

CONVENCIÓN TROPICO 2004

Instituto de Geografía Tropical Agencia de Medio Ambiente

Análisis y Evaluación de Sequía Meteorológica en la Cuenca del Río Cauto

Autores: MSc. Ismarys C. Izaguirre Alfonso.
Técnico Xiomara Medina Almenares
Instituto de Geografía Tropical, Agencia de Medio Ambiente
La Habana, Cuba
Teléfono: 832 9786 FAX: (537)8363174
e-mail: ismary@geotech.cu

Ciudad Habana, 2004

Análisis y Evaluación de Sequía Meteorológica en la Cuenca del Río Cauto

Autores: MSc. Ismarys C. Izaguirre Alfonso.
Técnico Xiomara Medina Almenares
Instituto de Geografía Tropical, Agencia de Medio Ambiente
La Habana, Cuba
Teléfono: 832 9786 FAX: (537)8363174
e-mail: ismary@geotech.cu

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos climatológicos extremos son condiciones de las variaciones del clima que se presentan con determinada frecuencia, limitando las posibilidades productivas, recreativas u otras actividades. De acuerdo con su intensidad y frecuencia pueden llegar, a causar pérdidas de vidas humanas y daños en la economía nacional, lo cual implica dedicar cuantiosos recursos a su recuperación.

La sequía, evento extremo dentro de la variabilidad climática es un proceso de desarrollo lento con efectos generalmente de larga duración y alto costo. El déficit de agua que provoca, pone en serias dificultades a las regiones que afecta con consecuencias económicas, sociales y ecológicas indiscutibles, más severas en la medida en que se está menos preparado para afrontarlas.

La cuenca del Río Cauto (Fig. 1), la más extensa del país, debido a sus características físico geográficas y las peculiaridades geomorfológicas que posee, un relieve accidentado y también grandes llanuras, originan paisajes diferentes acompañado de un régimen pluviométrico complejo y variable en su distribución espacial y temporal que la hacen propensa al riesgo de sequía y sujetas a inundaciones de origen pluvial.

La variabilidad de las precipitaciones muestra una alternancia de períodos que da lugar a prolongadas e intensas sequías y períodos de elevada actividad pluvial, comportamiento éste que influye sensiblemente sobre la formación de los recursos hídricos y en el manejo del agua de la cuenca.

Esto requiere especial atención, por lo que resulta de mucha importancia el conocimiento de las zonas susceptibles a la ocurrencia de dichos fenómenos, así como el comportamiento de los mismos, a través de estudios sistemáticos y utilizando los métodos y técnicas más avanzados, en aras de reducir las afectaciones a cualquier sistema económico, para evitar la degradación paulatina de sus recursos naturales.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, este resultado tiene como objetivo ***“analizar y evaluar las sequías, en la cuenca del río Cauto”***.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos de los acumulados mensuales de la lluvia utilizada, es procedente de las redes hidrológicas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

En un análisis previo de la información disponible se detectó que varias estaciones, ubicadas principalmente en Granma, presentaban amplios períodos sin datos cuya deducción resultaría difícil, por ello se consideró conveniente no incluirlas en el estudio, siendo el tercio inferior de la cuenca la de menor densidad pluviométrica.

Se utilizaron 54 pluviómetros distribuidos dentro de la cuenca (Fig. 2), con una serie de 30 años (1964-1993), suficiente para el análisis de lluvia según recomienda Jansa Guardiola (1974). Este período fue escogido ya que es representativo con años húmedos, medios y secos, siendo necesario excluir el año 1963 que presenta valores extremos de la lluvia producida por el ciclón Flora y hasta el año 1993 inclusive, debido a que en años posteriores se produce una disminución en la calidad de la información.

Para validar la calidad de los datos se restituyeron los faltantes utilizando métodos estadísticos conocidos (media, mediana, ecuaciones de correlación entre equipos, etc.).

Con el fin de comprobar la homogeneidad se emplean una serie de pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas. Para las pruebas paramétricas se usaron un grupo de pruebas como Fisher, Student y Cramer y para las no paramétricas se utilizaron, Helmer, Secuencias y Mann Whitney.

Para la identificación y análisis de la sequía es necesario la utilización de métodos e índices que dependan del estudio que se realice. En este trabajo la lluvia es la fuente principal, por lo que es conveniente la utilización de índices apropiados que tengan a la lluvia como dato básico que puedan describir el fenómeno dimensionando su magnitud, severidad, duración y extensión, es por ello que para la identificación de la sequía meteorológica se utilizaron: el método de los deciles, la técnica de desviación estandarizada y la curva de distribución empírica.

El procesamiento operativo se realizó mediante los Sistemas de programas Monitor, del "Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía" (SNVS) del Instituto de Meteorología de Cuba (Lapinel, et al., 1998).

Método de los deciles:

Este método de identificación de sequía es desarrollado por Gibbs y Maher (Gibbs, W. J. 1987). Se basa en el análisis estadístico de las series de los acumulados de lluvias mediante la distribución percentilica donde emplean una clasificación adoptada internacionalmente para caracterizar el comportamiento de los acumulados mensuales de las lluvias en rangos percentílicos y de deciles:

Gibbs recomienda el empleo de la mediana (50 percentil) y otros percentiles específicos, debido a que el uso de las medias aritméticas y la desviación estándar son completamente inapropiados en el caso de algunos elementos meteorológicos, particularmente la lluvia en su distribución de frecuencia gaussiana que está lejos de lo normal en muchas regiones geográficas.

El uso del decil/percentil como índice, posee la utilidad práctica de que ellos expresan el grado de la lluvia sobre un período dado dentro de la distribución de frecuencia sin especificar la cantidad de lluvia.

Gibbs y Maher sugieren la siguiente interpretación:

<u>Clasificación en tiempo</u>	<u>Porcentaje</u>	<u>Rango decil</u>
Muy por encima de la norma	superior al 90	10
Bastante por encima de la norma	80-90	9
Por encima de la norma	70-80	8
En la norma	30-70	4-7
Por debajo de la norma	20-30	3
Bastante por debajo de la norma	10-20	2
Muy por debajo de la norma	inferior al 10	1

Identificar la sequía, particularmente precisar su inicio y fin resulta difícil, debido a los diferentes enfoques que pueden ser estudiados. Existen diferentes criterios y condiciones para establecer el umbral que se requiera. En este caso se utiliza la escala creada por el Sistema Nacional de la Vigilancia de la Sequía en Cuba donde definen cinco estados sobre la base de la escala de Gibbs y Maher y el comportamiento de las lluvias (Lapinel et al., 1998), Ausencia de sequía (AS), Condición de sequía (CS), Principio de sequía (PS), Sequía (SQ) y Fin de sequía (FS).

A cada uno de estos estados se le atribuye determinado comportamiento de los acumulados de las lluvias con relación a la norma, a los efectos de poder determinar el inicio, la intensidad, duración temporal y cese del proceso de sequía, el que deberá ser evaluado simultáneamente en la mayor cantidad de estaciones pluviométricas posibles con vistas a su adecuada caracterización espacial. (Lapinel et al., 1998).

Se entiende por Condición de Sequía (CS) cuando la cantidad acumulada de las lluvias en un mes dado es igual o menor que el umbral seleccionado de su distribución percentilica histórica (en este caso, el percentil 30 ó tope superior del tercer decil).

Se considera Principio de Sequía (PS) cuando durante dos meses consecutivos existe la CS.

Una vez iniciado un PS se considera Fin de Sequía (FS), cuando los acumulados de las lluvias rebasan al cierre del trimestre en curso, un umbral prefijado de la distribución percentilica histórica para este mismo período (percentil 40 ó tope superior del cuarto decil). En cada caso, de no rebasarse este umbral, se considerará la permanencia de Sequía (SQ).

El proceso consiste en establecer el umbral, el cual permite distinguir la situación de sequía, donde se define como condición de sequía aquellos puntos con lluvia menor o igual al 3^{er} decil. Para el fin de la sequía la norma utilizada es cuando en el cierre del trimestre el acumulado de lluvia rebasa para esos meses el 4^{to} decil, el cual se ha comprobado en la práctica que es el más cómodo y racional en cuanto a dejar un margen de sequía y para el restablecimiento de la condición de sequía.

Método de la curva integral de coeficientes modulares:

Estas curvas (procedimiento empleado por Trúsov en 1983) son utilizadas para detectar periodos de sequías y húmedos. Un periodo de sequía será aquel en que comienzan a acumularse diferencias negativas produciendo en la curva un tramo con pendiente descendente, el punto donde se inicia la acumulación de diferencias positivas corresponde al final del periodo seco y su marcha ascendente muestra los periodos de lluvia sobre la norma. Si el tramo de curva es paralelo a la horizontal, entonces, las precipitaciones coinciden con la norma.

Con este método se puede con seguridad determinar los ciclos de las precipitaciones y ayuda en el análisis cronológico de la duración y la frecuencia de la ocurrencia de la sequía por la cuenca.

El procedimiento empleado por Trúsov et al., (1983) es el siguiente:

- 1.- Ordenar los valores X_i en orden decreciente.
- 2.- Calcular el coeficiente modular $K = X_i / X_{media}$
- 3.- Obtención de una nueva serie $K-1$
- 4.- Calcular la sumatoria de los $K-1$ obtenidos $[\sum(K-1)]$
- 5.- Cada término de la sumatoria se divide entre el C_v (coeficiente de variación), con el fin de hacer comparables los valores de las lluvias en localidades de distinta variabilidad.

Anomalía estandarizada:

El cálculo del índice de anomalía estandarizada describe la dinámica de la lluvia acumulada en la cuenca y clasifica la sequía en débil, moderada y severa.

Se calcula siguiendo el procedimiento utilizado por Ogallo (1984), (Lapinel, et al., 1998).
donde:

$$Z_{ij} = (X_{ij} - X_j) / S_j,$$

Siendo:

X_{ij} : total acumulado del período de análisis de la estación j en el año i

X_j : media del período

S_j : desviación standard del período

Los rangos de las anomalías negativas (no significativas, moderadas o severas) se definen multiplicando el cociente X_j / S_j por los coeficientes $K_{m\acute{a}x}$ y $K_{m\acute{i}n}$, de tal modo que:

$$Z_{ij} \geq - K_{m\acute{a}x} \cdot (X_j / S_j) \text{ (sequía débil o no significativa)}$$

$$- K_{m\acute{i}n} (X_j / S_j) \leq Z_{ij} < - K_{m\acute{a}x} (X_j / S_j) \text{ (sequía moderada)}$$

$$Z_{ij} < - K_{m\acute{i}n} (X_j / S_j) \text{ (sequía severa)}$$

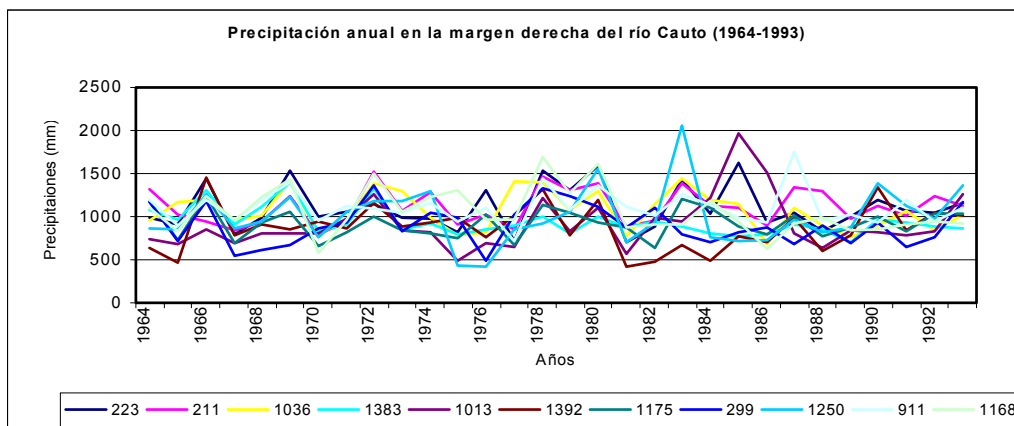
Los coeficientes empleados para definir los umbrales en el presente trabajo son:

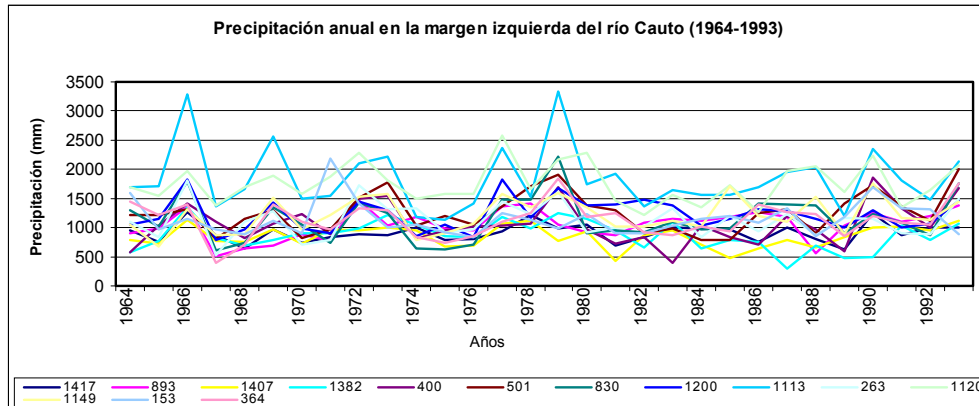
- 0.15 ($K_{m\acute{a}x}$) y - 0.30 ($K_{m\acute{i}n}$).

Resultado: Identificación y análisis de la sequía.

De acuerdo con la situación geográfica, las condiciones climáticas y el comportamiento espacial no uniforme de la lluvia, en la cuenca se definen zonas húmedas y secas (Gráficos 1 y 2). Según el comportamiento anual de la lluvia se observa, que en el área de la margen izquierda del Río Cauto la humedad es mayor con relación a la margen derecha. La margen izquierda presenta valores medios superiores a 1500 mm, mientras que en la margen derecha los valores medios resultan entre 500 y 1500 mm.

Gráf. 1 y 2- Precipitación anual en el Río Cauto (1964-1993)





En general en ambos gráficos, tanto para la margen derecha como para la izquierda presentan una distribución similar.

Las partes más húmedas están asociados a las regiones con mayor altitud de la Sierra Maestra, con los mayores aportes en la parte montañosa de los afluentes Bayamo, Cautillo y Contra maestre.

Las magnitudes de los acumulados medios anuales en los pluviómetros de la cuenca, oscilan entre 827 mm y 1834 mm, con una lluvia media anual de 1136 mm calculada por el método aritmético. Por otra parte, los coeficientes de variación se encuentran entre 0,14 y 0,40.

En el Anexo 1 se presentan algunos parámetros principales de las lluvias en cada punto estudiado, tales como acumulado anual y coeficiente de variación.

Para la identificación de la sequía se utiliza la técnica del decil, una muestra de estos resultados se aprecia en el ejemplo que aparece en el Anexo 2

Siguiendo con la metodología en el análisis de los resultados encontramos que en el período de estudio han ocurrido sequías de diferentes magnitudes y duraciones, siendo los meses de mayor probabilidad de ocurrencia, enero, julio y diciembre, también con una alta probabilidad los meses de febrero, abril, junio y noviembre.

Los meses de enero, febrero, abril y diciembre pertenecen al período menos lluvioso, lo cual corresponde a una sequía estacional típica de Cuba, país tropical, donde se tiene una temporada menos lluviosa bien definida de noviembre a abril, que sigue a un período con lluvias de mayo a octubre.

Los meses de junio y julio son meses de la temporada lluviosa por lo que estamos en presencia de una sequía de tipo intraestival o de medio verano, que tiene lugar cuando se produce una disminución de las lluvias durante el período lluvioso. Esta última

resulta desfavorable ya que en estos meses de precipitaciones se espera una recuperación de los embalses, almacenamiento de agua en los suelos, etc.

El mes más probable para el inicio de la sequía es enero, este mes tiene una alta frecuencia para todo el territorio en general.

Un período prolongado con bajos acumulados de lluvia trae consigo afectaciones a los recursos hídricos, el agotamiento más rápido de la reserva hídrica del suelo y a su vez trae daños conocidos a la agricultura con bajos rendimientos de los cultivos.

En la cuenca la duración más probable es de 3 y 4 meses consecutivos con sequía, la tabla 1 muestra los meses consecutivos con sequías en pluviómetros seleccionados.

Tabla 1. Probabilidad (%) de períodos de meses consecutivos con sequía.

meses	Períodos de meses consecutivos con sequía.					
	2 meses	3 meses	4 meses	5 meses	≥6 meses	≥10 meses
%	12.4	27.4	25.2	11.7	20	3.3

En la zona centro y noroeste de la cuenca los acumulados de lluvias tuvieron mayor afectación por períodos de sequías superiores a 6 meses consecutivos. En la margen derecha de la cuenca es mayor la cantidad de meses consecutivos con sequía que en la margen izquierda.

En los resultados de los valores anuales (Anexo 3) se aprecia que los años más afectados por sequías son: 1965, 1967, 1970, 1975, 1981, 1986, 1988, estos años coinciden en casi todos los puntos de estudio de la cuenca.

Por otra parte existen otros años que fueron afectados que al analizar la sequía dentro de un corto período estacional se presentan situaciones en que los años se compensan los déficit de lluvia con los excesos, donde se tienen procesos de sequías severos en periodo lluvioso y grandes acumulados de lluvia en el período poco lluvioso (Tablas 2).

Tabla 2. Comportamiento de los acumulados mensuales de las lluvias en los años hidrológicos 1981-1982, 1988-1989, 1992-1993 expresados en rangos deciles.

Años	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1981-1982	1	9	1	1	7	1	7	6	5	10	10	3
1988-1989	1	2	2	9	3	1	7	10	6	10	4	7
1992-1993	2	1	3	7	8	3	10	9	10	10	8	2

Los gráficos de las curvas integrales (Anexo 4) muestran que en la margen derecha del Cauto comienza a partir de 1986 y hasta 1993 un carácter en sentido general decreciente con valores por debajo de la norma o muy cercanos a ella, comportándose igual que en el período de 1970 al 1977, ambos períodos con 7 años de duración.

Sin embargo, en la margen izquierda hay un crecimiento en los últimos 5 años (Anexo 5), donde se destaca además períodos de sequías que han ocurrido en los años 1972-1976, 1980-1986 principalmente en la zona sureste de la cuenca.

Los ejemplos de los gráficos que aparecen en el Anexo 6 representan los valores modulares anuales que muestran los déficit débiles (D), moderados (M) y severos (S).

El fenómeno como tal está presente en toda la cuenca. La sequía que más se evidencia es la sequía débil, teniendo la sequía moderada y severa una probabilidad de 27.6 % encontrándose en puntos de estudio aislados, siendo las zonas noroeste y centro de la cuenca las más afectadas.

Al comparar dos escenarios de estudio de igual periodos de 15 años cada uno, uno del 1964 al 1978 y el otro más reciente del 1979-1993 se observa que los déficit moderados y severos tuvieron, aunque con poca diferencia una mayor frecuencia que en el segundo período con 51 %, mientras que en el primero fue de un 48 %.

La repetibilidad de sequías en la cuenca del Río Cauto se encuentra entre los valores de 15% al 35%. En su distribución espacial, la menor probabilidad de ocurrencia de sequías (<20%) se corresponde con la zona más elevada de la Sierra Maestra y Contramaestre, aumentando hacia el norte de la cuenca, encontrándose el máximo hacia el noroeste con 35 %. Otro máximo lo encontramos en el noreste de la cuenca (Fig.3).

CONCLUSIONES

1. En la cuenca el mes más probable para el inicio de la sequía es enero y la mayor probabilidad de duración es de 3 y 4 meses consecutivos. Las zonas centro y noroeste de la cuenca fueron las de mayor afectación por períodos de sequías superiores a 6 meses consecutivos.
2. La sequía severa no tiene grandes probabilidades de ocurrencia, cada cuatro años tiene una probabilidad de producirse entre 15 y 35 % siendo la zona más afectada el noroeste de la cuenca.
3. En los resultados de los valores anuales se aprecia que los años más afectados por sequías son: 1965, 1967, 1970, 1975, 1981, 1986, 1988, estos años coinciden en casi todos los puntos de estudio de la cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barranco, G; et al. (1997): Cuenca hidrográfica del río Cauto. Diagnóstico ambiental integral para un manejo sostenible. Informe de resultado. Instituto de Geografía Tropical. La Habana, 102 pp.
2. Díaz A. (1972): Evaluación de procesos hidrológicos: La sequía. Revista Voluntad Hidráulica. La Habana, No.23, p. 3-11.
3. Díaz, L.R, Celeiro, M., Batista, J.L. (1996): Metodología cuantitativa para la determinación de sequías en un territorio. Rev. Mapping, No.32, Madrid, p.74-76.
4. Escalante C. y L. Reyes. (1998): Identificación y análisis de sequía en la región hidrológica No. 10. Sinaloa. Rev. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. 13, 2: 23-43.
5. Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (1990):Desarrollo científico-técnico de la Defensa Civil. Conferencia, 45 pp.
6. Flores I, y A. Campos. (1998): Detección de períodos de sequía en la zona media del estado de San Luis de Potosí, con base en registros de precipitación mensual. Rev. Ingeniería Hidráulica en México. Vol 13, 2: 45-56.
7. Fuentes, S. A; N. Castellanos y J. P. Veli (1997): El proceso de la desertificación y la Sequía en Cuba. (plegable). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, y Ministerio de la Agricultura, Instituto Nacional de Suelos y Fertilizantes. III Conferencia Regional de América Latina y el Caribe sobre la Convención de Lucha Contra La Desertificación. La Habana.
8. Gibbs, W. J. (1987): A drought watch system. WMO/TD-No 193 World Meteorological Organization. pág. 23
9. Gibbs, W. J. and J. V. Maher, 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin*, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
10. Guardiola, J. (1974): Curso de Climatología. Instituto cubano del libro, La Habana, 445 pp.
11. Herbst, P.H. (1966): A technique in the evaluation of drought from rainfall data. *Journal Hidrology* . 4(3) pp.262-272.
12. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía e Instituto de Meteorología (1987): Atlas Climático de Cuba. Edit. Instituto de Geodesia y Cartografía. La Habana, 207 pp.
13. Instituto de Geografía (1989): Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Editora: Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid.
14. Kenneth; F.H (1985): Sequía, Variación Climática y Desertificación. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza, 35pp.
15. Lapinel B.(1993): La sequía en Cuba: análisis del período 1931-1990. INSMET. La Habana.
16. Lapinel B; et.al. (1998): Sequías, aridez y desertificación; terminos de

- referencia. Versión del sistema nacional de vigilancia de la sequía. INSMET. La Habana.
17. Lapinel B; et.al. (2000): Interconexión entre eventos en la categoría de forzamiento climático y la ocurrencia de sequías en Cuba. Informe de resultado. INSMET. La Habana, 52 pp.
 18. Lapinel B. y J. Huerta. (1999): Indicativo de sequía para los municipios de las provincias orientales. INSMET y CENHICA. La Habana, 8 pp.
 19. López B. (2003): Diagnóstico cuenca hidrográfica del río Cauto. Provincia Holguín. (Trabajo de curso, inédito), 24 pp.
 20. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente., CIGEA (2000): Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en la República de Cuba. FAO-CITMA. 137 pp.
 21. Ogallo J. (1984): Climate variations, drought an desertification.
 22. OMM N° 906 (1999): Sistemas de alertas tempranas para casos de sequía y desertificación. Ginebra. P. 3-4.
 23. Programa Mundial de Alimentos (PMA); Instituto de Planificación Física (IPF) (2001): Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Cuba. Ed. PMA en Cuba, capítulo III, Análisi de los factores de riesgo, pp 57
 24. Rivero, R; B.Lapinel y R.R. Rivero (1995): Mapas de Radiación, Evapotranspiración Potencial e Índice de aridez para Cuba[Inédito]. Centro Meteorológico de Camagüey, Cuba, 20pp,15 pp sp.
 25. Sánchez M. et-al.(1997): Delimitación de las subcuencas del Cauto y su caracterización morfométrica., Inédito, 15 pp.
 26. Sánchez S. (2001): Índices de evaluación de las sequías operativas útiles en un sistema de recursos hídricos. México.

 27. Solano O., R. Vázquez, B. Lapinel, T. Gutiérrez, C. Menéndez, y V. Cutié. (1999): Impacto en el sector agropecuario de la sequía. INSMET. La Habana. 19 pp.
 28. Suárez E. (1994): Manejo de los recursos hídricos en zonas áridas y en condiciones de sequía. INRH/CENHICA. Ciudad de La Habana.

 29. Trusov I., A. Izquierdo, L. R. Díaz. (1983): Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geografía, 150 pp.
 30. UNDRO (1992): Drought emergency in Southern Africa. May-June, 24 pp.
 31. UNESCO (1984): El clima , la sequía y la desertificación. Revista La Naturaleza y sus Recursos, vol.XX, No.1.
 32. Wilches-Chaux, G.(1989): "La vulnerabilidad Global. Publicado en Desastres, ecologismo y formación profesional". Cap. II, SENA, Colombia, 50 pp.
 33. WMO N° 819. (1995): The global Climate Sistem Review. p.39-46.

