

Aplicación del Programa MONITOR en el Análisis de la Sequía y su Influencia en los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Cacoyugüín

Autor: MSc. ISMARYS C. IZAGUIRRE ALFONSO. E-mail: ismary@geotech.co GEOCUBA.

Resumen

La sequía es uno de los fenómenos naturales más nefasto, su ocurrencia y persistencia son cada vez más catastróficas en todo el planeta tierra. En Cuba este proceso en los últimos años se ha venido incrementando, la frecuencia de años con déficit moderados y severos en los acumulados de las lluvias se han duplicado, se ha reducido el período de retorno, con un aumento simultáneo de la persistencia.

Su total comprensión, evaluación y afrontamiento son elementos de mucha importancia al considerar el riesgo que constituye para todas las actividades socioeconómicas que se desarrollan en cada región del país, trayendo consigo impactos negativos a diversos sectores entre los que se encuentran daños irreversibles que conducen a la degradación de los recursos hídricos y a la desertificación.

Este trabajo tiene como objetivo analizar y evaluar el comportamiento de la sequía, aplicando para ello el Programa Monitor, que incluye diferentes índices que permiten identificar el inicio, duración, severidad y extensión de la sequía en términos hidrometeorológicos en la cuenca Cacoyugüín y así conocer los impactos ocasionados al sector hídrico.

A través de los resultados de identificación y análisis de la sequía y de los impactos ocasionados al sector hídrico por la sequía, se pueden establecer medidas específicas que permitan a los tomadores de decisiones mitigar los efectos negativos de la misma y reducir el riesgo por tal evento extremo.

Palabras clave: sequía, decil, precipitación, escurrimiento, recursos hídricos.

Introducción

La sequía, como evento extremo dentro de la variabilidad climática de gran magnitud y catastrófica en la naturaleza, ha afectado de manera creciente diversas partes del planeta tierra. El riesgo de la sequía constituye un elemento de mucha importancia a tomar en consideración por todas las actividades socioeconómicas que se desarrollan en el país debido a su influencia en lo económico, social y ambiental que es indiscutible. Hasta ahora se puede hacer poco para evitar la sequía, pero se cuenta con la capacidad de reducir al mínimo sus efectos, mediante los sistemas de vigilancia y alerta temprana, pronósticos para una mejor comprensión del fenómeno y tomando oportunas medidas necesarias, antes y durante el avance del proceso.

Definir la sequía resulta difícil debido a los diferentes enfoques que puede ser estudiada y al impacto ocasionado estableciéndose así las sequías meteorológicas, las hidrológicas, las agrícolas, social y económica.

En 1992, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) definió la Sequía como: «un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, y suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico. (OMM No 82, 1992).

En numerosas ocasiones, cuando el agua escasea se le atribuye el fenómeno a las condiciones meteorológicas, como las más inmediatas (Lapinel, 1998).

- Escasez de núcleos de condensación.
- Falta humedad atmosférica.
- Baja presencia o características desfavorable de sistemas organizados productores de lluvia.
- Fuertes subsistencia de masas originadas por la presencia de sistemas anticiclónicas atípicas de la región en cuestión.

Pero hay un conjunto de razones, muchas de las cuales son atribuibles exclusivamente a la mala gestión del hombre, que provocan que no siempre esté disponible el agua cuando se necesita en la cantidad y la calidad adecuada. Entre ellas se pueden mencionar de manera general las afectaciones de la superficie de la cuenca, la degradación de la tierra y la deforestación, transformación de cauces, las malas prácticas agrícolas, uso irracional y mal manejo del agua, así como el crecimiento demográfico, asociado directamente al problema de contaminación y que también restringe la cantidad y la calidad de este recurso.

Entre los graves problemas que trae consigo está la disminución de la cantidad de agua acumulada para el consumo humano, industrial, animal y para los

cultivos, el aumento de la posibilidad de contraer enfermedades infecciosas, la salinización de las tierras, la erosión de los suelos, el aumento del riesgo de incendios forestales, la disminución de la producción de alimentos y el deterioro ambiental. Tal fenómeno es la causa directa del hambre que provoca la muerte a cientos de miles de personas, la desestabilización de la sociedad y el cese de las actividades económicas.

Tomando en cuenta los anteriores aspectos señalados acerca de la problemática de la sequía, este trabajo tiene como objetivo principal, evaluar el comportamiento de la sequía y su influencia en los

recursos hídricos en la cuenca Cacoyugüín utilizando el programa Monitor para identificar la sequía precisando su inicio, duración, severidad y extensión mediante parámetros hidrometeorológicos específicamente la lluvia y el escurrimiento.

La cuenca Cacoyugüín, ubicada al norte de la Provincia de Holguín, con un área de 239.8 Km² abarca parte del centro del municipio de Gibara y una pequeña parte del norte del municipio de Holguín. La región limita por el sur con la cuenca del Cauto, en el este con la cuenca de Gibara y por su lado oeste con la cuenca Vegas de Mano y Chaparra (Fig. 1).

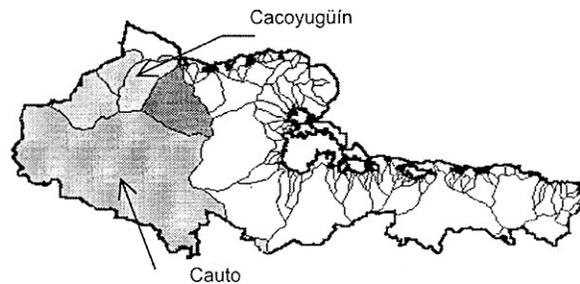


Fig.1 Ubicación de la cuenca Cacoyugüín en la Provincia Holguín

Esta cuenca es ejemplo de una zona afectada por intensa sequía, de ambiente seco y subhúmedo seco, caracterizada por marcadas diferencias en las condiciones climatológicas, se encuentra en el extremo oriental de la región llanuras y alturas de Maniabón según la división de regiones naturales (MINAGRI. 1997) En esa región que el grado de asociación del escurrimiento fluvial, las precipitaciones y los parámetros fisiográficos se caracterizan por su homogeneidad y estabilidad en el tiempo

Materiales y Métodos

Las informaciones mensuales de precipitación y de escurrimiento utilizadas en este trabajo son procedentes de las redes hidrológicas del Instituto

Nacional de Recursos Hidráulicos, de donde fueron obtenidos y actualizados por la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos de Holguín.

Se utilizaron pluviómetros distribuidos dentro y cercano a la cuenca (Fig. 2) con una serie de 30 años (1971-2000) y los valores de escurrimiento fueron observados en la estación de aforo Dos de Diciembre desde 1980 hasta 1996 para un periodo de análisis de 17 años.

Para validar la calidad de los datos se restituyeron los faltantes utilizando métodos estadísticos conocidos (media, mediana, ecuaciones de correlación entre equipos, etc.), y se comprobó la homogeneidad con una serie de pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas como Fisher, Student y Cramer y Helmer, Secuencias y Mann Whitney.

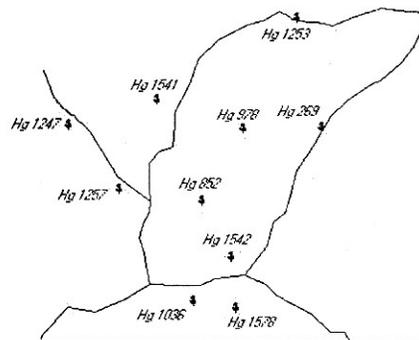


Fig. 2. Ubicación de los pluviómetros en la cuenca Cacoyugüín

El procesamiento operativo se realizó mediante el Sistema del programa Monitor, del «Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía» (SNVS) del Instituto de Meteorología de Cuba (Lapinel, et al., 1998). Este programa incluye el índice de los deciles, la técnica de desviación estandarizada y la curva de distribución empírica.

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 percentilicos 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.

Así mismo, el uso del décil/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 en 1957 (WMO, 1997) sugieren la siguiente interpretación:

Clasificación en tiempo	Porcentaje	Rango decil
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

El Instituto de Meteorología (INSMET), en su Sistema Nacional de Vigilancia del clima (SNVC), sobre la base de esta escala y el comportamiento de las lluvias, define cinco estados: 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, (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.

Se considera Principio de Sequía (PS) cuando durante dos o tres meses consecutivos (según se elija) concierne el CS.

Una vez iniciado un PS se utilizan tres posibles variantes de Fin de Sequía (FS), en este caso se seleccionó la que los acumulados de las lluvias rebasen o no el cierre del trimestre del umbral prefijado de la distribución percentilica histórica para ese período. En caso, de no rebasarse este umbral, se considerará la Permanencia de Sequía (SQ).

Método de la curva integral de coeficientes modulares:

Estas curvas 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.

Índice de 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 en dependencia los niveles del coeficientes establecidos $K_{mín} = -0.30$ y el $K_{máx} = -0.15$.

Se calcula según el procedimiento utilizado por Ogallo (1984)

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

Siendo:

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

X_j : media del periodo

S_j : desviación estandarizada

Los rangos de las anomalías negativas (no significativas, moderadas o severas) se precisan multiplicando el coeficiente X_i/S_j por los coeficientes $K_{máx}$ y $K_{mín}$ que se desean emplear, de tal modo que.

$Z_{ij} > -K_{máx} X_i/S_j$ sequía débil o no significativa

$-K_{mín} X_i/S_j < Z_{ij} < -K_{máx} X_i/S_j$ sequía moderada

$Z_{ij} < -K_{mín} X_i/S_j$ Sequía severa

Análisis de los resultados

En un análisis previo de la información pluviométrica se comprobó que la precipitación media anual de la cuenca es de 1027 mm calculada por el método aritmético y un coeficiente de variación de 0.25. Su comportamiento temporal a lo largo de los meses en la cuenca demuestra la existencia de los periodos húmedos, entre mayo y octubre y seco, entre noviembre y abril (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución mensual y por periodos del año hidrológico de la lluvia promedio o norma.

Po mm	Desv Est.	Cv	Distribución endoanual													Año Hidrol.	
			mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PH	PS
			mm	47	45	42	56	128	127	67	99	123	146	92	55	690	337
1027	238	0.25	%	4,58	4,4	4,1	5,5	12	12	6,5	9,6	12	14	9	5,4	67	33

Fuente: El autor

Octubre resulta el mes más lluvioso del período húmedo (mayo-octubre) y del año, con 146 mm. Este valor representa el 14.2 % de la lluvia hiperanual, seguido del mes de mayo y junio con 128 y 127 respectivamente que corresponde al 12 % cada uno, Marzo es el mes más seco, con sólo el 4.1 % de la norma, le siguen febrero con el 4.4.

La lluvia repercute en el comportamiento del escurrimiento superficial que tampoco es uniforme, ni espacial ni temporalmente. Con el escurrimiento medio de la cuenca de 0.72 m³/s.

Técnica del decil.

El anexo 1 muestra un ejemplo de los acumulados normales de las lluvias en rangos decílicos mensuales en uno de los pluviómetros de estudio para el proceso de identificación de la sequía. A partir de tales resultados se puede indicar cuando estamos en presencia de sequía, su inicio, duración, extensión y severidad.

Realizando un análisis general de los resultados obtenidos mediante la información de las estaciones observadas se puede comentar los siguientes resultados.

En el período de estudio por la cuenca han ocurrido gran cantidad de intensas sequías de diferentes potencialidades y duración. Las mayores ocurrencias se destacan en los meses abril y julio, los más afectados por presentar baja pluviosidad.

Las probabilidades mayores de que la sequía inicie en un mes en particular son enero (10.7 %), febrero (12.3 %) y julio (11.7 %). El mes más probable para iniciar una sequía en la cuenca es febrero y julio.

Con relación a la duración de la sequía, la duración más probable oscila entre 3 y 4 meses consecutivos. La probabilidad de la duración de la sequía en la temporada seca es mayor que en la temporada húmeda.

La severidad de la sequía se determina por los valores decílicos. La magnitud promedio es de 4 al 6 decil, valores estos caracterizado por estar cerca de la norma.

A partir de tales resultados se puede indicar los años de sequías más afectados y definir el área y la severidad de estas en la cuenca.

De acuerdo con la situación geográfica de las estaciones, la zona más afectada por la sequía es la parte sur de la región de estudio y los años más críticos donde coinciden casi todos los pluviómetros son 1976, 1981, 1986, 1989, 1991, 1992, 1997.

Al establecer dos escenarios de estudio, uno desde 1971 al 1985 y el otro del 1986 al 2001, se ve una mayor persistencia del fenómeno de sequía en el periodo del 86 al 2001 que del 71 al 1985. El periodo de retorno se reduce de 4 a 2 años y la frecuencia de años con déficit de lluvias aumento de 3 a 4 veces cada 15 año.

Resultados decilicos para los datos de escurrimiento

Con el objetivo de mostrar los procesos de identificación desde el punto de vista hidrológico se tomaron los volúmenes de escurrimiento mensual registrados en la estación de aforo Dos de diciembre.

En el análisis del procesamiento del escurrimiento por el método de los deciles se obtuvo como resultado que el mes más probable para el inicio de una sequía es junio.

La duración promedio es de 3 meses consecutivos viéndose con frecuencia de un 25 % de probabilidad que dure de 10 a más meses consecutivo y seguir afectando los años próximos y la ocurrencia de bajos niveles de escurrimiento se presenta en los meses de enero, febrero y agosto.

En los años 1975 - 1976, 1981, 1986, 1989 y 1997 se registraron condiciones bastante desfavorable en la lluvia que incidieron con los bajos escurrimientos de los años 1975, 1981. Desde el 1985 al 1989, el 1991 y 1994 se desarrollaron procesos de sequías hidrológicas establecidos para todo el país específicamente para la parte oriental.

Curvas integrales de las precipitaciones anuales.

En las fluctuaciones hiperanuales de los registros de precipitaciones recopiladas desde 1971, se observa una tendencia de algún carácter cíclico, que incluye períodos húmedos y secos con duraciones entre 9 y 10 años, citando como ejemplo lo observado en la zona noroeste de la cuenca figura 3 que muestra la curva integral promedio de las precipitaciones, donde desde 1971 a 1985 se presentan 15 años con un carácter en sentido general húmedo y desde 1986 a 2001 hay 15 años con una tendencia a un período seco.

Después de un análisis de forma general en la variedad que se representan en las curvas de precipitaciones en la cuenca de estudio se observa claramente una tendencia de disminución de las lluvias a partir del año 1985.

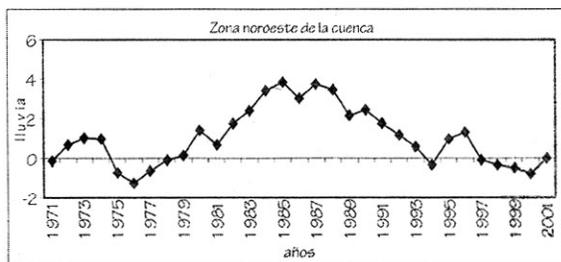


Fig. 3. Curvas integral en la zona noroeste de la cuenca.

Con relación al comportamiento del escurrimiento directamente proporcional a la lluvia, se puede apreciar un decrecimiento de este a partir del 1986 hasta 1994, aunque en el año 1995 comienza un ascenso en la curva de forma general en esos últimos años hay una tendencia a la disminución del escurrimiento. (Fig. 4).

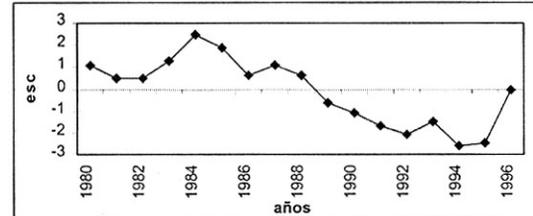


Fig. 4. Curvas integral para el escurrimiento en la cuenca.

Índice de intensidad anual de la sequía

La fig. 5 muestra un ejemplo de la representación de los valores modulares anuales en la zona sur de la cuenca de estudio. Estos describen la dinámica de las láminas de lluvia acumuladas en la cuenca en el período 1971-2000 y clasifican la sequía en débil, moderada y severa en dependencia de los coeficientes antes establecidos.

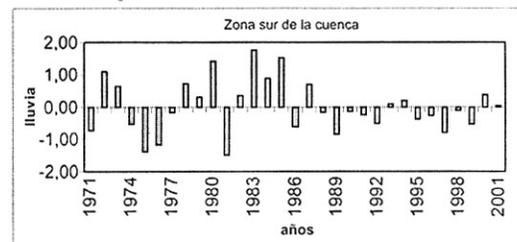


Fig. 5. Valores modulares de las láminas de lluvia anuales en la zona Sur de la cuenca

De manera que en el análisis en este período los registros identifican un cambio brusco en el régimen de las precipitaciones a partir del año 1985 y se observa una tendencia al aumento de años consecutivos por debajo del valor promedio de la cuenca..

A modo de resumen, la tabla 2, detalla el comportamiento anual de las desviaciones de la lluvia con respecto al valor promedio hiperanual o norma de la cuenca y la categoría que corresponde cada año sobre la base de las desviaciones anuales de la lluvia.

Tabla 2. Años afectados por los distintos tipos de sequías

Tipo de sequía	Año afectados
Sequía débil	1972, 1979, 1982 - 1985, 1993, 1995, 2001
Sequía moderada	1971, 1973 - 1974, 1976 - 1978, 1987 - 1988, 1990 - 1992, 1994, 1996 - 2000
Sequía severa	1975, 1981, 1986, 1989

Recursos hidráulicos.

Caracterización de los Recursos Hídricos en la Cuenca

En la cuenca se encuentra dos embalses principales, la presa Cacoyugüín y la presa Santa Clara, destinados al abasto de la ciudad de Holguín y al riego de áreas de cultivos varios respectivamente. También se encuentran cuatro micropresas construidas aguas abajo de la presa con fines de riego. La tabla 3 ofrece la relación de estos embalses y sus principales características.

Tabla 3. Principales cuerpos hídricos de la cuenca. Parámetros de diseño.

Nombre Presas	Nombre del río	Coordenada		Volumen Hm ³	Area Km ²	Usuario
Cacoyugüín	Cacoyugüín	259.00	554.50	5.62	67	Abasto P
Santa Clara	Cacoyugüín	204.37	557.57	21.50	52.80	Cultivos V.
Micropresas	Municipio					
Aguacate	Gibara	267.7	557.7	0.2	4.9	Cultivos Varios
El Caimán	Gibara	269.8	556.4	1.1	-	Cultivos Varios
Vapor I	Gibara	266.4	563.1	0.034	6.2	Pasto y forraje
Vapor II	Gibara	265.5	563.0	0.23	2.2	Pasto y forraje

Fuente: Datos del departamento de cuenca del INRH (Chongo R.M. 2001).

La presa Cacoyugüín, situada al noroeste de la Ciudad de Holguín en el río Cacoyugüín, con una capacidad de 5.62 Hm³, fue construida en el año 1953 y puesta en explotación para el abasto de la ciudad de Holguín.

Debido al incremento de la cantidad de usuarios, y las pérdidas en el sistema por el envejecimiento de las redes, para atenuar las dificultades en satisfacer las demandas actuales, se encuentran vinculadas dos fuentes más para el sistema de abasto de la ciudad de Holguín.

Pero independientemente del crecimiento de la capacidad de embalses que se ha tenido en los últimos años para abastecer a la cabecera provincial, la presa Cacoyugüín sigue siendo el pilar fundamental de este sistema, pues a pesar de contar con una capacidad de embalse pequeño, tiene una cuenca receptora capaz de producir un escurrimiento medio superior a tres veces su capacidad de almacenamiento que permite realizar en algunos años entregas superiores a las planificadas, al mismo tiempo permite los vertimientos para alimentar a la presa Santa Clara que se encuentra aguas debajo de la misma (INRH, 1997).

En 1987 se construye la presa Santa Clara con una capacidad de embalse de 21.5 Hm³ para garantizar el riego de diversos cultivos en la zona unido

a las cuatro micropresas ubicadas dentro de la cuenca, El Aguacate, El Caimán, Vapor I y Vapor II. Las dos primeras destinadas a cultivos varios y las dos restantes a pasto y forraje, contando entre todas con un volumen de 1.57 Hm³. Por lo que la cuenca cuenta con una capacidad de embalse total de 28,70 Hm³.

La población vinculada actualmente a la presa Cacoyugüín es de 59 831 habitantes, aplicándole la norma que se utiliza para 250 000 habitantes se necesitan 9,6 Hm³ al año y de no haber pérdidas en el sistema esta demanda sería de 8.95 Hm³ al año.

En la actualidad con el apoyo de otro sistema la población recibe aproximadamente el 50 % de la norma de consumo, provocando que las entregas de aguas se realicen de forma alternativa.

Por el hecho de tratarse de un embalse de abasto a la población, con entregas constantes y una alta demanda, presenta un comportamiento estable, viéndose solo alterado en los años de extrema sequía donde los volúmenes de agua embalsados disminuyen.

El valor medio de las extracciones en el periodo analizado es de 6.23 Hm³/ año siendo el valor mínimo 2.00 Hm³ en el año 1987.

Por otra parte el volumen anual que se requiere para el riego de los diferentes cultivos fue obtenido por la expresión siguiente:

$$Vr = N * Acr * Kr$$

Donde:

Vr : Volumen anual de riego

N : Norma de riego (4 900 m³/ha). Obtenida según la FAO-FIDA.

Acr : Área de la cuenca con posibilidades de riego (85 Km²)

Kr : coeficiente promedio para la cuenca que tiene encuentra el % de área, a partir del Acr (30 %).

De lo anterior se tiene que el volumen requerido para el riego es de 12.5 Hm³.

Considerando las extracciones de los embalses y de las micropresas existentes, según el DPRH de Holguín representan un 61.5 % del escurrimiento total que se observa actualmente en la estación de aforo. Volumen este que no satisface la demanda de riego.

Por lo cual según los índices de escasez de agua y de disponibilidad, la cuenca se encuentra en una situación de escasez de agua, en la que a menudo el ritmo de utilización supera el de la renovación natural del recurso donde también se puede señalar que la cuenca está catalogada como de baja disponibilidad con respecto a la demanda actual.

El anexo 2 muestra los porcentos de llenado de los principales embalses de la cuenca al principio y al final según el balance hídrico realizado en el período de estudio, donde se tiene que los embalses generalmente mantienen una situación favorable en cuanto al volumen real embalsado por encima del 75 % de su capacidad.

En el periodo analizado los años 1970, 1971, 1975, 1976, 1981, 1985, 1986, 1989, 1997 y 1998 resultaron de poca acuosidad en la cuenca por lo que los gastos en esos mismos periodos resultaron por debajo del 75 %.

En la presa Cacoyugüín en los años 1970, 1975 y 1986 se observan que aunque las precipitaciones y los escurrimientos fueron bajos, las extracciones se mantuvieron por la media o por encima de la misma, esto condujo a que en los años posteriores a estos 1971, 1976 y 1987 donde las precipitaciones fueron en algunos casos escasas y con escurrimientos bajos, el embalse no se recuperó y se vio con serias afectaciones en su volumen y en las entregas para satisfacer las demandas.

El año de mayor afectación en satisfacer las demandas fue el 1987 con una entrega de 2.0 Hm³ y un volumen de embalse de 0.5 Hm³.

Los vertimientos en este embalse ocurren con bastante frecuencia, produciéndose principalmente por los grados de regulación tan bajo que tiene el embalse así como su pobre componente hiperanual. El mayor número de vertimiento se presenta en el periodo húmedo no siendo así en los años de menor pluviosidad.

La presa Santa Clara, aunque es subexplotada y las entregas no son significativas, se observa en el balance que los años más afectados en las entregas son el 1994 y 1996, no presentando bajas pluviometrias en esos años.

Al cierre de 1986 se almacenó en la presa Cacoyugüín solo el 9.25 % de la capacidad media de embalse. Este volumen es el más bajo observado en el periodo analizado, en el inicio del 1987 la presa mantenía su bajo volumen y aunque las lluvias a mediados de año superaron la media, las entregas no se vieron favorecidas.

Otros de los años secos, el 1971 siendo crítico al final del año, principio del 1972, 1975 – 1976, 1981-1982, y finales del 1989 repercutiendo en 1990.

Los años más desfavorables en el volumen del embalse Santa Clara fueron 1993, 1994 y 1998 por debajo del 75 %.

Impacto de la sequía en el sector hidráulico.

La lluvia es la fuente principal del escurrimiento y del llenado de los embalses. Un déficit de la lluvia resulta perjudicial para la oferta del agua a los usuarios

en dependencia de cuanto dure y del agua almacenada anteriormente y en el periodo en que se encuentre.

En el periodo húmedo, de mayo a octubre, donde se acumulan aproximadamente tres cuartas partes de la lluvia total anual, un tiempo de 2 meses sin lluvias significa el comienzo de una sequía hidrológica que puede llegar a ser moderada ocasionando en general una disminución de las ofertas, si las condiciones se extienden podría causar grandes daños a los demás sectores.

Los años 1975-1976, 1981, 1985-1986, 1989, 1991-1992, 1994 y 1997, tuvieron frecuencias de meses consecutivos con valores bajos para toda la cuenca, hecho que produjo el agotamiento más rápido de los recursos hídricos y una llegada temprana de la sequía.

Debido a estas sequías en los años 1986 inicio del 1987, 1992 y 1997 las entregas se vieron afectadas, y como consecuencias los déficit para satisfacer las demandas fueron muy altos, es por ello que hubo una disminución en el abastecimiento de agua a la población, la cual fue abastecida mediante carros cisternas.

En 1987 cuando el embalse alcanzaba la cota de 74.0 m, y un volumen de solo 0.510 Hm³ las entregas realizadas no solo no satisfacían la cantidad, sino que tampoco la calidad del agua era buena, con más de 500 unidades de turbiedad.

Medidas específicas que permiten mitigar los efectos negativos de la sequía

El estudio de la sequía permite contar con un panorama de este fenómeno en una determinada región que permitirá establecer estrategias y medidas para una mejor administración y aprovechamiento de los recursos hídricos y así aminorar los efectos de la misma.

Primeramente se deberán emitir boletines informativos por parte del Instituto de Meteorología y las Direcciones Provinciales de Recurso Hidráulico previniendo cómo será la situación meteorológica para los próximos meses y sobre la disponibilidad de agua por territorios, alertando de las sequías meteorológicas e hidrológica respectivamente, para fundamentar las decisiones de planificación y que los usuarios apliquen las alternativas posibles que se ajusten a los volúmenes de agua que podrán disponer.

En las cuencas se deben decretar las fases de alerta y/o la fase de alarma e informar sistemáticamente a la defensa civil, para ello utilizar los gráficos de despacho para la operación de embalse.

En estado de alarma por la sequía las entregas de los embalses se priorizan y se reducen a un nivel que no cause grandes afectaciones a las actividades de la población y la agricultura para así alargar los recursos hasta la fecha más probable de la llegada de las precipitaciones abundante.

Debe considerarse que las reservas de agua a preservar ante una previsible sequía serán variables según sea el destino del agua en cada fuente, ya sea para fines agrícolas, industriales o para consumo humano o animal. La prioridad del suministro y el volumen a reservar debe estar contemplado en los planes de entrega de agua de cada embalse. En los embalses que abastecen a la población el volumen de las reservas deben equivaler al consumo de un año.

Siempre ha de tenerse en cuenta cuando se vaya a decretar algunas de las fases, la situación de escasez de agua, ya que la gravedad de la situación es diferente al inicio del período seco, en los meses intermedios o próximo a finalizar el mismo. También ha de considerarse cómo fue el comportamiento climático e hidrológico del período precedente y cómo se espera que sea en los meses venideros. Para ello hay que apoyarse en los boletines y partes que emite el INSMET y el INRH.

Mantener actualizado el banco de datos, proporcionar información necesaria para los estudios y establecimientos de índices de sequía, establecer controles sistemáticos sobre la situación de las reservas de agua en los territorios, municipio y nación y velar por la observancia de las leyes del uso del agua.

Cuando las entregas al abasto de la población son afectadas

- Reducir al 50% la norma por consumidor
- Organizar la distribución a la población mediante pipas.
- Confiscar según inventario existente todas las cisternas controlando la calidad de sus aguas y su distribución a la población.

Para el caso específico de la agricultura

- Empezar la realización de obras e instalaciones que posibiliten el mayor aprovechamiento del agua disponible mediante el uso repetido de la misma.
- Elaborar en cada territorio agrícola un programa de medidas para mejorar de modo acelerado la eficiencia en el aprovechamiento y uso del agua, poniendo especial énfasis en las zonas tradicionalmente deficitarias.
- Garantizar el control del régimen de riego establecido y no aplicar normas mayores que las orientadas técnicamente.

Conclusiones

De todo lo expuesto anteriormente se pueden considerar algunas conclusiones importantes:

Los resultados de los distintos métodos expuestos son muy parecidos en la identificación de los años secos y las zonas más afectadas, lo cual genera confiabilidad, aunque cada uno de ellas presenta una caracterización de la sequía única.

Estos años, 1975- 1976, 1981, 1986, 1989 fueron años con una frecuencia de meses consecutivos con baja pluviosidad y sequías severas para la cuenca, por consecuencia puede reflejarse en bajos niveles de escurrimientos, hecho que produce el agotamiento en la presa y restricciones en las entregas.

En el estudio realizado con los registros utilizados como estaciones de referencia se tiene que en el análisis de los últimos 30 años los registros identifican un cambio brusco en el régimen de las precipitaciones a partir del año 1985 y se observa una tendencia al aumento del número de años consecutivos por debajo del valor promedio de la cuenca.

Estas investigaciones relacionadas con la determinación de índices para la caracterización e identificación de la sequía tienen un uso directo en la planificación de los recursos hídricos así como en la caracterización de la sequía en Cuba. Con la aplicación de esta metodología en toda la región, es posible establecer zonas de ocurrencias de la sequía, lo cual permite utilizarla como un instrumento de planificación para operaciones de aprovechamiento hidráulicos.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta la experiencia tomada del trabajo expuesto, se recomienda aplicar estos métodos a mayores áreas con más datos disponibles en diferentes escalas de tiempo con lo que se pueda tener una amplia visión y comprensión del fenómeno de la sequía, sus consecuencias y mitigación.

Introducir y explotar modelos hidrológicos y sistemas de información geográfica que permitan avanzar en la comprensión de los procesos hidrológicos extremos.

Desarrollar sistema de prevención de advertencia temprana a las sequías hidrológicas en las cuencas para el diseño de medidas de prevención y mitigación de los impactos social, económico y ambiental.

Bibliografía

Academia de Ciencias de Cuba; Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1989): Nuevo

Atlas Nacional de Cuba. Ed. Inst. Geog. Nac. España, Madrid, pp. VI.3..

AWRC. (1969): Quality aspects of farm waters supplies. Department of National Development of Australian Water Resources Council, Camberra. p 45.

Bruce J.P. (1992): La meteorología y la hidrología para el desarrollo sostenible. OMM Ginebra. p 5-7.

Chongo R.M. (2001): Los recursos hidráulicos en Cuba. INRH. La Habana p 15-21.

CITMA. (1999): Programa nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en la República de Cuba. Documento del Grupo Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía bajo la coordinación del Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA) y los auspicios de la Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. (CCD), la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). La Habana, 1999. p 5-26.

Díaz A. (1972): Evaluación de procesos hidrológicos: La sequía. Revista Voluntad Hidráulica.

Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos de Holguín. (2001): Informe resumen del enfrentamiento sobre intensa sequía. Holguín. 26 p.

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) p 23-43.

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) p 45-56.

Gibbs, W. J. (1987): A drought watch system. WMO/TD-No 193 World Meteorological Organization. pág. 23

Izaguirre I. y C. Alemán. (2001): Guía de acción frente a la sequía. INRH/CENHICA. Ciudad de la Habana.

Izaguirre I. (2000): La sequía y su impacto sobre los recursos hídricos. Ciudad de la Habana. Las afectaciones de una sequía prolongada. La Habana 10 p.

Lapinel B; et.al. (1998): Sequías, aridez y desertificación; terminos de referencia. Versión del sistema nacional de vigilancia de la sequía. INSMET. La Habana

Lapinel B. (1999): Comportamiento actual de la sequía en Cuba. INSMET. La Habana. p 3.

Lapinel B. y J. Huerta. (1999): Indicativo de sequía para los municipios de las provincias orientales. INSMET y CENHICA. La Habana- p 8.

MINAGRI. (1997): Proceso de la desertificación y la sequía en Cuba.

Ogalló J. (1984): Climate variations, drought and desertification.

OMM N°82. (1992): Reglamento Técnico, Volumen III Hidrología, Ginebra. p xi.

OMM N° 857. (1997): ¿Hay suficiente agua en el mundo?. Ginebra. 15 p.

OMM N° 906 (1999): Sistemas de alertas tempranas para casos de sequía y desertificación. Ginebra. p 3-4.

Sánchez S. (2001): Indices de evaluación de las sequías operativas útiles en un sistema de recursos hídricos. México.

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.

Velasco I. (2001): Índice de sequía meteorológica en la cuenca alta del río Conchos. México.

WMO N° 869. (1997): Climate, Drought and Desertification. Geneve. p 4-5.

Abstract

The drought is one of the most disastrous natural phenomena, its occurrence and persistence are very catastrophic in the whole planet Earth. In Cuba this process in the last years has been increasing. The frequency of years with moderated and severe deficit in the accumulated of the rains have been duplicated, it has decreased the period of return, with a simultaneous increase of the persistence.

Their total understanding, evaluation and confrontation are elements of great importance when considering the risk that constitutes for all the socioeconomic activities that are developed in each region of the country, bringing negative impacts to diverse sectors such as irreversible damages that lead to the degradation of the water resources and the desertification.

This work has as objective to analyze and to evaluate the behavior of the drought, applying the Program Monitor that includes different indexes that allow to identify the beginning, duration, severity and extension of the drought in hydrometeorological terms in the Cacojuguán basin and this way to know the impacts caused to the water sector.

Through the results of identification and analysis of the drought and of the impacts caused to the water sector by the drought, some specific steps could be taken to allow the drawees of decisions to mitigate the negative effects of the same one and to reduce the risk for such an extreme event can settle down.

Anexo1.

Acumulados normales de las lluvias en rangos decilicos mensuales para el pluviómetro 1247.

Situación resultante , rango decilico mensual Hg 1247												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1971	5	10	2	3	9	6	10	7	3	2	9	2
1972	8	4	6	10	7	10	6	3	9	9	5	8
1973	10	1	8	5	8	9	10	6	8	5	1	6
1974	1	6	1	3	4	8	4	6	7	10	4	4
1975	1	1	5	1	6	6	5	5	9	5	6	2
1976	10	3	1	3	5	10	5	8	1	6	3	3
1977	4	7	1	10	10	1	5	7	6	3	8	10
1978	9	5	8	4	3	3	7	3	4	9	8	7
1979	7	10	7	7	3	3	8	8	7	7	8	5
1980	4	2	7	6	9	8	9	4	4	7	5	9
1981	2	5	10	4	4	5	9	1	8	2	6	1
1982	5	1	5	8	10	4	3	4	5	8	6	4
1983	6	10	9	7	1	10	3	2	3	9	3	5
1984	9	8	6	5	10	9	6	3	10	1	2	6
1985	2	8	2	8	8	3	4	9	10	6	5	8
1986	7	1	10	9	5	4	1	5	2	4	1	1
1987	3	6	10	9	2	5	2	4	8	10	9	6
1988	8	3	2	1	7	1	8	10	7	6	3	8
1989	3	9	7	2	6	1	6	10	5	3	2	4
1990	1	8	4	7	4	5	8	1	4	10	10	5
1991	4	1	3	2	5	4	4	8	2	4	4	10
1992	2	7	4	9	7	7	1	1	6	5	4	9
1993	7	5	6	10	9	2	2	2	6	1	6	7
1994	10	9	4	6	8	2	2	9	3	1	7	1
1995	6	6	9	8	3	6	9	9	9	8	9	9
1996	9	9	8	6	2	7	7	5	2	3	10	3
1997	2	4	5	2	1	8	3	6	1	4	1	7
1998	6	7	9	1	6	2	10	7	10	2	7	2
1999	8	3	3	5	2	9	1	2	1	8	10	3
2000	5	4	2	4	1	7	7	10	5	6	2	10
2001	10	1	8	9	7	5	9	10	6	9	3	7

Los cuadros sombreados representan meses con afectaciones por la sequía según la variante tomada en el análisis del **Inicio de Sequía** a partir de dos meses con **Condición de Sequía** y el **Fin de Sequía** cuando la suma del trimestre rebasa el umbral, de no rebasarse este umbral, se considerará la **Permanencia de Sequía**.

Anexo 2. Porcentaje de llenado de los principales embalses de la cuenca al principio y la final de los años en el periodo de estudio.

