

Fotometría a dos colores de Cúmulos de Galaxias
 — Experiencias con efecto Sabatier - II —

HORACIO A. DOTTORI

Observatorio Astronómico, Córdoba y CNICT, Buenos Aires (*)

Se describen en este informe las etapas cumplidas hasta octubre 1969 tendientes a lograr una calibración de las isodensidades que se obtienen, simultáneamente para todos los objetos que figuran en una placa, por medio de efecto Sabatier.

1. *Introducción:* Hace aproximadamente 6 años N. Richter y W. Hogner (1), enfrentados al problema de tratar fotométricamente las placas de gran campo obtenidas con la Cámara Schmidt del Observatorio Karl Schwartzchild de Tautemburgo, Alemania Orien., comenzaron a emplear la técnica fotográfica denominada efecto Sabatier, que proporciona simultáneamente las isodensidades de todos los objetos que se presentan en una placa fotográfica. Puesto que el efecto Sabatier es fácil de realizar en cualquier laboratorio fotográfico, el verdadero escollo para el trabajo astronómico lo constituye la calibración de las isodensidades para obtener información cuantitativa sobre el material tratado.

Después del trabajo original, ambos autores publicaron otros trabajos de fotometría, con empleo de técnicas fotográficas, sobre nebulosas, nebulosas galácticas, corona solar y cometas (2,3,4). Además de los realizados en Alemania Oriental, aparecieron diversas investigaciones sobre el empleo del efecto Sabatier (5,6). Pero hasta el presente, si bien se lograron calibrar isofotas individuales hasta mg 23,5 en galaxias de campo (1), no tenemos noticias de que se hayan publicado magnitudes integradas ya sea en galaxias de campo o de cúmulos. En cuanto a nuestro trabajo, los primeros intentos de obtención de magnitudes integradas se realizaron sobre placas del cúmulo de Eridano-Fornax tomadas con el telescopio de 60" de la Estación de Bosque Alegre del Observatorio Astronómico de Córdoba (7); desgraciadamente dichas placas no son utilizables fotométricamente en toda su extensión debido al vignetado.

2. *Elección del programa:* De la experiencia obtenida en el año 1968 decidimos encarar un programa de fotometría fotográfica de cúmulos de galaxias, con placas de gran campo (3° x 4°), en dos colores P y V. El instrumento empleado para obtener dichas placas fue el doble astrógrafo del Observatorio de El Leoncito, San Juan (Estación Yale-Columbia). Conjuntamente con las placas a tratar se tomaron placas de zonas standard de Harvard, en condiciones fotométricas equivalentes para su posterior calibración. Simultáneamente, sobre este mismo material la Lic. E. Agüero está realizando fotometría con métodos clásicos (8) lo cual permite controlar los resultados obtenidos mediante nuestra técnica. De los campos fotografiados se eligió el cúmulo de Virgo para comenzar la investigación debido a la información abundante que existe acerca del mismo y al gran tamaño aparente de la mayoría de sus componentes.

(*) Becario Interno 1969.

3. *Condiciones fotométricas generales de las placas a dos colores obtenidas con el doble astrógrafo y calibración de las mismas.*

3-1. *Condiciones fotométricas:* Los perfiles microfotométricos realizados a lo largo de la placa de 3° x 4°, muestran que las mismas están exentas de efectos de campo (fig. 1). Los perfiles trazados a lo ancho señalan la existencia de un gradiente que atribuimos al revelado en cubetas verticales (fig. 2).

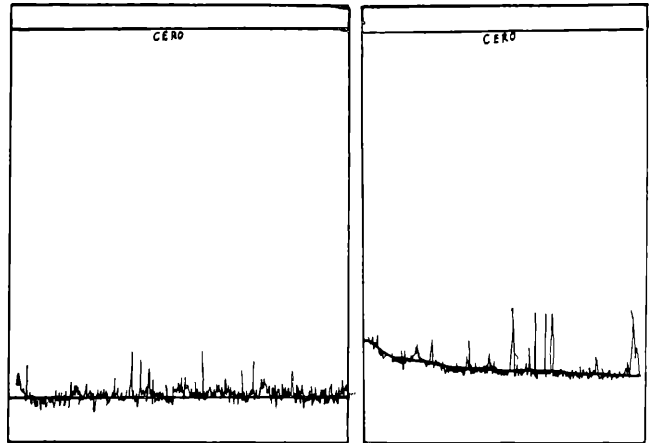


Fig. 1 — Perfil microfotométrico a lo largo de la placa de 3° x 4°.
 Fig. 2 — Perfil microfotométrico a lo ancho de la placa de 3° x 4°.
 Muestra que existe un gradiente.

El gradiente no influye sobre la curva de calibración (densidad vs. magnitud) obtenida con las estrellas desenfocadas puesto que la misma se traza con microfotómetro y por lo tanto el cielo se descuenta localmente midiendo la deflexión debida a la densidad de la estrella tomando el cielo como cero,

Si llamamos:

d_e = deflexión estrella

d_c = „ cielo

d_o = „ corr. oscura

entonces se debe tomar como deflexión absoluta de la estrella D_e

$$D_e = \frac{d_e - d_c}{d_o - d_c}$$

3-2. *Calibración:* Una vez que contamos con la curva de calibración (densidad vs. magnitud superficial) obtenida por medio de estrellas desenfocadas, para calibrar una isodensidad entramos con dicha densidad en la curva y de inmediato obtenemos la magnitud superficial de la misma. A tal fin simultáneamente con cada positivo que se realiza de la placa del cúmulo, y en condiciones fotométricas idénticas, debe obtenerse un positivo de una cuña densitométrica. La cuña debe cumplir dos condiciones: a) cubrir todo el rango de densidades que queremos analizar en la placa; b) por razones obvias debe ser continua. Dicha cuña se adopta ad-hoc y sirve solamente como elemento de interpolación de densidades

entre la placa a tratar y las estrellas desenfocadas.

Debido al gradiente que tiene la placa original decidimos calibrarla localmente distribuyendo sobre la misma nueve pequeñas cuñas de aproximadamente 1 cm. de largo (lámina III), que se obtuvieron fotografiando con película DIN 8 de 35 mm una cuña fotográfica construída sobre placa IIIa-J Kodak con un sensitómetro continuo adaptado especialmente). Esto soluciona el problema parcialmente, ya que la base de la película tiene una cierta densidad que las torna inútiles para magnitudes superficiales mayores que $22,3 \text{ mg}/(\text{")})^2$ aproximadamente (la fig 3 muestra el perfil microfotométrico de la cuña). Fuera de este rango hay que recurrir a cuñas externas a la placa. Como se ve en la lámina, tres de las cuñas se ubicaron mitad dentro y mitad fuera de la parte expuesta para poder resolver este problema.

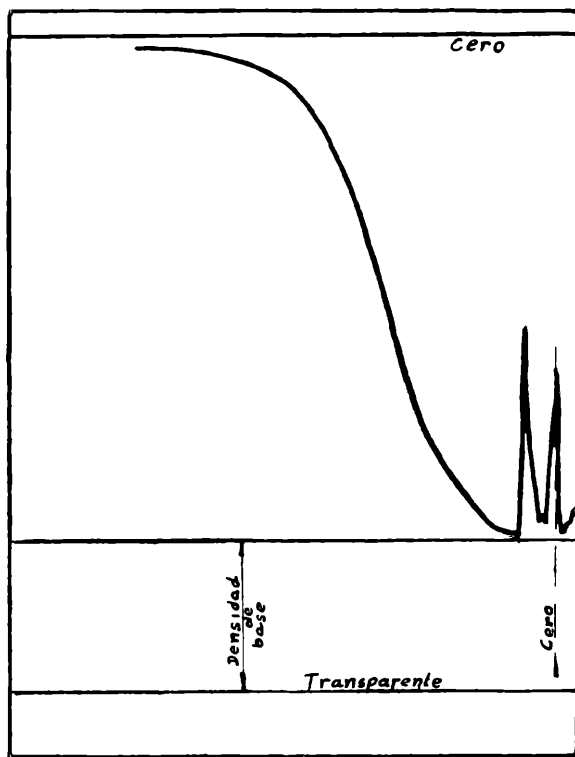


Fig. 3 — Densitometría clásica de las pequeñas cuñas usadas para calibración.

Una vez que se logran controlar todos los detalles sobre la calidad fotométrica del proceso de copiado, el procedimiento a seguir para obtener la mg correspondiente a una isodensidad es bastante sencillo:

- 1º) puesto que todas las cuñas tienen un origen de coordenadas (V. lámina), la isodensidad de la cuña queda ubicada respecto al mismo;
- 2º) tenemos el trazo microfotométrico de la cuña superpuesta con el cielo, en el cual figura también el origen de coordenadas (fig. 3), por lo tanto, conociendo la velocidad con que se pasó la cuña al microfotómetro, tenemos inmediatamente ubicada la densidad con respecto al cielo. Téngase en

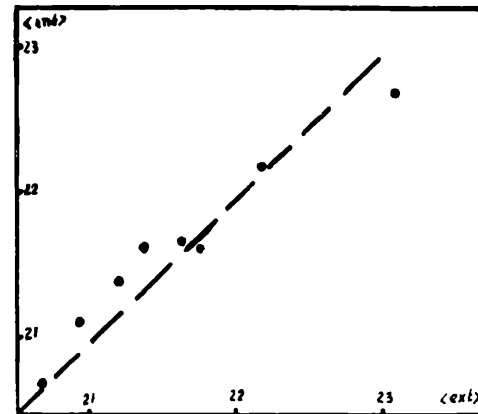


Fig. 4 — Relación del promedio de cuñas internas y externas. Las calibraciones de ambas son independientes unas de otras.

cuenta que siempre existe como cero la corriente oscura del microfotómetro;

- 3º) puesto que la curva de calibración obtenida por estrellas desenfocadas también está ubicada con referencia al cielo y a la corriente oscura, haciendo uso de la fórmula del párrafo 3-1 si llamamos $d_i =$ deflexión isodensidad tendremos que la deflexión absoluta D_i con la cual se puede entrar en la curva de calibración es

$$D_i = \frac{d_i - d_c}{d_o - d_c}$$

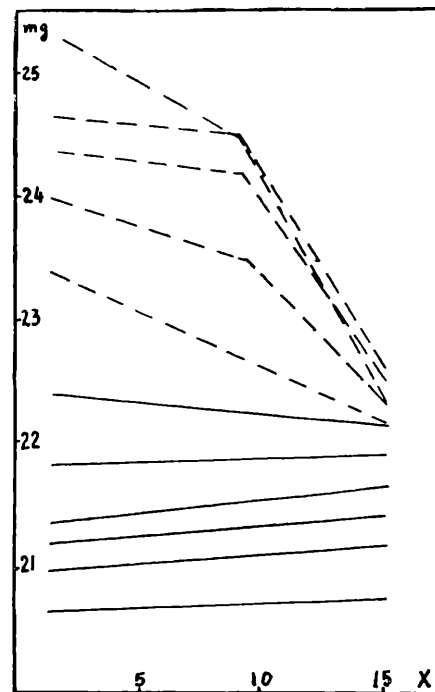


Fig. 5 — Estudio del gradiente de fondo de cielo en función de la magnitud.

Lamina III
Fotometría de Galaxias.
Dottori



Placa del centro del Cúmulo de Virgo mostrando además la distribución de las cuñas.

Para la calibración de las isodensidades correspondientes a las cuñas externas se sigue un procedimiento análogo, solo que debe tomarse otra densidad de referencia aparte de la del cielo.

3-3) *Control de la calibración:* Un control interno que se puede realizar del método de calibración es el de comparar los promedios obtenidos por las cuñas internas vs. los obtenidos por las cuñas externas (fig. 4); de coincidir ambos promedios los puntos deberían ubicarse sobre la recta de 45° (punteada en el dibujo); como se ve la dispersión hasta 22,3 mg/(")² no supera en el peor de los casos 0,2 mg/(")².

Otro control que se realizó es el del gradiente del fondo del cielo en función de la mg/(")². Si las condiciones fotométricas en todo el proceso fotográfico son óptimas deberíamos tener el gradiente muy marcado para magnitudes débiles y prácticamente debería desaparecer hacia las magnitudes intensas. Como se ve en la (fig. 5) para magnitudes entre 20,5 mg/(")² y 22 mg/(")² esto anda bien, pero para magnitudes débiles aparece un contra gradiente muy pronunciado respecto al que debería esperarse; esto se debe a que estas isodensidades son aproximadamente 1/50 del brillo del fondo de cielo, lo que significa del orden de magnitud con que está controlada la uniformidad de iluminación en el aparato de copiado.

4- *Resultados obtenidos hasta el presente:* De lo dicho en el párrafo anterior y de las comparaciones realizadas sobre 5 galaxias con los resultados obtenidos por la Lic. E. Agüero con uso del microfotómetro (V. tablas), podemos deducir que la calibración por

cisamente para obtener isofotas externas es en donde más se necesita reiterar el copiado para aumentar el contraste, esto contribuye a aumentar en cada copia el error. Para superar el problema hemos construido un copiator a fuente puntual con una distancia de 10 mts. entre la fuente y el lugar de copia. Esto, teóricamente, garantizará una uniformidad de más de 1/1000 mg/(")² sobre una superficie de 60 x 60 cm². Este instrumento comenzará a funcionar a mediados del mes de noviembre de 1969.

El presente trabajo, desarrollado gracias a una beca del C.N.I. C.T., fue sugerido y es dirigido por el Dr. J. L. Sérsic. Agradecemos a los Dres. U. Cesco y C. Smith y al Sr. G. Samuel del Observatorio de El Leoncito (Estación Austral Yale-Columbia) por su valiosa y deferente ayuda en el uso del doble astrógrafo.

- 1) Richter, N. y Högnér, W.; A. N. 287, 261, 1963.
- 2) Revista Jena, 6, 1966.
- 3) Treizième Colloque International d'Astrophysique, Liege, July 1965.
- 4) Richter, N. and Högnér, W.; "Isophotometric Atlas of Comets", J. A. Barth, Leipzig, 1969.
- 5) Hodge, P. and Brownlee, D. E.; Photographic Isophotometry of Galaxies, PASP 78, N° 461.
- 6) de Gregorio, P.; Falciani, R.; Righini, A.; Rigutti, M.; Ricerche tecnologiche e risultati pratici su alcuni metodi fotografici impiegati nell'isodensitometria di sorgenti estese, Mem. della Soc. Astr. Italiana, Vol. XXXVIII N° 1.
- 7) Dottori, H. A.; Experiencia con efecto Sabatier, Bol. Asoc. Arg. Astr. N° 14.
- 8) Sérsic, J. L.; "Atlas de Galaxias Australes", Córdoba, 1968.

NGC 4374				NGC 4406			
S (") ²	mg Sabatier	mg Clásica	m _s -m _c	S (") ²	mg Sabatier	mg Clásica	m _s -m _c
0,60	20,6	20,65	-0,05	1,18	20,80	21,10	-0,3
1,15	21,02	20,80	+0,22	2,63	21,47	21,75	-0,28
1,60	21,25	21,35	-0,10	3,31	21,70	21,95	-0,25
1,91	21,40	21,63	-0,23	5,02	22,07	22,23	-0,16
2,46	21,65	21,90	-0,25	7,42	22,5	22,6	-0,10
2,63	21,84	22,00	-0,16	8,71	22,7	22,75	-0,05
5,02	22,40	22,50	-0,10	15,5	23,5	23,35	+0,15
NGC 4435				NGC 4438			
S (") ²	mg Sabatier	mg Clásica	m _s -m _c	S (") ²	mg Sabatier	mg Clásica	m _s -m _c
0,306	20,88	20,65	0,03	0,222	20,68	20,65	0,03
0,444	21,05	20,95	0,10	0,306	21,05	20,85	0,20
0,714	21,28	21,35	-0,07	0,472	21,28	21,25	0,03
0,828	21,46	21,55	-0,09	0,611	21,70	21,55	0,15
0,861	21,70	21,52	0,18	0,666	21,46	21,45	0,01
1,94	22,31	22,30	0,01	1,44	22,31	22,30	0,01
2,61	22,90	22,60	0,10	1,94	22,90	22,80	0,1

debajo de 22,5 mg/(")² es satisfactoria; pero a partir de éste y hasta la 25 mg/(")² (aproximadamente 2% del brillo de fondo de cielo) debemos mejorar nuestras técnicas de copiado, ya que el copiator por difusión con que contamos en la actualidad garantiza una uniformidad del 1 al 2% sobre una superficie de 30 x 30 cm². aproximadamente pero si recordamos (?) que pre-

Equidensitometría Sabatier en Cúmulos Globulares

R. F. SISTERÓ Y C. R. FOURCADE

Observatorio Astronómico e I. M. A. F. Córdoba.

El efecto Sabatier (Eder, 1927) ha sido aplicado de manera de obtener curvas equidensitométricas correspondientes a las distribuciones de brillo en cúmulos globulares. La aplicación astronómica de estos métodos ha sido descrita detalladamente por Richter y Högnér (1963). Sin embargo, como los cúmulos globulares se resuelven en estrellas la aplicación directa del efecto Sabatier dará una superposición de pequeños anillos correspondientes a la distribución de brillo en las imágenes estelares; los resultados son isofotas muy irregulares (Högnér und Richter, 1966; Kadla, 1966) debido a las discontinuidades de brillo introducidas por las estrellas. Para evitar estas dificultades —con el objeto de obtener distribuciones medias de brillo— se ensayó con resultados positivos la técnica siguiente: las placas originales se reproducen por contacto a través de difusores de pequeño espesor (~ 0.4 mm.) y luego se sigue el procedimiento usual del efecto Sabatier. El difusor se elige de modo que incremente los diámetros estelares por un factor 5 ó 6 se obtiene así una distribución de brillo regu-