



# Havlen-Moffat #1, el cúmulo menos pensado

M.M. Leiva<sup>1</sup>, E.E. Giorgi<sup>1,2</sup>, R.C. Gamen<sup>1,2</sup> & N.I. Morrell<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, UNLP, Argentina

<sup>2</sup> Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

<sup>3</sup> Las Campanas Observatory, Carnegie Observatories, La Serena, Chile

Contacto / mariamartaleiva@gmail.com

**Resumen** / El cúmulo Havlen-Moffat #1 (HM1), en la constelación de Escorpio, debe su nombre a quienes lo descubrieron en el año 1977. Ellos identificaron dos estrellas tipo Wolf-Rayet y dos estrellas tipo Of. HM1 se encuentra en el cuarto cuadrante de la Vía Láctea donde la absorción del medio interestelar es significativa. En este trabajo se presenta un análisis de los parámetros fundamentales del cúmulo calculados mediante espectroscopía y fotometría *UBVRI* de algunas de las componentes más brillantes, cuyos datos se obtuvieron con los telescopios Swope y du Pont de Las Campanas, Chile. A partir de estos datos se identificaron nuevas estrellas tipo OB y se analizó la posible presencia de una estrella supergigante M.

**Abstract** / The cluster Havlen-Moffat # 1 (HM1), in the constellation of Scorpius, owes its name to those who discovered it in 1977. They identified, spectroscopically, two Wolf-Rayet and two Of-type stars. HM1 is located in the fourth quadrant of the Milky Way where the absorption of the interstellar medium is significant. This work presents an analysis of the fundamental parameters of the cluster, calculated by spectroscopy and *UBVRI* photometry of some of the brightest components whose data were obtained with the Swope and du Pont telescopes of Las Campanas, Chile. New OB-type stars were identified from these data and the possible presence of a supergiant M star was analyzed.

**Keywords** / open clusters and associations: individual (Havlen-Moffat #1) — stars massive — stars Wolf-Rayet

## 1. Introducción

Los estudios que preceden a este trabajo comienzan en el año 1977 cuando Havlen & Moffat observan hacia la dirección  $l=348.7^\circ$ ,  $b=0.8^\circ$ . Utilizando fotometría fotométrica en veinticuatro estrellas y espectroscopía en seis de ellas, identifican un cúmulo joven. Tiempo después este cúmulo fue nombrado HM1. Los resultados más sobresalientes de este trabajo fueron el descubrimiento de cuatro estrellas masivas, dos tipo Wolf-Raye (WR) y dos tipo espectral Of, el cálculo de un exceso  $E(B-V)$  promedio de  $1.86 \pm 0.1$  y la primera estimación de la distancia que ubicaba al cúmulo a 2900 pc (Havlen & Moffat, 1977). Unos años más tarde, Thé et al. (1982) identifican ocho nuevos miembros del cúmulo usando fotometría Walraven en cinco colores (WULBV), los filtros *VRI* del sistema Cousins y los filtros *JHKL* del infrarrojo. Destacan la presencia de una probable estrella M supergigante a la cual denominaron #35. Por último, Vásquez & Baume (2001) valiéndose de la fotometría CCD *UBVRI* y polarimetría *UBVRI* logran identificar 75 probables miembros y estimar la distancia en 3300 pc. Mediante el ajuste de isócronas le asignan al cúmulo una edad entre dos y cuatro millones de años; además desestiman la propuesta de Thé et al. (1982) en referencia al tipo espectral de #35 y consideran la posibilidad de que la ley de extinción en la región sea anómala.

## 2. Observaciones

Las imágenes utilizadas en este trabajo se obtuvieron con el telescopio Henrietta Swope y los espectros en el Irénée du Pont, ambos pertenecientes al observatorio Las Campanas, Chile. Estas imágenes se tomaron en mayo de 2004 con el detector Site3 de la Cámara CCD Directa, en los filtros *UBVRI*, cubriendo un campo de  $14 \times 22$  arcmin<sup>2</sup> y se procesaron con el paquete DAOPHOT de IRAF realizando ajustes PSF. También se observaron dos campos de Landolt (1992) para transformar los resultados al sistema estándar. Por otra parte, los espectros se tomaron durante el mes de abril en los años 2004 y 2005 con el espectrógrafo multi ranura WFCCD. La mayoría de ellos fueron adquiridos con el prisma H&K y unos pocos con el modo de objeto simple (ranura larga). La reducción se realizó de forma estándar con el paquete DAOPHOT de IRAF

## 3. Análisis

La clasificación espectral se realizó utilizando los catálogos GOSSS I (Sota et al., 2011) y GOSSS II (Sota et al., 2014) además del atlas digital de clasificación espectral de estrellas OB de Walborn & Fitzpatrick (1990) y el *Digital Spectral Classification Atlas* de R.O. Gray \*. Con la fotometría *UBVRI* se realizó el diagrama color magnitud, V vs. B-V (Fig. 1), en el que se observa que las estrellas O y B clasificadas y las dos estrellas WR se

\*<https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Gray/frames.html>

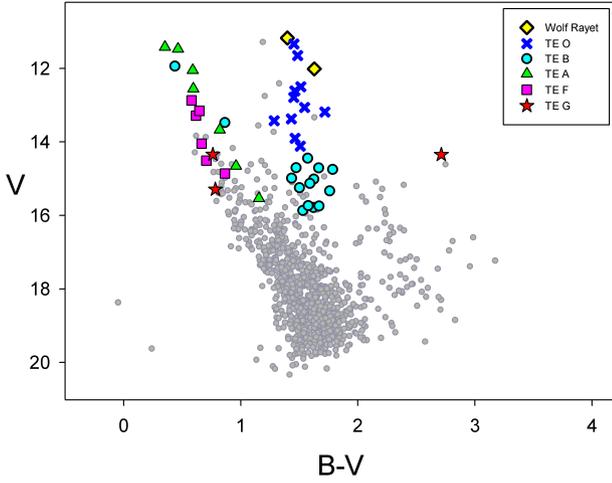


Figura 1: Diagrama Color-Magnitud para HM1: Se representan las estrellas que se encuentran dentro de un radio de 5 arcmin desde el centro del cúmulo, 17h 18m 54s - 38°49'(Dias et al., 2002). Las estrellas destacadas son las clasificadas en este trabajo.

separan de las más tardías formando dos posibles secuencias.

Gracias a la posibilidad de combinar fotometría y espectroscopía se pudieron calcular los excesos de color y, usando un coeficiente de absorción selectiva  $R=3.1$ , se determinaron las distancias individuales (Tabla 1). Esto permitió observar enrojecimiento diferencial, aunque no parece haber una relación entre la posición en cielo y el valor del  $E(B-V)$ , como se puede ver en la Fig. 2.

En la Fig. 3 se observa un aumento del exceso de color con la distancia. Las estrellas más tardías se encuentran a distancias menores a 2000 pc y sus excesos  $E(B-V)$  son menores que 1.3, mientras que la mayoría de las estrellas tempranas se ubican más allá de los 2000 pc pero no más lejos que 5000 pc con un exceso promedio de 1.75. Los excesos individuales calculados pueden verse en la Tabla 1.

El análisis de los movimientos propios de las estrellas clasificadas (Fig. 4) se realizó con datos de GAIA DR2 (Gaia Collaboration, 2016; van Leeuwen et al., 2018)

Se observa que la mayor parte de las estrellas con tipos espectrales tempranos tienen movimientos propios similares, comportamiento que no replican la mayoría de las estrellas con tipos más tardíos.

En la Fig. 5 se puede ver el detalle de los tipos espectrales de las estrellas que tienen aproximadamente el mismo movimiento propio; son todas estrellas tempranas a excepción de la estrella #35. Esta estrella fue clasificada como G pero no fue posible determinar el subtipo y la clase de luminosidad debido a que es una estrella débil y enrojecida. Además, la distancia a la estrella #35 calculada por Bailer-Jones et al. (2018) es  $4042_{3024}^{5771}$  pc, por lo que no se la puede descartar como posible miembro del cúmulo.

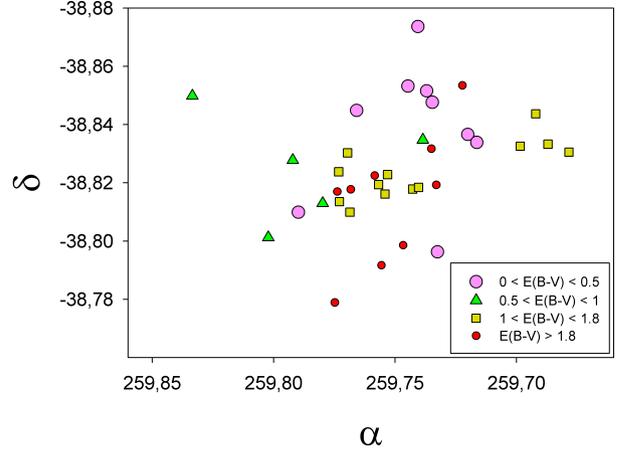


Figura 2: Distribución espacial de excesos  $E(B-V)$  calculados.

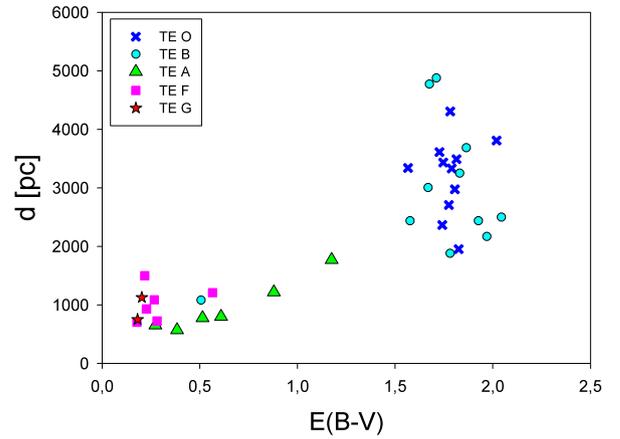


Figura 3: Distancia espectrofotométrica vs.  $E(B-V)$  calculado. La distancia se calculó con los tipos espectrales que surgieron del análisis de los datos y suponiendo un  $R=3.1$ .

#### 4. Conclusiones

Con los datos obtenidos para este trabajo se pudieron clasificar 11 estrellas tipo espectral O y 11 estrellas tipo espectral B y también una veintena de tipos tardíos, A, F y G. En el diagrama HR se observan dos estructuras separadas, una que contiene solo las estrellas tempranas y otra las tardías. El análisis conjunto de fotometría y espectroscopía permitió calcular los excesos de color de las estrellas y las distancias individuales. Se pudo ver enrojecimiento diferencial aunque no se observó una dependencia con la posición en el cielo. Varias estrellas de tipo temprano tienen distancias en torno a 3300 pc (Vázquez & Baume, 2001) y baja dispersión en los movimientos propios. Estas características permiten considerar a las estrellas mencionadas como posibles miembros del cúmulo. La dispersión observada en las distancias podría deberse a un comportamiento anómalo del material interestelar en la región o a la presencia de sistemas binarios no resueltos. Se clasificó a la estrella #35 como una estrella de tipo espectral G aunque no pudo deter-

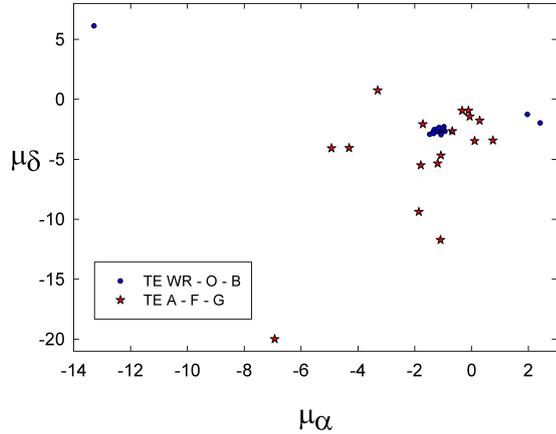


Figura 4: Movimientos propios extraídos de Gaia para las estrellas clasificadas. Se separan los tipos tempranos de los tardíos para evidenciar la dispersión de los distintos tipos espectrales.

Tabla 1: Parámetros de estrellas OB clasificadas espectralmente. Los números de la primera columna corresponden a la denominación de las estrellas de Vázquez & Baume (2001) y los de la segunda columna a Thé et al. (1982).

† Estrellas sin clasificación espectral previa.

†† Estrellas con nueva clasificación espectral.

VB	Thé	T E	E(B-V)	Distancia[pc]
4	2	O5.5 I(fc) <sup>††</sup>	1.77	2709
5	6	O6 Ia(fc) <sup>††</sup>	1.81	2978
6	7	B9 V <sup>†</sup>	0.51	1082
10	8	O5 III(f)	1.81	3489
11	12	O5 II(f) <sup>††</sup>	1.78	4305
13	13	O7.5 V <sup>††</sup>	1.74	2366
16	9	O9 V	1.82	1953
20	16	O4.5 III(fc) <sup>††</sup>	2.02	3809
24	18	O6.5 V <sup>††</sup>	1.72	3613
25	20	O9 V <sup>†</sup>	1.57	3341
35	10	O8.5 V	1.75	343
37	19	O9 III <sup>††</sup>	1.79	3334
47	38	B2 V <sup>†</sup>	1.78	1881
54		B2 V <sup>†</sup>	1.58	2438
55	40	B1 V <sup>†</sup>	1.93	2438
57		B0 V <sup>†</sup>	1.71	4877
69	23	B0.5 V <sup>†</sup>	1.67	4774
70	28	B0.5 V <sup>†</sup>	1.86	3687
76		B1 V <sup>†</sup>	2.04	2500
81		B2 V <sup>†</sup>	1.67	3007
95	39	B2 V <sup>†</sup>	1.97	2170
130	25	B2 V <sup>†</sup>	1.83	3251

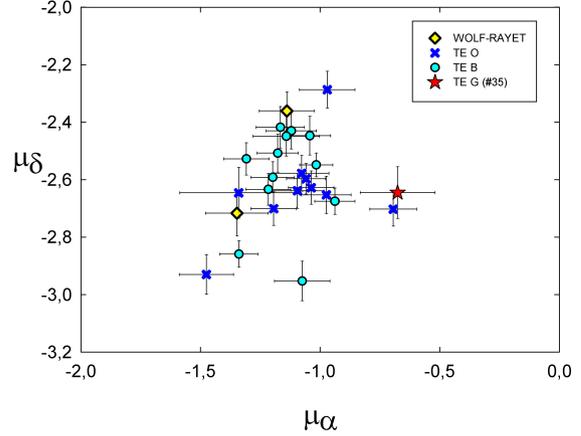


Figura 5: Movimientos propios de las estrellas tempranas y de la estrella #35. Se indican los tipos espectrales.

minarse su subtipo espectral ni su clase de luminosidad. Debido a que su movimiento propio es compatible con los valores de las estrellas tempranas y que la distancia calculada por Bailer-Jones et al. (2018) es del orden de la distancia asignada a HM1, no se la puede descartar como posible miembro. Serán necesarias nuevas observaciones para estudiar sus características distintivas.

*Agradecimientos:* Agradecemos a las autoridades y al personal del Observatorio Las Campanas por permitirnos el uso de las instalaciones y por la hospitalidad que nos brindaron. Este trabajo ha utilizado datos de la misión Gaia de la Agencia Espacial Europea (ESA) (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), procesados por el Consorcio de Análisis y Procesamiento de Datos de Gaia (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). La financiación para el DPAC ha sido proporcionada por instituciones nacionales, en particular las instituciones que participan en el Acuerdo Multilateral de Gaia.

## Referencias

- Bailer-Jones C.A.L., et al., 2018, *AJ*, 156, 58  
 Dias W.S., et al., 2002, *A&A*, 389, 871  
 Gaia Collaboration, 2016, *VizieR Online Data Catalog*, I/337  
 Havlen R.J., Moffat A.F.J., 1977, *A&A*, 58, 351  
 Landolt A.U., 1992, *AJ*, 104, 340  
 Sota A., et al., 2011, *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege*, 80, 519  
 Sota A., et al., 2014, *ApJS*, 211, 10  
 Thé P.S., Arens M., van der Hucht K.A., 1982, *Astrophys. Lett.*, 22, 109  
 van Leeuwen F., et al., 2018, *Gaia DR2 documentation*, Tech. rep.  
 Vázquez R.A., Baume G., 2001, *A&A*, 371, 908  
 Walborn N.R., Fitzpatrick E.L., 1990, *PASP*, 102, 379