

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Comunicaciones

TERCERA ÉPOCA

VOL. I

ENERO

No. 1

1976

EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA



SUMARIO

	<i>Página</i>
PRESENTACION	
René Alberto Zelaya	5
NOTAS ECOLOGICAS SOBRE LAS POBLACIONES DE <i>ROTHSCHILDIA AROMA</i> SCHAUS (LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) Y SUS ENEMIGOS NATURALES	
José Dionisio Velasco Guevara	7
IMPORTANCIA QUE PUEDE TENER EN EL SALVADOR, C. A. LA CASUARINA EQUISETIFOLIA <i>FORSTER</i>	
José Salvador Flores	17
EVIDENCIA ELECTROFORETICA PARA ESPECIACION ENTRE POBLACIONES DEL SAPO <i>BUFO VALLICEPS WIEGMANN</i>	
Edward J. Creding, Jr.	31
LAS NUBES DE ALTA VELOCIDAD DE LA GALAXIA Y LA ESTRUCTURA DEL GAS INTERESTELAR	
Riccardo Giovanelli	41

COMUNICACIONES

REVISTA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TERCERA EPOCA

VOL. I

ENERO DE 1976

Nº 1

PRESENTACION

RENE ALBERTO ZELAYA *

Profesor del Departamento de Matemáticas
Universidad de El Salvador.

Es importante aclarar a nuestros lectores, que las publicaciones de la Segunda Epoca del vocero oficial de las actividades científicas de este Instituto, la revista COMUNICACIONES, se vieron lamentablemente interrumpidas a causa de la intervención gubernamental de nuestra Alma Mater, el pasado 19 de julio de 1972.

A partir de esa fecha, nuevas Autoridades se encargaron de dirigir nuestra Universidad y fue hasta en octubre de 1973 en que se inició la labor docente-administrativa. Como es lógico suponer, estos aspectos fueron los prioritarios en el reinicio de labores y la investigación científica fue relegada a segundo término. Sin embargo, debido a la inquietud de varios jóvenes científicos de nuestro Instituto, que tienen por norma completar la docencia con la investigación, ha hecho posible que nuevamente aparezca la revista COMUNICACIONES; y en ella hemos recopilado una serie de artículos que expresan parte del quehacer científico de los departamentos de BIOLOGIA, FISICA, QUIMICA y MATEMATICA, que forman nuestro Instituto. Dichos trabajos reflejan el deseo de contribuir con el desarrollo de la Ciencia, tanto a nivel nacional como internacional y además nos permite promover, impulsar y divulgar la investigación científica y sistemática; que es uno de los principales objetivos de nuestra Institución.

Así después de tres años, COMUNICACIONES ofrece de nuevo sus páginas a la comunidad científica mundial, para dar a conocer, por medio de ellas, nuestras inquietudes y contribuir de esta manera al bienestar de la humanidad.

* La preparación del presente número se comenzó, siendo el Lic. René Alberto Zelaya Director del Instituto de Ciencias Naturales y Matemática.

NOTAS ECOLOGICAS SOBRE LAS POBLACIONES DE ROTHSCHILDIA AROMA SCHAUS (LEPIDOPTERA: SATURNIIDAE) Y SUS ENEMIGOS NATURALES

JOSE DIONISIO VELASCO GUEVARA

Universidad de El Salvador

Departamento de Biología

(29 de septiembre de 1974).

RESUMEN:

Se comprobó el ciclo de vida de *Rothschildia aroma* y el efecto de sus enemigos naturales como agentes de control de la población de esta mariposa.

Se encontró algunas variaciones en los porcentajes de parasitismo reportados por Quezada (1967). Tales diferencias son notorias, sobre todo en San Miguel y las zonas aledañas (una de las áreas, algodonerías salvadoreñas) y por eso se estableció una hipótesis sobre la posible acción de los insecticidas regados en tales lugares como posibles causantes de las alteraciones en los niveles biológicos alcanzados por *Rothschildia* y sus parásitos. Tal hipótesis se sometió a la prueba de X^2 de correlación.

AGRADECIMIENTOS:

Al Dr. José Rutilio Quezada y al Lic. José Wester del Cid por su valiosa colaboración en la interpretación de los datos obtenidos.

I

INTRODUCCION:

Este trabajo pretende comprobar los datos obtenidos por Quezada (1967), entre febrero de 1964 y Mayo de 1965. Tal investigador reportó 70% de parasitismo en los capullos de *Rothschildia aroma* (ver Fig. N° 1) que colectó. *Belvosia nigrifrons* Aldrich (ver Fig. N° 2) y *Lespesia* sp. resultaron ser los causantes del 91.3% y 6%, respectivamente, del parasitismo encontrado. *Enicospilus americanus* Christ (ver fig. N° 3), contribuyó con el restante 2.7%. Se trata luego de establecer una hipótesis sobre las posibles causas de variación de las frecuencias parasitarias reportadas por Quezada y las encontradas en este trabajo. Tal hipótesis se pretende comprobar mediante la aplicación de algunos sencillos procedimientos estadísticos, tomando las frecuencias parasitarias reportadas por Quezada, como las frecuencias originales.

II

DESARROLLO:

1.—MATERIALES Y METODOS:

Se colectaron los capullos de **Rothschildia aroma** en 22 localidades en El Salvador entre junio de 1970 y abril de 1971. Tales capullos se estudiaron como lo hizo Quezada (1967). Los datos también se registraron de manera similar.

Se verificó el ciclo de vida de estas mariposas manteniendo las larvas en bolsas de polietileno donde diariamente se les cambiaba el alimento consistente en hojas de la planta hospedera (**Spondias purpurea**), principal.

Se procedió a hacer ciertas comprobaciones sobre la importancia de la predación por aves en la población de **R. aroma**. Para tal fin se trabajó usando un árbol de **Spondias purpurea** ubicado en los terrenos del Departamento de Biología de la Universidad de El Salvador.

2.—RESULTADOS:

El cuadro N° 1 fue elaborado de acuerdo al formato diseñado por Quezada (1967). Se encontró un parásito diferente a los reportados por este autor. Se trata de un Hymenóptero de la familia Chalcididae (**Spilochalsis sp.**). En los 9 capullos parasitados por tal insecto, se encontró un total de 60 a 80 parásitos por capullo. Se necesita coleccionar más capullos parasitados por este insecto a fin de comprobar su eficiencia, ya que en los casos examinados se encontró que habiendo llegado a su estado adulto, fue incapaz de emerger del capullo del hospedero.

CICLO DE VIDA:

Las primeras larvas emergieron a los 6 días de puestos los huevos y 6-8 días después, tomaron un aspecto característico con espinas amarillas sobre un fondo verde. Esto hizo concluir que tal estado larval de espinas amarillas, consignado por Quezada (1967), como un tercer estado larval (1) es realmente el segundo estadio larval del insecto.

Se comprobaron los datos referentes a la estivación de la mariposa en estudio. Se puede agregar que tanto **B. nigrifrons** como **Lespesia sp.** están adaptadas a tal fenómeno de su hospedero, puesto que en el laboratorio fue observada la emergencia de tales parásitos, después del tiempo señalado como estivación de **R. aroma**. Ambos parásitos emergieron de tamaño considerablemente mayor a los nacidos durante las generaciones de invierno.

En su reporte, Quezada (1967), señaló un período de apareamiento de 9 horas a lo sumo. A este respecto señalamos que en 3 ocasiones se comprobó una duración mínima de 16 horas de apareamiento por pareja observada. Después de la cópula, la mariposa sobrevive unos 2 a 3 días.

PLANTA hospedera (de <i>R. aroma</i>)	Nº DE CAPULLOS						Nº PARASITADOS POR			
	Total		No parasitados		Parasitados		B. n.	L. sp.	E. am.	S. sp.
	Nº	%	Nº	%	Nº	%				
Spondias purpurea (Anacardiaceae)	629	89.4	319	45.3	310	44.1	258	42	1	9
Jatropha curcus (Euphorbiaceae)	55	7.8	28	4.0	27	3.8	20	7	—	—
Coutarea hexandra (Rubiaceae)	14	2.0	11	1.5	3	0.5	1	3	—	—
Citrus aurantium (Rutaceae)	2	0.3	1	0.15	1	0.15	—	—	—	—
Anona muricata (Anonaceae)	2	0.3	2	0.3	—	—	—	—	—	—
Crecentia alata (Bignoniaceae)	1	0.2	1	0.2	—	—	—	—	—	—
TOTALES	703	100.0	362	51.45	341	48.55	279	52	1	9

Cuadro Nº 1.—Frecuencias parasitarias reportadas en 703 capullos de *R. aroma* colectados entre febrero de 1964 y mayo de 1965.
B. n. = *Belvosia nigrifrons*; L. sp. = *Lespesia sp.*; E. am. = *Enicospilus americanus*; S. sp. = *Spilochalcis sp.*

Se encontraron tres casos de parasitismo múltiple en donde en el mismo capullo habían puparios de *Belvosia nigrifrons* y *Lespesia sp.*

En promedio las mariposas ponían entre 250 – 300 huevos por oviposición y normalmente se encontró sólo 1 ó 2 capullos por planta hospedera. Esto llevó a considerar la importancia que pudieron tener otras formas de control natural tales como predadores, el clima y otros factores abióticos. En cuanto a predadores, en tres ocasiones se comprobó la eficiencia de *Cassidix m. mexicanus* (zanate), al reducir drásticamente una población de unas 200 larvas de mariposas a tal grado que fue exterminada en 2 días a lo sumo. Señalamos la acción de factores físicos como la temperatura y la humedad pues en el suelo debajo del “árbol experimental”, se observaron varias decenas de larvas muertas.

Los cuadros N° 2 y 3 nos ponen en evidencia algunas diferencias, en grados de parasitismos, entre nuestros datos y los reportados por Quezada (1967). Resultó muy conveniente dar un trato particular a los resultados obtenidos en San Miguel.

	<i>B. nigrifrons</i>		<i>Lespesia sp.</i>		<i>Spilochalcis sp.</i>		<i>E. americanus</i>	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Total zonas estudiadas.	279	81.8	52	13.3	9	2.7	1	0.2
San Miguel y zonas aledañas.	52	65.8	17	21.5	9	11.5	1	1.2
Zonas estudiadas excluyendo San Miguel.	227	86.6	35	13.4	—	—	—	—

Cuadro N° 2.—Frecuencias parasitarias analizadas según posibles variaciones en las zonas de colección.

El cuadro N° 3 nos permitió hacer algunas pruebas biométricas de X^2 a fin de comprobar si las diferencias entre nuestros datos y los de Quezada (1967), se pueden explicar por simple influencia del azar o si por el contrario, se puede especular sobre otros hechos como factores causales de tales variaciones.

DATOS REPORTADOS			NUESTROS DATOS REPORTADOS					
Por Quezada (1967)			Total zonas colección		San Miguel y zonas circunvecinas		Otras zonas de colección	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Colectados	1212		703		316		387	
Parasitados	848	70.0	340	48.4	78	25.0	262	67.7
Momificados	237	19.5	96	13.6	56	17.7	40	10.3
Adultos	127	10.5	267	38.0	182	57.3	85	22.0

Cuadro N° 3.—Resultados comparativos entre los datos reportados por Quezada (1967) y nuestros datos.

3.—DISCUSION:

De un total de 703 capullos, sólo el 48.5% han resultado parasitados. Esto lleva a una diferencia de 21.5% con respecto al 70% de parasitismo reportado por Quezada (1967). Al proceder a estimar los capullos colectados en San Miguel y zonas circunvecinas se notó que es en esta zona donde radica la causa principal de la desviación señalada. En San Miguel se colectaron 316 capullos y sólo 78 salieron parasitados. El dato anterior implica 25% de parasitismo. Procediendo a sacar el porcentaje de parasitismo en los capullos colectados en otra zona del país, diferente de San Miguel, se notó que tal porcentaje era de 67.7%, o sea que no diferió significativamente del dato de 70% señalado por Quezada. Respecto a los resultados de San Miguel y zonas aledañas en donde a veces se colectaron hasta 18 capullos por planta hospédera, cabe la especulación sobre posibles efectos de contaminación del medio ambiente debido al excesivo riego de insecticidas en la zona, con el consiguiente efecto letal para los parásitos de *R. aroma*. Otra posibilidad a considerar sería que los resultados fueron consecuencia de la elevada temperatura de la zona. Esto es menos factible si consideramos que los capullos en zonas de clima similar a San Miguel, tales como Jocoro (Morazán), no dieron resultados parecidos.

Un porcentaje de 67.7% de parasitismo en los capullos colectados parece ser un buen indicador de un elevado grado de control biológico de *R. aroma* por medio de parásitos.

En el cuadro N° 4 efectuamos algunas pruebas de X^2 de correlación según el procedimiento demostrado por *Schneider E.* (1962), en su obra "La Biometría".

		PARASITADOS		ADULTOS		X ²	
Total zonas de colección	Quezada	848.0 732.17 115.8	13509.64 18.4	127.0 242.82 115.8	13509.64 55.6	975	18.4 55.6 29.6 89.3
	Velasco	340.0 455.88 115.8	13509.64 26.6	267.0 151.16 115.8	13509.64 89.3	607	192.9
		1188		394		1582	
San Miguel y zonas aledañas	Quezada	848.0 731.05 116.9	13665.61 18.6	127.0 243.9 116.9	13665.61 56.5	975	18.6 46.8 56.5 210.1
	Velasco	78.0 194.93 116.8	13665.61 46.8	182.0 65.05 116.9	13665.61 210.1	260	332.0
		926		309		1235	
Otras zonas de colección	Quezada	848.0 818.64 29.3	848.59 1.04	127.0 156.35 29.3	858.49 5.4	975	1.04 5.4 2.6 15.4
	Velasco	262.0 291.35 29.3	858.49 2.6	85.0 55.64 29.3	858.49 15.4	347	24.44
		110		212		1322	

Cuadro N° 4.—Prueba X² de correlación según Schreider (1962) entre los datos reportados por Quezada (1967) y los datos obtenidos en este trabajo.

En cada caso: A la izquierda de arriba abajo:

- a) Número de observaciones (frecuencia observada).
- b) Frecuencia teórica.
- c) Diferencia entre a) y b).

A la derecha, de arriba abajo:

- a) Cuadrado de la diferencia
- b) Cociente de la división del cuadrado de la diferencia por la frecuencia teórica.

N. B. la frecuencia del casillero superior izquierdo se obtuvo así:

$$\frac{1188 \times 975}{1582} = 732.17$$

Según los resultados obtenidos en esta prueba biométrica, se justifica la especulación sobre posibles alteraciones en la ecología de **R. aroma** y sus parásitos, pero tales especulaciones estarán sujetas a estudios durante periodos más amplios, pues con los datos que se poseen no se puede tener certeza sobre los factores causales de tales alteraciones.

III

CONCLUSIONES:

Las poblaciones de **R. aroma** y sus parásitos están sufriendo cambios en detrimento de los parásitos y aumento de individuos de **R. aroma** según puede verse en las pruebas de X^2 efectuadas y los datos señalados en la discusión general.

Las alteraciones mencionadas son notables sobre todo en San Miguel y zonas aledañas dando base para especular sobre la posible acción de los insecticidas regados en tales lugares, como ha sido sugerido por Quezada, Alegría y Velasco (1973) y Quezada (1973).

B. nigrifrons sigue siendo el parásito principal de **R. aroma** con un crecimiento aparente en la competencia por parte de **Lespesia sp.**

IV

RESUMEN EN OTROS IDIOMAS:

ABSTRACT

The life cycle of **Rothschildia aroma** and the effect of its natural enemies as control vectors of the population of this butterfly were investigated.

Some variations were found in the percentages of parasitism reported by Quezada (1967). The variations founded are most evident in San Miguel and its surroundings (one of the salvadorian cotton areas) and for that reason a hypothesis was formulated concerning the possible action of insecticides sprayed in such places as

causes of the alterations in the biological levels of **R. aroma**, and its parasites. This hypothesis was tested using the X^2 test of correlation.

RESUME

On a vérifié les étapes de la vie de la **Rothschildia aroma**, ainsi que l' action de ses ennemis naturels en vue d'établir des formes de contrôle du nombre des ces papillons.

On a trouvé des variations par rapport aux pourcentages donnés par Quezada (1967). Les variations citées sont importantes sur tout à San Miguel et dans les alentours (région du coton salvadorène), c'est pourquoi on émit une hypothèse à propos de l'action possible des insecticides employés dans ces régions; en tant qu'ils seraient la cause des alterations des niveaux biologiques atteints par la **R. aroma** et ses parasites. L' hypothese en question fut soumise à la preuve par X^2 de correlation.

BIBLIOGRAFIA:

1. QUEZADA, J. R., "Notes on the Biology of *Rothschildia aroma* (Lepidoptera: Saturniidae), with Special Reference to its Control by Pupal Parasites in El Salvador"; Annals of the Entomological Soc. of Am., Vol. 60, N° 3, pp. 595-599, May 1967.
2. QUEZADA J. R., J. R. Alegría Coto, J. D. Velasco G. 1973. Efecto de los Insecticidas en el equilibrio natural de las poblaciones de *Rothschildia aroma* Shaus (Lepidoptera: Saturniidae), en El Salvador. Rev. Biol. Trop. 21(1): 111-125.
3. QUEZADA, J. R. 1973. Insecticide Applications Disrupt Pupal Parasitism of *Rothschildia aroma* Populations in El Salvador. Environmental Entomology. Vol. 2, N° 4: 639-641.
4. SCHREIDER, E., "La Biometría", Editorial Universitaria de Buenos Aires, pp. 20-21, 1962.

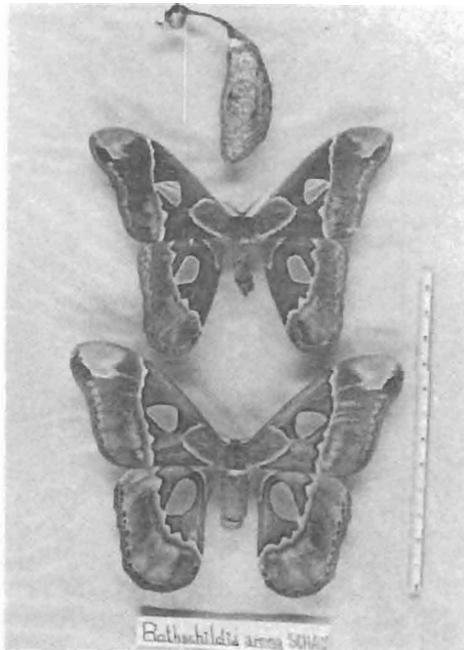


Figura Nº 1

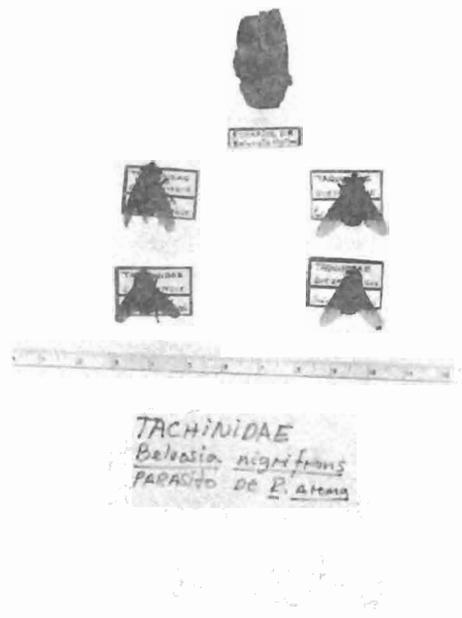


Figura Nº 2

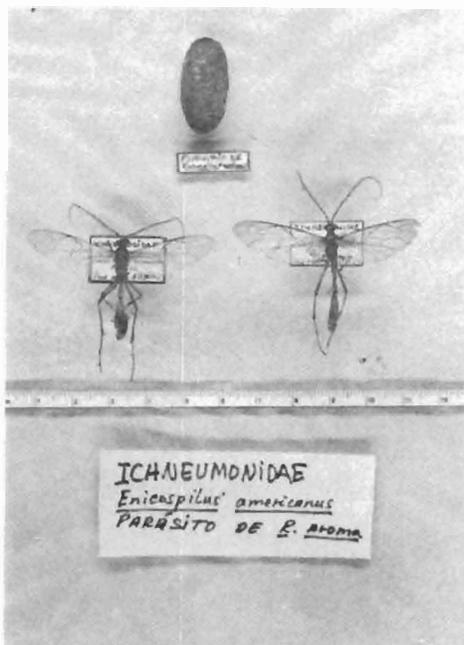


Figura Nº 3

En la Figura Nº 1

Arriba: pupario de la mariposa;
Centro: macho de la especie;
Abajo: hembra de la especie.

En la Figura Nº 2

Pupario y adulto de *Belvosia nigrifrons*.
Un endoparásito de *R. aroma*.

En la Figura Nº 3

Pupario y adultos de *Enicospilus americanus*.
Endoparásito de *R. aroma*.

IMPORTANCIA QUE PUEDE TENER EN EL SALVADOR, CENTRO AMERICA, LA CASUARINA EQUISETIFOLIA FORSTER

JOSE SALVADOR FLORES
Departamento de Biología
Facultad de Ciencias y Humanidades
Sección de Botánica
(Octubre de 1974).

R E S U M E N

En este trabajo se hace un análisis del crecimiento y propagación de la *Casuarina equisetifolia* forster, desde su introducción en nuestro país, hasta la fecha. El crecimiento se analiza en base a su área basal y de cobertura, además se presenta un mapa de distribución de la planta, así como los usos que podríamos darle.

I N T R O D U C C I O N

El Salvador es uno de los países de América en que la vegetación primaria está perturbada casi en su totalidad, lo cual ha ocasionado ya graves problemas, tales como erosión y reducción de los mantos de agua, con la consiguiente sequedad de manantiales. Además, es notoria la escasez de madera, de la que existe gran demanda y se importa una gran cantidad, la cual hasta 1968, ascendió a 108.000 mts³, (Anónimo, 1971). A esto hay que agregar el consumo de madera para combustible, que es considerable, pues se carece de minas de carbón y gas, lo que obliga cada vez más a echar mano de los pocos reductos de vegetación primaria que aún existen, incluyendo los manglares, hasta hace poco intactos. Por todo esto, cada vez se hace más necesario encontrar especies vegetales arbóreas que a corto plazo nos recuperen nuestro suelo erosionado, además de resolvernos, en lo posible, la demanda de madera y de leña. Una de estas especies puede ser la *Casuarina equisetifolia* forster, que hasta la fecha sólo ha sido usada como especie ornamental, subestimándola en cuanto a explotación, aun cuando posee propiedades que la convierten en un árbol de mucha utilidad, además de que las características ecológicas de nuestro medio son favorables para su cultivo.

Esta planta originaria, según muchos autores, de Australia, se encuentra perfectamente adaptada en diversas regiones de América, siendo Cuba, posiblemente, el

primer país al cual se introdujo. A nuestro país fue traída a mediados de la década de los treinta, según datos de Guzmán (1926), y Calderón y Standley (1941), posiblemente de Guatemala o Nicaragua, en donde ya se cultivaba a principios del siglo. En la actualidad, esta planta se encuentra ornamentando calles, parques y lugares recreativos, aumentando año con año su propagación en el país. De allí que es frecuente encontrar especímenes con distinta fecha de siembra a partir de 1938 y especialmente en la ciudad de San Salvador, en donde es la especie arbórea ornamental más abundante, ya que constituye el 80% de esta vegetación en las áreas verdes. Siendo notorio su crecimiento rápido y ante la posibilidad de obtener los datos respecto a la fecha de siembra, su incremento anual fue estudiado, así como su distribución en el país, haciendo a su vez observaciones respecto al beneficio que El Salvador puede obtener con el cultivo de esta planta.

MATERIAL Y METODO

Se muestrearon ejemplares sembrados entre 1938 y 1968. La mayor parte de muestreos se hicieron en la ciudad de San Salvador, donde la planta es más abundante, (Fig. 1) durante los primeros meses de 1972.

A los ejemplares muestreados se les tomaron los siguientes datos:

- a) Fecha de siembra, la cual fue proporcionada por jardineros de los parques y jardines municipales, así como por personas que la han sembrado en sus jardines;
- b) Nombre del lugar de muestreo;
- c) Altura en metros;
- d) Circunferencia del fuste a la altura del pecho;
- e) Radio de Cobertura;
- f) Anotaciones respecto a las condiciones en que han sido sembradas, especialmente cuando están en los márgenes de las calles;
- g) Fotografías.

R E S U L T A D O S

PROMEDIOS DE ALTURA, AREA BASAL Y AREA DE COBERTURA POR AÑO DE LA *Casuarina equisetifolia forster* EN EL SALVADOR, C. A.

CUADRO N° 1

Nº de Árboles Muestreados	Año de Siembra	Altura Promedio en Metros	Area Basal Promedio en centímetros cuadrad.	Area de Cobertura Promedio en mts. cuad.	Nombre de los Lugares Muestreados
25	1938	25.6	1.537.22	154.34	Parque Felipe Soto y Pque. Cañas, S. S.
22	1940	14.4	1.153.90	116.48	Parque Venustiano Carranza, S. S.
25	1941	16.3	1.026.20	56.92	C. Zoológico, S. S.
24	1945	13.12	682.50	70.64	C. Zoológico y Col. Centroamérica, S. S.
15	1950	13.24	633.70	56.79	C. Zoológico, S. S.
22	1952	15.68	440.70	164.46	Parque. V. Carranza y Zoológ. Nac.
11	1953	16.81	462.40	138.40	Santa Anita, S. S.
24	1954	13.12	682.50	70.64	Col. C. América y Pque. Infantil, S. S.
13	1955	14.68	412.70	66.52	Col. "5 de Noviembre", S. S.
14	1956	16.56	410.90	58.55	Col. El Roble, S. S.
25	1957	14.00	400.90	91.38	Col. El Roble, S. S.
25	1958	12.00	376.00	49.98	C. Univ. C. V. Carranza e Inst. Nacional
25	1960	7.48	352.90	61.68	Col. Costa Rica, S. S.
24	1962	10.50	250.10	100.06	Col. "5 de Noviembre", S. S.
14	1963	9.57	226.90	58.55	C. San Antonio Abad, S. S.
14	1964	8.42	229.70	97.03	Col. "5 de Noviembre", S. S.
14	1966	13.14	209.10	88.41	Playa San Diego, Dpto. de La Libertad
14	1965	11.64	197.60	69.62	Playa San Diego, Dpto. de La Libertad
14	1967	5.92	152.10	28.00	Santa Ana
25	1968	4.32	149.60	69.62	Centro Universitario de Occidente

S. S.—San Salvador — C.—Calle — Col.—Colonia — V.—Venustiano.

DISCUSION

De las especies introducidas al país, la *Casuarina equisetifolia* es una de las que más se ha propagado, encontrándose en la mayor parte de nuestro territorio (Fig. 1) como una planta ornamental, en algunos casos en condiciones desfavorables (Fig. 2). Sin embargo, su crecimiento rápido es notorio, especialmente en aquellos lugares en los que no ha sido sometida a las podas de ornamento que suelen practicar los jardineros, razón por la que, si observamos el Cuadro N° 1, notaremos que los promedios referentes a altura y área de cobertura no son los esperados, ya que el crecimiento, aunque depende de muchos factores, debiera en este caso presentar alguna uniformidad. Sin embargo, las condiciones en que son sembradas, más las podas mencionadas, contribuyen a que haya esa notoria discrepancia en los resultados referentes a estos aspectos; pero en los ejemplares estudiados en campo abierto, como los del Cerro de San Jacinto, Valle de Zapotitán, Playa de San Diego y La Herradura, se encontraron especímenes que habían alcanzado una altura, área basal y de cobertura considerable, en muy poco tiempo. Sin embargo, como los resultados están dados en promedio, éstos han descendido en San Salvador, aunque en algunos parques y calles se han encontrado ejemplares con un buen crecimiento en corto tiempo (Figs. 3 y 4).

En lo que respecta al área basal (Cuadro 1), se nota un incremento considerable, sin uniformidad pero sí ascendente de un año para otro. Además, nos puede servir para calcular el incremento anual que, en este caso, teóricamente, puede decirse que es de 51.24 cms² (dividiendo el promedio de área basal de mayor edad entre el número de años); valor que realmente puede ser mayor, ya que durante el estudio se encontraron individuos de 25 años de edad con una circunferencia hasta de 245 cms., que equivale a un diámetro como el de la Figura 5. Los ejemplares más viejos se encontraron en los parques de San Salvador y los de mejor crecimiento en menos tiempo en el Valle de Zapotitán y en el Litoral; en este último, la *Casuarina* se está cultivando con gran preferencia, especialmente en las lotificaciones de playas, lugares en los que está sustituyendo a la vegetación original llamada "irilar" (Flores, 1972)* (Fig. 6). Encontrándose lugares en los que constituye bosques, como en el Estero de Jaltepeque (Fig. 7).

CONCLUSIONES

La *Casuarina* puede tener una gran importancia en nuestro país, ya que posee muchas características para ser explotada a corto plazo, con los diversos fines ya expuestos. Además, el rango de distribución, el cual según Standley-Steyermark (1952), va desde el nivel del mar hasta 2.400 mts., nos permitiría cultivarla en cualquier parte de nuestro territorio. En el desarrollo de este trabajo la encontramos desde el nivel del mar hasta los 900 mts., lo cual es lógico, dado que sólo se le ha cultivado como planta ornamental. Otro hecho de gran interés es el de que se puede cultivar

* "Irilar": Nombre aplicado en El Salvador a la vegetación halofita achaparrada caducifolia, constituida especialmente por "iril", *Coccoloba floribunda* (Berth) Lindau, asociado con "papaturo", *Coccoloba caracasana*, Meissner y otras plantas espinosas, tales como el "mangollano", *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Berth. Esta vegetación constituía perfectos ecotones entre la vegetación herbácea de la planicie costera y los manglares.

en suelos muy pobres, lo que permitiría sembrarla en tierras muy erosionadas para recuperarlas.

Respecto a la distribución (Fig. 1), es fácil notar que en San Salvador es en donde está la mayor densidad de esta planta. Es de este sitio de donde ha irradiado al interior del país, al grado de que en la actualidad la encontramos en las plazas de la mayor parte de las poblaciones.

Según nuestro criterio, esta planta se puede usar, además en la ornamentación para lo siguiente:

- 1.—En el establecimiento de cortinas rompevientos para proteger nuestros deforestados litorales, sembrada en líneas con espaciado de dos metros.
- 2.—Para proteger nuestros ríos, especialmente en la planicie costera en donde se encuentran completamente expuestos. (Caso del río Comalapa y otros).
- 3.—En el cultivo de bosques artificiales, en los cuales, a los cuatro años se podría estar explotando con la extracción de leña. Con este fin, se podrían sembrar árboles a dos metros de distancia, obteniendo un cultivo de 5.000 árboles por hectárea. Con fines maderables, se podrían establecer bosques plantando árboles a cuatro metros, obteniendo así 2.500 árboles por hectárea, que podrían ser explotados a partir de los ocho hasta los 30 años, dependiendo del tipo de madera que se desee explotar (ver Cuadro N° 1, el área basal).

No hay duda de que con esto se contribuirá grandemente a la conservación de nuestros recursos naturales renovables, los cuales se encuentran muy deteriorados.

Para ello, se podrían programar cultivos para obtener plántulas que fueran vendidas a personas de escasos recursos a muy bajos precios o en el mejor de los casos obsequiarse para que las cultive.

Guzmán (1926), recomendaba la introducción de esta planta, haciendo hincapié en su crecimiento rápido y en la calidad de su madera. Quezada (1972) menciona esta planta de gran interés en el control biológico, ya que en ella se aloja, formando pequeñas colonias, la escama *Icerya purchasi* Markel, la cual es controlada por los enemigos naturales *Rodalia* sp. y *Syneura cocciphila* Coq., no permitiendo que la escama se desarrolle como plaga en los cítricos, como sucede en otros países.

AGRADECIMIENTOS

Es deseo del autor agradecer a las siguientes personas: Doctor K. L. S. Harley, por sus importantes aportes respecto a la especie *Casuarina esquistifolia* forster en Australia, a las señoritas: Carmen Eugenia Peñate y Berta Alicia Hernández, por haber colaborado en la toma de datos; al Profesor Francisco Tomás Orellana, al Biólogo Víctor Manuel Toledo y al Doctor José Rutilio Quezada, por haber revisado el presente trabajo, haciendo valiosas sugerencias y, a los jardineros de la Alcaldía Municipal de San Salvador, por haber aportado datos respecto a las fechas de siembra.

S U M M A R Y

In this work an analysis is made of the growth and propagation of the *Casuarina equisetifolia* forster, from its introduction into the country to the present day. Growth is analyzed according to base and cover area; and a map of the plant's distribution is presented along with the various uses on the plant itself.

R E S U M E

Dans ce travail, on fait'analyse de la croissance et de la propagation de la *Casuarina equisetifolia* forster, depuis son introduction dans notre pays jusqu'à aujourd'hui. La croissance s'analyse en prenant pour base son aire basale et de couverture, de plus on présente une carte de distribution de la plante ainsi que les utilisations qu' on pourrait lui donner.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ANONIMO. Proyecto de Producción de Madera. Proyecto de Diversificación Agrícola en El Salvador. ISIC-FAO/El Salvador, C. A. Pág. 32. 1971.
- BAKSHT, B. K. Failure and of *Casuarina equisetifolia* forster. Proceedings of the Eighth Silvicultural Conference Dehra. Dun. Part II. 1951.
- CALDERON, S. y P. C. STANLEY. Lista Preliminar de las Plantas de El Salvador, Imprenta Nacional. San Salvador, El Salvador, C. A. Pág. 82. 1942.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. *Casuarina equisetifolia* forster. Caracteres Sylviles et Methodes de Plantation. Revue Bois et Forest des Tropiques. N° 79. 1961.
- DAS, B. L. Casuarina plantation at Balukhand in Puri Division. The Indian Forester. Vol. 83. 1957.
- FLORES, J. S. Naturaleza Dinámica del Bosque Salado. Bol. Amigos de la Tierra. N° 122. Pág. 4. San Salvador, El Salvador, C. A. 1972.
- GUZMAN, D. J. Especies Utiles de la Flora Salvadoreña. Ministerio de Cultura. San Salvador, El Salvador, C. A., Pág. 482-484. 1926.
- QUEZADA, J. R. Algunas Especies de Artrópodos y sus Enemigos Naturales en El Salvador. Comunicaciones. Instituto de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. II Epoca I-1. San Salvador, El Salvador, C. A. Pág. 19-28. 1972.
- STANLEY, P. C. and STEYERMARK. Flora of Guatemala. Part. III. Chicago Natural History Museum., U.S.A., Pág. 227-228. 1952.
- QURESHI, I. M. Mortality of *C. equisetifolia* in Plantations in Bombay State Proceedings of Eight Silvicultural Conference. Dehra. Dun. Part. II. 1951.

APENDICE FOTOGRAFICO

Distribución de Casuarina equisetifolia forster en El Salvador C.A.

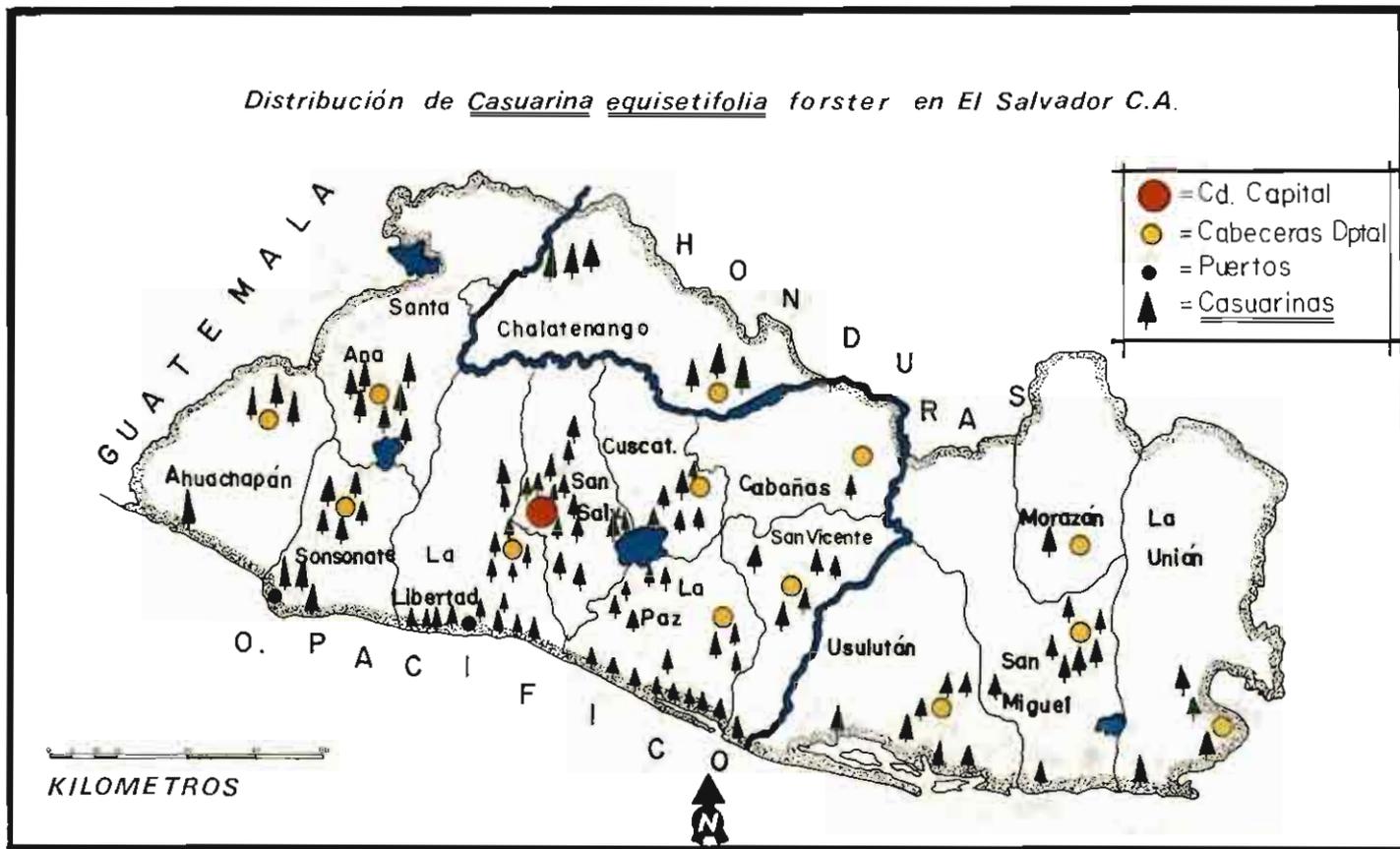


Fig. 1

Distribución de Casuarina equisetifolia forster en El Salvador C. A.



Fig. 2

El espacio en que han sido sembrados los especímenes de Casuarina mide de ancho 95 cms.



Fig. 3

Al fondo, uno de los ejemplares de Casuarina con más de 30 metros de altura.



Fig. 4

Casuarinas ornamentando una de las calles de San Salvador. Compárese su altura con el poste de alumbrado.



Fig. 5

*Fuste de Casuarina con un diámetro a la altura del pecho (d.a.p.)
= 75 cms. a 30 años de edad. La regla indica 30 cms.*



Fig. 6

Cultivo de Casuarina en la lotificación de Playa Amatecampo. Sustituye la vegetación halofita "irilar". Cultivo de dos años.

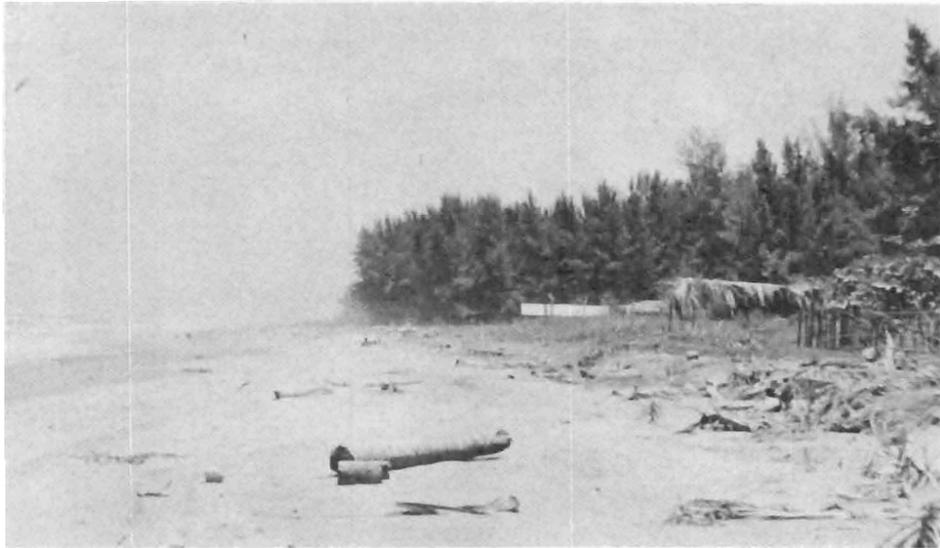


Fig. 7

Bosque de Casuarina en las playas del Estero de Jaltepeque, La Herradura. Edad: ocho años. Muestra además la acción antrópica del salvadoreño sobre la vegetación original.

EVIDENCIA ELECTROFORETICA PARA ESPECIACION ENTRE POBLACIONES DEL SAPO BUFO VALLICEPS WIEGMANN

EDWARD J. GREDING, Jr.
Department of Biology
Del Mar College
Corpus Christi, Texas, E. U. A.

INTRODUCCION

El fin de esta investigación es considerar de una manera teórica cómo podría originarse una nueva especie, y aplicar una técnica de bioquímica sistemática, a una situación biológica existente en la naturaleza que parece ser un ejemplo de esta situación.

TEORIA

Un problema de gran interés biológico consiste en explicaciones de los mecanismos evolutivos por medio de los cuales surgen nuevas especies. Se han propuesto varias teorías e hipótesis, siendo lo más común, casi seguramente, especiación por medio de aislamiento geográfico (Mayr, 1963). No obstante, parece razonable suponer que algunas nuevas formas tienen su origen en un solo ancestro, sin separación geográfica.

En una población con una pequeña distribución geográfica y/o ecológica, por ejemplo el sapo *Bufo perigrinus*, conocido únicamente del bosque nebuloso de Monte Verde, en la cordillera de Tilarán. Provincia de Guanacaste, Costa Rica (Savage, 1966), es probable que haya amplio contacto entre todos los miembros de la población, de tal manera que una mutación genética, si es favorecida por selección natural (o sea, si no constituye una desventaja selectiva al individuo que lo lleva) podría pasar con rapidez a través de toda la población. Una circunstancia como ésta podría resultar en cambios en morfología, comportamiento y fisiología llevados a través del tiempo o sea evolución filética. Tales cambios podrían resultar por fin en una sola nueva especie que repondría el ancestro. Pero, no parece lógico suponer que más

que una nueva especie a la vez podría originarse así. Se imagina que otras poblaciones aisladas como la lagartija **Anolis heteropholidotus** y la culebra **Rhadinaea montecristi**, ambas encontradas por lo que se conoce únicamente en los altos del Cerro Montecristo, del Departamento de Santa Ana, Metapán, El Salvador (Peters y Orejas-Miranda, 1970; Peters y Donoso-Barros, 1970) igualmente pueden ser descendientes y ancestros de especies pasadas y futuras.

Existe otra situación, el tema de este artículo, que se parece a la condición ya discutida en cuanto a las poblaciones tienen contacto genético, pero que difiere en algunos aspectos importantes, y que, en teoría, podría ser también la fuente de nuevas especies. Hablamos de especies con una distribución geográfica muy amplia. Greeding (1972) discutió la especiación por medio de divergencia genética en la llamada forma **Rana pipiens**, existiendo en varios habitats en las faldas de un volcán en Costa Rica. Ahora es el propósito de este artículo examinar la divergencia genética que parece haber resultado parcialmente por causa de la distancia entre individuos que forman las poblaciones de una cierta especie. Existen varias especies de vertebrados que podrían servir para un estudio como éste, pero una especialmente útil es el sapo **Bufo valliceps Wiegmann**. Tiene una distribución muy amplia (Fig. 1), desde el sur de Arkansas por Louisiana y el sureste de Texas, a través de la costa oriental de México llegando a la península de Yucatán, cruzando el Istmo de Tehuantepec, y siguiendo por Guatemala hasta el norte de Costa Rica (Porter 1964a, 1970). Se encuentra esta especie principalmente en regiones bajas y cálidas (Villa, 1972), pero ha sido encontrada hasta 1400 M sobre el nivel del mar en Chiapas y Veracruz por Porter (1964a), a más de 1500 M en San Lucas Camotlán, Oaxaca (por Shannan, 1951, quien lo ubicó taxonómicamente como **Bufo cristatus**), y aún hasta una altura de 1760 M en una localidad 9.6 km. al oeste de Ahuacatlán, San Luis Potosí, por Taylor (1953).

La amplia distribución, ambas geográficas y ecológicas, de **Bufo valliceps**, y su abundancia en muchos de sus habitats durante ciertas estaciones del año lo hacen ideal para estudios sobre mecanismos evolutivos, y ha resultado en mucha variación morfológica. Esta variación ha sido la fuente de la descripción de varias "subespecies", basadas principalmente en diferencias en el tamaño de las crestas craneales. Se encuentra mucha variación en coloración y dibujo. Aunque el color es café y amarillo en la mayoría de las poblaciones, Baylor y Stuart (1961) describieron una población de color verde en el Valle de Grijalva de Guatemala (**Bufo valliceps wilsoni**) y en 1965 colecté un ejemplar rosado en el norte de Veracruz, México.

Tanta variación geográfica puede señalar diferencias genéticas. Es el objeto de este artículo presentar algunos datos bioquímicos sobre estas diferencias en tres poblaciones. Claramente, estos datos no se pueden aplicar a todas las poblaciones de **Bufo valliceps** a través de su enorme distribución, pero así se puede empezar.

MATERIAL Y METODO

La técnica escogida para este estudio preliminar fue separación de proteínas del suero por medio de electroforesis, utilizando el aparato del Gelman Instruments Company, de Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos. Se empleaba como medio de separación pedazos de "Sepraphore III", hecho de "cellulose polyacetate". Los experimentos se hicieron a un voltaje de 300 por una duración de 2 horas y a 15-20

más de corriente, todos los sueros tratados a la misma vez para poder comparar las electroforogramas directamente.

Los sapos utilizados para extracción de suero fueron colectados en tres localidades dentro del rango de *Bufo valliceps* (Fig. 1): (1), Corpus Christi, Texas, E. U. (2) Cd. Valles, San Luis Potosí, México, y (3) 8 Km. al noroeste de Acayucán, en el sur de Veracruz, México. La colección de Acayucán fue hecha el 4 de julio, la de Cd. Valles el 5 de julio, y la de Corpus Christi, el 13 de septiembre, del año 1974.

RESULTADOS E INTERPRETACION

Figura 2: Muestra las separaciones electroforéticas de proteínas. Por la distancia de migración de las bandas, se ve que existen diferencias en el peso molecular, y por consecuencia, en los genotipos de los sapos (Guttman, 1973).

La población de *Bufo valliceps* de Corpus Christi, Texas, es separada de la Cd. Valles, San Luis Potosí, por una distancia de aproximadamente 674 Km., pero ambas existen en la misma provincia biótica, la que se llama "Tamaulipán" (Goldman y Moore, 1945; Blair, 1950). Se supone por eso que sus medios ambientales serán parecidos, aunque con algunas diferencias de clima y vegetación. Comparando las electroforogramas de estas dos poblaciones (Fig. 2, A y B), se ve que, aunque existen diferencias en las proteínas, probablemente son pocas. Un examen de un individuo típico de cada una de estas dos poblaciones también indica que hay pocas diferencias morfológicas (Figs. 3 y 4).

Las poblaciones de Ciudad Valles y de Acayucán están separadas por una distancia aproximada de 628 Kms., y además, quedan en diferentes provincias bióticas. Ciudad Valles está ubicada en la de "Tamaulipán", y Acayucán en la de "Veracruz" (Goldman y Moore, 1945). Por las electroforogramas (Fig. 2) se ve que la separación de las bandas es mucho más pronunciada en "C" comparándola con "A" y "B". Eso implica que las proteínas de "C" son las más distintas entre los tres electroforogramas. Viendo las fotografías de un ejemplar típico de cada población (Figs. 3, 4 y 5) se llega a las mismas conclusiones con respecto a relaciones entre las tres poblaciones de sapos: que la población que habita el sur de Veracruz es la más distinta. Cabe llamar la atención al respecto de que cada población está representada por un solo ejemplar (fotográficamente y electroforéticamente), pero la hipótesis propuesta anteriormente está sostenida, tanto por más ejemplares del sapo como por más electroforogramas, lo cual resultaría práctico presentar aquí.

Se supone que estas diferencias de proteínas y de aspecto general reflejan diferencias de habitat y clima en parte, pero que son también un resultado de la distancia (1.302 Kms.) que separa la zona subtropical de Corpus Christi de la región tropical del sur de Veracruz. Parece posible aun y probable que una mutación genética en un individuo en Corpus Christi, aun si la selección natural la afecta de una manera fuertemente positiva, llevaría muchas generaciones de sapos para llegar a las poblaciones del sur de Veracruz, tomando en cuenta la improbabilidad de contacto entre hembras y machos de las dos regiones. La misma situación pertenece con respecto a mutaciones en las poblaciones de Veracruz.

Con estos escasos datos no se puede demostrar que existe en realidad divergencia genética entre las poblaciones de sapos a los extremos de la distribución de la especie. Sin embargo, la evidencia existente parece señalar que tal divergencia sí existe y está adelantando.

Una extensión lógica de este trabajo podría consistir en:

- 1.—Examen electroforético de suero de varios individuos de cada población, para asegurar que la variación entre una cierta población no sea tan grande como la variación entre poblaciones.
- 2.—Inclusión de ejemplares de los extremos del rango (la costa sur de los Estados Unidos y el norte de Costa Rica) para averiguar si existen diferencias más obvias que las que hemos visto en este trabajo.
- 3.—Análisis de variación morfológica de ejemplares de varias poblaciones a través de la distribución geográfica y ecológica de la especie. Porter (1946b) hizo un análisis basado en longitud, pero aún con un carácter demostró que existe un grado de incremento en tamaño promedio desde el sur hacia el norte.
- 4.—Cruces artificiales hechos por el método de Rugh (1948) y Blair (1972) para averiguar si existen o no grados de compatibilidad genética entre diferentes poblaciones.
- 5.—Finalmente, cabe mencionar las investigaciones de Porter (1946b) sobre variación geográfica en las vocalizaciones. Porter demostró que la frecuencia de pulsos en el canto de *Bufo valliceps* se incrementa hacia el sur, aun tomándose en cuenta diferencias en temperatura, y él piensa que estas diferencias están relacionadas con el tamaño menor de los individuos en la parte sur de la distribución de la especie. No obstante, también puede ser que las diferencias en las características bioacústicas serían útiles para seguir las ideas de Zchitz (1973) y Straughan (1973) en el establecimiento del estado sistemático de las poblaciones de éste sumamente interesante sapo.

RECONOCIMIENTO

Estoy muy agradecido a la Administración de Del Mar College, Corpus Christi, Texas por apoyo monetario, por aliento en forma de tiempo libre para realizar investigaciones científicas, y por el uso de equipo y espacio. Me es grato reconocer la ayuda con el manuscrito de la Sra. Mónica Kolaya, de Del Mar College. Estoy adeudado al Lic. José Salvador Flores, Director del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de El Salvador por el uso de su laboratorio. Especialmente deseo dar las gracias a dos familias: la del Sr. Benjamín Morán Dueñas, de San Salvador, El Salvador y la de la Sra. María Luisa Leandro Barquero, de Pacayas, Costa Rica. Aquellas dos familias me han ayudado en tantos aspectos de esta investigación que he perdido la cuenta. Finalmente quisiera agradecer a mi hijita, Lisa María Greding, por sus preguntas estimulantes, y a mi esposa Marcia Jane Greding, sin cuya ayuda esta investigación nunca hubiera empezado.

SUMMARY

Variation in proteins from the sera of three populations of the toad *Bufo valliceps* Wiegmann is examined by use of cellulose polyacetate electrophoresis, and the differences found are compared to (1) superficial differences in morphology, (2) differences in toad habitats as a reflection of the biotic provinces in which the toads live, and (3) the distances which separate the three populations. It is suggested

that speciation through distance instead of through isolation by geographic barriers may be occurring. Also suggestions are made for future research concerning this phenomenon.

R E S U M E

La variación en la composición de proteínas de los especímenes del suero de tres poblaciones de ranas **Bufo valliceps** **Wiegmann**, examinada por la técnica de electroforesis en acetato de celulosa, y la diferencia que se encuentra entre:

- 1.—Las diferencias superficiales de morfología entre las ranas de tres poblaciones.
- 2.—Las diferencias de los hábitats respectivos de las ranas, que son el reflejo de las provincias biológicas a las que pertenecen.
- 3.—A las distancias que separan las tres poblaciones. Se sugiere que la distancia es debida a lo que las barreras geográficas que existen y las sugerencias que se han hecho para futuras investigaciones concernientes al fenómeno de la divergencia genética que a la distancia que separa las poblaciones.

R E S U M E N

Se examina la variación en algunas proteínas del suero de tres poblaciones de ranas, **Bufo valliceps** **Wiegmann**, por medio de electroforesis, y se comparan las diferencias encontradas a (1º) diferencias morfológicas, (2º) diferencias en los hábitats de las ranas como un reflejo de las provincias biológicas en que se encuentran, y (3º) las distancias que separan las tres poblaciones. Se sugiere que la especiación por medio de distancia, en lugar de especiación por causa de barreras geográficas, puede ocurrir. También, se hacen sugerencias para investigaciones en el futuro acerca de este fenómeno.

BIBLIOGRAFIA

- Blair W. F., "The Biotic Provinces of Texas", Texas Journal of Science. N° 1. Vol. 2, Pág. 93-117, 1950.
- Blair, W. F. "Evidence from Hybridization", in Blair, W. E. (ed.) "Evolution in the Genus **Bufo**", University of Texas Press, Austin, Pág. 196-232, 1972.
- Goldman, E. A. y R. T. Moore, "The Biotic Provinces of México", Journal of Mammalogy. N° 4. Vol. 26, Pág. 347-360, 1945.
- Greeding, E. J., "Divergencia Genética como Resultado de Adaptación a Alturas Diferentes en Ranas Neotropicales del Grupo *Rana pipiens*", Comunicaciones, Segunda Época, N° 1. Vol. 1, Pág. 34-47, 1972.
- Guttman, S. I., "Biochemical Techniques and Problems in Anuran Evolution", en Vial, J. L. (ed.), "Evolutionary Biology of the Anurans, Contemporary Research on Major Problems", University of Missouri Press, Columbia, Pág. 183-203., 1973.

- Mayr, E., "Animal Species and Evolution", Belknap Press, Harvard University, Cambridge, Mass., Pág. 424-515, 1963.
- Peters, J. A., y B. Orejas-Miranda, "Catalogue of the Neotropical Squamata: Part. I. Snakes", Smithsonian Institution, U. S. Nat. Mus. Bull N° 297, Pág. 1-347, 1970.
- Peters, J. A. y R. Donoso-Barros, "Catalogue of the Neotropical Squamata: Part II. Lizards and Amphisbaenians", Smithsonian Institution, U. S. Nat. Mus. Bull. N° 297, Pág. 1-293, 1970.
- Porter, K. R., "Distribution and Taxonomic Status of Seven Species of Mexican **Bufo**", Herpetologica. N° 4. Vol. 19, Pág. 229-247. 1964a.
- Porter, K. R., "Morphological and Mating Call Comparisons in the **Bufo valliceps** Complex", American Midland Naturalist N° 1. Vol. 71, Pág. 232-245. 1964b.
- Porter, K. R., "**Bufo valliceps Wiegmann**", en "Catalogue of American Amphibians and Reptiles", Amer. Soc. of Ichthyologist and Herpatologists. Pág. 94. 1-94.2, 1970.
- Rugh, R., "Experimental Embryology", Editorial Burgess, Minneapolis. Pág. 1-480, 1948.
- Savage, J. M., "An Extraordinary New Toad (**Bufo**) from Costa Rica", Pág. 153-167, 1966.
- Schitz, A., "Evolution of Anuran Mating Calls, Ecological Aspects", en Vial, J. L. (ed.), "Evolutionary Biology of the Anurans, Contemporary Research on Major Problems", Univ. of Missouri Press, Columbia, Pág. 311-319, 1973.
- Shannon, F. A., "Notes on a Herpetological Collection from Oaxaca, and other Localities in México", Proc. U. S. Nat. Mus. Vol. 101. Pág. 465-481, 1951.
- Straughan, I. R., "Evolution of Anuran Mating Calls, Bioacoustical Aspects", and Vial, J. L. (ed.) "Evolutionary Biology of the Anurans, Contemporary Research on Major Problems", Univ. of Missouri Press, Columbia, Pág. 321-327, 1973.
- Taylor, E. H., "Fourth Contribution to the Herpetology of San Luis Potosi", University Kansas Sci. Bull, Vol. 35, Pág. 1587-1614, 1953.
- Villa, J., "Anfibios de Nicaragua", Instituto Geográfico Nacional y Banco Central de Nicaragua, Managua, Nicaragua. Pág. 99-101, 1972.

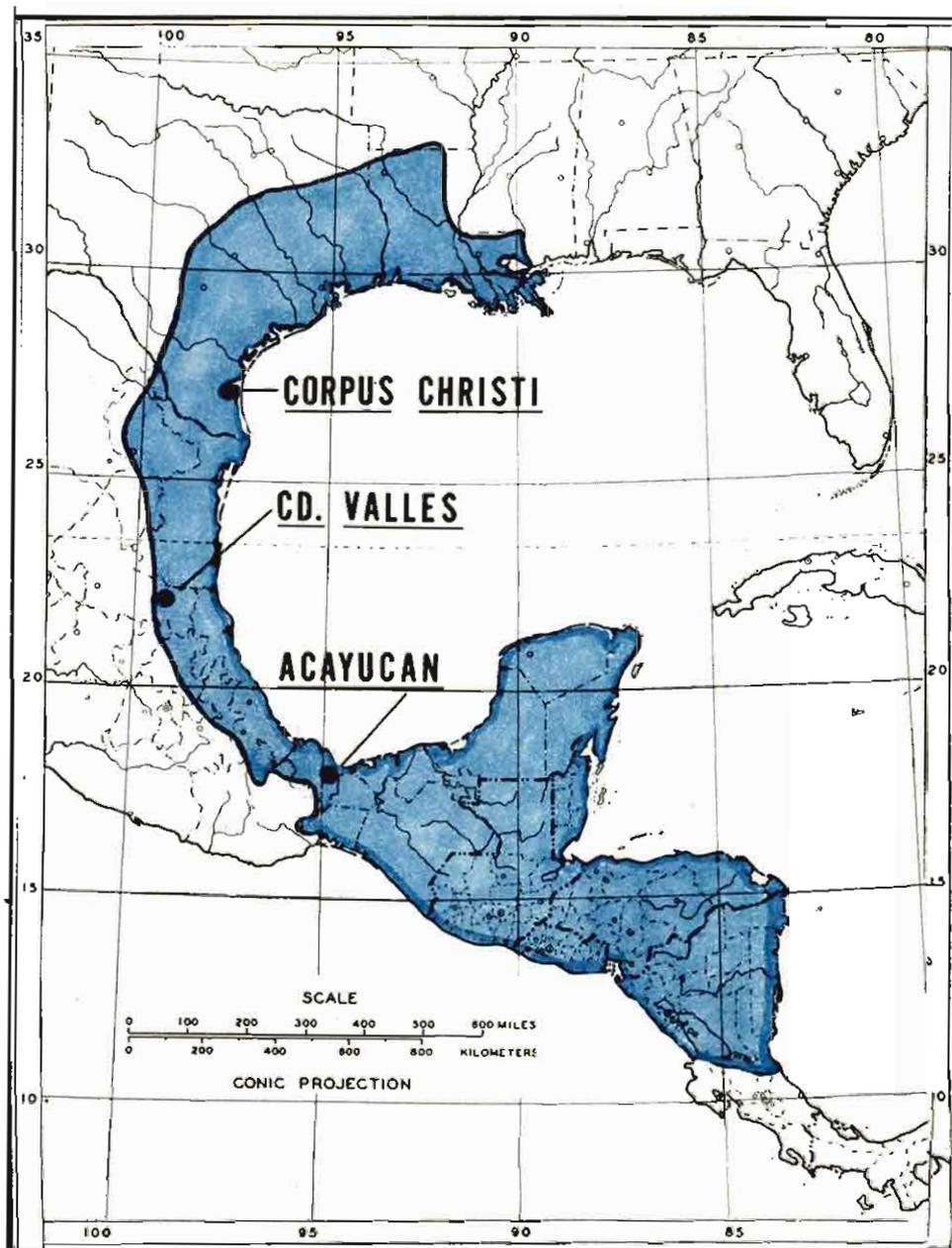


Figura 1
Distribución geográfica de Bufo valliceps Wiegmann.

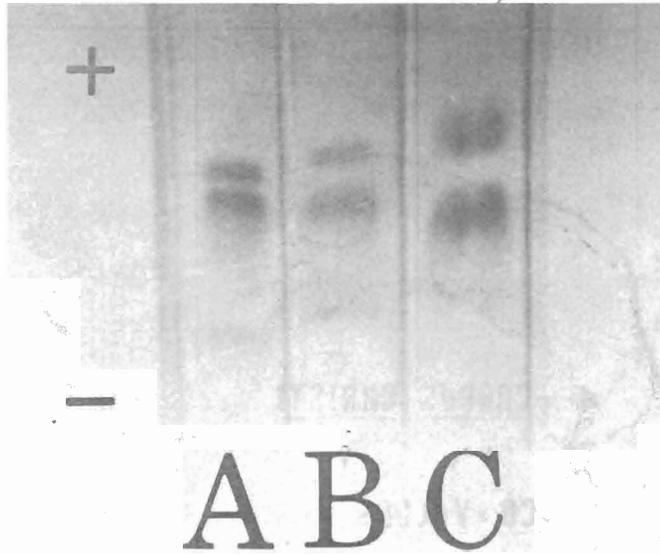


Figura 2

Electrofotogramas de proteínas del plasma de tres poblaciones de Bufo valliceps Wiegmann.

A: E. U., Texas, Corpus Christi.

B: México, San Luis Potosí, Cd. Valles.

C: México, 8 Km. al noroeste de Acayucán, Veracruz.

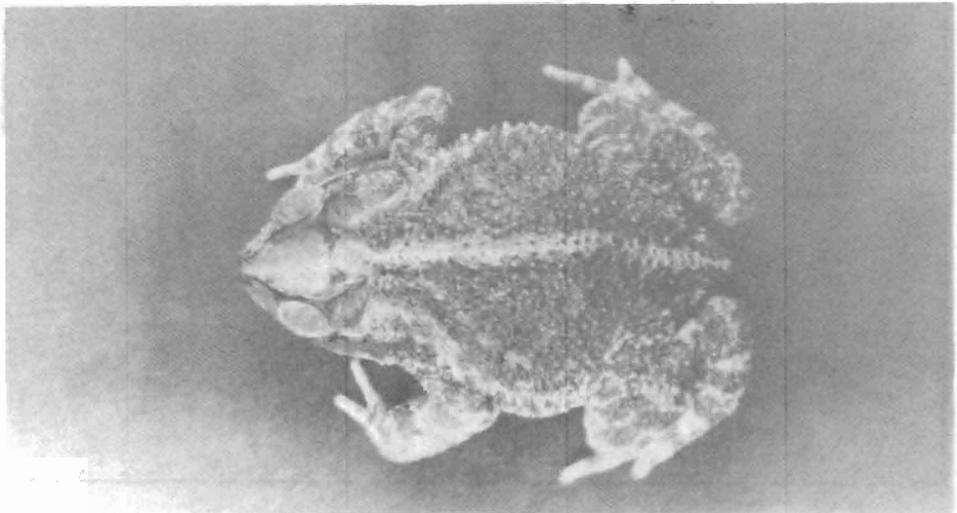


Figura 3

Bufo valliceps Wiegmann, E. U., Texas, Corpus Christi, U. S. A.

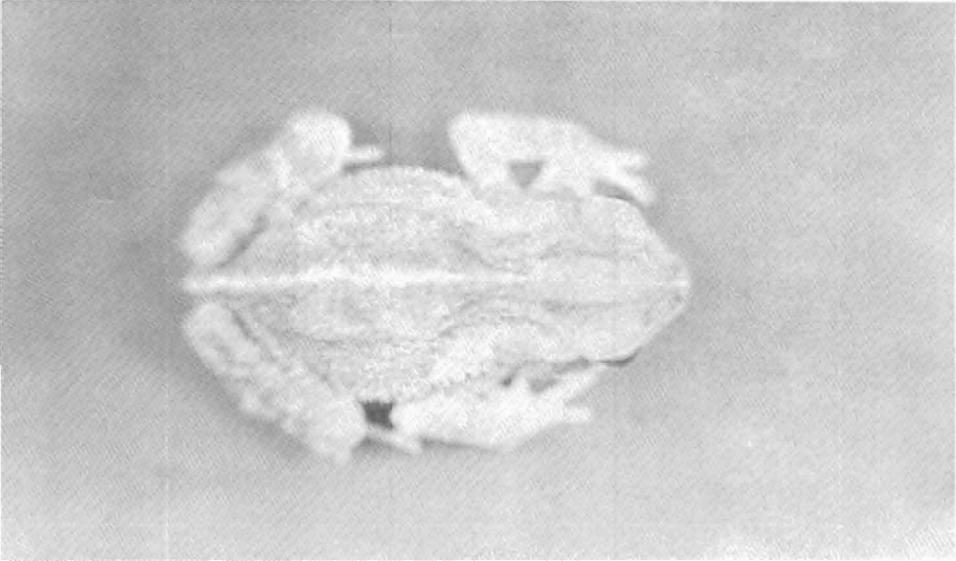


Figura 4

Bufo valliceps Wiegmann. *México, San Luis Potosí, Cd. Valles.*

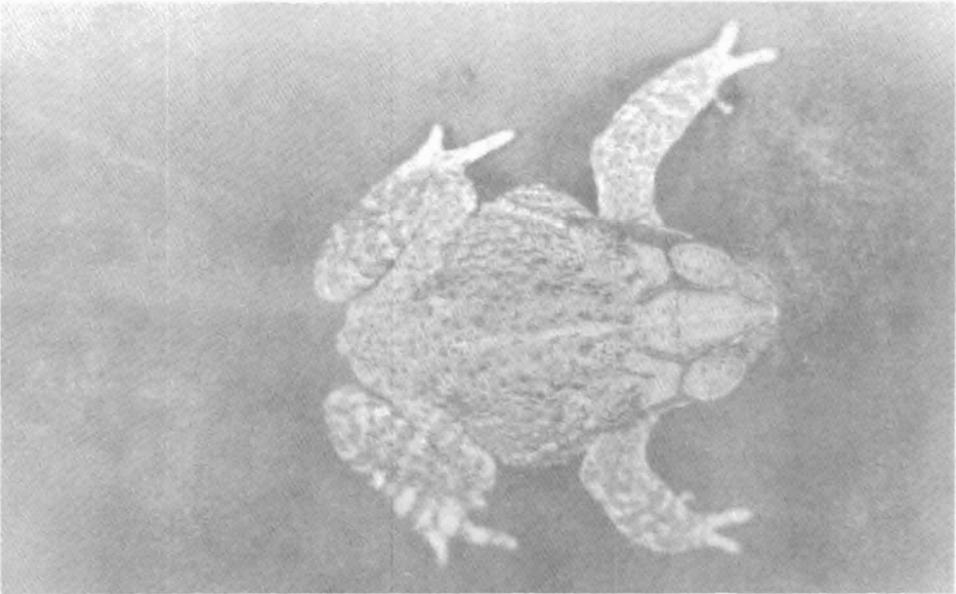


Figura 5

Bufo valliceps Wiegmann. *México, Veracruz, 8 Kms. al noroeste de Acayucán.*

LAS NUBES DE ALTA VELOCIDAD DE LA GALAXIA Y LA ESTRUCTURA DEL GAS INTERESTELAR

RICCARDO GIOVANELLI
Departamento de Física *
Facultad de Ciencias y Humanidades
Universidad Nacional de El Salvador.

R E S U M E N

Este trabajo presenta resultados que se proponen aclarar ulteriormente, los aspectos morfológicos y termodinámicos del medio interestelar en las regiones periféricas de la Galaxia. Se divide en (1) una parte de análisis eminentemente teórico, en el cual se postula una estructura jerárquica del gas, en tres fases de temperaturas y densidades distintas; y (2) en una parte de carácter observacional, en el cual se presentan los resultados de observaciones radioastronómicas que tienden a corroborar los resultados teóricos.

El cuadro resultante propuesto por este estudio es el de un gas galáctico periférico conformado en estructuras nebulares, que participan de la rotación galáctica y que, estando presumiblemente a grandes distancias, presentan altos valores de la velocidad radial; pueden ser interpretadas como representativas de dos fases en equilibrio de presión, térmico y de ionización entre ellas y con una tercera fase, "internebular", a temperatura mayor que 20000° K.

I

INTRODUCCION

El conocimiento de la estructura de nuestra galaxia, un aglomerado discoidal de estrellas y gas de caracteres relativamente típicos con respecto a las demás galaxias (que poblan los cúmulos que constituyen las unidades jerárquicamente superiores de nuestro horizonte físico), es un punto clave para la solución del problema cosmológico. Cómo es nuestra galaxia y cuál su relación al medio intergaláctico es un problema obviamente conectado en modo estrecho al de cómo evolucionó y con qué condiciones iniciales; tanto más importantes cuando se recuerda que la fecha de nacimiento de la Galaxia, alrededor de unos 10^{10} años atrás, se coloca en el período inicial de la actual fase de expansión del Universo.

* Actualmente en Indiana University, Department of Astronomy, Bloomington Ind. U. S. A.

La Galaxia, contenida en un elipsoide achatado de eje mayor de unos 1.2×10^{23} cm (o aproximadamente 120000 años luz), está distribuida en modo no uniforme entre dos componentes: (a) las aproximadamente 10^{11} estrellas que constituyen más del 90% de la masa total y (b) una componente difusa, formada por gas, partículas de polvo y rayos cósmicos. A esta segunda componente se debería agregar, aunque no contribuyan a la masa total, el campo magnético galáctico y el campo difuso de radiación electromagnética, cuyas características son argumento de activo debate y cuyas implicaciones astrofísicas son de fundamental importancia. La masa total de la Galaxia es del orden de los $2 - 3 \times 10^{44}$ gramos. Su geometría más obvia: la de un disco con un abultamiento central muy conspicuo y una estructura dominada por brazos de espiral en el plano del disco. El sistema entero está animado por un movimiento de rotación diferencial (es decir que la velocidad angular depende de la distancia del centro) alrededor del único eje de quasi-simetría radial. La velocidad angular, a la distancia del centro galáctico a la que se encuentra nuestro sistema solar (3×10^{22} cm), equivale a unos $1.3 \times 10^{-16} \text{ s}^{-1}$, es decir una revolución cada 250 millones de años; la velocidad lineal correspondiente es de unos 250 km s^{-1} . El Sistema Solar se encuentra en la zona interna de uno de los brazos (o sub-brazos) de espiral: el que se llama comúnmente "brazo de Orión". Existen otros brazos más externos que el de Orión, tradicionalmente llamados "de Perseo" y "Externo", aunque radio-observaciones recientes parecen indicar la presencia de varias estructuras más externas aún (Verschuur, 1973a).

El gas y el polvo interestelares están estrechamente asociados a la estructura espiral, de la cual son los principales "trazadores" junto con las estrellas jóvenes. La mayor parte de la masa de esta componente difusa está formada por átomos de hidrógeno neutros, en el estado fundamental. Gracias a la estructura hiperfina de dicho nivel, que está separado en dos componentes de spin total (electrónico más nuclear) respectivamente 0 y 1, es posible observar las transiciones entre los dos, que corresponden a la emisión (o absorción) de una línea de 21 cm que cae en el rango de las radioondas. Esta transición se ha revelado como el medio observacional más potente de la astronomía galáctica. La línea de 21 cm es también el medio más potente para el estudio de la estructura dinámica y térmica del gas. Este tiende a configurarse en la forma de nubes, que en la zona local de la Galaxia (es decir, en las cercanías del Sistema Solar), están caracterizadas, en promedio, por los parámetros incluidos en la Tabla 1 (Spitzer, 1968). Estas nubes no son gravitacionalmente autocontenidas, es decir que no se mantienen como unidades en virtud de la intensidad del vínculo gravitacional originado por su propia masa y configuración (como en cambio lo hacen las estrellas), de modo que se presenta el problema sobre el mecanismo que las mantiene condensadas (o las reconstituye estacionariamente).

El problema de la estructura del gas ha sido estudiado en los últimos años con una teoría de contenimiento hidrodinámico (Field, Goldsmith, Habing, 1969; Hjellming, Gordon, Gordon, 1969; Spitzer, Tomasko, 1968; Pikel'ner, 1967), basada en la teoría de la inestabilidad térmica desarrollada por Field (1965).

Las nubes de alta velocidad fueron descubiertas en 1963 (Mueller et al, 1963), por un grupo de astrónomos holandeses que estudiaban la estructura del gas a altas latitudes galácticas. Inmediatamente la naturaleza de dichas nubes fue objeto de variadas tentativas de interpretación, en el marco galáctico y fuera de él (Oort, 1966 1970; Puppi, Setti, Woltjer, 1966; Kerr, Sullivan, 1969; Verschuur 1969). Sin embargo, los parámetros físicos de las nubes de alta velocidad en base a las cuales se realizaron dichas interpretaciones teóricas son seriamente discutibles y en la mayo-

ría de los casos totalmente erróneos. La causa reside principalmente en la limitación instrumental del telescopio holandés de Dwingeloo, con el cual fueron realizadas casi todas las observaciones extensivas de nubes de alta velocidad en la década de los 1960.

En el presente trabajo se reporta sobre las observaciones realizadas por este autor y colaboradores en 1972, con los radiotelescopios del Observatorio Nacional de Radio Astronomía de los Estados Unidos de América (NRAO) y sobre la extensión cumplida por el autor a la teoría del contenimiento hidrodinámico del gas interestelar y las aplicaciones de esta teoría a la interpretación de la naturaleza de las nubes de alta velocidad.

La sección II de este trabajo contiene la revisión de los resultados teóricos previos y la contribución del autor a la teoría del equilibrio del gas interestelar.

La sección III describe los resultados observacionales y las interpretaciones precedentes de las nubes de alta velocidad.

La sección IV describe las observaciones realizadas en 1972 y resume los resultados obtenidos.

La sección V propone un modelo de las nubes de alta velocidad y discute las implicaciones del mismo.

II

TEORIA DEL EQUILIBRIO DEL GAS INTERESTELAR

El problema consiste en responder a la siguiente pregunta: ¿Qué mantiene condensada a una nube de gas interestelar?

La sugerencia que de ello se ocupe la auto-gravitación puede ser verificada aplicando el teorema del virial, que fácilmente nos permite obtener una condición necesaria de estabilidad. Si el mecanismo de contenimiento es la auto-gravitación, sobre el valor de la temperatura interna de la nube, suponiendo por simplicidad que sea esférica, homogénea e isoterma, vale la condición

$$(1) \quad T \leq GM \mu m_H / 5kR$$

donde G es la constante gravitacional, μ el peso molecular, M la masa de la nube, m_H la masa de un átomo de hidrógeno y k la constante de Boltzmann. Tomando $\mu = 1.4$ y sustituyendo los valores de la tabla 1 se obtiene que para la estabilidad debe ser $T \lesssim 8^\circ K$, valor muy inferior al que figura en la tabla 1. Por lo tanto, la nube no es gravitacionalmente contenida y, si dejada libre, tendería a expandirse en una escala de tiempos del orden del tiempo de caída libre.

Como alternativa válida, se propuso (Kahn, 1955) que el mecanismo que impide la disipación son las colisiones entre las nubes mismas. Cada colisión resultaría en una compresión, de modo que el equilibrio nebular sería de tipo dinámico, pero el choque también resultaría en un furioso calentamiento, pues ocurriría a velocidades supersónicas, con respecto al material nebular, con la consecuente producción de on-

TABLA 1
Parámetros de una nube promedio (Spitzer, 1968)

Radio, R	20 años luz
Nº de nubes por (kpc) ³ *	5 x 10 ⁴
Fracción del volumen ocupado por nubes	0.07
Densidad de H	10 cm ⁻³
Densidad de iones pesados	5 x 10 ⁻³ cm ⁻³
Masa, M	400 Masas solares

* 1 kpc = 10³ parsec = 10³ x 3.08 x 10¹⁵ cm.

TABLA 2
Abundancias relativas de los elementos

Elemento	n (A) / n (H)
He	.16
C	3.4 x 10 ⁻⁴
O	4.3 x 10 ⁻⁴
N	8.75 x 10 ⁻⁴
Ne	2.6 x 10 ⁻⁵
Mg	3.12 x 10 ⁻⁵
Si	3.12 x 10 ⁻⁵
S	1.66 x 10 ⁻⁵
Fe	3.12 x 10 ⁻⁵

das de choque. Más recientemente fue reconsiderada una vieja idea de Spitzer (1954) a la luz de nuevos trabajos sobre la teoría de la inestabilidad térmica (Field, 1965) y fue postulado un nuevo modelo: las nubes están en equilibrio hidrodinámico con un medio internebular mucho más tenue y caliente que el material nebuloso; la presión es la misma afuera y adentro de las nubes. Al equilibrio hidrodinámico debe acompañarse la condición de equilibrio térmico (equilibrio entre agentes de calentamiento y agentes de enfriamiento del gas) y la del equilibrio de ionización (n° de recombinaciones igual al n° de ionizaciones, para cada elemento presente en el gas). La solución contemporánea de este conjunto de ecuaciones, asociada a la ecuación de gases perfectos, resuelve el problema de un modelo estacionario del gas interestelar. La naturaleza de los agentes de calentamiento es argumento de debate; han sido propuestos como agentes principales los rayos cósmicos de baja energía (alrededor de 2 MeV), (Field et al., 1969; Pikel'ner, 1967; Hjellming et al 1969), aunque alternativamente también han sido considerados los rayos X blandos (alrededor de 200 eV y energías menores) (Silk y Werner, 1970) y la radiación ultravioleta de origen estelar (Hills, 1972). Por lo que se refiere a los agentes de enfriamiento, los más eficientes termostatos del medio interestelar son aquellos átomos, iones o moléculas que tienen niveles de energía cercanos al nivel fundamental (o de equilibrio a una dada temperatura), excitables colisionalmente y que se des-excitan emitiendo radiación, lo que constituye una pérdida neta de energía por el sistema. El Carbono es el agente más eficaz de enfriamiento para temperaturas comprendidas entre 10° K y 500° K, mientras que entre 500 y 10000° K son importantes el Silicio y el Hierro (Dalgarno y McCray 1972). A temperaturas superiores son importantes otros elementos, entre los cuales H, N, Mg, He y de nuevo Fe y C (Cox y Tucker, 1969); Cox y Daltabuit, 1971).

Los estudios anteriores a 1972 (Field, Goldsmith y Habing, 1969; Spitzer y Tomasko, 1967; Spitzer y Scott, 1969; Pikelner, 1967; Hjellming, Gordon y Gordon, 1969; Silk y Werner, 1970; Bergeron y Souffrin, 1971; Dalgarno y McCray, 1972), se refirieron sólo al estudio del gas en el intervalo de temperaturas menores que 10000° K. La solución de las ecuaciones de equilibrio da una relación $\log(P/\zeta)$ vs. $\log T$, donde ζ es la razón de ionización, en s^{-1} (dependiente del flujo de radiación ionizante, no conocido con precisión de unidades c.g.s. y T la temperatura en Kelvin. Cada punto de la relación $\log(P/\zeta)$ vs. $\log T$, corresponde a una situación de equilibrio. Field (1965), descubrió que no todos los puntos corresponden a situaciones de equilibrio estable. Lo son solamente aquéllos que corresponden a porciones de la relación donde:

$$(2) \quad d(\log P)/d(\log T) < 0$$

La porción comprendida entre $\log T = 1$ y $\log T = 4$ de la curva en la figura 1, que muestra la relación $\log(P/\zeta)$ vs. $\log T$, reproduce cualitativamente los resultados de los autores nombrados. Aparecen dos fases estables en dicha curva: una correspondiente a temperaturas menores que poco más que 100° K, otra alrededor de 10^4 K. De aquí la asociación de la fase fría con la fase nebulosa y de la más caliente con la fase internebulosa. La figura 1 ha sido obtenida suponiendo que los rayos cósmicos sean el agente de calentamiento (aunque en la región mencionada la curva no cambia sensiblemente aunque se supongan agentes de calentamiento alternativos) y utilizando como abundancias relativas de los elementos las abundancias solares standard listadas en la tabla 2 (Withbroe, 1971).

En esta sección se reporta sobre la extensión de la investigación de la curva $\log(P/\zeta)$ vs. $\log T$ a rangos de temperatura que se extienden hasta 10^6 K, utilizando

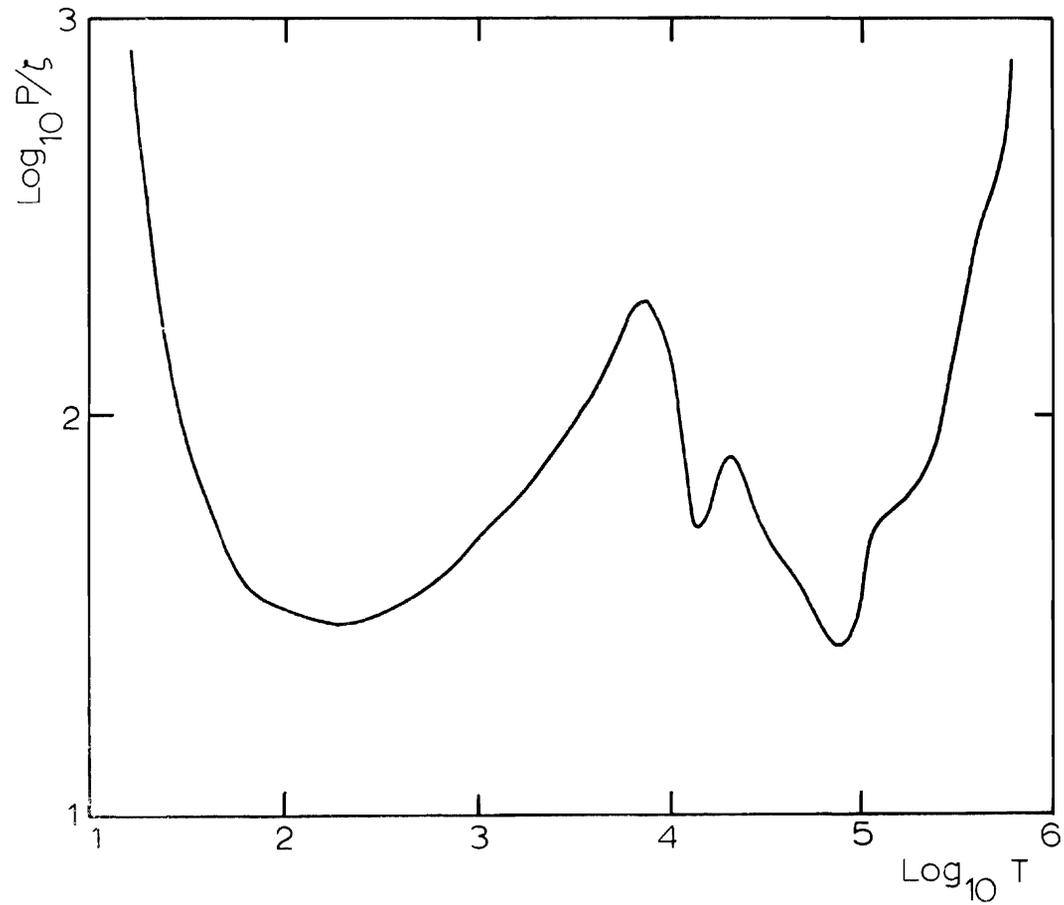


Figura 1: Curva de equilibrio $\log. (P/\zeta)$ vs. $\log. 'T'$ en el caso de abundancias "normales".

los cálculos de pérdida de energía radiativa por cada ion realizados por Cox y Tucker (1969) y analizando los cambios inducidos en la curva por variaciones en las abundancias relativas de los elementos enfriantes.

Un rayo cósmico de baja energía que interactúa con un átomo de H neutro lo ioniza, cediendo al electrón una energía comprendida entre 20 y 30 eV (Dalgarno y McCray, 1972). Esta energía es suficiente para que el electrón esté en condiciones de producir a su vez ionizaciones secundarias (pues la energía de enlace de un átomo de H en su estado fundamental es de 13.6 eV). Las energías supertérmicas de los electrones liberados se distribuyen luego estadísticamente entre las demás partículas del gas a través de colisiones elásticas hasta que se termalizan. Cuando ocurre una colisión inelástica con consecuente excitación y desexcitación por emisión de un fotón, hay una pérdida neta de energía por el gas y consecuente enfriamiento. Otro medio de enfriamiento, efectivo a elevadas temperaturas, cuando el gas está completamente ionizado, es por bremsstrahlung. El sistema de ecuaciones básicas que expresan las condiciones de equilibrio son las siguientes (a) la ecuación del equilibrio térmico.

$$(3) \quad (1+\phi)\xi E_H n_H + \Gamma n_e = n_e (n_e + n_H) [L_{eO}(T) + L_{Ho}(T)] + n_e n_H L_{eH}(T)$$

(b) la ecuación de equilibrio de ionización para el hidrógeno

$$(4) \quad \xi n_H + C_{eH}(T) n_e n_H = n_e [n_e - n_H \sum A(X_i)] \alpha_H(T)$$

(c) la ecuación de equilibrio hidrodinámico

$$(5) \quad P_n = P_i$$

(d) y la ecuación de estado

$$(6) \quad P/\xi = (n_H/\xi)(1+2x).kT$$

donde n_e y n_H son las densidades (n° de partículas por cm^3) del gas de electrones y del hidrógeno neutro, respectivamente; Γn_e es el calentamiento impartido directamente por los rayos cósmicos al gas ionizado ($\Gamma = 400 \text{ eV s}^{-1}$, según McCray y Buff, 1972);

$L_{eO}(T)$, $L_{Ho}(T)$ y $L_{eH}(T)$ representan las tasas de enfriamiento radiativo debido a la excitación colisional de elementos más pesados que helio por electrones, excitación colisional de átomos de hidrógeno por electrones y excitación colisional de elementos pesados por átomos de hidrógeno, respectivamente;

E_H es la energía cedida al gas por los electrones secundarios en el proceso de termalización;

ϕ es el número de ionizaciones secundarias por cada electrón primario;

$C_{eH}(T)$ es la tasa de ionización colisional de H por electrones térmicos;

$\alpha_H(T)$ es la tasa de recombinación del hidrógeno;

$A(X_i)$ es la abundancia relativa a H, por número de átomos, del elemento X_i ;

x es la fracción de ionización, definida como $x = n_e/n_H$.

Para nuestros propósitos, se puede despreciar el uso de las ecuaciones de equilibrio de ionización para los elementos más pesados que el hidrógeno, siendo la precisión del procedimiento suficientemente alta sin tener que hacerlo. Los coeficientes de las ecuaciones (3) – (6) están dados en forma numérica y la solución del sistema de ecuaciones requiere procedimientos iterativos de análisis numérico. ϕ , E_H , L_{H_2} , L_{eO} para T menor que 10^4 ° K han sido obtenidos de Dalgarno y McCray (1972), curvas para L_{eH} y L_{eO} a temperaturas mayores de 10000 ° K de Cox y Tucker (1969) y Cox y Daltabuit (1971), C_{eH} de McCray y Buff (1972) y α_H de Spitzer (1968).

Para la solución del sistema de ecuaciones, fue escrito por el autor un programa en PL/1 y el problema resuelto con la ayuda de la máquina IBM360/50 de NRAO en Charlottesville, Virginia. Como parámetros variables en el programa son introducidas las abundancias relativas de los elementos enfriantes. La figura 1 presenta los resultados para abundancias "standard" (tabla 2); la figura 2 presenta los resultados que se obtienen alterando todas las abundancias uniformemente por factores indicados en cada curva.

Los resultados esenciales de este análisis pueden resumirse en el modo siguiente:

(i) hay tres fases térmicamente estables:

(I) $T \lesssim 100$ ° K

(II) 7200 ° K $\lesssim T \lesssim 1400$ ° K

(III) 22000 ° K $\lesssim T \lesssim 75000$ ° K

(ii) en condiciones de abundancias normales, el rango de presiones para el cual la fase (III) puede coexistir con las otras dos es mínima: $\Delta(P/\zeta) < 0.2$;

(iii) al disminuir las abundancias de los elementos pesados, la fase (III) es notablemente enfatizada; el rango de coexistencia, especialmente con la fase (II), crece;

(iv) este último efecto puede ser notablemente subrayado alterando en modo más arbitrario las abundancias (disminuyendo C y Si con respecto a Fe, por ejemplo). Este resultado no está reportado gráficamente en el presente artículo. Para mayores detalles al respecto, ver Giovanelli y Brown (1973).

La importante conclusión que se puede deducir de estos resultados es que una tercera fase, con T comprendida entre 22000 y 75000 ° K, térmicamente estable, puede coexistir en equilibrio de presión con las dos fases más frías alrededor de 10^4 ° K y 10^2 ° K respectivamente, especialmente en regiones de moderada escasez de elementos más pesados que helio. En esta fase, el hidrógeno está prácticamente todo ionizado ($x = 10^3$), por lo tanto su revelabilidad directa mediante la línea de $\lambda = 21$ cm es prácticamente imposible. Sin embargo, la posibilidad de una estructura jerárquica de nubes en ciertas regiones del gas, podría indirectamente revelar su existencia. Por ejemplo, en regiones a baja abundancia de elementos pesados la fase internebular ejemplo, en regiones a baja abundancia de elementos pesados la fase internebular será preferiblemente (III); en ella puede existir condensaciones nebulares en la fase (II) cuya fracción de ionización es suficientemente baja ($\log x = -0.5$) como para hacerla revelable observando a $\lambda = 21$ cm; más aún, al interior de las condensaciones en la fase (II) pueden eventualmente formarse sub-condensaciones en la fase (I), densas y frías. El hecho que esta estructura jerárquica pueda preferiblemente verificarse en

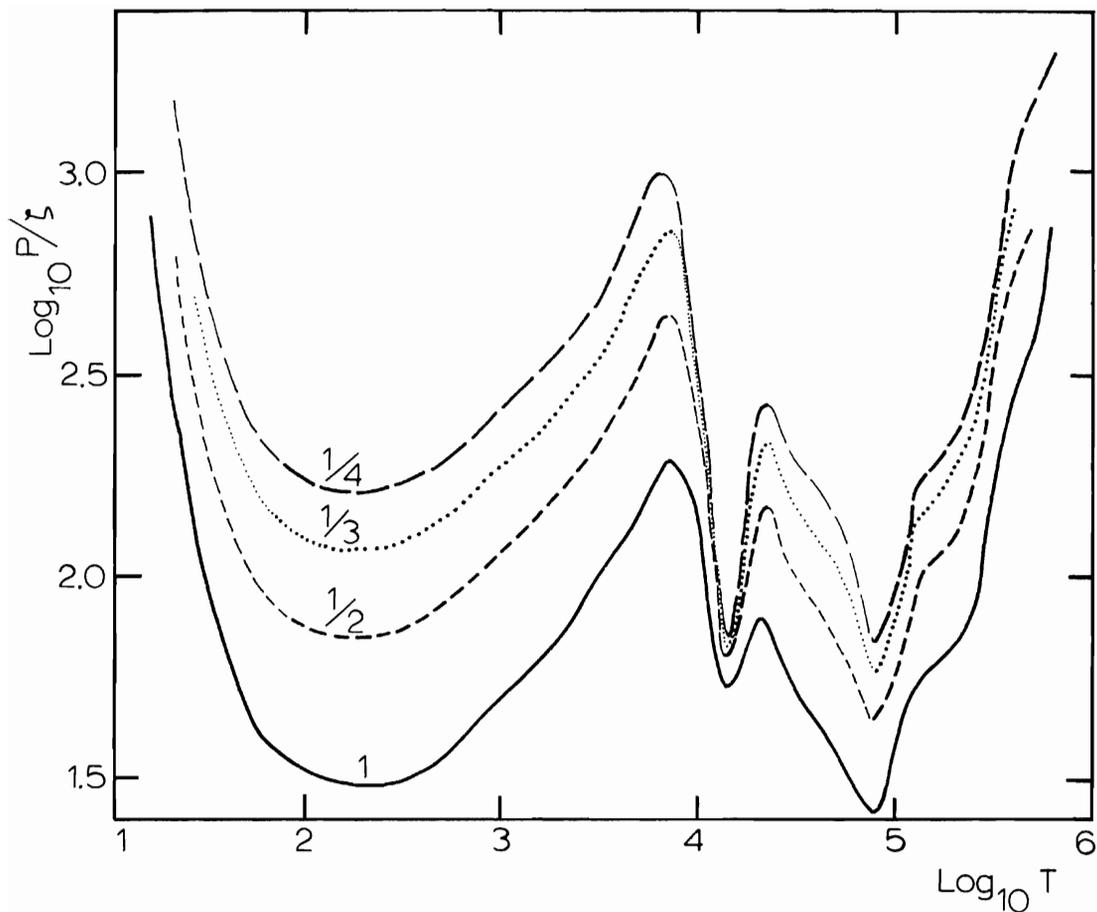


Figura 2: Curvas de equilibrio $\log. (P/\xi)$ vs. $\log. T$ en el caso de reducción de abundancias de elementos pesados por los factores indicados en cada curva.

regiones con baja abundancia de elementos pesados sugiere que se observe hacia regiones periféricas de la Galaxia. En ellas, el proceso de formación de estrellas ha sido y sigue siendo presumiblemente menos efectivo de modo que el ciclo de enriquecimiento de elementos pesados por parte del gas será mucho más lento, con consiguientes bajas abundancias de elementos pesados. En las próximas secciones esta posible conexión será desarrollada.

TABLA 3

Características instrumentales de los instrumentos usados para observar Nubes de Alta Velocidad

Telescopio	Resolución angular	Resolución espectral
Dwingeloo ¹ (Holanda)	0°.61 x 0°.66	50 KHz (~10.5 km.s ⁻¹)
Ohio State ²	10' x 40'	20 km.s ⁻¹
NRAO 300 pies	9'.7	3.5 kHz (~1.37 km.s ⁻¹)
NRAO 140 pies	20'	1.75 kHz (~0.7 km.s ⁻¹)

¹ Observaciones por Mueller y Raimond (1966); Hulsbosch y Raimond (1966); Kepner (1970); Hulsbosch (1968); Van Kuilemburg (1972).

² Observaciones por Meng y Draus (1970).

III

LAS NUBES DE ALTA VELOCIDAD

Se denominan “nubes de alta velocidad” (NAV) a aquellos objetos visibles de $\lambda = 21\text{cm}$ caracterizados por elevados valores del desplazamiento Doppler de la línea, indicando velocidades radiales superiores a los 100 km s⁻¹ y a veces superiores a los 200 km s⁻¹, con respecto al Sol. Estas velocidades son preferiblemente de acercamiento, aunque en algunas regiones del cielo han sido observadas nubes con altas velocidades radiales positivas (de alejamiento) (Van Kuilemburg, 1972; Wannier, Wrixon y Wilson, 1972). Además, estas nubes se presentan a menudo a latitudes galácticas altas o intermedias (es decir lejos, angularmente, del plano galáctico). Las observaciones sistemáticas de estos objetos fueron realizadas, por varios años, por los astrónomos holandeses (Mueller y Raimond, 1966; Hulsbosch y Raimond, 1966; Kepner, 1970; Hulsbosch, 1968; Van Kuilemburg, 1972); por Meng y Kraus (1970) y por Dieter (1972) en los Estados Unidos. Todas estas observaciones han sido realizadas con radiotelescopios de reducidas resoluciones angular y espectral. La tabla 3 muestra las prestaciones de estos instrumentos comparativamente con el paraboloide de 300 pies de NRAO. Los resultados de estas observaciones pueden resumirse brevemente en el modo siguiente (Hulsbosch, 1972):

- (i) el gas de alta velocidad puede aparecer ya sea en pequeñas nubes aisladas o, más a menudo, reunidas en grupos o complejos;
- (ii) los perfiles de las líneas son muy anchos (semiamplitudes del orden de los 25 km/s o mayores);
- (iii) las velocidades son con gran preferencia, negativas;
- (iv) las dimensiones angulares de las nubes individuales son del orden de varios grados;
- (v) se las encuentra preferiblemente a latitudes intermedias, más en el hemisferio galáctico norte que en el sur (también porque observaciones sistemáticas exhaustivas no han sido cumplidas desde los radio-observatorios del hemisferio sur).

Se propuso que las NAV sean objetos extragalácticos, relativamente cercanos a la Galaxia y orbitantes como satélites alrededor de la misma (Kerr y Sullivan, 1969). Esta teoría no explica plenamente la preferencia de las NAV por ciertas regiones específicas del cielo y la falta de velocidades positivas en regiones previstas por el modelo, además de hacer frente a algunos problemas relativos a la estructura interna. Verschuur (1969) propuso que se tratase de protogalaxias en el grupo local, aunque contra esta hipótesis surgen problemas relativos al proceso de formación de estrellas en dichas protogalaxias, en tiempos relativamente breves desde el inicio del colapso: no se observan asociaciones de tal tipo. Oort (1966, 1970) propuso una hipótesis galáctica: según su teoría las NAV son el resultado de la interacción entre material extragaláctico que precipita hacia el plano galáctico con hidrógeno galáctico periférico. Esto explica las velocidades negativas y las altas latitudes. Mas, recientemente ha ido ganando aceptación una teoría alternativa, que conserva el carácter galáctico de las NAV: las NAV, de acuerdo a esta teoría, serían partes de brazos de espiral periféricos de la Galaxia. El acentuado carácter diferencial de la rotación galáctica justificaría las elevadas velocidades Davies, 1972; Verschuur, 1973 a) Las altas latitudes se justifican con la acentuada curvatura del plano galáctico en las zonas periféricas: a una distancia de 16 kpc del centro galáctico la deflexión vertical con respecto al plano galáctico en la zona interna a un radio de 10 kpc sería del orden de los 1500 pc (Verschuur, 1973 c, 1973 b).

IV

OBSERVACIONES

Las observaciones que se reportan en este trabajo han sido realizadas en los años 1971 y 1972 utilizando los radiotelescopios de 300 pies (91.5 metros) y 140 pies (42.5 metros) del Observatorio Nacional de Radioastronomía de los Estados Unidos (NRAO) localizados en Green Bank, West Virginia.

La tabla 3 contiene algunas de las características de los dos instrumentos, comparadas con las de los instrumentos usados previamente en la observación sistemática de NAV.

El telescopio de 300 pies, un instrumento de tránsito, es controlado por una computadora "on-line" que está en condiciones de guiar el telescopio a lo largo de líneas de latitud galáctica (b) o longitud galáctica (l) o declinación (δ) constante; se

utilizó en conexión con un receptor de $\lambda 21\text{cm}$ dotado de cuatro colectores orientables cada uno de los cuales puede cubrir un haz de 9.7 minutos de arco; orientados oportunamente, con un solo apuntamiento se puede cubrir una franja de 38 minutos de arco. El espectro es analizado por un autocorrelator de 384 canales. Los coeficientes de **autocorrelación** son transferidos a la computadora "on-line" cada 10 segundos, donde sufren una transformación de Fourier y son registrados en cinta magnética. Los perfiles de la línea, registrados cada 10 segundos, son enviados a Charlottesville, Virginia, al centro teórico de NRAO, donde son procesados utilizando una serie de programas de reducción, de los cuales el último y más importante paso es constituido por un programa modular que usa un interpretador para un metalenguaje de operaciones de reducción muy flexible (Cram, Giovanelli y Farris, 1973), en una computadora IBM360/50. Los datos son finalmente graficados por un "plotter" Cal Comp modelo 763, asistido por un programa de contornos modificado por T. R. Cram y por el autor, capaz de manejar más de 40000 puntos simultáneamente.

El telescopio de 140 pies también está controlado por una computadora "on-line" y las características del receptor, con un solo colector, y del autocorrelator, son análogos a las del radiotelescopio de 300 pies. Análogos también los procedimientos de reducción de datos.

Los datos han sido reducidos obteniendo tres tipos de salida. Se han obtenido perfiles simples de la línea correspondientes a posiciones fijadas del telescopio, se han combinado muchos perfiles construyendo mapas de contorno posición-velocidad-temperatura de brillantez, que esencialmente cubren una franja de cielo con l , b ó δ constante y la correspondiente coordenada complementaria como variable, o se han tomado conjuntos de perfiles de una cierta área extendida de cielo en las dos dimensiones y graficado mapas de contorno fijando la velocidad a un valor constante. Esencialmente el problema responde a la siguiente formalización: se registra numéricamente la función.

$$T(\alpha, \delta, v) \quad T(l, b, v)$$

donde T es la temperatura de brillantez correspondiente al valor v de la velocidad radial en el perfil tomado en el punto de coordenadas (α, δ) ó (l, b) del cielo. La representación gráfica de tal función sólo puede realizarse manteniendo una de las variables constante y construyendo mapas de contorno de T en función de las dos restantes. Esto es precisamente lo que se hace.

Con el telescopio de 140 pies han sido tomados perfiles con altísima cifra señal-ruido, es decir con una cifra de ruido de fondo muy baja, obtenida integrando la señal hasta 10 y en algunos casos hasta 20 minutos por punto. Esto ha permitido observar detalles de baja temperatura de brillantez y medir en condiciones óptimas las amplitudes de las líneas de emisión.

Las observaciones cubren un período de aproximadamente 60 horas en el de 300 pies en noviembre de 1971, 240 horas en el mismo telescopio en mayo de 1972, 100 horas en el de 140 pies en julio de 1972 y 180 horas en el de 300 pies en octubre de 1972. Las regiones observadas están listadas en la tabla 4. Las figuras 3, 4 y 5 presentan respectivamente la totalidad del complejo "A" hasta una sensibilidad de 0.5°K , 4 mapas de velocidad constante (indicada en los mismos) correspondientes a la región de más alta declinación del complejo "A", ambas a partir de datos del de 300 pies, y una selección de perfiles de bajo ruido tomados a lo largo del complejo "A" en las posiciones indicadas en la tabla 5, que indican la presencia de emisión

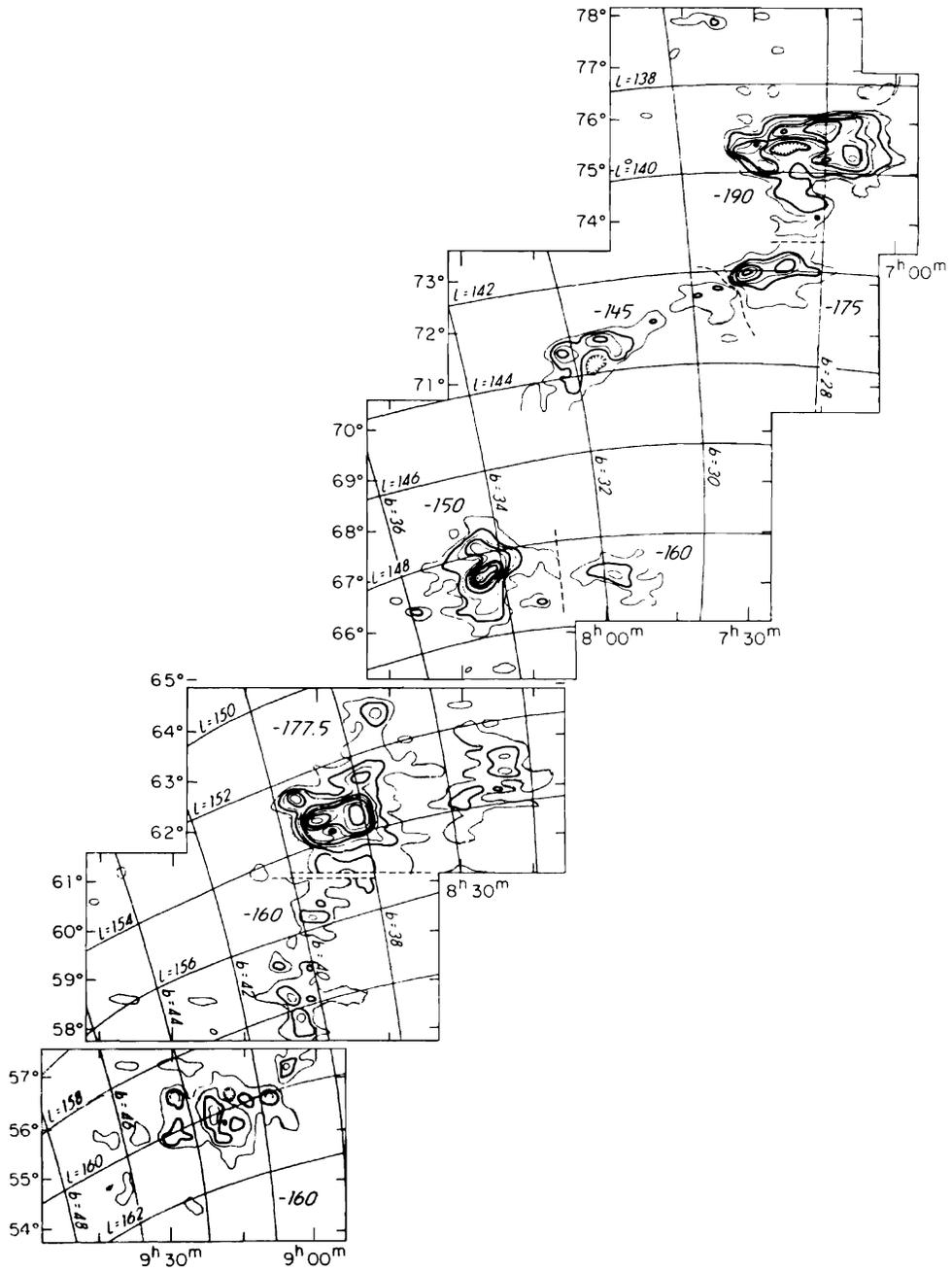


Figura 3: Mapa ascensión recta-declinación del complejo A. Cada estructura está representada a la velocidad en que se presenta más intensa. Los números al lado de cada una indican las velocidades radiales.

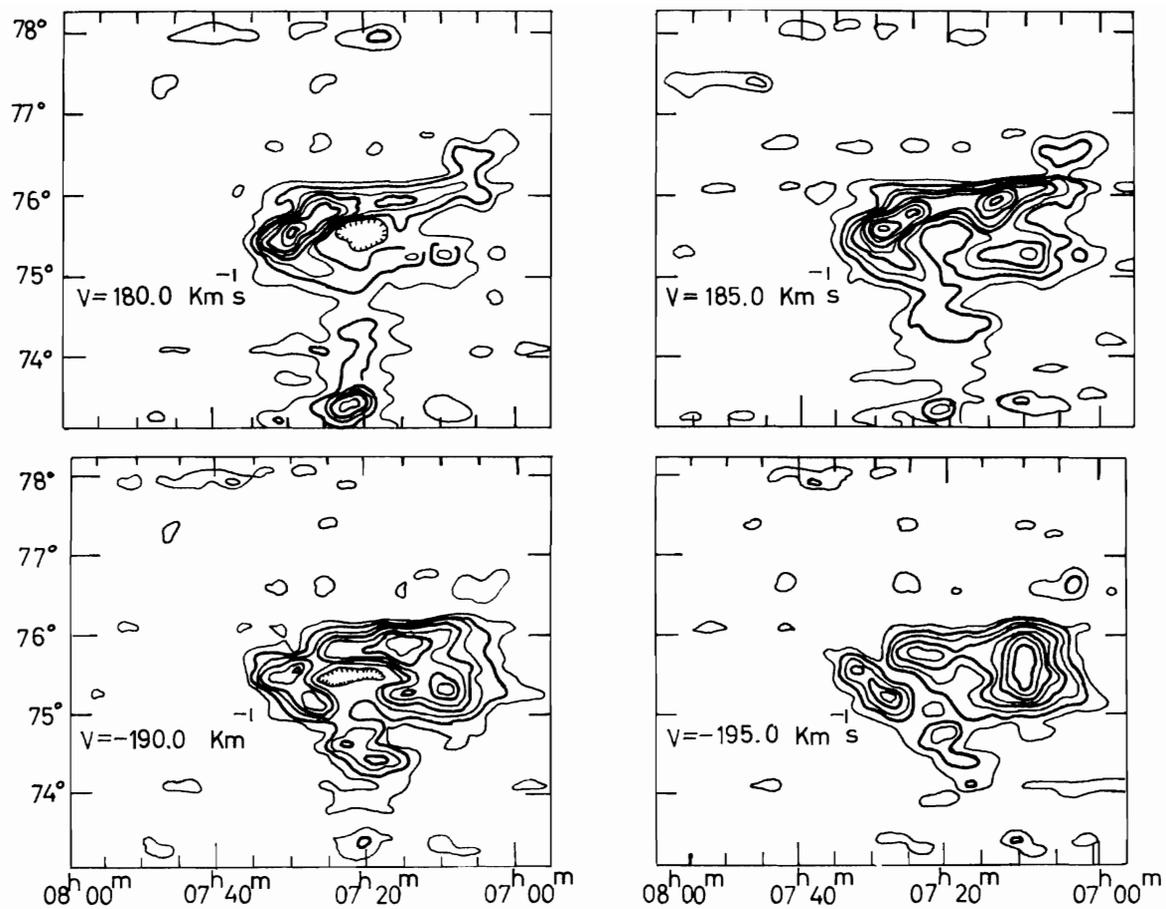


Figura 4: Región más conspicua del complejo A, en 4 mapas ascensión recta-declinación a 4 valores distintos de la velocidad.

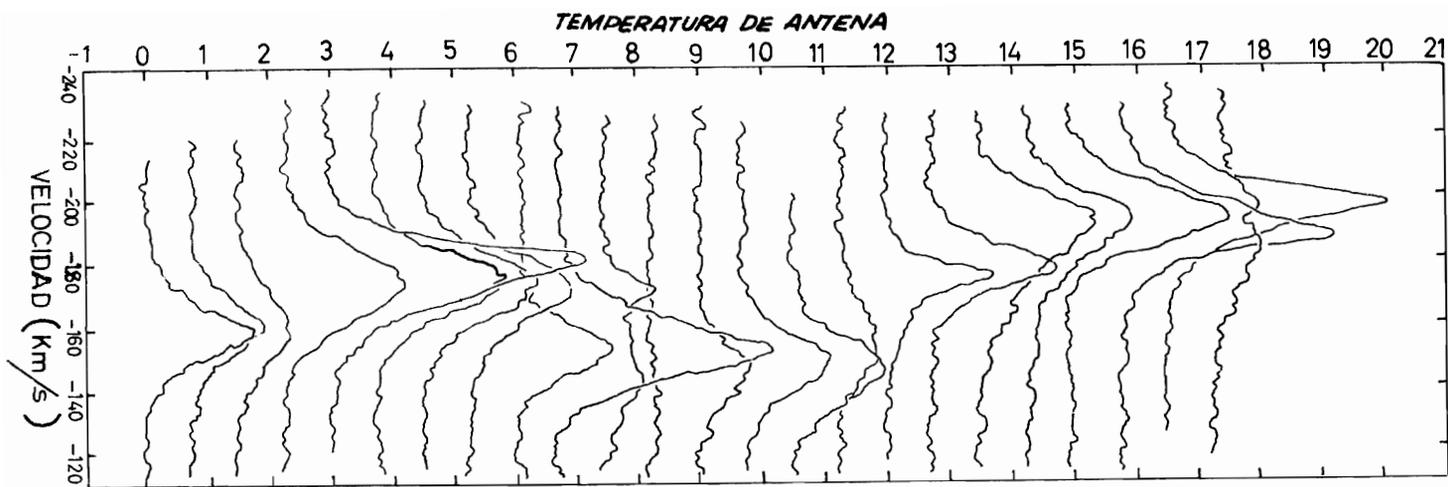


Figura 5: Una selección de perfiles en emisión del complejo A obtenidos con el telescopio de 140 pies, en los puntos cuyas coordenadas están indicadas en la tabla 5.

entre las zonas más conspicuas del complejo "A", dando sentido a la continuidad de la estructura, también corroborada por la variación gradualmente consistente de la velocidad de pico de cada perfil. La figura 6 muestra una selección de mapas de velocidad constante del complejo M I y la figura 7 una selección de mapas de declinación constante del mismo objeto.

TABLA 4

Nombres, localizaciones y velocidades de las regiones observadas

Nombre	RA	δ	l	b	Velocidad con respecto al LSR *
Complejo A	7 ^h	55°	139°	26°	-140 a -190 km s ⁻¹
	a	a	a	a	
	9 ^h 30 ^m	77°	161°	46°	
M I	11 ^h 20 ^m	44°	165°	67°	- 75 a -130
M II	11 ^h 00 ^m	37°	187°	64°	- 60 a - 90
OMM360	10 ^h 15 ^m	29°	200°	56°	- 30 a - 60
C I	14 ^h 40 ^m	60°	100°	52°	-100 a -150
	a	a	a	a	
	16 ^h 40 ^m	53°	80°	40°	
C III	13 ^h 00 ^m	65°	120°	52°	-110 a -150
HVC 166 + 56	10 ^h 30 ^m	48°	166°	56°	-140
	23 ^h				
HVC 112 + 2	a	62°	112°	2°	-140
	24				

* LSR = Standard local de reposo.

Para cada objeto observado, además de los parámetros directamente medibles en los perfiles y en los contornos, han sido calculadas densidades superficiales de hidrógeno neutro N_H (número de átomos de hidrógeno neutro a lo largo de un cilindro de 1 cm³ de sección que atraviesa toda la nube), y masas de hidrógeno neutro en función de la distancia Mr^{-2} . Para un más detallado análisis de todos los datos consultar Giovanelli, Verschuur y Cram (1973), Verschuur, Cram y Giovanelli (1972) y Giovanelli y Cram (1974).

Los resultados de estas observaciones pueden ser resumidos en el modo siguiente. Las observaciones precedentes de NAV fueron dramáticamente dependientes de la baja resolución angular y espectral de los instrumentos usados. En particular, la identificación de concentraciones individuales de gas fueron, en la mayoría de los casos, erradas y la computación de los parámetros físicos inconsistente, los datos sobre dimensiones y amplitudes en velocidad de las líneas de objetos individuales condujeron a valores excesivamente altos de la temperatura interna de las nubes y de los parámetros Mr^{-2} . Además, pueden subrayarse una serie de hechos "nuevos" descubiertos por las presentes observaciones:

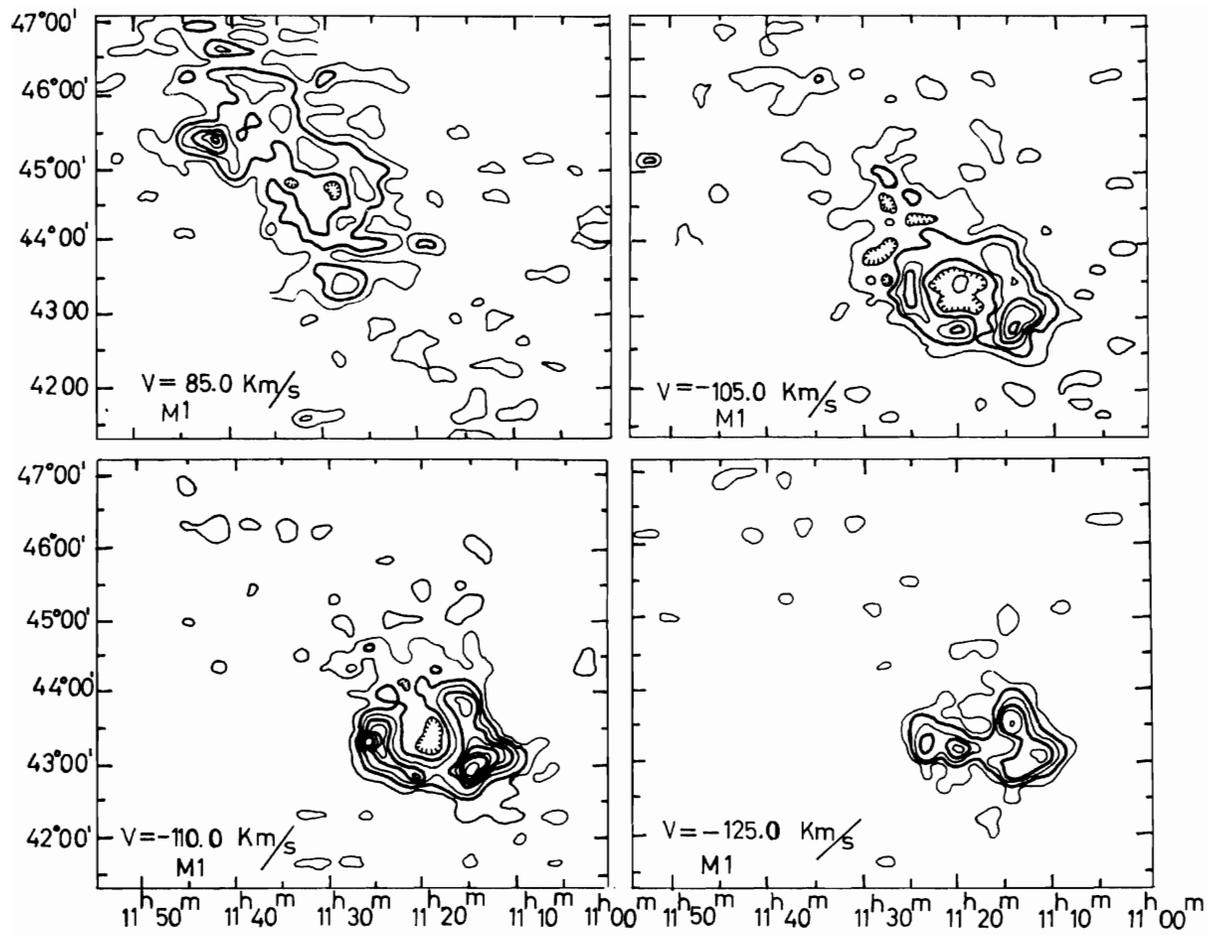


Figura 6: Mapas ascensión recta-declinación para la región M1, a cuatro valores de la velocidad radial.

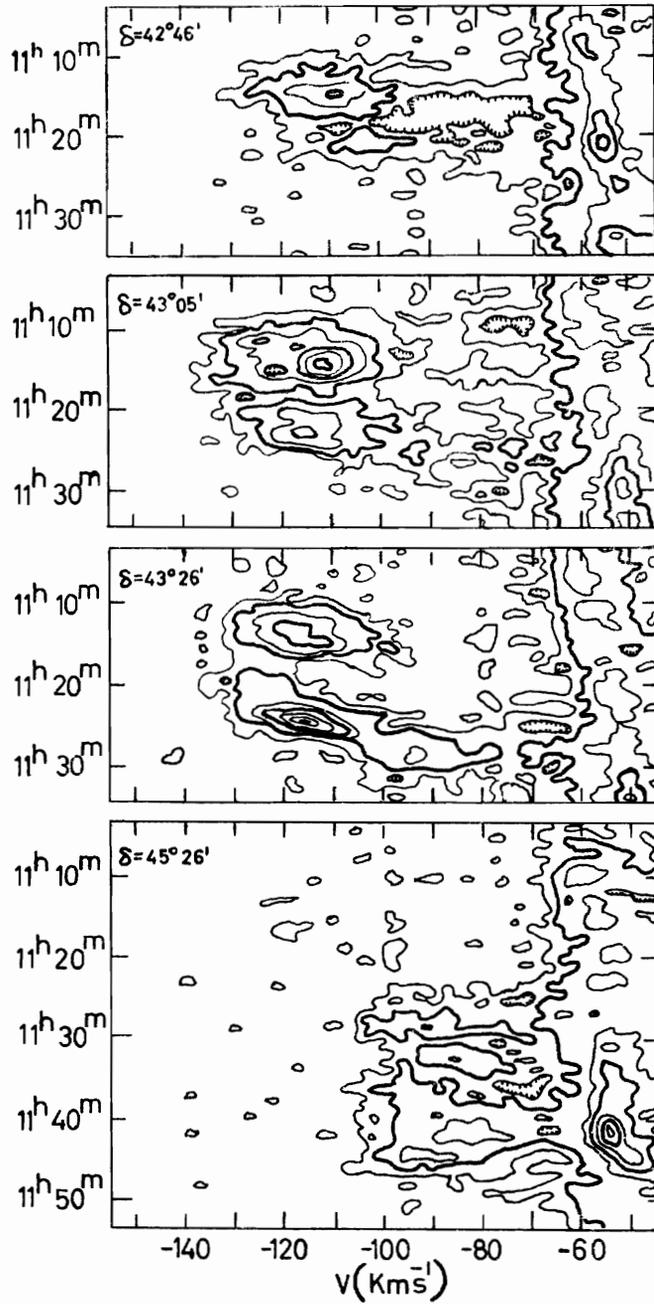


Figura 7: Mapas ascensión recta-velocidad de MI, a cuatro valores de la declinación.

TABLA 5

Posiciones de perfiles observados en el complejo A,
según el orden en la figura 5

Ascensión Recta (1950.0)			Declinación (1950.0)	
7	03 ^m	30 ^s	76°	38'
7	08	00	75	52
7	14	30	75	51
7	09	30	75	15
7	16	00	75	09
7	27	00	75	11
7	22	00	73	27
7	31	00	72	27
7	34	00	72	37
8	00	30	71	52
8	07	00	71	37
8	09	00	70	55
8	15	00	69	02
8	23	30	68	16
8	25	30	67	10
8	26	30	66	43
8	47	30	64	29
8	52	30	63	07
9	04	00	62	45
9	01	00	62	14
8	58	00	61	46
9	00	00	60	14
9	04	00	58	14
9	22	00	56	14

- a) Los complejos de NAV aparecen formados por componentes conectadas entre ellas por material difuso de baja emisividad, como muestra la figura 5 para el complejo "A";
- b) dichos complejos muestran una estructura jerárquica: estructuras pequeñas de dimensiones angulares inferiores a 30 minutos de arco, típicamente, y de elevadas cifras N_H , aparecen embebidas en estructuras mucho mayores de emisividad inferior y bordes pobremente definidos;
- c) aparecen estructuras de tipo anular, del tipo indicado en la figura 6, trazadas por sucesiones de condensaciones pequeñas; la estructura anular aparece comúnmente "rota" hacia la dirección en que se observa mayor cantidad de gas de baja emisividad y, generalmente, de velocidad radial menos negativa (en MI, principalmente alrededor de $v = -85 \text{ km s}^{-1}$, entre $\delta = 44^\circ - 46^\circ$ y R.A. = $11^h 20^m - 11^h 45^m$, no mostrado en figura);
- d) La amplitud en velocidad de los perfiles es típicamente inferior a los 25 km s^{-1} , y en las concentraciones más pequeñas es común encontrar amplitudes del orden de 10 km s^{-1} o menores. La estructura jerárquica que aparece en la morfología de las nubes, también está presente en las amplitudes de las líneas.

Este último punto es de gran importancia conceptual, en conexión con (b), en virtud de los resultados teóricos discutidos en la sección II. En efecto, si interpretamos las amplitudes de los perfiles como ensanchamientos fundamentalmente térmicos (es decir debidos a las velocidades térmicas de las partículas en el gas), podemos asociar a las nubes valores máximos de la temperatura cinética interna. Este problema fue analizado con mayor detalle utilizando perfiles de baja cifra de ruido (perfiles "limpios") obtenidos con el telescopio de 140 pies. Fueron tomados un elevado número de perfiles centrados en las concentraciones más brillantes de las NAV y en las zonas periféricas de las mismas. Cada perfil fue analizado con un programa de "gaussian fit" que ajusta un número arbitrario de gaussianas a los perfiles observados; el procedimiento fue conducido desde el terminal CRT de exposición visual de la computadora IBM360/50, en que perfil por perfil fue siendo proyectado, procesado por el método de los mínimos cuadrados ajustando una o más gaussianas y los resultados siendo proyectados en la pantalla, numérica y gráficamente; el procedimiento es muy rápido y permite un elevado nivel de interacción hombre-computadora, en un diálogo con tiempos muertos extremadamente breves. Para cada perfil se procedió al ajuste del número mínimo de gaussianas que minimizaban tolerablemente las desviaciones de los datos. Las amplitudes de las gaussianas fueron luego analizadas estadísticamente y la figura 8 muestra un histograma de las mismas. Aparece clara la meta demarcación del diagrama entre dos grupos de perfiles, correspondiente a diferentes valores de la amplitud. Un grupo caracterizado por amplitudes relativamente pequeñas, menores que 10 km s^{-1} , y otro caracterizado por amplitudes del orden de los 22 km s^{-1} . Interpretando estos perfiles como ensanchados esencialmente por la agitación térmica del gas, es decir ignorando las contribuciones al ensanchamiento debidas a velocidades turbulentas, el valor máximo de la temperatura del gas que puede ser asociada a los dos grupos es $T = 1200^\circ \text{ K}$ para el primer grupo y $T = 10400^\circ \text{ K}$ para el segundo. Esto ulteriormente sugiere el punto ya mencionado que se está observando gas en dos fases termodinámicas distintas.

V

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El trabajo descrito sugiere la validez de un modelo galáctico de las NAV, de acuerdo con las ideas de Verschuur (1973) y Davies (1972). Este modelo requiere que el "plano" galáctico esté no sólo seriamente curvado hacia el Polo Galáctico Norte, en el primer cuadrante de longitudes galácticas ($0 - 90^\circ$), sino que su espesor aumente drásticamente al aumentar la distancia del centro galáctico. Esta condición es aparentemente satisfecha, ya sea desde el punto de vista teórico (Kellman, 1972) ya sea desde el punto de vista observacional (Verschuur, 1973 c).

El modelo propuesto, puede por lo tanto, ser descrito en el modo siguiente. El gas galáctico en las regiones periféricas, débilmente retenido por el tenue campo gravitacional del plano galáctico (a su vez drásticamente curvado), tiene extensiones "perpendiculares" considerables, que desde nuestra posición en la Galaxia se proyectan a elevadas latitudes. Este gas participa de la rotación diferencial de la Galaxia, y su gran distancia de nosotros, junto con el efecto de rotación diferencial, permite la observación de velocidades radiales proyectadas de elevado valor absoluto. Esta descripción tiene en cuenta la cinemática de las nubes. No explica su estructura in-

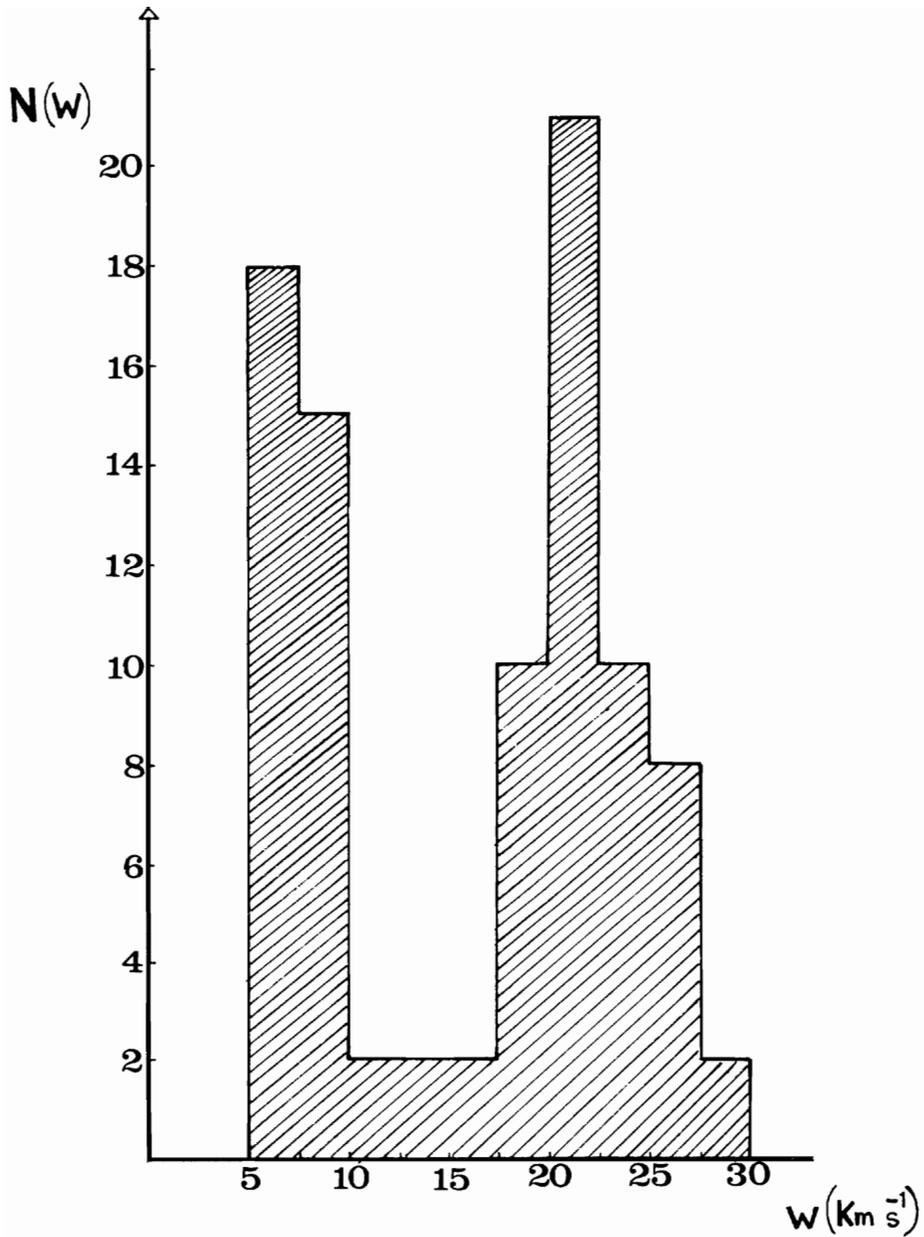


Figura 8: Histograma de las amplitudes de las componentes gaussianas de los perfiles, W , para una selección de perfiles obtenidos con el telescopio de 140 pies en las regiones listadas en la tabla 4.

terna, la naturaleza de los vínculos físicos que las mantienen como unidades y su aparente estructura jerárquica. Los resultados teóricos aquí referidos permiten una explicación de su estructura. Las regiones periféricas de la Galaxia presumiblemente nunca han sido sede de intensa actividad de formación de estrellas, de modo que el "reciclarse" de la materia interestelar, con el consiguiente aumento de la proporción de iones pesados, ha sido muy poco eficiente. Este hecho, interpretado a la luz de los resultados mencionados en la sección II tiende a indicar que la mayor parte del gas se encontrará en una fase caliente y difusa, a temperaturas superiores a los 20000° K, casi completamente ionizado. Sin embargo, en este medio son posibles, y estables, configuraciones condensadas a temperaturas inferiores, alrededor de los 10000° K, cuya razón de ionización es suficientemente baja como para permitir su detección como "nubes" calientes y difusas (relativamente a los criterios de la tabla 1). Al interior de estas nubes son aún posibles subcondensaciones, frías y localizadas, dando lugar a una estructura jerárquica coherente con el dato observacional.

Uno de los problemas de mayor envergadura que enfrenta una interpretación de este tipo es la temperatura derivada para la componente de perfiles de baja amplitud: alrededor de 1200° K. Este valor es un orden de magnitud mayor que el derivado para la primera fase estable, de acuerdo con la teoría. Las explicaciones posibles pueden ser varias; entre ellas dos son las más razonables: (a) las estructuras más pequeñas tienen dimensiones angulares observadas cercanas al límite de resolución del telescopio; es posible que los objetos observados sean superposiciones de varios objetos de dimensiones inferiores a la resolución del telescopio (recuérdese que las amplitudes de los perfiles fueron determinadas por medio de observaciones efectuadas con el telescopio de 140 pies, cuya resolución angular es de $20''$) de modo que varias condensaciones, caracterizadas por velocidades radiales ligeramente distintas, entren en el haz del telescopio, simulando un objeto mayor y de mayor amplitud en velocidad. Este efecto ha sido verificado efectivamente gracias a observaciones realizadas con el nuevo instrumento interferométrico de Westerbork en Holanda, en por lo menos un caso, el de HVC 112 + 2 (Hulsbosch, 1973 comunicación privada). (b) Una explicación alternativa consiste en conceder la posibilidad que las concentraciones más pequeñas efectivamente se encuentren a temperaturas muy por arriba del intervalo correspondiente a la fase estable fría; es decir, conceder que se trata de estructuras inestables, para las cuales el tiempo de desintegración (o transición de fase) es muy largo, al punto de hacerlas quasi-estables. Esto puede verificarse si la forma de la curva $\log(P/\xi)$ vs. $\log T$ satisface ciertas condiciones en el intervalo de temperaturas considerado (derivada baja); condición satisfecha para ciertas combinaciones de abundancias relativas muy plausibles (Giovanelli y Brown, 1973).

La interpretación formulada para la estructura periférica de nuestra Galaxia y para las NAV en particular tiene notables implicaciones. Un medio difuso completamente ionizado (fase III) en la periferia de la Galaxia podría ser un eficiente agente de confinamiento de los rayos cósmicos en la Galaxia, resolviendo este añoso problema. Además la contribución de este medio ionizado a la medida de rotación de las radiofuentes extragalácticas permite determinar un modelo del campo magnético galáctico muy distinto de los modelos hasta ahora postulados. Las implicaciones sobre las inhomogeneidades en las abundancias a lo largo del "plano" galáctico son entre las más interesantes. Observaciones ópticas (Searle, 1971) de regiones III de 5 galaxias a espiral cercanas han mostrado la existencia de bien definidos gradientes de abundancia de iones pesados a lo largo del disco, disminuyendo hacia la periferia; más aún, ciertos elementos cambian en abundancia más rápidamente que otros, por

ejemplo: la razón de abundancia [O/N] disminuye por un factor 7 entre las regiones III internas y las más externas.

Recientemente (Morton et al. 1973) han sido determinadas abundancias de elementos en el medio interestelar por medio de un observatorio orbitante (OAO-3: Copernicus). Los nuevos valores de las abundancias relativas son en algunos casos, drásticamente distintos que los comúnmente aceptados hasta ahora.

ABSTRACT

This paper presents results which further clarify morphological and thermodynamical aspects of the interstellar medium in the peripheric regions of the Galaxy. It is composed of (1) a part of theoretical analysis, in which a hierarchical structure of the gas, in three phases of different temperatures and densities, is postulated; and (2) a mainly observational part in which the results of $\lambda 21$ cm observations are presented showing and agreement with theoretical results.

The picture proposed by this study shows the peripheric galactic gas conformed in nebular structures which rotate with the Galaxy and, given their presumably big distances, show high values of the radial velocities. They are interpreted as representative of two phases in pressure, thermal and ionization equilibrium between them and with a third phase, "internebular", at a temperature higher than 20000 K.

RIASSUNTO

Questo lavoro presenta risultati che si propongono di chiarire ulteriormente gli aspetti morfologici e termodinamici del mezzo interstellare nelle regioni periferiche della Galassia. Si divide in (1) una parte di analisi eminentemente teorica, nella quale è postulata una struttura gerarchica del gas, in tre fasi di temperature e densità diverse; e (2) in una parte osservazionale, nella quale si presentano i risultati di osservazioni radioastronomiche che tendono a corroborare i risultati teorici.

Il quadro risultante di questo studio è quello di un gas galattico periferico conformato in strutture nebulari, che partecipano della rotazione galattica e che essendo presumibilmente a grandi distanze, presentano alti valori della velocità radiale; possono essere interpretate come rappresentative di due fasi in equilibrio di pressione, termico e di ionizzazione fra di loro e con una terza fase, "internebulare", a temperatura superiore ai 20000 K.

BIBLIOGRAFIA

- BERGERON, J., SOUFFRIN, S., *Astronomy and Astrophysics*, vol.11, p. 40, 1971.
- COX, D., DALTABUIT, E., *Astrophysical Journal*, vol. 167, p. 113, 1971.
- COX, D., TUCKER, W., *Astrophysical Journal*, vol. 157, p. 1157, 1969.
- CRAM, T. R., GIOVANELLI, R., FARRIS, S., NRAO Computer División internal report N° 12, 1973.
- DALGARNO, A., McCRAY, R. A., *Ann. Rev. of Astron. and Astrophys.*, vol. 10, p. 375, 1972.
- DAVIES, R. D., *Nature*, vol. 237, p. 88, 1972.
- DIETER, N. II., *Astronomy and Astrophysics Suppl.*, vol. 5, p. 21.
- FIELD, G. B., *Astrophysical Journal*, vol. 142, p. 531, 1965.
- FIELD, G. B., GOLDSMITH, D. W., HABING, H. J., *Astrophysical Journal Letters*, vol. 155, p. 149, 1969.
- GIOVANELLI, R., BROWN, R. L., *Astrophysical Journal*, vol. 182, p. 755, 1973.
- GIOVANELLI, R., VERSCHUUR, G. L., CRAM, T. R., *Astronomy and Astrophysics Suppl.*, vol. 12, p. 209, 1973.
- GIOVANELLI, R., CRAM, T. R., en preparación 1974.
- HILLS, J. G., *Astronomy and Astrophysics*, vol. 17, p. 155, 1972.
- HJELLMING, R. M., GORDON, C. P. GORDON, K. J., *Astronomy and Astrophysics*, vol. 2, p. 202, 1969.
- HULSBOSCH, A. N. M., RAIMOND, E., *Bull. Astron., Inst. Netherlands*, vol. 18, p. 413, 1966.
- HULSBOSCH, A. N. M., *Bull. Astron, Inst. Netherlands*, vol. 20, p. 33, 1968.
- HULSBOSCH, A. N. M., Tesis de doctorado, Universidad de Leyden, 1972.
- KAHN, F. D., *Proceedings of the International Astronomical Union Symposium N° 2*, North Holland Publ. Co., Amsterdam, p. 60, 1965.
- KELLMAN, S., *Astrophysical Journal*, vol. 175, p. 353, 1972.
- KEPNER, M. E., *Astronomy and Astrophysics*, vol. 5, p. 444, 1970.
- KERR, R. J., SULLIVAN III, W. T., *Astrophysical Journal*, vol. 158, p. 115, 1969.
- McCRAY, R. A., BUFF, J., *Astrophysical Journal Letters*, vol. 175, p. 65, 1972.
- MENG, S. Y., KRAUS, J. D., *Astronomical Journal*, vol. 75, p. 535, 1970.

- MORTON, D. C., DRAKE, J. F., JENKINS, E. B., ROBERSON, J. B., SPITZER, L., YORK, D. G., *Astrophysical Journal Letters*, vol. 181, p. 103, 1973.
- MUELLER, C. A., OORT, J. H., RAIMOND, E., *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*, vol. 257, p. 1961, 1963.
- MUELLER, C. A., RAIMOND, E., SCHWARZ, U. J., TOLBERT, C. R. *Bull. Astron. Inst. Netherlands, Suppl. 1*, p. 213, 1966.
- OORT, J. H., *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, vol. 18, p. 421, 1966.
- OORT, J. H., *Astronomy And Astrophysics*, vol. 7, p. 381, 1970.
- PIKELNER, S. B., *Soviet Astronomy*, vol. 11, p. 737, 1967.
- PUPPI, G., SETTI, G., WOLTJER, L., *Nuovo Cimento*, vol. 45, p. 252, 1966.
- SEARLE, L., *Astrophysical Journal*, vol. 168, p. 237, 1971.
- SILK, J., WERNER, M., *Astrophysical Journal*, vol. 158, p. 185, 1970.
- SPITZER, L., *Astrophysical Journal*, vol. 120, p. 1, 1954.
- SPITZER, L., "Difuse Matter in space", ed. Interscience, New York, p. 85, 1968.
- SPITZER, L., TOMASKO, M. G., *Astrophysical Journal*, vol. 152, p. 971, 1968.
- SPITZER, L., SCOTT, E. H., *Astrophysical Journal*, vol. 158, p. 161, 1969.
- VAN KUILENBURG, J., *Astronomy and Astrophysics Suppl.*, vol. 5, p. 1, 1972.
- VERSCHUUR, G. L., *Astrophysical Journal*, vol. 156, p. 771, 1969
- VERSCHUUR, G. L., *Astronomy and Astrophysics*, vol. 22, p. 139, 1973c.
- VERSCHUUR, G. L., Preprint 1973b.
- VERSCHUUR, G. L., Preprint 1973c.
- VERSCHUUR, G. L., CRAM, T. R., GIOVANELLI, R., *Astronomy and Astrophysics Suppl.*, vol. 12, p. 203, 1973.
- WANNIER, P., WRIXON, G. T., WILSON, R. W., *Astronomy and Astrophysics*, vol. 18, p. 224, 1972.
- WITHBROE, G. *Proc. Menzel Symp.*, ed. K. B. Gebbie, N. B. S. Spec. Publ. 353, 1971.