

**DISEÑO DE MICROCUENCAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA *IN SITU*
CON FINES AGROPRODUCTIVOS**
***DESIGN OF MICROCUENCAS FOR THE COLLECTION OF RAIN WATER IN SITU FOR
AGROPRODUCTIVE PURPOSES***

Autores: Oscar Brown Manrique

Yurisbel Gallardo Ballat

Reinier Díaz Ruiz

Daniubis Luis Pelier

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: obrown@unica.cu

RESUMEN

El presente trabajo expone los resultados del diseño de microcuencas de captación de agua de lluvia para la producción de hierba forrajera y maíz en áreas de un pequeño productor en la comunidad de Modesto Reyes, provincia Ciego de Ávila. El balance hídrico efectuado indicó en el cultivo del maíz, la presencia de un déficit de 105,15 mm en los meses de diciembre y enero, lo que justifica la necesidad de utilizar técnicas de captación de agua pluvial en el incremento del aprovechamiento del agua para la producción agrícola. En el caso del cultivo de hierba forrajera se obtuvo un resultado muy favorable al encontrarse un superávit anual de 240,50 mm; no obstante aparecen temporadas de escasez de agua en diferentes meses dentro del período húmedo con una magnitud de 153,20 mm, lo que explica la necesidad de la captación de agua de lluvia con fines productivos. Se propone un diseño de microcuenca para el cultivo del maíz consistente en mantener la separación entre hileras tradicional de 90 cm y agregar una longitud adicional de 41,28 cm para la captación de escurrimiento, lo que proporciona un tamaño de 131,28 cm para la microcuenca. En el caso del cultivo de hierba forrajera, la microcuenca se diseña considerándose una faja de 1200 cm de longitud, obteniéndose un tamaño ajustado de 1450 cm, de los cuales 295,81 cm se destinan para la captación de escurrimiento superficial.

Palabras clave: Agua de lluvia, Balance hídrico, Escurrimiento.

ABSTRACT

This work was presented the results of the design of micro-basin of rainwater collection for the production of maize and forage grasses in areas of a small producer in the community of Modesto Reyes, province of Ciego de Avila. The water balance carried out in the cultivation of maize; indicate the presence of a deficit of 105, 15 mm in December and January, which justifies the need to used techniques of rainwater collection in the increased used of water for agriculture productions. For the cultivation of forage grasses was very favourable finding of an annual surplus of 240,50 mm; but appeared seasonal water shortages in different months within the wet period, with a magnitude of 153,20 mm, which also explains the need for rainwater collection for productive purposes. It's suggested a design of a micro-basin for the cultivation maize to maintain the traditional separation between rows of 90 cm and add an additional 41, 28 cm length to collect runoff, which provides a size of 131, 28 cm for the micro-basin. For the cultivation of forage grasses, the micro-basin is designed, considering a band of 1200 cm long, obtaining a size of 1450 cm, and 295,81 cm is used to capture runoff.

Keywords: Rain water, Balance of water, Runoff.

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales donde se desarrollan diferentes formas de vida y presentan un gran potencial de recursos naturales (Cajina, 2006); por su parte las microcuencas constituyen unidades geográficas que se agrupan según el criterio hidrológico de división del suelo asociados al recurso hídrico como escorrentía, calidad del agua, erosión hídrica, producción de sedimentos, que permiten conformar el tamaño mínimo de las microcuencas a partir del análisis de esas unidades geográficas y los aspectos específicos de la topografía (Consortio TLBG / UP, 2004).

El agua es uno de los principales recursos en las cuencas hidrográficas, siendo un elemento básico para la vida y la integración de todas las acciones a realizar en la misma (Faustino 2005); por tanto, las cuencas con déficit de recursos hídricos, presentan limitaciones para el desarrollo de los cultivos (Gómez, 2003); lo que motiva la adopción de tecnologías que sean de fácil aplicación y de bajo costo (Pacheco, 2006). La solución de los problemas de escasez de agua está relacionada con el mejor aprovechamiento de la precipitación pluvial y la utilización de sistemas de captación *in situ* del agua de lluvia que permita el incremento de la cantidad de agua disponible para las plantas (SARH – CP, 1977).

Las técnicas de microcaptación involucran conservación del suelo, aumento de la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de la sequía y mejoran el entorno ecológico (Anaya, 1976). Se basan en la modificación de la superficie natural del terreno para formar uno o más planos inclinados que induzcan la formación de escorrentía superficial, en el propio pié de la planta. Ambas áreas deben acondicionarse para que cumplan con sus objetivos eficientemente.

Para establecer un sistema de captación *in situ*, es necesario obtener información sobre la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo, las necesidades hídricas del cultivo y los recursos disponibles para establecer los diferentes sistemas de captación *in situ* que mejor puedan adaptarse a las condiciones del área de trabajo (Veenhuizen, 2000).

La producción agrícola bajo condiciones de secano se basa fundamentalmente en la relación que existe entre la cantidad de agua requerida por las plantas para su óptimo desarrollo y la cantidad de lluvia disponible, es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo, determinar los principales parámetros de diseño de las microcuencas para la captación de agua *in situ* en sistemas agrícolas para la producción de maíz y forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en un área del sector campesino, pertenecientes a un pequeño agricultor de la comunidad rural de Modesto Reyes localizada en una zona anexa a la Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA) en la provincia Ciego de Ávila (figura 1), sobre un suelo de tipo Pardo sin Carbonato (Dirección Provincial de Suelo y Fertilizantes, 2006) que presenta una pendiente media de 2.2 %, determinada mediante un levantamiento altimétrico y planimétrico en una superficie de 80 m de largo y 95 m de ancho.



Figura 1 Vista satelital del área experimental en el lado inferior izquierdo de la UNICA.

Se realizó el análisis de la precipitación pluvial a partir de una serie de 30 años, perteneciente a la estación pluviométrica CA-102 ubicada en la UCT Tomas Roig de la UNICA que se extiende desde el año 1978 hasta el año 2007 (Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH, 2007). La precipitación media es de 1379,2 mm. El año menos lluvioso fue 2004 con 433,6 mm y el más lluvioso 1988 con 1951,1 mm. La comparación de las precipitaciones por año indica que el comportamiento es irregular; pues como se muestra en la Tabla 1, se encuentran valores máximos y mínimos mensuales entre 475,3 y 0,0 mm. Desde el punto de vista anual se puede presentar un año muy lluvioso como 1988 y otros con bajas precipitaciones como en el 2004.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Medi a	24,9	30,5	52,9	54,7	44,4	54,7	60,0	66,7	73,3	80,0	86,7	93,3	1297,2
Máxi mo	77,6	111,6	292,6	224,7	442,6	475,3	299,5	290,0	378,5	364,9	234,4	189,8	1951,1

Míni														
mo	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	66,5	52,8	0,0	62,3	0,0	0,0	0,0	0,0	433,6

Tabla 1 Pluviometría promedio en mm.

Se estimó la evapotranspiración del cultivo según (Guevara Díaz, 2006) y la evapotranspiración de referencia por el Método de Hargreaves y Samani (1985), validado por Gallardo y Brown (2008) en diferentes localidades de la provincia Ciego de Ávila.

$$ET_c = K_c E_T \quad (1)$$

Donde ET_c es la evapotranspiración mensual del cultivo (mm) y K_c el coeficiente para los cultivo de maíz y forraje de hierba (Kirilova y Morales, 1984), corregido según el coeficiente del tanque evaporímetro para su adaptación a la localidad de estudio. Los resultados se exponen en la tabla 6.

Se realizó el balance hídrico mediante la comparación de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación de diseño (P) para el año del 67 % de probabilidad a través de la siguiente ecuación:

$$BHP - ET \quad (2)$$

Se determinó el tamaño de la microcuenca mediante la fórmula de Anaya *et al.*, (1976), lo que permitió definir las superficies que deben destinarse para el escurrimiento (A_e) y el almacenamiento dentro del sistema de captación *in situ*. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$T_{mc} = W + \frac{(\sum BH_i)W}{(\sum P_i)K} \quad (3)$$

Donde T_{mc} es el tamaño de la microcuenca (cm); $\sum BH_i$ la suma de los balances hídricos mensuales durante el ciclo vegetativo del cultivo; W el espaciamiento entre surcos de siembra; $\sum P_i$ la suma de las precipitaciones mensuales durante el ciclo vegetativo del cultivo y K el coeficiente de escurrimiento en el área de escurrimiento.

En el cálculo del volumen de captación de escurrimiento superficial se determinaron previamente los parámetros siguientes:

$$h = \frac{CT_{in} - CT_{fin}}{N_B} \quad (4)$$

$$CR = CT_{in} + ih \quad (5)$$

$$HB = h + ih \quad (6)$$

$$D_B = \frac{L}{N_B} \quad (7)$$

Donde h es la altura total de relleno en la microcuenca; CT_{in} la cota natural del terreno en la parte superior de la microcuenca; CT_{fin} la cota natural del terreno en la parte inferior de la microcuenca; N_B número de bordos dentro de la microcuenca; CR la cota de relleno para la conformación de los bordos; i el índice que indica el orden de cada bordo; D_B la distancia entre bordos (m) y L la longitud de la parcela (m).

En el caso del maíz que es un cultivo en hilera se calcularon los parámetros siguientes:

$$A_{mc} = D_B \cdot T_{mc} \quad (8)$$

$$V_{mc} = A_{mc} \cdot P \quad (9)$$

$$N_{mc} = \frac{a}{T_{mc}} \quad (10)$$

$$A_B = A_{mc} \cdot N_{mc} \quad (11)$$

$$V_B = V_{mc} \cdot N_{mc} \quad (12)$$

Donde A_{mc} es el área de la microcuenca (m^2); V_{mc} el volumen de la microcuenca (m^3); P la lámina de precipitación (m); N_{mc} el número de microcuencas; a el ancho de la parcela (m); V_B el volumen de captación entre bordos (m^3); A_p el área de la parcela y V_p el volumen de captación en la parcela (m^3).

Para microcuencas destinadas a la hierba forrajera, que es un cultivo tupido se utilizan las siguientes expresiones:

$$A_{mc} = a \cdot D_B \quad (13)$$

$$V_{mc} = A_B \cdot P \quad (14)$$

En ambos casos el volumen posible a captar en la parcela será:

$$A_p = a \cdot L \quad (15)$$

$$V_p = A_p \cdot P \quad (16)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance hídrico climático en el cultivo del maíz (tabla 2) muestra que, solo los meses de noviembre y febrero presentan excesos de agua con una acumulación de 61,97 mm; por ser desde el punto de vista temporal cuando existe mayor potencial de captación de agua superficial y de almacenamiento; sin embargo se produce un déficit de 105,15 mm en los meses de diciembre y enero, que son los de mayor demanda hídrica para el cultivo. En general se demuestra que en el periodo analizado no se satisface de forma natural la evapotranspiración del cultivo en la etapa crítica de su desarrollo; siendo necesaria la utilización de técnicas de captación de agua pluvial que permita incrementar el aprovechamiento del agua para la producción agrícola.

Mes	P (mm) al 67%	Kc	ETc (mm)	BH (mm)
Nov	81,00	0,38	29,91	51,09
Dic	0,00	0,76	56,77	-56,77
Ene	31,00	0,99	79,39	-48,39
Feb	76,30	0,75	65,41	10,89
Total	188,30	-	231,48	-105,15

Tabla 2 Necesidades hídricas del cultivo de maíz.

Este resultado es similar al encontrado por Gómez (2003) al comprobar que el intervalo de mayor déficit de agua o periodo seco, coincide con los periodos fenológicos de floración y fructificación en los cultivos granos básicos; recomienda captar agua en los meses con excesos hídricos para que se puedan aprovechar y compensar las necesidades de agua en la agricultura de bajo insumo.

La situación general del balance hídrico de la hierba forrajera es favorable con un superávit anual de 240,50 mm (Tabla 3); no obstante es preocupante la escasez de agua en los meses comprendidos dentro del periodo húmedo con una magnitud de 153,20 mm, que representa un promedio mensual de 30,64 mm; aunque este valor parezca pequeño su incidencia de forma permanente durante los meses de junio, julio, agosto y octubre (etapa crítica) produce un déficit de 136,75 mm; lo que justifica la necesidad de la captación de agua de lluvia con fines productivos.

Los resultados antes expuestos coinciden con Castellón (2004) al encontrar existencia de déficit o sequía en los primeros meses del año y en diferentes meses del periodo lluvioso, los cuales inciden en que no se satisfaga la evapotranspiración del cultivo y en el agotamiento de las reservas de humedad.

Mes	P (mm) al 67%	Kc	ETc (mm)	BH (mm)
Ene	31,00	0,37	24,48	6,52
Feb	76,30	0,85	60,75	15,55
Mar	292,60	0,73	68,27	224,33
Abr	67,00	0,82	83,44	-16,44
May	142,80	0,86	92,42	50,38
Jun	94,40	0,93	94,96	-0,56
Jul	77,00	0,95	105,35	-28,35
Ago	45,40	0,85	89,67	-44,27
Sep	202,00	0,80	72,03	129,97
Oct	0,00	0,80	63,57	-63,57
Nov	81,00	0,87	56,33	24,67
Dic	0,00	0,94	57,72	-57,72

Total	1109,50	-	869,00	240,50
-------	---------	---	--------	--------

Tabla 3 Necesidades hídricas de cultivos de forraje de hierba.

Con la aplicación de la fórmula de Anaya para el diseño de la microcuenca en el cultivo del maíz (Tabla 4), se observa que se mantiene la separación tradicional entre hileras (90 cm); pero se considera un mayor distanciamiento entre hileras con una longitud adicional para la captación del escurrimiento de 41,28 cm que proporciona un tamaño de 131,28 cm para la microcuenca.

En el cultivo de hierba forrajera se definió una faja de 1200 cm de longitud, obteniéndose una microcuenca con un tamaño de 1495, 81 cm. En este caso se ajusta a la distancia entre bordos de 1450 cm, de los cuales 295,81 cm se destinan para la captación de escurrimiento superficial.

Tipo de cultivo	W (cm)	$\sum BH_i$ (mm)	$\sum P_i$ (mm)	T_{mc} (cm)	Ae (cm)
Maíz	90,00	43,18	188,30	131,28	41,28
Hierba forrajera	1200,00	136,75	1109,50	1495,81	295,81

Tabla 4 Formula de Anaya para cultivos en hileras y tupido.

En la Tabla 6 y en la Figura 2 se observa que la parcela está conformada por cuatro bordos, los cuales desempeñan un importante papel en la retención de escurrimiento superficial. La construcción de esta estructura se facilita con la colocación de sacos rellenos de tierra o el uso de piedras obtenidas en la propia localidad teniendo en cuenta que la altura total de relleno en la microcuenca es de 1,00 metro.

Aunque la superficie total de la parcela es de 4350 m² se obtienen valores diferentes del área y número de microcuencas para los cultivos en hileras y tupidos, como es el caso del maíz y la hierba forrajera (Tabla 5).

Tipo de cultivo	a (m)	L (m)	D _B (m)	A _{mc} (m ²)	N _{mc}	V _{mc} (m ²)	A _p (m ²)
En hilera	75,00	58,00	14,50	19,04	57,13	1087,50	4350,00
Tupido	75,00	58,00	14,50	1087,50	1,00	1087,50	4350,00

Tabla 5 Cálculo del área de las microcuencas.

En las Tablas 6, 7 y 8 se resumen los cálculos realizados para la obtención del volumen de agua mensual y total que puede ser captado en la microcuenca y entre los bordos que conforman la parcela del área de estudio. Con estas estructuras se logra retener gran parte del escurrimiento superficial y utilizarlo para la producción agrícola.

Bordos, <i>i</i>	CT (m)	HB (m)	CR (m)
0	44,3	0,00	44,30
1	43,9	0,25	44,15
2	43,6	0,50	44,10
3	43,3	0,75	44,05
4	43	1,00	44,00

Tabla 6 Diseño de los bordos.

Mes	P (m)	V _{mc} (m ³)	V _B (m ³)
Nov	0,081	1,54	88,09
Dic	0,000	0,00	0,00
Ene	0,031	0,59	33,71
Feb	0,076	1,45	82,98
Total	0,188	3,58	68,23

Tabla 7 Captación de agua en la microcuenca para maíz.

Mes	P (m)	V _{mc} (m ³)	V _B (m ³)
Ene	0,031	0,59	33,71
Feb	0,076	1,45	82,98
Mar	0,293	5,57	318,20
Abr	0,067	1,28	72,86
May	0,143	2,72	155,30
Jun	0,094	1,80	102,66
Jul	0,077	1,47	83,74
Ago	0,045	0,86	49,37

Sep	0,202	3,85	219,68
Oct	0,000	0,00	0,00
Nov	0,081	1,54	88,09
Dic	0,000	0,00	0,00
Total anual	1,110	21,120	1206,581

Tabla 8 Captación de agua en la microcuenca para forraje de hierba.

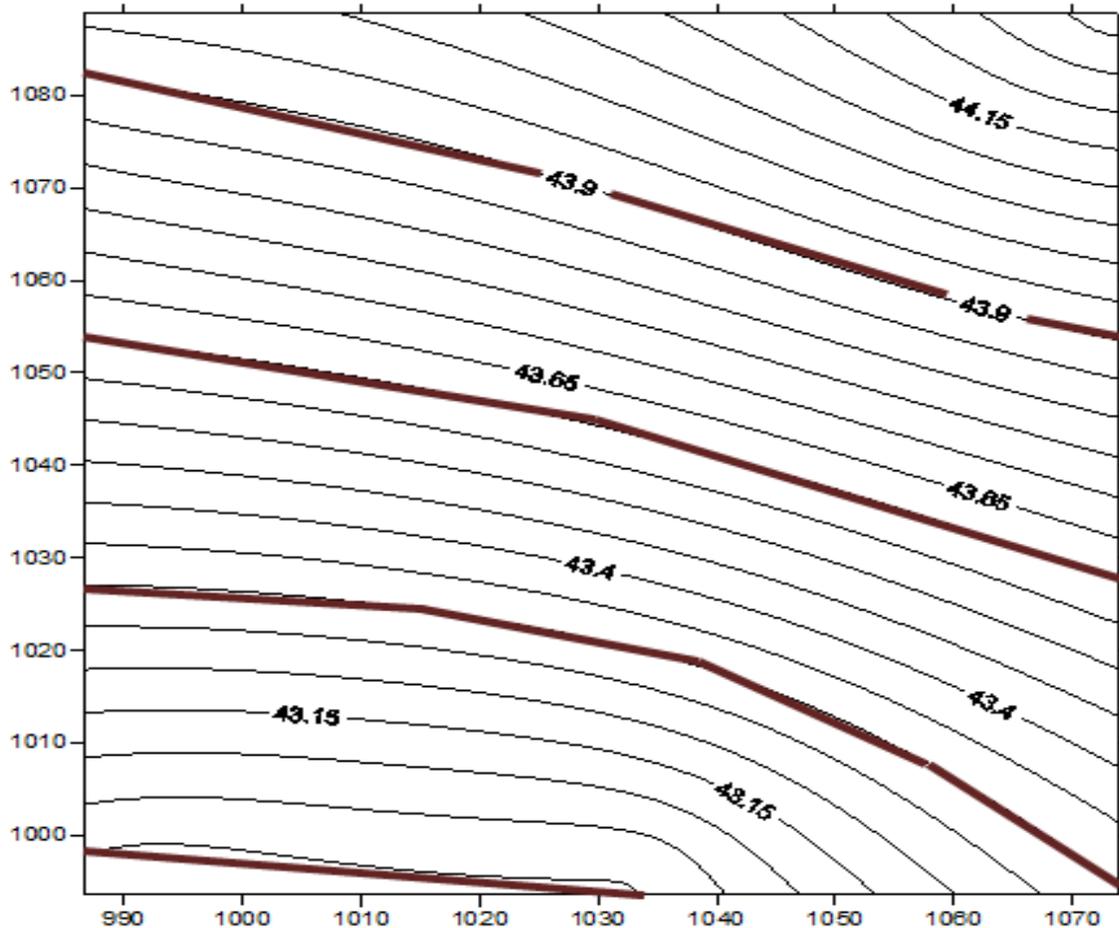


Figura 2: Disposición de los bordos.

CONCLUSIONES

El balance hídrico realizado en el cultivo del maíz presenta un déficit de 105,15 mm en los meses de diciembre y enero, que son los de mayor demanda hídrica para el cultivo, lo que justifica la necesidad de utilizar técnicas de captación de agua pluvial que permitan incrementar el aprovechamiento del agua para la producción agrícola. El balance hídrico en el caso del cultivo de forraje de hierbas es favorable al encontrarse un superávit anual de

240,50 mm; no obstante aparecen temporadas de escasez de agua en diferentes meses dentro del periodo húmedo con una magnitud de 153,20 mm, lo que también explica la necesidad de la captación de agua de lluvia con fines productivos. El diseño de microcuenca propuesto para el cultivo del maíz consiste en mantener la separación entre hileras tradicional de 90 cm y agregar una longitud adicional de 41,28 cm para la captación de escurrimiento, lo que proporciona un tamaño de 131,28 cm para la microcuenca. En la microcuenca para el cultivo de forraje de hierba se considera una faja de 1200 cm de longitud, obteniéndose un tamaño ajustado de 1450 cm, de los cuales 295,81 cm se destinan para la captación de escurrimiento superficial.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ANAYA, G.M.; TOVAR, S. Y A. MACÍAS, L.: *Métodos de captación de Lluvia para Zonas Agrícolas con Temporal Deficiente*, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 1976.
- CAJINA CANELO, M. J.: *Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes*, Nicaragua, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, pp. 227, 2006.
- CASTELLÓN, N.: *Análisis socioambiental del uso y manejo del agua en la subcuenca del Río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua*, Tesis de Master en Ciencias, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, pp. 174, 2004.
- CIRILO PACHECO, C.: *Use of Rooftops for the Growth of Organic Vegetables with Drip Irrigation in Tilapa*, 4th World Water Forum. Municipality, Puebla, México, 2006.
- CONSORCIO TLBG / UP: *Informe Final – Análisis de Escenarios de Desarrollo y Plan Indicativo de Ordenamiento Territorial Ambiental para la Región Occidental de la Cuenca del Canal de Panamá*, Ciudad de Panamá, 2004.
- DPRH: *Base de datos sobre la pluviometría de los años 1978 – 2007*, Pluviómetro CA- 102, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba, 2007.
- Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes: *Informe de suelos 1:25 000 de la provincia*, Ciego de Ávila, Cuba, 2006.
- FAUSTINO, J.: *Manejo integrado de cuencas hidrográficas. Manejo, gestión y cogestión de cuencas*, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, pp.165, 2005.

- GALLARDO, Y. Y BROWN, O.: *Evaluación de diferentes modelos empíricos para el estudio de la evapotranspiración potencial en la localidad de júcaro, Venezuela*, VIII Conferencia Internacional Universidad de Ciego de Avila, Cuba, 2008.
- GÓMEZ, S.: *Análisis de vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del Río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua*, Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, pp. 91, 2003.
- HARGREAVES, G. H. Y SAMANI, Z.A.: *Reference crop evapotranspiration from temperature*, Applied Eng. in Agric., pp. 96-99, 1985.
- KIRILOVA, L. Y MORALES, C.: *Riego I. Manual de ejercicios prácticos*, Ministerio de Educación Superior, EIMAV, pp. 166, 1984.
- SARH- CP: *Manual de Conservación del Suelo y del Agua*, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1977.
- UNATSABAR: *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*, Lima, PE. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente); OPS (Organización Panamericana de la Salud), pp. 18, 2001.
- VEENHUIZEN, R.V. Y PRIETO-CELI, M.: *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina*, Santiago, CL. Oficina regional de la FAO, FOODAGRI SANTIAGO, pp. 224, 2000.