



Diagnóstico de la galaxia remanente de una fusión NGC 4382

C.G. Escudero^{1,2}, L.A. Sesto^{1,2}, F.R. Faifer^{1,2}, A.V. Smith Castelli^{1,2} & M.V. Reynaldi¹

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

Contacto / cgesudero@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / Los modelos existentes sobre formación de galaxias masivas, particularmente para las galaxias de tipo temprano, se centran en el concepto de formación de dos fases, *in situ* y *ex situ*. Ambas fases dejarían huellas en ellas, y estas podrían ser identificadas por separado. En este trabajo preliminar, nos enfocamos en el análisis de la galaxia elíptica dinámicamente joven NGC 4382 utilizando fotometría y espectroscopía profunda Gemini/GMOS. Nuestro estudio muestra que el sistema de cúmulos globulares de esta galaxia presenta más de dos subpoblaciones de cúmulos. Además de las típicas subpoblaciones de cúmulos con edades mayores a los 5×10^9 años, se determinó la presencia de cúmulos jóvenes que podrían ser producto de una fusión que tuvo NGC 4382 hace unos 2.8×10^9 años.

Abstract / Existing models on the formation of massive galaxies, particularly for early-type galaxies, focus on the concept of two-phase formation, *in-situ* and *ex-situ*. Both phases would leave footprints in the galaxies which could be identified separately. In this preliminary work, we focus on the analysis of the dynamically young elliptical galaxy NGC 4382 using deep Gemini/GMOS photometry and spectroscopy. Our study shows that the globular cluster system of this galaxy has more than two subpopulations of clusters. In addition to the typical cluster subpopulations older than 5 Gyr, the presence of young clusters was determined that could be the product of a merger that NGC 4382 had about 2.8 Gyr ago.

Keywords / galaxies: elliptical and lenticular, cD — galaxies: halos — galaxies: individual (NGC 4382)

1. Introducción

Los modelos actuales de formación de galaxias masivas, particularmente para las galaxias de tipo temprano, se centran en el concepto de formación de dos fases. Las simulaciones cosmológicas indican que las grandes galaxias del universo local se sometieron a una fase inicial de formación *in situ* seguida de un crecimiento de masa y tamaño a través de una fase *ex situ* (o de acreción). Por tanto, el material involucrado en estas dos fases podría identificarse por separado. Sin embargo, desde un punto de vista de la observación, es muy difícil realizar estudios detallados de poblaciones estelares en las regiones exteriores de galaxias más allá del Grupo Local, debido a lo tenue de la luz más allá de unos pocos radios efectivos. Es por eso que en este trabajo nos enfocamos en el estudio de la galaxia dinámicamente joven NGC 4382 a fin de indagar su rica historia de formación estelar en los últimos miles de millones de años. Para ello, analizamos su sistema de cúmulos globulares y la población estelar difusa mediante fotometría y espectroscopía profunda Gemini/GMOS.

NGC 4382 ($d = 18.5$ Mpc; Tonry et al., 2001) es una galaxia E2 remanente de una fusión reciente (Kormendy et al., 2009) ubicada en las afueras del cúmulo de Virgo a una distancia proyectada de 1.7 Mpc de la galaxia cD M87 (Nagino & Matsushita, 2010). La galaxia presenta características peculiares tanto en su estructura (cáscaras y plumas), como en su cinemática (núcleo des-

acoplado cinemáticamente), probablemente producto de interacciones con su compañera NGC 4394.

2. Observaciones

Los datos fotométricos utilizados en este trabajo consisten en imágenes tomadas con la cámara GMOS (Gemini Multi-Object Spectrograph) montada en el telescopio Gemini Norte. La Figura 1 muestra el mosaico formado por dos campos observados de NGC 4382. Las imágenes se tomaron en los filtros $g'r'i'$ con un *binning* de 2×2 . El conjunto de datos que se utilizaron en este trabajo se corresponden a los programas Gemini GN-2014A-Q-35 (PI: A. Cortesi), GN-2006A-Q-81 (PI: O. Nakamura) y GN-2015A-Q-207 (PI: Myung Gyoon Lee).

Por su parte, las observaciones espectroscópicas utilizadas de los cúmulos globulares (CGs), se obtuvieron empleando la cámara GMOS en modo multi objeto con la red de difracción B600, un *binning* de 2×2 y ranuras de $1''$. Los círculos y cuadrados amarillos en la Figura 1 indican la ubicación de los CGs observados en los programas Gemini GN-2016A-Q-62 (PI: A. Cortesi) y GN-2015A-Q-207, respectivamente. Finalmente, también se hizo uso de observaciones de ranura larga de la luz estelar de la galaxia correspondiente al programa GN-2009A-Q-102 (PI: A. Aragón-Salamanca). Este conjunto de datos se obtuvo con la red de difracción B1200, un *binning* de 1×4 y una ranura de $0.5''$. La ranura se encuentra orientada a lo largo del semieje mayor de la

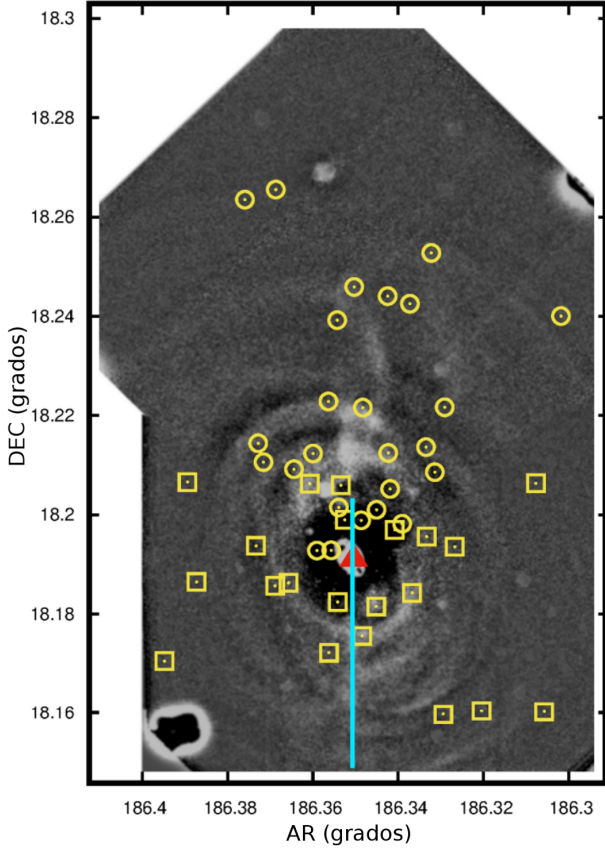


Figura 1: Mosaico GMOS de NGC 4382. La luz de la galaxia fue restada para visualizar las diferentes estructuras tipo cáscara y de bajo brillo que presenta la misma. Los círculos y cuadrados amarillos indican los CGs confirmados en los programas GN-2016A-Q-62 y GN-2015A-Q-207, respectivamente. El triángulo rojo indica el centro de NGC 4382. La línea cian continúa indica la orientación de la ranura larga.

galaxia (línea cian continúa en la Figura 1).

3. Distribución de color y velocidades radiales

La distribución de color $(g' - i')_0$ del sistema de CGs (panel superior de la Figura 2) no muestra la típica bimodalidad usual de las galaxias masivas de tipo temprano (Faifer et al., 2011; Escudero et al., 2018), y que se interpreta como el resultado de la presencia de las clásicas subpoblaciones de cúmulos azules y rojos. Esta ausencia de bimodalidad podría deberse a la presencia de candidatos a CGs con colores intermedios ($(g' - i')_0 \approx 0.92$ mag) los cuales borronan esta característica (Ko et al., 2018).

Analizamos espectroscópicamente 53 objetos correspondientes a los programas Gemini GN-2016A-Q-62 y GN-2015A-Q-207 (28 y 25 objetos, respectivamente). Determinamos las velocidades radiales para ambos conjunto de datos utilizando la tarea FXCOR de IRAF. El panel inferior de la Figura 2 muestra la distribución de velocidad de los objetos, junto con un ajuste gaussiano obtenido sobre ambas muestras ($\mu = 674 \pm 35$ km s⁻¹ y

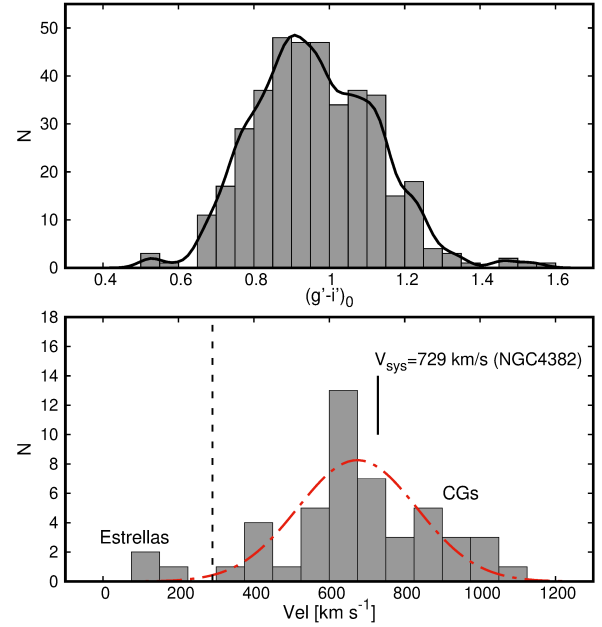


Figura 2: *Panel superior:* distribución de color $(g' - i')_0$ de los candidatos fotométricos a CGs de NGC 4382. La línea continúa representa la distribución de color suavizada. *Panel inferior:* histograma de velocidad radial de los objetos medidos en los programas GN-2016A-Q-62 y GN-2015A-Q-207. La línea roja discontinua indica el ajuste Gaussiano realizado sobre ambas muestras espectroscópicas. La línea vertical negra indica la velocidad sistémica de NGC 4382 ($V = 729$ km s⁻¹). La línea vertical a trazos indica el límite entre CGs asociados a NGC 4382 y estrellas de campo.

$\sigma = 158 \pm 36$ km s⁻¹). Los objetos cuyas velocidades se encuentran dentro de $\mu \pm 3\sigma$ del valor medio antes mencionado, fueron considerados asociados a NGC 4382.

4. Poblaciones estelares

Analizamos las poblaciones estelares de los CGs (considerados como una población estelar simple) y de la galaxia (considerada como una población estelar compuesta), utilizando la técnica de ajuste espectral completo mediante los códigos ULYSS (Koleva et al., 2009) y PPF (Cappellari, 2017), respectivamente. En el caso de ULYSS, utilizamos la grilla de modelos PEGASE-HR resuelto en $[\alpha/\text{Fe}]$ (Prugniel & Koleva, 2012), mientras que para PPF se utilizó la librería MILES (Vazdekis et al., 2010).

La Figura 3 muestra la relación entre edad, metalicidad y abundancia de elementos α , de los objetos analizados utilizando ULYSS, en función de la señal-ruido (S/N) de los espectros. En la misma, además de observarse los CGs típicos viejos, con edad $> 5 \times 10^9$ años, se encuentra la presencia de un grupo de objetos jóvenes, caracterizados por una edad media de $2.1 \pm 0.4 \times 10^9$ años, una metalicidad $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.15 \pm 0.10$ dex ($[\text{Z}/\text{H}] = 0.24 \pm 0.10$ dex) y $[\alpha/\text{Fe}] = 0.11 \pm 0.10$ dex. En este trabajo utilizamos la expresión $[\text{Z}/\text{H}] = [\text{Fe}/\text{H}] + 0.8 [\alpha/\text{Fe}]$ de Coelho et al. (2007), a fin de comparar el valor medio de metalicidad de los CGs con el resultado obtenido para la componente estelar de NGC 4382.

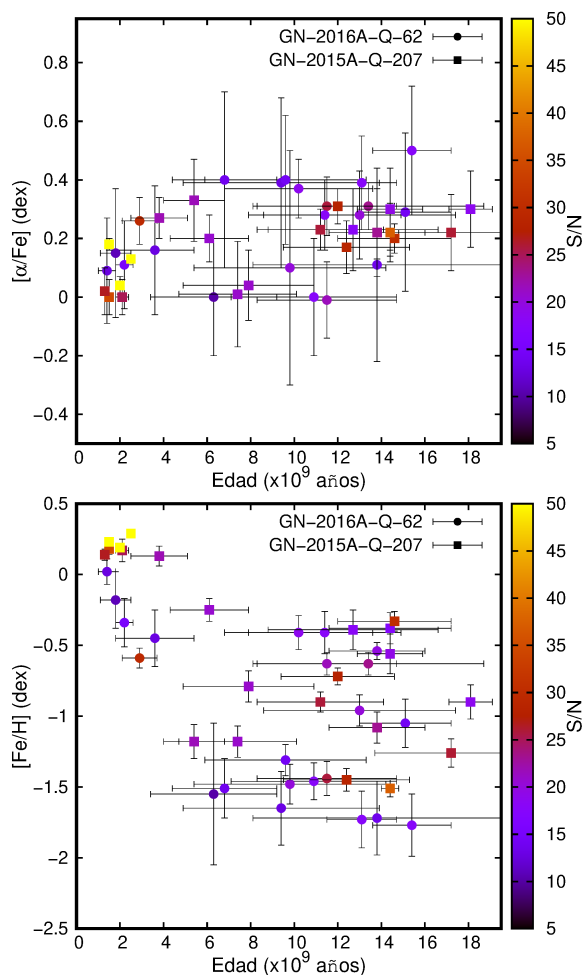


Figura 3: *Panel superior*: diagrama $[\alpha/\text{Fe}]$ – edad de los CGs confirmados asociados a NGC 4382. *Panel inferior*: diagrama $[\text{Fe}/\text{H}]$ – edad de los CGs de NGC 4382. Los círculos y cuadrados indican los objetos correspondientes a los programas GN-2016A-Q-62 y GN-2015A-Q-207, respectivamente. La barra de color indica los valores de S/N de la muestra de objetos analizada.

La Figura 4 muestra las poblaciones estelares pesadas en masa de la componente estelar en la región central de NGC 4382 ($R_{\text{gal}} < 5.8''$) obtenidas mediante PPXF. Como se observa en la figura, la galaxia presenta dos poblaciones bien marcadas, una con edad $\approx 8 \times 10^9$ años y metalicidad $[\text{Z}/\text{H}] \approx 0.25$ dex, y otra población más joven con edad $\approx 2.8 \times 10^9$ años y metalicidad similar.

5. Conclusiones

Analizamos el sistema de CGs y la luz estelar de la galaxia NGC 4382 utilizando datos fotométricos y espectroscópicos obtenidos con el instrumento GMOS. Algunos resultados obtenidos se listan a continuación.

- La distribución de colores integrados del sistema de CGs no muestra la bimodalidad típica observada en otras galaxias masivas de tipo temprano, lo que indicaría la presencia de al menos 3 subpoblaciones diferentes de cúmulos en la galaxia.

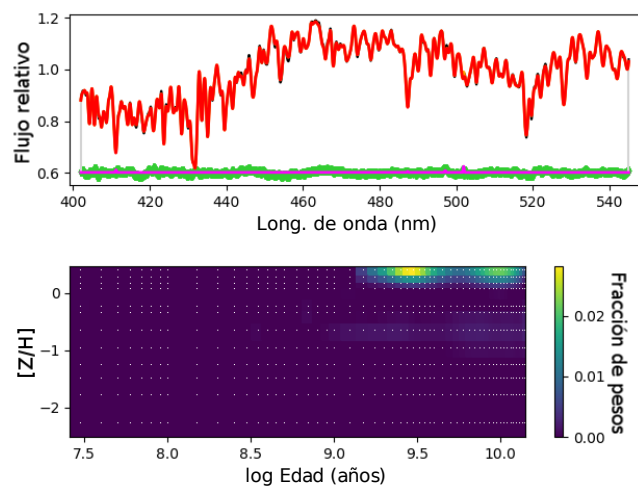


Figura 4: *Panel superior*: espectro integrado (línea negra) de la región central ($R_{\text{gal}} < 5.8''$) de NGC 4382, y ajuste obtenido por PPXF (línea roja). La línea verde indica los residuos del ajuste, mientras que con color magenta se indica el ajuste de líneas de emisión. *Panel inferior*: mapa de fracción de peso obtenido por PPXF sobre la grilla de modelos MILES.

- Determinamos los parámetros de poblaciones estelares del sistema, confirmando la presencia de un grupo de objetos jóvenes ($\langle \text{edad} \rangle \approx 2.1 \times 10^9$ años) con altas metalicidades ($\langle [\text{Z}/\text{H}] \rangle = 0.24$ dex). Además, se observa la presencia de CGs con edades intermedias- viejas ($> 5 \times 10^9$ años) y un amplio rango en metalicidad ($-1.8 < [\text{Z}/\text{H}] < -0.15$ dex).
- Finalmente, utilizando datos GMOS de ranura larga centrados en la galaxia, estudiamos la historia de formación estelar de la región central de NGC 4382. El análisis muestra la presencia de múltiples poblaciones estelares, observándose la población vieja típica en las galaxias de tipo temprano (edad $\approx 8 \times 10^9$ años y $[\text{Z}/\text{H}] = 0.25$ dex), y una población mucho más joven de edad $\approx 2.8 \times 10^9$ años. Este último brote de formación estelar muestra una muy buena concordancia con la edad de los CGs jóvenes, lo que indicaría que esta población en el centro de NGC 4382 podría haberse formado en el mismo evento que dio origen a estos cúmulos.

Referencias

- Cappellari M., 2017, MNRAS, 466, 798
 Coelho P., et al., 2007, MNRAS, 382, 498
 Escudero C.G., et al., 2018, MNRAS, 474, 4302
 Faifer F.R., et al., 2011, MNRAS, 416, 155
 Ko Y., et al., 2018, ApJ, 859, 108
 Koleva M., et al., 2009, A&A, 501, 1269
 Kormendy J., et al., 2009, ApJS, 182, 216
 Nagino R., Matsushita K., 2010, PASJ, 62, 787
 Prugniel P., Koleva M., 2012, R. Tuffs, C. Popescu (Eds.), *The Spectral Energy Distribution of Galaxies - SED 2011*, vol. 284, 16–19
 Tonry J.L., et al., 2001, ApJ, 546, 681
 Vazdekis A., et al., 2010, MNRAS, 404, 1639