vital liquid wasting and proportionally increases the risk of contamination of the aquifer, as well as the costs of water extraction and irrigation application, leading to a low profitability of the production systems. One of the proposed solutions is the use of efficient irrigation techniques, water use and energy, especially in areas where water resources are scarce.

The diagnosis of the current situation of the DR-048 irrigation units will provide information to characterize the production systems and users, and to prioritize the actions needed to increasing the efficiency of irrigation systems.

MATERIALS AND METHODS

The research was divided into two stages: the diagnosis and the evaluation of micro-sprinkler irrigation systems in the selected irrigation units. In the first stage, in late 2009, office work was done in order to gather the documentary information relating to the study's objectives, based on which a survey was developed and implemented to strengthening it and to capturing additional information required; in addition, interviews were done to the irrigation modules' presidents, and finally the irrigation units were selected to evaluate them in the second stage.

Se recopiló la información existente sobre el área de estudio, siendo la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la mayor aportadora de la misma, también, se compiló información de otras fuentes tales como las estadísticas del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP) de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el Gobierno del estado de Yucatán, los Distritos de Desarrollo Rural (DDR), y diversos documentos relacionados con la agricultura y el manejo del agua de riego en la entidad.

Dicha información se analizó para obtener los datos de los parámetros más importantes, para realizar el diagnóstico y a partir de los resultados obtenidos se elaboró y aplicó una encuesta para verificar ciertos parámetros considerados variables en el tiempo y otros que aunque son fijos requieren de certeza para el estudio planteado. La documentación del distrito de riego 048 fue amplia y se pudo obtener toda la información básica de los principales sistemas de producción (tipo de usuario, superficie cultivada, cultivos, tecnología empleada, tenencia de la tierra), y los datos del agua (equipo y sistema de riego, tiempos, frecuencias y volúmenes de riego).

La información obtenida (bibliográfica y encuestas) se analizó en gabinete y con base en ella se realizaron las siguientes acciones: 1) caracterización de los productores y las zonas de riego, con base en el nivel de tecnología empleado para la detección de brechas tecnológicas y formación de grupos homogéneos; 2) selección de las unidades de riego en las cuales se realizó la evaluación de los sistemas de riego; y 3) ubicación georeferenciada (en campo) de las unidades de producción en las cuales se realizaron las evaluaciones.

Los resultados obtenidos en la primera etapa llevaron a concluir que en la segunda se realizaría la evaluación hidráulica y electromecánica en unidades cultivadas con naranja dulce y sistemas de riego por microaspersión, debido que el cultivo es el sistema predominante; además, la microaspersión se encuentra en proceso de sustituir al riego por aspersión y por gravedad, para aumentar la eficiencia del riego en el distrito.

La selección de las unidades de riego a evaluar se hizo con base a la conformación del DR, el cual se divide en módulos de riego y éstos a su vez en unidades de riego. A principio de 2010, se evaluaron 30 unidades de riego, distribuidas en ocho módulos, con una superficie total evaluada de 2 094 ha, que representa 22% de la superficie del distrito (Cuadro 1).

The already existing information on the study area was collected, being the National Water Commission (CONAGUA), the largest contributor of it, also, the data from other sources was compiled, such as the Statistics Agricultural Information System (PCIS) of the Ministry of Agriculture, Livestock, Fisheries and Food (SAGARPA), the Yucatán State's government, Rural Development Districts (DDR), and various documents related to agriculture and irrigation's water management within the state.

This information is analyzed to obtain data from the most important parameters in order to make the diagnosis, and from the results was developed and implemented a survey to verify certain parameters considered as variables in time, and others that even though they're fixed, certainty is required for the study. The documentation of the irrigation district 048 was quite extensive and all the basic information of the main production systems was gathered (user type, cultivated area, crops, technologies, land tenure), and water data (equipment and irrigation system, times, frequencies and volumes of irrigation).

The information obtained (literature and surveys) was analyzed and based on which, the following actions were taken: 1) characterization of the producers and the irrigated areas, based on the level of technology used for the detection of gaps in technology and formation of homogeneous groups; 2) selection of the irrigation units in which the evaluation of irrigation systems was done; and 3) georeferenced location (field) of the producing units in which the assessments were made.

The results obtained in the first stage lead to conclude that in the second one, the electro-hydraulic evaluation would be performed in cultivated units with sweet orange and micro-sprinkler irrigation systems, due that they're the prevailing crop and system; moreover, in order to increase the efficiency of irrigation in the district, the micro-sprinkling system is in the process for replacing the sprinkler and gravity irrigation systems.

The selection of the irrigation units to be evaluated was made based on the conformation of the DR, which is divided into modules of irrigation and in turn these are divided into irrigation units. In early 2010, 30 irrigation units were evaluated, distributed in 8 modules, with a total evaluated surface of 2 094 ha, representing 22% of the district (Table 1).

Cuadro 1. Unidades de riego evaluadas en el Distrito de Riego 048, Ticul, Yucatán.**Table 1. Irrigation units evaluated in the Irrigation District 048, Ticul, Yucatán.**

Número	Módulo	Unidad	Superficie irrigada (ha)
1	Oxkutzcab	Pozo 2 Tabi	82
2	Oxkutzcab	Pozo 4 Tabi	35
3	Oxkutzcab	Pozo 1 Yaxhom	120
4	Oxkutzcab	Pozo 5 Plan Chac	35
5	Oxkutzcab	Pozo 5 Tabi	80
6	Oxkutzcab	Pozo 3 Sto. Domingo	60
7	Oxkutzcab	Pozo 8 Plan Chac	53
8	Oxkutzcab	San José Xhualtunich	80
9	Oxkutzcab	San Luis Kukikan	50
10	Tzucacab	Solidaridad	45
11	Tzucacab	Tzucacab 1	29
12	Tekax	Cacauché 2	72
13	Tekax	Pozo 4 Plan Chac	72
14	Tekax	Trinidad 2	72
15	Tekax	Plan Chac 3	68
16	Muna	Pozo 5 J L Portillo	52
17	Muna	Pozo 11 J L Portillo	50
18	Muna	Xmatuy 1	65
19	Muna	Xmatuy 2	70
20	Sacalum	Plan Chac Pozo 1	108
21	Sacalum	Plan Chac Pozo 2	96
22	Morelos	Plan Chac Pozo 2	78
23	Morelos	Pustunich Pozo 1	58
24	Morelos	Pustunich Corralché 1	50
25	Emiliano Zapata	Plan Chac Ticul Pozo 4	83
26	Emiliano Zapata	Plan Chac Ticul Pozo 5	86
27	Emiliano Zapata	Plan Chac Ticul Pozo 6	93
28	Las Palmas	Lázaro Cárdenas 1	52
29	Las Palmas	Plan Chac Pozo 3	95
30	Las Palmas	Yotholín Núm. 4	58
	Total	30	2 094

Las evaluaciones incluyeron visitas a las unidades de riego, para verificar las condiciones de los cabezales de riego, las líneas de distribución y el estado de las parcelas (cultivos y sistemas de riego). Posteriormente, se realizó la evaluación electromecánica de los equipos de riego, cuyos datos aún están en proceso de análisis, y la determinación del coeficiente de uniformidad de los sistemas de riego por microaspersión.

La uniformidad de riego de una unidad se determinó en una sección de riego dentro de la unidad, buscando la que se encontraba en las condiciones más difíciles y lejanas. Se tomaron cuatro líneas secundarias, las dos últimas líneas de

The evaluations included visits to the irrigation units to check the condition of the sprinkler heads, lines of distribution and the parcel's status (crops and irrigation systems). Subsequently, the irrigation equipment's electro-mechanic evaluation was conducted, whose data are still being analyzed, and the coefficient of uniformity determination of the of micro-sprinkler irrigation systems.

The uniformity of irrigation of a unit was determined in a section of irrigation within the unit, looking for the one that found itself the most difficult and remote. Four secondary

los extremos y dos intermedias equidistantes de las primeras. En cada línea se escogieron cuatro plantas: la primera, la ubicada $\frac{1}{3}$ del origen, a $\frac{2}{3}$ del origen y la última; es decir, se tuvieron 16 puntos de medición (Merriam y Keller, 1978).

Se aforó cada uno de los microaspersores, repitiendo el aforo tres veces por emisor, para obtener el promedio del mismo. Posteriormente, se promediaron los 16 puntos para obtener el promedio general (q_m) y se obtuvo el promedio de los cuatro con el menor gasto (q_{25}), para finalmente aplicar la fórmula: $CU = (q_{25}/q_m) * 100$. El coeficiente de uniformidad debe ser lo más cercano posible a 100% y no inferior a 90%, para poder concluir que el sistema de riego funciona eficientemente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de la situación actual

El DR-048 Ticul queda comprendido en la región hidrológica 32, Yucatán norte (CONAGUA, 2002) y se localiza en el cono sur del estado de Yucatán, en la región Pucc (del Maya, zona de cerros o montículos), está integrado por ocho módulos de riego, distribuidos en seis municipios, que agrupan a 179 unidades de riego por bombeo las cuales extraen el volumen de agua del acuífero a través de 179 pozos. La superficie física del distrito asciende a 13 005.3 ha, la superficie dominada a 9 694.5 ha y la superficie sembrada a 8 891.7 ha. El número de usuarios de riego en el distrito asciende a un total 5 399, distribuidos en los ocho módulos (Cuadro 2) (CONAGUA, 2008). Sin embargo, muchos de los socios han vendido o heredado sus parcelas, por lo que no se tienen cifras precisas actualizadas.

lines were taken, the last two lines of the ends and two intermediate equidistant from the first ones. Four plants from each line were selected: the first located $\frac{1}{3}$ of the origin, $\frac{2}{3}$ of the origin and the last one; that is, there were 16 measuring points (Merriam and Keller, 1978).

Each micro-sprinkler's capacity was measured, repeating three times the capacity's measurement per issuer, in order to obtain the average. Subsequently, the 16 points were averaged for the overall mean (q_m) and the average from the 4 with the lowest consumption was obtained (q_{25}), and finally applying the following formula: $CU = (q_{25}/q_m) * 100$. The coefficient of uniformity should be as close as possible to 100% and not less than 90%, in order to conclude that the irrigation system works efficiently.

RESULTS AND DISCUSSION

Diagnosis of current situation

The DR-048 Ticul falls within the hydrological region 32, Northern Yucatán (CONAGUA, 2002) and is located in the southern of Yucatán State, in the Pucca regiona (Mayan for an area of hills or mounds), consists of eight irrigation modules spread over six municipalities, which consist of 179 units with pumping-irrigation, which extract the volume of water from the aquifer through 179 wells. The physical area of the district is 13 005.3 ha, the dominated surface of about 9 694.5 ha and the planted area to 8 891.7 ha. The number of users of the irrigation district goes up to a total of 5 399, divided into eight modules (Table 2)

Cuadro 2. Distribución de la superficie y usuarios por módulo de riego del Distrito de Riego 048 Ticul, Yucatán.
Table 2. Distribution of the surface and users per irrigation module from the Irrigation District 048 Ticul, Yucatán.

Módulo de riego	Municipio	Superficie (ha)			Núm. de usuarios
		Física	Dominada	Sembrada*	
Muna	Muna	2 850	1 576	1 544	702
Sacalum	Sacalum	1 033	1 002	902	217
Morelos	Ticul	385	358	316	217
Emiliano Zapata	Ticul	668	606	565	211
Oxkutzcab	Oxkutzcab	4 497	3 527	3 184	2 372
Tekax	Tekax	1 972	1 523	1 309	604
Tzucacab	Tzucacab	687	290	260	133
Las Palmas	Ticul	913	812	811	725
Total		13 005	9 694	8 891	5 399

*= no incluye segundos cultivos.

El volumen total concesionado al distrito es de 84.7 millones de m³. La concesión por pozo varía entre 201 y 400 millares de m³; con un promedio de 317 millares de m³. La superficie sembrada en cada unidad de riego presenta una variación con valores desde 30 hasta 120 ha. En el año agrícola 2007-2008 se extrajeron aproximadamente 28.2 millones de m³, para regar 6 701 ha; sin embargo, al considerar el requerimiento de riego de los cultivos el volumen neto, debería ser de 46.52 millones de m³ (CONAGUA, 2009), lo cual indica que no se cubrieron dichos requerimientos y explica porqué se reportan pérdidas de cultivos por déficit hídrico.

En las 179 unidades del DR-048, se tienen instalados medidores de gasto y volumen en la descarga del equipo de bombeo; sin embargo, sólo 60% funcionan, aunque en muy pocos se realiza la medición de los volúmenes extraídos; 34% están descompuestos y 6% de los pozos no tienen medidor.

La superficie media de cultivo por productor en el distrito es menor a dos hectáreas, lo cual implica que el número de usuarios por unidad de riego es muy grande, lo que dificulta en muchas ocasiones la toma de decisiones para la operación de la superficie total de riego, sobre todo cuando dichas decisiones implican la aportación económicas de los usuarios. Esto se debe que 90% de las unidades es de propiedad ejidal.

Los sistemas de riego que se encuentran en el distrito son: microaspersión (39%), gravedad (31%), multicompuertas (16%), aspersión (12%) y goteo (2%). Existen unidades con riego por gravedad en suelos pedregosos (Leptosol rendzico), lo cual es totalmente inadecuado e ineficiente.

Los módulos que tienen altos porcentajes de riego por gravedad (Oxkutzcab y Muna), es porque tienen la mayor superficie de suelo Luvisol; no obstante, el comportamiento hidráulico de estos suelos es semejante al de un suelo arenoso, razón por la cual la eficiencia de riego es menor 20% (CONAGUA, 2008). Los productores del módulo Muna están cambiando al riego por goteo, debido que uno de los cultivos importantes es el maíz, y han constatado que la respuesta de este cultivo es muy buena.

La instalación de sistemas de riego por microaspersión se ha generalizado en los últimos años, como parte de la política de la CONAGUA para incrementar la eficiencia; sin embargo, muchos de los nuevos equipos están en desuso por diversas razones, entre las que predomina el rechazo de los usuarios por desconocimiento del sistema de riego, pues consideran que los volúmenes aplicados son insuficientes para los cultivos.

(CONAGUA, 2008). However, many of the partners have sold or inherited their land, so there are no accurate figures updated.

The total volume permitted to the district is 84.7 million m³. The grant per well varies between 201 and 400 thousand m³; with an average of 317 thousand m³. The planted area in each irrigation unit has a variation with values from 30 to 120 ha. Approximately 28.2 million m³ were extracted during the 2007-2008 agricultural year, to irrigate 6 701 ha; however, considering the irrigation required for the crops, the net volume should be of 46.52 million m³ (CONAGUA, 2009), indicating that these requirements were not met and explains why crop losses are reported by water deficit.

In the 179 of the DR-048 units, there are volume and consumption-meters installed in the discharge of the pumping equipment; however, only 60% work, but very few are making the measurement of the volumes extracted, 34% are broken and 6% of the wells have no meter.

The average area of cultivation per producer in the district is less than two hectares, which implies that the number of users per unit of irrigation is very large, which difficult in many occasions to taking decisions regarding the operation of the total irrigation surface, especially when those decisions involve the user's economic contribution. This is because 90% of the units are municipal property.

The irrigation systems found in the district are: micro-sprinkler (39%), gravity (31%), multi-gate (16%), spray (12%) and dropping (2%). There are units with gravity irrigation in stony-soils (Leptosolrendzico), which is totally inadequate and inefficient.

The modules with high gravity-irrigation percentages (Oxkutzcab and Muna), is due that they have the largest area of Luvisol soils; however, the hydraulic behavior of these soils is similar to a sandy soil, which is why the irrigation efficiency is lower 20% (CONAGUA, 2008). The Muna module's producers are switching to dripping irrigation because one of the major crops is maize, and they have verified that the response of this crop is very good.

The installation of micro-sprinkler irrigation systems has become widespread in the recent years as part of CONAGUA's policy to increase efficiency; however, there are many of the new equipment that is not being used for

El cultivo predominante en el distrito es la naranja dulce (60%), seguido por maíz (11%), limón (8%) y otros en menor superficie entre los que se encuentran aguacate (7%), mamey (4%) y hortalizas (4%). La distribución de cultivos es variable en cada módulo de riego y la diversidad es muy baja, pues en la mayoría sólo se tienen como máximo tres especies. La superficie de nuevas siembras es reducida para los cítricos y frutales, en tanto que de hortalizas y maíz se siembran dos o tres ciclos al año.

El manejo del suelo y del agua en el área de influencia del distrito se realiza de manera empírica, pues los usuarios no cuentan con asistencia técnica ni aplican tecnología de riego alguna. En general, en las unidades de riego no se realiza una determinación de las demandas evapotranspirativas de los cultivos, considerando características climatológicas y su etapa fenológica, por lo que el manejo, volúmenes e intervalos de riego, se determinan en la asamblea de usuarios, lo cual está indisolublemente ligado al costo de extracción del agua.

La fertilización de los cultivos es una práctica que realizan los productores en función de la disponibilidad económica y de los apoyos del gobierno que puedan obtener, por lo que no se realiza en función de la demanda de los cultivos. No se realizan análisis para dar un seguimiento de las propiedades químicas del suelo y del agua, lo cual es indispensable si se tiene en cuenta que el agua de riego presenta niveles de salinidad importantes. Una situación similar ocurre con los fungicidas e insecticidas.

El primer nivel de organización es entre los usuarios del mismo pozo, quienes conforman la asamblea de la unidad de riego, y están constituidos en una Asociación de Usuarios de la Unidad (AUU). En el siguiente nivel se encuentra la Asociación Civil del Módulo de Riego (ACMR), una por cada módulo, constituida por las asociaciones de usuarios de las unidades que lo conforman, y están representadas por su presidente.

El presidente del módulo se coordina con los representantes de las unidades de riego y estos a su vez con socios de las unidades. No existe una organización al interior del módulo para la adquisición de insumos y la comercialización de los productos de la región, los intermediarios compran el producto y establecen los precios de los productos generados en las unidades de riego.

La información obtenida y analizada permitió elaborar una serie de categorías (Cuadro 3), dentro de las cuales se podrán ubicar a los usuarios de riego del Distrito de Riego 048 de Ticul, de tal forma que las soluciones tecnológicas

various reasons, among which predominates the rejection of the users since they don't know the system, believing that the volumes applied are insufficient for the crops.

The predominant crop in the district is the sweet orange (60%), followed by maize (11%), lemon (8%) and others with a lesser area, between those it were found, avocado (7%), mamey (4%) and vegetables (4%). The crops distribution is variable in each irrigation module and the diversity is quite low, since in most of them there are a maximum of only three species. The area of new plantings is limited to citrus and fruit, while vegetables and corn are planted two or three cycles a year.

The soil and water's management in the area under influence of the district is done empirically, since the users do not have technical support or apply any irrigation technology at all. In general, in the irrigation units, there isn't made a determination of the crop's evapotranspiration demands considering the weather patterns and phenological stage, because of this, managing the irrigation volumes and intervals are determined in the user's assembly, which is inextricably linked to the water extraction's costs.

The crops' fertilization is a practice performed by the producers according to the economic availability and governmental support they can get, so it is not performed in accordance with the crops' demands. There aren't any analysis performed to monitoring the soil and water's chemical properties, which is indispensable if it's considered that the present of the irrigation water's salinity levels is at all important. A similar situation occurs with fungicides and insecticides.

The first level of organization is among the users of the same well, who conform the irrigation unit's assembly, and they're joint together in an Association of Users of the Unit (AUU). At the next level is the Civil Partnership Irrigation Module (CPIM), one for each module, consisting of associations of users of the units that compose it, and are represented by their president.

The president of the module is coordinated with representatives of the irrigation units and these in turn with partners of the units. There is no organization within the module for the acquisition of inputs and marketing of local products, the middlemen buy the products and set the prices for them.

que se propongan se puedan ejecutar diferencialmente y no de manera generalizada como si todos tuvieran el mismo nivel tecnológico y económico. Se puede observar que la máxima categoría en que se pueden incluir a los usuarios y unidades de riego es al nivel y subnivel mediano de inversión y tecnología, aunque la mayoría de ellos se encuentran en el subnivel bajo, debido principalmente a las características de eficiencia de sus sistemas de riego por microaspersión.

The information gathered and analyzed allowed to develop a series of categories (Table 3) within which the irrigation users from the Irrigation District 048, Ticul can be located, so that technological solutions are proposed to be run differentially and not so widespread as if everyone had the same technological level and economic development. It's noteworthy that the highest categories, in which the users and irrigation units can be included, correspond to

Cuadro 3. Categorías y parámetros para clasificar a los usuarios de riego en el Distrito de Riego 048 de Ticul, Yucatán.
Table 3. Categories and parameters to classify the irrigation users of the Irrigation District 048 the Ticul, Yucatán.

Nivel de inversión y tecnología	Subnivel de inversión y tecnología	Parámetros para la clasificación
Alta	Alta	Goteo, o microaspersión, fertirriego, hortalizas, cítricos, frutales, maíz, > 80% de eficiencia
	Mediana	Goteo o microaspersión, fertirriego, hortalizas, frutales, maíz, 65 a 80% de eficiencia
	Baja	Microaspersión, hortalizas, cítricos, frutales, 50 a 65% de eficiencia
Mediana	Alta	Microaspersión, cítricos o frutales, > 50% de eficiencia
	Mediana	Microaspersión, cítricos o frutales, 40 a 50 % de eficiencia
	Baja	Microaspersión, cítricos o frutales, < 40% de eficiencia
Baja	Alta	Multicompuestas, maíz, hortalizas o cítricos, > 40% de eficiencia
	Mediana	Gravedad, maíz, frutales o cítricos, 30 a 40% de eficiencia
	Baja	Gravedad, maíz o frutales, < 30% de eficiencia

Evaluación de los equipos y sistemas de riego

La mayoría de los equipos de riego son viejos, presentan muchas fugas de agua y reciben poco mantenimiento, ya que los operadores únicamente vigilan que falte aceite durante la operación y que el voltaje sea el adecuado para su funcionamiento. Las fugas de agua pocas veces se reparan, debido al costo de las refacciones y al personal especializado para ello. Son pocas las unidades en las que se programa el mantenimiento del equipo de riego, y éste se realiza durante la época de lluvias. La potencia de las bombas de riego varía desde 50 hasta 150 HP, por lo que los gastos también son variables. Además, 90% de los equipos tienen un factor de potencia menor 90%, por lo que es necesario instalar capacitores para hacerlos más eficientes.

Las instalaciones eléctricas presentan deficiencia a causa de la falta de mantenimiento de las mismas. El suministro eléctrico presenta picos de alto y bajo voltaje, ocasionando daños en los equipos de bombeo durante su funcionamiento. El corte del suministro eléctrico a causa de la variación

the level and sublevel of medium investment and technology, although most of them are in the sublevel under that level, mainly due to the efficiency characteristics of their micro-sprinkler irrigation systems.

Irrigation equipment and systems' evaluation

Most of the irrigation equipment is too old, it has several leaks and receives little maintenance, since the operators only monitor if there is any lack of oil during the operation and if the voltage is correct for the operation. The water leaks are rarely repaired due to the cost of the parts and those specialized personnel is required to do so. Only in a few units there is any maintenance schedule for the irrigation equipment, and this is done during the rainy season. The irrigation pumps' power varies over a wide range, from 50 to 150 HP, so that expenditures are variable as well. Furthermore, 90% of the equipment has a power factor lower than 90%, making it necessary to install capacitors to make them more efficient.

del voltaje y por el mal estado de los equipos es frecuente, propiciando fuertes problemas de déficit hídrico a los cultivos en la época de mayor demanda.

La tecnología de producción aplicada a los cultivos es mínima, pues el tiempo y frecuencia del riego se aplica de manera empírica y en función de los acuerdos tomados en la asamblea de usuarios. En muchos casos no se fertiliza tampoco se controlan plagas y enfermedades. Las principales actividades son el riego en la época de sequía y el control de la maleza. Existen temporadas del año en que se requiere del riego de auxilio, pero pocas veces se aplica, lo cual reduce la producción de los cultivos.

La situación de los cultivos perennes es crítica, debido al mal manejo del riego, se aplican cantidades excesivas en algunos casos y deficitarias en otros, dando por resultado que muchos de los árboles mueran por falta de agua. No se realizan podas de formación y mantenimiento, por lo que los árboles son viejos y de bajo rendimiento (6.5 a 13.5 t ha^{-1}). El manejo de los cultivos está determinado por la situación económica particular de cada productor y de su experiencia, ya que no cuenta con asesoría técnica tampoco financiera.

Los sistemas de distribución del agua de riego presentan muchas fugas en más de 50% de las unidades evaluadas, muchas de ellas no se habían detectado y solo fue posible deducirlo mediante la evaluación. Sin embargo, en varias unidades las fugas son evidentes, pero los usuarios no cuentan con recursos para corregirlas, o bien le restan importancia pues no tienen conciencia de la importancia que tiene la conservación de este precioso recurso.

Tomando como base el caudal actual y los datos de gasto obtenidos en la evaluación por unidad de superficie, se calculó la eficiencia de distribución y se encontró que tiene también una amplia variación (35% a 75%), pero es la gran mayoría de los casos es menor a 50%, lo que indica que más de 50% del agua extraída del acuífero se está perdiendo en la distribución a pesar de que se utilizan tuberías.

Las unidades en las que se determinó del coeficiente de uniformidad (CU), tienen superficies que varían entre 35 y 108 ha, con secciones de riego también muy variables debido a la potencia de la bomba de riego. El número de microaspersores también es bastante variable, pues va desde 170 hasta 300 por hectárea. El gasto teórico de los microaspersores evaluados varía entre 40 y 70 litros por hora (LPH); dicho gasto no se alcanza en ninguna de las unidades, pues el gasto medio fluctuó entre 18 y 52 LPH.

The electrical installations are deficient due to the lack of maintenance. The power supply presents high and low voltage peaks, causing damage to the pumping equipment during operation. The power loss due to the voltage variation and the poor state of the equipment is quite common, leading to serious problems of water stress to the crops at the time of peak demand.

The production technology applied to the crops is minimal, because the time and frequency of irrigation is empirically applied and according of the agreements reached at the user's meeting. In many cases there is neither fertilization nor any control of pests and diseases. The main activities include irrigation during the dry season and weed control. There are times over the year in which auxiliary irrigation is required, but rarely applied, which reduces the crop's production.

The situation of the perennial crops is critical because of the mismanagement of irrigation; excessive amounts are applied in some cases and deficient in others, resulting in many dead trees due to the lack of water. There is neither formation nor maintenance pruning conducted, so the trees are old and low-yielding (6.5 to 13.5 t ha^{-1}). The crop's management is determined by the particular economic situation of each producer and their experience, since there is no financial or technical advice.

The water irrigation's distribution systems present many leaks in more than 50% of the units tested, many of them have not been detected and were only possible to deduce through evaluation. However, in several units, the leaks are obvious, but the users do not have the resources to mend them or they lessen its importance as they have no awareness of the importance for conserving this precious resource.

Based on the current flow and consumption data obtained in the assessment per unit area, the distribution efficiency was calculated and it was found that there is also a wide variation (35% to 75%), but the vast majority of the cases is less than 50%, indicating that more than 50% of the water extracted from the aquifer is being lost in the distribution even though pipes are used.

The units in which the coefficient of uniformity (CU) was determined, have surfaces that vary between 35 and 108 ha, with irrigation sections also highly variable due to the power of the irrigation pump. The number of

El CU evaluado en las unidades, también es un valor con amplia variación, desde 55% hasta 89%, y con base en el criterio de calificación, al ser menor a 90% en todos los casos se concluye que los sistemas de riego no funcionan correctamente. Las causas que están propiciando dicha ineficiencia, van desde una simple obstrucción que se soluciona con una limpieza del sistema, hasta las fugas debidas a tuberías rotas, válvulas en mal estado, emisores dañados, obturados o rotos, que implican un mayor costo y tiempo para su reparación.

Los resultados de la evaluación indican que las eficiencias de distribución y aplicación de los sistemas de riego por microaspersión en el DR- 048, son muy bajas pues varían entre 35 y 70%, con una media de 46.5%, la cual es menor a la reportada por la CONAGUA (2008), de 56%. Por lo que es necesario implementar medidas correctivas para alcanzar la eficiencia mínima de 85% inherentes a los sistemas de riego por microaspersión.

El volumen de agua aplicada por árbol por riego varían entre 140 y 400 L y el intervalo de riego entre dos y ocho días; si consideramos que la demanda de agua por árbol varía entre 125 y 175 L por día a lo largo del año (CONAGUA, 2008), y que la mayoría de los suelos del área de estudio no puede retener más de 25 m³ ha⁻¹, entonces concluimos que gran cantidad del agua aplicada se pierde por infiltración profunda al exceder la capacidad de retención de humedad del suelo en cada riego; además, los intervalos de riego mayores a dos días propician el déficit hídrico de las plantas al agotarse la reserva en menos de dos días, debido a las características de retención de humedad de los suelos.

CONCLUSIONES

La máxima categoría en la que se pueden ubicar los usuarios de riego corresponde al nivel y subnivel mediano de inversión y tecnología, aunque la mayoría se ubica en el subnivel bajo, debido principalmente a las características de eficiencia de sus sistemas de riego por microaspersión.

El riego del cultivo de naranja se aplica sin conocimiento de los requerimientos hídricos del cultivo y sin considerar la capacidad de retención de agua de los suelos, y con sistemas de riego por microaspersión con múltiples deficiencias; lo cual lo encarece y propicia el bajo rendimiento y calidad de los productos, que a su vez reduce la competitividad en el mercado y la rentabilidad del sistema de producción.

micro-sprinklers is quite variable too, from 170 to 300 per hectare. The theoretical evaluated micro-sprinklers' consumptions varied between 40 and 70 liters per hour (LPH), such consumption is not achieved in any of the units, as the average consumption ranged from 18 to 52 LPH.

The CU evaluated in the units is also a value with wide variation, from 55% to 89%, and based on the qualification criteria, since it's below 90% in all cases; it's concluded that the irrigation systems do not work properly. The causes that are leading to this inefficiency, goes from a simple obstruction that would be quickly solved by cleaning the system to the leaks caused by broken pipes, disrepair valves, damaged transmitters, blocked or broken, which involve higher costs and more time to repair.

The evaluation's results indicate that the efficiency of distribution and application of the micro-sprinkler irrigation systems in the DR-048 are very low as they vary between 35 and 70%, with an average of 46.5%, which is lower than that reported by CONAGUA (2008), 56%. Therefore it is necessary to implement corrective actions to achieving the minimum efficiency of 85% inherent to the micro-irrigation systems.

The volume of water applied per tree per irrigation vary between 140 and 400 L and the irrigation interval from two to eight days, if it's considered that the demand for water per tree varies between 125 and 175 L per day throughout the year (CONAGUA, 2008), and most of the soils of the studied area cannot hold more than 25 m³ ha⁻¹, then it is concluded, that a large amount of water applied is lost through deep percolation by exceeding the soil's moisture retention capacity at each irrigation, in addition, the irrigation intervals greater than two days favor the plant water deficit having exhausted the reserves in less than two days, due to the soil's moisture retention characteristics.

CONCLUSIONS

The highest category in which the irrigation users can be located corresponds to a medium level of investment and technology, although most of them are located in the low sublevel, it's mainly due to the characteristics of efficiency of its micro-sprinkler irrigation systems.

La eficiencia del riego por microaspersión del cultivo de naranja es 46.5%, debido principalmente a las malas condiciones del equipo de bombeo y el sistema de distribución el cual presenta muchas fugas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores(as) agradecen al Fondo Mixto Gobierno del estado de Yucatán-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el financiamiento del proyecto del cual derivó el presente artículo.

LITERATURA CITADA

- Burt, Ch. M. and Styles, S. W. 1994. Irrigation efficiency and uniformity. Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops. ITRC. Department of Agricultural Engineering. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, California.
- Cervantes, M. A. 2007. El balance hídrico en cuerpos de agua cársticos de la Península de Yucatán. *Teoría y Praxis*. 3:143-152.
- Christiansen, J. E. 1942. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agric. Eng.* 22:89-92.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Península de Yucatán, Yucatán. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. 20 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008. Estadísticas del agua en México 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). D. F., México. 228 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2007-2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). D. F., México. 389 p.
- Gispert, J. R. y García, J. A. 1994. El volumen húmedo del suelo. Aspectos agronómicos relacionados con la microirrigación (b). *Riegos y drenajes*. XXI/77:16-28.
- Gutiérrez, A. M. 2007. Biología y calidad del agua del acuífero norte de Quintana Roo. *Teoría y Praxis* 3: 135-141.

The orange crop irrigation is applied without knowledge of the crop's water requirement and regardless of the soil's water holding capacity and the micro-sprinkler irrigation systems with multiple deficiencies make it more expensive and encourages poor performance and product quality, which in turn reduces the market competitiveness and profitability of the production system.

The micro-sprinkler's irrigation efficiency for the orange crop is 46.5%, mainly due to the poor condition of pumping equipment and distribution system, which has several leaks.

End of the English version



- Keller, J. and Karmelli, D. 1975. Trickle irrigation design. Edited and published by rain bird sprinkler manufacturing corporation. Glendora, California, USA.
- Letey, J.; Vaux, H. J. and Feinerman, E. 1984. Optimum crop water application as affected uniformity of water infiltration. *Agron. J.* 76:435-441.
- Li, J. 1998. Modelling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system. *Agric. Water Manage.* 38:135-146.
- Luna, D. E. 1990. Evaluación del riego superficial. Metodología de investigación y diagnóstico en relación agua-suelo-planta-atmósfera. CENID RASPA. INIFAP. SARH.
- Marín, L. E. and Perry, E. C. 1994. The hydrogeology and contamination potential of north western Yucatán, Mexico. *Geophys. Int.* 33(4):619-623.
- Montovani, E. C.; Villalobos, F. J.; Orgaz, F.; and Fereres, E. 1995. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agric. Water Manage.* 27:243-257.
- Merrian, J. L. and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan, Utah State University. *Agric. Irrig. Eng. Dept.* 11:81-124.
- Pizarro, F. 1987. Riego localizado de alta frecuencia (RLAF): gotero, microaspersión, exudación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 300 p.
- Román, L. A.; Mendoza, M. F.; Inzunza, I. M. A.; Sánchez, C. I. y Rodríguez, C. A. 2005. Evaluación de sistemas de riego presurizado. CENID RASPA. INIFAP. Folleto científico. Núm. 17. Gómez Palacio, Durango.

- Salcedo, F. R.; Barrios, M.; García y Valdez, T. 2005. Distribución de agua en un sistema de microaspersión sobre un Ultisol cultivado con Lima Tahití en el estado de Monagas, Venezuela. *UDO Agrícola*. 5(1):88-95.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2009. Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). URL: <http://www.siap.gob.mx/>.
- Suárez, M. E. and Rivera, A. E. 2000. The aquatic fauna of karstic environments in the Yucatán Peninsula, Mexico: an updated overview. *In*: Munawar, M. S. G.; Lawrence, G.; Munawar, I. F. and Malley, D. F. (eds.). *Aquatic ecosystems of Mexico. Status & Scope*. The Netherlands: Backhuys Publishers. 151-164 pp.
- Warrick, A. W. and Gardner, W. R. 1983. Crop yield as affected by spatial variation of soil and irrigation. *Water Resour. Res.* 19:181-186.