

## **EFFECTOS NEGATIVOS DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRIJOL EN ÁREAS DE SECANO DEL MUNICIPIO VENEZUELA, CIEGO DE ÁVILA, CUBA**

### ***NEGATIVE EFFECTS OF AGRICULTURAL DROUGHT ON THE PERFORMANCE OF BEAN CULTIVATION IN DRY AREAS OF THE VENEZUELA MUNICIPALITY, CIEGO DE ÁVILA, CUBA***

**Autores:** Dr. C. Yurisbel Gallardo Ballat<sup>1</sup>  
Dr. C. Oscar Brown Manrique<sup>2</sup>  
MS. c Michel Álvarez Tamayo<sup>3</sup>

**Instituciones:** <sup>1-2</sup> Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez  
<sup>3</sup> Empresa de Proyectos Hidráulicos de Ciego de Ávila

**Correo electrónico:** [yurisbel@unica.cu](mailto:yurisbel@unica.cu)

#### **RESUMEN**

En la presente investigación se realiza el análisis del efecto negativo de la sequía agrícola sobre el rendimiento del cultivo de Frijol. El estudio se enmarcó en un período comprendido entre los años 2000 a 2012 en áreas agrícola de secano del municipio de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila. Para la determinación de los períodos de sequía se utilizó el Índice de Sequía Agraria (ISA) el cual presenta dentro de su algoritmo matemático como variables determinantes la Evapotranspiración de Referencia (Penman Monteith FAO-1998), el déficit de humedad, la precipitación efectiva y el rendimiento agrícola. Los resultados obtenidos demuestran que los procesos de sequías agrícolas se manifiestan de en todos los ciclos del cultivo en los años estudiados afectando de manera general los rendimientos, la evaluación de fenómeno es de gran utilidad para el manejo sostenible de ecosistemas agrarios, así como el uso racional de los recurso hídricos, en aras de lograr mejores resultados productivos a mediano y corto plazo. Los resultados permitieron trazar estrategias para la aplicación de métodos de conservación del suelo y del recurso hídrico a los agricultores del área.

**Palabras clave:** Fenómeno climatológico, Pérdidas de rendimientos, Estrategias de conservación, Manejo sostenible, Índice de Sequía Agraria.

## ABSTRACTS

In the present investigation the analysis of the negative effect of the agricultural drought on the yield of the bean crop is carried out. The study was framed between 2000 and 2012 (13 years) in dry land agricultural areas of the municipality of Venezuela in the province of Ciego de Ávila. Cuba. For the determination of the periods of drought, the Agrarian Drought Index (ISA) was used, which presents, among its mathematical algorithm, the Reference Evapotranspiration (Penman Monteith FAO-1998), the moisture deficit, the effective precipitation and the agricultural yield. The results obtained show that agricultural drought processes are evident in all crop cycles in the studied years, affecting yields in general, so that the evaluation of the phenomenon is very useful for the sustainable management of agricultural ecosystems; As well as the rational use of water resources, in order to achieve better productive results in the medium and short term. The results allowed the development of strategies for the application of soil conservation and water resource management methods to farmers in the area.

**Keywords:** Climatological phenomena, Yield losses, Conservation strategies, Sustainable management, Agrarian Drought Index.

## INTRODUCCIÓN

La sequía es considerada como un fenómeno climático cíclico provocado por una reducción en la precipitación pluvial, que se manifiesta en forma lenta y afecta a personas, actividades económicas, al ambiente. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona y puede producir serios desbalances hidrológicos (Wilhite y Roger, 2005). En el sector agrícola, la sequía se refiere al déficit marcado y permanente de lluvia que reduce significativamente la producción agrícola con relación a la normal o los valores esperados para una región dada.

En este sentido diversos investigadores han propuesto que para evaluar los impactos negativos de las sequías, se debe tener en cuenta los efectos que se producen en el

área geográfica donde se presentó el fenómeno (Mayorga y Hurtado, 2006). El levantamiento realizado por Jiménez (1996) en Centroamérica en el período de 1994 a 1996, encontró que las zonas más afectadas fueron: el oriente del Salvador, el sur, oriente y sudeste de Guatemala, la región pacífica de Nicaragua, las regiones del sur, centro y occidente de Honduras, la provincia de Guanacaste en Costa Rica y Panamá. Según Croshaw, (2008) las áreas con grandes déficit de agua aumentan en el Norte de África y en el Este de Asia, pronostican que para las dos próximas décadas la población en los países en vías de desarrollo necesitará un 17% más de agua para la producción de alimentos. Las sequías y la desertificación han alcanzado el 25% del total del área de tierras del mundo y el 70% de las tierras secas a nivel global; siendo predecible la continuación de este proceso (Council, 2001).

El objetivo general de esta investigación consiste en determinar los efectos negativos sobre el rendimiento agrícola del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) utilizando el Índice de Sequía Agraria en áreas de secano del municipio de Venezuela de la provincia Ciego de Ávila, lo cual permitirá implementar estrategias para la adaptación y mitigación al fenómeno en ecosistemas agrarios.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se efectúa en un campo agrícola perteneciente a una CCS fortalecida localizada en las cercanías de la localidad de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila, (figura 1), en la misma se utiliza una serie de 13 años de precipitaciones mensuales recopiladas de los de la estación meteorológica 346 Venezuela situada en la Latitud: 21°47' (N) Longitud: 78° 47' (W) Altura: 26.39 msnm. Las variables meteorológicas empleadas fueron: Evaporación (Ev), Temperatura media (Tm), Temperatura máxima (Tmáx), Temperatura mínima (Tmín), Humedad relativa (Hr), Velocidad del viento (Vv), número efectivo de horas luz del día (n). El número máximo de horas luz del día (N) y la radiación extraterrestre (Ro) fueron determinadas de forma tabular según Allen et al., (1998), mientras en la tabla 1 se muestran los días por fase de desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*).



Figura 1. Mapa del Municipio de Venezuela

Cultivo	Inicio	Desarrollo	Medio	Final	Total	Fecha Siembra
Frijol	20	30	40	20	110	Nov

Tabla 1. Tiempo de ciclo de desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

#### Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia

El cálculo de la evapotranspiración potencial se realiza a partir del modelo de Penman-FAO 1998 (PM), (Allen et al., 1998).

$$ETP = \frac{(0.408\Delta(R_n - G)) + \left(\frac{900 \cdot g \cdot v_2}{T_m + 273}\right) * (e_s - e_a)}{\Delta + g(1 + 0.34 \cdot v_2)} \quad 2.1$$

Donde: *ETP*: Evapotranspiración Potencial (mm/d);  $T_m$ : Temperatura media del aire (C°);  $v_2$ : Velocidad del viento a dos metros de altura (m s<sup>-1</sup>);  $\Delta$ : Pendiente de la curva de tensión presión de vapor (KPa C°<sup>-1</sup>);  $R_n$ : Radiación solar neta sobre la superficie del cultivo (MJm<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>);  $G$ : Flujo calorífico (MJ/m<sup>2</sup>d);  $g$ : Constante psicométrica (KPa C°<sup>-1</sup>);  $e_s$ : Tensión de vapor saturado (KPa);  $e_a$ : Tensión de vapor actual (KPa).

#### Cálculo del coeficiente del cultivo (Kc)

Los coeficientes de cultivo se ajustaron según la metodología propuesta por FAO 56-2006. El kc inicial se calcula para los eventos promedios de humedecimiento (láminas de infiltración entre los 10 y 40 mm).

### Determinación del Kc inicial

$$Kc_{ini} = Kc_{ini}(Fig.29) + \frac{(I - 10)}{(40 - 10)} [Kc_{ini}(Fig.30) - Kc_{ini}(fig.29)] \quad 2.2$$

### Determinación del Kc medio

$$Kc_{med} = Kc_{med(cuadro 2)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad 2.3$$

Donde:  $Kc_{med(cuadro 2)}$ : Valor de  $Kc_{med}$ ;  $u_2$ : Valor medio diario de la velocidad del viento a 2 metros de altura sobre pasto para la etapa de mediados de temporada (m/s);  $HR_{min}$ : Valor medio diario de la humedad relativa mínima durante la etapa de mediados de temporada (%), siempre que cumpla la condición  $20\% \leq HR_{min} \leq 80\%$ ;  $h$ : Altura media de las plantas durante le etapa de mediados de temporada (m) para  $0.1 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$ .

### Determinación del Kc final

$$Kc_{fin} = Kc_{fin(cuadro 2)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad 2.4$$

Donde:  $Kc_{fin(cuadro 2)}$ : Valor de  $Kc_{fin}$ ;  $u_2$ : Valor medio diario de la velocidad del viento a 2 metros de altura sobre pasto para la etapa de mediados de temporada ( $\text{m s}^{-1}$ );  $HR_{min}$ : Valor medio diario de la humedad relativa mínima durante la etapa de mediados de temporada (%), siempre que cumpla la condición  $20\% \leq HR_{min} \leq 80\%$ ;  $h$ : Altura media de las plantas durante le etapa de mediados de temporada (m) para  $0.1 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$ .

### Cálculo de evapotranspiración del cultivo (ETc)

$$ETc = ETP \otimes Kc \quad 2.5$$

Donde:  $ETc$ : Evapotranspiración del cultivo ( $\text{mm/mes}$ );  $ETP$ : Evapotranspiración de referencia ( $\text{mm mes}^{-1}$ );  $Kc$ : Coeficiente climático en cada una de las etapas de los cultivos (Inicial, medio y Final).

### Cálculo del Índice de Sequía Agraria

El Índice de Sequías Agraria (*ISA*) es un nuevo índice propuesto en el presente trabajo para la evaluación de la sequía agrícola. El mismo vincula el rendimiento real de los cultivos de Plátano tabla 2.

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Plátano	157	324	311	212		201	287	204	178	165	198	278	211
o	8	8	0	5	3562	1	9	5	9	8	5	9	1

Tabla 2. Rendimiento de los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

$$ISA = KR \frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} \left( \frac{DH_c}{P_i} \right) \quad 2.6$$

$$KR = \left( \frac{R_i}{R_m} \right) \quad 2.7$$

$$DH_c = P_e - ET_c \quad 2.8$$

Donde:  $DH_c$ : Déficit de humedad del cultivo (mm);  $P_i$ : Precipitación mensual (mm);  $KR$ : Coeficiente de rendimiento del cultivo;  $R_i$ : Rendimiento anual del cultivo ( $\text{t ha}^{-1}$ );  $R_m$ : Rendimiento promedio del cultivo ( $\text{t ha}^{-1}$ );  $ET_c$ : Evapotranspiración del real del cultivo ( $\text{mm mes}^{-1}$ );  $ET_p$ : Evapotranspiración potencial del cultivo ( $\text{mm mes}^{-1}$ );  $K_c$ : Coeficiente de cultivo, depende del ciclo vegetativo;  $N_m$ : Número de meses del ciclo vegetativo del cultivo;  $P_e$ : Precipitación efectiva se calcula mediante la siguiente método el método de Savo (mm).

Para evaluar el comportamiento de la sequía agraria se utiliza la tabla 3, como se observa en ella se muestran una serie de valores los cuales clasifican el comportamiento del fenómeno de sequía agraria en los cultivos, se empleó el método del cuartil para una mejor distribución de las 5 intensidades de sequías que pueden ocurrir durante el evento climatológico.

ESCALA VALORATIVA	SEVERIDAD DE LA SEQUIA	ESCALA
< a -0,12	Extrema	EX
-0,026 a -0,119	Severa	SE
-0,0065 a -0,0259	Moderada	MO
0 a -0,00649	Ligera	LI
< 0	Sin Sequía	SS

Tabla 3. Clasificación del ISA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evapotranspiración de referencia

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración de referencia a partir del modelo de Penman Monteith FAO-1998 se muestran en el gráfico 1.

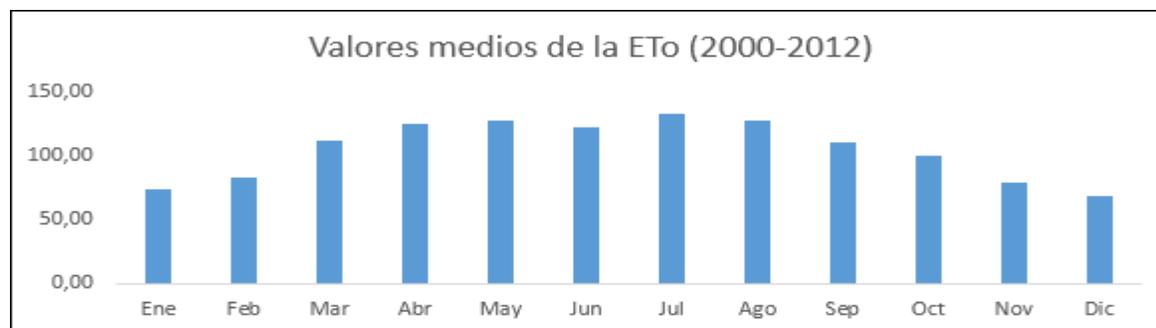


Gráfico 1. Comportamiento medio mensual de la ETP (mm/mes).

Como se observa los valores de la evapotranspiración de referencia se encuentran entre los 65 mm/mes hasta 135 mm mes<sup>-1</sup>, demostrando que no existen grandes variaciones entre los resultados obtenidos y dados los manuales de la FAO-98 (2006) para países del Caribe. Se evidencia la efectividad del método. Resultados similares han sido observados por Guevara, (2006) y Rébora, (2007) para las condiciones de Venezuela y Argentina respectivamente los cuales han recomendado la utilización del método de Penman-Monteith FAO-1998 en la estimación de la evapotranspiración a partir de datos climatológicos. Por su parte Brown et al., (2008) utilizan en investigaciones en las provincia de Ciego de Ávila, el modelo de Penman-Monteith FAO-1998 como medida de

corrección para otros modelos empíricos como el Evaporímetro Clase A, Jensen-Haise, Hargreaves-Samany y Linacre lo cual demuestra su factibilidad para este tipo de este tipo de estudio.

#### Coeficientes Climáticos de los cultivos

Los resultados de coeficiente del cultivo (Kc) calculados se ajustan a las condiciones de los cultivos en nuestro país. Al compararse con los resultados propuesto por la FAO 98 (2006) encontramos un ligero aumento del valor de estos en los en el ciclo de los cultivos, esto está directamente relacionado con los bajos valores de evapotranspiración de referencia y los altos valores de humedad relativa lo crea en la zona de estudio un microclima favorable para los cultivos de secano. El ajuste de los coeficientes de los cultivos arrojó los siguientes resultados (tablas 4).

Frijol			
Año	KCini	KCmed	KCfin
2009	0,26	1,16	0,35
2010	0,42	1,12	0,35
2012	0,31	1,09	0,32
<b>Promedio</b>	<b>0,33</b>	<b>1,13</b>	<b>0,34</b>

Tabla 4. Valores del kc cultivos de frijol.

#### Resultados de la Evapotranspiración del cultivo de frijol

El gráfico 2 muestra un comportamiento normal de la evapotranspiración del cultivo de frijol, sin embargo, mientras que el análisis de ETc contra Precipitación Efectiva demuestra que (gráfico 3) arroja que cuando se analiza este cultivo en secano, la lluvia efectiva en los últimos 13 años no ha suplido la necesidad real de los cultivos en el mes de enero solo supe el 8.25 %, 10.46 % febrero.

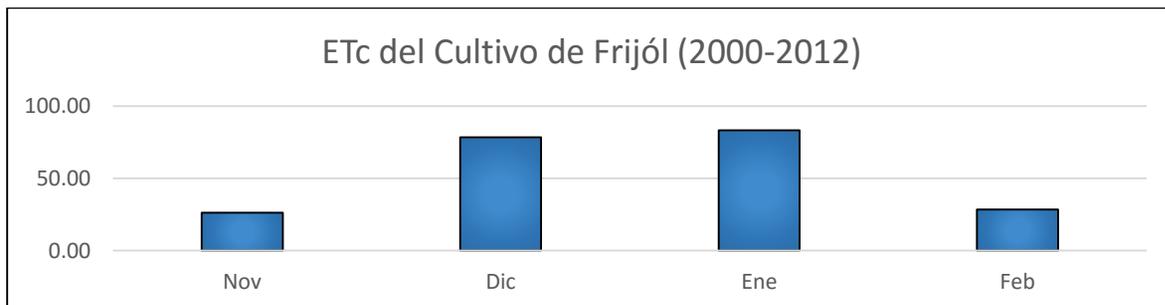


Gráfico 2. Evapotranspiración real del cultivo del fríjol (mm/mes).

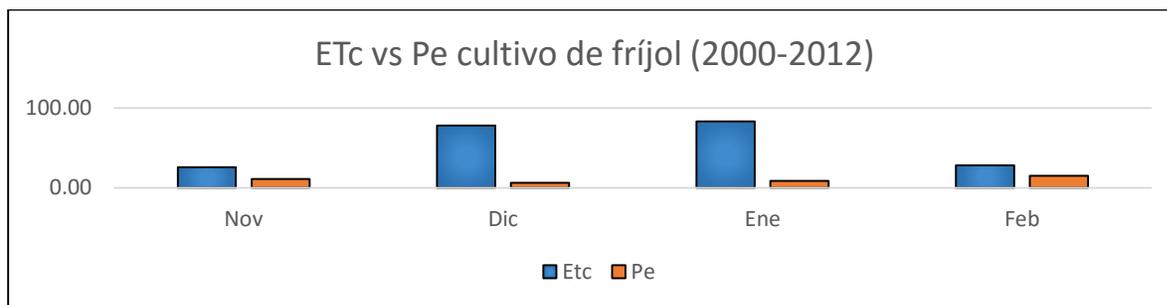


Gráfico 3. Etc. Vs pe cultivo de fríjol (2000-2012) (mm mes<sup>-1</sup>).

#### Evaluación del ISA para el cultivo del Fríjol (2000-2012)

El comportamiento mensual del Índice de Sequía Agraria (ISA) sobre los cultivos de Fríjol refleja la incidencia de este fenómeno climatológico durante los meses de enero y febrero como los de mayor severidad, (gráfico 4).



Gráfico 4. Valores del isa para el cultivo de fríjol (2000-2012).

El gráfico muestra que el meses de noviembre y diciembre han presentado en algunos años superávit del recurso agua; no obstante, han existido déficit sobre todo en los meses de enero y febrero, ver tabla 5.

Año	Ene	Feb	Nov	Dic
2000	EX	SS	EX	SE
2001	EX	EX	SE	EX
2002	EX	EX	LI	SS
2003	EX	SE	SE	EX
2004	SS	EX	SS	SS
2005	SS	EX	EX	EX
2006	EX	EX	EX	EX
2007	EX	EX	EX	EX
2008	EX	SE	SE	EX
2009	EX	SE	EX	SS
2010	EX	LI	SE	EX
2011	EX	SE	EX	SS
2012	EX	SE	EX	EX

Tabla 5. Severidad de la sequía en el cultivo de frijol período 2000-2012.

Como se puede observar en la tabla 6, en todos los años se han presentado sequías severas y extremas, que afecta considerablemente los rendimientos del cultivo ya que este es de ciclo corto.

Severidad	Ene	Feb	Nov	Dic
<b>EX</b>	84,62	46,15	53,85	61,54
<b>SE</b>	0,00	38,46	30,77	7,69
<b>MO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>LI</b>	0,00	7,69	7,69	0,00
<b>SS</b>	15,38	7,69	7,69	30,77

Tabla 6. Porcentaje de incidencia de la severidad de sequías en los meses (2000-2012).

En la tabla 6 se observa el porcentaje de la severidad de las sequías durante los meses analizados, se muestra con claridad que los meses de noviembre, diciembre y enero la mayor afectación se produce por las sequías extremas y severas.

La tabla 7 muestra la incidencia del fenómeno en cada año analizado como se puede observar las sequías del tipo extrema estuvo presente en 100 % de los años mientras que la sequía severa afecta el 66 % de los años analizados, los otros tipos de sequías no tienen gran incidencia sobre este cultivo.

<b>SEBERIDAD</b>					
<b>Años</b>	<b>EX</b>	<b>SE</b>	<b>MO</b>	<b>LI</b>	<b>SS</b>
<b>2000</b>	16,67	8,33	0,00	0,00	8,33
<b>2001</b>	25,00	8,33	0,00	0,00	0,00
<b>2002</b>	16,67	0,00	0,00	8,33	8,33
<b>2003</b>	16,67	16,67	0,00	0,00	0,00
<b>2004</b>	8,33	0,00	0,00	0,00	25,00
<b>2005</b>	25,00	0,00	0,00	0,00	8,33
<b>2006</b>	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>2007</b>	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>2008</b>	16,67	16,67	0,00	0,00	0,00
<b>2009</b>	16,67	8,33	0,00	0,00	8,33
<b>2010</b>	16,67	8,33	0,00	8,33	0,00
<b>2011</b>	16,67	8,33	0,00	0,00	8,33
<b>2012</b>	25,00	8,33	0,00	0,00	0,00

Tabla 7. Porcentaje de incidencia de la severidad de sequías en los años 2000-2012.

En tabla 8 observamos la frecuencia de las severidades de sequías en por cada año de estudios.

<b>Años</b>	<b>EX</b>	<b>SE</b>	<b>MO</b>	<b>LI</b>	<b>SS</b>
<b>2000</b>	2	1	0	0	1
<b>2001</b>	3	1	0	0	0
<b>2002</b>	2	0	0	1	1
<b>2003</b>	2	2	0	0	0
<b>2004</b>	1	0	0	0	3
<b>2005</b>	3	0	0	0	1
<b>2006</b>	4	0	0	0	0
<b>2007</b>	4	0	0	0	0
<b>2008</b>	2	2	0	0	0
<b>2009</b>	2	1	0	0	1
<b>2010</b>	2	1	0	1	0
<b>2011</b>	2	1	0	0	1
<b>2012</b>	3	1	0	0	0

*Tabla 8. Frecuencia de severidad de sequías para el cultivo de frijol (2000-2012).*

Los impactos de la sequía en el cultivo de frijol quedan evidenciado en las variaciones con tendencia a la disminución en los rendimientos, algunos investigadores como Kantolic y Slafer, (2005) comprobó que una sequía durante el período de fructificación de la Soya puede reducir drásticamente el número de granos y producir caídas en el rendimiento. Ojeda, et al., (2007) realizaron un diagnóstico de la duración e intensidad de 14 procesos de sequía agrícola en el período comprendido desde 1951 a 2005 en territorio cubano, demostrando un incremento significativo en el comportamiento del fenómeno desde la segunda mitad del siglo pasado. Las estrategias para enfrentar el impacto de las sequías en áreas agrícolas están directamente relacionadas con la atención a las producciones de los cultivos (Vargas y Cepero, 2006) y dependen de las condiciones sociales, económicas, culturales y físicas existentes en la localidad (Durán, 2002; Carbone y Piccolo, 2002).

## CONCLUSIONES

Se demuestra que el rendimiento agrícola está íntimamente ligado a los procesos de sequía sobre todo en los cultivos de secano, pues dependen únicamente del agua de lluvia, por lo que el análisis de las sequías agrícolas a partir del rendimiento nos permite conocer las áreas más propensas a este fenómeno climatológico. El índice de Sequía Agraria (ISA) permite caracterizar la sequía agrícola en la zona de estudio, se puede comprobar que existe una relación entre los períodos de sequía, la reducción de los rendimientos agrícolas y el aprovechamiento de las precipitaciones. Se evidencia que la evaluación de los procesos de sequía agrícola son de utilidad para el manejo sostenible de ecosistemas agrarios en aras de lograr mejores resultados productivos a mediana y gran escala.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. Y SMITH, M.: *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO*, Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109, 1998.
- BROWN MANRIQUE, O.; BALLAT GALLARDO, Y. Y PÉREZ DUARTE, W.: «Propuesta de nuevos índices para la evaluación de la sequía agrícola en ecosistemas agrarios», *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(4), 54-59, 2008.
- CARBONE, M.E. Y PICCOLO, M.C.: *Caracterización de las sequías en la localidad de tres arroyos (1930-1975). Aplicación del Método de Palmer*, Papeles de geografía, (36), 209-222, 2002.
- COUNCIL, A.: *Johannesburg summit on sustainable development*, Arctic Council Chair. Senior Arctic Officials 6–7 November 2002.
- CROSHAW, H. R.: *Darfur, Conflict, and Climate Change: Identifying Opportunities for Sustainable Peace* (Doctoral dissertation, Duke University), 2008.
- DURÁN, D.: *La sequía como riesgo natural. La Argentina ambiental. Naturaleza y sociedad*, Ed. Lugar, Buenos Aires, pp. 71-138, 1998.
- FAO-56.: *Instructivo técnico de la FAO. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia*, Roma, Italia. 2006.

- GUEVARA, J.M.: «Fórmula de Penman-Montheih FAO 1998, para determinar La Evaporación de Referencia» *ETo*, Vol. XXII, N° 31, pp. 32-62, 2006.
- JIMÉNEZ, U.: *Sequía en Centroamérica: Efectos y preparación para enfrentarla. In Taller ENOS y Eventos Extremos en la Región del Gran Caribe*, Secretaría General del Consejo Agropecuario Centroamericano, 1996.
- KANTOLIC, A.G. SLAFER, G.A.: *Reproductive development and yield components in indeterminate soybean as affected by post-flowering photoperiod*, *Field Crops Research*, 93(2), 212-222, 2005.
- MAYORGA, R. Y HURTADO, G.: *La sequía en Colombia. Instituto de Estudios Ambientales, IDEAM*, Bogotá, 2006.
- OJEDA, O.J.; MONTENEGRO, R.J.; ARTOLA, A.C. Y PEDROSO, B.: «Una aproximación al conocimiento de la sequía en Cuba y sus efectos en la producción agropecuaria», *Zonas Áridas*, 11(1), 85-100, 2007.
- RÉBORI, M.: *Sensibilidad de ecuaciones de Evapotranspiración en la estimación de los consumos de agua de Eucalyptus dunnii*, Instituto Nacional de tecnología agropecuaria-INTA, pp. 237-244, 2007.
- VARGAS, S.R. Y CEPERO, O.: «Impacto de la sequía sobre algunos indicadores bioproductivos de empresas ganaderas en la provincia de Sancti Spíritus», *Revista Electrónica Veterinaria*, 7(10), 15-21, 2006.
- WILHITE, D. A. Y PULWARTY, R. S.: *Drought and water crises. In Drought and water crises, Science, Technology, and Management issues*, pp. 389-398, CRC Press, 2005.