

EFFECTOS DE UN ACONDICIONADOR SINTÉTICO (TERRACOTTEM®) Y UN ACONDICIONADOR ORGÁNICO (BOCASCHI) SOBRE LA EFICIENCIA DEL USO DE AGUA EN EL CULTIVO DEL PIMENTÓN

EFFECT OF SYNTHETIC CONDITIONER (TERRACOTTEM®) AND AN ORGANIC CONDITIONER (BOCASCHI) ON THE WATER USE EFFICIENCY IN A GREEN PEPPER CROP

Duilio Torres*, Dangela Rivero**, Nectali Rodríguez**, Héctor Yendis**,
Deyanira Lobo***, Donald Gabriels**** y Frank Zamora*****

*Profesor. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" Decanato de Agronomía. Núcleo Tarabana. E-mail: duiliotr@yahoo.com.

**Profesores. Universidad Francisco de Miranda. Facultad de Agronomía. Coro, estado Falcón. E-mail: hyendis@hotmail.com.

Profesora. UCV. Facultad de Agronomía. E-mail: lobodeya@yahoo.com. *Profesor. Universidad de Gantes Bélgica.

*****Investigador. INIA. CIAE-Falcón. E-mail: fzamora@inia.gob.ve

RESUMEN

Un experimento en invernadero fue conducido para estudiar el efecto del acondicionador orgánico Bocashi (BK), y dos dosis (TC1 y TC2) del acondicionador sintético Terracottem® (una mezcla de polímeros hidrofílicos, fertilizante, estimuladores de desarrollo radical y cenizas volcánicas), sobre el desarrollo vegetativo y radical de pimentón, *Capsicum nahum* L., cultivado en un suelo arenoso, donde se aplicaron dos dosis de riego, para mantener el contenido de agua entre 100 y 80% de la capacidad de campo. La eficiencia de agua fue evaluada en función de la biomasa aérea, biomasa de raíces y del volumen total de agua aplicada en el riego. En todos los tratamientos una mayor cantidad de agua fue requerida para mantener el contenido de humedad a 100% de CC en comparación a 80% de CC. La mayor producción de biomasa aérea se obtuvo con la dosis más alta de Terracottem (TC1) en ambas condiciones de humedad, no evidenciándose diferencias significativas entre estas. Los tratamientos con Terracottem resultaron en un mayor desarrollo de raíces en comparación al BK aunque la dosis de riego fue mayor. Los menores consumos de agua por unidad de biomasa fueron obtenidos en los tratamientos TC1; BK; TC2; control (SS) y fertilización química (FQ), no encontrándose diferencias entre las dos dosis de riego, para todos los tratamientos evaluados.

Palabras Clave: *Capsicum nahum* L.; acondicionadores; desarrollo vegetativo; riego; stress hídrico.

SUMMARY

A greenhouse experiment was set up to study the effects a synthetic conditioner "Bocashi" Terracottem® (a mixture of water absorbent polymers, fertilizers, root growth stimulators and lava) at two doses (TC1 and TC2) and an organic conditioner (BK), on the production of above ground and root biomass of a green pepper, *Capsicum annuum* L., crop in a sandy soil. Two irrigation doses were applied to maintain the soil water content either at 100% or 80% of its field capacity (FC). The efficiency of water use was evaluated in terms of consumption of water after 28 days of cultivation in relation to (1) the total volume of applied irrigation water, (2) the above ground biomass and (3) root biomass. It was obvious that for all treatments more water is needed to maintain the soil moisture content at 100% of FC than at 80% of FC. The highest above ground biomass production was obtained with the highest Terracottem dose (TC1) at both soil water contents. No significant differences were found between the two irrigation doses. TC treatments resulted in higher root biomass production than BK at the highest irrigation dose. The lowest levels of water consumption per unit biomass and unit root biomass were obtained in the TC1, BK and TC2 treatments. Also, no significant differences for above ground and radical biomass were found between irrigation doses, thus crop vegetative development was not affected when submitted to water stress.

Key Words: *Capsicum nahum* L.; amendments; water efficient use; compost; hydrogel.

INTRODUCCIÓN

La adición de residuos orgánicos compostados y otros acondicionadores de suelo puede tener un efecto positivo sobre la eficiencia del uso de agua. Los acondicionadores aplicados no sólo modifican la estructura del suelo, dada la estabilización de los agregados, sino que además mejoraron propiedades físicas asociadas a la retención de agua, trabajabilidad e infiltración (Lentz *et al.*, 1992; Marty y Szot, 2001; Ben Hur y Keren, 2006).

El uso de los acondicionadores de suelo para mejorar la estabilidad estructural puede ser explicado por los agentes enlazantes que permiten unir las partículas de suelo (Tisdall y Oades, 1982), desde este punto de vista el mucilago que forman los hidrogeles asociados a las raíces o los agentes agregantes producidos por la actividad microbológica contribuyen a mejorar la agregación del suelo y la retención de agua en el mismo (Trout *et al.*, 1995; Lents *et al.*, 1996; Ben Hur y Keren, 1997 y Sojka y Surapaneni, 2000).

Los acondicionadores de suelos pueden ser polisacáridos, humus, mulch y acondicionadores naturales o sintéticos como las: policriamidas (PAM), polivinil alcohol, bitumen, emulsiones asfálticas, silicatos entre otros. Entre los polímeros más conocidos están las policriamidas (PAM) el cual es un polímero de alto peso molecular y comprobada efectividad como acondicionador (Bourinas *et al.*, 1995; Sheinberg *et al.*, 1990 y Henríquez, 2000).

Dentro de los polímeros sintéticos los hidrogeles, llamados así por su capacidad para absorber agua, permiten mejorar el establecimiento de las plantas en zonas áridas y semiáridas, donde el déficit de agua es uno de los principales obstáculos para la producción agrícola (El Sayed *et al.*, 1991; Johnson y Piper, 1997; Akter *et al.*, 2004).

Los productos sintéticos como el Aquasorb®, Terracottem® entre otros, tienen fragmentos de gel que actúan como pequeños reservorios individuales para mejorar la disponibilidad de agua para las planta. La influencia de este tipo de polímeros sobre la dinámica del agua dentro del suelo ha sido ampliamente estudiado (Tayel y El Hady, 1981; Taylor y Halfacre, 1986; Orzolek, 1993; Wright y Raiper 2000; Hayat y Safdar, 2004).

En este sentido, una zona árida de Burkina Faso donde las precipitaciones no superaron los 200 mm, Van Cotttem *et al.* (2006) aplicaron dosis de 100 y 200 g de

Terracottem, (acondicionador usado para mejorar la eficiencia de agua), en árboles de *Leucaena*, *Leucaena leucocephala* logrando incrementar el desarrollo radical en un 68,1 y 76,9% respectivamente, reduciendo la mortalidad de plantas de 74% a 21 y 16%, respectivamente. Igualmente Van Cotttem *et al.* (2006) señalaron incrementos en la producción de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill, de dos a tres veces cuando se uso el Terracottem como acondicionador, resultados similares fueron encontrados cuando se aplicó el acondicionador en el cultivo de zanahoria, *Daucus carota*, en suelos arenosos de baja fertilidad, observándose un incremento en la biomasa de raíces entre 5 a 8 veces y aumento de los rendimientos de 43,6 a 118,3 Mg ha⁻¹.

Por otro lado, además de los polímeros sintéticos, los acondicionadores orgánicos, son eficientes en mejorar la retención de agua en el suelo. En este sentido Rivero *et al.* (1998) encontraron que luego de tres años de incorporar residuos orgánicos, se mejoraron las condiciones estructurales del suelo, dado por el incremento de la porosidad total, la retención de agua a -33 kPa y la conductividad hidráulica saturada. Así como por la disminución de los valores de densidad aparente.

En vista de los efectos promisorios de los acondicionadores de suelo, en esta investigación se propuso evaluar los efectos de un compost de residuos orgánicos (Bocaschi) y una mezcla de polímeros hidrofílicos (Terracottem) usando un suelo arenoso de baja retención humedad en el cultivo de pimentón como indicador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de muestreo de suelo

El suelo empleado en el ensayo fue recolectado en el asentamiento campesino Cruz Verde, municipio Cadidubana, estado Falcón, el cual corresponde al área de influencia del sistema de riego Cruz Verde; localizado entre los 11° 47" de LN y 56° 76" de longitud oeste, el cual abarca una superficie estimada de 103 ha. La recolección del mismo se hizo en un área homogénea y se tomaron muestras al azar a una profundidad de 0-20 centímetros de profundidad.

Características climáticas de la zona

Se tomó como referencia los datos climatológicos registrados por la estación meteorológica de Coro-Aeropuerto (1990-1999, Fuerza Aérea Venezolana) citado por Lugo, (2002), ya que en el área del ensayo no

existe estación meteorológica por lo que se consideraron los registros de la estación más cercana incluidos en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Características climáticas de la zona Cruz Verde, estado Falcón.

Precip. (mm)	Temp. (°C)	Evap. (mm)	HR	Insol. (Horas)	Radiación MJ/m ² /Día
357,7	27,8	2 912,6	75%	8,3	21,1

Fuente: Lugo (2002).

Características del suelo

Los suelos de esta zona fueron clasificados como Camborthids (Strebins, 1990) y se caracterizan por presentar una textura areno-francosa, con baja capacidad para retener humedad. Bajo contenido de materia orgánica (MO) y baja fertilidad, permeables y de buen drenaje; encontrándose en la unidad cartográfica 1, la cual esta fisiograficamente ubicada en un abanico aluvial, disertado por un plano topográfico inferior de acumulaciones recientes, con pendientes moderadas de 3% (Cuadro 2).

Diseño del experimento

Se empleó un diseño completamente aleatorio con estructura de tratamientos en arreglo factorial (5*2*2) con 5 repeticiones, lo cual totaliza 100 unidades experimentales. Los factores a evaluar fueron: Tratamientos del suelo: 2 acondicionadores, uno inorgánico el Terracottem (TC), el cual se aplicó en dos niveles, 4 g kg⁻¹

de suelo (TC1) y 2 g kg⁻¹ de suelo (TC2) uno orgánico el Bocaschi (BK), un fertilizante comercial (18-18-18) (FQ), y el suelo sin tratar (SS), lo que constituye 5 niveles para el primer factor a evaluar. Condición de humedad: 2 condiciones de humedad a capacidad de campo (1) y 80% de capacidad de campo (2) y condición de cultivo: 2, con la presencia del cultivo y sin la presencia del mismo. Las unidades experimentales fueron 100 macetas plásticas de 26 cm de diámetro superior por 20,4 cm de diámetro inferior y con una altura de 26 cm, con una capacidad total aproximada de 15 kg de cada una.

Descripción de los tratamientos

Acondicionadores

Los acondicionadores usados fueron:

Acondicionador orgánico: se seleccionó el compost de residuos orgánicos Bocaschi (BK) el cual fue mezclado con el suelo en una relación suelo: compost de 3:1. Este abono fue elaborado a partir de una mezcla en partes iguales de estiércoles de chivo, ovino y bovino, caña de azúcar molida a lo cual se le agregó levadura de pan, ceniza y carbón masagua.

Acondicionador sintético: se escogió el producto Terracottem® (TC) que corresponde a una mezcla de (40 % de polímero, un fertilizante NPK de fórmula 14-14-14 y restos de ceniza volcánica, se aplicaron dos dosis 4 g kg⁻¹ de suelo (TC1) y 2 g kg⁻¹ de suelo (TC2). Las características químicas tanto del Bocaschi como del Terracottem, son mostrados en el Cuadro 3.

Fertilización química: se aplicó un fertilizante comercial cuya fórmula fue equivalente a la que contenida el Terracottem (15-15-15), el cual fue denominado FQ.

CUADRO 2. Características del suelo bajo estudio en el asentamiento Cruz Verde, estado Falcón.

Muestra	A	L	a	Textura	pH	CE	MO (g*kg ⁻¹)	P mg*kg ⁻¹	K mg*kg ⁻¹	Ca mg*kg ⁻¹	Na mg*kg ⁻¹	Mg mg*kg ⁻¹
Cruz Verde	9,23	5,64	82,15	a	7,76Ma	0,27B	6,5B	8 B	47 B	530 M	22B	100 A

A: arcilla; L: limo; a: arena; Ce: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Na: sodio; Mg: Magnesio. Distribución del tamaño de partícula (Bouyoucos), Fósforo (Olsen), Potasio (Olsen), Magnesio (Morgan), Calcio (Morgan), pH; relación 1:2;5, Materia Orgánica (Combustión húmeda, Walkley y Black, 1934), Conductividad eléctrica (relación 1:5), Métodos descritos en Manual de Procedimiento de laboratorio del FONAIAP (Gilbert *et al.*, 1990)

CUADRO 3. Características del abono orgánico (Bocaschi) e hidrogel (Terracottem).

Tratamientos	N total (%)	P ₂ O ₅ (%)	K (%)	pH 1:2	CE 1:2 (Ds/m)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	C.O (%)
BOCASHI	0,100	1,46	1,36	7,59	10,71	3,64	8,54	2,63	1,66	17,25
TERRACOTTEM	5,0	1,0	4,0	-	-	-	-	-	-	-

Ce: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica, P: fósforo; K: potasio, Ca: calcio; Na; sodio; Mg: Magnesio. Distribución del tamaño de partícula (Bouyoucos), Fósforo (Olsen), Potasio (Olsen), Magnesio (Morgan), Calcio (Morgan), pH; relación 1:2;5, Materia Orgánica (Combustión húmeda, Walkley y Black, 1934), Conductividad eléctrica (relación 1:5), Métodos descritos en Manual de Procedimiento de Laboratorio del FONAIAP (Gilabert *et al.*, 1990).

Control: consistió en un tratamiento sin fertilizante, el cual fue incluido en el experimento, este tratamiento fue denominado (SS).

Cultivo: todos los tratamiento se evaluaron con el cultivo de pimentón, *Capsicum annum* y sin el cultivo.

Condición de humedad: dos láminas de riego fueron aplicadas para mantener los contenidos de humedad del suelo a 80% (L1) y a 100% de capacidad de campo. Las condiciones de humedad se determinaron montando un ensayo preliminar; el cual se basó en la colocación de tres 3 vasos con una cantidad del suelo de 100 g (esta cantidad fue registrada), a estos se le agregó agua hasta llegar a la saturación, se dejó drenar por 24 horas, para determinarles a cada uno su capacidad de retención de humedad, luego se tomó el peso de cada vaso y por diferencia de peso se obtuvo la cantidad de agua que perdió el suelo. Basándose en la capacidad de retención de humedad obtenida, se obtuvieron dos condiciones de humedad las cuales fueron las siguientes: 100% y 80% de humedad del contenido de capacidad de campo (Cuadro 4), en función de ello y del peso seco del suelo (8 kg), se determinó la cantidad de agua que se tuvo que agregar en cada recipiente para ser llevados a las condiciones de humedad establecidas.

Propiedades y procesos de suelo evaluados

Para el ensayo se empleo un suelo de textura arenofrancosa, con baja capacidad para retener humedad y bajo contenido de MO proveniente del asentamiento campesino Cruz Verde, para la caracterización física y química del suelo, se tomaron muestras al azar a una profundidad de 0-20 centímetros en un área homogénea correspondiente a la unidad cartográfica 1, y se midieron las variables N total, P y K disponibles, conductividad eléctrica (Ce), contenido de MO y pH.

CUADRO 4. Contenido de humedad a capacidad de campo para los diferentes sustratos empleados.

Tratamientos	Contenido de agua (%) a capacidad de campo
Suelo SÓlo (SS)	12,2
Suelo+BOCASHI (BK)	33,6
Suelo+TERRACOTTEM 1(TC1)	21,8
Suelo+TERRACOTTEM 2(TC2)	22,3
Suelo + FERTILIZANTE QUÍMICO(FQ)	12,2

Los análisis químicos fueron realizados según el Manual de Métodos y Procedimiento del FONAIAP (Gilabert *et al.*, 1990). Se determinó la textura (distribución y tamaño de las partículas según Bouyoucos descrito por Pla, 1983), el pH (suelo: agua de 1: 2,5), P (Olsen, 1954); K (Olsen); Ca (Morgan), MO (combustión húmeda, según Walkey y Black), y Ce (relación 1:5). En el caso del acondicionador orgánico (Boscachi), antes del ensayo, se evaluaron sus propiedades de retención de humedad y las propiedades químicas N total, P y K disponibles, Ce y contenido de MO.

Evaluación de la eficiencia de agua

El contenido de agua en cada recipiente fue determinado gravimetricamente por pesada durante cada día. El peso de las plantas, la biomasa aérea (Ba) y la biomasa de raíces (Br) fue medido al final del experimento. La eficiencia de agua fue evaluada en términos del consumo

de agua 28 días después de la siembra (DDS) en relación a los parámetros: volumen de agua aplicado durante el riego; y las relaciones agua consumida/ Ba y agua consumida / Br. El volumen de agua, se determinó en función de la cantidad de agua aplicada, para llevar el suelo a capacidad de campo, la Ba fue determinada en base seca al final del ciclo de cultivo, para lo cual se separó la parte aérea de las raíces, secándose a estufa a 60 °C, posteriormente para el cálculo de los índices se procedió a dividir volumen de agua/ Ba y volumen de agua/Br, respectivamente (Fernández y Camacho, 2005).

VARIABLES BIOMÉTRICAS EVALUADAS

Durante el ciclo del cultivo se realizaron mediciones cada cuatro días de la altura de plantas, así como el número de hojas. Al finalizar el ciclo del cultivo se evaluaron parámetros de rendimiento como Ba, rendimiento del cultivo, (Nº de frutos), Br, longitud de las raíces.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de varianza (ANAVAR) para determinar diferencias entre los distintos tipos de acondicionadores de uso sobre las propiedades de suelo y las variables biométricas evaluadas. En aquellas variables donde se detectaron diferencias significativas, se realizaron pruebas de medias de Tukey para separar los tratamientos en función de la magnitud de los valores

obtenidos. El valor de probabilidad seleccionado en el estudio fue de $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia de agua evaluada a lo largo del ciclo del cultivo, en función de la relación agua aplicada/agua empleada, y la Ba y el desarrollo radical con la cantidad de agua consumida, siendo estas indispensables para poder determinar las diferencias entre el uso de los acondicionadores, ya que los mismos variaban en su contenido de humedad a capacidad de campo (Cuadro 4).

Por lo tanto las diferencias con respecto a la cantidad de agua aplicada no pudieron ser atribuidas a la eficiencia de los acondicionadores, sino, a las diferencias de retención de humedad de cada uno de los sustratos, lo que conllevó a que se aplicaran mayores volúmenes de agua en los tratamientos BK y TC, respectivamente.

En la Figura 1, se observa el comportamiento para cada uno de los tratamientos con respecto al volumen de agua aplicado, apreciándose un volumen de agua aplicado similar para todos los tratamientos en la primera etapa de desarrollo del cultivo (posterior al transplante), en la fase de máximo desarrollo vegetativo (etapa 2); mientras los tratamientos TC1 y TC2 tuvieron un mayor volumen de agua aplicado en comparación a los tratamientos BK, SS y FQ respectivamente.

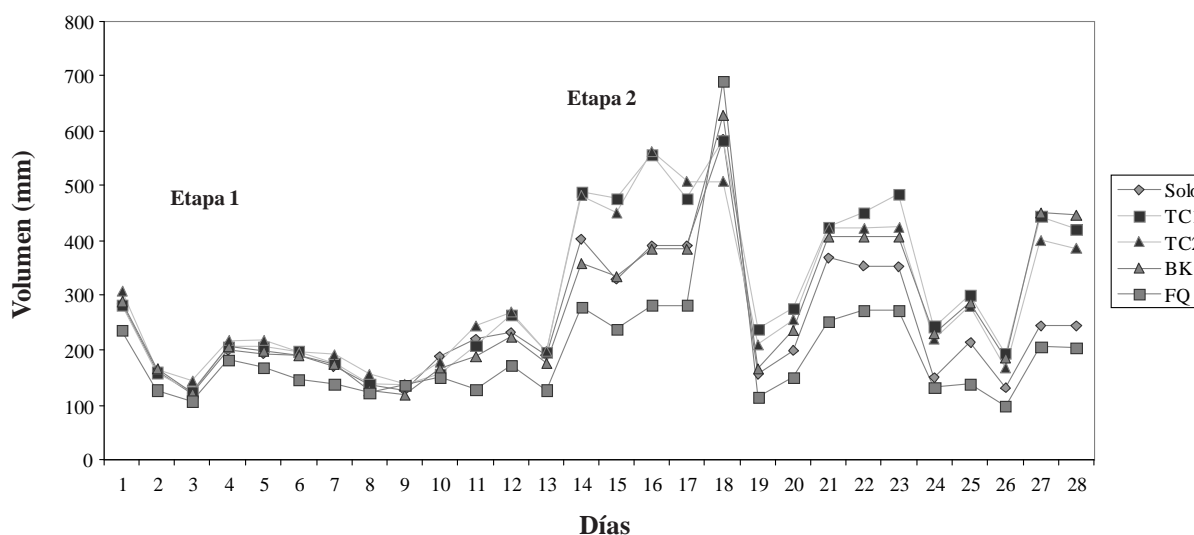


FIGURA 1. Volumen de agua consumida durante el ensayo. **TC1:** Terracottem dosis 4 g kg⁻¹ de suelo; **TC2:** Terracottem 2 g kg⁻¹ de suelo; **BK:** Bocaschi; **Sólo:** Control; **FQ:** Fertilizante químico; **Etapa 1:** Etapa desde de transplante hasta primeras semanas de desarrollo de plántula; **Etapa 2:** Etapa de máximo crecimiento vegetativo.

Estos resultados son similares a los mostrados por Sivapalan *et al.* (2005), quienes señalan, que 35 días después del trasplante (DDT), la mayor cantidad de agua aplicada correspondió al tratamiento donde se aplicó el acondicionador ALCOSORB, lo cual se observó en el día 40 DDT.

Los resultados no implicaron que los tratamientos SS y FQ fueran más eficientes que los tratamientos TC1, TC2 y BK por consumir una menor cantidad de agua, a lo largo del ensayo, por lo tanto, estos parámetros no fueron útiles para determinar la eficiencia del uso de agua en función del sustrato, en tanto fue necesario establecer la relación entre el volumen final de agua/volumen inicial (porcentaje de humedad) y entre el desarrollo vegetativo y radical en función del uso de agua. En todos estos resultados los tratamientos TC1 y TC2 resultaron ser más eficiente cuando se compararon con los tratamientos BK, SS y FQ, respectivamente.

En este sentido al evaluar la relación volumen de agua aplicado/volumen inicial se observa que los tratamientos BK, TC1 y TC2 fueron significativamente más eficientes ($P < 0,05$) que los tratamientos SS y FQ, respectivamente (Figura 2), la mayor disponibilidad de agua en la rizosfera, se tradujo por lo tanto en un mayor desarrollo vegetativo. Este comportamiento llevó a la conclusión que aquellos tratamientos donde se uso el acondicionador de suelo, presentaron una menor pérdida de agua, debido a que los mismos mejoraron considerablemente la capacidad de retención de humedad del suelo.

En la Figura 2, se observa que la demanda de agua se incrementó a medida que el cultivo se desarrollaba, así mismo es de notar que a pesar de que el tratamiento BK resultó más eficiente en el uso de agua al poseer una mayor retención de humedad, esta no fue aprovechada dado que el desarrollo de las raíces se afectó por los altos valores de salinidad encontrados en el acondicionador orgánico (Bocaschi) los cuales superaron los 10 dS/m.

Al respecto, investigaciones anteriores (Tayel y El Hady, 1981; Johnson, 1984; Taylor y Halfacre, 1986; Orzolek, 1993), revelan que cuando se aplica un acondicionador de suelo como las PAM, los hidrogeles o el Terracotem la eficiencia del uso de agua esta asociada a una mayor retención de la misma producto de la formación de una zona de micro pantanos formados alrededor de la rizosfera que incrementa el área de absorción, manteniendo el agua retenida, la cual es posteriormente aprovechada por las plantas.

No obstante, en la Figura 3 se observa que aparte de este efecto, el incremento del desarrollo radical también pudo contribuir a mejorar la absorción de agua, nótese que aquellos tratamientos donde se aplicó el Terracotem el uso de agua fue más eficiente, al tener una menor relación consumo de agua/Br al compararse con los tratamientos Bocaschi, suelo sólo y fertilizante químico, respectivamente, es decir que los tratamientos con Terracotem tuvieron un mayor desarrollo de raíces en función del volumen de agua aplicado.

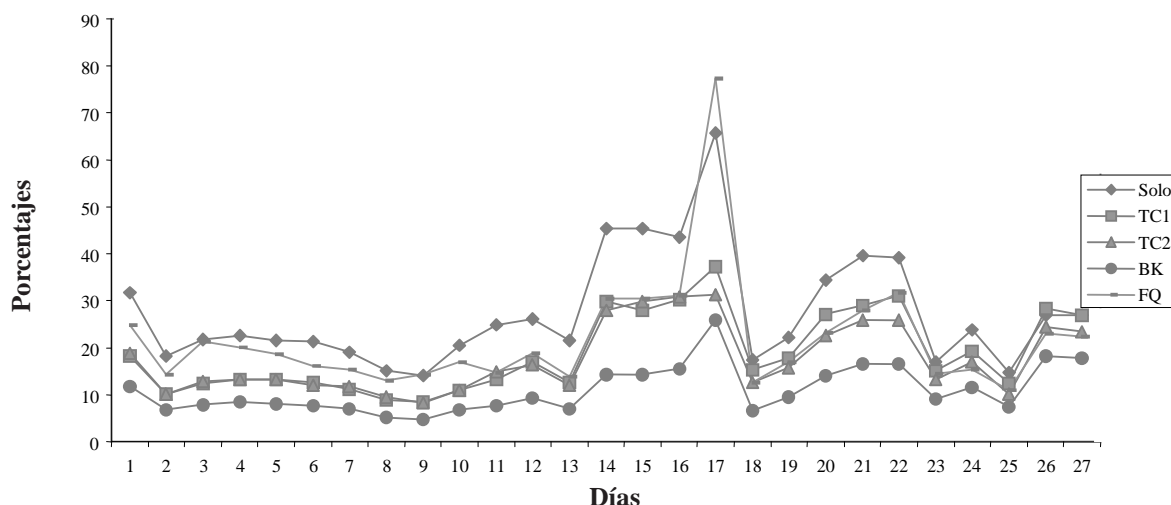


FIGURA 2. Relación agua aplicada/agua consumida durante el ciclo del cultivo. volumen de agua consumida durante el ensayo. **TC1:** Terracotem dosis 4 g kg⁻¹ de suelo; **TC2:** Terracotem 2 g kg⁻¹ de suelo; **BK:** Bocaschi; **Sólo:** Control; **FQ:** Fertilizante químico; **Etapa 1:** Etapa desde de trasplante hasta primeras semanas de desarrollo de plántula; **Etapa 2:** Etapa de máximo crecimiento vegetativo.

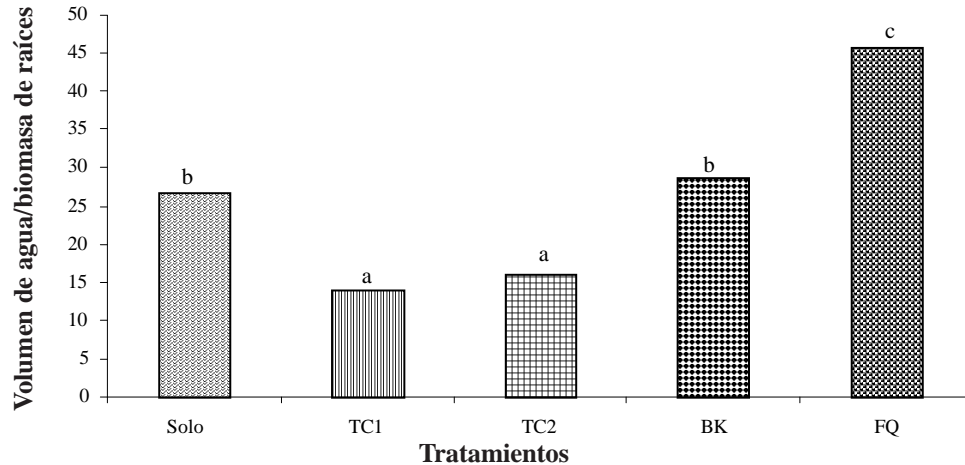


FIGURA 3. Relación consumo de agua/biomasa de raíces en función del sustrato, ($P < 0,05$) letras diferentes indican diferencias significativas. **TC1:** Terracottem dosis 4 g kg⁻¹ de suelo; **TC2:** Terracottem 2 g kg⁻¹ de suelo; **BK:** Bocaschi; **Sólo:** Control; **FQ:** fertilizante químico.

Los resultados obtenidos son similares a los observados en otras investigaciones donde se evidenció que el uso de acondicionadores promueve el desarrollo de raíces en suelos de textura arenosas con déficit de humedad similares al usado en el presente estudio, Huttermann *et al.* (1999) al evaluar el efecto de un hidrogel en plantaciones de pino, *Pinus halepensis*, encontraron que el uso de hidroabsorbentes mejora notablemente el uso de agua en suelos arenosos, al observar incrementos en la Ba y Br; no obstante, estas aplicaciones pueden ser perjudiciales en suelos francos a arcilloso en este sentido Minami *et al.* (2003) cuando aplicaron 2 g por planta

de un acondicionador (Hidroplan) en un suelo franco-limoso de Brasil no encontraron respuesta en la Ba y Br, esto fue atribuido a un exceso de agua causado por el incremento de retención de humedad al aplicar los acondicionadores.

La eficiencia de uso de agua, también fue afectada por la condición de humedad presente en el suelo, en la Figura 4 se observa los tratamientos donde se aplicó Terracottem, los cuales fueron más eficiente en el uso de agua en comparación a aquellos tratamientos donde se usaron FQ y SS como acondicionadores, respectivamente.

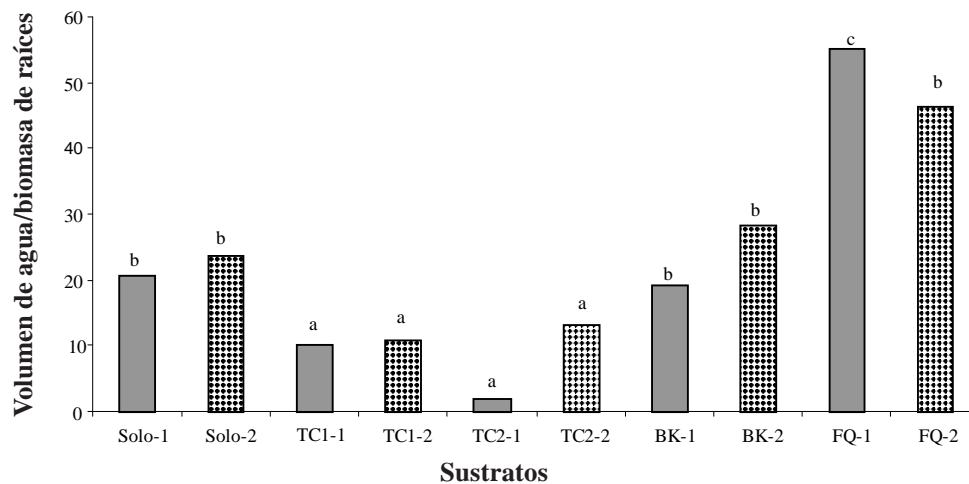


FIGURA 4. Relación consumo de agua/biomasa de raíces a dos condiciones de humedad. $P < 0,05$) letras diferentes indican diferencias significativas. **TC1:** Terracottem dosis 4 g kg⁻¹ de suelo; **TC2:** Terracottem 2 g kg⁻¹ de suelo; **BK:** Bocaschi; **Sólo:** Control; **FQ:** fertilizante químico.

La condición humedad presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) en la eficiencia de uso y la misma estuvo asociada a un mayor desarrollo de raíces, observándose en la condición de humedad a 100% de capacidad de campo una mayor eficiencia en el uso de agua expresada en volumen de agua aplicada por unidad de Br. Esta eficiencia disminuyó cuando la condición de humedad fue de 80% de capacidad de campo, siendo la diferencia más notable en los tratamientos donde no se aplicó Terracottem como acondicionador (BK, SS, FQ), lo cual sugiere que bajo las condiciones edafoclimáticas de excesiva evapotranspiración el uso de Terracottem contribuye favorablemente a reducir las condiciones de stress hídrico en ambientes semiáridos.

Estos resultados son similares a los presentados en investigaciones por Arbona *et al.* (2005) quienes al emplear un hidrogel como sustrato en plantaciones de cítricos, bajo condiciones de stress hídrico, se encontró que la incorporación del sustrato no sólo incremento la retención de humedad, sino que aumentó la Ba, el desarrollo de raíces y la supervivencia de plantas en ambientes semiáridos. Mientras que en aquellas plantas donde no se aplicó acondicionador, se determinó que estas fueron severamente afectadas por las condiciones de stress hídrico.

La relación agua consumida/Ba en función del sustrato (Figura 5), muestra que los tratamientos BK, TCI y TC2, presentaron una mayor capacidad para la retención de agua, no obstante, el Terracottem fue más eficiente en el uso de de agua en comparación a BK, producto de la

acción de los polímeros hidrofílicos que forman el Terracottem y al incremento del desarrollo radical.

En el caso del abono orgánico (Bocaschi) a pesar de que sus propiedades físicas, mejoran la retención de humedad, los altos valores de salinidad afectaron el desarrollo de las raíces y por tanto la capacidad de la planta para captar agua, afectando el desarrollo del área foliar, en el caso del control (SS) el desarrollo vegetativo, fue afectado por las condiciones de stress hídricos (altas temperaturas y alta tasa de evapotranspiración) y las características del suelo (textura arenosa baja capacidad de retención de humedad y baja capacidad de retención de nutrientes).

La relación volumen de agua/ Ba bajo las condiciones de humedad evaluadas (100% y 80% de la capacidad de campo) no afectó la relación consumo de agua/Ba cuando se redujo el porcentaje de humedad de capacidad de campo (L1) a 80% (L2), concluyéndose que el efecto de stress hídrico es reflejado solamente sobre el desarrollo de las raíces, no obstante, no fue lo suficientemente afectado como para reducir sensiblemente la Ba.

De aquí que un inadecuado desarrollo radical afecta directamente la capacidad de las plantas para captar agua y nutrientes. En la Figura 6, se nota la misma tendencia que la observada cuando se evaluó la eficiencia de agua por unidad de Br que la mayor eficiencia fue alcanzada por los tratamiento TC1 y TC2, seguido de BK, SS y FQ, respectivamente.

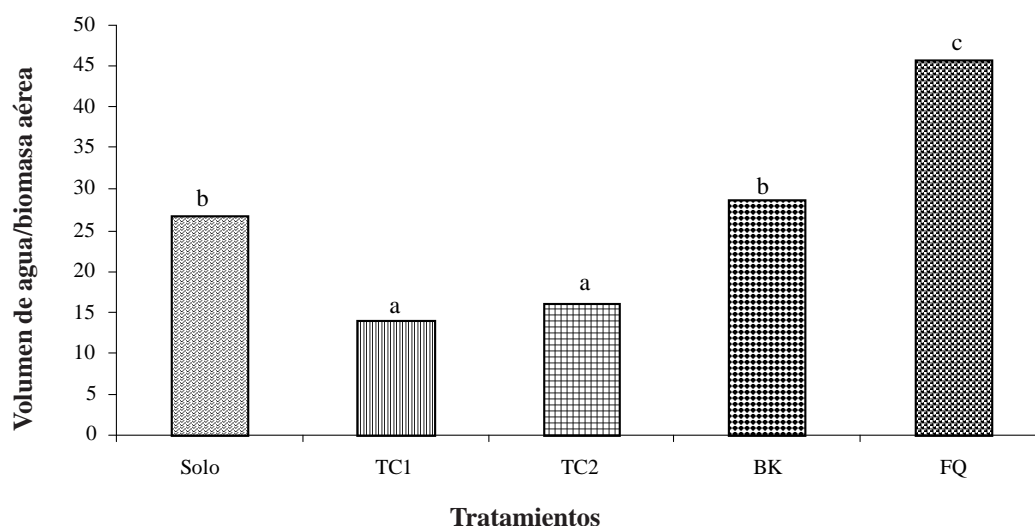


FIGURA 5. Relación volumen de agua/biomasa aérea en función del sustrato. $P < 0,05$) letras diferentes indican diferencias significativas. **TC1:** Terracottem dosis 4 gr kg^{-1} de suelo; **TC2:** Terracottem 2 g kg^{-1} de suelo; **BK:** Bocaschi; **Sólo:** Control; **FQ:** fertilizante químico.

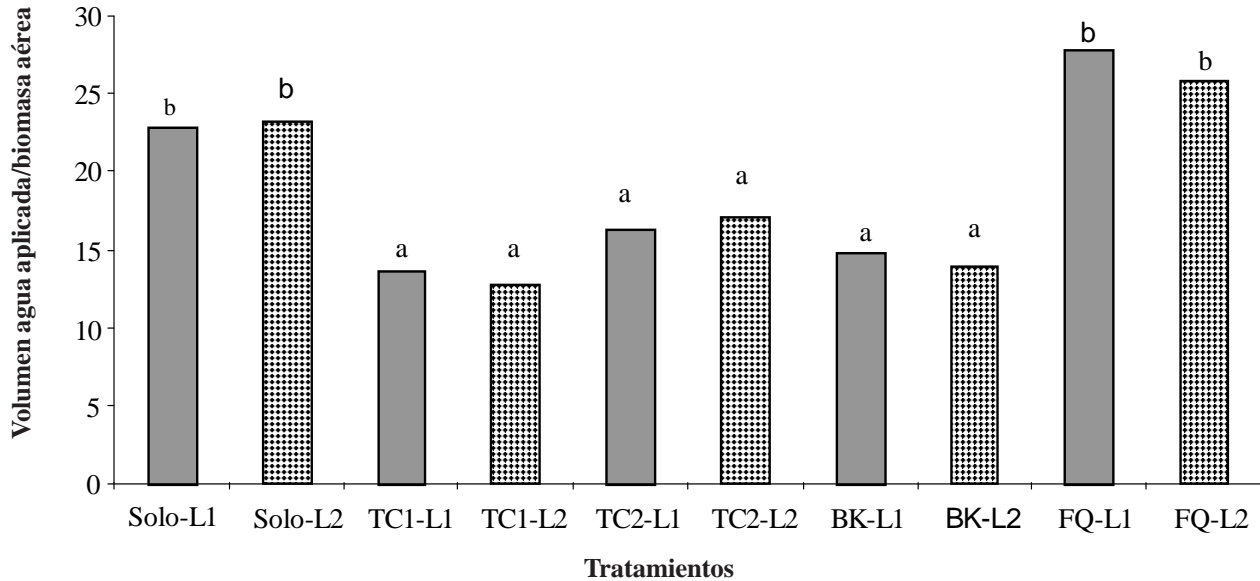


FIGURA 6. Relación consumo de agua/biomasa aérea en función de la condición de humedad. ($P<0,05$) letras diferentes indican diferencias significativas. **TC1:** Terracottem dosis 4 g kg^{-1} de suelo; **TC2:** Terracottem 2 g kg^{-1} de suelo; **BK:** Bocaschi; **Sólo:** Control; **FQ:** fertilizante químico.

Estos resultados son coincidente con los señalados por Camacho *et al.* (1997) quienes encontraron resultados promisorios cuando aplicó dosis de 10 y 20 g de Terracottem en plantas de sandía, *Citrullus lanatus* Thunb, en suelos arenosos a una condición de riego deficitario (50% de capacidad de campo).

Los resultados obtenidos destacan la importancia del uso del Terracottem y el acondicionador orgánico (Bocaschi) para promover el desarrollo de cultivos en zonas áridas y semiáridas, diversos trabajos coinciden con los resultados obtenidos en la presente investigación por ejemplo Specht y Harvey-Jones (2000), encontraron una respuesta favorable cuando se incorporó un acondicionador de suelo en plantas sensibles a la sequía *Flindersia brayleana* y *Dysoxylum muelleri* observando un aumento en el peso tanto de la parte aérea como en las raíces cuando el producto fue usado como sustrato.

En esta investigación el mayor desarrollo de las plantas de pimentón se debió a una mejor eficiencia del uso de agua cuando se agregó el Terracottem, ya que el mismo incrementó notablemente la capacidad de retención de agua asociado a un mejor desarrollo radical. Aunque el acondicionador orgánico tuvo una retención de agua similar al del hidrogel, mientras el uso de agua no fue eficiente ya que el desarrollo vegetativo fue afectado

por los altos niveles de salinidad del mismo, por lo tanto, la relación volumen de agua/ Ba fue superior a la encontrada en los tratamientos donde se usó el Terracottem como acondicionador.

CONCLUSIONES

- Los tratamientos TC1 y TC2 fueron más eficientes que BK, SS y FQ al mostrar un mayor desarrollo de raíces, ya que presentaron una menor relación consumo de agua/Br y consumo de agua/ Ba.
- Por otro lado, estos tratamientos TC1, TC2 y BK fueron menos afectados cuando se redujo la condición de humedad de un 100% de retención a 80% en comparación a BK, SS y FQ, lo cual sugiere que se pudiese reducir aún más los intervalos de riego para minimizar el consumo de agua.
- En el caso del BK desarrollo vegetativo fue afectado por los altos valores de salinidad.

BIBLIOGRAFÍA

Agrid Arid World Consultants. 1991. Consultado en: www.terracottem.com 15/02/05.

- Akhter, J., K. Mahmood, K. A. Malik, A. Mardan, M. Ahmad and M. M. Iqbal. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea plant soil environ., 50(10):463-469.
- Arbona, V., J. Domingo, J. Iglesias, J. Jacas, E. Primo-Millo, M. Talon and A. Gomez-Cadenas. 2005. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. *Plant and Soil* 270:73-82.
- Bourinas, D., L. Theodoropoulos and G. Drossopoulos. 1995. Designing synthetic polymers as soil conditioners. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26(13-14):1.455-1.480.
- Ben-Hur, M. and R. Keren. 1997. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:565-570.
- Ben-Hur, M. and R. Keren, 2006. Using synthetic polymers as soil conditioners to control runoff and soil loss in arid and semi-arid regions a review. *Australian Journal of Soil Research* 44(3):191-204.
- Camacho, F., A. Quesada, F. García. F., J. López, E. Martínez y J. Rodríguez. 1997. Aplicación de polímeros hidroabsorbentes en cultivos enarenados: productividad y calidad de melón "CV Categoría" Riego y Drenaje siglo XXI. 96. 28-33.
- El Hady, O., M. Tayel and M. Lotfy. 1981. Super gel as a soil conditioner. II: Its effects on plant growth, enzyme activity, water use efficiency and nutrient uptake. *Acta Horticulturae*, 119:257-265.
- El Sayed, H., R. C. Kirkwood and N. B. Graham. 1991. The effects of a hydrogel polymer on the growth of certain horticultural crops under saline conditions. *Journal of Experimental Botany*, 42:891-899.
- Fernández, E. y F. Camacho. 2005. Eficiencia en el uso de agua: Conceptos y aplicaciones prácticas en horticultura y semilleros. *Revista Extra Viveros* (1):86-89.
- Gilabert, J., I. López y R. Pérez. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencias, análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) 164 p.
- Hayat, R. and A. Safdar. 2004. Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. *International Journal of Agriculture and Biology*.(6):998-1002.
- Henríquez, M., O. Rodríguez, F. Montero y A. Hernández. 2000. Efecto de diferentes suspensiones de cardón dato, cardón lefaria, tuna española y PAM sobre algunas propiedades físicas de un suelo de Quibor-Lara. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2000, 17:295-306.
- Henríquez, M., O. Rodríguez, F. Montero y A. Hernández. 2003. Efectos de acondicionadores naturales y sintéticos sobre los cationes solubles y la infiltración de agua en un aridisol, *Revista Brasileña de Pesquisa Agropecuaria*. 2:311-316.
- Hüttermann, A., M. Zommodi and K. Reise K. 1999. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil Tillage Res.* 50:295-304.
- Johnson, M. 1984. The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. *J. Sci. Food Agric.* 35:1 063-1 066.
- Johnson, M. and R.T. Leah. 1990. Effects of superabsorbent polyacrilamides on efficiency of water use by crop seedlings. *J. Sc. of Food Agric.* 52:431-434.
- Johnson, M. S. and C. D. Piper. 1997. Cross-linked water-storing polymers as aids to drought tolerance of tomatoes in growing media. *J. Agronomy and Crop Science*, 178:23-27.
- Lentz, R., I. Shainberg, R. Sojka and D. Carter. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 56, n. 6, p. 1 926-1 932.
- Lentz, R., R. Sojka and D. Carter. 1996. Furrow irrigation water quality effects on soils loss and infiltration. *Soil. Sci. Soc. Am. J* 60: 238-245.
- Lugo, M. 2002. Requerimientos hídricos de cultivos adaptables a las condiciones agroecológicas de la serie El Patillal. Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Falcón, Venezuela. Universidad Experimental Francisco de Miranda. Venezuela, 66 p.

- Orzolek, M., D. 1993 Use of hydrophilic polymers in horticulture. *Hort. Tech.*, 3:421-444.
- Marty, W. and P. Szot. 2001. Influence of superabsorbents on the physical properties of horticultural substrates. *Int. Agrophysics*, 1:87-94.
- Minami, S., C. S. Bueno, S. F. Blat y F. L. Cuquel. 2003. Efficiency Of A Soil Conditioner On Strawberry. *ISHS Acta Horticulture 607: In: IX International Symposium on Timing of Field Production in Vegetable Crops*.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnósticos de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Alcance 32. Revista de la Facultad de Agronomía. UCV. Maracay*. 91 p.
- Rivero, C., D. Lobo, D. López y A. Pérez. 1998. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un Alfisol degradado. *Venezuelos 6(1-2):29-33*.
- Shainberg, I., D. Warrington and N. Rengassamy. 1990. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing. *Soil Science*, 149(3):301-307.
- Sivapalan, S. 2005. Effect of Polymer on Soil Water Holding Capacity and Plant Water Use Efficiency. *The Australian society of Agronomy. Proc. 12th Aust. Agron. Conf. Hobart. www.regional.org.au/au/asa/2005*.
- Sojka, R. E. and A. Surapaneni. 2000. 'Polyacrylamides in Irrigated Agriculture'. National Program for Irrigation Research and Development.
- Specht, A. and J. Harvey-Jones. 2000. Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: the use of hydrogels to reduce leaf loss and hasten root establishment. *Forest Research 1:117-123*.
- Strebins, S. 1990. Ministerio del ambiente y de los recursos renovables capacidad de uso de las tierras del estado Falcón. (Series Informes Técnicos Zona 2/IT/312).
- Tayel, M. Y. and O. A. El Hady. 1981. Super Gel as a soil conditioner. I: Its effects on water relations. *Acta Horticulturae*, 199:247-256.
- Taylor, K. C. and R. G. Halfacre. 1986. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. *Horticultural Science*, 21(6):1.159-1.161p.
- Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stables-aggregates in soils. *Journal of Soil Science, Baltimore*, v. 33, n. 2, p. 141-163.
- Trout, T. J., R. E. Sojka and R. D. Lents. 1995. Polyacrylamide effects on furrow erosion and infiltration. *Trans ASAE 38:761-765*.
- Van Cottem, W. and D. Pattie. 2006. Integrated Soil Conditioning. IFA Agriculture Conference. Kunming, China, 27 February - 2 March 2006.
- Wright, D. and I. Raiper. 2000. An assessment of the relative effects of adverse physical and chemical properties of sodic soil on the growth and yield of wheat (*Triticum Aestivum L.*). *Plant and Soil 223, 277-285*.
- Walkley, A. y A. Black .1934. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method *Soil Sci.Soc Am. J.* 37:29-38.