

# ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE ALGUNAS HORTALIZAS EN DIFERENTES ESCENARIOS EDAFOCLIMATICOS

Dra.C. Yoima Chaterlán<sup>1</sup>, Dra. C. Teresa López.

<sup>1</sup>*Dra C., MSc., Lic., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2<sup>1/2</sup>, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba.*  
[jdptoambiente@iagric.cu](mailto:jdptoambiente@iagric.cu)

## Resumen.

La disponibilidad del recurso agua es cada día menor, por lo que la agricultura se enfrenta a un nuevo reto de producir mas alimento con menos agua. La seguridad alimentaria de los cubanos depende por tanto en gran medida de la práctica del riego. Por otra parte, la gran contradicción se encuentra en que el agua es cada vez más escasa y la demanda aumenta progresivamente. La manera más directa y económica de paliar esta diferencia se encuentra en el aumento de la eficiencia en el uso del agua, que debe comenzar con la precisión en el manejo y uso del agua para el riego. Un paso importante en este campo se materializa con la actualización de las metodologías para la determinación de los coeficientes de cultivo, que se utilizan en el cálculo de los requerimientos hídricos para el riego. Las hortalizas están entre los alimentos más importantes en Cuba y grandes áreas son cultivadas para satisfacer su demanda. Para estos cultivos resulta notable el aumento de la actividad de riego en las áreas agrícolas en los últimos años por lo que resulta necesaria la actualización constante del conocimiento y los requerimientos técnicos y agronómicos para una planificación adecuada a partir de la estimación de sus necesidades hídricas. En este trabajo fue utilizado el modelo SimDualKc que efectúa el cálculo de la evapotranspiration del cultivo ( $ET_c$ ) y la programación del riego basado en la metodología de los coeficientes culturales duales ( $K_c = K_{cb} + K_e$ ). Fueron utilizados coeficientes de cultivos duales ( $K_{cb}$ ) obtenidas en investigaciones realizadas en la Estación Experimental de Riego y Drenaje, localizada en Alquizar, Cuba. Los cultivos estudiados fueron ajo, cebolla, pimiento y zanahoria. La calibración consistió en ajustar los parámetros no observados, definiendo los valores fijos de ( $TEW$ ,  $REW$ ,  $f_c$ ) para minimizar las diferencias entre los valores observados y simulados del contenido de humedad de agua en el suelo del Valle de Caujeri y la validación de los valores de  $K_{cb}$  obtenidos previamente para las condiciones de Alquizar. Se evaluó la bondad de ajuste de las predicciones del modelo, a partir de una serie de análisis estadísticos que permitieron verificar la calidad de los resultados. Se llego a la conclusión que los valores de  $K_{cb}$  obtenidos para estas hortalizas en Alquizar pueden usarse para generar alternativas de programación del riego para las condiciones edafoclimáticas del Valle de Caujeri en Guantánamo.

Palabras claves: agua, agricultura, hortalizas, riego.

## Introducción.

Comúnmente las hortalizas son cultivadas durante el periodo menos lluvioso del año, donde la precipitación no sobrepasa el 30% del total anual y el riego adquiere una condición obligatoria para poder garantizar las exigencias hídricas de estos cultivos. Normalmente, la programación de este tipo de riego es de alta frecuencia destinada a mantener la humedad del suelo por encima del 75% de la capacidad de campo, por lo que resulta necesario estudiar para estos cultivos, como mejorar la programación del riego para una gestión eficiente del uso del agua y su productividad.

En la agricultura, el riego es un factor de productividad, por cuanto permite al agricultor el dominio de la mayor parte de los otros procesos agrícolas, con relativa independencia de las condiciones climáticas, y por ello constituye un paradigma para los agricultores de casi todo el mundo. También

es una actividad cara, que demanda fuertes insumos y que puede convertirse en un factor degradante del medio (López, 2002; Rijsberman, 2006).

De todos los sectores económicos, el agrícola es el que depende más de factores climáticos y, por ende, es el más sensible y vulnerable a los cambios climáticos. En las regiones tropicales se proyecta que los rendimientos de los cultivos disminuyan y se espera que para mediados del presente siglo los aumentos de las temperaturas asociados a las disminuciones en el contenido de agua y humedad del suelo conlleven al reemplazo gradual del bosque tropical por sabana. En zonas más secas, se espera que el cambio climático conlleve a la salinización y desertificación de tierras agrícolas. Se espera también una disminución de rendimientos para algunos cultivos importantes, con consecuencias adversas sobre la seguridad alimentaria (WMO-UNEP, 2007)

En las últimas décadas ha sido prolífero el desarrollo y uso de los modelos matemáticos para la simulación y predicción del movimiento del agua en los suelos y del rendimiento. Esto está relacionado con la necesidad de desarrollar soluciones para diferentes problemas de manejo agrícola y medioambiental tales como estrategias de riego, diseño de sistemas de drenaje y la polución de las aguas superficiales y subterráneas. (López, 2009).

El vertiginoso desarrollo y uso de los modelos de simulación en los últimos años para la predicción de los procesos agrícolas y en particular aquellos relacionados con el continuo suelo planta atmósfera, puede relacionarse con múltiples factores y entre ellos primeramente, la necesidad de desarrollar soluciones a muy corto plazo para los problemas actuales de manejo agrícola y medioambiental.

La utilización de modelos matemáticos para simular el balance hídrico del suelo, después de ser debidamente calibrados y validados para diferentes cultivos y escenarios, pueden considerarse como herramientas útiles para la programación del riego (Pereira et al. 2003, López et al., 2008). Este es el caso del modelo SIMDualKc que efectúa el balance hídrico del suelo a nivel de la parcela, utilizando periodos de tiempo diario y ofreciendo diferentes aproximaciones para estimar la percolación profunda, la ascensión capilar y el escurrimiento superficial. El modelo permite simular la utilización de *mulches* y de coberturas vegetales activas. Resultados sobre la determinación de los coeficientes duales, la fracción de cobertura del suelo ( $f_c$ ) y una serie de variables tales como el agua fácilmente evaporable ( $REW$ ) y el agua total evaporable o lámina máxima de agua que puede ser evaporada en el suelo ( $TEW$ ) para las hortalizas en las condiciones del área de estudio, que hasta la fecha no han sido considerados en este tipo de cultivos y no están disponibles en la literatura; son estimadas a partir de la calibración y validación del modelo para su posterior utilización en la gestión de alternativas de programación de riego en condiciones de escasez de agua

Para el riego de alta frecuencia como es el caso del riego por goteo, y para cultivos con cobertura parcial del suelo como es el caso de los frutales y las hortalizas, así como las regiones con precipitaciones frecuentes, el uso de la metodología de los coeficientes de cultivo duales permite producir estimaciones más precisas de la evapotranspiración de la cultura (Allen et al., 2005a). De hecho, dividir el coeficiente cultural ( $K_c$ ) en los componentes de evaporación del suelo ( $K_e$ ) y del coeficiente cultural basal ( $K_{cb}$ ) permite una mejor percepción de las fracciones de agua, provenientes de la precipitación o del riego, utilizadas por el cultivo, así como evaluar las ventajas de mantener una fracción del suelo seca o la utilización de *mulches* para controlar la evaporación del suelo ( $E$ ).

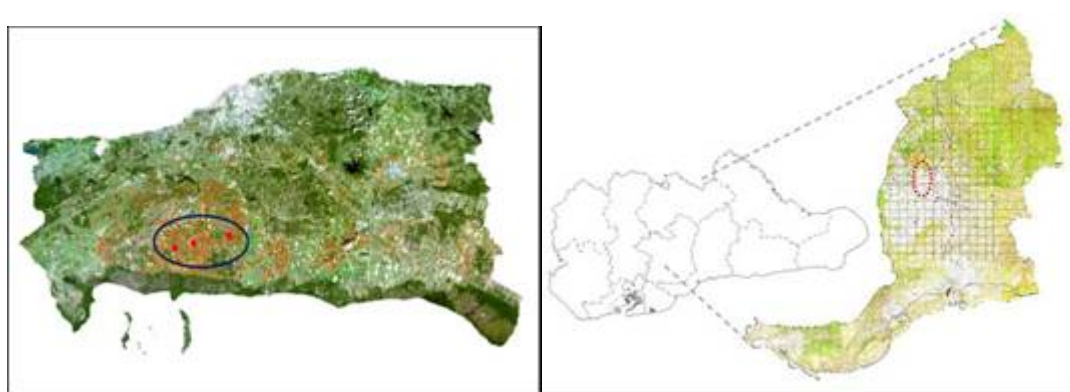
El conocimiento de la evapotranspiración es fundamental para la gestión del recurso hídrico cuando la administración del riego se desea óptima. Es un parámetro clave en el balance de energía del sistema Tierra-Atmósfera, en la detección de estrés hídrico vegetal, en la predicción del rendimiento de los cultivos, en el cálculo del balance hídrico y en la caracterización climática de las distintas zonas, por nombrar algunos aspectos (Sánchez y Carvacho, 2006).

El proceso de validación de esta útil herramienta, permitió alcanzar el cumplimiento del objetivo de este trabajo consistente en estimar las necesidades de agua de estas hortalizas utilizando la metodología de los coeficientes culturales duales con el fin de mejorar la gestión del riego y generar calendarios alternativos de riego para diferentes escenarios edafoclimáticas.

## Materiales y Métodos.

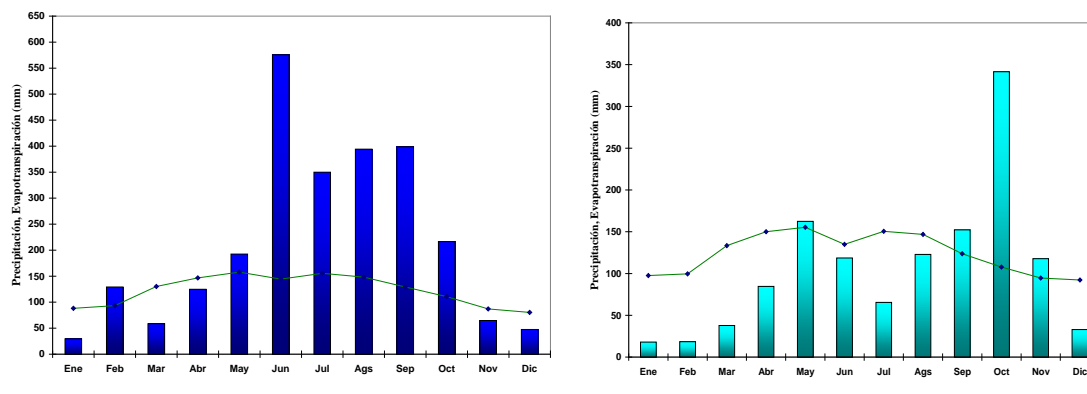
Para este estudio se utilizó la información disponible de experimentos de campo para el estudio de las necesidades hídricas de los cultivos, ajo, cebolla, pimiento y zanahoria, realizados en las condiciones edafoclimáticas del sur de la provincia Artemisa. Con esta información se calibró y validó el modelo de simulación SimDualKc (Chaterlán et al., 2012) para la estimación de los coeficientes duales, los cuales fueron validados en condiciones edafoclimáticas diferentes con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de los parámetros obtenidos en el proceso de calibración y validación de este modelo en escenarios diferentes.

El área de estudio a partir de la cual se obtuvieron las informaciones utilizadas en el proceso de calibración y validación del modelo se encuentra en la Estación Experimental de Riego y Drenaje, situada en el municipio Alquizar, provincia Artemisa (latitud 22° 46' N, longitud 82° 37' N y 6 m de altura) en la región occidental del país y el área seleccionada para la validación de la aplicabilidad de los resultados se encuentra en el Valle de Caujerí, provincia Guantánamo, ubicado en el municipio de San Antonio del Sur, al noroeste de la ciudad cabecera entre las coordenadas latitud 20° 08' N, longitud 74° 50' N y 184.4 m de altura.



**Figura 1.** Área de estudio, Municipio Alquizar (izquierda) Valle de Caujerí, Guantánamo (derecha).

La caracterización climática para los periodos de estudio se presenta en las Figuras 2 y 3. La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) fue calculada utilizando el método de FAO-PM (Allen et al., 1998).

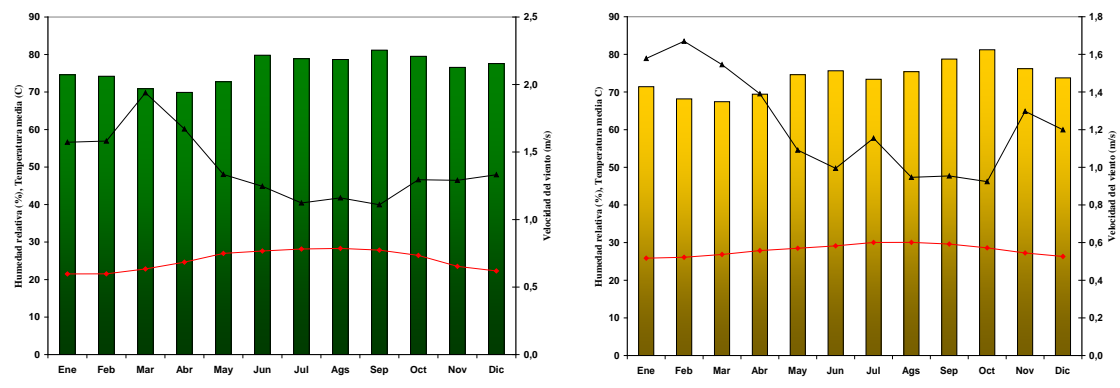


**Figura 2.** Caracterización climática de los sitios experimentales en el periodo 2005-2010: promedio mensual de precipitación (■) Alquizar, promedio mensual de precipitación (□) Valle de Caujerí y evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) (—).

Los resultados del comportamiento de las precipitaciones en dentro del periodo de estudio para el área de Alquizar muestran el valor de la media anual de las precipitaciones alcanza los 2582 mm, de los cuales el 85% (2193 mm) corresponden al período lluvioso que se extiende desde el mes de mayo hasta el mes de octubre y el restante 15% (390) se distribuye entre los meses de noviembre y

abril, correspondientes al período seco. Para el caso del Valle de Caujerí, el valor de promedio anual de las precipitaciones alcanza valores de 1272 mm de los cuales el 85% (1082) en el periodo húmedo y el 15% (390mm) corresponden al periodo seco. Estos valores representan una diferencia de 1310 mm de disponibilidad potencial de agua.

Por su parte la curva de la evapotranspiración de referencia, *ET<sub>o</sub>*, mantiene una tendencia similar a la de la evaporación, relativamente baja en los meses de seca y aumenta rápidamente en el inicio de la época de lluvia. El promedio anual para Alquízar es de 1 472 mm y los máximos y mínimos corresponden a los meses de mayo (158 mm) y diciembre (70,8 mm) respectivamente (Figura 3) y para el valle de Caujerí el valor promedio anual fue de 1487 mm, correspondiendo al mes de mayo su máximo valor de 155 mm y los mínimos en diciembre con 92 mm. El balance de precipitación y *ET<sub>o</sub>* refleja también la variación de ambos parámetros durante el período seco. Este balance es negativo en este periodo, por lo que el riego es imprescindible para la obtención de buenos rendimientos agrícolas. Resultados similares han sido reportados anteriormente por Bernal (1995). El comportamiento de las variables de temperatura, velocidad del viento y humedad relativa no presentan grandes variaciones dentro del año, pero si ejercen grandes influencias en la caracterización climática de las áreas de estudio como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Caracterización climática de los sitios experimentales en el periodo 1985-2010: promedio mensual de humedad relativa (■) Alquízar, promedio mensual de humedad relativa (■) Valle de Caujerí, promedio de temperatura (—♦—) y velocidad del viento (—x—).

Los cultivos seleccionados para el estudio fueron: el Ajo (*Allium sativum* L.) “Santic Spirítus”, el cultivo de la Cebolla (*Allium cepa* L.) “Red Creole”, el cultivo de la Zanahoria (*Dacus carota* L.) “Chantenay” y el cultivo del Pimiento (*Capsicum annan* L.) “California”.

Los valores de los coeficientes de cultivo por fases y de la fracción *p* de agua se tomaron los estimados por Chaterlán *et al* (2012) para los cultivos de estudio y se calibraron a partir del ajuste de los datos modelados y observados de la dinámica de humedad en el suelo. Los valores ajustados se utilizaron después para la validación en otras condiciones edafoclimáticas.

El suelo donde se realizó la investigación en Alquízar está clasificado como Ferralítico rojo compactado, o Rhodic Ferralsols, según FAO/UNESCO, el cual se caracteriza por ser arcilloso, profundo y muy permeable. En el caso del Valle de Caujerí predominan los suelos aluviales profundos de origen fluvial, poco evolucionado aunque profundo. Cid *et al* (2010). En la **Tabla 1** se muestra un resumen de las principales características hidroficas de estos suelos.

**Tabla 1.** Características hidroficas de los suelos estudiados en los diferentes escenarios.

Profundidad (m)	Propiedades hidrofísicas de los suelos estudiados			
	Ferralítico Rojo compactado <i>Alquízar</i>		Aluvial Profundo <i>Valle de Caujeri</i>	
	<i>FC</i>	<i>WP</i>	<i>FC</i>	<i>WP</i>
0.00 - 0.20	0.37	0.30	0.49	0.34
0.20 - 0.40	0.43	0.30	0.51	0.36
<b>X</b>	<b>0.40</b>	<b>0.30</b>	<b>0.50</b>	<b>0.35</b>

El modelo SimDualKc calcula la  $ET_c$  utilizando datos de suelo, clima, cultivo y sistema de riego. Los datos sobre clima incluyen la temperatura máxima y mínima, velocidad del viento media, precipitación, y  $ET_o$  o se puede calcular la  $ET_o$  utilizando las temperaturas. Los datos sobre el cultivo incluyen la identificación de la duración de las fases del ciclo del cultivo, la evolución de la cobertura del suelo, del crecimiento de las raíces y la altura del cultivo durante el ciclo cultural, y la selección de los correspondientes  $K_{cb}$  tabulados; el ajustamiento de los  $K_{cb}$  tabulados para las condiciones climáticas específicas de la región de estudio; el cálculo diario de los valores de  $K_e$ ; y el cálculo diario de  $ET_c$ . Usando esta metodología el modelo ejecuta la simulación del balance hídrico del suelo, a partir de la cual se derivan propuestas para la programación del riego.

La metodología para su determinación utilizando la estimación de los coeficientes culturales duales (Allen et al., 1998, 2005b) consiste en la adopción de la siguiente formulación:

$$ET_c = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (1)$$

Todas las observaciones realizadas para estas hortalizas se utilizaron para calibrar el modelo en las condiciones del área experimental y derivar los coeficientes duales del cultivo y las otras variables resultantes de interés.

Con el fin de evaluar la bondad de ajuste de las predicciones del modelo SimDualKc, se realizaron una serie de análisis estadísticos que permite tener una buena percepción de las tendencias de ajuste en el modelo utilizando una regresión forzada al origen. Los indicadores utilizados fueron los siguientes: coeficiente de regresión ( $b$ ), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error medio cuadrático ( $RMSE$ , mm), el error máximo absoluto ( $AAE$ , mm), el error medio relativo ( $ARE$ , %), la eficiencia de modelación ( $EF$ ) y el índice de ajustamiento ( $d_{IA}$ ). Los indicadores seleccionados se basan en las aplicaciones anteriormente realizadas (Cholpankulov et al, 2008; Chaterlán et al., 2011).

## Resultados y Discusión

La calibración consistió en la búsqueda de los coeficientes culturales duales para las diferentes etapas de desarrollo de estas hortalizas a partir del ajuste de los parámetros no observados asumidos a partir de los valores establecidos ( $K_{cb}$ ,  $p$ ,  $TEW$ ,  $REW$ ) reduciendo al mínimo las diferencias entre los valores simulados y observados del contenido de humedad del suelo, valores estos obtenidos en Alquízar y publicados por Chaterlán et al., 2012. . En la **Tabla 2** se muestran los valores calibrados. Por su parte, la validación consistió en la utilización de estos valores calibrados en la simulación de estos resultados en períodos de tiempo y escenarios diferentes, en este caso en el Valle de Caujeri.

**Tabla 2.** Fechas de las fases de desarrollo de las hortalizas para los años de calibración y validación, coeficiente de cultivo dual ( $K_{cb}$ ), fracción de agotamiento del agua sin estrés hídrico ( $p$ ), agua fácilmente evaporable ( $REW$ ), total de agua evaporable ( $TEW$ ).

<b>Fases de desarrollo del cultivo</b>									
		<b>Cebola</b>		<b>Alho</b>		<b>Cenoura</b>		<b>Pimiento</b>	
Inicial	Calibraciòn.	20/11-20/12		04/12-24/12		22/11-08/12		16/12-20/01	
	Validaciòn.	25/12-24/01		23/12-12/01		20/11-04/12		05/12-09/01	
	Valle Caujeri.	20/11-20/12		04/12-24/12		22/11-08/12		16/12-20/01	
De crecimiento rápido	Calibraciòn.	21/12-29/01		25/12-28/01		09/12-17/01		21/01-19/02	
	Validaciòn.	25/01-05/03		13/01-16/02		05/12-11/01		10/01-08/02	
	Valle Caujeri.	21/12-29/01		25/12-28/01		09/12-17/01		21/01-19/02	
Intermedio	Calibraciòn.	30/01-20/03		29/01-09/03		18/01-11/02		20/02-14/03	
	Validaciòn.	06/03-24/04		17/02-27/03		12/01-30/01		09/02-04/03	
	Valle Caujeri.	30/01-20/03		29/01-09/03		18/01-11/02		20/02-14/03	
Final	Calibraciòn.	21/03-17/04		10/03-08/04		12/02-11/03		15/03-18/04	
	Validaciòn.	25/04-24/05		28/03-26/04		31/01-16/02		05/03-07/04	
	Valle Caujeri.	21/03-17/04		09/03-08/04		12/02-11/03		15/03-18/04	
<b>Parametros del cultivo</b>		<b>Alquiza</b>	<b>VC</b>	<b>Alquizar</b>	<b>VC</b>	<b>Alquizar</b>	<b>VC</b>	<b>Alquizar</b>	<b>VC</b>
$K_{cini}$		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
$K_{cmid}$		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
$K_{cend}$		0.65	0.65	0.65	0.65	0.80	0.80	0.75	0.75
$p_{ini}$		0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
$p_{dev}$		0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40
$p_{mid}$		0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50
$p_{end}$		0.60	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50
$REW$ (mm)		5		5		5		5	
$TEW$ (mm)		15		25		15		24	
$Z_e$ (m)		0.10		0.10		0.10		0.10	

**Cal** – calibración año; **Val** – validación año; **VC** – validación en el Valle de Caujeri

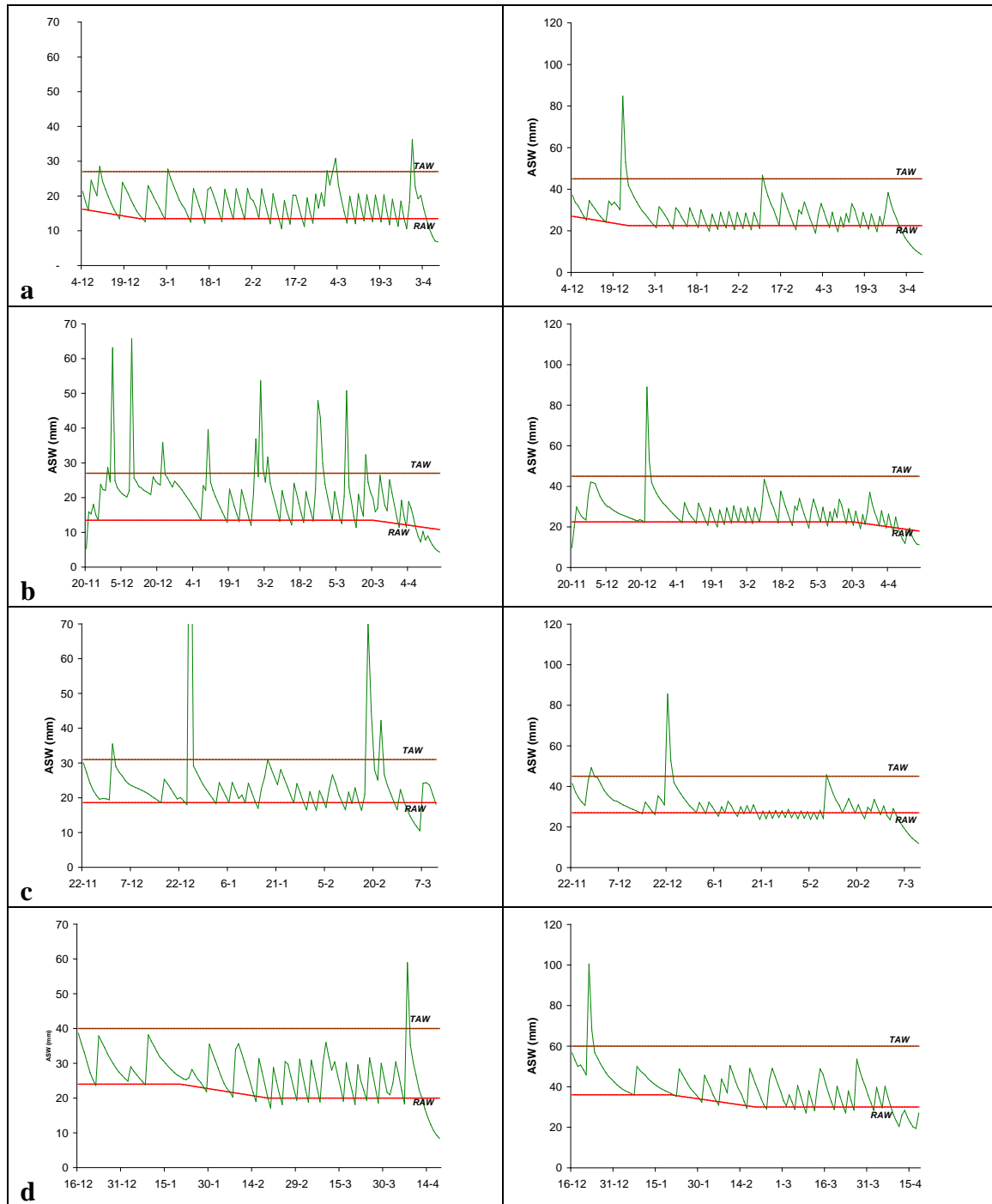
Los resultados presentados en las **Figura 4** demuestran que el modelo predice adecuadamente la dinámica del agua disponible en el suelo para los cultivos en estudio. Los resultados obtenidos permiten definir que los valores de  $K_{cb}$  presentados en la **Tabla 2** resultan valores optimizados para la estimación de la  $ET_c$  del cultivo de estas hortalizas a partir del enfoque de coeficientes globales para las condiciones edafoclimáticas diferentes.

Los valores de  $K_{cb}$  obtenidos se encuentran dentro del rango de los coeficientes propuestos por la FAO (Allen *et al.*, 1998) para los cultivos en estudio. Si se analiza su comportamiento se puede apreciar que los  $K_{cb}$  resultan similares para todas las fases en los cultivos del ajo y la cebolla, apuntando a que estos tienen iguales demandas de transpiración para las condiciones de estudio.

El enfoque de coeficientes duales en los estudios de necesidades hídricas es escaso en las condiciones tropicales y no se conocen estudios precedentes en Cuba, por lo que resulta difícil la comparación y discusión de los mismos. A raíz de los resultados obtenidos en este trabajo, queda demostrado que los coeficientes obtenidos para los cultivos y condiciones de estudio son adecuados, evidenciando la posibilidad de utilizarlos para las condiciones actuales de la zona de estudio así como de extender la aplicación de esta metodología para otros cultivos y en otras condiciones edafoclimáticas.

### Alquizar

### Valle de Caujeri



**Figura 4.** Representación gráfica de la lámina de agua simulada (—) disponible en el suelo (ASW) para los cultivos de: a) ajo, b) cebolla, c) zanahoria, d) pimiento; en la validación del modelo SimDualKc. A la izquierda Alquizar y a la derecha Valle de Caujeri.

Del análisis de estos resultados se puede afirmar que el modelo predice adecuadamente las variaciones de los valores observados, con índices de eficiencia de modelación mayores del 70% e índices de ajuste superiores a 0,90 para ambos cultivos estudiados. Los valores de  $R^2$  sugieren que entre el 70%-90% de la varianza de los valores observados es explicada por el modelo. Los valores de los errores en general son bajos ( $RMSE$  no sobrepasa el 10 % de  $TAW$ ), aunque el  $ARE$  presenta, para el caso del ajo, valores algo superiores (del 16% de  $TAW$ ), lo cual puede estar asociado a errores experimentales en la estimación de la humedad del suelo por gravimetría.

Trabajos similares se han desarrollado a nivel internacional durante la última década con buenos resultados (Liu *et al.*, 1998; Popova *et al.*, 2006a, b; Cholpankulov *et al.*, 2008; Paredes, 2008), los cuales validan el modelo SimDualKc y confirman la importancia de esta herramienta para la adopción de la metodología de los coeficientes culturales duales en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos.

### **Transpiración y Evaporación.**

Este modelo, SimDualKc, brinda la posibilidad de realizar cálculos de los componentes de la  $ET_a$ , la evaporación del suelo ( $E$ ) y la transpiración de las plantas ( $T$ ). En la **Tabla 4 la Figura 5**, son presentados los resultados obtenidos en términos de evaporación del suelo y de la transpiración del cultivo en cada etapa del ciclo cultural. En la etapa inicial, la variable evaporación del suelo es el principal componente de  $ET_a$ , esto corresponde al hecho que en esta etapa ocurre la mayor exposición del suelo a la radiación solar debido a la poca cobertura foliar desarrollada por estas hortalizas y al alto contenido de humedad en la capa de evaporación del suelo relacionado con los eventos de precipitación acontecidos y el riego aplicado.

Como se puede apreciar, durante el período inicial la evaporación es la mayor componente de la evapotranspiración, representando como media el 80% del total del agua consumida ( $ET_c$ ) en este período. Esto se corresponde con la reducida cobertura del suelo por el cultivo en esta fase, favoreciendo la elevada exposición del suelo a la radiación solar.

En el periodo de crecimiento rápido los valores de evaporación tendrán una tendencia decreciente relacionada con el mayor grado de cobertura del suelo por los cultivos y mayor sombreado con valores medios de 30% de la  $ET_c$ . Durante la etapa intermedia, cuando estos cultivos cubren casi completamente el suelo, el valor de  $E$  en comparación a  $T$  es residual para todos los casos en estudio y las pérdidas por transpiración representan como promedio el 88% del total del agua consumida por  $ET_c$ .

Al final del ciclo del cultivo, los valores de evaporación aumentan ligeramente, esto está relacionado a factores como la frecuencia de las precipitaciones, el envejecimiento del follaje y el aumento de la fracción de suelo expuesto nuevamente a la radiación solar. No obstante, las pérdidas por transpiración siguen predominando y alcanzan como promedio el 82% de la  $ET_c$ .

Estos resultados resultan los primeros obtenidos de estimación de las pérdidas de agua en estos dos procesos separados para los casos de estudio y muestran la utilidad de la herramienta validada para el avance de la investigación en el campo de las necesidades hídricas de los cultivos en las condiciones de la agricultura cubana.

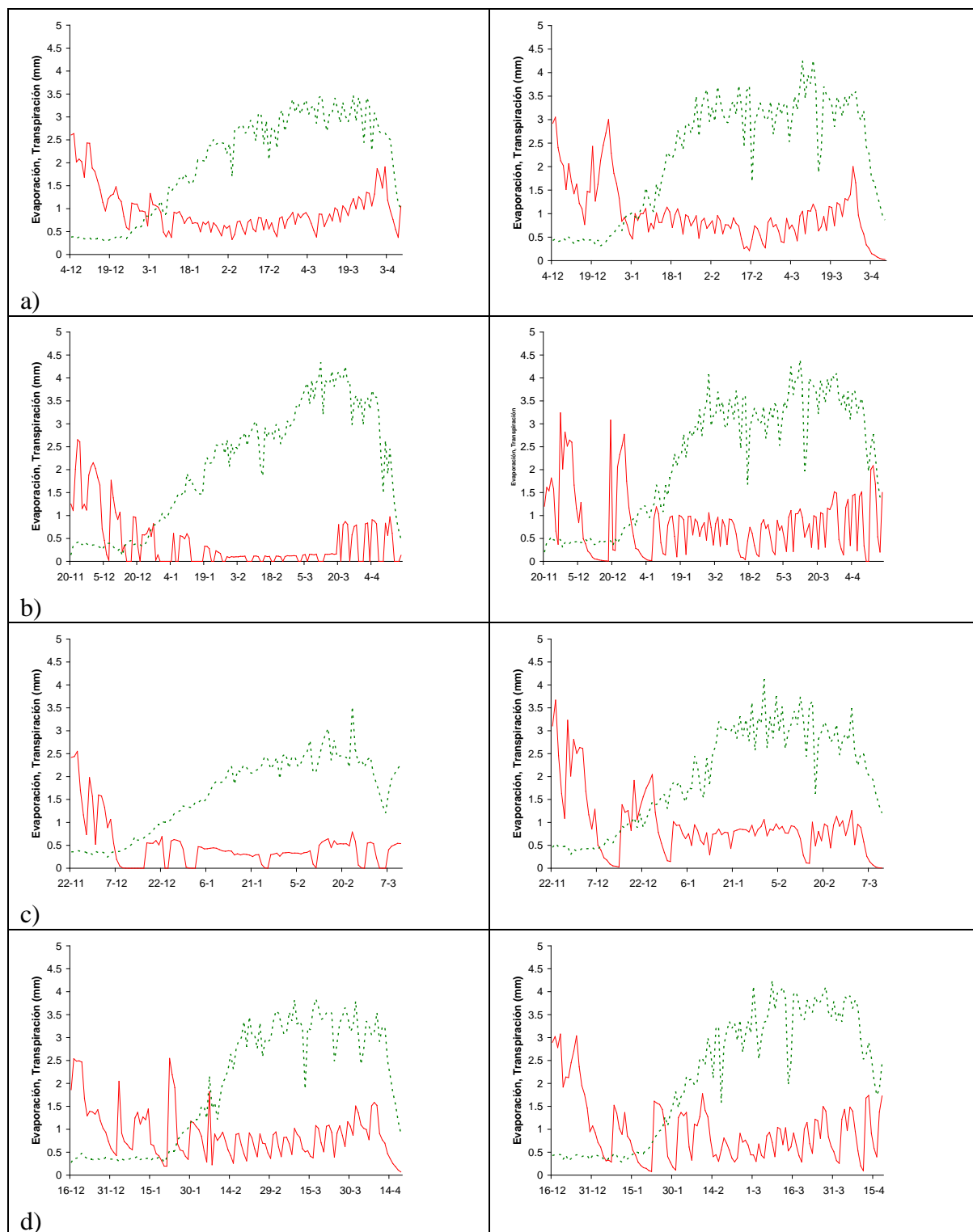


**Tabla 4.** Evaporación del suelo y transpiración del cultivo en cada etapa del ciclo vegetativo.

Cultivos	Etapas de desarrollo del cultivo	Alquízar				Guantanamo			
		<i>E</i> (mm)	<i>T</i> (mm)	<i>ET<sub>c</sub></i> (mm)	<i>E/ET<sub>c</sub></i> (%)	<i>E</i> (mm)	<i>T</i> (mm)	<i>ET<sub>c</sub></i> (mm)	<i>E/ET<sub>c</sub></i> (%)
<b>Ajo</b>	Etapa Inicial	34.4	6.9	42.6	81	39.5	8.8	48.3	82
	Desarrollo cultivo	27.6	45.1	74.5	37	35.7	57.6	93.3	38
	Etapa Intermedia	26.3	112.2	139.7	19	26.5	128.5	155.0	17
	Etapa Final	33.1	86.1	64.8	29	24.7	85.8	110.5	22
	<b>Ciclo</b>	<b>121.3</b>	<b>250.3</b>	<b>371.6</b>	<b>33</b>	<b>126.4</b>	<b>280.7</b>	<b>407.1</b>	<b>31</b>
<b>Cebolla</b>	Etapa Inicial	34.8	10.2	45.0	77	34.4	13.2	47.6	72
	Desarrollo cultivo	9.2	56.4	65.6	14	31.9	65.6	97.5	33
	Etapa Intermedia	4.5	155.0	159.5	3	31.1	165.6	196.8	16
	Etapa Final	12.8	84.6	97.4	13	27.1	89.1	116.2	23
	<b>Ciclo</b>	<b>61.3</b>	<b>306.3</b>	<b>367.6</b>	<b>17</b>	<b>124.6</b>	<b>333.5</b>	<b>418.1</b>	<b>27</b>
<b>Zanahoria</b>	Etapa Inicial	22.3	5.5	27.8	80	33.6	7.4	41.1	82
	Desarrollo cultivo	12.0	48.8	60.8	20	32.6	60.0	92.6	35
	Etapa Intermedia	6.8	57.2	64.1	11	20.7	78.2	98.9	21
	Etapa Final	11.8	66.2	78.0	15	16.8	73.5	90.2	19
	<b>Ciclo</b>	<b>52.8</b>	<b>177.8</b>	<b>230.7</b>	<b>23</b>	<b>103.8</b>	<b>219.1</b>	<b>322.8</b>	<b>32</b>
<b>Pimiento</b>	Etapa Inicial	41.4	12.6	54.0	77	48.8	14.9	63.7	77
	Desarrollo cultivo	25.5	43.9	69.4	37	26.5	56.5	82.9	32
	Etapa Intermedia	16.1	75.6	91.7	18	14.5	77.5	91.9	16
	Etapa Final	29.9	108.3	138.2	22	31.6	116.9	148.5	21
	<b>Ciclo</b>	<b>112.8</b>	<b>240.5</b>	<b>353.3</b>	<b>32</b>	<b>121.3</b>	<b>265.7</b>	<b>387.0</b>	<b>31</b>

### Alquizar

### Valle de Caujeri



**Figura. 5.** Resultados de la simulación con el modelo SimDualKc del comportamiento de los componentes del coeficiente dual, la evaporación del suelo (—) y la transpiración del cultivo (◻) en los ciclos obtenidos en Alquizar a la izquierda y Valle del Caujeri a la derecha: a) ajo, b) cebolla, c) zanahoria y d) pimienta.

## Conclusiones

Los valores de  $K_{cb}$  obtenidos se encuentran dentro del rango de los coeficientes propuestos por la FAO (Allen *et al.*, 1998) para los cultivos en estudio. queda demostrado que los coeficientes obtenidos para los cultivos y condiciones de estudio son adecuados, evidenciando la posibilidad de utilizarlos para las condiciones actuales de la zona de estudio así como de extender la aplicación de esta metodología para otros cultivos y en otras condiciones edafoclimáticas. Del análisis de estos resultados se puede afirmar que el modelo predice adecuadamente las variaciones de los valores observados, con índices de eficiencia de modelación mayores del 70% e índices de ajuste superiores a 0,90 para los cultivos estudiados. Los valores de  $R^2$  sugieren que entre el 70%-90% de la varianza de los valores observados es explicada por el modelo.

El enfoque de coeficientes duales en los estudios de necesidades hídricas es escaso en las condiciones tropicales y no se conocen estudios precedentes en Cuba, por lo que resulta difícil la comparación y discusión de los mismos.

## Bibliografía.

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300p
2. Allen, RG, Pruitt, WO, Raes, D, Smith, M, Pereira, LS, 2005a. Estimating Evaporation from Bare Soil and the Crop Coefficient for the Initial Period Using Common Soils Information. *J. Irrig. Drain. Engng.* 131(1): 14-23
3. Bernal, P.L. 1995. Caracterización agroclimática de la estación experimental de riego y drenaje (IIRD). Informe técnico. 32 pp
4. Chaterlán, D., Y.: Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Caso de estudio: cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa. *Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias*, La Habana 2012, 131p.
5. Chaterlán, Y., M. León, C. Duarte, P. Paredes, T. López, and L.S. Pereira. 2011. Determination of crop coefficients for horticultural crops in Cuba through field experiments and water balance simulation. Proc. 6th IS on Irrigation of Hort. Crops Eds.: Ortega-Farias and Selles. Acta Hort. 889, ISHS 2011, pp 475 – 482
6. Cholpankulov, E.D., Inchenkova, O.P., Paredes, P., Pereira, L.S., 2008. Cotton irrigation scheduling in central Asia: model calibration and validation with consideration of groundwater contribution. *Irrig. And drain.* 57:516-532
7. Cid, G. 2010. Informe parcial del proyecto SIM 16150510 del PNCT Cambios Globales: propiedades físicas e hidrofísicas de algunos suelos cubanos, 20pp IAgriC.
8. López, T; Cid, G; González, F.; Dueñas, G.; Ozier-Lafontaine, H.; Sierra, J.: Estudio comparativo de dos modelos de simulación de transferencias hídricas en un ferrasol del sur de la Habana. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 11(1): 83-90, 2002.
9. López, T., González, F., Dueñas, G., Chaterlán, Y., Cid, G., Dueñas, G. and Casanova, A. 2008b. Los modelos de simulación como herramienta eficaz para el estudio del manejo del agua y la fertilización en diferentes sistemas de cultivos agrícolas en el sur de la Habana. In: L. S. Pereira, F.R.B. Victoria, P. Paredes, M. Garcia, E. Palacios, A. Torrecillas (eds.) *Tecnologias para o Uso Sustentável da Água em Irrigação*. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, Diretoria de Recursos Hídricos, Florianópolis, Brasil.
10. López, T; Herrera, J.; González, F.; Cid, G.; Chaterlán, Y.: Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 18(3): 1-6, 2009.
11. Pereira, LS, Teodoro, PR, Rodrigues, PN, Teixeira JL, 2003. Irrigation Scheduling Simulation: the Model ISAREG. In: Rossi, G, Cancelliere, A, Pereira, LS, Oweis, T,

- Shatanawi, M, Zairi, A (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180.
12. Paredes, P. C, 2008. Gestão da rega do Algodão: Simulação de estratégias para conviver com a escassez de água utilizando o modelo ISAREG. Tese de Maestrado, ISA, UTL, Lisboa, 165p
  13. Popova, Z, Eneva, S, Pereira, LS, 2006b. Model Validation, Crop Coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments. *Biosystems Engineering* 95(1): 139-149.
  14. Popova, Z, Kercheva, M, Pereira, LS, 2006a. Validation of the FAO Methodology for Computing ETo with Missing Climatic Data. Application to South Bulgaria. *Irrigation and Drainage* 55(2): 201-215.
  15. Liu, Y, y Costa, S, 1998. Reference Evapotranspiration. In: Pereira LS, Musy A, Liang RJ, Hann M, editors, 1998. *Water and Soil Management for Sustainable Agriculture in the North China Plain*. ISA, Lisboa, pp. 40-57
  16. Rijsberman, F.R. Water scarcity: fact or fiction? *Agric. Water Manage.* 80:5-22. 2006.
  17. Sánchez y Carvacho: Estimación de evapotranspiración potencial, ETP, a partir de imágenes NOAAVHRR en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36):49-60, 2006
  18. WMO-UNEP. World Meteorological Organization and United Nations Environment Programme. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and vulnerability*. 8th Session of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Brussels, April. 2007.