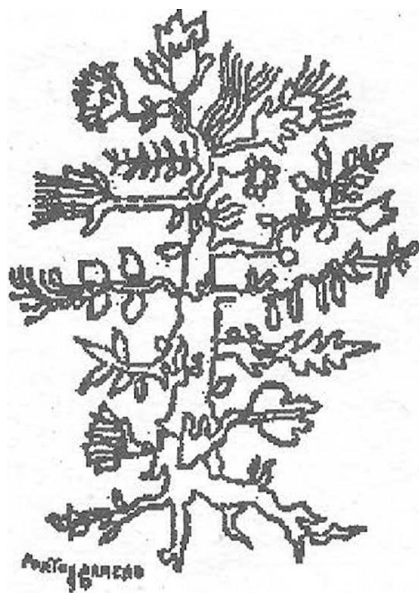
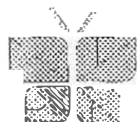


ACTA BOTANICA CUBANA



No. 136

30 de diciembre de 1999



INSTITUTO DE ECOLOGÍA Y SISTEMÁTICA

Relaciones de la diversidad en la flora endémica cubana con la vegetación y la aridez del clima. II Estudio de las variables climáticas*

Hermen FERRÁS**, Antonio LÓPEZ***, Ana MARTELL**, Avelino G. SUÁREZ**

ABSTRACT. A study using Geographic Information System (GIS) and multivariate analysis tools was made to obtain the relation between the climatic variables and the floristic composition of the different phytogeographic districts of Cuba. A negative correlation between the precipitations and the aridity index of the studied region was obtained as result. The analysis of the means changes in the temperature and precipitation regime predicted by the applied general circulation models allows us to predict the possible variation in the composition of the natural vegetation as consequence of these changes.

KEY WORDS. Climate Change, Plant formations, Geographic Information System, Multivariate Analysis.

INTRODUCCIÓN

La flora endémica cubana representa aproximadamente la mitad de las especies nativas (Alain, 1958; Borhidi, 1991). En el trabajo de López (1998) se demuestra el origen de nuestra flora actual a partir de dos centros evolutivos fundamentales tomando en cuenta la composición taxonómica de los endemismos vegetales. Las especies adaptadas a los hábitats más áridos surgen de ancestros provenientes de la región amazónica (Cerrado brasileño) y a su vez, las especies adaptadas a los lugares más húmedos evolucionaron a partir de ancestros de la región norandina (Gentry, 1982). Para su demostración el autor utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP).

La presencia de gran cantidad de familias con origen en la Amazonia fundamentalmente en las regiones menos húmedas de nuestro territorio, nos hace pensar en una semejanza entre los ambientes de la región del Cerrado brasileño y nuestro archipiélago. Raven *et al.* (1992) consideran que los cerrados y Cuba pertenecen al mismo bioma de sabanas. Efectivamente, el Cerrado presenta un clima estacional con un período de seca de unos cinco meses, temperatura media anual de 22°C y precipitaciones de 1300 mm anuales (Goodland y Ferri, 1979).

Según los cálculos hechos para este trabajo, a partir de datos proporcionados por el Instituto de Meteorología, Cuba presenta un clima similar, con temperatura media anual de 23,1°C y precipitaciones de 1300 mm, con una estación seca de cuatro a cinco meses.

El cerrado constituye un continuo de paisajes, que van desde el llamado "campo sujo" (campo sucio), pasando por los estadios de "campo cerrado" y "cerrado *sensu stricto*" hasta el "cerrado".

*Manuscrito aprobado el 15 de octubre de 1998.

**Instituto de Ecología y Sistemática, Apartado 8029, C.P. 10800, La Habana, Cuba.

***Museo Nacional de Historia Natural, C.P. 10102, La Habana, Cuba.

Este gradiente se caracteriza por el aumento progresivo de la cantidad y tamaño de los componentes leñosos, desde pequeños arbustos aislados en el “campo sujo”, hasta una gran densidad de árboles altos en el “cerradao” (Goodland y Ferri, 1979).

Análogamente se puede establecer un gradiente de la composición leñosa en los paisajes cubanos en las regiones con tendencia a la aridez, que va desde las sabanas naturales, pasando por los matorrales (charrascales y cuabales), hasta los bosques semideciduos.

López (1998) utiliza como índice para medir el grado de aridez de una región determinada, la proporción de endemismos de familias evolucionadas en la Amazonia según Gentry (1982) presentes en el mismo, a través de la fórmula:

$$A_r = \frac{N_a}{N_n} \quad (1)$$

A_r = Índice de aridez

N_a = Número de táxones amazónicos en la región estudiada

N_n = Número de táxones norandinos en la región estudiada

El autor consideró que la tendencia a la aridez se manifiesta en las regiones en que $A_r > 1$ y que los valores menores que la unidad corresponden a las regiones más húmedas y utiliza para la división territorial de nuestro archipiélago los distritos fitogeográficos según Samek (1973), modificado por López *et al.* (1993).

Esta metodología tiene validez para un territorio insular como el de Cuba, que ha permanecido aislado durante millones de años de las masas continentales, lo que ha traído consigo condiciones muy peculiares. La baja tasa de intercambio de germoplasma y la variabilidad del clima, con sucesivos períodos cálidos y húmedos, seguidos de períodos secos y fríos, condicionó una gran especiación, con la aparición de taxa muy bien adaptados a las condiciones cambiantes del clima, pero poco tolerantes a la competencia (López *et al.*, 1993, 1994; López (1998a)). Esta última afirmación se puede corroborar con la elevada capacidad de colonización de especies continentales que desplazan rápidamente a la flora nativa en los ecosistemas secundarios. Como ejemplo podemos citar al marabú (*Dichrostachys cinerea*), o a la hierba de Guinea (*Panicum maximum*).

MATERIALES Y MÉTODOS

La tarea emprendida consistió en primer lugar, en comprobar, utilizando variables climáticas, la validez de la hipótesis expresada en el trabajo de López (1998). El índice de aridez permite separar las regiones con tendencia a la aridez de las húmedas. Por otra parte, salvo una excepción, las llanuras y costas cubanas, que constituyen la mayor parte de nuestro archipiélago y donde se desenvuelven casi todas las actividades económicas y sociales, tienen tendencia a la aridez y por tanto, la amenaza de desertificación es real, si el agua no se maneja adecuadamente.

Los cálculos de los valores de precipitaciones y temperatura en cada uno de los distritos fitogeográficos se realizaron de manera espacial, utilizando para ello los datos de precipitación y temperatura facilitados por el Instituto de Meteorología. Estos datos corresponden a valores calculados de la precipitación y las temperaturas media, mínima y máxima por meses en una rejilla de 0.25°C de lado, tanto para la latitud como para la longitud. Los cálculos se realizaron utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG) MapMaker v2.0 para Windows. En él se obtuvieron además los mapas de isotermas e isoyetas y se digitalizó el mapa de distritos fitogeográficos.

Para la determinación de las variaciones en los ecosistemas producto del cambio climático se utilizaron las predicciones de los modelos de CGA Hadley, OSU y UKTR para los años 2010, 2030, 2050 y 2100 utilizando los escenarios de emisión de gases de efecto de invernadero propuestos en la Cumbre de la Tierra en 1992 en Río de Janeiro (IS92A) y en Kioto en 1997 (KIOTOA1) (Anexo 2).

En segundo lugar se utilizaron los resultados obtenidos para la determinación de los posibles cambios en los paisajes naturales debido al cambio climático pronosticado según los escenarios KIOTOA1 y IS92A. A partir de los datos meteorológicos, y utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG) MapMaker 2.0, obtuvimos el modelo digital de terreno o superficie para las precipitaciones anuales totales y las temperaturas medias anuales en el territorio nacional (Fig. 1).

A partir del modelo digital se obtuvieron las isolíneas de temperatura y precipitaciones. Por otro lado se digitalizó el mapa de distritos fitogeográficos de Cuba, según Samek (1973) modificado por López *et al.* (1993) (Fig. 2).

El próximo paso consistió en el cruzamiento de las capas de los modelos digitales por un lado, y el mapa de distritos fitogeográficos, por otro. Así se obtuvieron los datos de temperatura y precipitaciones medias en cada uno de los distritos, así como la desviación estándar de esas variables, y sus valores mínimos y máximos.

Se realizaron análisis de componentes principales (ACP) utilizando el programa STATISTICAL para la determinación de la correlación de las variables de temperatura, precipitación e índice de aridez.

Para cada uno de los modelos propuestos y los escenarios disponibles se reconstruyeron las rejillas climáticas y se obtuvieron para cada uno de ellos los mapas de isotermas e isoyetas. De todos estos escenarios posibles se tomaron para el estudio de las influencias del cambio climático en los ecosistemas naturales cubanos los correspondientes a las predicciones de los modelos Hadley y OSU, ambos utilizando el escenario de IS92A para el año 2100. Las razones de esta elección son las siguientes: Por un lado, las predicciones en cuanto a la variación de temperatura son bastante uniformes para todos los modelos y escenarios, alrededor de los 2°C para el año 2100. Por otro lado, tomamos los escenarios que garantizarán los valores extremos de disminución y aumento de las precipitaciones, variable ésta para la cual sí se predicen variaciones significativas (entre +19.9 y -10%). Se realizó el estudio de las variaciones para el año 2100 pues consideramos que éste se corresponde mejor con la velocidad en que pueden modificarse los ecosistemas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ACP utilizando los valores actuales de precipitaciones y temperatura nos brindó los siguientes resultados (Fig. 3):

1- Los dos primeros vectores acumulan el 83.2 % de la varianza total, por lo que los resultados obtenidos son confiables.

2- Existe una correlación negativa entre el índice de aridez propuesto por López (en prensa) y las precipitaciones. Este resultado nos permite aseverar que el índice de aridez aquí analizado, basado en elementos florísticos, tiene implicaciones climáticas.

3- La correlación entre el índice de aridez y la temperatura es positivo.

4- Las precipitaciones y la temperatura tienen una correlación cercana a cero, lo que indica la independencia de estas dos variables.

5- A partir de este análisis se obtienen agrupamientos de los distritos según los valores de las variables en estudio. Por un lado se agrupan los distritos de alta montaña, caracterizados fundamentalmente por bajas temperaturas, además de bajo índice de aridez y altos valores de las precipitaciones. Ellos son los distritos 28, 29 y 32 (Cordillera del Turquino, Gran Piedra y Sierra de Cristal). Por otro lado se agrupan los distritos más húmedos, con un bajo índice de aridez: 33, 35 y 37 (Moa-Baracoa, Baracoa y Sierra de Imías). En tercer lugar encontramos una agrupación formada por los distritos más áridos: 17, 22, 23 y 25 (Zapata, Camagüey, Holguín y Costa Centro-Oriental).

Al realizar los ACP para los escenarios Hadley y OSU para el año 2100 obtuvimos los resultados que se ilustran en las Figs. 4 y 5. Del análisis de estos gráficos podemos hacer las siguientes observaciones:

- De forma general, se observan pequeños cambios con respecto al análisis realizado con los datos correspondientes a la actualidad. Esto indica que de forma general, los cambios predichos según los escenarios en estudio no deben afectar grandemente a la mayor parte de los ecosistemas naturales cubanos.

- La variación más importante se aprecia en la posición del distrito 39 (Santa Catalina) en el caso del modelo Hadley (Fig. 4), el cual predice una reducción del 10% de las precipitaciones y un aumento de unos 2.5°C de la temperatura media. Este se desplaza en dirección del aumento de la temperatura y la aridez, y de la disminución de las precipitaciones. Esto implicaría una extensión hacia el norte, hacia zonas más altas de la aridez que tiene la franja costera Maisí-Guantánamo.

- Otra variación significativa se observa en el desplazamiento del distrito 34 (Bahía de Nipe), hacia un aumento de las precipitaciones y la consiguiente disminución de la temperatura y la aridez.

- El desplazamiento hacia un aumento de la temperatura y consecuentemente de la aridez en el distrito 38 (Colinas de Oriente), para el modelo OSU (Fig. 5).

- Desplazamiento en dirección a la disminución de temperatura, con la consiguiente disminución de la aridez en el distrito 37 (Sierra de Imías) según el modelo Hadley.

- Corrimiento del distrito 31 (Sierra de Nipe) hacia la zona de mayor precipitaciones, con

la disminución de la aridez.

- Desplazamiento hacia el aumento de las temperaturas y la aridez del distrito 32 (Sierra de Cristal).

CONCLUSIONES

De los anteriores resultados se puede inferir lo siguiente:

- La correlación negativa entre el índice de aridez y las precipitaciones demuestra la validez de la hipótesis presentada por López a partir de elementos biológicos: La existencia en nuestro medio de una tendencia a la aridez, reforzada por la presencia de gran cantidad de *taxa* evolucionados a partir de ancestros provenientes de la región árida del Cerrado. Efectivamente, sólo en los lugares más húmedos (montañas y la región de Baracoa), la proporción de elementos amazónicos es baja (índice de aridez inferior a uno).

- De forma general, la variación predecible de la aridez de los ecosistemas para la mayor parte del territorio cubano ante los cambios climáticos pronosticados es pequeña.

- Las mayores variaciones se obtuvieron para los distritos situados en el grupo orográfico Nipe-Sagua-Baracoa, esto permite inferir que debido a la complejidad geomorfológica y biológica de esta región, es a su vez la más sensible a cambios climáticos. Esta región, si bien representa una pequeña fracción del territorio nacional, tiene una gran importancia en la diversidad vegetal de Cuba, pues en ella se encuentran aproximadamente la mitad de los endemismos vegetales cubanos (López *et al.* 1993, 1994).

- Las variaciones observadas permiten suponer que puede haber cambios significativos en el clima, y por consiguiente, en los ecosistemas del grupo orográfico antes mencionado, especialmente, un desplazamiento hacia zonas de mayor altitud de la franja costera semidesértica de Maisí-Guantánamo y el aumento de las precipitaciones en la región nororiental de Cuba, (Bahía de Nipe, Sierra de Nipe).

REFERENCIAS

- Alain, Hno. 1958: La flora de Cuba: sus principales características, su origen probable: *Rev. Soc. Cubana Bot.*, 15(2-3): 36-39
- Borhidi, A. 1991: *Phytogeography and vegetation ecology of Cuba*. Akadémiai Kiado, Budapest, 923 pp.
- Gentry, A. H. 1982: Neotropical floristic diversity: Phytogeographical connections between Central and South America. Pleistocene climatic fluctuations or an accident of the andean orogeny? *Ann. Missouri Bot. Gard.* 69(30): 557-593.
- Goodland, R. y M. G. Ferri. 1979: *Ecologia dos cerrados*. Ed. Itatiaia, Sao Paulo, 193 pp.
- López, A., M. Rodríguez y A. Cárdenas. 1993: El endemismo vegetal en Maisí-Guantánamo (Cuba Oriental). *Fontqueria*, 36: 399-420.
- López, A., M. Rodríguez y A. Cárdenas 1994: El endemismo vegetal en la Cordillera del Turquino (Cuba Oriental). *Fontqueria*, 39: 395-431.
- López, A. [en prensa]: Relaciones de la diversidad en la flora endémica cubana con la vegetación y la aridez del clima. I) Las formaciones vegetales.
- López, A. 1998a: Algunas características del endemismo en la flora de Cuba Oriental. En: Halffter, G. (ed.). *La Diversidad Biológica de Iberoamérica II*. Volumen Especial, Acta Zoológica Mexicana, nueva serie. 47-82. Instituto de Ecología A.C. Xalapa. México.
- Raven, P. H.; R. I. Evert y S. E. Eichorn. 1992: *Biología de las plantas*. Reverté, Barcelona, 773 pp.
- Samek, V. 1973: Regiones fitogeográficas de Cuba. *Acad. Cien. Cuba, ser. Forest.* 15: 1-63

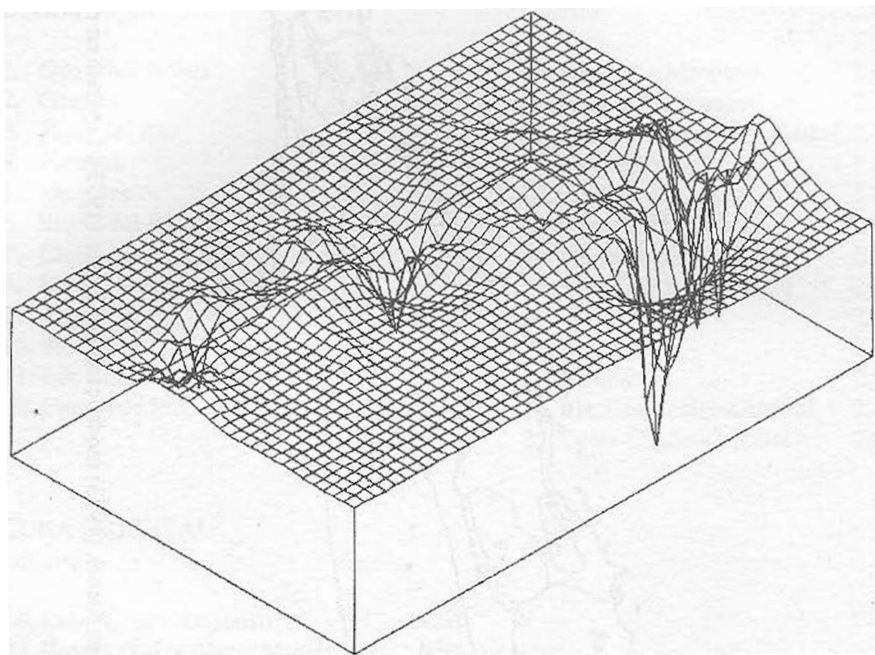


Fig. 1. Modelo digital de terreno (superficie) de temperatura para el territorio cubano obtenido a partir de los datos de la rejilla puntual, utilizando la herramienta "Create Surface" de MapMaker 2.0.



Fig.2. Distritos fitogeográficos de Cuba, según Samek (1973) modificado por López (1993). Leyenda en el anexo 1.

Anexo 1. Distritos fitogeográficos de Cuba según Samek (1973), modificado por López (1993). Leyenda de la Fig. 2.

CUBA OCCIDENTAL

Distrito	A _i
1. Guanahacabibes	2.18
2. Guanes	1.39
3. Pinar del Río	1.25
4. Pizarras	0.91
5. Mogotes	0.81
6. Sierra del Rosario	0.81
7. Cajalbana	1.16
8. Bahía Honda – Cabañas	1.45
9. Anafe	1.82
10. Sur Pinos	2.46
11. Los Indios – Sigüanea	1.26
12. Centro de Pinos	1.19

CUBA CENTRAL

Distrito	
13. Habana – Matanzas	1.63
14. Habana – Limonar	2.20
15. Planicie Centro-Occidental	2.10
16. Motembo	1.83
17. Zapata	3.82
18. Cayería Meridional	0.00
19. Guamuhaya	0.73
20. Cienfuegos – Trinidad	2.25
21. Santa Clara	2.14
22. Camagüey	2.84
23. Holguín	2.04
24. Planicie Centro-Oriental	2.44
25. Costa Centro-Oriental	2.68

CUBA ORIENTAL

Distrito	A _i
26. Cabo Cruz – Baconao	1.93
27. Promontorios Sierra Maestra	0.93
28. Cordillera del Turquino	0.41
29. Gran Piedra	0.20
30. Valle Central	0.90
31. Sierra de Nipe	0.92
32. Sierra de Cristal	0.65
33. Moa – Baracoa	0.70
34. Bahía de Nipe	1.79
35. Baracoa	0.32
36. Maisí – Guantánamo	1.49
37. Sierra de Imías	0.48
38. Colinas de Oriente	0.92
39. Santa Catalina	0.43

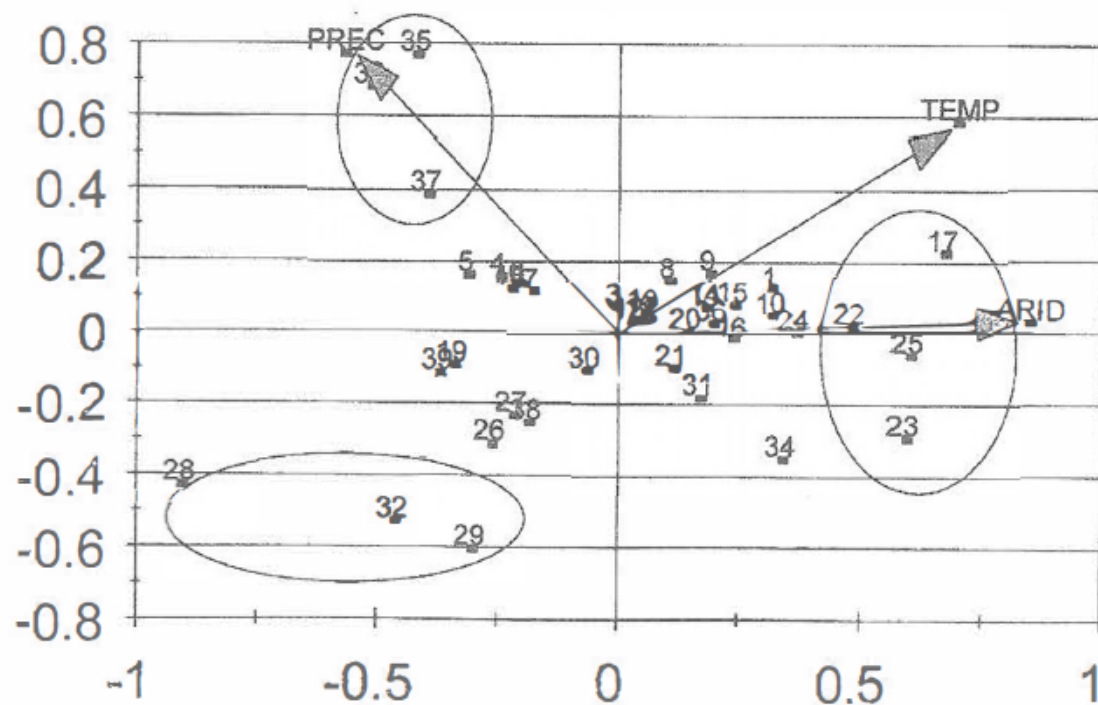


Fig. 3. Análisis de componentes principales para las variables climáticas actuales.

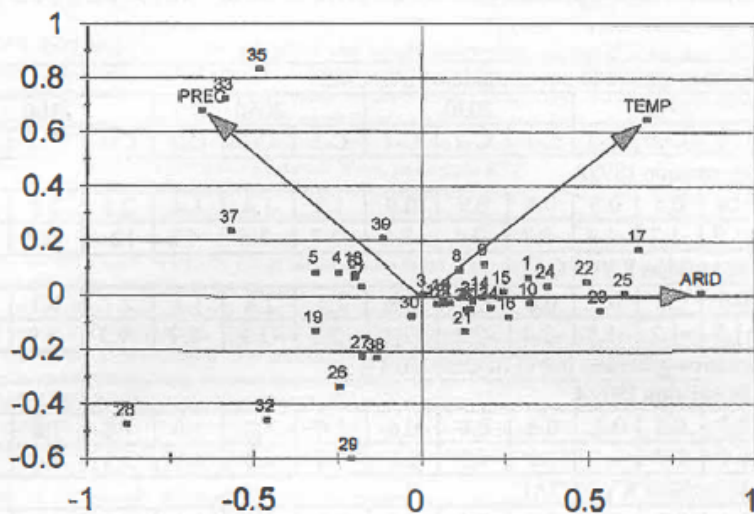


Fig. 4. Análisis de componentes principales para las variables climáticas según el modelo Hadley, utilizando el escenario IS92A para el año 2100.

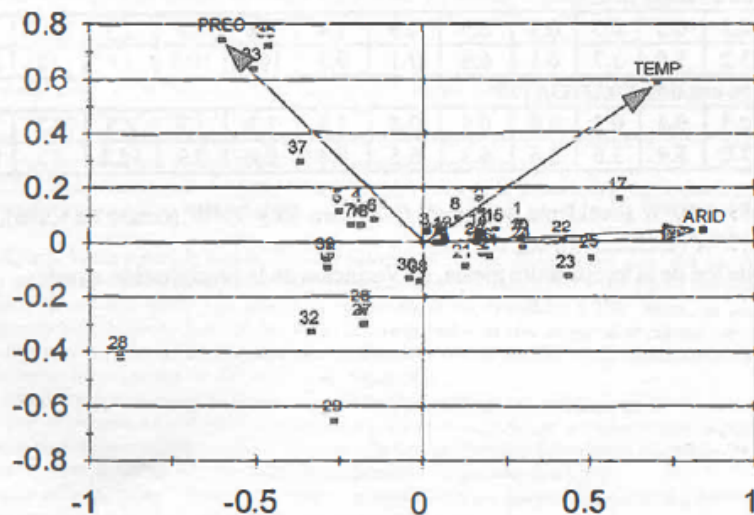


Fig. 5. Análisis de componentes principales para las variables climáticas según el modelo OSU, utilizando el escenario IS92A para el año 2100.

Anexo 2: Cambio climático pronosticado con los modelos Hadley (HADCM2), OSU y UKTR.

Cambio climático generado por el modelo HADCM2												
	2010			2030			2050			2100		
	C-1	C-2	C-3	C-1	C-2	C-3	C-1	C-2	C-3	C-1	C-2	C-3
Escenario de emisión IS92A												
T (°C)	0.4	0.5	0.5	0.8	0.9	0.9	1.3	1.4	1.4	2.3	2.5	2.5
P. (%)	-1.9	-1.2	-1.4	-3.7	-2.4	-2.6	-5.7	-3.6	-4.0	-10.4	-6.6	-7.4
Escenario de emisión KYOTOA1												
T (°C)	0.4	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	1.1	1.3	1.3	2.1	2.3	2.3
P. (%)	-1.9	-1.2	-1.3	-3.4	-2.2	-2.4	-5.2	-3.3	-3.7	-9.3	-5.9	-6.6
Cambio climático generado por el modelo UKTR												
Escenario de emisión IS92A												
T (°C)	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0	1.8	1.8	1.8
P. (%)	0.6	0.7	1.1	1.2	1.3	2.0	1.8	2.0	3.1	3.3	3.6	5.6
Escenario de emisión KYOTOA1												
T (°C)	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9	1.6	1.6	1.6
P. (%)	0.6	0.6	1.0	1.1	1.2	1.9	1.6	1.8	2.8	3.0	3.2	5.0
Cambio climático generado por el modelo OSU												
Escenario de emisión IS92A												
T (°C)	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	0.9	1.4	1.4	1.4	2.5	2.5	2.5
P. (%)	3.2	3.5	3.7	6.1	6.8	7.1	9.3	10.4	10.9	17	19	19.9
Escenario de emisión KYOTOA1												
T (°C)	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	1.3	1.2	1.3	2.3	2.2	2.3
P. (%)	3.0	3.4	3.6	5.6	6.3	6.5	8.4	9.4	9.9	15.2	17	17.8

C-1 Entre 85 y 80°W (occidente de Cuba), C-2 Entre 80 y 75°W (centro de Cuba), C-3 Entre 75 y 70°W (extremo oriental del país)

T (°C) Variación de la temperatura media, P- Variación de la precipitación anual