

Espectroscopía integrada de candidatos a cúmulos globulares ubicados hacia el centro de la Vía Láctea

A.A. Massara¹, D.M. Illesca^{1,2} & A.E. Piatti^{1,2}

¹ *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo, Argentina*

² *Instituto Interdisciplinario de Ciencias Básicas, CONICET-UNCuyo, Argentina*

Received: 09 February 2024 / Accepted: 21 June 2024

©The Authors 2024

Resumen / El conocimiento de la población de los cúmulos globulares de la región central de la Vía Láctea es de vital importancia para reconstruir la historia de formación de la misma. Recientemente, varios candidatos a cúmulos globulares han sido identificados en el bulbo galáctico, lo cual ha motivado su estudio más detallado. En este trabajo presentamos resultados obtenidos del análisis de uno de estos candidatos, Minni 22, a partir de espectroscopía integrada. Hasta donde conocemos, es la primera vez que se aplica esta técnica al estudio de candidatos a cúmulos globulares del bulbo de nuestra galaxia. Los espectros integrados obtenidos permitieron determinar propiedades astrofísicas fundamentales, tales como edad, enrojecimiento y metalicidad. A partir de los valores obtenidos obtenemos conclusiones acerca de la realidad física de Minni 22 como cúmulo globular genuino.

Abstract / The knowledge of the population of globular clusters of the central region of the Milky Way is of vital importance to rebuild the history of its formation. Recently, many globular cluster candidates have been identified in the galactic bulge, which has motivated more detailed studies. In this work we present results obtained from the analysis of one of these candidates, Minni 22, based on integrated spectroscopy. As far as we are aware, this is the first time this technique is applied to the study of globular cluster candidates in the bulge of our Galaxy. The integrated spectra obtained allowed us determining fundamental astrophysical properties, such as age, reddening and metallicity. From the obtained values we conclude about the physical reality of the studied object as a genuine globular cluster.

Keywords / Galaxy: bulge — globular clusters: general — techniques: spectroscopic

1. Introducción

El estudio de los cúmulos globulares galácticos nos proporciona información sobre los procesos de formación de la Vía Láctea y de su interacción pasada con otras galaxias. Los cúmulos globulares galácticos se formaron en las etapas más tempranas de la Vía Láctea, y por ello constituyen los fósiles más valiosos para reconstruir su formación y evolución.

El conocimiento de la población real de cúmulos globulares galácticos ha sido y sigue siendo uno de los aspectos más importantes en la reconstrucción del proceso de formación de nuestra galaxia. Por ejemplo, dependiendo de la población real de cúmulos globulares, de su distribución espacial, de sus edades y composición química, diferentes modelos de formación y evolución de la Vía Láctea se han propuesto (Prantzos & Silk 1998, Gilmore 1999, Jang & Lee 2015, Keller et al. 2020). Actualmente, existe un consenso general de que la Vía Láctea se formó a partir de un colapso gradual, en el cual estuvo presente la acreción de galaxias enanas (Kruijssen et al., 2019). Sin embargo, quedan muchos interrogantes acerca del origen del bulbo galáctico (región central de unos 3 kpc de radio), a saber: si este se originó a través de la inestabilidad del disco galáctico, o por la acreción de galaxias enanas, o a partir de un colapso jerárquico, entre otros (Debattista et al. (2019),

Lian et al. (2021)).

Durante varias décadas, los astrónomos han invertido mucho tiempo y esfuerzo en la identificación de cúmulos globulares galácticos. Actualmente, existen casi 200 cúmulos globulares identificados cuyas propiedades astrofísicas fundamentales se conocen relativamente bien (Baumgardt et al., 2019). Sin embargo, aún no se conoce la población total de cúmulos globulares en nuestra galaxia. De acuerdo a los más recientes censos de la población de cúmulos globulares de la Vía Láctea, la dirección hacia el centro de la galaxia es la más afectada por incompletitud, debido a la severa absorción que experimenta la luz en esa dirección (Harris, 1996). Por ese motivo, más recientemente, varios relevamientos observacionales han identificado nuevos candidatos a cúmulos globulares en la región del bulbo de la galaxia utilizando técnicas observacionales infrarrojas (Froeblich et al. (2008), Minniti et al. (2017), Camargo (2018)).

Debido a la fuerte absorción interestelar y a la marcada contaminación de estrellas del campo en dirección hacia el centro de nuestra galaxia, los nuevos candidatos a cúmulos globulares aparecen en el cielo como diminutas concentraciones de estrellas, similares a las fluctuaciones de la densidad estelar observada en esa región. Por ese motivo, es de fundamental importancia confirmar en primer lugar la realidad física de dichos candidatos como cúmulos globulares genuinos y, en el caso de

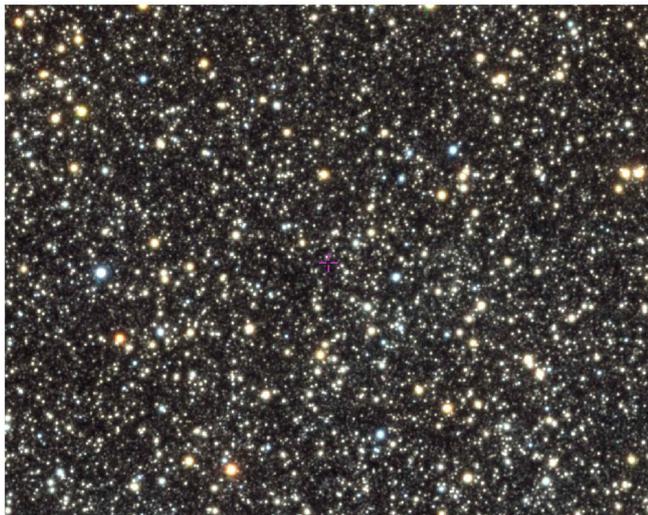


Fig. 1. Imagen VVV *JYZ* combinada centrada en Minni 22. El campo es 2'x 2'. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda. Imagen obtenida de SIMBAD.

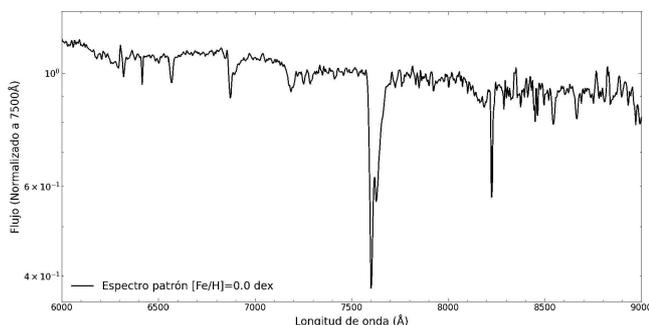


Fig. 2. Espectro integrado de NGC 6642, obtenido con espectrógrafo REOSC de CASLEO.

aquellos que puedan ser confirmados como tales, determinar sus propiedades astrofísicas fundamentales.

Recientemente, varios candidatos a cúmulos globulares han sido identificados en el bulbo galáctico utilizando datos infrarrojos del relevamiento VVV (Minniti et al., 2017). En este trabajo nos proponemos realizar un análisis de las propiedades astrofísicas fundamentales (edad, enrojecimiento y metalicidad) de uno de estos candidatos, Minni 22, a partir de espectroscopía integrada. Hasta donde tenemos conocimiento, es la primera vez que se aplica esta técnica al estudio de candidatos a cúmulos globulares del bulbo de nuestra galaxia.

En la Sección 2 describimos las observaciones espectroscópicas realizadas. La Sección 3 presenta el procedimiento seguido para determinar las propiedades astrofísicas (edad, enrojecimiento, metalicidad) a partir del uso de espectros patrones; los resultados obtenidos y su comparación a la luz de los estudios previos sobre la realidad física de Minni 22. Por último, la Sección 4 resume las conclusiones finales.

2. Observaciones

Minni 22 está localizado en dirección hacia el centro de la Vía Láctea (R.A. = 17 : 48 : 51.4, Dec. = -33 : 03 :

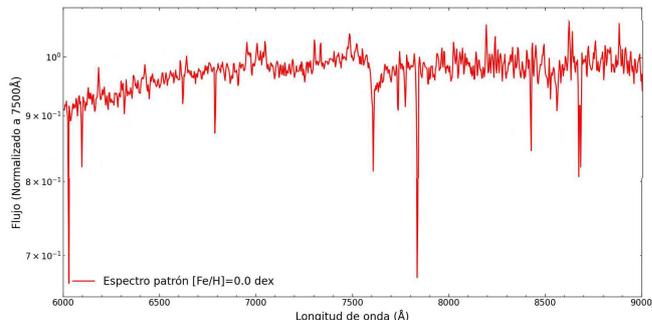


Fig. 3. Espectro integrado de Minni 22, obtenido con espectrógrafo REOSC de CASLEO.

40, *J*2000) (Minniti et al., 2018). La Fig. 1 muestra una imagen de la región de interés. Como puede apreciarse, predomina la presencia de una gran cantidad de estrellas de campo.

Las observaciones espectroscópicas las realizamos en el Complejo Astronómico “El Leoncito” (CASLEO, San Juan) utilizando el telescopio “Jorge Sahade” y el espectrógrafo REOSC, en modo de dispersión simple. Empleamos la ranura de mayor tamaño (ancho de ranura=4.2” y largo de ranura=4.7”), una red de 300l/mm y el filtro GG495. Debido a la importante absorción interestelar en dirección hacia el centro de la galaxia, decidimos obtener espectros en el rango 5800-9200Å. Obtuvimos 6 integraciones de 900 segundos cada una, seguidas de la obtención de lámparas de comparación de CuNeAr. Para control de la metodología de análisis y como patrón de referencia observamos el cúmulo globular NGC 6642, obteniendo también 6 integraciones de 900 segundos cada una, y de sus respectivas lámparas de comparación. Durante cada integración barrimos la ranura en declinación, procurando que la misma fuera iluminada por toda la extensión del objeto aproximadamente de modo uniforme. También obtuvimos espectros de las estrellas estándares HD 160233 y LTT 7379 (tiempo de integración de 300 segundos) para calibraciones de flujo.

Los espectros fueron procesados con IRAF * del modo habitual en el Instituto Interdisciplinario de Ciencias Básicas (ICB, CONICET-UNCuyo). Primeramente corrigiendo los mismos por bias y flat promediados, luego extrajimos los espectros propiamente de las imágenes bidimensionales, y finalmente los calibramos en longitud de onda a partir de los espectros de las lámparas de comparación de CuNeAr, y en flujo, empleando los espectros observados de las estrellas estándares. A partir de los espectros de lámparas de comparación obtuvimos una dispersión de 3.36 Å/px y una resolución de 17Å. La Figura 2 muestra el espectro obtenido de NGC 6642, mientras que la Figura 3 muestra el espectro de Minni22. La S/N típica obtenida es de 30.

3. Análisis y resultados

La metodología seguida para desentrañar si Minni 22 es un cúmulo globular genuino, consiste en comparar

*Image Reduction and Analysis Facility.

su espectro integrado con una librería de espectros patrones de cúmulos globulares. En este trabajo empleamos el catálogo de espectros integrados de Bica & Alloin (1987), el cual contiene espectros patrones que cubren todo el rango de metalicidades conocidas de cúmulos globulares del bulbo galáctico. Particularmente, seleccionamos los espectros patrones que corresponden a las edades de los cúmulos globulares. La Figura 4 muestra cinco espectros patrones de dicho catálogo, con metalicidades $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.0, -1.5, -1.0, -0.5, 0.0$ dex, respectivamente. Estas metalicidades corresponden a los espectros patrones utilizados. Hasta donde tenemos conocimiento, esta técnica no ha sido utilizada previamente para el estudio de cúmulos globulares del bulbo de la galaxia, por ello observamos también NGC 6642, un cúmulo globular del bulbo galáctico muy bien conocido.

NGC 6642 es un cúmulo globular del bulbo de la Vía Láctea que tiene una metalicidad de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.1$ dex (Harris (2010), Geisler et al. (2023)). Corregimos por enrojecimiento el espectro obtenido $E(B - V) = 0.4$ mag (Harris, 2010) y lo comparamos con el espectro patrón correspondiente ($[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ dex). La Figura 5 ilustra el resultado de dicha comparación. Como se observa, el acuerdo es satisfactorio.

A continuación comparamos el espectro de Minni 22 con cada uno de los espectros patrones, para obtener enrojecimiento ($E(B - V)$) y metalicidad ($[\text{Fe}/\text{H}]$), simultáneamente. Para ello, empleamos una grilla de valores de ($E(B - V)$) desde 0.0 mag hasta 2.0 mag, en intervalos de 0.5 mag; corregimos el espectro observado de Minni 22 por cada uno de estos valores, y comparamos todos los espectros corregidos por enrojecimiento obtenido con cada uno de los cinco espectros patrones de la Figura 4. El rango de valores de ($E(B - V)$) abarca aquel conocido hacia el centro de la Vía Láctea.

Encontramos que ninguno de los espectros de Minni 22 corregidos con diferentes valores de enrojecimiento entre $E(B - V) = 0.0$ y 2.0 mag ($E(B - V) = 1.386$, NED) se asemejan a alguno de los espectros patrones de los cúmulos globulares. Para ilustrar esto, la Figura 6 muestra el espectro de Minni 22 corregido por enrojecimiento ($E(B - V) = 0.5$ mag) que más se asemeja a alguno de los espectros patrón utilizados ($[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0$ dex). Como se observa, hay una cierta similitud en la pendiente global de los espectros, pero también se observan diferencias importantes en la presencia de líneas y bandas moleculares (ejemplo, TiO, Ca II, etc). De esta comparación concluimos que el espectro integrado de Minni 22 no presenta las características de un cúmulo globular del bulbo galáctico. Por el contrario, su espectro integrado se asemeja a aquél resultante de la superposición de los espectros de estrellas del campo distribuidas a lo largo de la visual.

Minniti et al. (2018) mostraron que Minni 22 es un cúmulo globular a partir de datos del relevamiento VVV, una base de datos de fotometría infrarrojo que abarca el bulbo galáctico y buena parte del disco interior de la Galaxia (Minniti et al., 2010). De los datos VVV, ellos identificaron estrellas RR Lyrae. También utilizaron movimientos propios obtenidos a partir de los mismos datos VVV. El mejor ajuste del diagrama color-magnitud en la región de Minni 22 corresponde para una isócro-

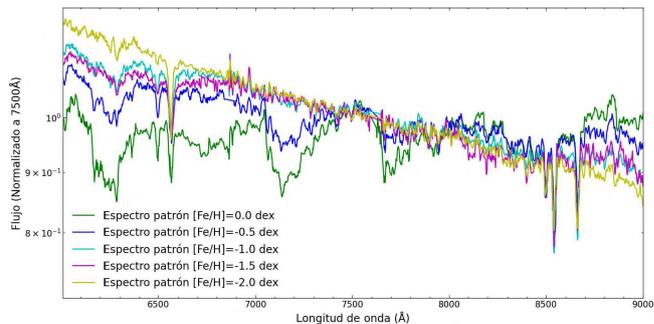


Fig. 4. Espectros integrados patrones del catálogo de Bica y Alloin (1986).

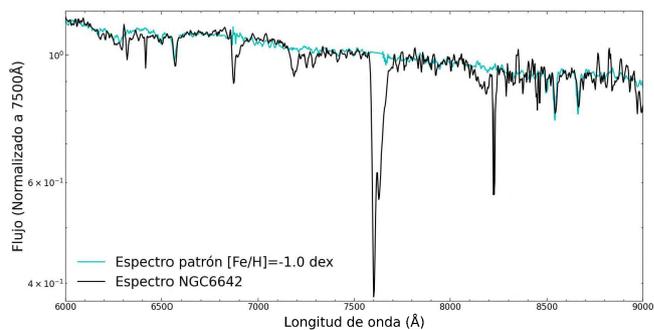


Fig. 5. Espectro integrado de cúmulo globular NGC6642 en comparación con el espectro patrón de la metalicidad correspondiente. Ambos obtenidos con espectrógrafo REOSC de CASLEO.

na teórica con una metalicidad $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.3$ dex. Sin embargo, Gran et al. (2019) reexaminaron la región de Minni 22 a partir de la aplicación de un algoritmo que reconoce sobredensidades en un espacio de cinco dimensiones, a saber: R.A., Dec, movimientos propios en R.A. y Dec. y color. Gran et al. (2019) aplicaron dicha metodología a datos del catálogo Gaia DR2 (Brown et al., 2016) y (Helmi et al., 2018) de una región del cielo dentro de $-10^\circ \leq (l, b) \leq 10^\circ$, y a datos del catálogo VVV que incluye fotometría PSF y movimientos propios para estrellas dentro de $|b| < 3^\circ$, donde Gaia DR2 está incompleto debido a la gran extinción interestelar Gran et al. (2019). Del análisis realizado, Gran et al. (2019) descartaron la naturaleza física como cúmulo globular de 93 candidatos identificados previamente Minniti et al. (2017), dentro de los cuales se encuentra Minni 22. Concretamente, basándose en el requisito de que los miembros de un cúmulo deben moverse coherentemente, Gran et al. (2019) descartaron a Minni 22 como un cúmulo globular genuino.

Los resultados obtenidos no muestran relación con los valores de Minniti et al. (2018) para ninguno de los patrones examinados. La metalicidad obtenida en este trabajo para Minni 22 difiere significativamente del valor derivado por Minniti et al. (2018), lo cual consideramos como evidencia de que Minni 22 podría no ser un cúmulo globular. Hacemos notar que la escala de metalicidades del presente trabajo está en muy buen acuerdo con la escala de metalicidades de los cúmulos globulares (ver arriba análisis de NGC 6642). Por otro lado, el enrojecimiento obtenido aquí para Minni 22 difiere también

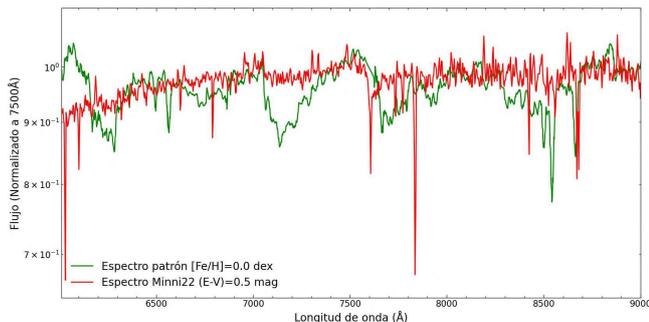


Fig. 6. Espectro integrado corregido de Minni 22 con enrojecimiento de $E(B - V) = 0.5$ comparado con espectro de metalicidad $[Fe/H] = 0.0$.

significativamente del valor derivado por Minniti et al. (2018), lo cual constituye un segundo elemento a favor de que se trataría de un conjunto de estrellas del campo proyectadas en la línea de la visual. Nuestros resultados, sin embargo, concuerdan con los encontrados por Gran et al. (2019).

4. Conclusiones

El presente análisis es parte de un programa de investigación en el cual buscamos estudiar los espectros integrados de una decena de candidatos a cúmulos globulares de la Vía Láctea. En este trabajo presentamos un estudio sobre las propiedades astrofísicas del candidato a cúmulo globular de la Vía Láctea, Minni 22. Utilizando el telescopio "Jorge Sahade" y el espectrógrafo REOSC del CASLEO, en modo dispersión simple, obtuvimos el espectro integrado de Minni 22 y de un cúmulo globular bien conocido (NGC 6642). Calibramos los espectros en longitud de onda y flujo, y mediante el método de comparación con espectros de referencia estimamos sus enrojecimientos y metalicidades. Para NGC 6642 estimamos una metalicidad en muy buen acuerdo con los valores de la literatura. Este resultado sirvió de prueba de validación de la metodología de análisis, la cual hasta donde tenemos conocimiento, fue aplicada por primera vez a candidatos a cúmulos globulares del bulbo galáctico. El enrojecimiento y metalicidad obtenidos para Minni 22 distan notablemente de los valores derivados por Minniti et al. (2018), quienes catalogaron a Minni 22 como

candidato a cúmulo globular. Además de las diferencias en la curvatura del espectro observado de Minni 22 con la de espectros patrones de cúmulos globulares, también observamos diferencias en la intensidad de varias líneas y bandas moleculares. Nuestros resultados favorecen las conclusiones de Gran et al. (2019) quienes descartaron a Minni 22 como cúmulo globular genuino.

Agradecimientos: Basado en datos obtenidos en el Complejo Astronómico El Leoncito, operado bajo convenio entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina y las Universidades Nacionales de La Plata, Córdoba y San Juan. Observación realizada los días 26 y 27 de julio del 2022. Este trabajo se realizó con fondos del proyecto PICT 2020-SERIEA-01914. AAM y DMI agradecen la hospitalidad del personal del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO).

Referencias

- Baumgardt H., et al., 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 482, 5138
 Bica E., Alloin D., 1987, *A&A*, 186, 49
 Brown A.G., et al., 2016, *Astronomy & Astrophysics*, 595, A2
 Camargo D., 2018, *The Astrophysical Journal Letters*, 860, L27
 Debattista V.P., et al., 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 485, 5073
 Froebrich D., Meusinger H., Davis C., 2008, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 383, L45
 Geisler D., et al., 2023, *Astronomy & Astrophysics*, 669, A115
 Gilmore G., 1999, *Nature*, 400, 402
 Gran F., et al., 2019, *A&A*, 628, A45
 Harris W.E., 1996, *Astronomical Journal* v. 112, p. 1487, 112, 1487
 Harris W.E., 2010, arXiv preprint arXiv:1012.3224
 Helmi A., et al., 2018, *Astronomy & astrophysics*, 616, A12
 Jang S., Lee Y.W., 2015, *ApJS*, 218, 31
 Keller B.W., et al., 2020, *MNRAS*, 495, 4248
 Kruijssen J.M.D., et al., 2019, *MNRAS*, 486, 3180
 Lian J., et al., 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 500, 282
 Minniti D., et al., 2010, *New Astronomy*, 15, 433
 Minniti D., et al., 2017, *ApJL*, 849, L24
 Minniti D., et al., 2018, *ApJ*, 866, 12
 Prantzos N., Silk J., 1998, *ApJ*, 507, 229