



Estudio global del cúmulo de Antlia: primera detección de galaxias ultradifusas

J.P. Calderón^{1,2}, L.P. Bassino^{1,2}, S.A. Cellone^{2,3}, M. Gómez⁴ & J.P. Caso^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

³ Complejo Astronómico El Leoncito, CONICET-UNLP-UNC-UNSJ, Argentina

⁴ Departamento de Ciencias Físicas, Universidad Andrés Bello, Chile

Contacto / jpcalderon@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / Presentamos un estudio fotométrico de la población de galaxias de tipo temprano (ETG, por sus siglas en inglés) del cúmulo de Antlia ($d \approx 35$ Mpc), que extiende trabajos previos, llegando a una cobertura de ≈ 2.6 grad². Este trabajo incorpora 4 campos MOSAIC II, en los que se identificaron ≈ 130 galaxias. Una submuestra de ellas son lenticulares (S0), cuyos parámetros estructurales las ubican en los quiebres de las relaciones entre galaxias débiles y brillantes. Además, se identificaron 12 nuevas candidatas a galaxias ultradifusas (UDGs, por sus siglas en inglés). La muestra total es de ≈ 265 galaxias, con la que se analizaron: (1) la distribución espacial proyectada, hasta una distancia de ≈ 800 kpc de la galaxia más brillante (NGC 3268), ubicada en el centro de la emisión de raxos X del cúmulo, (2) la segregación en color, y la posible correlación entre parámetros fotométricos y distribución espacial. Las candidatas a UDGs están segregadas en dos grupos según sus parámetros estructurales, lo que estaría relacionado con las fuerzas de marea que sufren las galaxias dentro del cúmulo.

Abstract / We present a photometric study of the Antlia cluster ($d \approx 35$ Mpc) early-type galaxy (ETG) population, which extends previous papers, reaching a coverage of ≈ 2.6 deg². This work incorporates 4 MOSAIC II fields, in which ≈ 130 galaxies were identified. A subsample of them are lenticulars (S0), whose structural parameters place them on the breaks of the relationships, i.e. between dwarf and bright galaxies. In addition, 12 new candidates for ultra-diffuse galaxies (UDGs) were identified. The total sample is ≈ 265 galaxies, which allowed us to do the following analysis: (1) the projected spatial distribution, up to a distance of ≈ 800 kpc from the brightest galaxy (NGC 3268), located at the center of the cluster's X-ray emission, (2) the color segregation, and the possible correlation between photometric parameters and spatial distribution. The candidates for UDGs are segregated into two groups according to their structural parameters; this would be related to the tidal forces suffered by the galaxies within the cluster.

Keywords / galaxies: dwarf — galaxies: clusters: individual (Antlia cluster) — galaxies: fundamental parameters

1. Introducción

El creciente interés en la población de galaxias de bajo brillo superficial (LSB, por sus siglas en inglés), promovido por recientes detecciones de galaxias ultradifusas (UDGs, por sus siglas en inglés), mantiene latente el debate sobre el origen y evolución de las componentes estelares más débiles (pero más numerosas) de los grupos y cúmulos de galaxias. Las galaxias elípticas enanas (dEs, por sus siglas en inglés), ubicadas en la región de magnitudes débiles presentan una amplia gama de características muy diversas como las enanas esferoidales (dSphs, por sus siglas en inglés), con magnitudes $M_V \gtrsim -16$ mag y radios efectivos $r_e \lesssim 1$ kpc, o las UDGs, que presentan peculiaridades en las relaciones de sus parámetros estructurales. Estas últimas serían uno de los sistemas estelares de más bajo brillo superficial observados en cúmulos cercanos (van Dokkum et al., 2015; Lim et al., 2018); pese a esto, presentan radios efectivos excesivamente grandes ($r_e \gtrsim 1$ kpc) y masas estelares moderadas. Sus brillos superficiales son tan bajos ($\mu_{0,V} \approx 27$ mag arcsec⁻²) que solo son accesibles mediante observaciones profundas (Eigenthaler

et al., 2018).

Frente a los reportes de una cantidad creciente de UDGs detectadas en diferentes grupos y cúmulos, fueron propuestos diversos mecanismos para explicar su origen. Los primeros modelos analíticos (Amorisco & Loeb, 2016) indicaron que su origen podría explicarse mediante el modelo clásico de formación de discos en halos de materia oscura con alto momento angular. Esto parecería desafiar las evidencias observacionales de UDGs con baja rotación (van Dokkum et al., 2019; Bogdán, 2020), así como también resultados de simulaciones más recientes (Jiang et al., 2019). Por otro lado, resultados de la simulación magnetohidrodinámica Auriga (Liao et al., 2019, y referencias allí citadas) han podido reproducir propiedades estructurales y fotométricas observadas en UDGs de cúmulos de galaxias cercanos.

El escenario propuesto por Carleton et al. (2019) y Sales et al. (2020) indica que las UDGs podrían ser el resultado de los efectos de marea sufridos por galaxias esferoidales típicas. Esto sólo podría producirse si los halos de materia oscura en donde se originó la galaxia esferoidal poseen un *core* grande de densidad constante,

debido a que las galaxias evolucionarían más drásticamente que las que se originan en halos NFW (Navarro et al., 1997). En base a esto, Sales et al. (2020) propusieron la existencia de dos posibles orígenes para las UDGs en cúmulos. Por un lado, existirían galaxias enanas, originadas en el campo, que luego entrarían en el potencial de un cúmulo (B-UDGs); y por otro, las enanas originadas con brillo superficial extremo, dentro de un cúmulo, que serían transformadas en UDGs a través de la pérdida de masa por efectos de marea (T-UDGs).

En este trabajo, presentamos un estudio de la población de galaxias de Antlia que complementa trabajos previos (Smith Castelli et al., 2008a,b, 2012; Calderón et al., 2015, 2018), llegando hasta una distancia de ≈ 800 kpc del centro del cúmulo ($d \approx 35.2$ Mpc; Dirsch et al., 2003). Se calcularon las relaciones entre parámetros estructurales de las galaxias de tipo temprano (ETG, por sus siglas en inglés), incluyendo varias galaxias S0 que se ubican en los quiebres de las relaciones. Se estudiaron las correlaciones entre color, radio efectivo y velocidad radial respecto de la distribución espacial proyectada.

2. La muestra

Trabajamos con cuatro campos, observados con la cámara MOSAIC II (Telescopio Blanco, Cerro Tololo, Chile). Utilizamos los filtros R y C , de Washington y Kron-Cousins. El primero luego fue transformado al filtro T_1 de Washington ($R - T_1 = -0.02$). Teniendo en cuenta estos últimos campos, la cobertura total del relevamiento de ETGs del cúmulo de Antlia alcanza ≈ 2.6 grados².

La muestra total con la que se trabajó consta de 265 ETGs, cuya membresía al cúmulo fue confirmada por: (i) velocidad radial (Smith Castelli et al., 2012), o (ii) le fue asignada membresía* 1 o 2 según Ferguson & Sandage (1990), o (iii) su posición en el diagrama color-magnitud no se aleja más de $\pm 3\sigma$ del ajuste lineal (Calderón et al., 2020). En la Fig. 1 se puede ver la distribución espacial proyectada de galaxias, en donde se indican con diferentes símbolos los tipos morfológicos identificados. Pueden observarse claras concentraciones de galaxias alrededor de NGC 3258 y NGC 3268.

3. Resultados

3.1. Características globales del cúmulo

Los datos agregados en este trabajo corroboran la elongación de la distribución espacial proyectada en la dirección que une NGC 3258 y 3268. Por otro lado, considerando como centro del cúmulo a NGC 3268 (Calderón et al., 2020), encontramos que el color medio de las ETGs es $\langle (C - T_1)_0 \rangle = 1.69 \pm 0.09$ mag hasta una distancia de 800 kpc del centro. Y que, en la misma región, el radio efectivo promedio disminuye desde un valor, en el centro, de $\langle r_e \rangle = 0.9 \pm 0.2$ kpc.

*La clasificación en membresías, basada en criterios morfológicos, establece membresía 1, 2, o 3 para miembros “definitivos”, “probables”, o “posibles”, respectivamente.

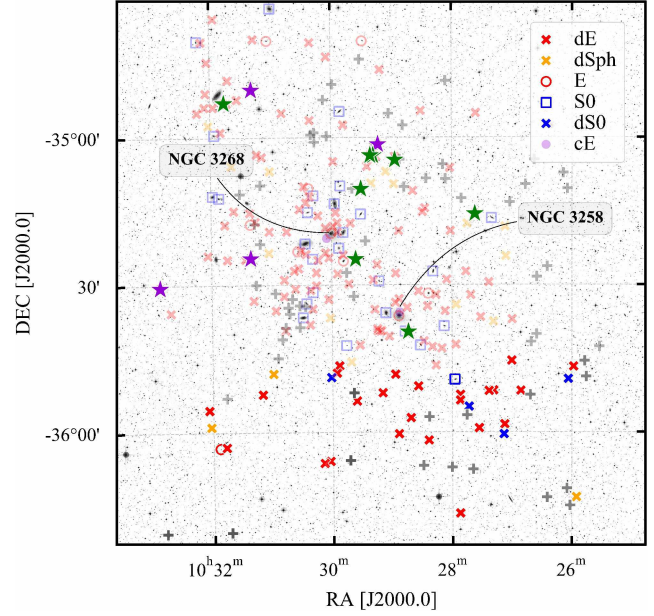


Figura 1: Distribución espacial proyectada de las galaxias de la muestra. Se indican en la figura las referencias de morfología: en tonos más claros, las galaxias identificadas en trabajos previos; en tonos oscuros, los correspondientes a este trabajo. Las cruces grises representan nuevas LSB, no identificadas en la bibliografía. Las candidatas a UDGs se indican claramente, con estrellas verdes y violetas.

Tabla 1: Valores promedio de los parámetros obtenidos para los dos grupos de UDGs identificados en Antlia.

	G1	G2
$(C - T_1)$ [mag]	1.81 ± 0.30	1.58 ± 0.34
r_e [kpc]	1.81 ± 0.22	2.03 ± 0.54
μ_e [mag arcsec ⁻²]	26.53 ± 0.42	24.51 ± 0.27
n	1.51 ± 0.60	1.29 ± 0.38
R [kpc]	19.85 ± 9.07	33.35 ± 9.51

3.2. Candidatas a UDGs

Utilizando los criterios de selección que definen a la clase UDG (van Dokkum et al., 2015), se identificaron 12 candidatas en el cúmulo de Antlia, que cumplen con $r_e > 1.5$ kpc y $\mu_0 > 25.0$ mag arcsec⁻², como se puede ver en la Fig. 2 (indicadas con estrellas verdes y violetas). En la Fig. 2 (panel derecho), se observa que las UDGs representan los objetos de mayor radio efectivo en el régimen de las galaxias de bajo brillo superficial. Estas mismas galaxias se muestran en la Fig. 2 (panel izquierdo); sus brillos superficiales efectivos (μ_e) se alejan de la relación que mejor se ajusta a las galaxias enanas.

Realizamos un análisis de componente principal utilizando los parámetros calculados para las candidatas a UDGs, y se obtuvieron dos grupos que denominamos grupo 1 (G1, violeta), y grupo 2 (G2, verde). Estos dos grupos claramente difieren en magnitud absoluta media ($\langle M_V \rangle = -15.98 \pm 0.2$ y -14.58 ± 0.28 mag, respectivamente) y brillo superficial efectivo medio ($\langle \mu_e \rangle = 26.53 \pm 0.42$ y 24.51 ± 0.27 mag arcsec⁻², respectivamente), pero conservan radios efectivos medios en común

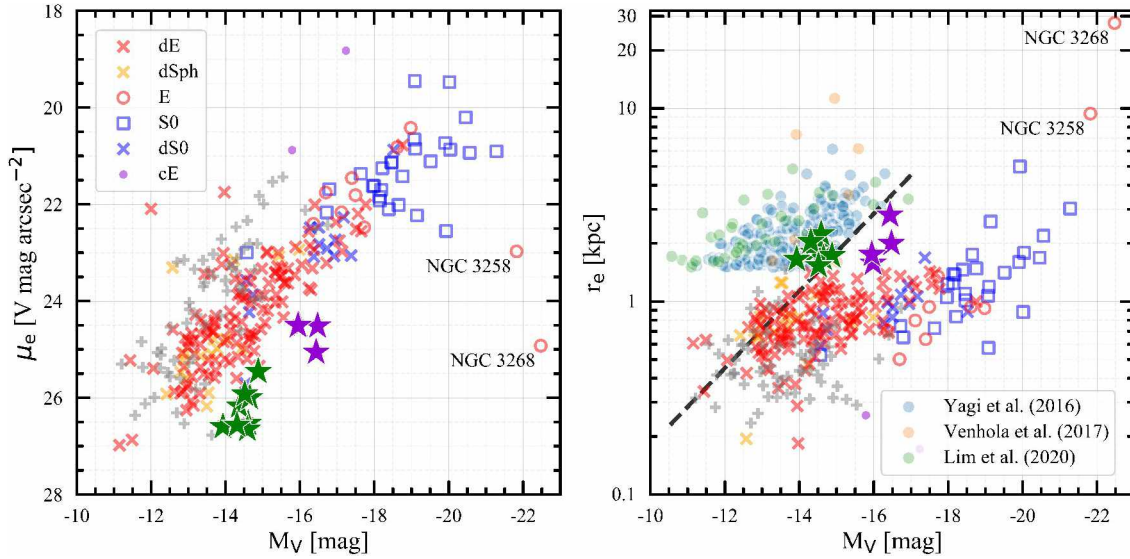


Figura 2: Relaciones entre los parámetros estructurales obtenidos para las galaxias de tipo temprano de la muestra. Se indica la ubicación de las galaxias dominantes NGC 3258 y 3268. Los símbolos están explicados en la figura y las candidatas a UDGs de Antlia se indican con estrellas violetas y verdes (ver texto). *Panel izquierdo*: brillo superficial efectivo (μ_e) vs. magnitud absoluta (M_V). *Panel derecho*: radio efectivo (r_e) vs. M_V . La figura incluye las UDGs identificadas en los cúmulos de Virgo (Lim et al., 2020), Fornax (Venhola et al., 2017) y Coma (Yagi et al., 2016). Las transformaciones entre magnitudes se realizaron según Fukugita et al. (1995).

(ver la Tabla 1). Por otro lado, sus colores medios ($\langle C - T_1 \rangle$) difieren claramente, haciendo que G1 sea más azul que G2. Esto podría estar relacionado con la existencia de mecanismos físicos diferentes que producen las UDGs observadas. El grupo G1 tiene μ_e más alto y está distribuido, en promedio, a una mayor distancia que G2, que coincide con la ubicación de NGC 3258.

En la Fig. 2 (panel derecho), la línea a trazos representa Σ_{UDG} , un resultado de las simulaciones de Sales et al. (2020) que separa, a $z = 0$, la ubicación de las B-UDGs (izq.) y T-UDGs (der.). La ubicación de las B-UDGs es consistente con la ubicación del G1. En la misma figura indicamos la posición de las UDGs identificadas en Virgo (Lim et al., 2020), Fornax (Venhola et al., 2017) y Coma (Yagi et al., 2016).

4. Conclusiones

Utilizando cuatro nuevos campos MOSAICII se extendió la cobertura espacial proyectada del cúmulo de Antlia, incrementando la cantidad de galaxias identificadas. Se encontraron evidencias que podrían indicar que Antlia se encuentra en un estadio de evolución intermedio respecto a los cúmulos de Virgo y Fornax, en virtud de los efectos de marea producidos por la fusión entre el cúmulo de Antlia y el grupo centrado en NGC 3258.

Se identificaron 12 candidatas a UDGs, que pueden ser diferenciadas en dos grupos (G1 y G2), según sus parámetros estructurales y fotométricos. De acuerdo a Sales et al. (2020), el G1 sería un grupo de galaxias más joven que G2, cuya formación estelar se limitó fuertemente al entrar en el cúmulo, y sus miembros se distribuyen preferentemente en las zonas exteriores del mismo,

no habiendo sido afectados fuertemente por efectos de marea, en comparación a los miembros de G2. Por otro lado, los colores medios de G1 están en buen acuerdo con las galaxias simuladas en Di Cintio et al. (2017).

La caracterización de las UDGs en Antlia encuentra una buena correlación con los resultados obtenidos de UDGs en simulaciones hidrodinámicas.

Referencias

- Amorisco N.C., Loeb A., 2016, MNRAS, 459, L51
 Bogdán Á., 2020, ApJL, 901, L30
 Calderón J.P., et al., 2015, MNRAS, 451, 791
 Calderón J.P., et al., 2018, MNRAS, 477, 1760
 Calderón J.P., et al., 2020, MNRAS, 497, 1791
 Carleton T., et al., 2019, MNRAS, 485, 382
 Di Cintio A., et al., 2017, MNRAS, 466, L1
 Dirsch B., Richtler T., Bassino L.P., 2003, A&A, 408, 929
 Eigenthaler P., et al., 2018, ApJ, 855, 142
 Ferguson H.C., Sandage A., 1990, AJ, 100, 1
 Fukugita M., Shimasaku K., Ichikawa T., 1995, PASP, 107, 945
 Jiang F., et al., 2019, MNRAS, 487, 5272
 Liao S., et al., 2019, MNRAS, 490, 5182
 Lim S., et al., 2018, ApJ, 862, 82
 Lim S., et al., 2020, ApJ, 899, 69
 Navarro J.F., Frenk C.S., White S.D.M., 1997, ApJ, 490, 493
 Sales L.V., et al., 2020, MNRAS, 494, 1848
 Smith Castelli A.V., et al., 2008a, MNRAS, 386, 2311
 Smith Castelli A.V., et al., 2008b, MNRAS, 391, 685
 Smith Castelli A.V., et al., 2012, MNRAS, 419, 2472
 van Dokkum P., et al., 2019, ApJ, 880, 91
 van Dokkum P.G., et al., 2015, ApJ, 798, L45
 Venhola A., et al., 2017, A&A, 608, A142
 Yagi M., et al., 2016, ApJS, 225, 11