

## Método para la evaluación del balance hídrico en formaciones forestales de las Alturas de Pizarra en Pinar del Río

### Method for the evaluation of the hydric balance in forest formations of Alturas de Pizarras in Pinar del Rio province

Figueroa Sierra, César<sup>1</sup>; González Cabrera Nelson A<sup>1</sup>; Lopetegui Moreno, Carlos M.<sup>1</sup>; Caro Álvarez, Idalmis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>.- Centro de investigación y Servicios ambientales, ECOVIDA, CITMA, Pinar del Río.  
E-Mail: cesar@ecovida.vega.inf.cu

<sup>2</sup>.- Centro Meteorológico Provincial, Pinar del Río.

Fecha de recepción: 10 de enero 2009. Aprobado: 20 de abril 2009.

**RESUMEN:** Con el objetivo de determinar las fluctuaciones del estrés hídrico en la formación de pinares sobre Alturas de Pizarras, se inició el estudio del tipo de vegetación predominante en la formación para definir el coeficiente de cultivo y la determinación de los valores de evapotranspiración. Ajustamos la ecuación al Método de Hargreaves y definimos el balance hídrico de la formación forestal en estudio. Los resultados se pueden incorporar al cálculo de los índices de peligrosidad de incendio y a la conformación de un servicio científico técnico que ofertará el Centro Meteorológico provincial a la delegación de la Agricultura en la provincia.  
**Palabras clave:** Balance hídrico, Evapotranspiración, Estrés hídrico, Coeficiente de cultivo.

**ABSTRACT:** With the objective of determining the fluctuations of the hydria stress in pine groves formation in Alturas de pizarra, a study of predominant vegetation type began in the formation to defines the cultivation coefficient and the determination of the evapotranspiration, to be able to adjust the equation of Hargreaves Method and to defines the hydric balance of the forest formation in study. The results will be incorporated to the calculation of indexes of fire danger and the conformation of technical scientific service that will offer the provincial Meteorological Center to the Agriculture delegation in our province.  
**Key words:** hydric Balance, Evapotranspiration, Hydria stress, Cultivation coefficient.

## INTRODUCCIÓN

Cada vez está más ampliamente reconocido que la salida de la crisis ambiental por la que atraviesa la sociedad moderna no puede asociarse exclusivamente con el desarrollo y aplicación de nuevos avances tecnológicos. Es muy probable que estas medidas técnicas puedan aliviar y reducir temporalmente la magnitud de los problemas ecológicos, pero no los aspectos básicos y profundos de la crisis.

Según el Diagnóstico Ambiental Institucional (1999) efectuado bajo la coordinación de la Unidad de Medio Ambiente en Pinar del Río, se determinó los principales problemas que afectan el desarrollo económico, social y la conservación de la naturaleza, estableciendo un orden de prioridades, en una provincia con una fuerte vocación

ambiental evidente al poseer todo un mosaico de paisajes pintorescos y de gran singularidad, considerándosele un continente en miniatura, lo cual posibilita y favorece la existencia de 36 Áreas Naturales Protegidas, representando el 19,4% de la superficie total, una superficie boscosa de un 38.3%, un 33% cubierta de zonas montañosas, el 46 % lo constituyen ecosistemas frágiles, etc., vocación implícita hasta en el nombre de la provincia.

Las Alturas de Pizarras han dado abrigo a la a la formación forestal de mayor extensión en la Provincia, el pinar-encinar. Samek (1967), al valorar desde el punto de vista silvicultural los pinares de Cuba Occidental, considera que los lugares más pobres están ocupados por *Pinus tropicalis* Morelet y a veces también aparecen los encinares; así mismo, considera que el estado actual de estos pinares es muy malo debido a la tala indiscriminada de que han sido objeto y a los incendios que han dificultado la regeneración natural.

Posteriormente Samek (1989), en su regionalización fitogeográfica dada para Cuba, considera a las Alturas de Pizarras como un distrito del Sector Cuba Occidental y del Subsector Pinar del Río y valora a este distrito como pobre florísticamente en el que predominan los pinares de *Pinus tropicalis* y *P. caribaea*; este autor considera a las Alturas de Pizarras como un centro antiguo de evolución de los elementos de pinares. Así mismo, tiene en cuenta las diferencias existentes en la flora de pinares con la de otros distritos como Guanahacabibes, Mogotes y Sierra del Rosario, reconociendo relaciones florísticas con las Arenas Blancas y Cajalbana, si bien existen especies con patrones de distribución restringidos a cada una de estas áreas (endemismo distrital y local).

Por su parte Borhidi (1996), incluye a las Alturas de Pizarras en el distrito Pinarense, el cual se caracteriza por la presencia de endémicos sectoriales que son comunes al distrito; destacando como vegetación dominante los pinares formados por *Pinus tropicalis* y *P. caribaea*; reconociendo adicionalmente un grupo de endémicos característicos como *Quercus oleoides* C. & S var. *sagraeana* C. H. Mull; en el estrato arbóreo; un estrato arbustivo con *Befaria cubensis* Griseb, *Lyonia myrtiloides* Gris; *Miconia ibagüensis* Desv, *M. splendens* Desv, *Pachyanthus poiretii* L, *P. angustifolius* L, *Rondeletia correifolia* Griseb, y otras.

Capote y Berazaín (1984), en su clasificación de las formaciones vegetales de Cuba, considera la formación objeto de estudio como bosques de pino o Pinares, que se componen de un estrato de árboles acicutifolios, un estrato *arbustivo*, uno herbáceo y pocas epífitas y lianas.

Álvarez et al. (1986), plantea que los pinares son formaciones arbóreas de un estrato arbóreo cerrado, donde domina una o dos especies de pinos, señalando que son homogéneos, sin embargo, para su estudio es necesario establecer diferencias florísticas, edáficas y otras, y dividirlos en pinares de Cuba Occidental y pinares de Cuba Oriental.

Borhidí y Muñiz (1980), plantean que los pinares de *Pinus tropicalis* representan un fenómeno muy interesante en la vegetación de Cuba; como algo singular estos bosques, en su mayoría, no se encuentran en las montañas más altas, sino en llanuras o en terrenos colinosos y en las alturas medias sobre suelo muy ácido y pobre en nutrientes.

Hernández (1988), explica que las áreas mejor conservadas se encuentran en las Alturas, debido principalmente a su difícil acceso, no obstante, obsérvase una antropización marcada por la tala de los pinos y su posterior reforestación (con *P. caribaea*, y con densidades de plantación muy superiores a las áreas naturales).

Del Risco (1995) considera que la presencia de los pinares responde principalmente a los factores edáficos, es decir, a las condiciones que presentan los suelos que son muy pobres en nutrientes, secos y poco profundos. Por otro lado la alta demanda de luz por los pinos, exige que estos se desarrollen sin la competencia de latifolias.

En cuanto al clima, Marrero (1951) plantea que las precipitaciones anuales no son tan elevadas en las Alturas de Pizarras como en el eje montañoso de los Órganos - Rosario, pero en cambio es más alta la pluviosidad que en las regiones llanas adyacentes. La abundancia de las lluvias ha sido un factor negativo desde el punto de vista edáfico, ya que dada la textura de las rocas ha impedido la formación de suelos profundos. Según el Instituto de suelo (1973) las precipitaciones que se encuentran en las Sierra de los Órganos en general se diferencian de la siguiente forma:

- Hasta los 50 m de altura existen variaciones de precipitaciones que van de 1350 a 1450 mm. anuales.
- A los 250 m alcanzan hasta 1700 mm.
- A partir de los 400 m las precipitaciones sobrepasan los 1800 mm anuales.

Para Davitaya (1970), los valores de precipitación anuales oscilan entre 1800 y 2000 mm; en el período lluvioso entre 1200 y 1300 mm y en la sequía entre 300 y 400 mm, mientras que la suma de las temperaturas medias anuales superiores a los 10 °C, en el área de las Pizarras oscila entre 9000 y 9500 °C, lo que determina la alta insolación, e incluye a la formación en la región climática de los paisajes geográficos de bosques tropicales temporalmente húmedos, mayormente caducifolios y acicutifolios, en parte pantanosos.

El bioclima, según Novo y Luís (1989) se considera como tropical caliente, con un período de sequía que presenta dos subtipos: 3-4 meses de sequía para las zonas más bajas, limítrofe con la llanura, 5-6 meses para las más altas. Los meses húmedos son desde mayo hasta octubre, existiendo un período prehúmedo con mínimas secundarias en julio, las máximas del período húmedo se dan en septiembre y uno secundario en junio. La humedad relativa excede siempre el 75 %, aunque el efecto secante del viento es visible en las crestas más altas debido al relieve de montañas bajas que exhiben estas elevaciones, los valores promedios de temperaturas son aproximadamente de 23.7 °C anuales.

A nivel internacional se ha trabajado en el cálculo de la evapotranspiración para el manejo de cultivos agrícolas y pastos, incluido cultivos industriales como la papa, principalmente para automatizar sistemas de riego. En la actividad forestal el método no ha sido empleado para estudios de índices de peligrosidad de incendios, pues los sistemas remotos y de vigilancia satelital suplen su carencia, en Cuba, hasta el presente,

no tenemos antecedentes del cálculo de la Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) para una formación forestal, menos aún un pinar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo ha consistido en la creación de una base de datos con los componentes climáticos y biológicos que tienen incidencia en el balance hídrico en las Alturas de Pizarras, su posterior procesamiento, validación y presentación para el cálculo de los procesos de déficit y exceso de humedad en los pinares.

Se emplea para el estudio la base climática existente en el Centro Meteorológico Provincial de la Red Provincial de Estaciones Meteorológica, desde 1981 hasta el 2001.

Para determinar la ecuación más factible a utilizar en el cálculo de la evapotranspiración se analizaron las de Penman Monteith modificadas, por Solano Vázquez y Menéndez (1998), y tomados de él, la de Hargreaves y Col (1985) y la Hargreaves (1994).

Por otra parte se definieron las condiciones presentes en las Alturas de Pizarras en cuanto a vegetación, cobertura y exposición y se caracterizaron las zonas conocidas por Pizarras del Norte, del Centro y del Sur.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

### 1. Base de datos de la flora y vegetación:

La vegetación de la formación se presenta en dos unidades paisajísticas: Alturas de Pizarras y Valles Intramontanos, (Figueroa, 2003) ambas se describen a continuación:

Alturas de Pizarras: esta formación tiene bien definida la existencia de tres estratos:

Estrato arbóreo: *P. tropicalis* Morelet, *P. caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari, *Quercus oleoides* C. & S var. *sagraeana* C. H. Mull. Este estrato no es muy denso, 750 árboles/Ha, y una altura media de 14.5 m. En las áreas con buenas condiciones de suelo y humedad se localizan *Clusia rosea* Jacq. (Copey), *Didymopanax morototonii* (Aubl) Dcne & Planch. (Yagrumón) *Matayba oppositifolia* (A. Rich.), Britton, (Macurige), *Xylopia obtusifolia* A. Rich; (Malagueta).

Estrato arbustivo: el estrato varía su densidad con la pendiente, en la cima es ralo y a medida que va descendiendo se va haciendo más denso, principalmente en las vertientes N o próximas. Se compone fundamentalmente de: *Befaria cubensis* Griseb. (Napoleon), *Lyonia myrtilloides* Gris. (Lionia), *Clidemia hirta* L, (Cordobán peludo), *M. splendens* Lin (Cordobancito), *Pachyanthus poiretii* Griseb (Cordobán Blanco), *P. angustifolius* Griseb (Cordobán), *Rondeletia correifolia* Griseb (Cereza), *Byrsonima crassifolia* Turcz; (Peralejo), *Clidemia hirta* L; (lagaña de tiñosa), *Myrica serifera* Lin; (Arraigán), *Amajoua cymbosa* R.B.K; (Pitajonia), *Cassyta filiforme* Lin; (Fideillo), *Cyathea alborea* (Helecho alborecente), *Psidium guayabita* A. Rich. (Guayabita del Pinar), *Clusia rosea* Jacq; (Copey), *C. Minor* Lin; (Copeycito), *Davila rugosa* Poir; (Bejuco colorao), *Curatela americana* Lin; (Vacabuey), *Tabebuia lepidophylla* (Gris), Rich.

(Roble Caimán), *Psychotria resoluta* P. D. C; (Cereza), *Ouratea ellyctica* Urb; (Espuela de Gavilán), *Brya ebanus* D. C. (Granadillo).

Estrato herbáceo: este estrato está compuesto fundamentalmente por *Sorghastrum stipoides* (H. B. K), Nash; (Pajón) aunque aparecen algunos ejemplares de *Cyperus* sp., *Andropogon rufus* Kenth (faragua), *Mikania cordifolia* L; (Guaco), *Habenaria bicornis* (Orquidia terrestre), *Oxalis eggertii* Urb. (Violetilla) y de helechos. El estrato herbáceo, en ocasiones, está limitado por la acumulación de acículas o el afloramiento rocoso.

1. Valles Intramontanos: Estas zonas son eminentemente agrícolas, dedicadas al cultivo de viandas, hortalizas, granos, tabaco y café. En ellas se localizan ejemplares dispersos de las formaciones vecinas y gran número de frutales como naranjas (*Citrus* sp.), mamey (*Pouteria* sp.), aguacate (*Persea americana* Mill.), pera (*Pera ulmifolia* Gris.), melocotón (*Prunus persica* Sw.), etc. Se observan, además, ejemplares de piñón (*Erythrina* sp.), espatodea (*Spatodea campanulata* Baeuv.), *Eucalyptus* sp., pomarrosas (*Syigium jambos* (L.) Alston) caliandra (*Caliandra surinamensis* Benth.) etc., todas introducidas en la localidad.

#### Base de datos climáticos:

La base climática recoge la información meteorológica desde el año 1981 hasta el 2001, de las estaciones meteorológicas de Santa Lucia, Isabel Rubio, La Palma y Pinar del Río, disponibles en el Centro Meteorológico de Pinar del Río

#### Balance Hídrico de la formación Alturas de Pizarras:

Se ha evaluado de forma diaria los valores de temperatura, lluvia y humedad de las estaciones meteorológicas de las Alturas de Pizarras, vinculada esta información con la vegetación y las características topográficas para el procesamiento de la ecuación propuesta.

Se introduce entonces el valor de Kc (Coeficiente de cultivo) para considerar las necesidades hídricas de la formación de Pinares de las Alturas de Pizarras. El coeficiente de cultivo (Kc) representa una integración de los efectos de cuatro características primarias que diferencian a un cultivo del pasto de referencia trabajado por los autores citados anteriormente. Estas características son: - altura del cultivo

- albedo

- resistencia del follaje

- evaporación de agua desde el suelo

La base de datos correspondiente al período 1981/2001, se encuentra en soporte magnético y se definió la ecuación a partir de la comparación de diferentes métodos de cálculo de la Evapotranspiración potencial (Eto):

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Eto) se analizaron los tres métodos citados anteriormente.

1: Ecuación de la (ET<sub>o1</sub>). *Penman Monteith modificada.*

Para las estaciones de referencia que integran la Red Básica Climatológica, por disponer de una suficiente base de datos de todas las variables meteorológicas, resulta conveniente aplicar el Método de Penman- Monteith Modificada, que contempla más información en el procesamiento de los datos

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{997}{T + 273} \cdot U_{1.5} \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.38 \cdot U_{1.5})}$$

Donde:

- ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/d].
- $\bar{\Delta}$  = Pendiente de la curva temperatura vs presión de vapor de saturación [kPa/°C].
- R<sub>n</sub> = Radiación neta en la superficie del cultivo [MJ/m<sup>2</sup>d].
- G = Flujo de calor sensible desde el suelo [MJ/m<sup>2</sup>d].
- $\bar{a}$  = Constante psicrométrica [kPa/°C]
- T = Temperatura media diaria a 1.5m de altura [°C].
- U<sub>1.5</sub> = Velocidad del viento a 1.5m de altura [m/s].
- (e<sub>a</sub> e<sub>d</sub>) = Déficit de presión de vapor del aire [kPa].
- 995 = Coeficiente para el cultivo de referencia [Kg<sub>A</sub>,°K/kJ<sub>A</sub>, d].
- 0.38 = Coeficiente de viento para el cultivo de referencia [s/m].

2: Cálculo de la (Eto.2) *Hargreaves (1994).*

$$ET_o = 0.0023RE(T+17.8)\sqrt{\Delta T}$$

3: Cálculo de la (Eto. 3) *Hargreaves y Col (1985).*

$$ET_o = 0.0135RS(T + 17.8)$$

$$RS = KT * RE \sqrt{\Delta T}$$

$$KT = 0.00185\Delta T^2 - 0.0433\Delta T + 0.4023$$

Donde:

- RE- Radiación Efectiva.
- T- Temperatura.
- $\Delta T$ - Diferencia de temperatura.
- RS- Radiación Solar
- KT- Coeficiente de Temperatura.

## RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestran los resultados referentes al Error Medio, Error Medio Absoluto y Error Medio Cuadrático en la comparación de los tres métodos.

| Métodos   | EM          | EM     | EMC     |
|-----------|-------------|--------|---------|
| ETo1/ETo2 | -<br>0.4449 | 21.890 | 161.198 |
| ETo1/ETo3 | 0.6826      | 25.192 | 222.320 |
| ETo2/ETo3 | 0.6535      | 18.989 | 278.911 |

Con la aplicación de los métodos señalados se trabajó en el monitoreo de las variables climáticas para la validación del Balance Hídrico en las diferentes unidades fisiográficas de las Alturas de Pizarras y se definieron los procesos de déficit o excesos de humedad que han afectado a la formación para elevaciones significativas (mayores de 350 MSNM), elevaciones poco significativas (inferiores a 350 MSNM), Valles Intramontanos abiertos y Valles Intramontanos cerrados.

Se cuenta con un nuevo método de evaluación y cálculo de pronóstico sobre la disponibilidad de humedad en la zona de pinares en las Alturas de Pizarras que pone al sistema de alerta temprana del Centro Meteorológico en condiciones de iniciar gestiones de servicios de extraordinario interés para el manejo de las formaciones forestales, cultivos de tabaco y café, por las empresas agropecuarias implicadas en la zona objeto de estudio y el servicio de guardabosques, para la prevención de incendios forestales, el aprovechamiento y el fomento de plantaciones.

Para las zonas montañosas (Alturas de Pizarras) es posible efectuar el cálculo de la Eto empleando el Método de Hargreaves que resulta más sencillo y no requiere del empleo de algunas variables meteorológicas que el anterior incluye. En la zona montañosa no se cuenta con información de las variables que el primer método necesita. Al comparar los tres métodos en varias localidades de la provincia, no se presentan diferencias significativas, lo que sugiere la posibilidad de emplear cualquiera de ellos, en consecuencia se decidió calcular la Eto para el

### Balance a partir del Método de Hargreaves (1994)

Se procesó, a través de Excel la información para obtener los índices de exceso o déficit de humedad, con los datos decenales, como se muestra en la sección de la tabla siguiente:

| décadas | año  | ETo<br>(mm) | Pr<br>(mm) | Zr<br>(m) | Kc  | ETc<br>(mm) | Dr,i-1<br>(mm) | ETca<br>(mm) | Dr,i<br>(mm) | Exc./Def.<br>(mm) | IDH  | Evaluación |
|---------|------|-------------|------------|-----------|-----|-------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|------|------------|
| 1       | 2001 | 29,6        | 0,0        | 0,50      | 0,3 | 8,9         | <b>67,3</b>    | 0,5          | 67,8         | -36,3             | 0,03 | S.S        |
| 2E      | 2001 | 32,0        | 18,8       | 0,50      | 0,3 | 9,6         | 49,0           | 4,8          | 35,0         | -3,5              | 0,50 | L.S        |
| 3       | 2001 | 36,8        | 0,0        | 0,50      | 0,3 | 11,0        | 35,0           | 9,2          | 44,2         | -12,7             | 0,37 | L.S        |
| 1       | 2001 | 43,0        | 14,6       | 0,50      | 0,3 | 12,9        | 29,6           | 12,9         | 27,9         | 0,0               | 0,60 | F.H        |
| 2F      | 2001 | 44,7        | 0,0        | 0,50      | 0,3 | 13,4        | 27,9           | 13,4         | 41,3         | -9,8              | 0,41 | L.S        |
| 3       | 2001 | 36,0        | 0,5        | 0,50      | 0,3 | 10,8        | 40,8           | 7,6          | 47,9         | -16,4             | 0,32 | L.S        |
| 1       | 2001 | 48,5        | 13,7       | 0,50      | 0,3 | 14,6        | 34,2           | 12,4         | 32,9         | -1,4              | 0,53 | L.S        |

### CONCLUSIONES

1. La definición de la ecuación del balance hídrico permite determinar el estado y disponibilidad del agua en la formación, con déficit y excesos incluidos, lo que a su vez garantiza, a través del monitoreo de las condiciones climáticas, conocer el momento más propicio para efectuar la plantación y la colecta de conos, el aprovechamiento y, muy importante, permite estimar los momentos de mayor peligrosidad de incendios forestales.

2. Por primera vez en Cuba, se considera el cultivo forestal, su cobertura, composición y ubicación para definir la ecuación del balance hídrico de una formación, lo que garantiza un nivel superior de calidad y confianza de los resultados, concretando una necesidad para la Formación de Pinares sobre Pizarras, que se desarrolla sobre un suelo mayormente esquelético y poco profundo, ácido, poco productivo y con topografía colinosa, pero que garantiza el suministro de madera de pinos para las necesidades de gran parte de la nación y que representa más del 70 % de la madera aserrada que se produce en la provincia.

### RECOMENDACIÓN

1. Que el servicio de Agrometeorología del Centro Provincial Meteorológico confeccione de inmediato el servicio científico técnico e inicie las gestiones de comercialización.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

. Álvarez. P. A. (1986): Panorama de la ingeniería forestal en Cuba. Editora Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 88 pp.



- . Borhidi, A., O. Muñiz y E. Del Risco (1980): Clasificación Fitocenológica de la Vegetación de Cuba. Acta Botánica Hungárica. Academia Sci. Hung. 25: 263-301.
- . —————. (1996) Phytogeography and vegetation ecology of Cuba. Akademiai Kiado. Budapest: 858 pp.
- . Capote, R. y R. Berazaín (1984): Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. Rev. Jard. Bot. Nac. 5(2): 27-76.
- . Davitaya, T. y E. Trusov (1970): Los recursos climáticos de Cuba. Editora Minagri e Instituto de recursos hidráulicos: 64 pp.
- . Del Risco, E., V. Samek (1995): Los bosques de Cuba. Su importancia histórica y características. Editorial Ciencia y Técnica. Ciudad de La Habana.
- . Figueroa, C. (2003) Ecología y Conservación de *Pinus tropicalis* en bosques naturales de las Alturas de Pizarras, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias. Universidad de Alicante (ESPAÑA) Universidad de Pinar del Río (CUBA).
- . Marrero, L. (1951): Geografía de Cuba. Editorial Minerva. La Habana. 248 pp.
- . Solano V, et all (1998). El balance hídrico como herramienta para el manejo agrícola. ISMN. La Habana. 87 pp.
- . Novo, R. y M. Luis (1989): Bioclima de Pinar del Río. Centro de Documentación. ISPPR. 54 pp.
- . Samek, V. E, Del Risco (1967): Elementos de silvicultura de los bosques de pinares. Ciencia y Técnica. Instituto del Libro. La Habana. 69 pp.
- . Samek, V. E, Del Risco (1989). Los pinares de la provincia de Pinar del Río. Cuba. Estudio sinecológico. Editora Academia. La Habana: 59 pp.