

at weather stations belonging to the agro-climatic UNIFRUT net. The statistical analysis was made by means of the lineal and polynomial regression (R²).

Besides obtaining adjusted hydric balances for use in research on the processes of contamination of aquifer by nitrates, the use of capacitance probes provides information that allows the optimization of the irrigation water, the correction of hydric stress in crops and study of the soil dynamics.

Electric power saving was obtained for the deep extraction of water, up to 42% (800,000 Kwh). Assuming that there are 30,000 ha. of apple cultivar in the region of Cuauhtémoc and Guerrero, Chihuahua, Mexico, if this methodology was adopted it would allow a saving of 32,400,000 Kwh. This methodology allows the optimization of the irrigation water, the correction of hydric stress in crops and study of the soil dynamics, minimizing the negative environmental impacts and increasing the life expectations of the aquifer (25 years) and contributing to the socioeconomic development of the region.

Key words Capacitance probes, water saving, apple cultivation, Cuauhtémoc, Guerrero, Chihuahua, Mexico.

INTRODUCCION

En la cuenca No. 34 de La Laguna de Bustillos existen aproximadamente 4,230 pozos, con una extracción de agua de 1,200 millones de litros por día (CNA, 2007). Esto ha originado que cientos de pozos se encuentren secos, en otros tantos se ha bajado el nivel estático y algunos han llegado a perforar hasta una profundidad de 800 metros. (Parra y Ortiz, 2004).

El abatimiento de los mantos acuíferos en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua es preocupante: si no se toman las medidas adecuadas para optimizar el uso del agua de irrigación, se puede llegar a la pérdida de miles de hectáreas dedicadas al cultivo del manzano, ya que el agua es el factor más limitante para la fruticultura. Es importante tener presentes consideraciones de tipo ambiental en el diseño y operación de los sistemas de irrigación, ya que el agua en exceso, la salinización, la contaminación por lixiviación y escurrimientos y consecuentemente hacer un mejor manejo del recurso agua.

El manejo apropiado del agua debe estar en relación con el sistema de irrigación utilizado. En la irrigación de los huertos manzaneros, el ajuste de las cantidades de agua a aplicar, el tiempo de riego apropiado, el drenaje del suelo, la operatividad de labores culturales y medioambientales, constituyen las características más importantes que deben ser optimizadas.

La utilización de tecnología apropiada es una herramienta para superar las limitaciones que puedan surgir de una demanda creciente de agua. El control del agua de irrigación y reducir o eliminar las pérdidas por lixiviación y escurrimientos y consecuentemente hacer un mejor manejo del recurso agua.

OBJETIVOS

- Disminuir el consumo de energía eléctrica.
- Evaluar el comportamiento de la sonda de capacitancia (FDR)
- Disminuir los riesgos de lixiviación de agroquímicos a los acuíferos.

- Disminuir el consumo de energía eléctrica.
- Evaluar el comportamiento de la sonda de capacitancia (FDR)
- Disminuir los riesgos de lixiviación de agroquímicos a los acuíferos.

ANTECEDENTES

Un buen manejo de irrigación se basa en optimizar la distribución espacial y temporal del agua aplicada con el objeto de incrementar la producción y calidad de los cultivos. Las buenas prácticas de irrigación, están diseñadas para mantener un adecuado nivel de humedad en esta zona y minimizar la contaminación difusa, es decir, lixiviación del agua y nutrientes por debajo de la zona radicular (Fares y Alva, 2000). El conocimiento del contenido de agua en el suelo es fundamental para explicar una serie de procesos, como la lixiviación, escurrimientos, abatimiento de mantos acuíferos, crecimiento y desarrollo de cultivos y diseño de sistemas de irrigación (Dasberg y Dalton, 1985).

Varios factores afectan la permitividad (constante dieléctrica) efectiva del suelo. Es el caso del contenido en humedad, la porosidad (Weitz et al., 1997), la frecuencia de la onda electromagnética utilizada (Campbell, 1990), la temperatura (Or y Wraith, 1999), la salinidad (Campbell, 2002), la mineralogía (Olhoeft, 1989), el contenido en materia orgánica (Topp et al., 1980; Roth et al., 1992), o el tamaño y forma de las partículas y poros presentes en el suelo (Sen, 1981; Knight y Endres, 1990).

La situación actual del agua en el mundo corresponde a un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación, de tal forma que ya se considera un factor limitante para un desarrollo sustentable. Lo anterior obliga a buscar formas de incrementar la eficiencia del agua, tanto en cantidad como en calidad, sea el mayor posible (Phene, 1999).

La evaporotranspiración del cultivo (ET_c), con la

evapotranspiración de referencia (ET_0), y representa la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas de crecimiento vegetativo y rendimiento (Doorembos y Pruitt, 1976). Estas (ET_0), varían con el desarrollo vegetativo de la planta, clima y sistema de riego; dichos valores se deben obtener para cada región y para cada sistema de riego (Hargreaves y Samani, 1991; Rincón y Sáenz, 1996).

El agua en el suelo está afectada por diversas fuerzas que tienen su origen en la presencia de sales disueltas en el agua, en un fenómeno de interfase entre los poros y las partículas coloidales del suelo, y otras como la gravedad, presión hidrostática y presión barométrica. La fuerza (potencial mátrico) con que el agua es retenida por el suelo, depende de la cantidad de agua presente en el sustrato. Mientras más seco está el suelo, mayor es la tenacidad con que el agua es retenida y más es el esfuerzo que debe hacer la planta para absorberla. Por el contrario, si el suelo está muy húmedo, parte del agua no es retenida por el suelo, sino que es absorbida por las partículas por fuerzas eléctricas) temporalmente por el suelo, que sea transferida o distribuida de un punto a otro (Doorembos y Pruitt, 1976). Tales fuerzas hacen que el agua sea retenida por el suelo, depende de la cantidad de agua presente en el sustrato. Mientras más seco está el suelo, mayor es la tenacidad con que el agua es retenida y más es el esfuerzo que debe hacer la planta para absorberla. Por el contrario, si el suelo está muy húmedo, parte del agua no es retenida por el suelo, sino que es absorbida por las partículas por fuerzas eléctricas) temporalmente por el suelo, que sea transferida o distribuida de un punto a otro (Doorembos y Pruitt, 1976). La diferencia entre estos dos últimos niveles (PMP y HA), (Doorembos y Pruitt, 1976).

Según Clark, et al. (1995), es difícil generalizar acerca de la frecuencia del riego porque hay innumerables factores que deben considerarse; cultivo, profundidad y distribución radicular, características de retención de humedad del suelo, patrón de humedad del goteo y grado de automatización. Sin embargo, según Chávez y Berzoza, (2003), la aplicación de dos reglas básicas puede ser de gran ayuda: Agotar no más del 40% al 50% de la humedad del suelo disponible en la zona radicular activa y limitar las aplicaciones a 10 cm. o menos. Esto limita el grado de saturación de la zona radicular y minimiza la cantidad de agua que pueda drenar por debajo de la zona radicular activa. La frecuencia del riego varía con la etapa de crecimiento del árbol y de las variables climáticas, y debe ser determinada de acuerdo con lo dicho por Hartz, (1995), Davis et al., (1985), Phene et al., (1985).

La técnica FDR está basada en la medida de la constante dieléctrica del medio suelo aire y agua, cuya determinación se realiza a través de su capacitancia, debido a que la constante dieléctrica del agua es $\epsilon = 75$, comparada con la del suelo que es $\epsilon = 5$ y con la del aire que es $\epsilon = 1$. La medida de capacitancia nos

da la constante dieléctrica y a partir de esta, el contenido de agua del suelo. La señal de radiofrecuencia se convierte en porcentaje de humedad volumétrica (H_v) mediante la ecuación de calibración propuesta por Paltineanu y Starr (1997) la cual es facilitada por el software de calibración de la sonda.

METODOLOGIA

El lugar donde se implementó este programa y se realizaron los estudios es el Rancho Experimental El Rosario, propiedad del Grupo La Norteña, ubicado en el municipio de Guerrero en el Estado de Chihuahua, México. Dicho rancho tiene una extensión de 570 hectáreas y se divide en 30 lotes, los cuales tienen diferentes marcos de plantación, densidades, variedades y portainjertos.

La instrumentalización de los huertos constó de una sonda de capacitancia (FDR) portátil para la monitorización de las reservas de agua en el suelo, a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm.). Los sensores de esta sonda envían sus mediciones al capacitor-datalogger, donde fueron almacenados. El trabajo de campo con la sonda de capacitancia consistió en tomar semanalmente las lecturas a las tres profundidades citadas, en cada uno de los 680 tubos de acceso instalados.

Los datos climáticos del 2005 al 2008 de: radiación solar, velocidad y horas de viento, temperaturas máximas y mínimas, humedades relativas máximas y mínimas, presión barométrica y precipitación pluvial, se obtuvieron de una estación meteorológica Davis, modelo Vantage Pro 2, fabricada en U.S.A.

La Sonda de Capacitancia (FDR) es un sistema de alta tecnología para monitorear la humedad de los suelos. Las variaciones de capacitancia se deben a los cambios en el dieléctrico del medio circundante, es decir, la frecuencia de oscilación es proporcional a la relación aire/agua en el suelo. La ecuación de calibración almacenada en el capacitor-datalogger permite la conversión de las medidas de capacitancia en mediadas de contenido volumétrico de agua en el suelo. Cada sensor recoge información que cubre un estrato de 10 cm. de suelo, con un radio exterior al tubo de 5-10 cm.

La distribución y cantidad de los tubos de acceso fue de 680 tubos de acceso por hectárea de PVC (cédula 40 y 280 PSI), de 1.20 metros de longitud, los cuales van enterrados 1.00 metro, lo que nos permitió tomar lecturas a los 20, 45 y 75 cm. de profundidad. Al mismo tiempo que se fue alcanzando las profundidades antes citadas durante la instalación de los tubos de acceso, se tomaron muestras de suelo para determinar la clase textural.

Evapotranspiración de Referencia (ET_0). El método de estimación que se utilizó es el de Penman modificado (Doorembos y Pruitt, 1976).

Evapotranspiración del Cultivo o Real (ET_c). Para determinarla se utilizó el método Penman-FAO (Doorembos y Pruitt, 1976).

Factor de Cobertura (F_c). En cultivos arbóreos la ET_c es menor que la ET_o debido a la sombra del suelo y a la reducción de la velocidad del viento por el árbol. Para su determinación se utilizó la ecuación de $F_c = \frac{ET_c}{ET_o}$ cuyo valor depende del tipo de cultivo. Para la determinación del F_c en frutales, se procedió a introducir el diámetro medio de la copa de los árboles de la plantación. (Zazueta, 1992).

Coefficientes de Cultivo (K_c). Para determinarla se utilizó el método FAO (Doorembos y Pruitt, 1976).

Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP). Para su cálculo se consideraron las ecuaciones propuestas por Ortiz (2000).

Humedad Aprovechable (HA), Déficit de Humedad (DH), Lámina de Riego (LR) y Momento de Riego (MR). Su cálculo se efectuó mediante las ecuaciones citadas por Ortiz (2000).

Densidad Aparente (D_a), Humedad Gravimétrica (H_g) y Humedad Volumétrica (H_v). Se calcularon con las ecuaciones propuestas por Doorembos y Pruitt (1976).

Velocidad de Infiltración (V). Para determinarla se utilizó la ecuación citada por Doorembos y Pruitt (1976).

Requerimientos Hídricos Mensuales (RH_{mes}) y Requerimientos Hídricos Diarios (RH_{dia}). Se calcularon usando las ecuaciones propuesta por Blaney y Criddle. (Doorembos y Pruitt, 1976).

Número de Riegos (NR), Frecuencia de Riegos (FR) y Tiempo de Riego por Sección (TR). Su cálculo fue mediante las ecuaciones citadas por Ortiz (2000).

RESULTADOS Y DISCUSION

Evapotranspiración de Referencia (ET_o). Al analizar los valores diarios obtenidos de ET_o del 2005

al 2008, se encontró una escasa correlación (R² = 0.49). Esto nos indica que la variabilidad de los valores diarios de ET_o depende de la variabilidad climática de radiación solar, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento, temperaturas máximas y mínimas, estado de las coberturas, porcentaje de cobertura y precipitación pluvial. Sin embargo, la correlación es mayor cuando los valores de evapotranspiración fueron analizados en promedios mensuales (R² = 0.79). Se observó una excelente correlación entre la evapotranspiración de cada año según los valores de acumulación anual (R² = 0.98).

Evapotranspiración del Cultivo (ET_c). Los valores de ET_c diarios del 2005 al 2008 fueron analizados, encontrándose una moderada correlación (R² = 0.65). Esto nos indica que la variabilidad de los valores diarios de ET_c depende de la variabilidad climática de radiación solar, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento, temperaturas máximas y mínimas, estado de las coberturas, porcentaje de cobertura y precipitación pluvial. Sin embargo, la correlación es mayor cuando los valores son analizados en promedios mensuales (R² = 0.81). Se observó una excelente correlación entre los valores anuales (R² = 0.98).

Se encontró una excelente correlación entre ET_o y ET_c en la zona El Rosario, promedios mensuales durante los años 2005 – 2008, donde se aprecia que la ET_o supera a la real ET_c, siendo la ecuación lineal de ajuste $y = 1.1806x - 1.8459$ de regresión (R² = 0.92), lo que nos sugiere que existe una correlación alta entre ambas, debido a que en los meses de mayor evapotranspiración la dispersión de los puntos es menor que en los meses de menor demanda.

Factor de Cobertura (F_c). Entre los valores del F_c obtenidos para los meses de Enero a Diciembre y los valores de K_c para el mismo período, existe una

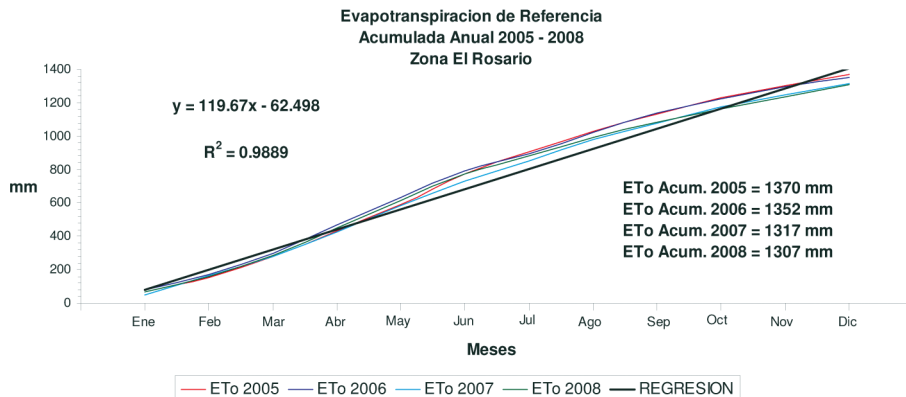


Figura 1. ETo acumulada anual del 2005 al 2008.

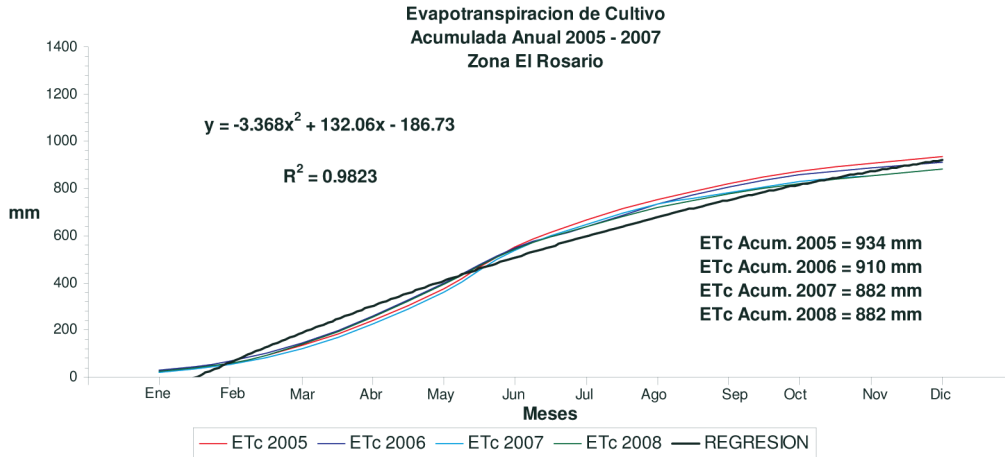


Figura 2. ETc acumulada anual del 2005 al 2008.

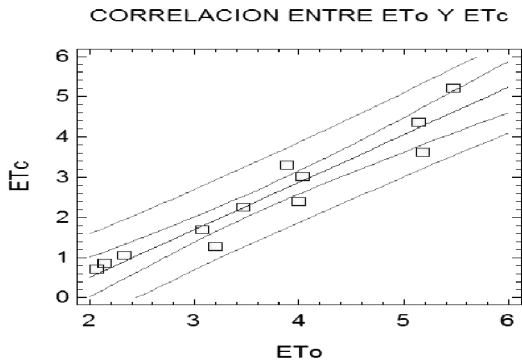


Figura 3. Correlación entre ETo y ETc promedios mensuales durante los años 2005 – 2008.

fuerte correlación entre ambas variables ($R^2 = 0.91$), estrechamente relacionada con las necesidades hídricas según el ciclo fenológico, lo que se ve representado en el gráfico.

Coefficientes de Cultivo (K_c). Se observan los valores del F_c obtenidos para los meses de Enero a Diciembre. Así mismo, se observan los valores de K_c para el mismo período. Existe una fuerte correlación entre ambas variables, donde la ecuación polinomial de ajuste es $y = -0.0183x^2 + 0.2422x + 0.0659$. Esta estrechamente relacionada con las necesidades hídricas según el ciclo fenológico.

Punto de Saturación (PS), Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Humedad Aprovechable (HA), Déficit de Humedad (DH), Lámina de Riego (LR), Momento de Riego

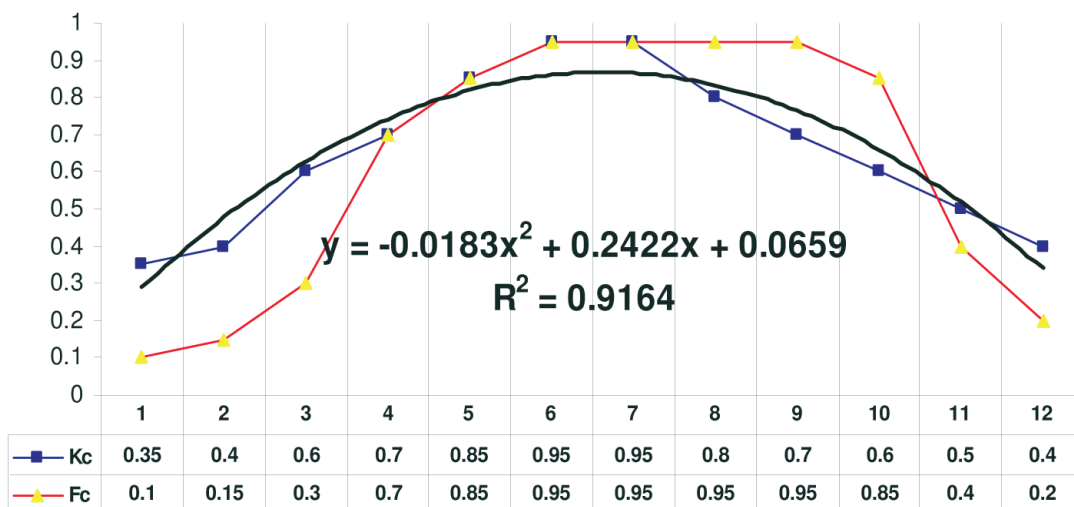


Figura 4. Valores de K_c y F_c en la zona de estudio.

(MR), Densidad Aparente (D_a), Humedad Gravitométrica (H_g) y Humedad Volumétrica (H_v). En los valores de la capacidad de almacenamiento de agua se observó variabilidad en los parámetros hídricos de los lotes comprendidos en la zona El Rosario. Dicha variabilidad es debida a las diferentes clases texturales del suelo (Anexo 1).

Velocidad de Infiltración (V_i). Al analizar los datos de V_i para las diferentes clases texturales encontradas, lo que nos indica que los suelos analizados muestran un alto contenido de arcilla, lo que concuerda con lo que se indica principalmente.

Requerimientos Hídricos Mensuales (RH_{mes}), Requerimientos Hídricos Diarios (RH_{dia}), Número de Riegos (NR), Frecuencia de Riegos (FR) y Tiempo de Riego por Sección (TR). En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos de la Programación del Riego para la zona El Rosario, donde se aprecia el uso consuntivo del manzano y el número de riegos requeridos para cubrir esos requerimientos. Se puede observar además el NR, LR, PPe, y LT (lámina total), aplicadas durante el 2005 – 2008.

Velocidad de Infiltración por Clase Textural de Suelo Zona El Rosario

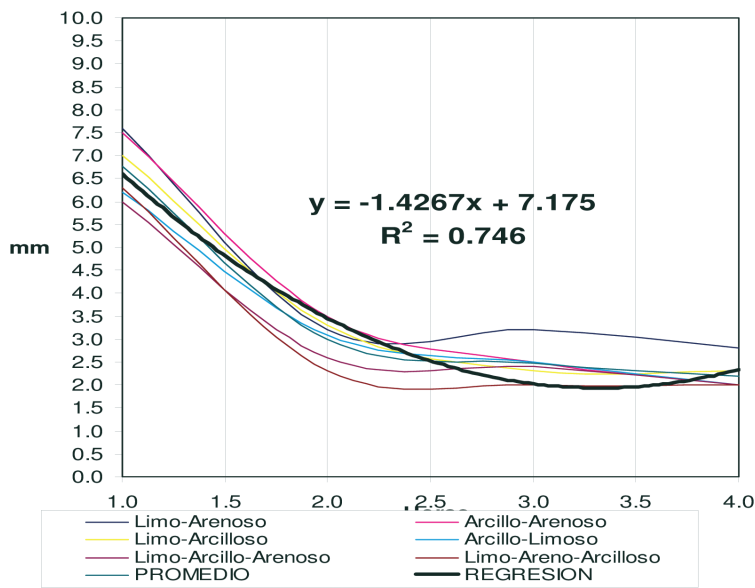


Tabla 1. Programación del Riego para la zona El Rosario

Tabla 1. Programación del Riego para la zona El Rosario

Mes	RH/Mes(mm)	RH/Día (mm)	NR	FR (Días)	TR (h)
Enero	18.56	0.58	1	39.7	12
Febrero	30.52	1.04	1	21.5	12
Marzo	60.11	1.94	3	11.9	6
Abril	106.37	3.55	4	6.5	6
Mayo	168.08	5.42	7	4.3	6
Junio	208.31	6.79	9	3.4	6
Julio	181.94	3.47	5	6.7	6
Agosto	147.94	2.37	3	9.7	6
Septiembre	104.48	1.76	3	13.0	6
Octubre	69.24	2.17	3	10.7	6
Noviembre	41.28	1.29	2	17.6	6
Diciembre	19.27	0.60	1	38.4	12
TOTAL	1156.11		41		

El Rosario (1160 mm), la LR a aplicar en 41 riegos (948 mm) y la precipitación pluvial efectiva (212 mm) en el 2008. El volumen de agua de extracción que ha que comprenden los treinta huertos de la zona El Rosario donde se aplicó esta programación, nos que representa un ahorro promedio en el volumen de agua de extracción. Los porcentajes de ahorro para la lámina total son 43 %, 48 % y 44 %, comparado con los años 2005, 2006 y 2007, como se observa

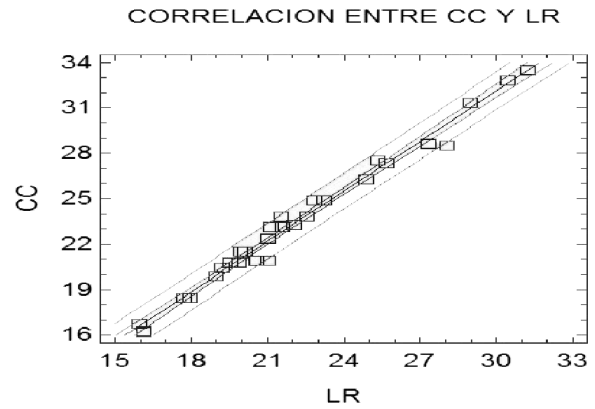


Figura 12. Correlación entre CC y LR durante los años 2005 – 2008

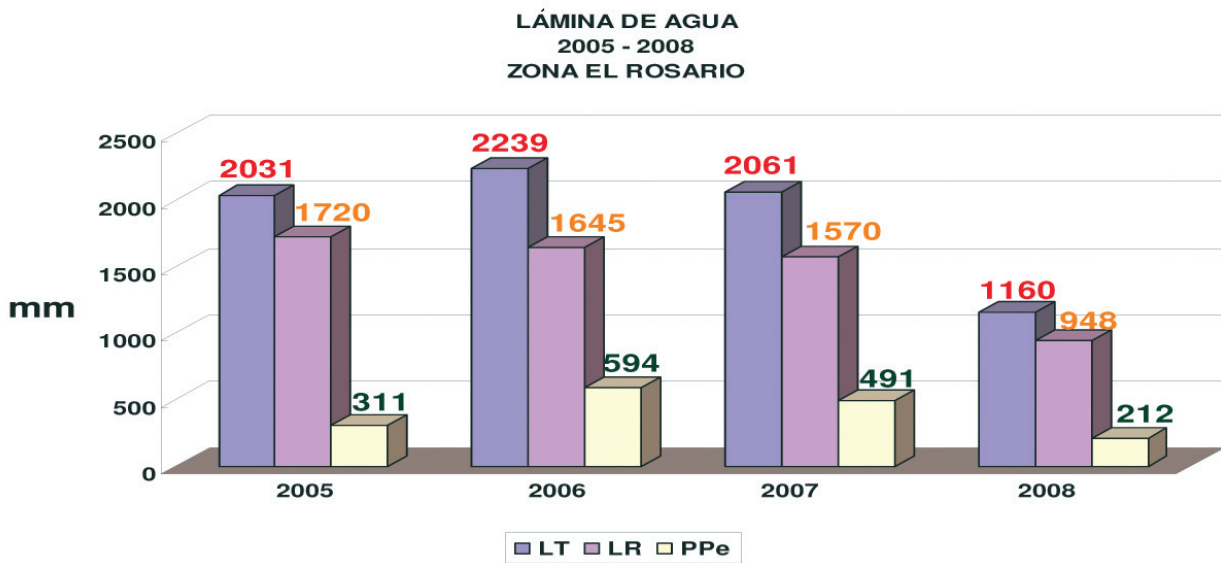


Figura 13. Láminas de agua aplicadas durante los años 2005 – 2008

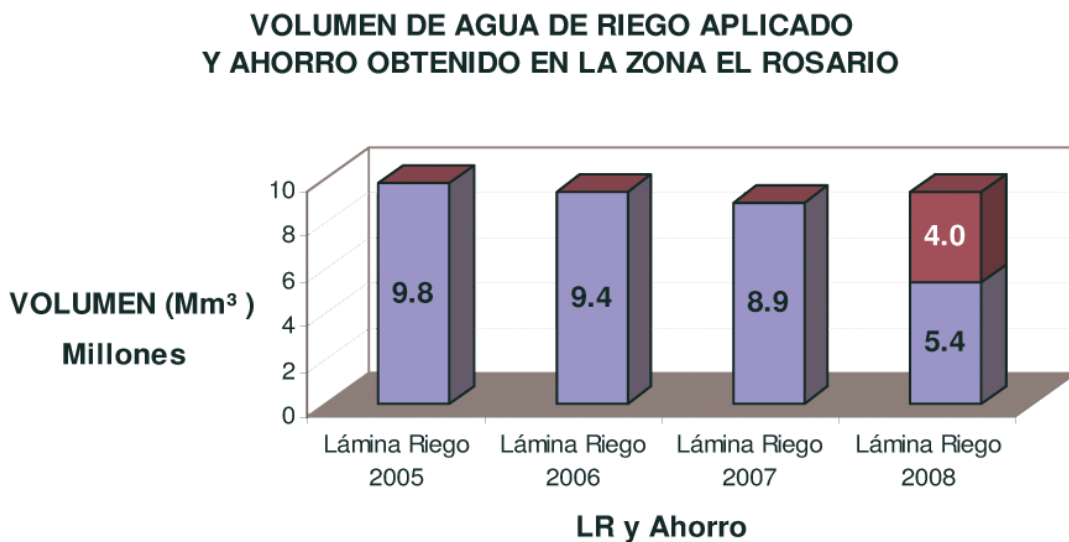


Figura 14. Volúmenes aplicados y ahorro obtenido durante los años 2005 – 2008

En la tabla 2 se observan las LR aplicadas durante

los años 2005, 2006, 2007 y 2008. El consumo fue de 27 pozos de extracción profunda en 41 riegos durante el 2008. El volumen de agua de extracción profunda del 45 %, lo que representa un ahorro en el consumo de electricidad de 826,000 Kwh. Durante el 2008 se aplicó una programación de riegos, se obtuvieron ahorros de 826,000 Kwh en 27 pozos profundos según se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Láminas de Riego y volúmenes aplicados durante los años 2005 – 2008

	mm	m³/ha	Mm³/570 ha	Volumen Excedente (Mm³)
LR 2005	1,720	17,200	9.8	4.4
LR 2006	1,645	16,450	9.4	4.0
LR 2007	1,570	15,700	9.0	3.5
LR 2008	948	9,480	5.4	-----

El consumo de electricidad en la zona El Rosario durante los años 2005 al 2008. El consumo fue de 27 pozos de extracción profunda en 41 riegos durante el 2008. El volumen de agua de extracción profunda del 45 %, lo que representa un ahorro en el consumo de electricidad de 826,000 Kwh. Durante el 2008 se aplicó una programación de riegos, se obtuvieron ahorros de 826,000 Kwh en 27 pozos profundos según se muestra en la tabla 2.

El consumo de electricidad en la zona El Rosario durante los años 2005 al 2008. El consumo fue de 27 pozos de extracción profunda en 41 riegos durante el 2008. El volumen de agua de extracción profunda del 45 %, lo que representa un ahorro en el consumo de electricidad de 826,000 Kwh. Durante el 2008 se aplicó una programación de riegos, se obtuvieron ahorros de 826,000 Kwh en 27 pozos profundos según se muestra en la tabla 2.

CONCLUSIONES

**ZONA EL ROSARIO
CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA
27 Pozos profundos para 570 ha.**

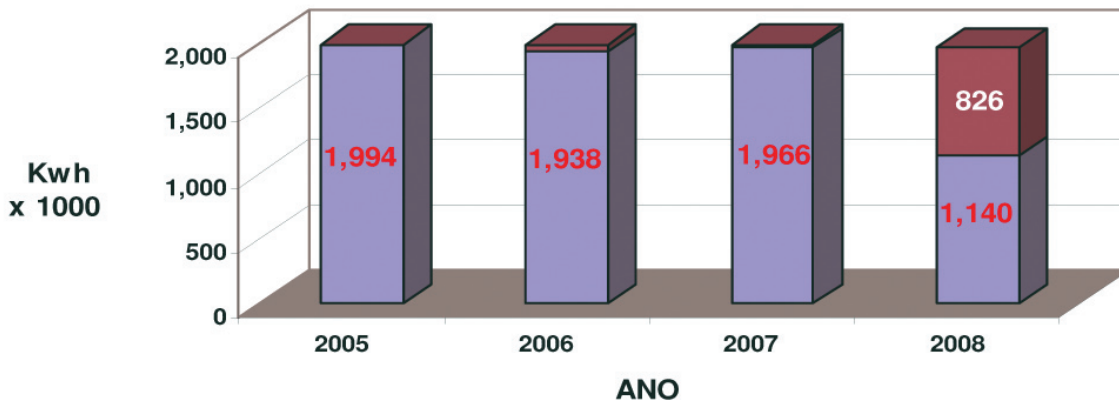


Figura 15. Consumo y ahorro de energía eléctrica durante los años 2005 – 2008

El ahorro de energía eléctrica para la extracción de agua de extracción profunda del 45 %, lo que representa un ahorro en el consumo de electricidad de 826,000 Kwh en 27 pozos profundos según se muestra en la tabla 2.

El ahorro de energía eléctrica para la extracción de agua de extracción profunda del 45 %, lo que representa un ahorro en el consumo de electricidad de 826,000 Kwh en 27 pozos profundos según se muestra en la tabla 2.

Esta técnica ofreció una serie de ventajas entre las que destacaron: facilidad de efectuar mediciones con rapidez en un mismo punto de forma continuada, así como también en varios puntos debido a su carácter

de alta precisión; alto grado de precisión de las mediciones; y ejerce un mínimo impacto sobre el suelo.

La relación lineal observada entre el valor entregado por el sensor de la sonda de capacitancia (FDR) y la humedad volumétrica en las distintas texturas de suelo, es importante los métodos de medición de la humedad utilizados anteriormente, por lo que se debe incorporar esta metodología en la programación de riegos.

Asumiendo que existen 30.000 ha. de cultivo manzano en la región de Cuauhtémoc y Guerrero en el Estado de Chihuahua y que el ahorro de agua para

Finalmente podemos concluir que la programación (FDR) y el monitoreo del clima en tiempo real, nos indica que se trata de herramientas indispensables en la gestión y desarrollo sustentable de los ecosistemas agrícolas, permitiendo integrar la productividad

REFERENCIAS

Avidan, A., 1994, *Cálculo de las necesidades de riego: Determinación del régimen de riego de los cultivos; Factores que influyen sobre el régimen de riego; La evapotranspiración de los cultivos*. Fascículos 1-3. CINADCO. Ministerio de Agricultura. Servicio de de Extensión Agrícola. Departamento de Riego y Suelos. Israel.

Brooks, K.N., P.F. Folliott, H.M. Gregersen y J.L. Thames, 1993, *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa University Press. p. 392. USA.

Campbell, J.E., 1990, *Dielectric properties and influence of conductivity in soils at one to fifty megahertz*. Soil Science Society American Journal 54: 332-341.

Campbell, J.E., 2002, *Salinity effects in capacitive soil moisture measurement transactions*. First International Symposium on Soil Water Measurement using Capacitance and Impedance, pp. 1-12. Paltin International Inc., Maryland, USA

Chávez N. y M. Berzoza, 2003, *Manejo y operación de sistemas de riego presurizado*. Campo Experimental Delicias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP-SAGARPA. Cd. Delicias, Chihuahua, México.

Clark, G.A., C.D. Stanley, A.G. Smajstrla, y F.S. Zazueta, 1995, *Consideraciones para el diseño de la microirrigación para la producción de hortalizas. El uso de la plasticultura para la producción intensiva de cultivos hortícolas*. Curso Nacional de Fertirrigación. INIFAP. México.

Davis, K.R., C.J. Phene, R.L. McCormick, R.B. Hutmancher, y D.W. Meek, 1985, *Trickle irrigation frequency and installation depth effects on tomatoes*. Third International Drip/Trickle Irrigation Congress, Fresno, California, USA. pp. 986-902.

Dasberg, S. y F.N. Dalton, 1985, *Time domain reflectometry measurements of soil water content and*

electrical conductivity. Soil Science Society American Journal 49: 293-297.

Doorembos J. y W.O. Pruitt, 1976, *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje, Manual nº 24. Roma, Italia.

Fares A. y A.K. Alva, 2000, *Soil water components based on capacitance probes in sandy soil*. Soil Science Society American Journal 64: 311-318.

Hartz, T.K., 1995, *Manejo del agua en la producción de hortalizas con riego por goteo*. El uso de la plasticultura para la producción intensiva de cultivos hortícolas. Curso Nacional de Fertirrigación. INIFAP. México.

Hargreaves, G.H. y Z.A. Samani, 1991, *Programación del riego*. Manual Bilingüe. Universidad de Las Cruces, New México, U.S.A.

Knight, R.J. y A.L. Endres, 1990, *A new concept in modeling the dielectric response of sandstones: Defining a wetted rock and bulk water system*, Geophysics 55: 586-594.

Olhoef, G.R., 1989, *Electrical properties of rocks*. Physical Properties of Rocks and Minerals. vol. II-2. New York: Hemisphere Pub. Corp.

Or, D. y J.M. Wraith, 1999, *Temperature effects on soil bulk dielectric permittivity measured by time domain reflectometry: A physical model*. Water Resources 35: 371-383.

Ortiz, P., 2000, *Programación práctica del riego*. Campo Experimental Sierra de Chihuahua, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP-SAGARPA. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Paltineanu I. C. y J. Starr, 1997, *Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: Laboratory calibration*. Soil Science Society American Journal 61: 1576

Parra, R. y P. Ortiz, 2004, *Manejo del riego en manzano mediante déficit de riego controlado (DCR)*. Campo Experimental Sierra de Chihuahua, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP-SAGARPA. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Phene, D.J., R.J. McCormick, J.M. Miyamoto, D.W. Meek, y K.R. Davis, 1985, *Evapotranspiration and crop coefficient trickle irrigated tomatoes*. Third. International Drip/Trickle Irrigation Congress, Fresno, California, USA. pp. 923-831.

Rincón, L. y Sáenz, J., 1996, *Determinación de la evapotranspiración y de los coeficientes de cultivo en lechuga iceberg con riego por goteo*. Actas del Congreso Ibérico. Murcia, España. pp. 193-202.

Roth, C.H., M.A. Malicki y R. Plagge, 1992, *Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR*. Journal of Soil Science 43: 1-13.

Sen, P.N., 1981, *Relation of certain geometrical features to the dielectric anomaly of rocks*. Geophysics 46: 1714-1720.

Topp, G.C., J.L. Davis y A.P. Annan, 1980, *Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines*. Water Resources 16: 574-582.

Weitz, A.M., W.T. Grauel, M. Keller y E. Veldkamp, 1997, *Calibration of time domain reflectometry technique using undisturbed soil samples from humid tropical soils of volcanic origin*. Water Resources 33: 1241-1249.

Zazueta, R. F. S., 1992, *Micro-Irrigación*. ICFA Internacional, Inc. Gainesville, Florida.,USA.

Anexo 1. Valores de capacidad de almacenamiento de agua del suelo en la zona El Rosario

LOTE	(PS) (%)	(CC) (%)	(PMP) (%)	(HA) (%)	(DH) (%)	(Da) (gr/ cm ³)	(Hg) (%)	(Hv) (%)	(MR) (%)	(LR) (mm)	CLASE TEXTURAL
Pozo 3	42.00	22.35	13.30	9.05	4.52	1.31	13.87	18.17	17.83	21.02	Arcillo-arenoso
Pozo 2 A	43.50	23.16	13.78	9.38	4.69	1.30	13.99	18.19	18.47	21.61	Arcillo-arenoso
Pozo 2 B	37.50	19.90	11.84	8.06	4.03	1.33	13.40	17.82	15.87	19.00	Limo-arcillo-arenoso
Pozo 4	43.50	23.16	13.78	9.38	4.69	1.27	15.30	19.44	18.47	21.11	Limo-arcilloso
Pozo 9	30.66	16.18	9.63	6.55	3.28	1.39	14.70	20.44	12.90	16.14	Limo-arenoso
Pozo 6	39.33	20.90	12.43	8.46	4.23	1.37	14.58	19.98	16.67	20.55	Limo-arenoso
Frentes 9	38.50	20.44	12.16	8.28	4.14	1.31	13.52	17.71	16.30	19.22	Limo-arcillo-arenoso
Pozo 13	44.66	23.79	14.16	9.64	4.82	1.26	14.11	17.78	18.97	21.51	Arcillo-limoso
Pozo 8	46.66	24.88	14.80	10.08	5.04	1.30	15.18	19.74	19.84	23.21	Limo-arcilloso
Pozo 5	58.50	31.31	18.63	12.68	6.34	1.29	14.11	18.20	24.97	28.99	Arcillo-limoso
Frentes 5	51.58	27.55	16.39	11.16	5.58	1.28	13.87	17.76	21.97	25.31	Arcillo-limoso
Pozo 12	61.33	32.85	19.55	13.30	6.65	1.29	13.99	18.05	26.20	30.42	Arcillo-limoso
Pozo 7	46.66	24.88	14.80	10.08	5.04	1.28	14.11	18.06	19.84	22.85	Arcillo-limoso
Pozo 10	62.50	33.49	19.92	13.56	6.78	1.30	14.94	19.43	26.71	31.25	Arcillo-limoso
Pozo 11	39.16	20.80	12.38	8.43	4.21	1.31	13.99	18.33	16.59	19.56	Arcillo-limoso
Pozo 1	40.50	21.53	12.81	8.72	4.36	1.29	14.23	18.35	17.17	19.94	Arcillo-limoso
La Estación	39.40	20.93	12.46	8.48	4.24	1.40	14.82	20.75	16.69	21.03	Limo-arenoso
Mayo Verde	31.66	16.73	9.95	6.77	3.38	1.33	14.46	19.24	13.35	15.98	Limo-arenos-arcilloso
Frentes MV	34.75	18.41	10.95	7.45	3.72	1.34	14.35	19.22	14.69	17.71	Limo-arenos-arcilloso
Laterales MV	51.16	27.32	16.26	11.07	5.53	1.31	13.29	17.40	21.79	25.70	Limo-arcillo-arenoso
Presa	40.50	21.53	12.81	8.72	4.36	1.30	13.64	17.73	17.17	20.09	Limo-arcillo-arenoso
Compuerta	44.66	23.79	14.16	9.64	4.82	1.32	13.52	17.85	18.97	22.54	Limo-arcillo-arenoso
Cuchilla	39.16	20.80	12.38	8.43	4.21	1.33	15.42	20.52	16.59	19.86	Limo-arcilloso
CH-P	43.64	23.24	13.83	9.41	4.70	1.32	13.87	18.31	18.54	22.02	Arcillo-limoso
Vivero	34.75	18.41	10.95	7.45	3.72	1.36	14.35	19.51	14.69	17.98	Limo-arenos-arcilloso
Corrales	39.16	20.80	12.38	8.43	4.21	1.31	15.55	20.37	16.59	19.56	Limo-arcilloso
Páramo Alto	30.83	16.28	9.68	6.59	3.30	1.38	14.58	20.13	12.98	16.12	Limo-arenoso
Páramo Bajo	53.33	28.50	16.96	11.54	5.77	1.37	14.70	20.14	22.73	28.03	Limo-arenoso
Ói ~ &ã, b[53.50	28.60	17.01	11.58	5.79	1.33	14.11	18.76	22.81	27.30	Arcillo-limoso
Escapulario	49.20	26.26	15.62	10.63	5.32	1.32	13.87	18.31	20.94	24.88	Arcillo-limoso
PROMEDIO	43.74	23.29	13.86	9.43	4.72	1.32	14.28	18.86		22.18	