

INFORME TÉCNICO AGRONÓMICO

FIA PYT-2009-0259

OFICINA DE PARTES 2 FIA	
RECEPCIONADO	
Fecha	30 MAR 2012 58
Hora	10 58
No Ingreso	1275

1. Marco teórico para nuestra propuesta.

La condición ideal de humedad del suelo para un cultivo determinado esta condicionada por variables que son propias del suelo, como la Capacidad de Campo (CC), la densidad aparente (Da) y la porosidad.

Cuando el suelo se encuentra en una condición ideal de humectación para el cultivo, hablamos de Humedad aprovechable (HA). Cuando la humedad del suelo cae bajo los límites de la HA, se produce cierre de estomas y disminución de la Transpiración lo que implica disminución de la productividad, hasta alcanzar límites extremos como el Punto de Marchites Permanente (PMP) en el que la supervivencia del cultivo se ve amenazada. Por otra parte si el contenido de humedad de un suelo se encuentra por sobre el limite superior del HA, la aireación del suelo se convierte en el factor limitante, que se va reduciendo al punto en que al no haber suficiente espacios con aire en el suelo las raíces se asfixian y esto, además de conllevar una progresiva disminución de la producción, también puede ser la causa de la muerte del cultivo. Por esto, como se desprende de la Figura 1, el contenido de humedad de un suelo bien regado debe encontrarse entre la CC y un punto determinado entre CC y PMP. Generalmente este punto esta determinado por $(CC - PMP)/2$. Posteriormente denominaremos a este valor de humedad de suelo, umbral de riego (UR).

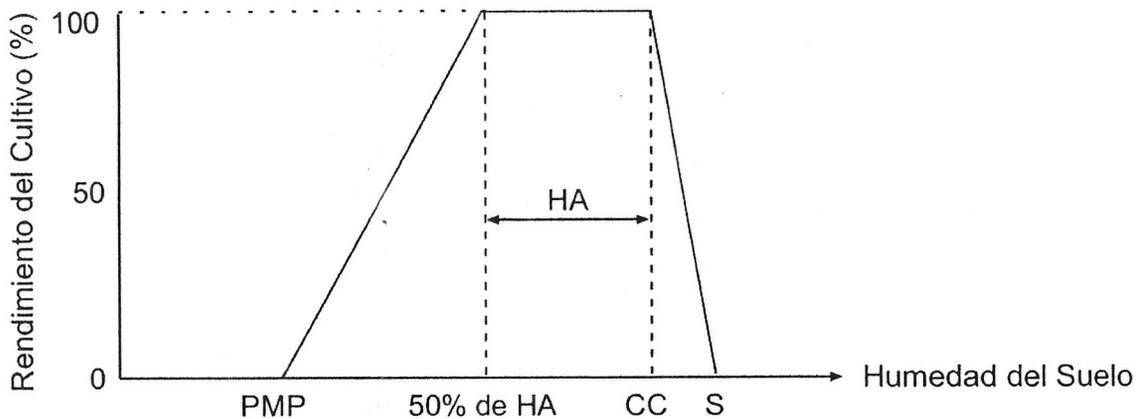


Figura 1. Relación entre la humedad del suelo y el rendimiento de los cultivos. Se indican además una serie de variables del modelo Suelo - Agua -Planta.

Del modelo representado en la Figura 1 se desprenden las siguientes variables:

HA: Humedad Aprovechable por las plantas.

PMP: Punto de marchites permanente. Es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no son capaces de extraer agua y comienzan a marchitarse en forma irreversible.

50% de HA: Es el Umbral de Riego, que indica el porcentaje de la Humedad Aprovechable que estamos dispuestos a permitir que se agote en el suelo antes de volver a regar.

CC: Capacidad de campo. Es el contenido de humedad del suelo que ha perdido toda su agua gravitacional. Cualquier aporte adicional de agua por sobre este punto comienza a ocupar el espacio poroso con lo que la aireación del suelo se ve disminuida.

S: Saturación, estado saturado del suelo en el cual el exceso de humedad en él ha reducido la aireación al ocupar la totalidad del espacio poroso de éste.

Considerando que la HA se encuentra entre CC y $(CC - PMP)/2$ (a este último termino nos referiremos en adelante como el agotamiento máximo o Umbral de Riego (UR)), entendemos que basta con determinar por algún método valido la CC de un suelo determinado para poder graficar el comportamiento de la humedad del suelo en el tiempo como se aprecia en la Figura 2.

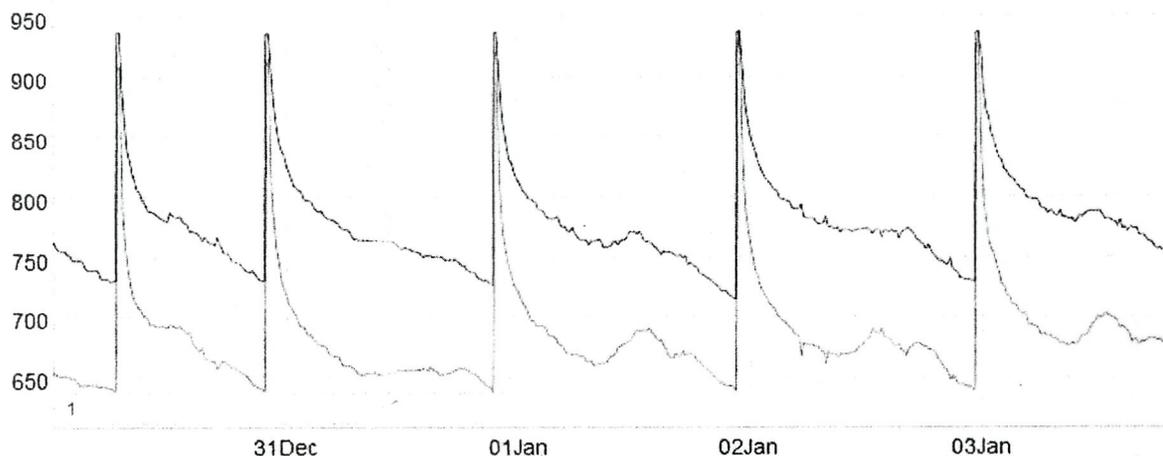


Figura 2. Comportamiento de la humedad del suelo en el tiempo.

En la Figura 3 se representa una forma simplificada de la curva de la Figura 2. Se pueden observar, la CC como equivalente a un 100% del agua aprovechable por las plantas. Además, definido en forma arbitraria, aparece un Umbral de Riego (UR) definido como el 60% del agua aprovechable. Se puede apreciar el Tiempo de Riego (TR) y la Frecuencia de Riego (F) que es el tiempo entre dos riegos sucesivos. La curva de agotamiento de la humedad del suelo se caracteriza por presentar un cambio de valor en su pendiente desde el momento en que se detiene el riego. La pendiente inicial G refleja la tasa a la que ocurre el movimiento del agua gravitacional desde la parte alta del perfil hacia las zonas profundas de éste. Luego se aprecia un cambio en la pendiente, este punto de inflexión refleja un contenido de humedad del suelo equivalente a la CC del mismo. Desde ese

punto en adelante la pendiente de agotamiento A va variando hasta alcanzar su valor más bajo al acercamos a PMP.

Cuando el agotamiento de la humedad del suelo supera el UR y continua disminuyendo, el potencial productivo del cultivo comienza a decrecer (ver Fig. 1) por lo tanto esta es una situación que queremos evitar al implementar nuestra metodología propuesta. En la Figura 3. podemos observar que para que esto que mencionamos, no ocurra, hubiese sido necesario aumentar la frecuencia de riego F y haber regado antes.

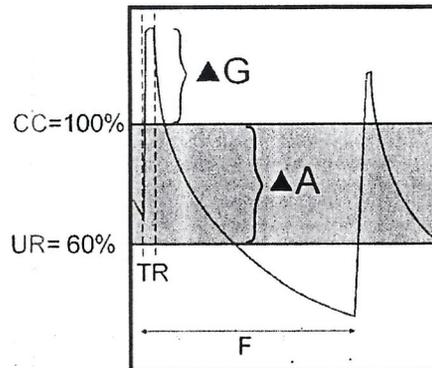


Figura 3. Se observa que la humedad del suelo aumenta con la pluviosidad durante un tiempo TR y luego disminuye a una tasa casi constante por un determinado periodo de tiempo con una pendiente G. Esto es debido a la infiltración profunda del agua gravitacional.

Nuestra metodología de reacción a la demanda del cultivo opera bajo el principio de activar en forma reactiva los sistemas de riego (bombas y válvulas) en el momento en que las lecturas de los sensores indiquen una medición igual o inferior al UR definido. Esto corresponde a un enfoque reactivo de Inteligencia Artificial [1]. Los equipos de riego funcionarán por el tiempo definido en el parámetro TR. En la Figura 4 se puede observar gráficamente lo que se pretende conseguir al implementar nuestro desarrollo tecnológico de riego en conjunto con la metodología de reacción a la demanda del cultivo.

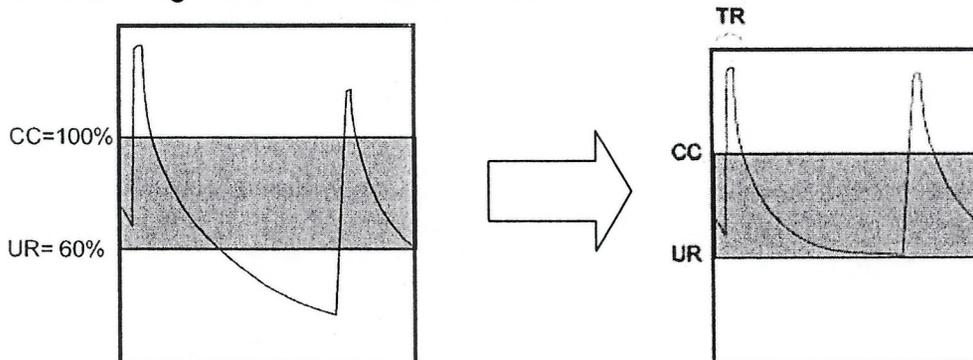


Figura 4. Nuestra propuesta metodológica busca evitar el agotamiento excesivo del agua del suelo, determinando un margen de seguridad de la condición hídrica del suelo (UR)

2. Programación del Riego.

La frecuencia de riego (F) y el tiempo de riego (TR) son fundamentales para la creación del programa de riego.

La determinación de (F) se realiza considerando variables como la Evapotranspiración de referencia (ET₀, ver Anexo) que se obtiene haciendo uso de estaciones meteorológicas que entregan el valor calculado o mediante el cálculo directo de ésta haciendo uso de la función de Penman-Monteith. Otra variable involucrada en el cálculo de F es el coeficiente de cultivo (K_c), que describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, como se aprecia en la Figura 5.

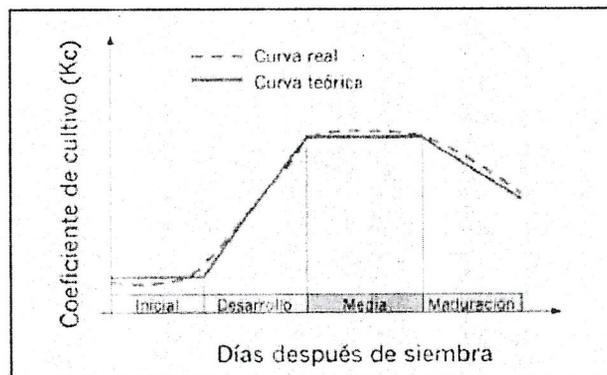


Figura 5. Variación del valor de K_c según el estado de desarrollo del cultivo desde la siembra hasta la cosecha.

Al aplicarle a la ET₀ el K_c obtenemos como resultado el valor de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) que indica la cantidad de agua que el cultivo es capaz de transpirar en un cierto tiempo en [mm/Día].

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

f.1

donde:

ET_c = Evapotranspiración de Cultivo [mm/Día]
ET₀ = Evapotranspiración de Referencia [mm/Día]
K_c = Coeficiente de Cultivo

Además debemos determinar la capacidad de retención de un suelo en mm de agua (h). Este valor se refiere a la cantidad de agua en milímetros que un suelo es capaz de retener dada una profundidad del perfil ocupado por las raíces, una cierta proporción de piedras en ese perfil, considerando además, el umbral de riego que es la cantidad de agotamiento de la humedad de suelo que puede ocurrir antes de requerirse un nuevo riego. Por último el porcentaje de suelo

mojado que tiene relación con el sistema de riego que se utilice. En el caso de riego localizado, puede ser un valor entre 90 y 100 por ciento.

$$h = ((CC - PMP) / 100) * Da * H * (1 - P) * Ur * PSM \quad f.2$$

donde:

h	=	retención de humedad del suelo	[mm]
CC	=	Capacidad de Campo	[%]
PMP	=	Punto de Marchitez Permanente	[%]
Da	=	Densidad aparente	[gr/cm3]
H	=	Profundidad de Raíces	[cm]
Ur	=	Umbral de Riego	[%]
PSM	=	Porcentaje de de Suelo Mojado	[%]

Si entendemos ETc como la cantidad de agua transpirada en un día en milímetros de agua y h como la retención posible de humedad de ese suelo en milímetros de agua, tenemos que al dividir la retención por el consumo diario, podemos saber cuando se agota el agua del suelo y hay que regar. De esta forma queda determinada la F.

$$F = h / ETc \quad f.3$$

Para la determinación del tiempo de riego, que es el que determina la cantidad de agua aportada en un momento del tiempo, se requiere conocer variables de estado del equipo de riego, que determinan la eficiencia de éste (EFa). Si conocemos la ETc y la EFa podemos determinar las Necesidades Brutas del cultivo (NB) de la siguiente manera:

$$NB = ETc / (EFa * Cu) \quad f.4$$

donde:

NB	=	Necesidades Brutas del cultivo	[mm/Dia]
ETc	=	Evapotranspiración de cultivo	[mm/Dia]
EFa	=	Eficiencia del Equipo de riego	[%]
Cu	=	Coeficiente de uniformidad	[%]

Para continuar hacia la determinación del T, debemos conocer la Intensidad de precipitación del equipo de riego (Ipp). Esta variable indica la precipitación por unidad de tiempo que el sistema de riego es capaz de entregar y se determina de la siguiente forma:

$$Ipp = Q * N / Ap \quad f.5$$

donde:

Ipp	=	Intesidad de precipitación riego	[mm/Hora]
Q	=	Caudal del emisor	[lts/Hora]
N	=	N° de emisores	[N°]
Ap	=	Area de plantación	[m2]

Finalmente el T queda determinado por:

$$T = NB * F / Ipp$$

f.6

donde:

T	=	Tiempo de Riego	[Hora]
NB	=	Necesidades Brutas	[mm/Dia]
F	=	Frecuencia de riego	[Dia]
Ipp	=	Intensidad de precipitación riego	[mm/Hora]

Estando un programa de riego en ejecución, se debe hacer un análisis periódico del comportamiento de las curvas de humedad de suelo, para observar como se produce el agotamiento del agua en el perfil. Este análisis conduce a decisiones de manejo sobre el programa de riego y el cultivo. Para realizar ajustes en el programa de riego, se deben modificar ciertos parámetros de las funciones antes descritas (f.1 ; f.2 y f.4). Principalmente para modificar el TR se puede intervenir la eficiencia del sistema Efa y para modificar la frecuencia de riego modificamos el coeficiente de cultivo Kc. para observar el efecto de dichas modificaciones, se puede utilizar la planilla de cálculo adjunta a este documento (programa_de_riego.xls).

3. Comparación de Eficiencia de ahorro entre método de riego con programador y método con sistema reactivo por demanda, en el ensayo UCSC.

El objetivo principal de este estudio es determinar la capacidad de ahorro energético que esperamos que nuestro sistema RGC operando en forma reactiva a la demanda, podría presentar versus un programador de riego que calibrado por métodos tradicionales antes descritos.

Se montó en el ensayo de la UCSC un sistema de riego reactivo por demanda del tipo RGC. Este consta de un nodo de medición, dos sensores, y comunicación a un nodo central, que transmite la información a un PC donde se pueden recuperar los datos de sensado y tomar las decisiones automáticas de riego según los parámetros establecidos en la configuración. Estos parámetros son TR y UR.

Por otra parte se procedió a calcular TR y F para el suelo del ensayo UCSC, por los métodos antes explicados en el punto 2.

3.1 Determinación de UR.

Para lograr determinar el UR es necesario primeramente lograr determinar la CC del suelo donde se instalará el sensor. Esto se consigue haciendo observaciones de una secuencia de datos de riego a saturación, como se explica en la Figura 3 del punto 1. Una propuesta es realizar esta determinación por métodos cuantitativos, mediante algún tipo de análisis numérico que permita detectar el cambio de pendiente. Nosotros lo realizamos por un método gráfico, que se va ajustando con varias muestras de curvas de agotamiento sucesivas como se ilustra en la Figura 6.

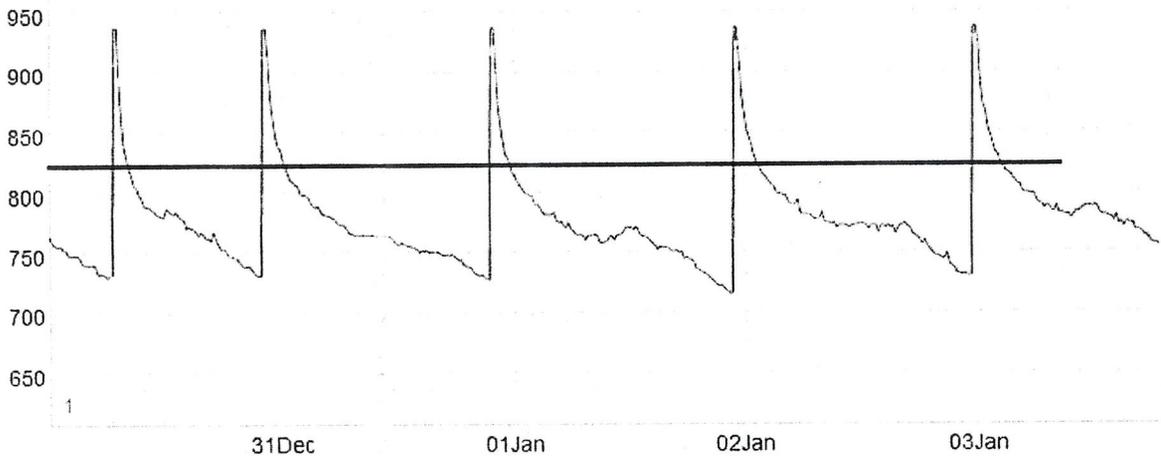


Figura 6. Ajuste gráfico por medio de proyección usando varias curvas de agotamiento sucesivas..

Desprendemos de este análisis, que el valor de CC para esa zona del huerto es de 820 unidades de sensado (Cuentas). Luego mediante un procedimiento de proporcionalidad lineal, determinamos un UR del 60% equivalente a 656 Cuentas de sensado. Según la Tabla 1.

CC	PMP	
820	410	[UNIDADES]
100	50	[%]
Rango		
Agotamiento	410	[UNIDADES]
Agotamiento	40	[%]
UR	60	[%]
UR	656	[UNIDADES]

Tabla 1. Determinación del UR del 60% a partir del valor de CC = 820 Cuentas.

El valor de UR=60% lo definimos como una constante para todos los experimentos y evaluaciones que realizamos, Es importante mencionar que durante el desarrollo fenológico del cultivo, los requerimientos son distintos y el UR debería cambiar en relación al Kc, y otras variables propias del manejo.

3.2 Determinación de TR.

Para determinar TR Nuevamente hacemos un análisis gráfico. Hay que destacar que hacer un análisis numérico para realizar esta determinación, es bastante simple, basta con determinar el tiempo transcurrido entre el comienzo del riego, y el momento en que la lectura del sensor comienza a reiterar valores máximos por un periodo de tiempo que es de criterio del observador. En la Figura 7, se puede observar el fenómeno de saturación del suelo durante el riego y cuales podrían ser los puntos (T1, T2 o T3) que se podrían considerar para determinar TR.

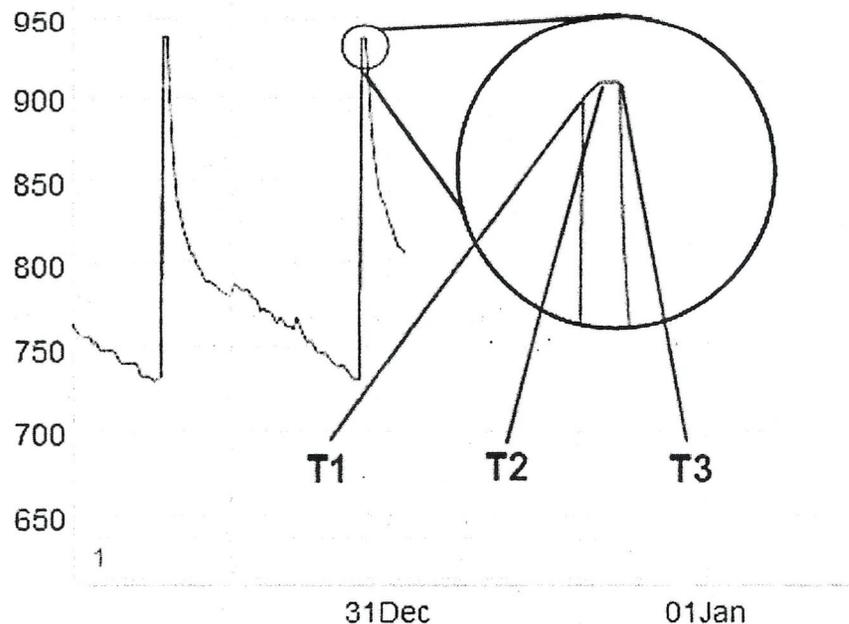


Figura 7. T1, T2 y T3 representan distintos momentos durante la instancia de riego. Cada uno se asocia a distintos puntos de calibración del valor TR.

En la curva de riego-agotamiento que se analizó para la determinación del TR para comenzar nuestro estudio se determinaron valores de T1= 20 minutos, T2= 40 minutos y T3= 60 minutos. Considerando que la situación del predio con 60 minutos de riego había generado condiciones de saturación como las de la Figura 8d, decidimos usar los valores T1= 20, T2= 30 y T3=40 minutos para los tratamientos de la variable TR.

Las Figuras 8a,b y c, muestran los Peak de riego para cada uno de los tratamientos.

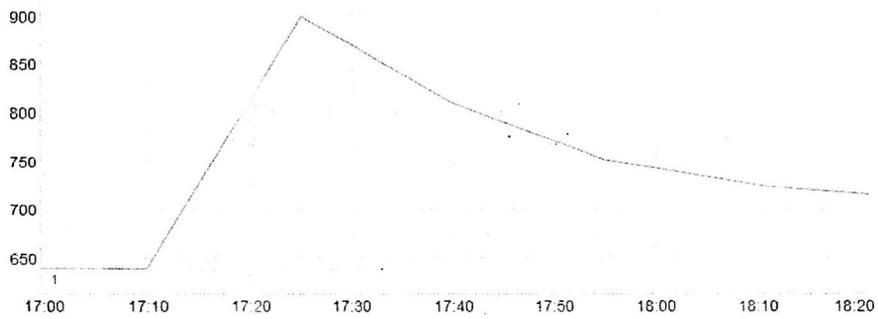


Figura 8a. TR=20 minutos

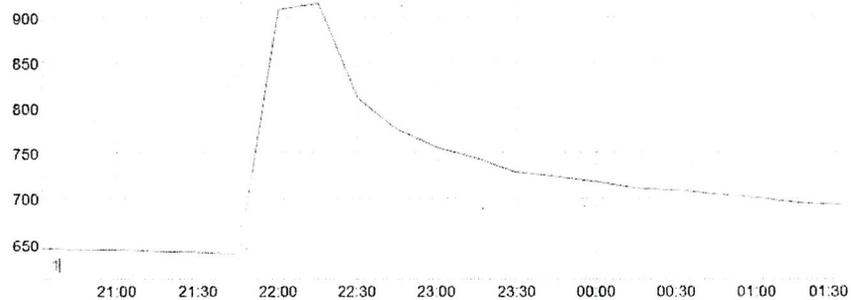


Figura 8b. TR=30 minutos

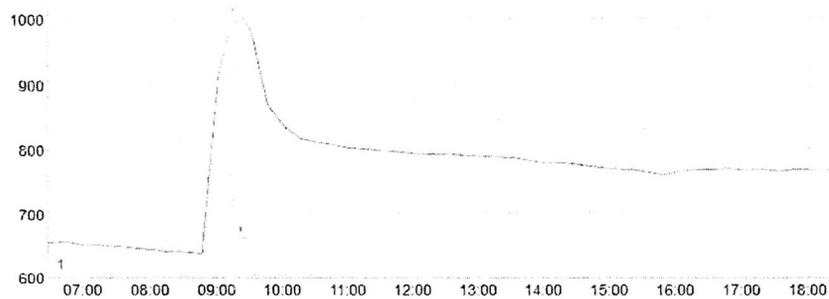


Figura 8c. TR=40 minutos

Del análisis gráfico del comportamiento de las tres curvas de riego-agotamiento, se puede concluir, que el tratamiento TR=20, claramente no se acerca a la saturación del suelo por lo que se hace poco probable que podamos calibrar adecuadamente el equipo para configurar un riego autónomo por demanda.

En el caso del tratamiento TR=30 se observa que tramo ascendente de la curva de riego-agotamiento se inclina fuertemente hacia una orientación horizontal, lo que refleja que la tasa de infiltración esta cambiando (disminuyendo) con lo que podemos inferir que nos acercamos a la saturación. Esta condición ya nos podría permitir calibrar el equipo de riego como para determinar durante el agotamiento de la humedad, que efectivamente pasamos por la CC.

El tratamiento TR=40 refleja un fenómeno similar al del tratamiento TR=30, la parte ascendente de la curva de riego-agotamiento se inclina, aunque menos pronunciadamente que en TR=30, pero además se observa que el valor de humedad sensado alcanzado es mayor en comparación a los demás tratamientos.

Para demostrar el comportamiento de la curva de riego ante un evento de saturación total del sensor de humedad, se puede observar el fenómeno en la Figura 8d.

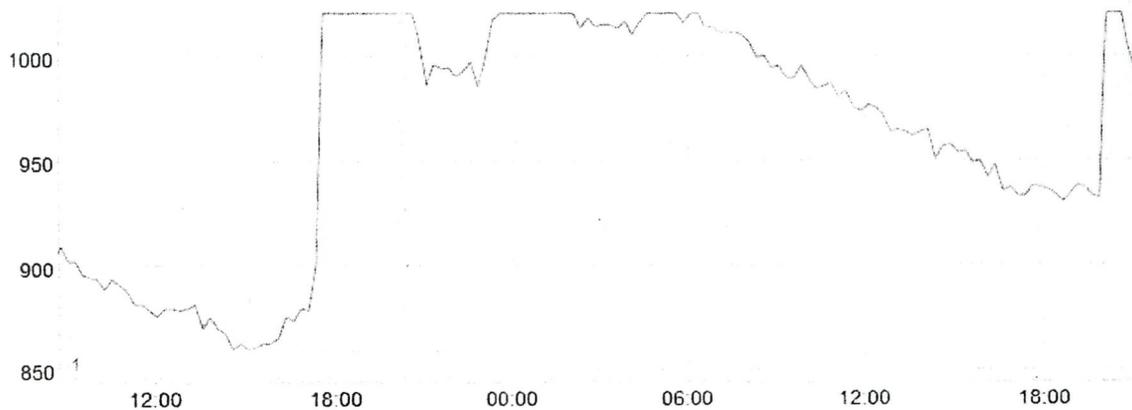


Figura 8d. Se observa como un evento de lluvia logra saturar la capacidad de medición del sensor de humedad de suelo.

3.3 Cálculo del Programa de Riego para el periodo de estudio 15.11.2011 // 10.01.2012

Basándonos en poscálculos indicados en el punto 2, y haciendo uso de la planilla de cálculos adjunta, se ingresan los valores de las variables requeridas medidas en terreno y determinadas en laboratorio. Con esto se obtienen los siguientes resultados.

Cálculo de Evapotranspiración de cultivo		
ET _o	2,7	[mm/Día]
K _c	0,9	-
ET _c	2,43	[mm/Día]

Cálculo de Necesidades Brutas		
E _{fa}	0,8	%
NB	3,0375	[mm/Día]

Cálculo de Intensidad de precipitación		
Q emisor	4	[l/Hora]
N emisores	4	N°
Marco Plant.	2	[m ²]
I _{pp}	8	[mm/Hora]

Cálculo de retención de humedad		
CC	48	[gr/gr]
PmP	24	[gr/gr]
Da	0,4	[gr/cm ³]
H	40	cm
Piedras	0,02	%
Ur	0,90	%
PSM	0,9	%
h	3,048192	[mm]

Frecuencia de Riego		
F	1,25	[Día]
	1	[Día]
Tiempo de Riego		
TR	0,48	[Hora]

El valor determinado para F es de 1.25 [Día] y el tiempo de riego es de 28.8 [Minutos] lo que se aproximó a 1 [Día] y 30 [Minutos].

3.4 Montaje del experimento

En el ensayo UCSC con el sistema reactivo de riego por demanda, regó con los parámetros de control: UR 640 unidades y TR= 20, TR= 30 y TR= 40 por un periodo de tiempo de 3, 13 y 35 días respectivamente. En las Figuras 9a,b y c se aprecian los gráficos de las curvas de riego para dichos tratamientos.

Observaciones:

Se detectan discontinuidades en los gráficos antes mencionados, las razones son diversas, en el caso de Fig.9c fue un corte de energía, en el caso de la Fig.9b fallo el arranque de la bomba de riego.

En la Fig.9a se observa al comienzo de la gráfica, que la humedad al comenzar el tratamiento se encontraba muy por debajo del UR, esto explica la alta frecuencia del riego que el sistema efectuó en forma automática con objeto de ir completando la capacidad del suelo. Paulatinamente la frecuencia comienza disminuir.

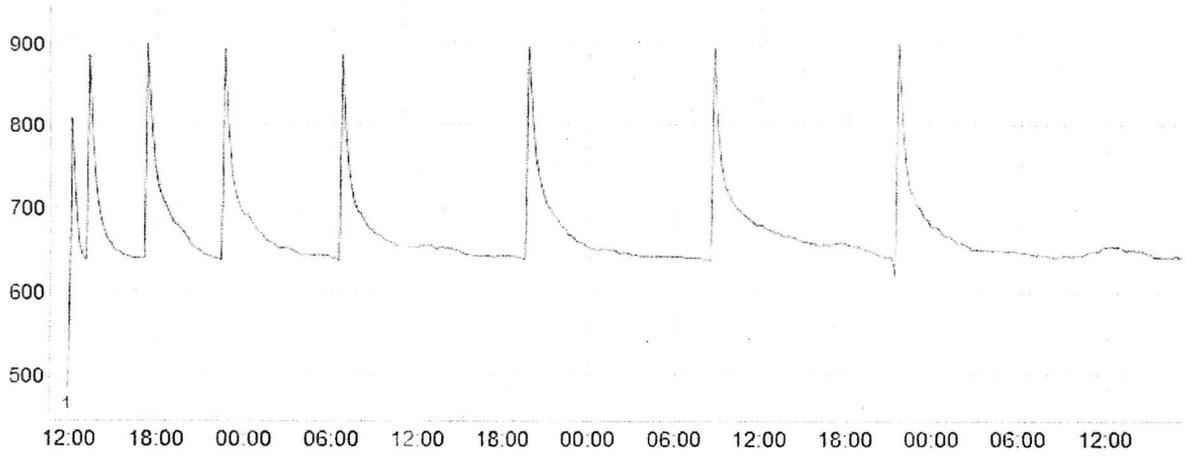


Figura 9a. TR = 20 minutos.

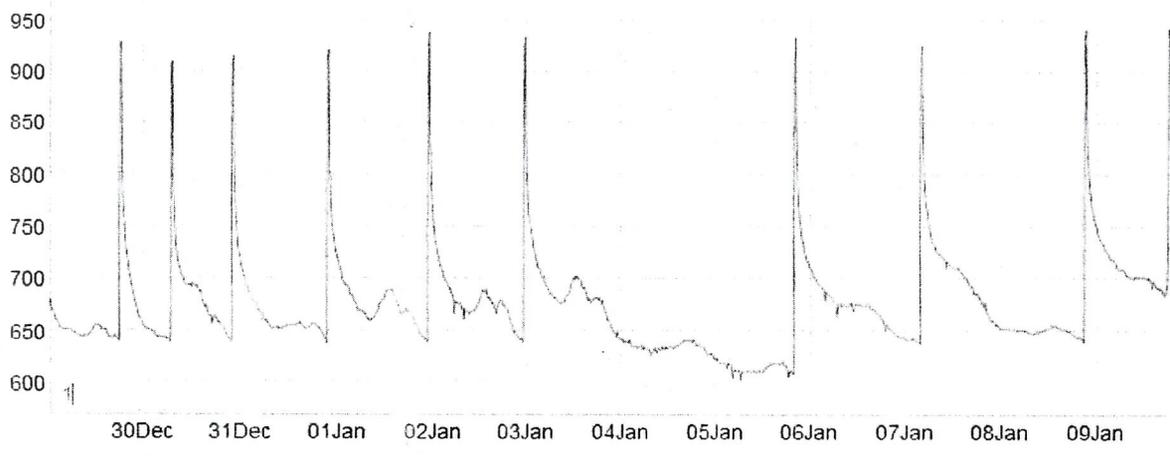


Figura 9b. TR = 30 minutos

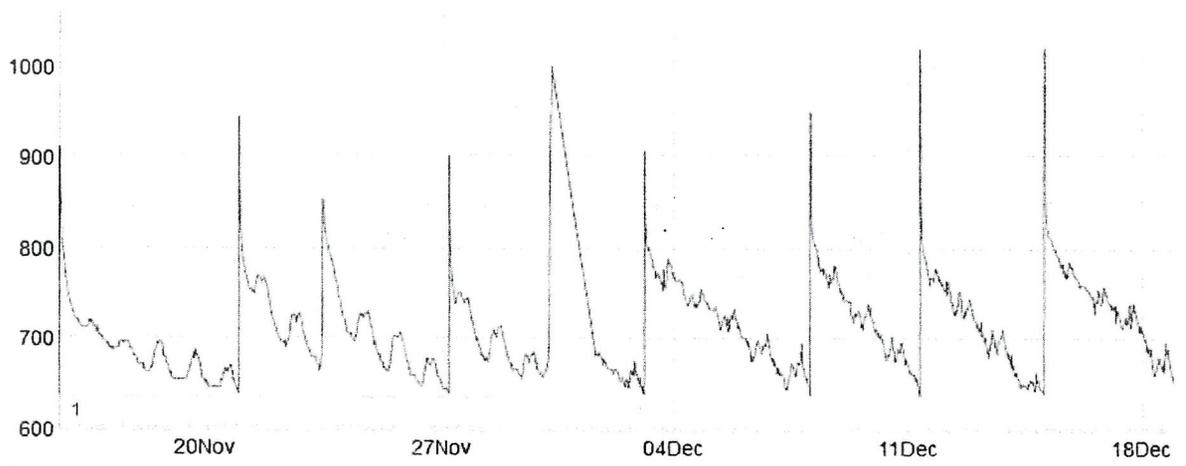


Figura 9c. TR = 40 minutos

3.5 Determinaciones de gastos energéticos.

En forma heurística se calcularon los consumos de cada tratamiento comparados con los del programa de riego. Los resultados se aprecian en la Tabla 2, se observa el comportamiento de l sistema RGC durante un cierto periodo de tiempo, operando con un valor determinado de CC = 820 cuentas, UR=656 y TR = 20 minutos. Se puede observar que la frecuencia de riego que se deriva de este tratamiento es alta, teniendo hasta cuatro riegos en un día. Al no ser suficiente la precipitación del tratamiento para satisfacer las condiciones del terreno y del cultivo, solo se tomaron datos por un periodo de 3 días y se optó por suspender el tratamiento. Se aprecia en la misma, que el gasto energético del sistema versus el programador de riego, fue negativo tenido un gasto de un 78% mas elevado que el del tratamiento con programador configurado con F = 1 día y TR = 30 minutos.

Tratamiento TR = 20				
	Sistema RGC		Programador	
Fecha	Frecuencia	Tiempo Riego	Hora	Minutos
26-12-2011		20	19:00:00	30
26-12-2011	1	20	-	-
26-12-2011	1	20	-	-
26-12-2011	1	20	-	-
27-12-2011	1	20	19:00:00	30
27-12-2011	1	20	-	-
28-12-2011	1	20	19:00:00	30
28-12-2011	1	20	-	-
Tiempo Total		160		90
Relación		178%		100%
Ahorro Energético		-78%		
Litros		8.533,3		4.800,0

Tabla 2. Resultados de la aplicación del tratamiento TR=20, se observa un gasto energético mayor en el sistema RGC que en el tratamiento con programador.

El tratamiento TR=30 respondió con un ahorro energético de un 15% para el periodo de pruebas de 13 días. La Tabla 3, muestra el comportamiento del sistema RGC configurado con CC=820 cuentas, UR=656 cuentas y TR= 30 minutos.

Tratamiento TR = 30				
Fecha	Sistema reactivo		Programador	
	Frecuencia	Tiempo Riego	Hora	Minutos
29-12-2011		30	19:00:00	30
30-12-2011	1	30	19:00:00	30
30-12-2011	1	30	-	-
31-12-2011	1	30	19:00:00	30
01-01-2012	1	30	19:00:00	30
02-01-2012	1	30	19:00:00	30
03-01-2012			19:00:00	30
04-01-2012	2	30	19:00:00	30
05-01-2012	1	30	19:00:00	30
06-01-2012			19:00:00	30
07-01-2012	2	30	19:00:00	30
08-01-2012	1	30	19:00:00	30
09-01-2012			19:00:00	30
10-01-2012	2	30	19:00:00	30
Tiempo Total		330		390
Relación		85%		100%
Ahorro Energético		15%		
Litros		17.600,0		20.800,0

Tabla 3. Resultados de la aplicación del tratamiento TR=30.

Finalmente, el tratamiento TR=40, que fue contrastado con el tratamiento con programador de riego configurado para regar con F=1 día y TR = 30 minutos, demostró un ahorro de 70% en un periodo de 35 días. Esta situación hace pensar que el TR y F configurados en el programador deberían ser revisados. Se determinó modificar la frecuencia de riego de un día a dos días, ya que detectamos que dadas las condiciones de capacidad de retención, Kc del periodo de estudio, estaríamos regando demasiado y mantendríamos el suelo en una condición de poca aireación. Con esta modificación del tratamiento con programador los resultados en ahorro del tratamiento TR=40 son de un 41% y se reflejan en la Tabla 4.

Tratamiento TR = 40				
Fecha	Sistema reactivo		Programador	
	Frecuencia	Tiempo Riego	Hora	Minutos
15-11-2011		40	19:00:00	30
16-11-2011			-	-
17-11-2011			19:00:00	30
18-11-2011			-	-
19-11-2011			19:00:00	30
20-11-2011	5	40	-	-
21-11-2011			19:00:00	30
22-11-2011			-	-
23-11-2011			19:00:00	30
24-11-2011			-	-
25-11-2011			19:00:00	30
26-11-2011			-	-
27-11-2011	7	40	19:00:00	30
28-11-2011			-	-
29-11-2011			19:00:00	30
30-11-2011			-	-
01-12-2011			19:00:00	30
02-12-2011			-	-
03-12-2011	6	40	19:00:00	30
04-12-2011			-	-
05-12-2011			19:00:00	30
06-12-2011			-	-
07-12-2011			19:00:00	30
08-12-2011	5	40	-	-
09-12-2011			19:00:00	30
10-12-2011			-	-
11-12-2011	3	40	19:00:00	30
12-12-2011			-	-
13-12-2011			19:00:00	30
14-12-2011			-	-
15-12-2011	4	40	19:00:00	30
16-12-2011			-	-
17-12-2011			19:00:00	30
18-12-2011			-	-
19-12-2011	4	40	19:00:00	30
Tiempo Total		320		540
Relación		59%		100%
Ahorro Energético		41%		
Litros		17.066,7		28.800,0

Tabla 4. Resultados de la aplicación del tratamiento TR=40.

Observaciones:

La frecuencia de riego F no está determinada para el sistema RGC. Es más bien el resultado de la respuesta reactiva a la demanda de agua del cultivo y por lo tanto al evento de riego que ocurre cuando se logra el nivel de humedad que se parametrizó en el valor UR . Por lo tanto podemos decir que la F queda determinada por una gran cantidad de variables que interaccionan entre si, que se pueden resumir entre otras en Eto y Kc .

Existe una clara relación entre F y el gasto o el ahorro. Claramente la variable TR juega un rol importante al configurar el equipo RGC. Esto porque como se pudo comprobar en este ensayo, un valor de TR como el usado en el tratamiento $TR=20$, que a pesar de lograr en el sensor mediciones por encima de la CC calculada en cuentas (895 cuentas alcanzadas por $TR=20$ y $CC=820$ cuentas) para este suelo, no es suficiente para completar la humectación adecuada de un volumen de suelo suficientemente grande y rápidamente el agua aportada, se hace insuficiente y se incrementa F con lo que el gasto energético se hace evidente (Tabla 2.)

En el caso de $TR=30$, podemos intuir en forma preliminar que, para este ensayo, es un valor de TR adecuado para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo, como lo desprendemos del análisis gráfico de la Figura 9b. El ahorro de un 15% para este tratamiento, refleja que el ajuste del riego programado está muy adecuado para satisfacer las demandas del cultivo durante el periodo de muestreo.

Por último, El tratamiento $TR=40$ presentó las mejores condiciones de ahorro. Esto tiene seguramente una relación con la gran capacidad de retención de agua del suelo del ensayo (ver valores de suelo tabulados en Punto 3.3). Todo eso permite que la frecuencia de riego sea menor y el aporte de cada evento de riego, suficiente para lograr momentáneamente la humectación adecuada de un volumen importante de suelo.

4. Comparación de Eficiencia de ahorro entre método de riego con programador y método con sistema reactivo por demanda, en el huerto asociado "El Retamo".

Se montó en el huerto asociado "El Retamo" un sistema de riego reactivo por demanda del tipo RGC. Este consta de un nodo de medición, dos sensores, y comunicación a un nodo central, que transmite la información a un PC donde se pueden recuperar los datos de sensado y tomar las decisiones automáticas de riego según los parámetros establecidos en la configuración. Estos parámetros son TR y UR. Además este Sistema tiene conexión a Internet, por lo que tanto el monitoreo como configuración de los parámetros antes mencionados pueden ser manejados en forme remota.

Controlamos completamente el riego de un sector del huerto con aproximadamente 500 plantas productivas establecidas el año 2004.

El huerto cuenta con personal que realizan labores de asesoría y supervisión agrícola profesional quienes definen los planes de fertilización, medidas fitosanitarias y programación del riego, entre otras actividades.

Inicialmente monitoreamos el régimen hídrico del suelo con el sistema RGC y determinamos el comportamiento del plan de riego aplicado en el huerto. La gráfica se aprecia en la Figura 10.

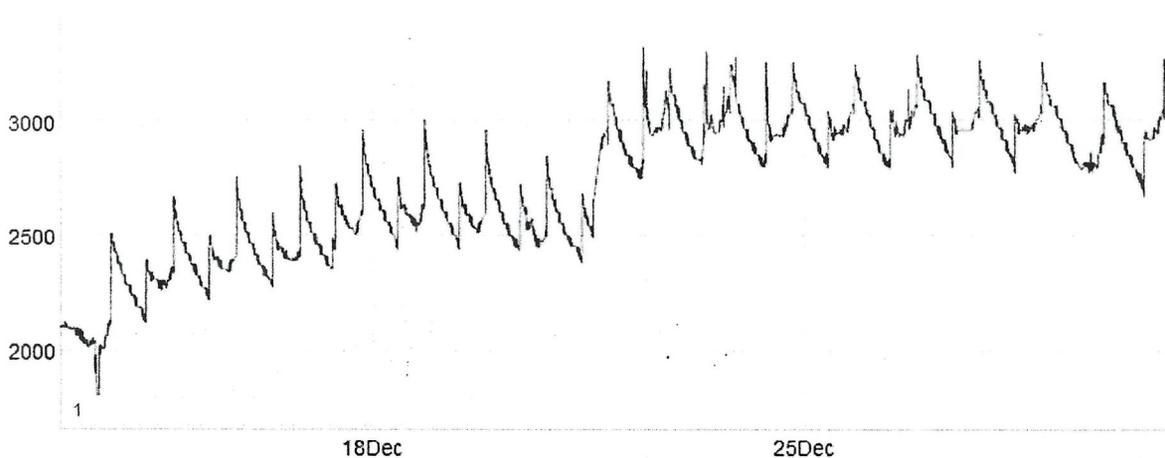


Figura 10. Resultado del plan de riego aplicado con el método usual de riego del huerto durante el periodo 13/12/2011 // 21/12/2011.

El plan de riego utilizado durante el periodo de intervención del huerto, es de dos riegos diarios de veinte minutos cada uno ($F=1$ y $TR=40$).

Se observa como la humedad del huerto va aumentando paulatinamente durante un periodo de tiempo del muestreo y luego decrece lentamente, esto se puede observar en la gráfica de la Figura 10.

Se determinó la CC del huerto mediante el método gráfico descrito en el punto 3.1 y se determinó un valor para $CC=3400$ cuentas. Calculando un UR del 60% el valor resultante es de 2720 cuentas.

Se determinaron dos valores para TR influenciados por el aporte diario programado para ese sector. Con esto los tratamientos para la variable TR fueron: TR=30 minutos y TR=40 minutos. Definimos 30 minutos porque esperábamos ver la respuesta del cultivo a un TR menor del programado y observar el comportamiento de la frecuencia de riego F relacionada a la aplicación de este tratamiento.

Una vez aplicados los tratamientos se registraron las gráficas de humedad del suelo que se pueden ver en las Figuras 11a y b.

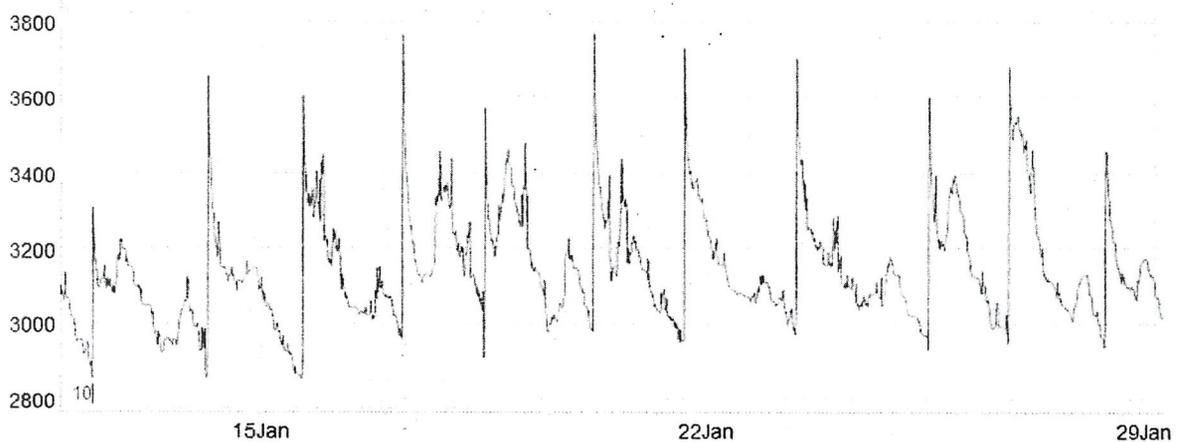


Figura 11a. TR = 30 minutos.

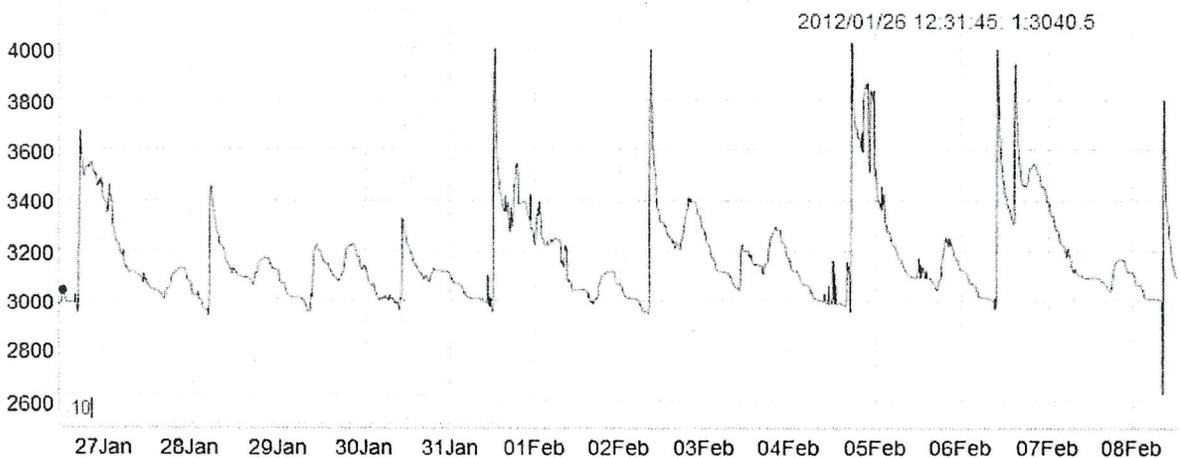


Figura 11b. TR = 40 minutos.

Observaciones:

En la Figura 11a, se observan los primeros tres riegos reaccionando a un valor de UR de 2720 cuentas, luego de so se modificó el valor de UR a 2975 cuentas por instrucción del propietario del Huerto.

Se observa gran cantidad de ruido en las lecturas de los sensores en terreno durante el muestreo, las razones son diversas y no todas ellas han sido identificadas, además de las posibles interacciones entre condiciones ambientales, este es un tema no resuelto durante la investigación. No obstante, no es impedimento para el adecuado funcionamiento del sistema RGC.

4.1 Determinaciones de gastos energéticos.

Se relacionó el gasto realizado por el programador y por el sistema RGC, se calcularon los consumos de cada tratamiento comparados con los del programa de riego.

Los resultados de la aplicación del tratamiento TR=30, se aprecian en la Tabla 5, se observa el comportamiento del sistema RGC durante un cierto periodo de tiempo, operando con un valor determinado de CC = 3400 cuentas, UR=2975 y TR=30 minutos. Se tomaron datos por un periodo de 14. El ahorro que el sistema RGC obtuvo en el periodo es de 52%

Tratamiento TR=30				
Fecha	Sistema reactivo		Programador	
	Hora	Minutos	Hora	Minutos
12-01-2012		30		40
13-01-2012				40
14-01-2012	2	30		40
15-01-2012	1	30		40
16-01-2012				40
17-01-2012	2	30		40
18-01-2012	1	30		40
19-01-2012				40
20-01-2012	2	30		40
21-01-2012	1	30		40
22-01-2012				40
23-01-2012	2	30		40
24-01-2012				40
25-01-2012	2	30		40
Tiempo Total		270		560
Litros		19.800,0		41.066,7
Relación		48%		100%
Ahorro energético		52%		

Tabla 5. Resultados de la aplicación del tratamiento TR=30.

Los resultados de la aplicación del tratamiento TR=40, se aprecian en la Tabla 6, se observa el comportamiento del sistema RGC durante un cierto periodo de tiempo, operando con un valor determinado de CC = 3400 cuentas, UR=2975 y TR=40 minutos. Se tomaron datos por un periodo de 14. El ahorro que el sistema RGC obtuvo en el periodo es de 36%

Tratamiento TR=40				
Fecha	Sistema reactivo		Programador	
	Frecuencia	Tiempo Riego	Hora	Minutos
26-01-2012		40		40
27-01-2012				40
28-01-2012	2	40		40
29-01-2012	1	40		40
30-01-2012	1	40		40
31-01-2012	1	40		40
01-02-2012				40
02-02-2012	2	40		40
03-02-2012				40
04-02-2012	2	40		40
05-02-2012				40
06-02-2012	2	40		40
07-02-2012				40
08-02-2012	2	40		40
Tiempo Total		360		560
Litros		26.400,0		41.066,7
Relación		64%		100%
Ahorro energético		36%		

Tabla 6. Resultados de la aplicación del tratamiento TR=40.

5. Conclusiones y recomendaciones.

En relación a los ensayos para determinar el ahorro potencial del sistema versus un riego aplicado con programador, requiere más análisis y un planteamiento metodológico más concreto que el realizado. Pero es claro que los resultados expuestos acá indican que existe una clara componente de ahorro en cada una de las aplicaciones en terreno que se realizaron.

Claramente ninguna de las tecnologías desarrolladas en el proyecto es única o nueva, pero son las aplicaciones de ellas las que ofrecen una nueva posibilidad de gestionar el recurso hídrico destinado al riego con claras posibilidades de ahorro energético.

La madurez de nuestra tecnología ocurrió tarde (como se puede apreciar en la sección 3 del Informe Técnico Principal) lo que no permitió disponer de una continuidad en la toma de datos. Esto dificultó el planeamiento adecuado de diseños experimentales que permitieran validar ciertas preguntas. Estas son caminos abiertos para la investigación. Como por ejemplo:

- Intensidad de muestreo (errores, representación,...)
- Localización de sensores (distribución óptima en función de recursos)
- Instalación (Como debe instalarse adecuadamente cada tipo de sensor, micrositio)

La metodología aplicada en conjunto con la tecnología de los sistemas RGC y RG1, que hacen de la interpretación de las curvas de agotamiento de riego una herramienta de decisión, deben ser estudiados y perfeccionados con trabajos futuros que apunten a aspectos relevantes como:

- Análisis numérico y modelación de los datos para la detección de CC.
- Herramientas de pronóstico que permitan apoyar en situaciones en que no haya respuesta temporal de los sensores.
- Robustez en la construcción de los componentes electrónicos, con objeto de evitar problemas como cambios de escala o pérdida de datos.
- Aspectos relacionados con la sincronización de las bases de datos.

Es un claro logro el hecho de conjugar tecnología de alta gama, como sensores, protocolos de comunicación inalámbrica, redes de sensores, tarjetas de comunicación, bases de datos, comunicación de datos interpredial y a través de Internet e interfaces de usuario a nivel de Software y Hardware y todo a muy bajo costo.

Esto es lo que diferencia fundamentalmente a nuestro desarrollo de otros que operando de otra forma buscan ofrecer una solución similar, economizar agua de riego y ser una herramienta de gestión para el manejo del agua.

Nuestro sistema tiene las características fundamentales que lo hacen ser una posibilidad real para los pequeños y medianos propietarios de predios agrícolas. Productores que manejando de manera más eficiente sus recursos se vuelven más competitivos. Esto es lo que realmente apunta en la dirección de convertir Chile en una potencia alimentaria. Si por un valor inferior a USD1000 un agricultor puede economizar un 30% o un 15% de sus gastos en energía, eso es ganancia y mejor aún si el producto esta subsidiado.

Referencias

[1] Russell S. and Norvig P., Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd Edition). Prentice Hall. 2010.