

ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA

OC
987
C9
IS
no. 54

INFORME CIENTIFICO-TECNICO

No. 54

QUEMA DE CAÑAVERALES Y REGIMEN PLUVIAL

INSTITUTO DE METEOROLOGÍA DE LA ACC

CARLOS BARCELO, ABELARDO R. MIRANDA
Instituto de Meteorología
CONCEPCION PORRUA
Instituto de Geografía

SILVER SPRING
CENTER
AUG 7 1980
N.O.A.A.
U. S. Dept. of Commerce

DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES DE LA ACC

La Habana, marzo de 1978

National Oceanic and Atmospheric Administration

Climate Database Modernization Program

ERRATA NOTICE

One or more conditions of the original document may affect the quality of the image, such as:

Discolored pages
Faded or light ink
Binding intrudes into the text

This document has been imaged through the NOAA Climate Database Modernization Program. To view the original document, please contact the NOAA Central Library in Silver Spring, MD at (301) 713-2607 x124 or www.reference@nodc.noaa.gov.

LASON
Imaging Subcontractor
12200 Kiln Court
Beltsville, MD 20704-1387
March 28, 2002

QUEMA DE CAÑAVERALES Y REGIMEN PLUVIAL

CARLOS BARCELO, ABELARDO R. MIRANDA y CONCEPCION PORRUA

RESUMEN. Se obtuvo en el laboratorio el espectro de los humos de caña de azúcar. Fue indicativo de un sistema aerodisperso estable. Se calculó con un modelo de difusión binormal los estimados del aumento de la concentración espacial de núcleos de condensación (CCN) producto de la quema de cañaverales. Fueron predichas altas concentraciones a grandes distancias de la fuente. Se analizaron los índices pluviométricos en dos áreas de quema intensiva, en un punto marginal y en dos más alejados, aparentemente libres de contaminación. En el período estudiado existen indicios de afectaciones locales de lámina de lluvia y principalmente de frecuencia que se superponen a una posible condición de sequía natural asociada a características atípicas del clima.

ABSTRACT. It were obtained the spectrum of the sugar cane fumes on laboratory. It was indicative of a stable aerodisperse system. As a consequence of the burn of sugar cane plantations, and using a binormal diffusion model, it was calculated the estimates of the increase of cloud condensation nuclei (CCN) concentrations. It was forecasted high concentrations at great distances from the sources. The gage index in two areas of intensive burn, in a surrounding, and in two farther away zones (apparently free of pollution) were analyzed. It seems to be a local reduction of rainfall amount and a more sensible frequency reduction, both acting together with a possible natural draught connected to a non-typical weather behavior in the studied period.

1. INTRODUCCION

La modificación inadvertida del tiempo atmosférico por la acción del hombre ha sido estudiada en escala local (Changnom 1968, Langer 1968, Holle 1969) y se ha teorizado sobre cambios globales (Davitaya 1965). De acuerdo a la hipótesis de que el humo de la caña de azúcar afecta el régimen de las precipitaciones por constituir una fuente de núcleos de condensación que induce estabilidad coloidal en las nubes Cumulus (Warner 1968, Warner y Twomey 1967), en este trabajo se buscan indicios de posibles modificaciones del patrón pluvial en las áreas de algunos centrales azucareros de la región occidental

de Cuba durante la zafra de 1970-71, caracterizada por la quema intensa de cañaverales.

2. ESPECTRO DE LAS PARTICULAS DEL HUMO

La propagación de las partículas de los humos en la atmósfera depende primordialmente de sus tamaños. Para conocer relativamente la cantidad de materia que tiene posibilidad de sobrepasar el nivel de condensación y la que se pierde por primera sedimentación, hubo de efectuarse experiencias de laboratorio al objeto de fijar la distribución dimensional de las partículas del humo de la caña. Para ello se empleó una técnica de sedimentación estancía, similar a la de Owens (Green y Lane, 1964).

Los espectros más representativos están asociados a las altas temperaturas que reinan en el interior de los cañaverales. La paja de caña fue inmersa en un campo de temperatura de 2000 - 2500°C. Sus humos fueron interceptados en cilindros que se hermetizaron. En la base de los cilindros se habían colocado portaobjetos provistos de una película de retención, preparada de acuerdo a Spurny (1964). Así fue provocada la sedimentación gravitacional, tras la cual se efectuó la medición y conteo de las partículas con luz filtrada en un microscopio óptico.

En la Fig. 1 se observa que las partículas menores de 20 μ siguen una distribución logarítmico-normal, lo que revela la estabilidad del sistema aerodisperso. Las partículas mayores constituyen sólo un

3,5% del total emitido con dimensiones mayores a $0,5 \mu$. Así, la mayoría de las partículas producidas por los fuegos de cañaverales tienen posibilidad de ser difundidas en el seno de las corrientes de aire.

3. DISPERSION DE LOS HUMOS

Las concentraciones de núcleos de condensación suplementarios en cualesquiera puntos de la atmósfera son consecuencia de los procesos de difusión de los humos. Al objeto de esclarecer el efecto de introducción de núcleos suplementarios por una quema típica, analizaremos el caso de una parcela cuadrada de una hectárea de superficie, con rendimiento de una arroba de

caña por metro cuadrado y supondremos que un 20% del peso de esta caña está constituido por sus hojas (paja). Esta parcela arde en la noche durante 30 min, hasta quemarse totalmente en las condiciones típicas de la estación, con 4/8 de cobertura nubosa y viento E-ENE con velocidad de 4,7 m/seg. Supondremos también que no hay cizalladuras en el perfil vertical del viento ni inversiones de temperatura. La región es un lugar llano y no existen condiciones de turbulencia que produzcan homogenización de la pluma.

Estudiaremos la dispersión con el modelo de difusión binormal de Pasquill-Gilford (Turner, 1970):

$$X(x, y, z; H) = Q \cdot (2 \pi \sigma_y \sigma_z u)^{-1} \exp \left[-\frac{1}{2} (y/\sigma_y)^2 \right] \cdot \left\{ \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\}$$

donde los parámetros de dispersión constituyen la desviación estándar de la distribución de la concentración de materia en la pluma del humo ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$), estimados respecto a los ejes de un sistema cartesiano E^3 orientado en "x" paralelo a la dirección del viento, en "y" su transversal y "z" la altura; u es la velocidad media del viento que afecta la pluma, H la altura de emisión efectiva y Q la razón de emisión.

Supondremos, en consecuencia, que la dispersión de la pluma es Gaussiana en los planos horizontal y vertical, que existe reflexión total de la pluma con la superficie terrestre y que la emisión es continua desde la fuente. Tomaremos la eficiencia de producción de núcleos en función de la masa de hojas quemadas, de acuerdo con Warner y Twomey (1967), quienes la fijaron en una cámara de difusión. Como se conoce, la altura efectiva de emisión depende de la diferencia de temperatura entre el aire periférico y la salida de la pluma, el grado de estabilidad de la atmós-

fera, la presión y otras variables. Pero en este sentido existen sólo ecuaciones aproximadas, válidas sólo para intervalos de superficie no mayores de algunos metros.

Aún así, los estudios comparativos de Moses y Strom (1961) mostraron que los cálculos teóricos eran poco representativos. Por ello, supondremos dos casos extremos: altura de emisión cero y 250 m, respectivamente. Obtendremos incertidumbres generales por un factor de tres con las condiciones enunciadas.

Así, con equilibrio atmosférico tipo D y flujo continuo hasta 8460 m, superponemos $\sigma_y = 23$ m con una emisión de $9,6 \cdot 10^{16}$ núcleos/seg. En las figuras 2 y 3 se dan las isopletras teóricas de las concentraciones de núcleos en perfiles horizontales en la superficie y en la altura de 1000 m. Aquí se ofrece un cuadro estacionario. Al cese de la quema, si suponemos $\nabla \cdot v_x = 0$ en un volumen elemental de la pluma, encontraríamos concentraciones elevadas de núcleos a grandes distancias de la fuente. De este modo, si las bases de las nubes están próximas a

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE LAS PARTICULAS HUMOSAS DEL FUEGO DE CAÑA DE AZUCAR

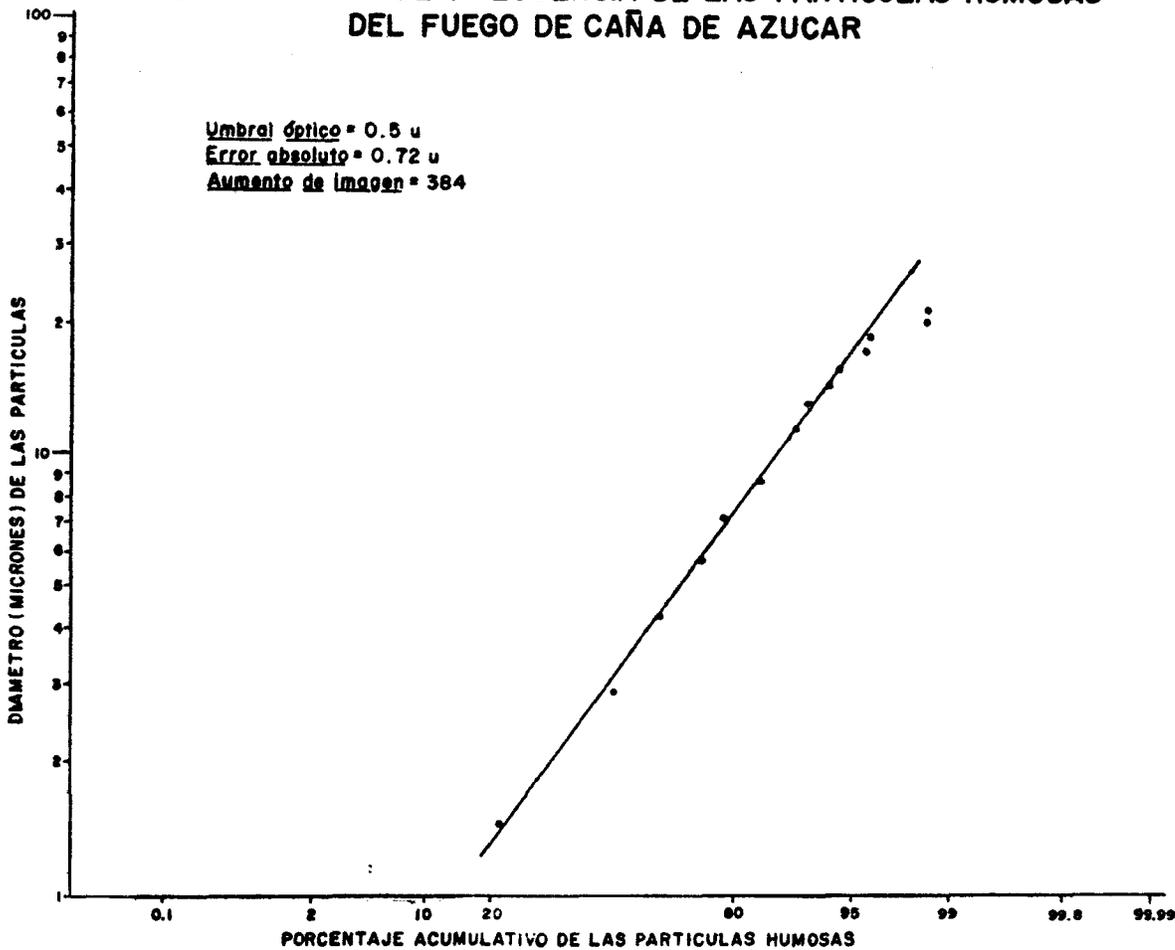


Figura 1

1000 m, su microestructura resultaría afectada por la presencia de un suplemento de núcleos de condensación.

4. ANALISIS DE LAS LLUVIAS ASOCIADAS

El examen de las cantidades de caña quemada en las áreas de centrales azucareros, de la región occidental de Cuba, permitió seleccionar aquéllos en los cuales el posible efecto de reducción de las precipitaciones fuera más connotado. Así fue compilada la información de los pluviómetros en las áreas cañeras de los centrales "E. G. Lavandero", "M. M. Prieto", "G. A. Mañalich" y "C. Cienfuegos", dentro de un radio de 10 km relativo a

cada central. La historia pluviométrica condujo a la eliminación de algunos puntos, quedando 4 en el "C. Cienfuegos", 6 en el "G. A. Mañalich" y 1 en el "G. Lavandero". Datos comparativos fueron obtenidos de los pluviómetros de Cabo San Antonio, Punta de Maisí y Casa Blanca. Fue procesada información sinóptica complementaria.

Se puede afirmar que las lluvias caídas durante el período de quema intensiva de cañaverales son tan reducidas, que en todos los casos se encuentran próximas a los valores mínimos registrados en la serie histórica de datos de cada pluviómetro.

Es necesario, ahora, tratar de determinar si la disminución de las lluvias es pro-

ducto de fenómenos naturales o de modificación inadvertida del tiempo por la acción del hombre. Debido a que las series temporales de lámina de lluvia presentan una dispersión notable, se optó por calcular los índices pluviométricos (lámina de lluvia estacional sobre la media histórica). La variación total de las lluvias en una región se compone de la superposición de la variación dentro de los años y entre los pluviómetros. Con este criterio se efectuó el análisis de varianza que se muestra en la Tabla 1.

Hemos supuesto la posible existencia de violaciones de la normalidad. De acuerdo con Davies y Goldsmith (1971), desviaciones marcadas de la normal no alteran el ajuste de la distribución de Fisher, siempre que el número de análisis de cada muestra no difiera ampliamente. De esta suerte, no hemos aplicado transformaciones de normalización. De la Tabla se concluye que en las áreas de quema intensiva, la naturaleza podría proveer espontáneamente un fenómeno de reducción de lluvias semejante, una vez cada 2 000 años.

Dado que las lluvias invernales en la región occidental de Cuba se relacionan estrechamente con la circulación secundaria de la atmósfera, trataremos de ver en qué medida los fenómenos de naturaleza sinóptica influyeron en la atipicidad del régimen de lluvias en esa temporada. Para ello buscamos una relación biunívoca entre el número de frentes y la lluvia. Al mantener constante la situación meteo-

rológica en la predicción y asociarle funcionalmente una precipitación cuantificada, con un error calculado experimentalmente y que depende sólo de las características de los sistemas frontales, por ejemplo, hacemos independiente la fluctuación de la precipitación del paso de los frentes. Tomando los datos elaborados por Rodríguez, *et al.*, (1970) se ha estudiado la dependencia lineal entre el número de frentes para el período de 4 meses de más intensa quema y la lámina de lluvia L , los días con lluvia N y un coeficiente de eficiencia C_e definido como $C_e = L/N$.

Se ha aplicado la prueba "T" de independencia de regresión, hallándose que la totalidad de los pluviómetros del "C. Cienfuegos" son linealmente independientes (L. I.) con los frentes en las magnitudes L , N y C_e , ya que las significaciones de linealidad oscilan entre un 20 y un 40%.

En cambio, los pluviómetros del "G. A. Mañalich" y Casa Blanca son todos linealmente dependientes (L. D.), a excepción de uno en lámina y 2 en días con lluvia, a partir de al menos un nivel del 10%. La diferente fisiografía de las regiones cañeras de ambos centrales, permite concebir un efecto orográfico en las lluvias del "C. Cienfuegos" que perturbe la relación entre los frentes fríos y el régimen de las precipitaciones, mientras en las regiones llanas y litorales hay prevalencia de la condición L. D.

La información pluviométrica resumida se presenta en la Tabla 2, con el número de años de observaciones (M); la media normal de los frentes para la serie pluviométrica (\bar{X}); la media normal de L , N , C_e (\bar{Y}); su relación (R); el número de frentes de los meses de intensa quema (X_n); L , N , C_e del período de quema (Y_n); y pronóstico (Y_c); los por cientos sobre la lluvia media (Y_n/\bar{Y}); y pronóstico (Y_n/Y_c) y por ciento sobre la media del número de frentes en el período (X_n/\bar{X}); los parámetros del ajuste lineal mínimo

TABLA 1. Análisis de varianza de los índices pluviométricos de las áreas de intensa quema de la zafra 1970-1971

	g.l.	Suma cuad.	Cuad. medio	F
Entre años	10	489362,2	48936,2	22,1
Entre pluviómetros	9	196799,3	21866,6	9,9
Residual	90	198893,7	2209,9	
Total	109	885055,2		

$$F_{.995} (10, 90) = 8,19$$

CORTE SECCIONAL HORIZONTAL DE LA PLUMA DEL HUMO DE CAÑA DE AZUCAR

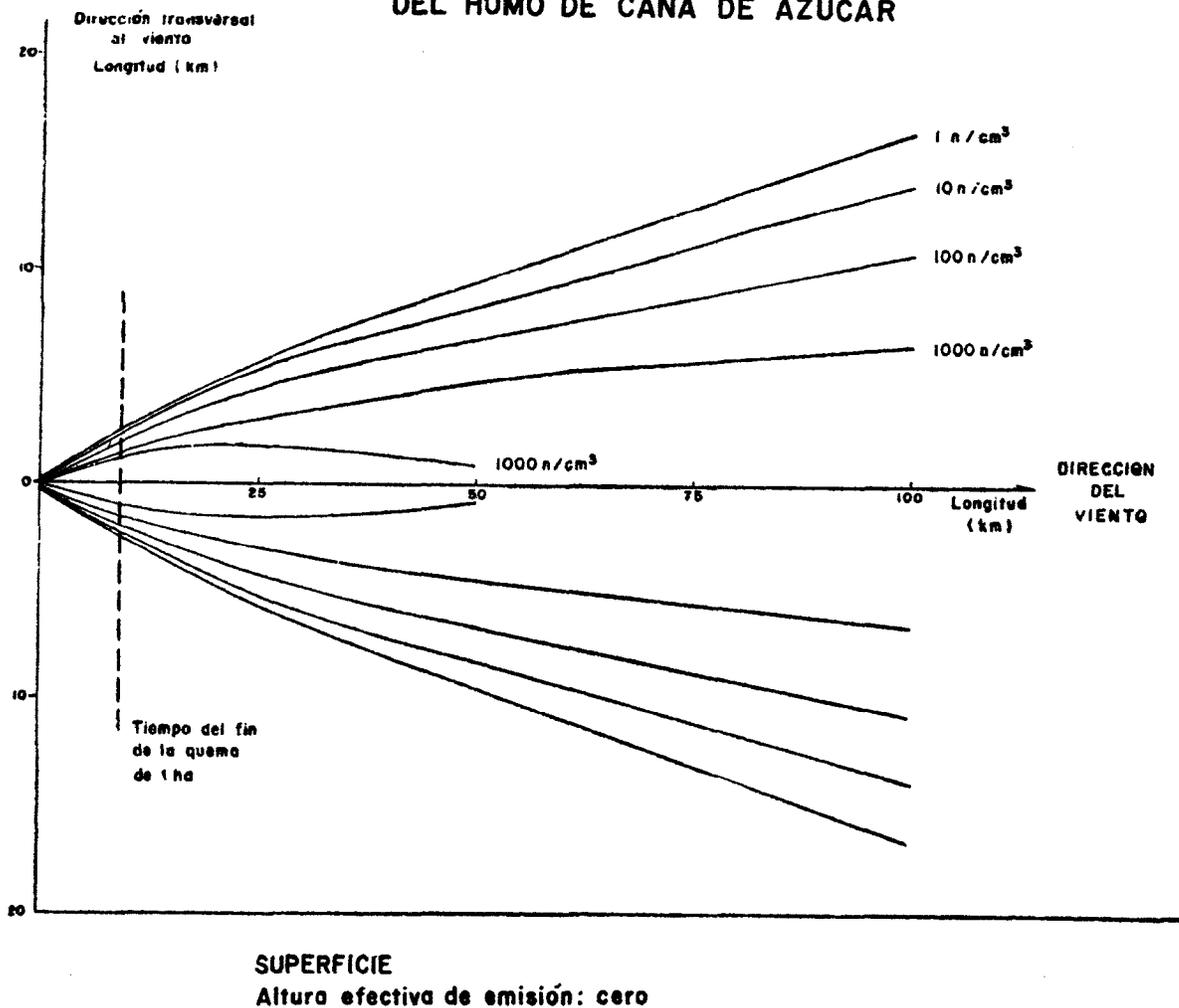


Figura 2

cuadrático (intersección A y pendiente B); desviaciones estándar de la variable independiente S_x y dependiente S_y , así como el error estándar de estimación S_{yx} y los estadísticos T para la correlación.

Se ha encontrado que mientras el número de frentes de la temporada de quema es aproximadamente igual al de una temporada media, la lluvia fue significativamente inferior respecto a su media y respecto a la pronosticada en la mayor parte de los casos. De modo que las correlaciones permiten detectar reducciones locales de los montos de precipitación y

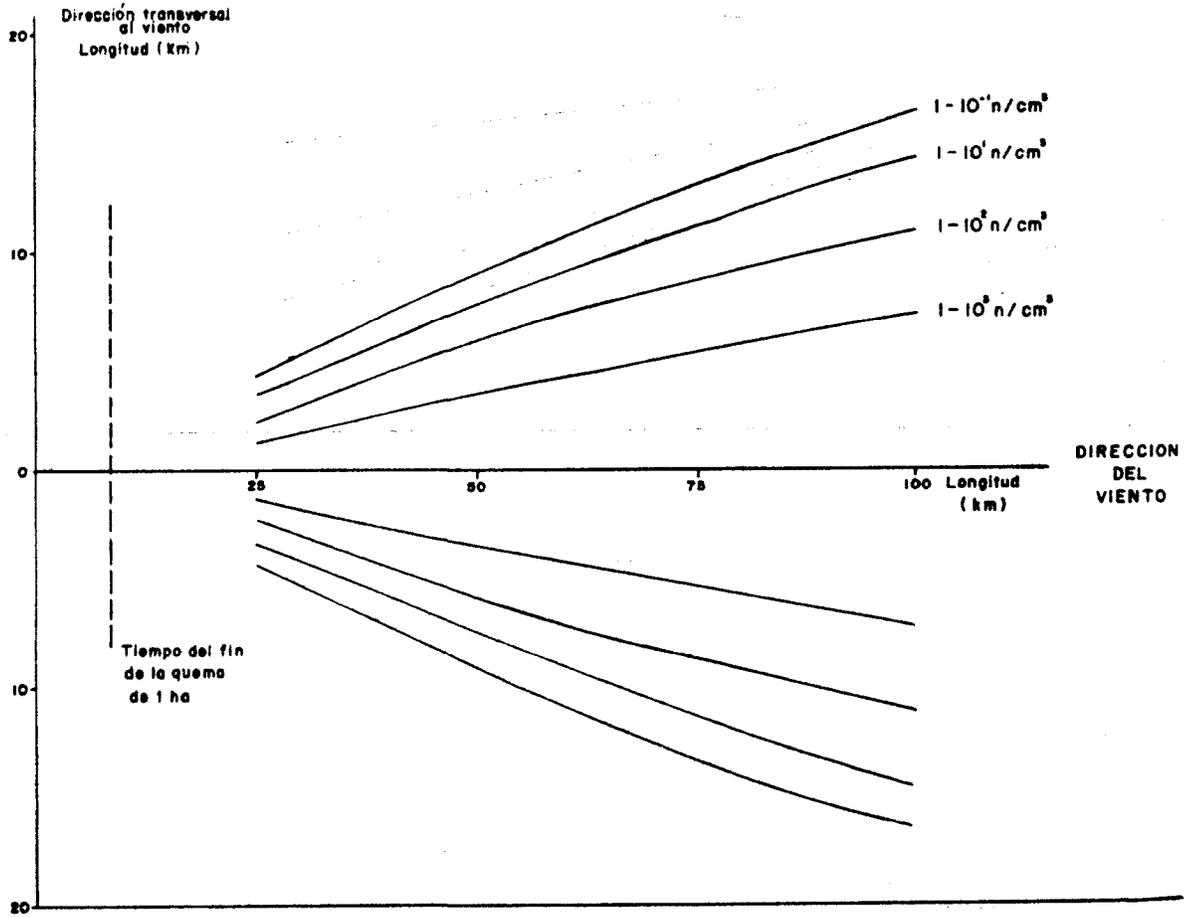
principalmente en la frecuencia de las precipitaciones, que confirman el resultado obtenido por el análisis de varianza y nos aclaran que ello no es consecuencia de la cantidad de frentes que cruzaron la región occidental de Cuba en la temporada.

Descartando la posibilidad de cambio en los eco-sistemas por inspección de todas las áreas, decidimos examinar la forma en que las propiedades de los frentes (ya no su número) u otra condición natural pudieron afectar el régimen de lluvias. Ello pudiera ser logrado seleccionando puntos geográficos, con propiedades sinópticas se-

mejantes al resto de los puntos analizados, pero en los cuales la posibilidad de influencia de los humos sea mínima. Cabo San Antonio, donde el sistema frontal de nubosidad que avanza desde el Golfo no ha lugar a sospechas sobre disminuciones previamente inducidas (rainshadow effect) y Punta Maisí, por la inversión del régimen pluvial (Atlas Nacional de Cuba) y las condiciones de alisios y lluvias orográficas en la temporada invernal, son los puntos escogidos. Mientras San Antonio es analizado por el método de correlación con los frentes, Maisí se analiza to-

mando como predictor los días de lluvia, que se interpretan como un "testigo" de las condiciones meteorológicas favorables a la producción de precipitaciones. Los resultados se muestran en la Tabla 3. En Maisí llovió menos por cada día de lluvia al nivel del 30%. Como se esperaba, en San Antonio lámina y días son L. D. con los frentes, pero mientras en frecuencia no hubo anomalías, en lámina se detecta una reducción al nivel del 7,67%. La reducción de lámina de Maisí es significativa al 10%. Ello sugiere que existían condiciones naturales de sequía en lámina.

CORTE SECCIONAL HORIZONTAL DE LA PLUMA DEL HUMO DE CAÑA DE AZUCAR



NIVEL DE 1 km
 Altura efectiva de emisión: 250 m

Figura 3

Mientras la naturaleza parece responsable de que precipitase sólo un 32,4% de la lluvia pronosticada, al nivel del 7%, y un 44,7% al nivel del 10%, en las zonas de quema intensiva hallamos que sólo pre-

cipitó del 7,9 al 14,2% de la lluvia pronosticada, al nivel de 4,07 al 4,7%. Así, la lámina de lluvia en las zonas de quema intensiva fue menor y con superior significación a la de las regiones aparentemente afectadas sólo por la sequía natural. Con relación a los días con lluvia, la situación es todavía más evidente, ya que esta variable se comporta normalmente fuera de las áreas de quema, en tanto en la zona periférica a los cañaverales llovió un 40% de los días pronosticados al nivel del 3,05% y dentro de ellos sólo del 7,82 al 9,97%, con niveles entre 8,13 y aun inferiores a 0,5%. La probabilidad de un fenómeno espontáneo de esta naturaleza es de 1 ocasión en 200 años.

TABLA 2-A-. Correlaciones lineales de lámina de lluvia vs. número de frentes. Período Diciembre Marzo.

	Casa Blanca	Camilo Cienfuegos Promedio	Gregorio A. Mañalich Promedio	G. Lavandero
M	54	28	11	12
\bar{X}	12,44	13,75	15,36	14,67
\bar{Y}	204,66	229,16	144,83	212,88
R	0,0607	0,0600	0,1060	0,0689
X_{71}	15	15	15	15
Y_{71}	46,2	38,8	36,9	0
Y_{71}/\bar{Y}	20,0	16,9	25,4	0
X_{71}/\bar{X}	120,5	109,09	97,6	102,2
Y_c	227,02	172-245	127-171	219,66
Y_{71}/Y_c	20,3	5,3-24,8	7,4-47,8	0
A	72,25	119-154	-75-81	-86,79
B	10,32	3,2-7,8	5,4-15,5	20,432
S_x	3,81	3,52	4,06	3,70
S_y	110,02	127,72	68,58	213,61
S_{yx}	103,74	128,18	63,22	209,53
T	1,298	1,315	1,383	1,372

5. CONCLUSIONES

La distribución dimensional y la dispersión de los humos de caña de azúcar en la atmósfera, según lo revela un modelo de difusión, constituyen condiciones físicas favorables a la inducción de estabilidad coloidal en la microestructura de las nubes Cumulus.

TABLA 2-B-. Correlaciones lineales de días con lluvia vs. número de frentes. Período Diciembre-Marzo

	Casa Blanca	Camilo Cienfuegos Promedio	Gregorio A. Mañalich Promedio	G. Lavandero
M	54	28	11	12
\bar{X}	12,44	13,75	15,36	14,67
\bar{Y}	24,19	17,14	8,32	7,17
R	0,5142	0,8022	1,8461	2,0460
X_{71}	15	15	15	15
Y_{71}	11	5,5	2,8	0
Y_{71}/\bar{Y}	40,0	32,1	33,6	0
X_{71}/\bar{X}	120,5	109,1	97,6	102,2
Y_c	27,06	17,53	8,21	11,68
Y_{71}/Y_c	40,0	31,4	34,0	0
A	10,18	12,77	4,03	2,15
B	1,1251	0,3175	0,2791	0,6350
S_x	3,81	3,52	4,06	3,70
S_y	9,26	6,06	2,33	5,52
S_{yx}	8,29	6,07	2,14	5,24
T	1,298	1,315	1,383	1,372

TABLA 2-C-. Correlaciones lineales de los coeficientes de efectividad vs. número de frentes. Período Diciembre-Marzo

	Casa Blanca	Camilo Cienfuegos Promedio	G. A. Mañalich Promedio
M	54	28	11
\bar{X}	12,44	13,75	15,36
\bar{Y}	8,56	13,34	17,23
R	1,4532	1,0307	0,8914
X_{71}	15	15	15
Y_{71}	4,2	8,3	11,9
Y_{71}/\bar{Y}	49,1	62,2	69,1
X_{71}/\bar{X}	120,57	109,1	97,7
Y_c	8,78	13,61	17,05
Y_{71}/Y_c	47	60	69
A	7,44	10,33	9,86
B	0,0896	0,2186	0,4794
S_x	3,81	3,52	4,06
S_y	3,03	4,21	6,38
S_{yx}	3,04	4,22	6,41
T	1,298	1,315	1,383

TABLE 3. Correlaciones lineales de las condiciones sinópticas y las lluvias de Cabo San Antonio y Punta de Maisí. Período Diciembre Marzo.

	- a -	- b -	- c -
M	21	21	21
\bar{X}	14,95	14,95	22,14
\bar{Y}	190,21	17,90	188,50
R	0,0786	0,84	0,1175
X_{71}	15	15	28
Y_{71}	61,7	14	108,4
Y_{71}/\bar{Y}	32,4	78	57,5
X_{71}/\bar{X}	100	100	126,5
Y_c	190,68	17,92	242,61
Y_{71}/Y_c	32,4	78	44,68
A	42,78	11,43	-16,07
B	9,8601	0,4328	9,2386
S_x	4,01	4,01	8,43
S_y	91,90	5,20	125,55
S_{yx}	85,13	5,03	101
T	1,328	1,328	1,328

- a) Lámina de lluvia vs. número de frentes en San Antonio.
 b) Días de lluvia vs. número de frentes en San Antonio.
 c) Lámina de lluvia vs. días de lluvia en Maisí.

El análisis estadístico de las lluvias en una temporada de quema intensiva de cañaverales es congruente con esta hipótesis, dadas las reducciones en lámina y frecuencia de lluvias más acentuadas en las áreas de quema intensiva.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud por la discusión de sus resultados al doctor Lubomir Levkov, de la Academia de Ciencias de Bulgaria; al ingeniero Vladimir Lobodin, del Servicio Hidrometeorológico de la URSS, y al ingeniero Luis F. Larra-goiti, de la Academia de Ciencias de Cuba.

BIBLIOGRAFIA

- (1970): *Atlas Nacional de Cuba*, 1ª ed. Ed. Academia de Ciencias de Cuba. Academia de Ciencias de la URSS, La Habana, 132 pp.
- CHANGNOM, S. A., Jr. (1968): The La Porte Weather Anomaly. —fact or fiction? *Bulletin of the American Meteorological Soc.*, 49 (1): 4-11.
- DAVIES, O. L., P. L. Goldsmith. (1971): *Statistical methods in research and production*. 1ª ed., Ed. Oliver & Boyd, Edimburg, 200 pp.
- DAVITAYA, F. (1965): Métodos investigativos de la Climatología Moderna. *Conferencia en el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba*, La Habana.
- GREEN, H. L., W. R. LANE. (1964): Particulate clouds: dusts, smokes and mists. 2ª ed., Ed. E. & F. N. Spon, Ltd., London, 471 pp.
- HOLLE, R. L. (1969): The effect on rainfall of cloud condensation nuclei from vegetation fires over South Florida during spring droughts. *ESSA Technical Memorandum ERLTM - AOML 4*. Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratories, Miami.
- LANGER, G. (1968): Ice nuclei generated by steel mill activity. *Proc. First National Conf. on Weather Modification*, 1ª ed., Albany, N. Y.
- MOSES, H., H. G. STROM. (1961): A comparison of observed plume rises with values obtained from well known formulas. *Journal of Air Pollution Cont. Assoc.* 11 (10).
- RODRIGUEZ, M. E., C. GONZALEZ, J. V. QUIÑONES. (1970): Cronología clasificada de los frentes fríos que han entrado en Cuba desde la temporada invernal 1916-17 hasta la de 1969-70. *Academia de Ciencias de Cuba, Primera Conferencia de Meteorología Tropical*, La Habana.
- SPURNY, K., et al. (1964): *Aerosoly*. Ed. Atomizdat, Moskva.
- TURNER, D. B. (1970): *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*. Ed. U. S. Dep. of Health, Education and Welfare. Environmental Health Service.
- WARNER, J., S. TWOMEY, (1967): The production of cloud nuclei by cane fires and the effect on cloud droplet concentration. *Journal of Atmospheric Sciences*, 24 (6): 704-706.
- WARNER, J. (1968): A reduction in rainfall associated with smoke from sugar-cane fires. An inadvertent weather modification? *Journal of Applied Meteorology*, 7 (2): 247-251.