

# PROPIEDADES FISICAS DE ESTRELLAS ROJAS EVOLUCIONADAS EN CUMULOS ABIERTOS

J.J. CLARIA\*†

Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

## Abstract

Results from photoelectric UBV and DDO photometry of post-main sequence stars in four southern open clusters are presented. Recent calibrations of DDO photometry make possible estimates of interstellar reddening, distance modulus, and a gravity-independent index of cyanogen strength all for a single G or K evolved star. There is no evidence for mixing of heavy elements to the surface of the stars from their interiors among any of the stars observed in each cluster. This result holds for the clump stars at the blue end of the giant branch in the two older clusters observed. The apparent homogeneity of chemical properties of the clusters is interpreted as demonstrating that surface abundances of the four clusters reflect their primordial compositions.

Key Words: clusters: open - photometry - stars: abundances

## I. INTRODUCCION

El propósito principal de este trabajo consiste en obtener y analizar índices de intensidad de cianógeno de estrellas G y K evolucionadas en cuatro cúmulos abiertos de la galaxia. Este proyecto forma parte de uno más general cuyos resultados serán próximamente publicados.

## II. PROPIEDADES DEL SISTEMA DDO

El sistema fotométrico de banda intermedia DDO (David Dunlap Observatory) ha sido de finido y desarrollado con la principal intención de permitir realizar una clasificación espectral tridimensional de estrellas de tipos espectrales G y K (McClure y van den Bergh 1968, McClure 1976). Las tres dimensiones las constituyen la temperatura efectiva, la luminosidad y la abundancia de elementos pesados. El sistema consta de cuatro filtros interferenciales en la región azul del espectro, denominados 48, 45, 42 y 41. Estos nombres dan una idea aproximada de las longitudes de onda efectivas de los distintos filtros. El sistema incluye también dos filtros ultravioletas suplementarios, denominados 35 y 38, que suelen utilizarse en circunstancias especiales. Las intensidades registradas con los cuatro filtros primarios permiten formar tres índices de color linealmente independientes a saber: C(45-48), el cual representa una medida de la gravedad superficial y es relati-

---

\*: Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.

†: Astrónomo visitante del Observatorio Inter-Americano de Cerro Tololo (Chile).

vamente independiente de la abundancia metálica; C(42-45), un indicador sensible a la temperatura efectiva y C(41-42), que representa una medida de la intensidad de la banda de cianógeno en 4216 Å, la que a su vez indica la abundancia de los elementos pesados en la atmósfera estelar. El índice C(38-42) representa una medida del blanketing metálico en la región próxima a los 3800 Å, en tanto que el índice C(35-38) provee información acerca del monto total de la discontinuidad de Balmer.

### III. OBSERVACIONES FOTOELECTRICAS

En este trabajo presentamos resultados obtenidos a partir de observaciones fotoeléctricas UBV y DDO de estrellas rojas evolucionadas en cuatro cúmulos abiertos, a saber: NGC 6067, NGC 3114, NGC 5822 y NGC 3680. Entre 13 y 15 estrellas de tipos G y K fueron medidas en cada cúmulo. Todas las observaciones fueron realizadas con el telescopio de 91 cm del Observatorio Inter-Americano de Cerro Tololo (Chile), con excepción de algunas estrellas de NGC 3680 medidas por McClure (1972).

### IV. MIEMBROS FISICOS Y ESTRELLAS ROJAS DEL CAMPO GALACTICO

Si bien todas las estrellas seleccionadas tienen posiciones en los diagramas H-R y (U-B)/(B-V) tales que su vinculación física al respectivo agregado aparece como altamente probable, es sabido que los criterios fotométricos en banda ancha no permiten, por sí solos, decidir la condición de miembro físico de una estrella. En consecuencia, para separar las estrellas rojas del campo galáctico de los miembros físicos de cada cúmulo usamos dos criterios independientes.

El primer criterio consistió en determinar el exceso de color  $E(B-V)_{GK}$  de cada estrella tardía G o K a partir de la expresión:

$$E(B-V)_{GK} = A_1(B-V) + A_2C(45-48) + A_3C(42-45) + A_4 \quad (1)$$

en la cual los índices involucrados son cantidades observadas y los coeficientes  $A_i$  son todos conocidos (McClure y Racine 1969). La ecuación (1) se aplica a estrellas G y K de clases de luminosidad II, III y IV, en el rango de color  $0.80 \leq (B-V) \leq 1.55$  y con abundancias metálicas moderadas. La desviación standard del exceso de color  $\sigma_E$  para cada estrella evolucionada la obtenemos a partir de la expresión:

$$\sigma_E^2 = A_1^2 \sigma_{BV}^2 + A_2^2 \sigma_{45/48}^2 + A_3^2 \sigma_{42/45}^2 \quad (2)$$

en la cual  $\sigma_{BV}$ ,  $\sigma_{45/48}$  y  $\sigma_{42/45}$  representan las desviaciones standard de las variables involucradas. A continuación, corregimos el exceso medio  $\overline{E(B-V)}$  de las estrellas azules de la secuencia principal por el efecto de variación de la línea de enrojecimiento con el tipo espectral (Hartwick y McClure 1972) y comparamos este exceso de color  $\overline{E(B-V)}_{corr}$  con el anterior formando la diferencia:

$$\Delta E = |E(B-V)_{GK} - \overline{E(B-V)}_{corr}| \quad (3)$$

Si no existe enrojecimiento diferencial, consideramos como miembro, probable miembro o no miembro a una estrella de acuerdo a este criterio, cuando la diferencia  $\Delta E$  es menor

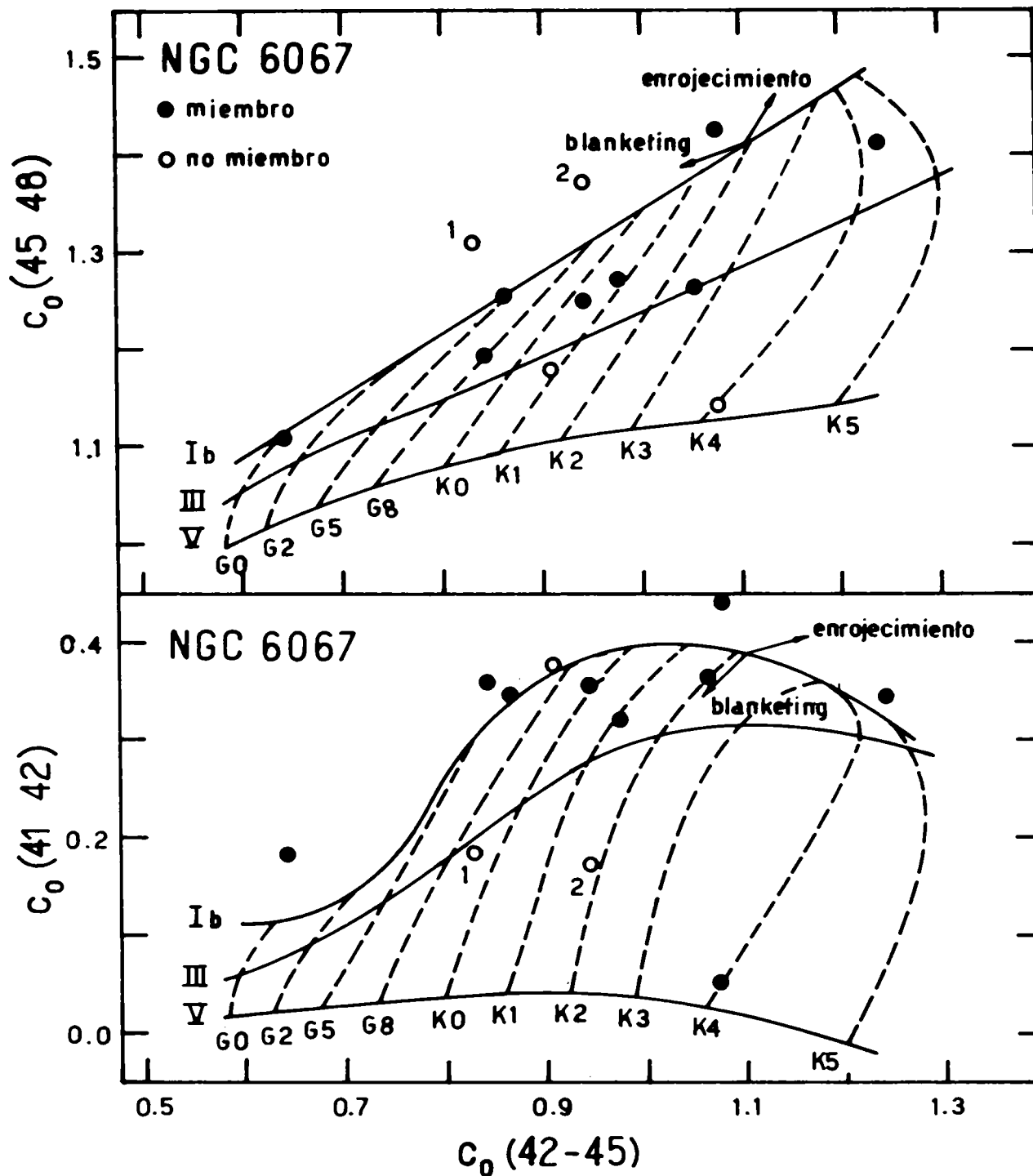


Fig. 1.- Estrellas G y K evolucionadas de NGC 6067 en los planos  $C_0(45-48)/C_0(42-45)$  y  $C_0(41-42)/C_0(42-45)$  de la fotometría DDO. Los miembros y no miembros se representan por círculos llenos y abiertos, respectivamente. Las estrellas 1 y 2 son gigantes de la población II con elevada deficiencia metálica. Las flechas indican las direcciones aproximadas de los vectores blanketing y enrojecimiento.

que  $\sigma_E$ , está entre  $\sigma_E$  y  $2\sigma_E$  o es mayor que  $2\sigma_E$ , respectivamente.

El segundo criterio consistió en comparar la clase de luminosidad (CL) predicha para la estrella, conocida la distancia del cúmulo, con la clase de luminosidad obtenida a partir de los índices DDO corregidos por absorción interestelar. Así pues, una estrella es considerada miembro, probable miembro o no miembro de acuerdo a este criterio,

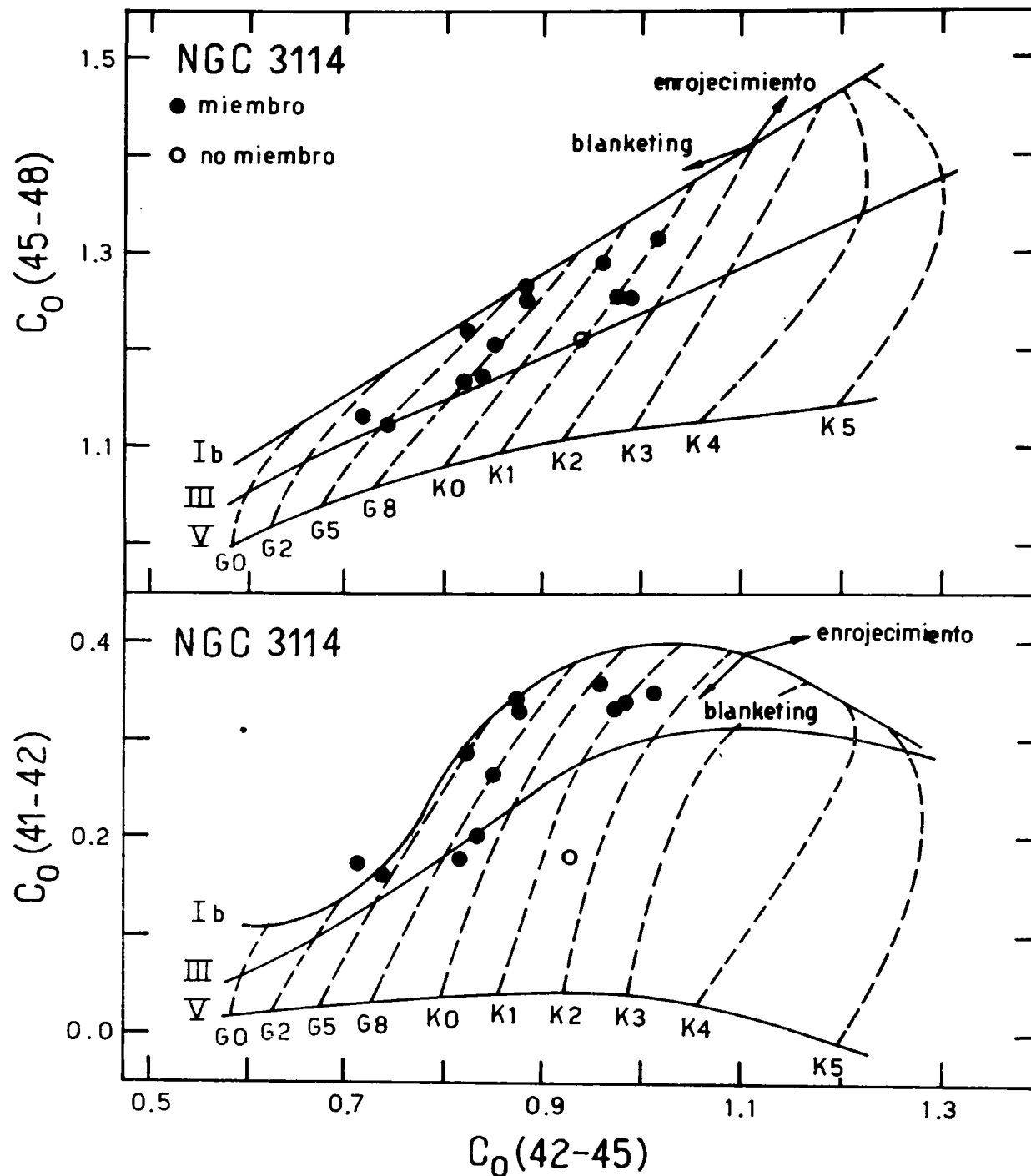


Fig. 2.- Diagramas similares a los de la Fig. 1, para las estrellas evolucionadas de NGC 3114.

si la diferencia:

$$\Delta L = |CL \text{ (predicha)} - CL \text{ (DDO)}| \quad (4)$$

resulta ser menor que  $1/2 CL$ , está entre  $1/2 CL$  y  $1 CL$ , o es mayor que  $1 CL$ , respectivamente. Estos límites discretamente generosos fueron establecidos teniendo en cuenta los errores típicos de la fotometría DDO y la dispersión en la calibración de los índices DDO con el sistema MK.

#### V. DIAGRAMAS COLOR-COLOR DE LA FOTOMETRIA DDO

En las figuras 1 y 2 se muestran los diagramas  $C_0(45-48)/C_0(42-45)$  y  $C_0(41-42)/$

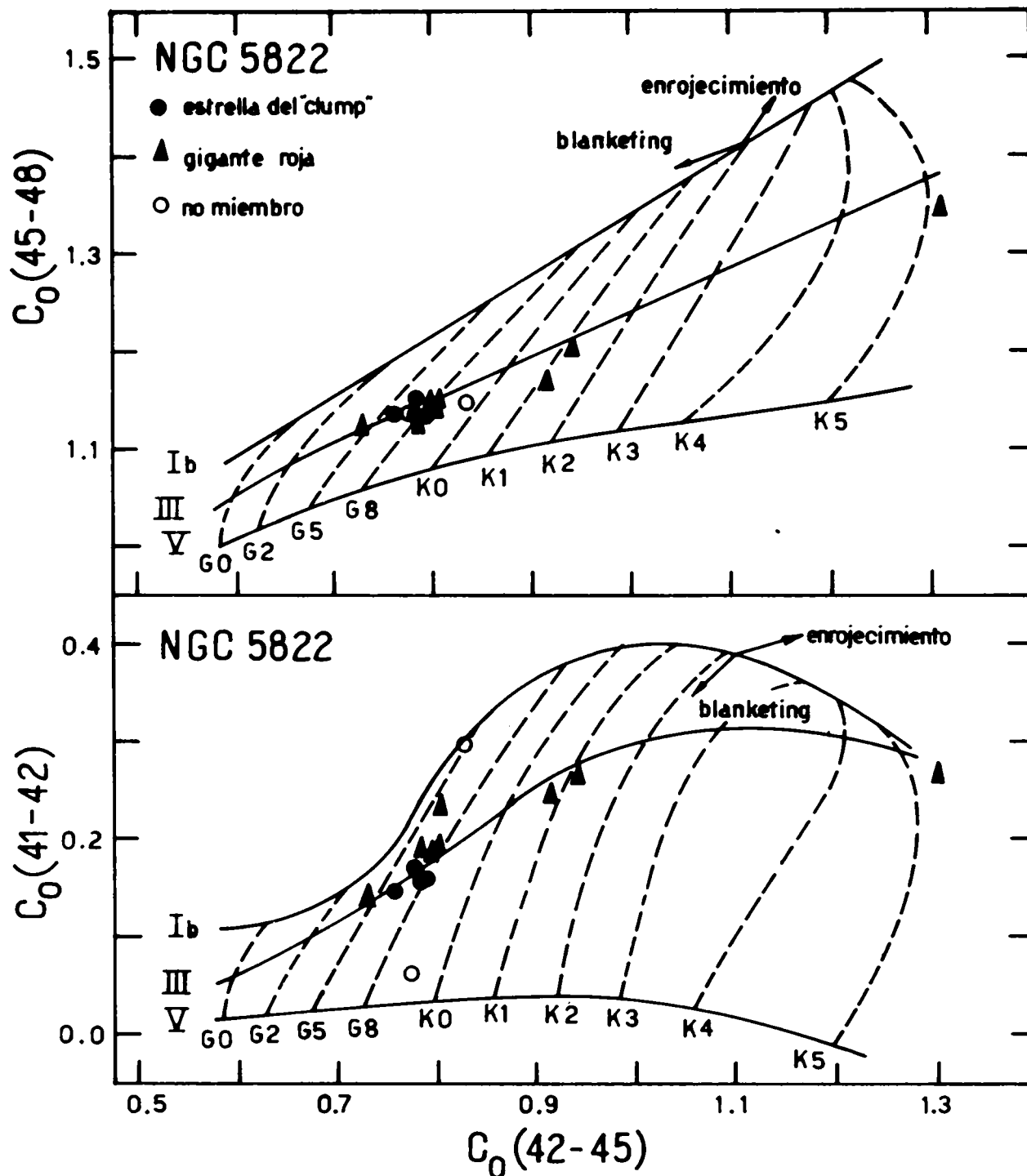


Fig. 3.- Diagramas similares a los de la Fig. 1, para las estrellas evolucionadas de NGC 5822. Los círculos y triángulos llenos representan estrellas de la pseudo-rama horizontal (clump) y gigantes rojas, respectivamente. Los círculos abiertos representan no miembros.

$C_0(42-45)$ , corregidos por absorción interestelar, correspondientes a los cúmulos jóvenes NGC 6067 y NGC 3114. Los círculos llenos y abiertos representan miembros y no miembros, respectivamente. Las líneas llenas son las relaciones standard para estrellas de composición solar, con clases de luminosidad Ib, III y V. Las flechas indican las direcciones aproximadas de los vectores enrojecimiento y blanketing, respectivamente. En estos dos cúmulos relativamente jóvenes se aprecia que las estrellas tardías evolucionadas tienen diferentes luminosidades intrínsecas. Dos de las estrellas observadas en NGC 6067 (1 y 2) son típicos objetos de la población II con elevada deficiencia metálica.

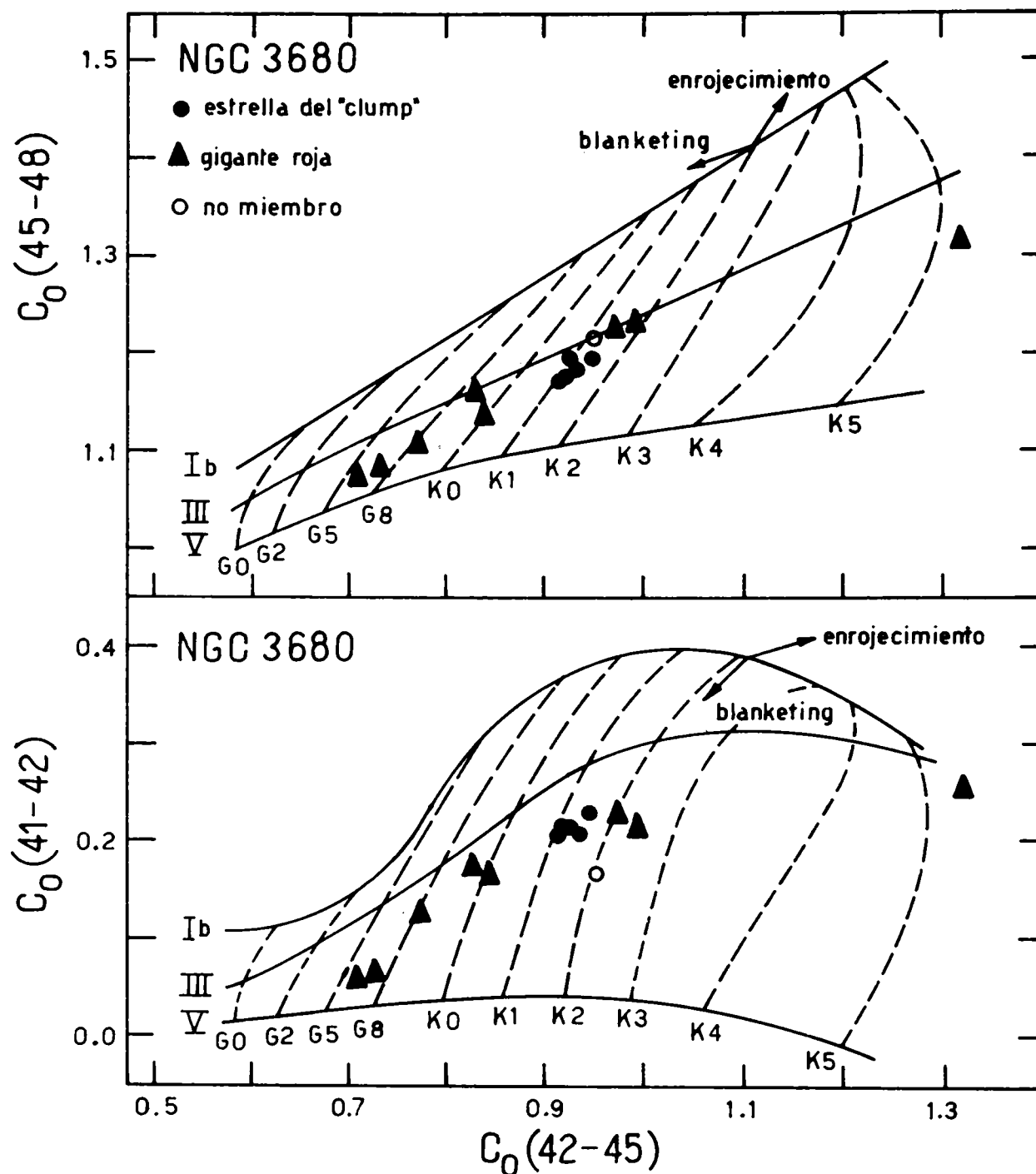


Fig. 4.- Diagramas similares a los de la Fig. 1, para las estrellas evolucionadas de NGC 3680. Símbolos idénticos a los de la Fig. 3.

ca. Ambas estrellas, consideradas como miembros en trabajos anteriores (Thackeray, Wesselink y Harding 1962), son definitivamente objetos del campo galáctico.

En NGC 3114 se aprecian también estrellas de diferentes luminosidades, coexistiendo objetos de las clases I, II y III, consistente con el diagrama H-R de este agregado (Jankowitz y McCosh 1963). Por el contrario, en los dos cúmulos más viejos del disco (Figs. 3 y 4) no caben dudas de que las estrellas son gigantes de la clase III o subgigantes. Las diferencias entre uno y otro cúmulo son probablemente debidas a pequeñas diferencias en composición. Las estrellas de la pseudo-rama horizontal en estos dos cúmulos se han representado con círculos llenos en tanto que los triángulos indican gigante

TABLA I

Parámetros de abundancia metálica superficial en cúmulos abiertos

Cúmulo	$\delta$ CN	[Fe/H]
NGC 6067	$0.063 \pm 0.030$ (d.s.) 0.013 (e.m.)	$0.21 \pm 0.13$ (d.s.) 0.06 (e.m.)
NGC 3114	$0.020 \pm 0.018$ (d.s.) 0.007 (e.m.)	$0.02 \pm 0.08$ (d.s.) 0.03 (e.m.)
NGC 5822	$0.039 \pm 0.030$ (d.s.) 0.009 (e.,.)	$0.11 \pm 0.13$ (d.s.) 0.04 (e.m.)
Estrellas del "clump"	$0.025 \pm 0.012$ (d.s.)	
NGC 3680	$0.017 \pm 0.018$ (d.s.) 0.006 (e.m.)	$0.01 \pm 0.08$ (d.s.) 0.03 (e.m.)
Estrellas del "clump"	$0.026 \pm 0.015$ (d.s.)	

tes o subgigantes rojas.

#### VI. PARAMETROS DE ABUNDANCIA METALICA SUPERFICIAL

Una manera de comprobar la composición química normal o anormal de una estrella es determinando el parámetro  $\delta$ CN, definido como la diferencia entre el índice C(41-42), corregido por enrojecimiento, y el índice intrínseco que le correspondería a una estrella con igual temperatura y gravedad que la estrella observada (Janes 1975).

En la Tabla I se muestran las anomalías de cianógeno y las razones [Fe/H] obtenidas en promedio para cada cúmulo, juntamente con las desviaciones standard y errores medios. NGC 3114 y NGC 3680 tienen composición química aproximadamente solar, mientras que los otros dos cúmulos son mas ricos en metales que el sol.

Si en los dos cúmulos mas viejos se consideran solamente las estrellas rojas de la pseudo-rama horizontal, objetos del denominado "clump", los  $\delta$ CN resultantes en promedio no cambian en forma apreciable.

Los resultados mencionados nos permiten sacar las siguientes conclusiones:

1) Aún cuando las edades de NGC 6067 y NGC 3680 varían en un factor 40 aproximadamente, los índices de cianógeno medios de uno y otro cúmulo se diferencian en apenas 4 o 5 centésimos. Esto nos permite sospechar la posibilidad de que la metalicidad no varíe apreciablemente con la edad, al menos en los últimos 1000 ó 2000 millones de años.

Esta sospecha se corrobora al estudiar un número mayor de agregados (Clariá 1980).

2) Existe una notable uniformidad en los valores individuales del índice de cianógeno en las estrellas de los dos cúmulos mas viejos. Esta propiedad se mantiene también en los dos cúmulos mas jóvenes, aún cuando la precisión de los valores  $\delta\text{CN}$  debería ser mas baja en virtud de la luminosidad de los objetos evolucionados.

3) Si tenemos en cuenta que las estrellas del denominado "clump", son usualmente interpretadas como objetos que han pasado la etapa del fagonazo de helio y se encuentran en una fase de evolución en la cual comienza a quemarse el helio del corazón convectivo de la estrella (Cannon 1970), entonces el hecho interesante de que las estrellas de la pseudo-rama horizontal en NGC 5822 y NGC 3680 no varíen sistemáticamente respecto de los restantes miembros, demuestra que todas las estrellas evolucionadas en cada cúmulo por separado, son prácticamente idénticas en composición. Este resultado conduce a dos ulte riores interpretaciones. En primer lugar, aparece como altamente improbable que en NGC 5822 y NGC 3680 se hayan mezclado por convección elementos químicos desde el interior hacia la superficie de las estrellas, o en todo caso, si este proceso aconteció, los efectos no son detectables fotométricamente. En segundo lugar, la uniformidad en la composición química permite eliminar la posibilidad de que las estrellas de estos cúmulos puedan provenir de diferentes generaciones estelares, tal como parece acontecer en los cúmulos globulares tanto del halo como del disco (Hesser, Hartwick y McClure 1977).

#### VII. COMPARACION CON RESULTADOS OBTENIDOS EN CUMULOS GLOBULARES

En las Figs. 5-8 se ilustran las diferentes distribuciones, en el diagrama  $C_0(41-42)/C_0(45-48)$ , de las estrellas de nuestros cúmulos y estrellas en cúmulos globulares observados por Hesser, Hartwick y McClure (1977). Este diagrama relaciona esencialmente intensidad de cianógeno con temperatura efectiva de estrellas G y K.

Puede apreciarse en la Fig. 5 de qué manera resalta la uniformidad del contenido metálico en NGC 6067 frente a las apreciables variaciones de  $\delta\text{CN}$  en el cúmulo globular NGC 6352. En las Figs. 6-8 se comparan los cúmulos abiertos NGC 3114, NGC 3680 y NGC 5822 con los bien conocidos cúmulos globulares M22, 47 Tuc y M71, respectivamente. En todos estos casos las diferencias en las distribuciones de los puntos vuelven a ser notables.

Para explicar tales diferencias podríamos presentar varias alternativas posibles. Aquélla que nos parece mas razonable consiste en aceptar que la causa principal radica en la diferencia de las masas típicas de las dos clases de agregados considerados. En efecto, los cúmulos globulares, al ser mas masivos, podrían estar en condiciones de producir una segunda o quizás tercera generación de estrellas con diferentes composiciones. Por el contrario, los cúmulos abiertos, con masas considerablemente menores, es probable que no puedan retener los materiales eyectados de la primera generación de supernovas. En síntesis, la uniformidad en la abundancia de elementos pesados demuestra que los índices de cianógeno de los cúmulos estudiados estarían reflejando la abundancia metálica inicial de estos objetos. Finalmente, deseamos resaltar que los presentes resultados nos permiten confiar en las estimaciones de abundancia de cúmulos abiertos, aún cuando las mismas se basen en un número reducido de estrellas.



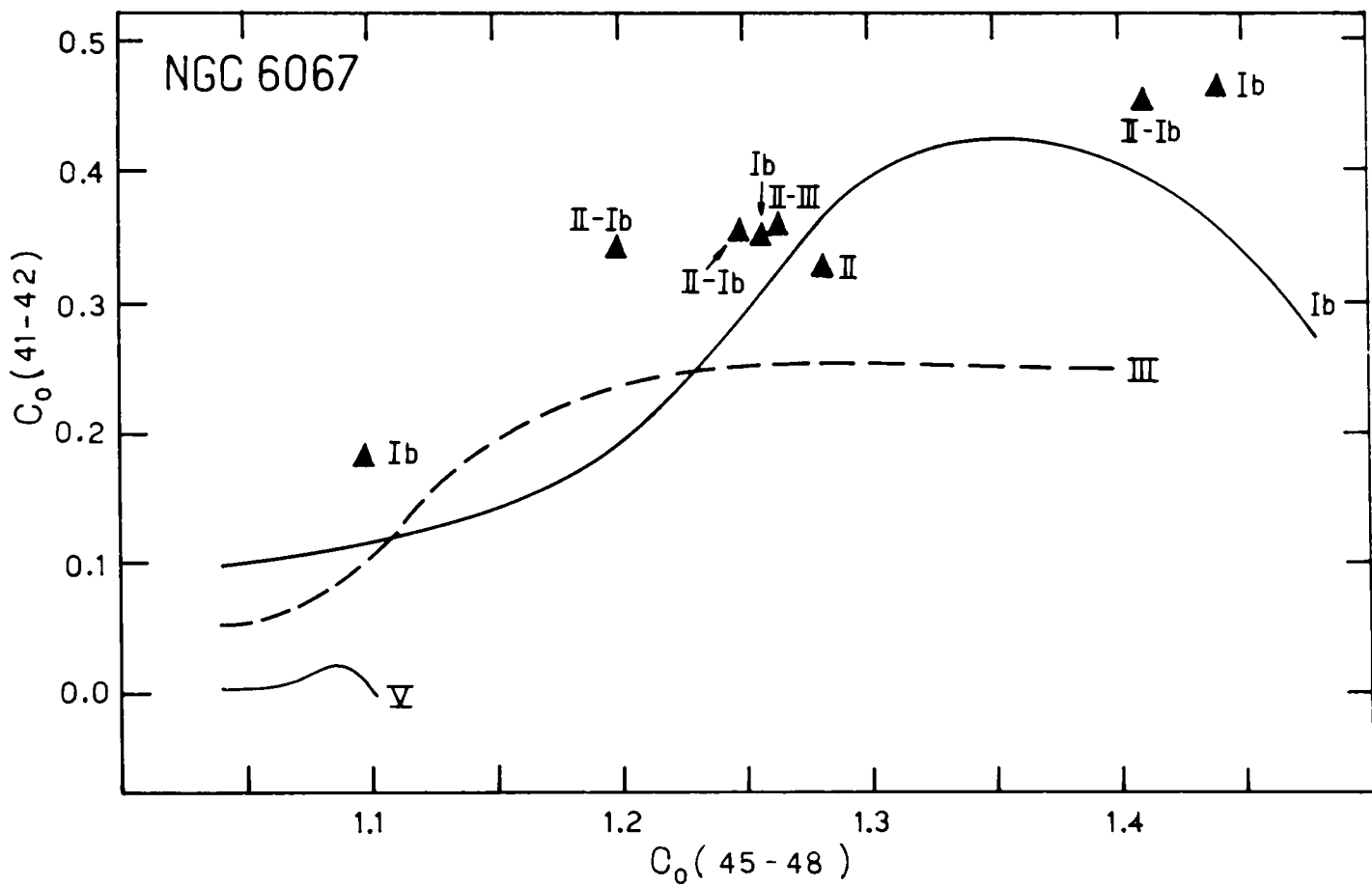
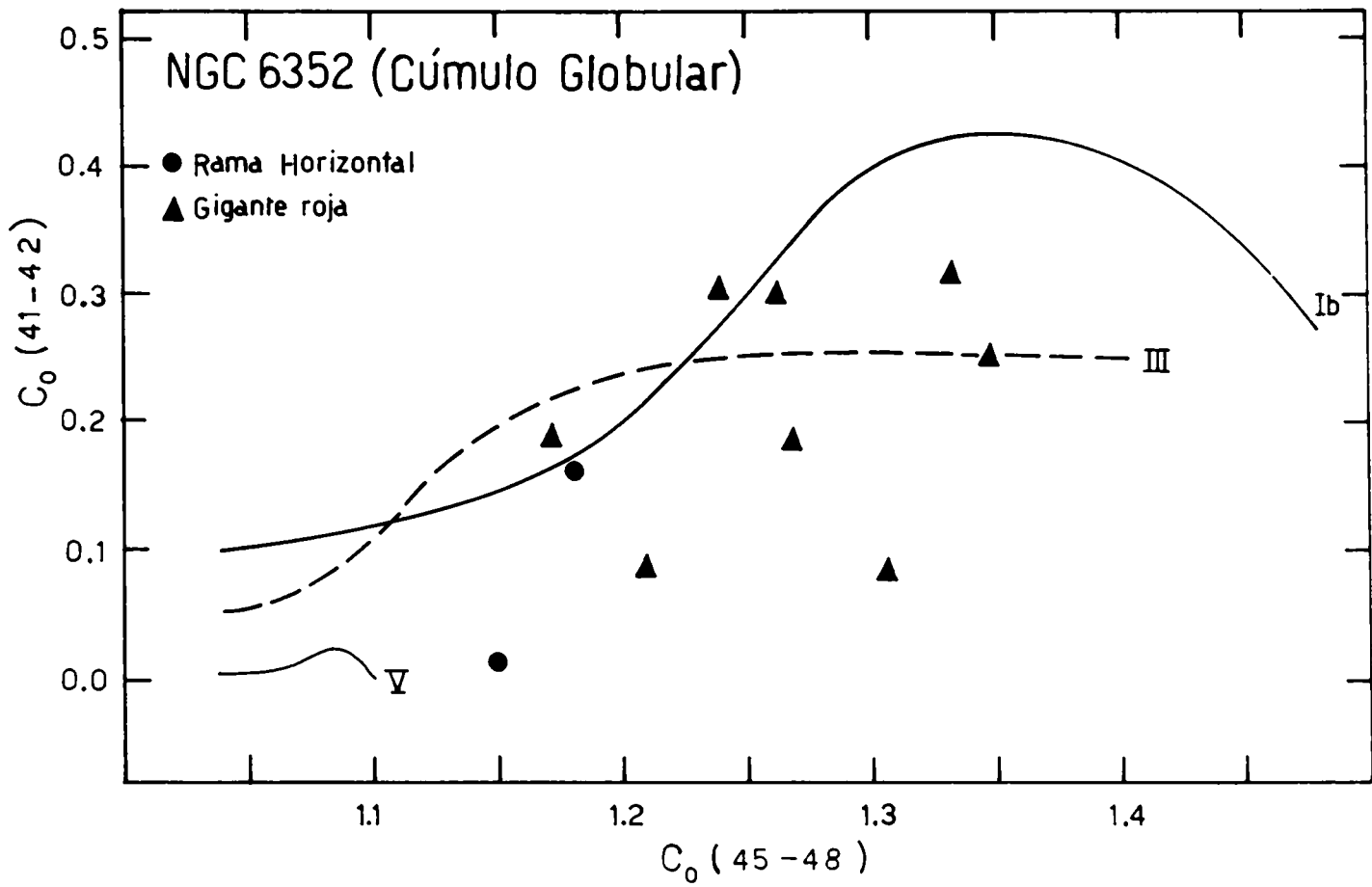


Fig. 5.- Distribución de estrellas evolucionadas del cúmulo globular NGC 6352 y del cúmulo abierto NGC 6067 en el plano  $C_0(41-42)/C_0(45-48)$  de la fotometría DDO.

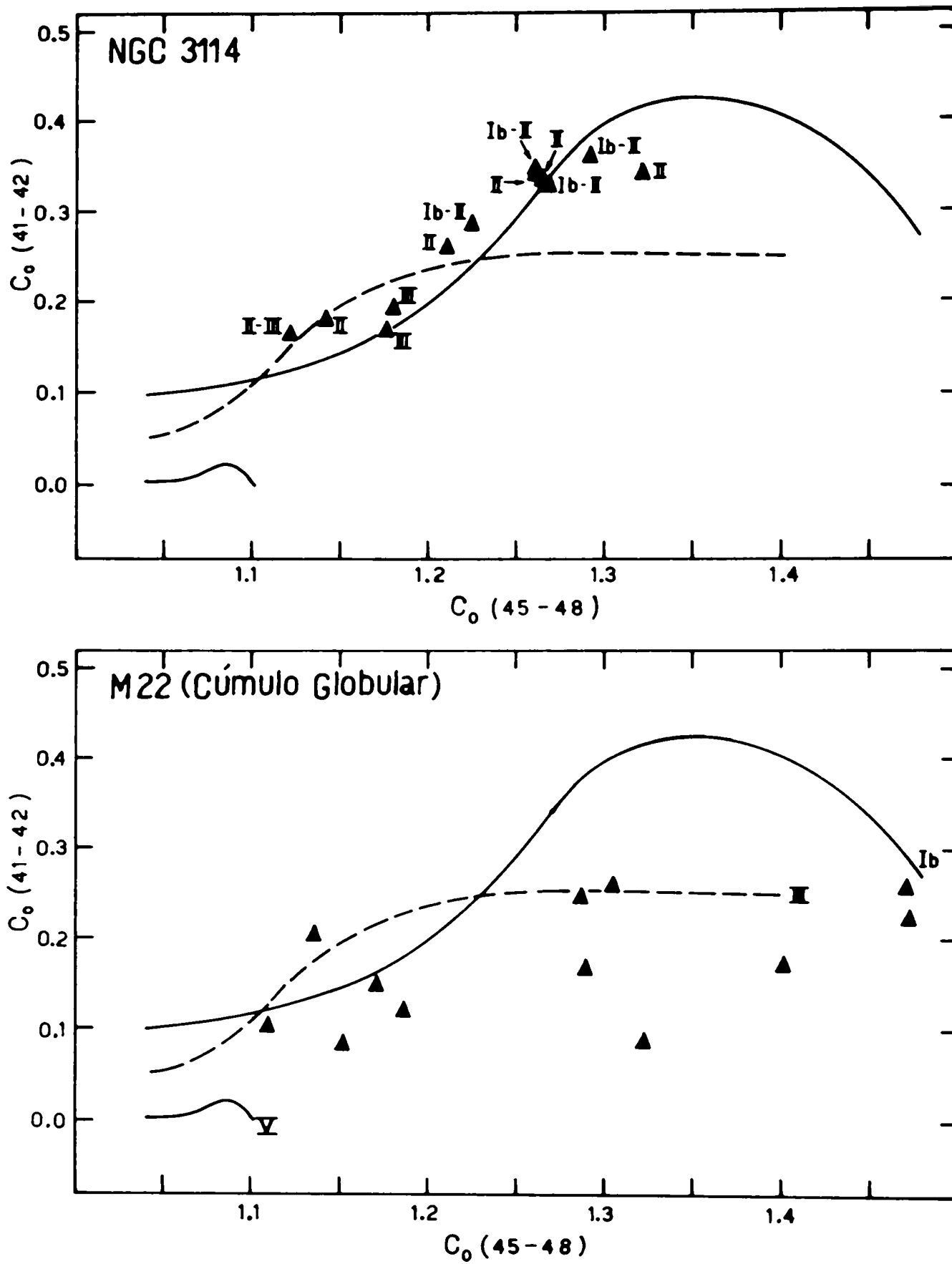


Fig. 6.- Distribución de estrellas evolucionadas del cúmulo abierto NGC 3114 y del cúmulo globular M22 en el plano  $C_0(41-42)/C_0(45-48)$  de la fotometría DDO.

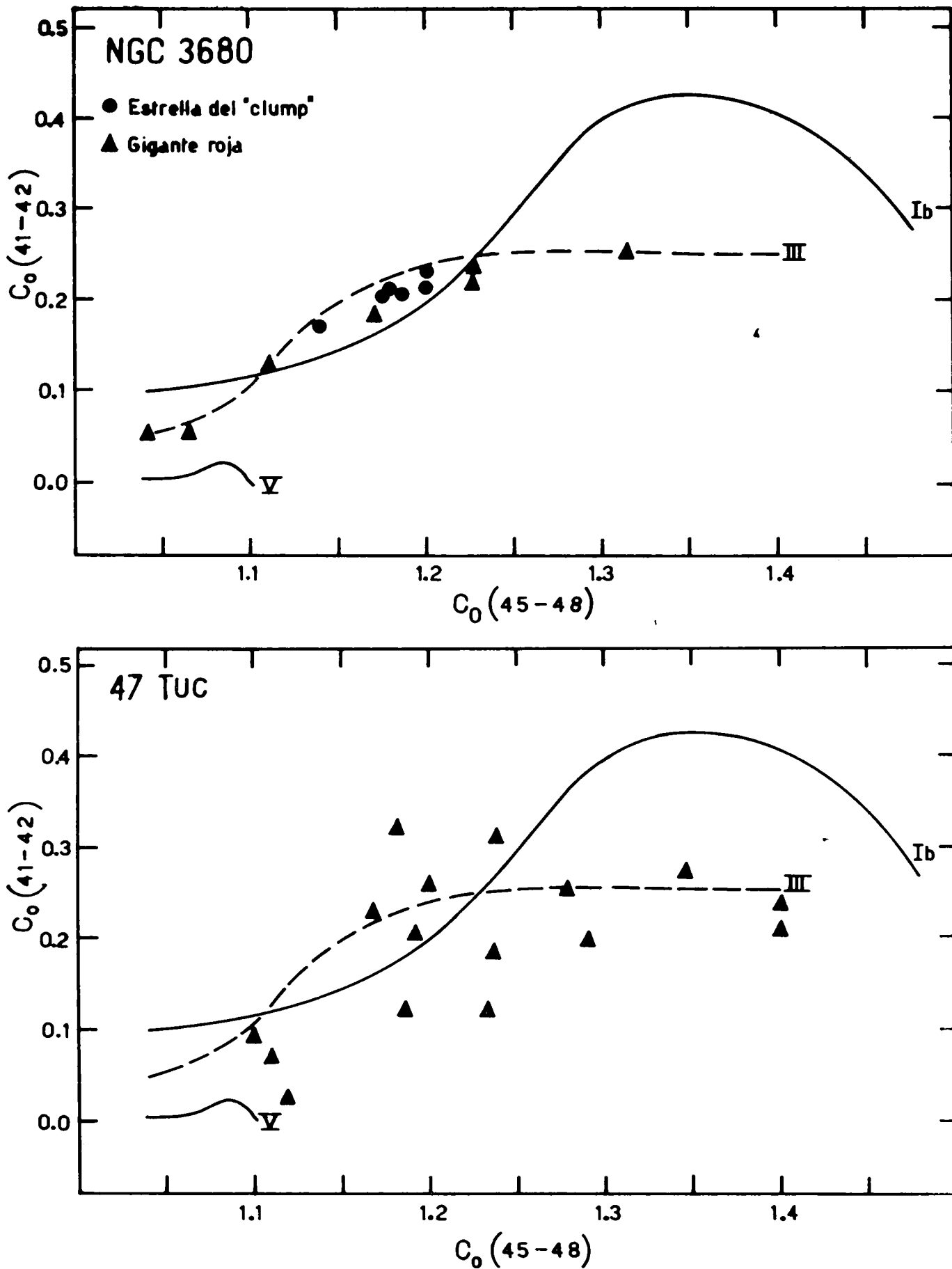


Fig. 7.- Distribución de estrellas evolucionadas del cúmulo abierto NGC 3680 y del cúmulo globular 47 Tuc en el plano  $C_0(41-42)/C_0(45-48)$  de la fotometría DDO.

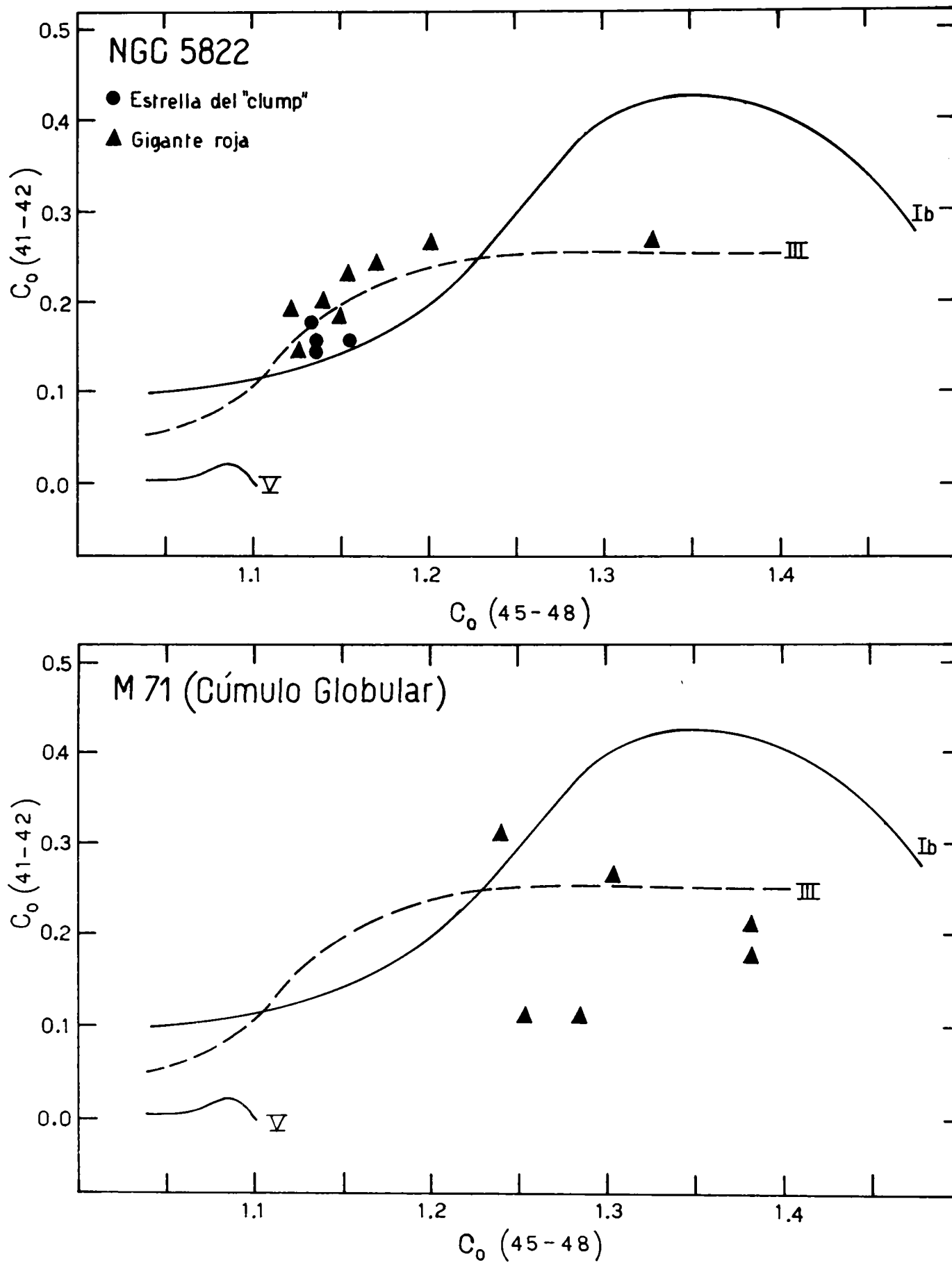


Fig. 8.- Distribución de estrellas evolucionadas del cúmulo abierto NGC 5822 y del cúmulo globular M71 en el plano  $C_0(41-42)/C_0(45-48)$  de la fotometría DDO.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece sinceramente al Dr. Víctor M. Blanco, Director del Observatorio Inter-Americano de Cerro Tololo, por haberle permitido disponer de las facilidades de aquél Observatorio. Asimismo, expresa su gratitud a los Sres. L. Escosteguy, P. Ugarte, R. Gonzales y K. Czuia por su efectiva colaboración durante la obtención y reducción de los datos fotométricos. Este trabajo ha sido en parte financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina.

## REFERENCIAS

- Cannon, R. D. 1970, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 150, 111.  
Clariá, J. J. 1980 (a ser publicado).  
Hartwick, F. D. A. y McClure, R. D. 1972, Publ. Astron. Soc. Pacific 84, 288.  
Hesser, J. E., Hartwick, F. D. A. y McClure, R. D. 1977, Astrophys. J. Suppl. 33, 471.  
Janes, K. A. 1975, Astrophys. J. Suppl. 29, 161.  
Jankowitz, N. E. y McCosh, C. J. 1963, Mon. Not. Astron. Soc. Southern Africa, 22, 18.  
McClure, R. D. 1972, Astrophys. J. 172, 615.  
McClure, R. D. 1976, Astron. J. 81, 182.  
McClure, R. D. y Bergh, S. van den 1968, Astron. J. 73, 313.  
McClure, R. D. y Racine, R. 1969, Astron. J. 74, 1000.  
Thackeray, A. D., Wesselink, A. J. y Harding, G. A. 1962, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 124, 445.