

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

Tesis presentada ante la
Universidad Nacional de La Plata
para optar por el título de Doctor en Astronomía

Poblaciones de Galaxias en el Cúmulo de Antlia

Lic. Analía V. Smith Castelli

Directores: Dra. Lilia P. Bassino y
Dr. Tom Richtler

19 de Diciembre de 2008

Directores:

Dra. Lilia P. Bassino (*Universidad Nacional de La Plata*)



Dr. Tom Richtler (*Universidad de Concepción, Chile*)

Jurado:

Dr. Juan Carlos Forte (*Universidad Nacional de La Plata*)



Dr. Guillermo Bosch (*Universidad Nacional de La Plata*)

Dr. Hernán Muriel (*Universidad Nacional de Córdoba*)

Presentada para su evaluación: 21 de Noviembre de 2008

Defendida: 19 de Diciembre de 2008

Versión Final: Agosto de 2009

El que busca, encuentra...

*A mí misma, por no haber bajado los brazos
(síntoma de perseverancia o testarudez).*

Y a la memoria de mi abuelo, Francisco Castelli. Un hombre de otra generación, con estudios primarios incompletos, que no dudó en apoyar los estudios de magisterio de sus dos únicas hijas (mi madre y mi tía), y que hubiera estado orgulloso de tener una nieta "Doctora".

Resumen

Esta Tesis presenta el estudio de las poblaciones de galaxias ubicadas en la región central del cúmulo de Antlia. Antlia es el tercer cúmulo de galaxias más cercano a nosotros, después de Virgo y Fornax. A pesar de su proximidad, riqueza y concentración, Antlia ha permanecido prácticamente inexplorado. Nuestro trabajo está basado en las galaxias listadas en el Catálogo del Grupo de Antlia de Ferguson y Sandage (1990, FS90), así como también en candidatas a galaxias nuevas de Antlia identificadas por nosotros. Nos concentramos en las galaxias de tipo temprano, esto es, elípticas (E) y lenticulares (S0), desde gigantes a enanas, y en las relaciones estructurales y fotométricas que ellas definen.

Hemos utilizado imágenes de la región central de Antlia obtenidas con las cámaras MOSAIC de CTIO (Chile) y FORS1 de VLT (Chile). También hemos usado imágenes de archivo de la cámara ACS de HST. A partir de datos espectroscópicos obtenidos con IMACS de MAGALLANES (Chile), se ha podido establecer la pertenencia a Antlia de las galaxias más brillantes ubicadas en el campo de MOSAIC. Además, se han obtenido unos pocos espectros de baja resolución con REOSC de CASLEO (Argentina), así como también velocidades radiales para una muestra de galaxias débiles a partir de espectros obtenidos con GMOS de GEMINI (Chile).

El principal resultado de esta Tesis es la construcción de la primera relación color-magnitud (RCM) de las galaxias de tipo temprano situadas en la región central de Antlia. Fue obtenida en el sistema fotométrico de Washington, a partir de colores ($C - T_1$) y magnitudes T_1 integrados de 93 galaxias del catálogo FS90, y de 21 candidatas a galaxias enanas nuevas del cúmulo. Esta muestra de galaxias es la más extensa analizada hasta el momento en el sistema fotométrico de Washington.

A partir de nuestros datos espectroscópicos y de velocidades radiales recolectadas de la literatura, hemos confirmado la pertenencia al cúmulo de Antlia de 43 objetos de esta muestra. Tanto los miembros confirmados como las galaxias candidatas nos han permitido delinear la estructura interna del cúmulo.

En esta Tesis estudiamos, además, cuatro galaxias candidatas a ser del tipo elíptica compacta (cE, según sus siglas en inglés), ubicadas en la región central de Antlia. Hasta el momento, sólo se conocen seis galaxias confirmadas de este raro tipo. Hemos obtenido sus perfiles de brillo y color, así como también parámetros estructurales y mapas de color. Dos de las candidatas, a pesar de ser miembros confirmados espectroscópicamente de Antlia, no son galaxias cE. Sin embargo,

una de ellas presenta fuertes variaciones en elipticidad y ángulo de posición que se asemejan a las reportadas en M32, la galaxia considerada como el prototipo de este tipo de objetos. Las restantes dos candidatas, para las cuales no se tiene información espectroscópica, presentan características observadas en galaxias cE confirmadas.

Trabajos publicados

El contenido del Capítulo 2 y el Capítulo 3 de esta Tesis han sido previamente presentados en dos trabajos publicados en revistas internacionales con referato:

- 1.- Smith Castelli A. V., Bassino L. P., Richtler T., Cellone S. A., Aruta C., Infante L., 2008, "Galaxy populations in the Antlia cluster- I. Photometric properties of early-type galaxies", MNRAS, 386, 2311
- 2.- Smith Castelli A. V., Faifer F. R., Richtler T., Bassino L. P., 2008, "Galaxy populations in the Antlia cluster- II. Compact elliptical galaxy candidates", MNRAS, 391, 685

El trabajo fotométrico presentado en esta Tesis fue llevado a cabo por la autora, con las excepciones mencionadas a continuación. El material obtenido de la literatura es mencionado en forma explícita en el capítulo correspondiente.

L. Bassino y T. Richtler son los directores de Tesis. L. Bassino y S. Cellone son los directores de la Beca Doctoral de CONICET que financió este trabajo. Las imágenes de MOSAIC y FORS1 fueron calibradas por L. Bassino y B. Dirsch. Las velocidades radiales nuevas presentadas en el Capítulo 2, fueron obtenidas por C. Aruta y L. Infante. Las velocidades radiales de tres galaxias compactas azules presentadas en el mismo capítulo, fueron medidas por S. Cellone. Los datos fotométricos correspondientes a las imágenes de ACS, así como los mapas de color y las máscaras unsharp de las galaxias cE presentados en el Capítulo 3, fueron obtenidos por F. Faifer. El también ha medido, a partir de espectros de GEMINI-GMOS, las nuevas velocidades radiales presentadas en el Capítulo 4. Ambos trabajos publicados fueron escritos en su mayor parte por la autora de esta Tesis, quien también ha confeccionado la totalidad de los gráficos.

Agradecimientos

A Lilia y a Tom, por la confianza y la paciencia.

A Sergio y a Favio, por su colaboración y apoyo.

A Juan Carlos, por haberme acompañado en momentos particularmente difíciles.

Al Dr. Arnal, por haber escuchado y comprendido.

A CONICET, por el otorgamiento de las becas que financiaron esta Tesis.

Al IALP y a la FCAGLP, por el lugar de trabajo.

Al jurado de esta Tesis, por el tiempo invertido en la evaluación de la misma.

A los amigos, por haber estado junto a mí.

A Eleonora y a Favio, por haberme acompañado y soportado incondicionalmente.

Índice general

Resumen	I
Trabajos publicados	III
Agradecimientos	IV
1. Introducción	1
1.1. Grupos y cúmulos de galaxias	1
1.2. El cúmulo de Antlia	6
1.3. Esta Tesis	9
2. Propiedades fotométricas de las galaxias de tipo temprano	11
3. Candidatas a galaxias de tipo elíptica compacta	13
4. Galaxias enanas nuevas en Antlia	15
4.1. Introducción	15
4.2. Datos	16
4.2.1. Observaciones	16
4.2.2. Fotometría y medición de nuevas velocidades radiales .	18
4.3. La muestra de galaxias	19
4.3.1. Miembros confirmados de Antlia del catálogo FS90 . .	19
4.3.2. Galaxias Enanas Nuevas	21
4.3.3. Ubicación espacial proyectada de las galaxias	24
4.4. Revisión de las propiedades fotométricas de las galaxias de tipo temprano	25
4.4.1. La Relación Color-Magnitud	25
4.4.2. La Relación Luminosidad- $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$	26
4.4.3. La Relación Luminosidad-Metalicidad	26
4.5. Discusión y conclusiones	27
4.5.1. Nuevos Datos	27
4.5.2. Ubicación espacial proyectada	27

4.5.3. Relación Color-Magnitud	28
4.5.4. Relación Luminosidad- $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$	30
4.5.5. Relación Luminosidad-Metallicidad	32
5. Resumen y Conclusiones	50

Índice de figuras

4.1. Imagen R del campo de CTIO-MOSAIC mostrando la ubicación de cuatro campos de VLT-FORS1 utilizados para chequear la identificación de nuevas galaxias.	39
4.2. Imágenes R en escala logarítmica de las galaxias de FS90 con nuevas velocidades radiales.	40
4.3. Imágenes R en escala logarítmica de nuevos miembros de Antlia.	41
4.4. Imágenes R en escala logarítmica de nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia, para las cuales fue posible calcular parámetros fotométricos.	42
4.5. Imágenes R en escala logarítmica de nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia sin parámetros fotométricos	44
4.6. Ubicación espacial proyectada en el campo de MOSAIC, de la muestra de galaxias del Capítulo 4 y de los miembros de tipo temprano presentados en el Capítulo 2.	46
4.7. Diagrama color–magnitud de los miembros definitivos de Antlia más las galaxias candidatas enanas.	47
4.8. Diagrama de magnitudes T_1 contra brillo superficial efectivo medio para los miembros definitivos de Antlia más las nuevas galaxias candidatas.	48
4.9. Relación M_V contra $[\text{Fe}/\text{H}]$ para los miembros definitivos de Antlia más las nuevas galaxias candidatas.	49

Índice de cuadros

4.1. Galaxias de FS90 con nuevas velocidades radiales obtenidas a partir de espectros GEMINI-GMOS	34
4.2. Nuevas galaxias enanas miembro del cúmulo de Antlia	35
4.3. Nuevas galaxias candidatas situadas en la región central del cúmulo de Antlia.	36
4.4. Resultados de los ajustes de mínimos cuadrados $T_{10} = a + b \cdot (C - T_1)_0$ realizados a la RCM corregida por extinción y absorción de los miembros definitivos de Antlia de tipo temprano.	38

Capítulo 1

Introducción

1.1. Grupos y cúmulos de galaxias

Los grupos de galaxias son estructuras gravitacionalmente ligadas que cuentan con menos de 30 galaxias más brillantes que $m_3 + 2$, donde m_3 es la magnitud del tercer miembro más brillante del cúmulo, dentro de un radio central de $\sim 1.5 h^{-1}$ Mpc (Abell 1958). Tienen tamaños típicos de $1.4 h^{-1}$ Mpc, y las galaxias miembros presentan dispersiones de velocidades de ~ 150 km s $^{-1}$, y relaciones masa-luminosidad de $\sim 260 h M_{\odot}/L_{\odot}$ (Carroll y Ostlie 1996, y referencias allí citadas). Los grupos detectados a través de rayos X muestran luminosidades de $L_X = 10^{41} - 10^{43}$ erg sec $^{-1}$ (O'Sullivan y Vrtilek 2007), y las temperaturas del gas se encuentran en el rango $kT = 0.1 - 3.0$ keV (Rasmussen y Ponman 2007). Sus masas son superiores a $\sim 10^{12.5} h^{-1} M_{\odot}$ (Eke 2007).

Los grupos de galaxias pueden ser divididos en cuatro clases (Zabludoff 2007). Los grupos tales como NGC 533 tienen masas totales de $\sim 10^{14} M_{\odot}$ y halos de rayos X simétricos y luminosos, coincidentes con una galaxia central brillante de tipo elíptica (E). También presentan fracciones de galaxias brillantes de tipo temprano comparables con aquellas encontradas en cúmulos de galaxias ricos. Los grupos de características similares al Grupo Local, por su parte, son menos masivos en un factor 10–100, no son luminosos en rayos X y no presentan galaxias de tipo temprano entre los sistemas más brillantes.

Existen grupos intermedios entre estas dos clases, como ser HCG 90. Sus masas son del orden de $10^{13} M_{\odot}$, son calientes, el gas que emite en rayos X no está relajado o centrado en una galaxia, y sus galaxias más brillantes se encuentran interactuando con sistemas de tipo tardío. La cuarta clase engloba a los denominados grupos fósiles, en los cuales se tiene una galaxia E gigante sumergida en un halo de rayos X extendido.

Los cúmulos de galaxias son sistemas gravitacionalmente ligados que contienen al menos 30 galaxias más brillantes que $m_3 + 2$, donde m_3 es la magnitud del tercer miembro más brillante del cúmulo, dentro de un radio central de $\sim 1.5 h^{-1}$ Mpc (Abell 1958). Tienen masas típicas de $\sim 1 \times 10^{15} h^{-1} M_{\odot}$ (Sarazin 1988, y referencias allí citadas). Las galaxias pertenecientes a cúmulos muestran dispersiones de velocidades de 800 km s^{-1} , incluso excediendo los 1000 km s^{-1} en cúmulos ricos. La relación masa-luminosidad es de aproximadamente $400 h M_{\odot}/L_{\odot}$ (Carroll y Ostlie 1996, y referencias allí citadas). Constituyen las fuentes de rayos X más importantes del Universo, presentando luminosidades de $\sim 10^{43} - 10^{45} \text{ erg seg}^{-1}$. El origen de esta radiación se encuentra en la emisión térmica del gas intracúmulo difuso y caliente, debida a la emisión libre-libre o bremsstrahlung.

Los cúmulos de galaxias pueden ser clasificados como regulares o irregulares, dependiendo de su morfología y sus poblaciones de galaxias (Sarazin 1988, y referencias allí citadas). Los cúmulos irregulares muestran un fuerte subaglomeramiento, no tienen concentraciones centrales significativas y su población de galaxias consiste principalmente de galaxias espirales (S). Por el contrario, los cúmulos regulares muestran una distribución espacial de galaxias suave y concentrada centralmente, con sólo unas pocas galaxias de tipo tardío.

Una clasificación comúnmente utilizada para cúmulos de galaxias es la dada por Bautz y Morgan (1970), la cual depende de la cantidad y el tipo morfológico de las galaxias más brillantes de un cúmulo. Un sistema de Bautz-Morgan Tipo I presenta sólo una galaxia central dominante (cD). El tipo morfológico de las galaxias más brillantes en un cúmulo de Tipo II es intermedio entre cD y E gigante normal. Un cúmulo de galaxias Tipo III no muestra galaxias dominantes.

A partir de imágenes en rayos-X, Forman y Jones (1982) clasifican los cúmulos de galaxias como tempranos o tardíos, dependiendo de la distribución global de la emisión en rayos X, y vinculan estas distribuciones a sus estados evolutivos. Los cúmulos de tipo temprano muestran brillos superficiales en rayos X irregulares, con pequeños picos asociados con galaxias individuales del cúmulo. Sus luminosidades y temperaturas son bajas, y son ópticamente irregulares. En la clasificación Bautz-Morgan, estos cúmulos suelen ser de Tipo II o III, presentan bajas dispersiones de velocidades, y son además ricos en galaxias S.

Los cúmulos de tipo tardío muestran estructuras regulares y centralmente concentradas en rayos X (Sarazin 1988, y referencias allí citadas). Los picos que muestran en rayos X se encuentran vinculados únicamente a las galaxias dominantes. Estos cúmulos presentan altas temperaturas y luminosidades, y son ópticamente regulares y simétricos. Usualmente son de Tipo I en la

clasificación de Bautz-Morgan, y presentan altas concentraciones centrales de galaxias. También son pobres en galaxias S y sus dispersiones de velocidades suelen ser altas.

Los modelos cosmológicos de formación de la estructura muestran que los cúmulos de galaxias se forman a partir del colapso de perturbaciones de escalas comóviles de $\sim 10 h^{-1}$ Mpc (Borgani 2006). A escalas mayores, la dinámica gravitacional conduce el crecimiento de la estructura y los efectos del gas son despreciables (régimen lineal o levemente no lineal). A escalas menores comienzan a dominar procesos astrofísicos complejos relacionados con la formación y evolución de las galaxias, tales como supernovas y núcleos de galaxias activas. De esta manera los cúmulos de galaxias representan la transición entre estos dos regímenes, y su estudio provee de información valiosa relacionada con la cosmología, tanto a gran como a pequeña escala.

Los cúmulos de galaxias crecen a través de fusiones de grupos o cúmulos pequeños. Estas fusiones constituyen eventos extremadamente energéticos. Considerando que la masa típica de un cúmulo es de $\sim 10^{15} M_{\odot}$, cálculos dinámicos muestran que la energía almacenada en la estructura interna de estos sistemas debida a las fusiones, es del orden de $10^{63} - 10^{64}$ erg (Berrington y Dermer 2003). Una fracción importante de esta energía se disipa en el gas intracúmulo a través de shocks, conduciendo a fuertes variaciones espaciales de entropía y temperatura, así como a la aceleración de partículas relativistas. Las fusiones también originan frentes fríos, los cuales han sido descubiertos gracias a los telescopios de rayos X modernos (ej. Markevitch et al. 2000; Vikhlinin et al. 2001).

En el marco del crecimiento de la estructura por agregación jerárquica, la formación y la evolución de la estructura es conducida por las interacciones y las fusiones. Los medios densos de los grupos y los cúmulos de galaxias son sitios naturales en los que se espera que ocurran dichos fenómenos. En consecuencia, resulta natural que el estudio de las poblaciones de las galaxias en estos entornos provea claves acerca de los procesos físicos involucrados en la formación y evolución de las galaxias. Algunos ejemplos de cúmulos de galaxias cercanos bien estudiados son Virgo, Fornax, Perseo y Coma. Se resumen a continuación las principales características de estos cúmulos, las cuales resultarán de importancia en los próximos capítulos en los que se analizan relaciones fotométricas presentadas por ellos.

Virgo: Este es un cúmulo de galaxias irregular situado a una distancia de ~ 20 Mpc. Consiste de al menos tres subestructuras centradas, respectivamente, en M87, M86 y M49 (Binggeli 1999). A pesar de que M87 es usualmente considerada como la galaxia dominante de Virgo, no es la galaxia más brillante del cúmulo (M49 es levemente más brillante), ni tampoco su galaxia

central. Un enorme jet emana del centro de M87, el cual se piensa que es gas que forma un remolino en torno de un agujero negro masivo central (Junor, Biretta y Livio 1999).

Existe una doble estructura o conglomerado de galaxias en la región central de Virgo, siendo M87 el centro del más masivo ($\sim 10^{14} M_{\odot}$), tal y como se ve en las imágenes de rayos X del cúmulo (Binggeli 1999). El subcúmulo central menos masivo se encuentra dominado por M86, y parece estar cayendo hacia la subestructura dominada por M87, con una velocidad relativa de $\approx 1500 \text{ km s}^{-1}$.

Virgo consiste de aproximadamente 250 galaxias brillantes y más de 2000 más pequeñas (Carroll y Ostlie 1996, y referencias allí citadas). Las galaxias de tipo E representan sólo el 19% de las galaxias más brillantes del cúmulo, mientras que las S dominan la población de galaxias, comprendiendo el 68% de los miembros más brillantes. Sin embargo, un número aproximadamente igual de S y enanas elípticas (dE) se ubican en la región central, con un número creciente de E hacia el centro .

La distribución proyectada de miembros de Virgo muestra que las galaxias de tipo tardío se encuentran mucho más dispersas que las de tipo temprano, independientemente de sus luminosidades (Binggeli 1999). La subestructura dominada por M49 es muy rica en galaxias S e irregulares (Irr), a diferencia de lo que sucede con las correspondientes a M86 y M87. Las galaxias E y S0 trazan el eje del cúmulo, el cual es a su vez coincidente con la dirección proyectada del jet de M87. Tanto M86 como M87 son los centros de un conglomerado de galaxias dE, el cual muestra una distribución elongada en la dirección proyectada del jet, esto es, en la dirección de la línea que conecta M86 con M87.

Fornax: Ferguson (1989) ha definido a este cúmulo como una *“pequeña pero densa concentración de galaxias de tipo temprano dominada, cerca de su centro, por NGC 1399, una galaxia E0 luminosa con un halo extendido y una extensa colección de cúmulos globulares, y cerca de las periferias, por NGC 1316, una galaxia brillante que muestra cáscaras de polvo, asociada con la radio-fuente Fornax A”*. Este autor ha encontrado un cociente $dE + dS0/E + S0$ de 4.65 ± 1.07 dentro de 1.7 el radio de core central de Fornax, lo cual es similar a lo encontrado dentro de 1.7 el radio de core central de Virgo (6.84 ± 0.87).

Drinkwater, Gregg y Colless (2001) han identificado dos componentes dinámicas en el cúmulo de Fornax: el cúmulo principal, centrado en NGC 1399, y un subcúmulo ubicado hacia el sudoeste, alrededor de NGC 1316. Dicho subcúmulo sería un sitio de formación estelar, y se encontraría cayendo hacia el núcleo del cúmulo principal. Drinkwater y colaboradores sugieren que la

población de galaxias enanas de Fornax se encuentra dominada por objetos que se encuentran cayendo hacia el cúmulo, mientras que la población de galaxias gigantes se encontraría virializada. Esto sería así ya que las galaxias enanas muestran una distribución espacial más extendida, así como una dispersión de velocidades mayor, que las galaxias gigantes. La masa del cúmulo dentro de un radio proyectado de 1.4 Mpc sería de $\sim 7 \times 10^{13} M_{\odot}$.

Perseo: Se lo considera un cúmulo de Bautz-Morgan de Tipo II-III, ubicado a una distancia de 77 Mpc (Conselice, Gallagher y Wyse 2002, y referencias allí citadas). Muestra una de las más altas dispersiones de velocidades interna para esta clase de sistemas ($\sigma = 1260 \text{ km s}^{-1}$), y su galaxia central, NGC 1275 (Perseo A), es una intensa radio-fuente. Perseo es uno de los cúmulos más brillantes en rayos X ($L_X = 5 \times 10^{44} \text{ erg sec}^{-1}$, Forman y Jones 1982). Brunzendorf y Meusinger (1999) han encontrado que el 50% de las galaxias ubicadas en un campo central de $3.3 \times 3.3 \text{ grados}^2$ son galaxias S. Sin embargo, la población de galaxias de la región más interna de este cúmulo ($r \lesssim 30'$), se encuentra fuertemente dominada por galaxias de tipo E y S0. Estos autores también han identificado distintos centros para las galaxias S+Irr y para el conjunto de E+S0.

Coma: Este cúmulo se diferencia de Virgo y Perseo en su forma regular y aproximadamente esférica, así como también en la casi total ausencia de galaxias de tipo S (Biviano 1998, y referencias allí citadas). Se cree que Coma contiene del orden de 10.000 galaxias, mayoritariamente del tipo dE. Sólo el 15% de sus 1000 galaxias brillantes son del tipo S o Irr. En su centro se ubican dos galaxias cD extensas y brillantes: NGC 4874 y NGC 4889 (Carroll y Ostlie 1996, y referencias allí citadas). La masa de este cúmulo se estima del orden de $2 \times 10^{15} M_{\odot}$, y su relación masa-luminosidad, de aproximadamente $M/L \sim 160 M_{\odot}/L_{\odot}$. La dispersión de velocidades se calcula que es $\sim 1200 \text{ km s}^{-1}$. Las galaxias brillantes y débiles muestran distribuciones radiales diferentes, estando las galaxias más brillantes más concentradas. Entre las galaxias enanas, las dE siguen la misma distribución que las E gigantes, mientras que no se observan enanas esferoidales (dSph, según sus siglas en inglés) en el centro del cúmulo. Además, las galaxias débiles trazan un cúmulo más regular que las galaxias brillantes, dado que el efecto del subaglomeramiento es más fuerte en estas últimas (Biviano 1998, y referencias allí citadas). Estudios recientes realizados en rayos X han mostrado que Coma presenta una temperatura de $T = 8.2 \text{ keV}$ (Lutovinov et al. 2008).

1.2. El cúmulo de Antlia

El cúmulo de galaxias de Antlia (ACO S636, Abell et al. 1989) se encuentra ubicado entre el tercer y cuarto cuadrante Galáctico, no muy lejos del plano Galáctico ($l \simeq 270^\circ$, $b \simeq 20^\circ$). A pesar de ser el tercer cúmulo rico más cercano a nosotros después de Virgo y Fornax, su contenido de galaxias se mantuvo prácticamente inexplorado hasta la realización del presente estudio.

Antlia fue descrito por Sandage (1975) como un *“pequeño y hermoso grupo dominado por dos galaxias de tipo E igualmente brillantes, NGC 3258 y NGC 3268”*. Su población de galaxias está constituida por *“unas pocas galaxias S entre sus E y S0”*, con algo de enrojecimiento ($E(B - V) \simeq 0.1$) evidenciado por *“los colores (B - V) más rojos de lo normal de NGC 3258 y NCG 3268”*.

Hopp y Materne (1985, de aquí en más HP85) hallaron 258 galaxias en el área que ellos denominaron *“Antlia region”*, delimitada desde $10^{\text{h}}00^{\text{m}}$ hasta $10^{\text{h}}50^{\text{m}}$, y desde -42° hasta -30° . Entre los seis sistemas de galaxias ubicados en esta región, estos autores identificaron al cúmulo de Antlia (Antlia II en su catálogo) como el pico principal ubicado en 2900 km s^{-1} en la distribución de velocidades, centrado en $10^{\text{h}}27^{\text{m}} - 35^{\circ}6'$.

A partir de nuevas mediciones de velocidades radiales, sumadas a las que se encontraban disponibles en la literatura al momento de su investigación, HP85 estimaron una velocidad radial media de $2718 \pm 171 \text{ km s}^{-1}$ para la población E/S0 de Antlia, con una dispersión de 591 km s^{-1} . Para las galaxias de tipo tardío (esto es, galaxias de tipo S) estos autores obtuvieron una velocidad radial media de $3058 \pm 140 \text{ km s}^{-1}$ con una dispersión de 444 km s^{-1} .

La distribución de la densidad superficial de galaxias reveló que Antlia es extremadamente elongado. A partir de la distribución de velocidades de sus galaxias, HP85 concluyeron que no existían indicios de que el cúmulo de Antlia mantuviera su elongación por rotación. Con respecto a la distribución espacial de las diferentes poblaciones de galaxias, HP85 hallaron que las galaxias de tipo temprano tienden a formar el núcleo del cúmulo, mientras que las de tipo tardío definen un halo más extendido. Además, HP85 sugirieron que Antlia es un sistema ligado que es parte del supercúmulo de Hydra I-Centaurus, y estimaron una masa virial del orden de $10^{14} M_\odot$.

El estudio más extenso y reciente de la población de galaxias del cúmulo de Antlia, fue el realizado por Ferguson y Sandage (1990, de aquí en más FS90). A través de la inspección visual de placas fotográficas, estos autores identificaron 375 galaxias con un diámetro isofotal límite de 15 arcsec, dentro de un área de $\sim 8 \text{ Mpc}^2$. Estas galaxias se encuentran listadas en su Catálogo del Grupo de Antlia el cual provee, entre otros datos, un estatus de pertenen-

cia (1. miembro definitivo, 2. miembro probable, 3. miembro poco probable) y una clasificación morfológica para cada galaxia. El estatus de pertenencia fue asignado, principalmente, en base a criterios morfológicos, esto es, por el brillo superficial presentado por el objeto, la identificación de grumos o estructuras internas, y por la clase de luminosidad en el caso de las galaxias de tipo tardío (Binggeli, Sandage y Tammann 1985). Esto se debe a que al momento de la confección del catálogo, sólo el 6% de las galaxias incluidas en él contaban con datos de velocidades radiales.

FS90 confirmaron la estructura elongada de Antlia, y notaron además dos concentraciones principales en su distribución de galaxias. Calcularon un tiempo de cruce mucho menor que el tiempo de Hubble, confirmando que Antlia es un sistema ligado. Estos autores también mostraron que la densidad central de galaxias en Antlia es un factor 1.4 mayor que en Fornax, y 1.7 mayor que en Virgo. El módulo de distancia adoptado por estos autores fue $(m - M) = 34.1$, el cual se traduce en una distancia de 66.1 Mpc (Tammann y Sandage 1985).

Ferguson y Sandage (1991, de aquí en más FS91) examinaron las fracciones de tipos morfológicos en Antlia. Estimaron que para las galaxias más brillantes que $M_B = -14.5$ mag, Antlia es mucho más rico en sistemas dE (38.9%) que Virgo (16.1%) y Fornax (12.5%). Por su parte, es más pobre en dE nucleadas (dE,N, 14.9%), siendo las fracciones en Virgo y Fornax similares entre sí (27.3% y 26.9%, respectivamente). Las galaxias de tipo tardío (Sa, Scd, Sd y Im) son también menos abundantes en Antlia (21.9%) que en estos dos cúmulos (Virgo=32.1% y Fornax=25.3%). Con respecto a las galaxias de tipo temprano brillantes (E y S0), Antlia es más rico (17.2%) que Virgo (13.6%) pero más pobre que Fornax (22.5%).

Para las galaxias más brillantes que $M_B = -15.5$ mag, FS91 encontraron que Antlia presenta un cociente entre tipos morfológicos tempranos y tardíos mayor (2.21) que Fornax (1.88) y Virgo (1.50), y un cociente entre galaxias enanas y gigantes de tipo temprano de 1.56, intermedio entre los hallados en Virgo (2.12) y Fornax (1.03). El cociente Im/Sp en Antlia, por su parte, sería marcadamente superior (2.46) en comparación con los valores correspondientes a estos dos cúmulos (Fornax=0.82 y Virgo=0.65).

FS91 concluyeron de su análisis que si las proporciones anteriormente mencionadas son reales y no se deben, por ejemplo, a efectos de selección, impondrían fuertes condiciones de contorno a las teorías de formación de galaxias. Las fusiones de enanas y gigantes podrían disminuir la población de galaxias de baja luminosidad en los grupos con bajas dispersiones de velocidades, y los encuentros tidales entre galaxias en los grupos y cúmulos ricos podrían generar estructuras residuales que colapsen para formar galaxias enanas. En consecuencia, estos porcentajes proveerían algunas pistas acerca de

los principales procesos que se encuentran en acción en dichos entornos.

A partir de observaciones en rayos X efectuadas con ASCA, Pedersen, Yoshii y Sommer-Larsen (1997) determinaron una masa virial de $1.7 \times 10^{13} M_{\odot}$ para el “grupo de NGC 3258”. Ellos también identificaron una emisión difusa que se extendería hacia “el cúmulo pobre dominado por NGC 3268”. Estos autores estimaron que la temperatura y la abundancia de metales del grupo de NGC 3258, se encuentra dentro de los rangos $kT = 1.6 - 1.9$ keV y $Z = 0.09 - 0.11 Z_{\odot}$, respectivamente. Notaron además que, a pesar de que la abundancia de elementos pesados es tan baja como la hallada en otros grupos de galaxias, la temperatura era más alta. A partir de su análisis, Pedersen y colaboradores concluyeron que este grupo posee un potencial gravitatorio lo suficientemente profundo como para evitar la remoción significativa de masa del sistema.

Nakazawa et al. (2000) efectuaron un estudio de la región central del cúmulo de Antlia a través de observaciones obtenidas con ROSAT y ASCA. Estos autores mencionan en su trabajo que Antlia se encuentra dominado por dos galaxias E de igual brillo, NGC 3268 y NGC 3258, aunque la primera es usualmente considerada como la galaxia central del cúmulo. Ellos consideran que NGC 3268 no es una galaxia de tipo cD dado que, dentro de un radio de $\sim 100 h_{75}^{-1}$ kpc en torno a ella, existen tres galaxias cuyas luminosidades en la banda B son sólo un factor ~ 2 más débiles que la mostrada por NGC 3268.

Nakazawa y colaboradores encuentran que Antlia es “el ejemplo más cercano de un cúmulo pobre que no muestra, o muestra muy poco, exceso de emisión central”. En el perfil de brillo en rayos X, ellos detectan un pico que es coincidente con la ubicación de NGC 3268. Estos autores consideran que este pico se encuentra situado en el centro del material intracúmulo. En las imágenes de ROSAT notan, además, extensiones en la emisión que se encuentran elongadas en dirección a NGC 3258. Nakazawa y colaboradores señalan en su trabajo que el grupo delineado en torno a NGC 3258 podría ser un subgrupo del cúmulo de Antlia.

A partir del estudio de la temperatura del medio intracúmulo, Nakazawa y colaboradores concluyen que Antlia es un cúmulo pobre, casi isoterma en la región acotada por $r < 22.5'$, con una temperatura de 1.96 ± 0.03 keV, y una luminosidad de $3.4 \times 10^{42} h_{75}^{-2}$ erg sec $^{-1}$. Encuentran que la metalicidad es $Z \sim 0.35 Z_{\odot}$, y calculan una masa de gas de $6.5 \times 10^{11} h_{75}^{-5/2} M_{\odot}$ y una masa gravitacional total de $1.9 \times 10^{13} h_{75}^{-1} M_{\odot}$, ambas dentro de $250 h_{75}^{-1}$ Kpc.

Los estudios más recientes relacionados con el cúmulo de Antlia se refieren a los sistemas de cúmulos globulares (CG) de NGC 3258 y NGC 3268 (Dirsch, Richtler y Bassino 2003; Bassino, Richtler y Dirsch 2008). Ellos muestran que la distribución de colores de estos cúmulos es bimodal, presentando una sub-

población de cúmulos “azules” (pobres en metales) y otra subpoblación de cúmulos “rojos” (ricos en metales). Por el contrario, los CGs más brillantes presentan distribuciones de colores unimodales. Los perfiles radiales de densidad muestran que los CGs rojos siguen los perfiles de brillo de las galaxias que los alojan. El análisis de la distribución azimutal de los CGs alrededor de cada galaxia, así como la fotometría superficial de las mismas, muestra que los sistemas de CGs y las galaxias mismas son elongados y se encuentran alineados en una misma dirección, paralela a la de un eje imaginario que une las dos galaxias.

1.3. Esta Tesis

En esta Tesis presentamos los resultados iniciales de un proyecto a largo plazo cuyo objetivo es realizar el primer estudio fotométrico y espectroscópico a gran escala, de las poblaciones de galaxias pertenecientes al cúmulo de Antlia. La misma se encuentra organizada como se detalla a continuación.

En el Capítulo 2 presentamos el contenido del trabajo previamente publicado en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* titulado “*Galaxy populations in the Antlia cluster. I- Photometric properties of early-type galaxies*” (Smith Castelli et al. 2008a). En este trabajo se presenta la primer relación color–magnitud (RCM) de las galaxias de tipo temprano ubicadas en la región central del cúmulo de Antlia. La misma fue obtenida a partir de fotometría CCD de gran campo en el sistema fotométrico de Washington, así como también de velocidades radiales nuevas medidas en espectros obtenidos con la cámara IMACS de los telescopios MAGALLANES. También analizamos la relación luminosidad–brillo superficial efectivo (μ_{eff}) de las galaxias de tipo temprano de Antlia, y la existencia de una relación luminosidad–metalicidad entre miembros confirmados del cúmulo y galaxias candidatas a serlo.

En el Capítulo 3 presentamos el contenido del trabajo recientemente publicado en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* titulado “*Galaxy populations in the Antlia cluster. II- Compact elliptical galaxy candidates*” (Smith Castelli et al. 2008b). El mismo corresponde al análisis fotométrico de cuatro galaxias clasificadas como candidatas a ser del tipo elíptica compacta (cE, según sus siglas en inglés) en el catálogo del Grupo de Antlia de FS90. Hasta el momento sólo se conocen 6 objetos confirmados de este raro tipo. Para las cuatro candidatas a cE de FS90, hemos obtenido sus perfiles de brillo y color, así como también sus parámetros estructurales. Hemos también analizado sus mapas de color y máscaras de tipo unsharp con el fin de obtener información acerca de su estructura interna.

En el Capítulo 4 presentamos un catálogo de 39 galaxias candidatas a ser miembros de Antlia de tipo dE y dSph, más 5 miembros nuevos espectroscópicamente confirmados. Todos ellos fueron seleccionados a través de una inspección visual de las imágenes de Antlia con las que contamos. También presentamos nuevas velocidades radiales medidas a partir de espectros obtenidos con GEMINI-GMOS. Mostramos la ubicación de estas nuevas galaxias en los diagramas color-magnitud, luminosidad- μ_{eff} y luminosidad-metalicidad previamente presentados en el Capítulo 2. Analizamos, además, la ubicación espacial proyectada de las nuevas galaxias y de los miembros confirmados de Antlia, comparándola con los mapas de rayos-X del cúmulo y con la distribución proyectada de los cúmulos globulares de las dos galaxias dominantes.

En el Capítulo 5 presentamos un resumen de la Tesis y nuestras conclusiones.

Capítulo 2

Propiedades fotométricas de las galaxias de tipo temprano

En este capítulo presentamos la primer relación color–magnitud (RCM) de las galaxias de tipo temprano ubicadas en la región central del cúmulo de Antlia. La misma fue obtenida a partir de fotometría CCD de gran campo, en el sistema fotométrico de Washington. Para 93 galaxias (esto es, la muestra de galaxias más extensa estudiada hasta el momento en el sistema de Washington) del catálogo de Antlia de FS90, se obtuvieron colores $(C - T_1)$ y magnitudes T_1 integrados, así como también radios efectivos y brillos superficiales efectivos medios. La pertenencia o no al cúmulo de Antlia de 37 objetos, pudo ser determinada a partir de velocidades radiales nuevas y de datos obtenidos de la literatura. El diagrama color–magnitud resultante muestra que las galaxias de tipo temprano de FS90 que son miembros espectroscópicamente confirmados de Antlia, y aquéllas que fueron consideradas como miembros definitivos del cúmulo por FS90, siguen una relación muy bien definida, con baja dispersión, que se extiende a lo largo de 9 magnitudes en brillo, sin cambio aparente en su pendiente. Esta relación es muy estrecha en toda su extensión aunque las galaxias de tipo S0 muestran una dispersión mayor. Antlia muestra una pendiente de -13.6 en un diagrama T_1 versus $(C - T_1)$, en buen acuerdo con los resultados encontrados para otros cúmulos como ser Fornax, Virgo, Coma y Perseo, los cuales son dinámicamente diferentes a Antlia. Este hecho podría indicar que la definición de la RCM en los cúmulos de galaxias se encuentra más relacionada con los procesos internos de las galaxias que con la influencia del medio ambiente. Si se interpreta la RCM como una relación luminosidad–metalicidad de sistemas estelares viejos, las metalicidades de las galaxias de Antlia definen una relación global hasta $M_V \approx -13$. También se encuentra que las galaxias enanas de tipo temprano no muestran una relación clara entre luminosidad y radio

efectivo, indicando la existencia de un radio efectivo medio constante de ~ 1 kpc. Este valor ha sido encontrado en varias muestras de galaxias enanas en Virgo y Coma.

La autora de esta Tesis ha redactado, en su mayor parte, el trabajo publicado que se adjunta. Así mismo, ha realizado el trabajo fotométrico, y confeccionado la totalidad de los gráficos, presentados en el mismo.

Galaxy populations in the Antlia cluster – I. Photometric properties of early-type galaxies[★]

Analía V. Smith Castelli,^{1,2†} Lilia P. Bassino,^{1,2†} Tom Richtler,^{3†} Sergio A. Cellone,^{1,2†} Cristian Aruta[‡] and Leopoldo Infante^{4†}

¹Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque, B1900FWA La Plata, Argentina

²Instituto de Astrofísica de la Plata (CONICET-UNLP)

³Departamento de Física, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

⁴Departamento de Astronomía y Astrofísica, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Santiago 22, Chile

Accepted 2008 March 7. Received 2008 March 6; in original form 2007 November 16

ABSTRACT

We present the first colour–magnitude relation (CMR) of early-type galaxies in the central region of the Antlia cluster, obtained from CCD wide-field photometry in the Washington photometric system. Integrated ($C - T_1$) colours, T_1 magnitudes, and effective radii have been measured for 93 galaxies (i.e. the largest galaxies sample in the Washington system till now) from the FS90 Antlia Group catalogue. Membership of 37 objects can be confirmed through new radial velocities and data collected from the literature. The resulting colour–magnitude diagram shows that early-type FS90 galaxies that are spectroscopically confirmed Antlia members or that were considered as definite members by FS90, follow a well-defined CMR [$\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.07$ mag] that spans 9 mag in brightness with no apparent change of slope. This relation is very tight for the whole magnitude range but S0 galaxies show a larger dispersion, apparently due to a separation of ellipticals and S0s. Antlia displays a slope of -13.6 in a T_1 versus $(C - T_1)$ diagram, in agreement with results for clusters like Fornax, Virgo, Coma and Perseus, which are dynamically different to Antlia. This fact might indicate that the build-up of the CMR in cluster of galaxies is more related to galaxies internal processes than to the influence of the environment. Interpreting the CMR as a luminosity–metallicity relation of old stellar systems, the metallicities of the Antlia galaxies define a global relation down to $M_V \approx -13$. We also find, for early-type dwarfs, no clear relation between luminosity and effective radius, indicating a nearly constant mean effective radius of ~ 1 kpc. This value is also found in several samples of dwarf galaxies in Virgo and Coma.

Key words: galaxies: clusters: general – galaxies: clusters: individual: Antlia – galaxies: dwarf – galaxies: elliptical and lenticular, CD – galaxies: photometry.

1 INTRODUCTION

It is well known that early-type galaxies in clusters and groups define a tight sequence in the colour–magnitude diagram (CMD), in the sense that more luminous ellipticals (Es) are redder than fainter ones (e.g. Baum 1959; De Vaucouleurs 1961; Visvanathan

& Sandage 1977; Bower, Lucey & Ellis 1992; Carrasco, Mendes de Oliveira & Infante 2006). Many spectroscopic studies of giant Es (e.g. Kuntschner 2000, for the Fornax cluster; Vazdekis et al. 2001, for the Virgo cluster; see also Terlevich & Forbes 2002; Chang et al. 2006) and dwarf galaxies (e.g. Carter et al. 2002; Thomas et al. 2003a; Thomas, Maraston & Bender 2003b; van Zee, Barton & Skillman 2004; Mieske et al. 2007) have shown that the colour–magnitude relation (CMR) mainly reflects metallicity effects. A reasonable explanation, which comes from an analysis of the CMR, is based on the assumption that the more luminous (massive) galaxies, capable of retaining their metal content due to their deep potential wells, can be enriched to higher levels than low-mass Es which are more sensitive to the effect of mass-loss by galactic winds and supernovae (Dressler 1984; Kodama & Arimoto 1997; Rakos et al. 2001, and references therein). In a cluster environment, tidal stripping of

[★]This paper is based on data obtained with the 4-m telescope at CTIO, Chile, with the 6.5-m Magellan telescopes at Las Campanas Observatory, Chile, and at CASLEO, operated under agreement between CONICET and the Universities of La Plata, Córdoba and San Juan, Argentina.

†E-mail: asmith@fcaglp.unlp.edu.ar (AVSC); lbassino@fcaglp.unlp.edu.ar (LPB); tom@mobydick.cfm.udec.cl (TR); scellone@fcaglp.unlp.edu.ar (SAC); linfante@astro.puc.cl (LI)

‡In memoriam.

gas and/or interaction with the intracluster medium might also play a role. See De Rijcke et al. (2005) for an account of theoretical models.

Although also early-type dwarf galaxies in clusters and groups seem to follow a well-defined CMR (Caldwell 1983; Secker, Harris & Plummer 1997; Hilker, Mieske & Infante 2003; López-Cruz, Barkhouse & Yee 2004; Carrasco et al. 2006; Mieske et al. 2007; Lisker, Grebel & Binggeli 2008), it is not yet clear whether this relation broadens towards fainter magnitudes (Conselice, Gallagher & Wyse 2002, 2003) or just extends the one followed by the Es (Adami et al. 2006; Andreon et al. 2006) with a similar slope and level of scatter. Bower et al. (1992) report that the CMR defined by the luminous early-type galaxies has the same form in the Virgo and Coma clusters, even using different colours ($U - V$, $V - K$ or $J - K$) versus the total V magnitude. Lisker, Grebel & Binggeli (2005) (see also Lisker et al. 2008) have shown that nucleated dEs in Virgo follow a tight CMR with no broadening towards fainter magnitudes, which extends to brighter Es but with a change in slope. Furthermore, these authors point out that dS0 should be considered as a separate class of dwarf galaxies in order to properly analyse CMDs.

Terlevich, Caldwell & Bower (2001) perform an (U , V) photometric study of galaxies in the Coma cluster to investigate the dependence of the slope and dispersion of the CMR on the morphology and luminosity of the galaxies, and on their environmental properties within the cluster. They find the CMR to be consistent when compared between samples of early-type galaxies with different characteristics. In particular, no variation in the CMR slope between E and S0 galaxies is detected.

However, a common and well-defined CMR of early-type galaxies over a broad magnitude range seems to be surprising, given that the chemical histories of giant Es and dwarf galaxies have supposedly been quite different. The α -element overabundance of giant Es points to post-starburst populations, rapidly enriched by type II supernovae, while the subsolar α abundances of dwarf galaxies rather speak for a continuous enrichment, which has ceased because of gas removal by galactic outflows or stripping (Thomas et al. 2003b; van Zee et al. 2004; for an alternative view, see also Köppen, Weidner & Kroupa 2007).

In this context, nearby galaxy clusters are obviously of particular interest. We have started the Antlia Cluster Project whose goal is to study the galaxy population of the Antlia cluster, which is the third nearest well-populated galaxy cluster after those of Virgo and Fornax. Despite its proximity, richness and concentration, Antlia is until now practically unexplored. It is located between the third and fourth Galactic quadrants, not too far from the Galactic plane ($l \approx 270^\circ$, $b \approx 20^\circ$).

Antlia exhibits a complex structure consisting of several subgroups, the most conspicuous ones being dominated by the giant elliptical galaxies NGC 3258 and 3268. X-ray observations showed extended emission around both subgroups (Pedersen, Yoshii & Sommer-Larsen 1997; Nakazawa et al. 2000). The gravitating masses estimated in these studies for each group are of the order of $1.9 \times 10^{13} M_\odot$ within a radius of ~ 250 kpc, i.e. similar to what is found in Fornax within the same radius. In both subgroups, the emission is concentrated towards the dominant galaxy, but extensions elongated in the direction to the other subgroup are also present. This kind of substructure depicted in X-rays suggests an ongoing merger.

Here, we shall adopt the distance modulus ($m - M$) = 32.73 given by Dirsch, Richtler & Bassino (2003), which was calculated as the mean of the distances towards the two giant Es obtained by Prugniel

& Simien (1996) and Tonry et al. (2001). According to the distance moduli estimated for both giants with the surface brightness fluctuation (SBF) method by Tonry et al., they are separated by about 3 Mpc, but this difference is not conclusive because their distance moduli as well as their radial velocities agree within the errors.

Dirsch et al. (2003) performed the first investigation of the globular cluster (GC) systems around NGC 3258 and 3268. They showed that both cluster systems are elongated in the same direction as a connecting line between the two galaxies, resembling the X-ray results. More recent results on these GC systems can be found in Harris et al. (2006) and Bassino, Richtler & Dirsch (2008), who show that the GC systems colour distributions are bimodal but the brightest GCs present a unimodal distribution. Furthermore, the red (metal-rich) GCs follow closely the galaxies' surface brightness profiles, and the estimated total GC populations are 6000 ± 150 GCs for NGC 3258 and 4750 ± 150 GCs for NGC 3268.

The photographic work of Ferguson & Sandage (1990) was the first and last major effort devoted to study the galaxy population of the Antlia cluster. They identified, by visual inspection of photographic plates, 375 galaxies that are listed in their Antlia Group Catalogue (named hereafter with the acronym FS90 plus the catalogue number). It gives, among other data, a membership status (1. definite member, 2. likely member, 3. possible member) and a morphological type for each galaxy. The membership status was mainly based on morphological criteria, i.e. surface brightness, resolution into knots and late-type galaxies' luminosity class (see Binggeli, Sandage & Tammann 1985, for more details), as only about 6 per cent of the galaxies in this catalogue had available radial velocities. They showed that the central galaxy density in Antlia is a factor of 1.4 higher than in Fornax, and 1.7 higher than in Virgo.

In this first paper of the Antlia Cluster Project, we present initial results from a photometric study, using the Washington photometric system (Canterna 1976), of 100 FS90 galaxies in the central region of the cluster. To our knowledge, this galaxy sample is the largest one studied with the Washington system till now. We also add some new radial velocities for several galaxies. In Section 2, we give information about the photometric and spectroscopic observations, as well as the data. In Section 3, we show the CMD and the surface brightness–luminosity diagram for 93 FS90 galaxies placed in the central region of Antlia. We present a discussion of our work in Section 4 and, in Section 5, our conclusions.

2 DATA AND REDUCTION

The photometric observations were performed with the MOSAIC camera (eight CCDs mosaic imager) mounted at the prime focus of the 4-m Blanco telescope at the Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO), during 2002 April 4–5. One pixel of the MOSAIC wide-field camera subtends 0.27 arcsec on the sky, which results in a field of 36×36 arcmin², about 370×370 kpc² at the Antlia distance (35.2 Mpc). The central part of the cluster has been covered by one MOSAIC field (Fig. 1), with both short and long exposures. The same material has already been used to investigate the GC systems of the dominant elliptical galaxies. Details are given in Dirsch et al. (2003).

Kron–Cousins R and Washington C filters were used. We selected the R filter instead of the original Washington T_1 as Geisler (1996) has shown that the Kron–Cousins R filter is more efficient than T_1 , as it has a better transmission at all wavelengths, and that R and T_1 magnitudes are very similar, with just a very small colour term and

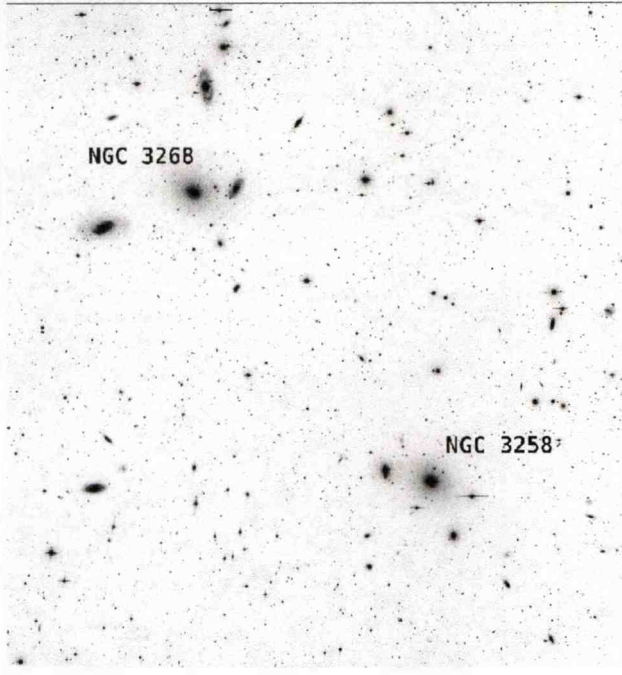


Figure 1. $C + R$ combined image of the MOSAIC field. Labels indicate the two dominant galaxies of the Antlia cluster. North is up and east is towards the left-hand side.

zero-point difference ($R - T_1 \approx -0.02$). The seeing on the R image is 1 arcsec and on the C image is 1.1 arcsec.

Medium-resolution spectroscopic observations were performed during two nights (2004 January 19–20) with the IMACS areal camera and spectrograph mounted on the Magellan I Baade 6.5-m Telescope (Las Campanas Observatory, Chile). Additional low-resolution spectra for three FS90 blue compact dwarf (BCD) candidates were obtained during the nights of 2007 March 12–13, with the REOSC spectrograph at the ‘Jorge Sahade’ 2.15-m telescope of La Plata University, Argentina. Radial velocities were measured by cross-correlation and, in the case of BCDs, by fitting bright emission lines. Details will be given in Smith Castelli et al. (in preparation).

A total of 100 galaxies from the FS90 Antlia Group Catalogue are located in our field. The brightest ones are overexposed in our long-exposure frames. To obtain colours and magnitudes for the non-overexposed FS90 galaxies, we ran SEXTRACTOR (Bertin & Arnouts 1996) on our long-exposure R frame. We considered as detection criteria 10 connected pixels above 1.5σ of the background level. A pyramidal filter was applied and the global background map used for detection was constructed by setting a mesh size of 64×64 pixel² ($\sim 17 \times 17$ arcsec²). To obtain accurate photometry, we used the local background option of SEXTRACTOR by setting rectangular annuli with widths of 24 pixels around the objects (Bertin & Arnouts 1996). We adopted MAG_AUTO, i.e. a Kron-like elliptical aperture magnitude, as a representative total magnitude of the detected objects in both filters (Nonino et al. 1999). To get ($C - T_1$) colours in a consistent manner, the corresponding C magnitudes were measured using the same coordinates and Kron-like elliptical apertures obtained from the R image.

In order to obtain integrated magnitudes and colours for faint objects that were not properly detected by SEXTRACTOR, as well as for the brightest galaxies whose centres are overexposed on the

long-exposure frames, we worked with the task ELLIPSE within IRAF (more details will be given in Smith Castelli et al., in preparation). In all these cases, we used smaller trimmed images in both filters, containing the target galaxies, and measured the background locally. Note that in the case of the brightest galaxies, the use of MAG_AUTO would have led to a severe underestimation of the light of the galaxy (Graham & Driver 2005). For fainter objects (i.e. those displaying rather exponential profiles), however, total magnitudes obtained from Kron-like elliptical apertures can be considered as representative of the total luminosity of the galaxy, as stated by Graham & Driver.

As said above, for each faint object not detected by SEXTRACTOR we have used trimmed and registered images of the same sizes in R and C filters. We estimated the sky level from the statistic provided by IMEXA. After subtracting the sky level and masking foreground stars, we run ELLIPSE on the R image. The photometry of the sky subtracted C image was obtained considering the same elliptical apertures of the R image with the aim at estimating consistent colours. Once we obtained the photometry in both filters, we corrected the sky level by constructing growth curves, i.e. we plotted the integrated flux within the elliptical apertures versus the semimajor axis of the apertures. The correction to the sky level of an image is the value for which these curves display an asymptotic flat behaviour to infinity. Therefore, we added or subtracted different constant values (smaller than 2 per cent of the original estimated level) to the integrated fluxes until we got asymptotically flat curves. These corrected fluxes provided the brightness profiles that were numerically integrated to obtain the integrated magnitudes in each filter. From these magnitudes we calculated the integrated colours.

For the galaxies with overexposed centres, we considered long and short-exposure images in both filters. We rescaled the intensities of the short-exposure images to the long-exposure ones, performed internal fits on the sky subtracted short-exposure R images and external fits on the sky subtracted long-exposure ones. We then used the corresponding elliptical apertures to perform the photometry on the sky subtracted short and long-exposure C images. To obtain the whole brightness profile in each filter, we merged the internal and external fits, and we corrected the external sky level as it had been calculated for faint objects. Again, the corrected fluxes provided the brightness profiles that were numerically integrated to obtain total magnitudes and colours.

Magnitude and colour errors were estimated using the equations given by Lisker et al. (2008) in their section 4, but omitting the last term in equation (3) (we note that this equation refers to a relative flux error). In our case, the uncertainty in the sky level determination per pixel is taken to be 8 per cent, as it is obtained from our images. Following Lisker et al., we also consider the flux uncertainty caused by the uncertainty in the semimajor axis of our elliptical apertures to be similar to that of the sky level.

The FS90 number, NGC number, J2000 coordinates, FS90 morphology and membership status, and $E(B - V)$ values for 100 FS90 galaxies are listed in Table 1 in the first seven columns. The eighth and ninth columns give the total magnitude and colour (not corrected by absorption or reddening), respectively, with errors in parenthesis. The tenth column gives the surface brightness of the limiting isophote, within which the total magnitude has been calculated. The 11th column lists the corresponding limiting radius. The 12th column gives the mean surface brightness within the effective radius (i.e. the radius containing half of the light), and the 13th column the effective radius measured in the R band. The 14th column gives the heliocentric radial velocities derived from our spectra, as well as

Table 1. FS90 galaxies in our MOSAIC field of the central Antlia region.

FS90 ID	NGC	FS90 α (2000)	FS90 δ (2000)	FS90 mor.	FS90 status	$E(B - V)$	T_1 (mag)	$(C - T_1)$ (mag)	μ_{T_1} (mag arcsec $^{-2}$)	r_{T_1} (arcsec)	(μ_{eff}) (mag arcsec $^{-2}$)	r_{eff} (arcsec)	v_r (km s $^{-1}$)	Remarks
68		10:28:03.1	-35:26:31	SBab	2	0.080	14.38 (0.01)	1.60 (0.02)	25.8	18.8	21.4	10.3	3189 \pm 80 ¹	SE
69		10:28:05.0	-35:28:55	dE	2	0.081	18.88 (0.02)	1.60 (0.04)	25.7	7.5	23.3	3.1		SE, DM
70		10:28:06.9	-35:35:20	dE	1	0.078	17.76 (0.02)	1.64 (0.04)	25.7	12.3	23.4	5.4		SE
71		10:28:07.9	-35:37:26	Sd	1	0.076	16.31 (0.01)	0.88 (0.02)	25.8	13.6	22.3	6.2		SE
72		10:28:07.9	-35:38:20	S0	1	0.075	14.39 (0.01)	1.95 (0.02)	25.7	16.9	20.4	6.4	3114 \pm 80 ¹ 2986 \pm 38 ³	SE
73		10:28:09.8	-35:43:04	dE	1	0.073	16.97 (0.01)	1.70 (0.02)	25.7	10.5	22.2	4.4		SE
75		10:28:12.0	-35:32:20	BCD?	3	0.081	17.65 (0.01)	1.01 (0.02)	25.7	4.0	20.7	1.6	12450 \pm 95 ³	SE
76		10:28:12.9	-35:35:38	dE	2	0.079	18.04 (0.01)	1.44 (0.02)	25.8	5.4	22.2	2.7	25298 \pm 45 ³	SE
77		10:28:15.1	-35:32:02	dE, N pec or Amorphous?	2	0.081	14.78 (0.01)	1.80 (0.02)	28.9	33.4	21.2	7.8	2382 \pm 49 ³	ELL, NS
78		10:28:15.8	-35:46:26	dE	1	0.076	19.36 (0.06)	2.01 (0.06)	27.4	10.8	24.5	4.3		ELL
79	3258A	10:28:19.2	-35:27:21	S0	1	0.082	13.20 (0.01)	2.09 (0.02)	27.9	50.7	19.6	7.5	2930 \pm 60 ¹ 2734 \pm 36 ³	ELL, NS
80		10:28:18.9	-35:45:28	dS0	1	0.075	13.80 (0.01)	2.08 (0.02)	28.3	46.5	19.4	5.2	2544 \pm 80 ³	ELL, NS
82		10:28:23.0	-35:29:56	S? or dS0?	3	0.082	16.22 (0.02)	2.34 (0.03)	28.7	19.8	20.8	3.3	19577 \pm 41 ¹ 19512 \pm 52 ³	ELL, DM
83		10:28:23.0	-35:30:57	S or Sm	3	0.082	16.31 (0.01)	1.45 (0.02)	25.7	11.9	21.8	5.0		SE
84		10:28:24.0	-35:31:40	E	2	0.082	13.70 (0.01)	2.04 (0.02)	28.3	42.3	19.4	5.4	2457 \pm 80 ³	ELL, NS
85		10:28:24.0	-35:34:22	dE	1	0.081	18.12 (0.04)	1.60 (0.07)	25.6	14.6	23.9	5.6		SE
87		10:28:25.2	-35:14:34	dE, N	1	0.091	15.75 (0.01)	1.87 (0.02)	25.7	16.4	22.2	7.9		SE, DM
88		10:28:28.0	-35:31:04	S or Sm	3	0.083	15.05 (0.01)	1.79 (0.02)	28.5	21.9	19.7	3.5	19659 \pm 80 ³	ELL
93		10:28:31.9	-35:40:40	SmV	1	0.075	15.96 (0.01)	0.91 (0.02)	25.8	18.7	22.7	9.0		SE
94		10:28:31.9	-35:42:21	S0	1	0.074	13.22 (0.01)	1.99 (0.02)	28.6	44.0	17.9	3.5	2826 \pm 80 ³	ELL
95		10:28:34.0	-35:31:22	dE	2	0.084	19.95 (0.04)	1.57 (0.06)	25.8	5.9	24.3	2.9		SE
98		10:28:35.0	-35:27:39	BCD	3	0.085	15.94 (0.01)	1.25 (0.02)	25.8	8.2	20.1	2.7	2890 \pm 94 ³	SE
103		10:28:45.1	-35:34:40	dE	3	0.084	19.95 (0.03)	1.57 (0.04)	25.8	4.9	23.8	2.3		SE
105	3257	10:28:48.0	-35:39:28	SB01	1	0.077	12.77 (0.01)	2.04 (0.02)	28.2	69.4	18.6	5.8	3200 \pm 26 ¹	ELL
106		10:28:51.3	-35:09:39	BCD?	3	0.098	17.10 (0.01)	0.96 (0.02)	25.8	8.7	21.6	3.1	2409 \pm 115 ³	SE
108		10:28:53.2	-35:19:12	dE, N	1	0.092	14.73 (0.02)	2.03 (0.03)	28.3	39.6	21.2	7.8	2611 \pm 39 ³	ELL, NS
109		10:28:53.0	-35:32:52	dE	2	0.087	18.99 (0.03)	1.64 (0.05)	28.0	7.6	23.1	2.6		ELL, NS
110		10:28:53.0	-35:35:34	E(M32?)	3	0.085	15.49 (0.01)	2.06 (0.02)	27.5	14.0	18.4	1.5		ELL
111	3258	10:28:54.0	-35:36:21	E	1	0.084	10.89 (0.01)	2.18 (0.02)	28.1	188.5	20.1	28.5	2792 \pm 28 ¹ 2689 \pm 50 ³	ELL
114		10:28:56.1	-35:27:39	dE	1	0.088	19.81 (0.06)	1.45 (0.08)	25.8	7.4	24.4	3.4		SE
115		10:28:57.1	-35:33:39	dE	2	0.088	19.04 (0.04)	1.64 (0.06)	25.8	8.8	24.1	4.1		SE
118		10:28:58.3	-35:09:36	dE	1	0.097	18.67 (0.06)	1.71 (0.10)	25.8	13.4	25.1	7.7		SE
120		10:29:02.1	-35:34:04	ImV	1	0.088	16.38 (0.02)	1.28 (0.02)	25.8	17.4	22.8	7.6		SE
121		10:29:02.1	-35:35:34	dE?	3	0.087	-	-	-	-	-	-		DC
123		10:29:03.1	-35:40:30	dE, N	2	0.080	16.33 (0.01)	1.71 (0.02)	25.8	12.5	21.9	5.1		SE
125	3260	10:29:06.2	-35:35:34	S02	1	0.087	12.28 (0.01)	2.12 (0.02)	27.8	66.3	19.4	10.5	2416 \pm 32 ¹ 2439 \pm 46 ³	ELL, DM
131		10:29:11.0	-35:41:24	Sb(r)	3	0.081	14.26 (0.01)	1.21 (0.02)	25.8	16.4	20.5	7.1	2104 \pm 60 ³	SE
133		10:29:12.0	-35:39:28	dE, N	1	0.083	14.63 (0.01)	1.87 (0.02)	25.8	16.5	20.6	6.4		SE
134		10:29:13.2	-35:29:24	S0	2	0.089	14.23 (0.01)	1.89 (0.02)	27.2	40.0	19.7	4.9	1355 \pm 60 ³	ELL
136		10:29:15.3	-35:25:58	dE, N	1	0.090	16.12 (0.01)	1.86 (0.02)	25.8	14.5	21.9	5.9		SE
137		10:29:15.1	-35:41:34	ImV	2	0.081	17.74 (0.02)	0.81 (0.03)	25.8	11.6	23.8	6.5		SE
140		10:29:18.2	-35:35:06	dE, N	2	0.090	16.90 (0.02)	1.88 (0.03)	25.8	14.0	23.2	7.3		SE
142		10:29:20.1	-35:35:09	dS0?	2	0.090	15.70 (0.01)	1.85 (0.02)	25.8	14.0	21.5	5.7		SE
144		10:29:22.5	-35:09:21	dE	2	0.100	19.13 (0.04)	1.56 (0.05)	25.8	8.2	24.1	4.0		SE
148		10:29:27.3	-35:24:35	dE/Im	3	0.093	-	-	-	-	-	-		NS
149		10:29:27.3	-35:27:10	S0 or dS0	3	0.091	16.95 (0.01)	2.54 (0.02)	25.8	5.7	20.5	2.1		SE, DM
153		10:29:31.4	-35:15:39	S0	1	0.101	13.24 (0.02)	1.98 (0.03)	28.4	50.4	18.7	4.9	1852 \pm 37 ¹ 1733 \pm 39 ³	ELL
154		10:29:31.4	-35:10:33	dE/ImV	1	0.102	17.78 (0.10)	1.92 (0.14)	28.2	25.5	24.4	9.5		ELL, NS
159		10:29:41.5	-35:17:31	dE, N?	1	0.100	16.12 (0.01)	1.80 (0.02)	25.8	10.5	21.4	4.5		SE
160		10:29:41.0	-35:45:36	dE	1	0.085	18.46 (0.05)	1.73 (0.09)	25.8	13.7	24.8	7.3		SE
162		10:29:43.4	-35:29:49	dE, N	1	0.091	17.06 (0.02)	1.75 (0.03)	25.8	13.8	22.9	5.9		SE
164		10:29:46.5	-35:13:22	? or dE	3	0.104	18.37 (0.04)	1.59 (0.06)	25.8	12.3	24.2	5.8		SE
165		10:29:46.0	-35:42:25	S0(M32?)	3	0.086	15.50 (0.01)	2.01 (0.02)	28.7	20.9	20.3	3.6	2605 \pm 80 ³	ELL

Table 1 – continued

FS90 ID	NGC	FS90 α (2000)	FS90 δ (2000)	FS90 mor.	FS90 status	$E(B - V)$	T_1 (mag)	$(C - T_1)$ (mag)	μ_{T_1} (mag arcsec $^{-2}$)	r_1 (arcsec)	(μ_{eff}) (mag arcsec $^{-2}$)	r_{eff} (arcsec)	v_r (km s $^{-1}$)	Remarks
166		10:29:47.5	-35:24:10	E	2	0.097	15.28 (0.02)	2.35 (0.04)	28.9	30.8	20.4	4.3	18658 \pm 99 ³	ELL
168	3267	10:29:48.4	-35:19:22	SB01/2	1	0.100	12.37 (0.01)	2.16 (0.02)	28.6	53.4	19.7	11.5	3709 \pm 33 ¹	ELL, DM
													3773 \pm 65 ³	
169		10:29:48.4	-35:25:12	E	1	0.096							3027 \pm 80 ²	GAP
													2999 \pm 37 ³	
173		10:29:51.6	-35:10:04	dE	1	0.105	13.93 (0.01)	2.04 (0.02)	27.6	33.1	19.7	5.8	2650 \pm 80 ²	ELL, NS
174		10:29:52.0	-35:46:22	? or dE, N	3	0.087	18.77 (0.02)	1.75 (0.03)	25.8	6.2	23.1	2.9		SE
175		10:29:53.5	-35:22:37	d:SB01	1	0.100	14.00 (0.01)	2.00 (0.02)	28.5	45.0	20.5	8.1	1781 \pm 66 ¹	ELL
													1766 \pm 98 ³	
176		10:29:54.4	-35:17:16	dE, N	1	0.102	17.24 (0.01)	1.71 (0.02)	25.8	10.6	22.4	4.3		SE
177		10:29:54.4	-35:19:19	dE, N	1	0.101	15.52 (0.01)	1.83 (0.02)	25.8	12.1	21.1	5.2	3559 \pm 80 ²	SE
													3505 \pm 45 ³	
178		10:29:56.4	-35:26:13	dE	3	0.096								DC
179		10:29:56.4	-35:31:40	dE?	3	0.092	18.76 (0.01)	1.84 (0.02)	25.8	4.4	22.6	2.4	56125 \pm 55 ³	SE
182		10:29:57.1	-35:42:46	dE	3	0.088	18.77 (0.03)	1.65 (0.04)	25.8	8.6	23.8	4.0		SE
184	3269	10:29:57.6	-35:13:30	S0/a	1	0.104	11.84 (0.01)	2.01 (0.02)	28.8	84.5	19.4	13.0	3754 \pm 33 ¹	ELL, DM, NS
													3753 \pm 99 ³	
185	3268	10:29:58.5	-35:19:30	E	1	0.103	10.76 (0.01)	2.23 (0.02)	27.1	192.3	20.7	39.5	2800 \pm 21 ¹	ELL
186		10:29:59.5	-35:18:10	dE	1	0.102	18.67 (0.02)	1.66 (0.03)	25.8	7.4	23.6	3.9		SE
188		10:30:02.4	-35:24:28	dE	1	0.101	18.03 (0.02)	1.78 (0.03)	25.8	8.4	23.2	4.4		SE, DM
189		10:30:02.4	-35:36:36	dE/Im	2	0.094	18.31 (0.03)	1.86 (0.04)	25.8	9.9	23.6	4.7		SE, DM
192		10:30:04.5	-35:20:31	E(M32?)	3	0.104	16.72 (0.01)	2.11 (0.02)	25.8	4.6	19.9	1.7		SE
193		10:30:04.3	-35:32:52	dE	2	0.093	19.33 (0.04)	1.37 (0.05)	25.8	7.5	23.8	3.2		SE
195		10:30:06.4	-35:18:25	dE	1	0.104	19.25 (0.04)	1.62 (0.06)	27.5	9.3	23.6	3.6		ELL, DM
196		10:30:06.4	-35:23:31	dE	1	0.104	16.51 (0.01)	1.83 (0.02)	25.6	12.7	22.4	5.9		ELL, DM
201		10:30:13.6	-35:15:54	dE	1	0.103	18.68 (0.03)	1.74 (0.05)	25.8	9.7	23.7	4.1		SE
202		10:30:15.3	-35:27:32	dE?	3	0.099	19.64 (0.03)	1.58 (0.04)	25.8	5.5	23.7	2.6		SE
203		10:30:15.0	-35:30:09	dE, N?	3	0.095	16.36 (0.01)	1.82 (0.02)	25.8	10.8	21.1	3.6		SE, 206
205		10:30:18.4	-35:24:43	dE	2	0.105	17.71 (0.01)	2.02 (0.02)	25.8	6.5	22.3	3.3		SE
207		10:30:18.4	-35:31:26	dE, N	2	0.094	15.71 (0.01)	1.88 (0.02)	25.8	10.6	20.8	4.1		SE
208		10:30:18.7	-35:11:49	S0(M32?)	1	0.103	14.85 (0.01)	1.95 (0.03)	26.1	31.1	19.8	3.9	1774 \pm 100 ²	ELL
													1768 \pm 83 ³	
209		10:30:19.4	-35:34:48	dE	2	0.096	18.09 (0.02)	1.72 (0.03)	25.8	7.8	22.8	3.4		SE
212		10:30:21.3	-35:35:31	SmIII	1	0.096	15.58 (0.01)	1.31 (0.02)	25.8	18.4	22.5	9.6		SE
213		10:30:21.6	-35:12:14	dE	2	0.102	19.16 (0.03)	1.66 (0.05)	25.8	7.3	23.7	3.3		SE
214		10:30:22.5	-35:30:32	dE, N?	2	0.095	18.71 (0.03)	1.60 (0.04)	25.8	8.2	23.5	3.7		SE, DM
216		10:30:22.5	-35:10:26	E	2	0.102	16.15 (0.01)	1.76 (0.02)	25.8	7.8	20.3	2.7	2944 \pm 103 ³	SE
217		10:30:23.2	-35:37:08	dE?	3	0.097	19.98 (0.04)	0.95 (0.05)	25.8	5.5	24.4	3.0		SE
220		10:30:24.7	-35:15:18	S0/a	1	0.102	14.16 (0.01)	1.85 (0.02)	28.3	30.3	20.7	8.1	1223 \pm 80 ²	ELL, DM
221		10:30:25.4	-35:23:38	dE	2	0.109	19.22 (0.04)	1.27 (0.05)	25.8	8.2	24.1	3.8		SE
222	3258B	10:30:25.4	-35:33:43	S0/a	2	0.095	14.15 (0.01)	1.88 (0.02)	25.8	20.9	20.9	8.9	2140 \pm 80 ²	SE
223		10:30:25.6	-35:13:19	dE, N	1	0.101								BL
224	3271	10:30:26.6	-35:21:36	SB02	1	0.108	11.13 (0.01)	2.25 (0.02)	27.3	116.5	19.4	18.4	3737 \pm 27 ²	ELL, DM
													3803 \pm 31 ³	
226	3273	10:30:29.2	-35:36:36	S0/a	1	0.097	11.84 (0.01)	2.23 (0.02)	28.4	59.4	18.8	9.8	2419 \pm 52 ¹	ELL, DM
227		10:30:31.4	-35:23:06	dE?	2	0.108	17.16 (0.01)	1.78 (0.02)	25.8	8.6	22.0	3.8		SE
228		10:30:31.6	-35:14:38	dE, N	1	0.101	17.29 (0.02)	1.78 (0.03)	25.8	12.6	22.8	5.1		SE
231		10:30:34.5	-35:23:13	dE, N	1	0.108	14.98 (0.01)	2.06 (0.02)	25.8	11.3	20.4	4.8	2931 \pm 80 ²	SE
													2909 \pm 38 ³	
235		10:30:39.6	-35:31:44	dE	3	0.097								DC
237		10:30:44.6	-35:19:12	dE, N?	2	0.102	18.25 (0.02)	1.69 (0.03)	25.8	8.3	23.1	3.6		SE, DM
238		10:30:45.6	-35:21:32	Sm	1	0.104	15.45 (0.01)	1.47 (0.02)	25.8	19.0	22.0	8.0		SE
239		10:30:47.5	-35:28:55	dE	2	0.101	18.99 (0.03)	1.52 (0.04)	25.8	7.2	23.7	3.4		SE
241		10:30:48.4	-35:32:20	dE, N	1	0.098	16.77 (0.02)	1.84 (0.03)	25.8	15.4	23.1	7.4		SE, DM

Notes: Coordinates obtained through CDS, which are calculated from FS90. FS90 status 1 refers to definite members, status 2 to likely members and status 3 to possible members. μ_{T_1} corresponds to the threshold above which SEXTRACTOR detects and measures the object (MU.THRESHOLD), or to the surface brightness of the outermost isophote for ELLIPSE. r_{T_1} is the radius that contains 90 per cent of the light for SEXTRACTOR. It is the equivalent radius ($r = \sqrt{ab} = a\sqrt{1-\epsilon}$) of the most external isophote for ELLIPSE. μ_{eff} is obtained in both cases from r_{eff} , the radius that contains one-half of the light. This radius is the output parameter HALF_LIGHT_RADIUS for SEXTRACTOR, and the equivalent effective radius for ELLIPSE. Radial velocities are from: 1 = NED, 2 = 6dF, 3 = our spectroscopic data. Remarks refers to: SE = magnitudes and colours measured with SEXTRACTOR; ELL = magnitudes and colours obtained from ELLIPSE; DM = doubtful morphology, i.e. FS90 morphology does not match our images morphology; DC = doubtful coordinates, i.e. FS90 coordinates do not clearly point to a galaxy; BL = bleeding; GAP = within a gap of the image; NS = nearby bright star; 206 = also designated FS90 206.

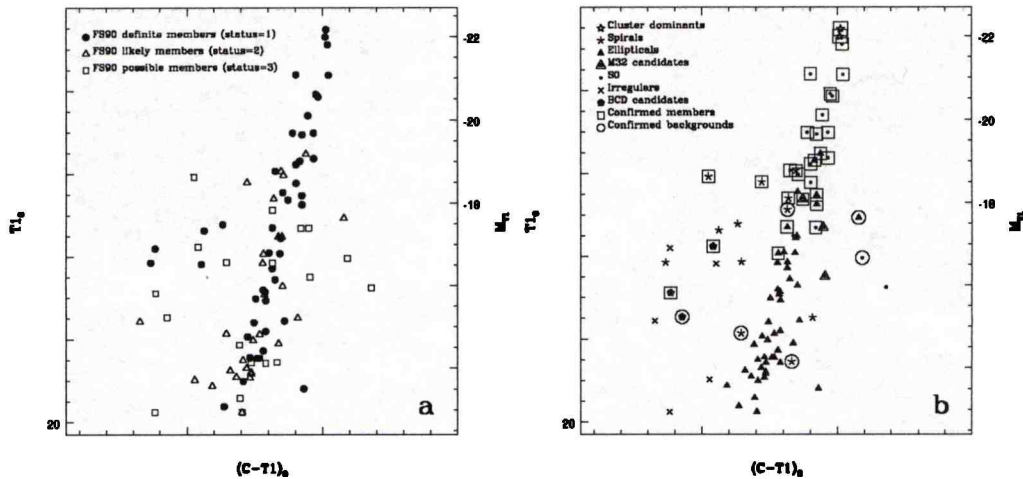


Figure 2. CMD of 93 FS90 galaxies in our central field of Antlia. T_1 magnitudes and $(C - T_1)$ colours are absorption and reddening corrected. (a) The membership status according to FS90 is shown. (b) Small symbols indicate different morphologies, and large open symbols identify spectroscopically confirmed Antlia members and background objects.

those obtained from NED,¹ and the last column shows some remarks.

Given that our sample covers a large luminosity range, it is interesting to estimate the signal-to-noise ratio (S/N) of one of the faintest and one of the brightest galaxies. For the R filter we have obtained an S/N within r_{T_1} (as defined in the notes to Table 1) of about 100 for FS90 114, and S/N $\sim 16\,000$ for FS90 185 (NGC 3269). The S/N values of the C images are between one-half and one-third of the R images.

Taking as a reference the mean radial velocities of Antlia early- and late-type galaxies given by Hopp & Materne (1985) and considering a dispersion of 3σ from these values, we will consider as Antlia members all objects with velocities in the range 1200–4200 km s⁻¹. We prefer to take relaxed membership criteria given the substructure of the Antlia cluster and its probably complex dynamics. However, we note that, with the exception of four S0 galaxies with radial velocities below 2000 km s⁻¹, early-type galaxies with known radial velocities are confined in the range 2400–3900 km s⁻¹. We point out that 14 objects had radial velocities both from the literature and from our spectroscopic data. Our values are in quite good agreement with previous measurements as we obtain $(|V_{\text{lit}} - V_{\text{ours}}|) = 63.5 \pm 55.9$ km s⁻¹.

Six galaxies out of the 100 FS90 objects present in our field have no photometric information: FS90 169 is located within a gap of the image, FS90 223 is affected by strong bleeding, FS90 148 is extremely faint and placed near a star, and three galaxies (viz. FS90 121, FS90 178 and FS90 235) have doubtful coordinates. Also FS90 203 and FS90 206 identify the same object.

3 COLOURS, MAGNITUDES AND SURFACE BRIGHTNESS

3.1 The colour–magnitude diagram

The left-hand panel of Fig. 2 plots our galaxies from Table 1 in the CMD according to their membership status given by FS90. Here

the magnitudes and colours are reddening and absorption corrected according to the relation $A_R/A_V = 0.75$ (Rieke & Lebofsky 1985). We got the A_V values by looking up the individual reddening values for the galaxies (Schlegel, Finkbeiner & Davis 1998) and using the relation $A_V = 3 E(B - V)$. To transform $E(B - V)$ into $E(C - T_1)$, we applied $E(C - T_1) = 1.97 E(B - V)$ (Harris & Canerna 1977).

In the right-hand panel of Fig. 2 we show the same galaxies, now indicating with different symbols their morphology. We distinguish spectroscopically confirmed Antlia members and background objects. We visually inspected all our FS90 objects in order to see if their morphologies match with those given by FS90. Although there is a general agreement, in a handful of cases they display doubtful morphologies (see the remarks in Table 1). In these cases they are displayed in the plots with their FS90 morphological classification. In this first analysis we are classifying galaxies simply as spirals (S), Es, S0s, BCDs and irregulars. A detailed morphological analysis will be given in a forthcoming paper.

In panel (a) we can see that almost all FS90 definite members define a quite narrow sequence. This sequence extends from the cluster dominant galaxies to the dwarf regime, with no visible change of slope and no increase in the scatter. Five deviant objects lie towards bluer colours. All are spirals or irregulars, supposedly star forming. Another object at the faint end (FS90 78, $T_1 \sim 19.2$, $(C - T_1) \sim 1.85$) shows a redder colour and is otherwise not remarkable. It is a nucleated dwarf galaxy extremely faint on the C image and its colour might not be trustworthy.

From panel (b), we see that practically all bright early-type galaxies with membership status 1 are spectroscopically confirmed members. The only elliptical which we spectroscopically confirmed as background galaxy, has membership 2 in FS90 and clearly deviates from the mean relation.

Three galaxies classified as BCD are found at intermediate brightness in the blue region. Two of them are spectroscopically confirmed Antlia members, while the faintest one is a background object. All three were considered to be status 3 members by FS90, given their morphologies. Our spectra, dominated by strong emission lines, at least confirm that they are indeed star forming.

In our field, FS90 also identified four objects as belonging to the very rare class of M32-type Es (e.g. Graham 2002; Mieske et al. 2005). One of them, rather classified as S0(M32?) (FS90 165), seems to be an S0 galaxy and it is shown with this morphology in Fig. 2.

¹ This research has made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) which is operated by the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration.

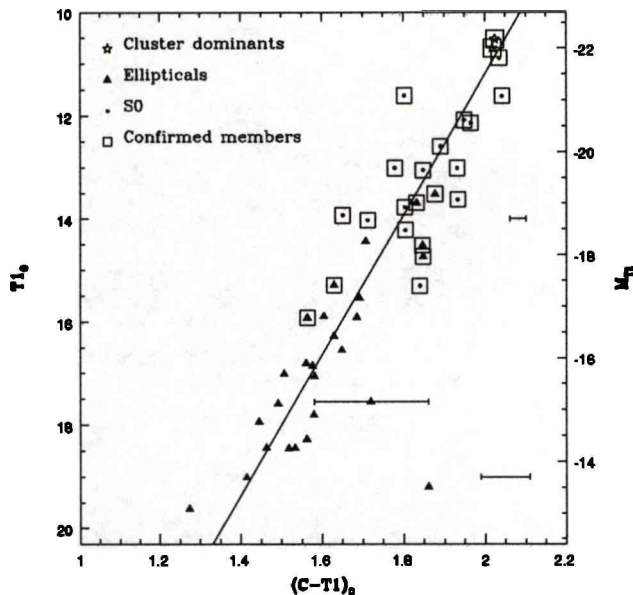


Figure 3. This plot shows only confirmed members and dwarf galaxies with a membership status of 1. The colour magnitude relation is tight for the fainter and broadens for brighter galaxies. The isolated error bars show typical colour errors corresponding to the range $10 < T_1 < 18$ (small) and $18 < T_1 < 20$ (large). We also display the error bar for the galaxy with the largest uncertainty.

Another one (FS90 208) is a confirmed member, but does not deviate strikingly from the mean CMR. The other two are too red for their brightness, or too faint for their colour, lying where background giant Es should be found. Although we have no radial velocities for them, their projected proximity to dominant Antlia galaxies, as well as their high surface brightness, lead us to consider them as M32-like candidates.

In Fig. 3 we show the positions of FS90 early-type galaxies (both E and S0) that are considered definite members of Antlia (i.e. FS90 status 1 early-type objects or galaxies that are spectroscopically confirmed members). Some galaxies are classified as SB0, and will be also included among the early-type galaxies.

We see a CMR that spans 9 mag without a perceptible change of slope. The faintest galaxies show a tight CMR, while the individual deviations among the brightest galaxies can be substantial. At the bright end, the S0 galaxies are slightly bluer on the average than the Es [$((C - T_1)_0)_{S0} = 1.91 \pm 0.09$, $((C - T_1)_0)_E = 1.94 \pm 0.10$] and display a larger dispersion about the mean relation. Without spectroscopic information one cannot interpret this difference in terms of age and/or metallicity (our medium-resolution spectra are suitable only to obtain radial velocities). However, since S0s are believed to be stripped spiral galaxies (e.g. Dressler et al. 1997), an age difference is most likely. Kuntschner (2000) has shown that, in the Fornax cluster, old stellar systems show tight scaling relations, and galaxies with young stellar populations tend to deviate from these relations. In particular, he found that S0s display luminosity-weighted ages less than those of Es, and show a considerable spread about the scaling relations.

We performed several least-squares fits to this relation, selecting the subsamples listed in Table 2. In all cases the fits were performed considering the uncertainties in both coordinates (Press et al. 1992), and rejecting the deviant faint object. From the fits we confirm that,

Table 2. Results of least-squares fits $T_{10} = a + b(C - T_1)_0$ performed to the absorption and extinction corrected CMR of early-type definite members of Antlia (i.e. early-type status 1 objects and early-type galaxies with radial velocities). The first column indicates the different samples and the second column gives the number of data points. The limit magnitude to separate bright and dwarf galaxies ($T_1 = 14$ mag) corresponds to $M_V \sim -18$ mag (Gebel 2005).

Sample	Data	a	b	$\sigma_{(C-T_1)_0}$
All definite members	43	38.4 ± 1.8	-13.6 ± 1.0	0.07
Bright definite members	15	44.6 ± 10.9	-16.8 ± 5.0	0.07
Dwarf definite members	28	40.6 ± 4.7	-15.0 ± 2.7	0.08
E definite members	28	37.8 ± 1.8	-13.3 ± 1.0	0.07
S0 definite members	15	41.8 ± 10.7	-15.4 ± 4.9	0.09

within the uncertainties, all brightest galaxies follow the same relation as the rest of the early-type galaxies.

3.2 The surface brightness–luminosity diagram

Besides colours, relations between structural parameters of galaxies can also tell us about their evolutive status, serving, at the same time, to set membership criteria. For luminous ($M_B \lesssim -20$ mag) E galaxies, the effective radius r_{eff} tends to get larger while the mean effective surface brightness (μ_{eff}) (i.e. the mean surface brightness within r_{eff}) gets fainter with increasing luminosity (e.g. Kormendy 1977).

Early-type dwarfs, however, are known to display a different trend (e.g. Ferguson & Binggeli 1994). This apparent dichotomy between low- and high-luminosity Es has been recently addressed by Graham & Guzmán (2003), who show that the general trend set by the fainter objects is broken by the very brightest Es.

Panel (a) of Fig. 4 plots T_1 versus $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ for all Antlia FS90 galaxies with their membership status indicated. As a reference we show two lines of constant effective radii, corresponding to 1.4 and 16 arcsec, obtained from the definition of mean effective surface brightness:

$$\langle \mu_{\text{eff}} \rangle = T_1 + 2.5 \log(2\pi r_{\text{eff}}^2). \quad (1)$$

Status 1 galaxies in the range $13 \lesssim T_1 \lesssim 17.5$ mag ($-19.7 \lesssim M_{T_1} \lesssim -15$) nicely follow the relation for a constant effective radius of 5.5 ± 1.7 arcsec. At the assumed Antlia distance 1 arcsec subtends 170 pc (Dirsch et al. 2003), giving a mean effective radius of 0.94 ± 0.3 kpc. Although our sample is small in the bright regime, there is a trend for the brightest galaxies to depart from the general relation, consistently with Graham & Guzmán (2003).

Status 2 galaxies are found more or less in the same regime, but status 3 galaxies are offset to brighter μ_{eff} , i.e. to smaller effective radii. This is consistent with the status assignment by FS90, i.e. more compact objects are given a lower probability of being members. Recently, Cellone & Buzzoni (2005) have confirmed a large background contamination among status 3 objects from FS90 in the NGC 5044 Group, which is at a similar distance as Antlia. A large fraction of background objects should thus be expected among status 3 galaxies in Fig. 4.

In panel (b) of Fig. 4, the morphological characteristics are indicated. The confirmed background objects are consistently found at lower r_{eff} , as expected. Early- and late-type galaxies are not clearly separated, although the latter tend to show more diffuse structures. Note also the location of the three galaxies classified by FS90 as M32-like dwarf Es. While FS90 208 follows the same trend as the

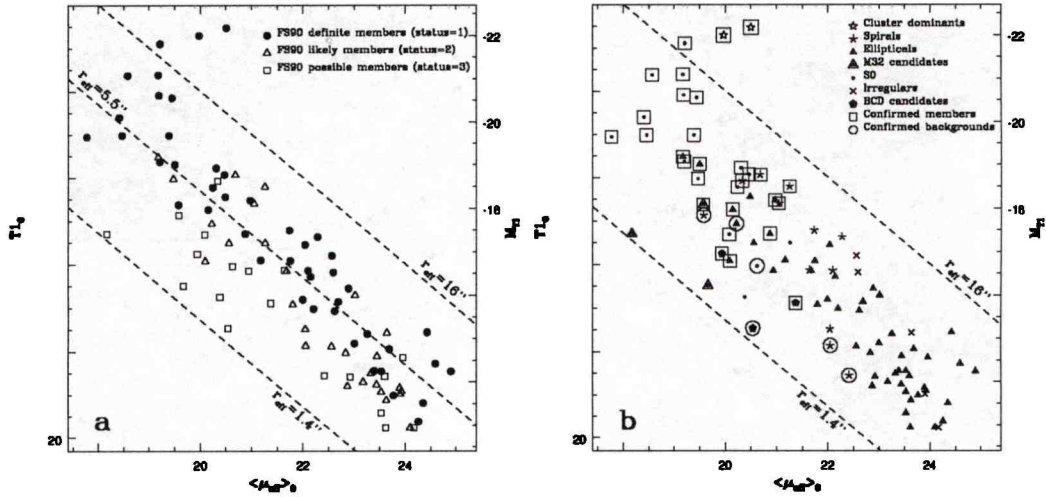


Figure 4. T_1 magnitude versus mean effective surface brightness. (a) The galaxies according to their membership status. Shown are three lines of different effective radius, the middle line indicating the mean value for galaxies fainter than $T_1 = 13$ mag. On the average, less likely members are displaced towards smaller effective radii. Status 2 members scatter around a constant effective radius. (b) The different morphologies are indicated. Two M32-like candidates and one background blue compact galaxy set the lowest limit in effective radii of our sample.

normal early-type galaxies, our M32-like candidates depart towards fainter magnitudes or higher surface brightness.

4 DISCUSSION

4.1 Surface brightness and effective radius

Fig. 4 shows that the mean relation between T_1 and $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ is to a good approximation the locus of a constant mean r_{eff} . In other words, the mean r_{eff} is largely independent from luminosity. As a comparison, the Virgo dwarf galaxy sample by Binggeli & Cameron (1991), for example, exhibits the scaling law (see also Ferguson & Binggeli 1994) $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle = 0.75M_B + 35.3$, meaning that r_{eff} grows with luminosity. To test if both relations are compatible, we applied a two-dimensional Kolmogorov–Smirnov test to the following data sets: the $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ of the Antlia dwarfs ($T_1 > 14$) transformed into the B band by means of the relations depicted in Section 4.3, and the $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ obtained for the same galaxies but using the scaling law from Ferguson & Binggeli (transforming the M_{T_1} magnitudes into M_B). We calculated the statistic D (Press et al. 1992) and got a probability $p = 27$ per cent, which means that the hypothesis that these surface brightness versus magnitude relations are different is not significant. Qualitatively similar trends can be seen in many other studies of early-type dwarfs (e.g. Caldwell & Bothun 1987; Vader & Chaboyer 1994; Cellone 1999; Gutiérrez et al. 2004).

Our Antlia dEs, then, show a similar trend to the NGC 5044 Group sample of Cellone & Buzzoni (2005), where dwarf Es with disc-like structure tend to produce a slightly lower than unity slope. It will be interesting to test whether examples of these candidates to harassed disc galaxies do exist in the (presumably) dynamically younger Antlia cluster. A larger sample, as well as a careful evaluation of background contamination, incompleteness, and selection biases affecting the $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ versus luminosity relation will be necessary to further study this issue.

In any case, our data are in principle consistent with a nearly constant effective radius for dwarfs, and it is therefore interesting to compare our mean r_{eff} value with CCD photometry of recent samples in galaxy clusters. In Fig. 5 we plot data for dwarf galaxies in Virgo

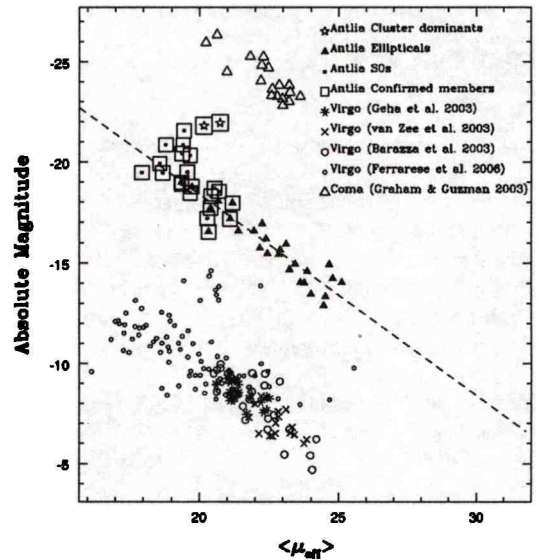


Figure 5. Absolute magnitude versus mean effective surface brightness for definite members of Antlia, and samples of Virgo and Coma galaxies. The absolute mag scale is only valid for the Antlia galaxies. The other samples are measured in other bands and most of them are shifted in mag to make the slopes better visible (the Virgo sample of Geha et al. (2003) by adding 8 mag, those of Barazza et al. (2003) and van Zee et al. (2004) by adding 9 mag, that from Ferrarese et al. (2006) by adding 7 mag, and the Coma sample (Graham & Guzmán 2003) by subtracting 7 mag). The dashed line is the locus of a constant effective radius of the Antlia galaxies. The slope for Coma, and that of Virgo for galaxies fainter than ~ -13 mag, are in agreement with a mean constant effective radius. The brightest galaxies from Ferrarese et al. (2006) follow the perpendicular behaviour of the brightest Antlia members, typical of core galaxies (Graham & Guzmán 2003).

(Barazza, Binggeli & Jerjen 2003; Geha, Guhathakurta & van der Marel 2003; van Zee et al. 2004) and in Coma (Graham & Guzmán 2003), where μ_{eff} and r_{eff} are obtained model-independently, and we also add the ACS Virgo sample from Ferrarese et al. (2006). Since we are interested only in the slope of the relation between brightness

Table 3. Mean effective radius for the samples shown in Fig. 5. The fit to the ACS sample (Ferrarese et al. 2006) was performed rejecting the deviant point at -9.78 in absolute magnitude.

Sample	Data	D (Mpc)	$\langle r_{\text{eff}} \rangle$ (kpc)
Antlia definite members ($T_1 > 13$ mag)	36	35.2	0.94 ± 0.3
Coma (Graham & Guzmán 2003)	18	100	0.97 ± 0.3
Virgo (Barazza et al. 2003)	25	17	1.41 ± 0.6
Virgo (Geha et al. 2003)	17	17	0.96 ± 0.2
Virgo (van Zee et al. 2004)	16	17	1.14 ± 0.3
Virgo (Ferrarese et al. 2006, $M_B \gtrsim -20$)	87	17	1.26 ± 0.8

and effective surface brightness, we just write *absolute magnitude* for the ordinate. The straight dashed line corresponds to the mean effective radius of Antlia early-type definite members with $T_1 > 13$ mag. The individual samples use different bands and we did not try to homogenize them.

Fig. 5 shows that all samples are consistent with our slope, pointing to a constant mean r_{eff} . The ACS sample also agrees if we consider galaxies with absolute magnitudes fainter than -13 mag in our plot, except one deviant point at -9.78 in absolute magnitude. Note, however, that brighter Virgo galaxies follow the perpendicular relation defined by the Antlia brightest members, already reported by Graham & Guzmán (2003) for core galaxies. Considering distances of 17, 35.2 and 100 Mpc for Virgo, Antlia and Coma, respectively, we find the values listed in Table 3. These values are in quite good agreement, although with substantial dispersions.

It is thus tempting to test the potential of a constant r_{eff} as a distance indicator, in the light of previous efforts in the same direction (e.g. Binggeli & Jerjen 1998; Cellone 1999, and references therein). However, other samples with a similar luminosity coverage are desired to arrive at sensible conclusions.

4.2 M32-like objects

M32-like elliptical galaxies, which are distinguished by their low luminosity, compactness and high surface brightness, form a very rare class. Although there are many candidates catalogued up to now (see e.g. Binggeli et al. 1985), beside M32 (e.g. Graham 2002), only five other objects are confirmed as such (Chilingarian et al. 2007, and references therein). FS90 classified 13 galaxies as being M32-like in Antlia, four of which are placed in our field. As it was mentioned in Section 3.1, FS90 165 seems to be an S0 galaxy. A radial velocity is available only for the object FS90 208, which according to its surface brightness and effective radius seems to be a normal low luminosity E galaxy. The other two are FS90 110 and FS90 192.

It is noteworthy that, although their membership status has still to be settled, FS90 110 and FS90 192 lie close in projected distance to the two dominant galaxies, and display high surface brightness. These facts are consistent with what is found for all confirmed M32-like elliptical galaxies, except the doubtful case of object 1 from Mieske et al. (2005), which is about 5000 km s^{-1} from the closest projected cluster giant elliptical. A detailed photometric analysis of Antlia M32 candidates will be given in a forthcoming paper.

4.3 Colour–magnitude relation

In order to compare our results with those reported in other papers, we obtained transformation equations from Johnson–Cousins

magnitudes and colours into the Washington photometric system. To do so, we used the results of the population synthesis models of Buzzoni (2005), who gives broad-band colours in several photometric systems for template galaxies of different ages spanning the whole Hubble sequence. Linear relations with very low dispersions were obtained for homologous colour indices [e.g. $(B - R)$] versus $(C - T_1)$ while for colours probing different spectral regions [e.g. $(C - T_1)$ versus $(V - I_c)$] linear fits had to be restricted to the corresponding sets of galaxy types. These relations are

$$V = T_1 + (0.183 \pm 0.003)(C - T_1) + (0.208 \pm 0.003), \quad (2)$$

$$(C - T_1) = (2.548 \pm 0.040)(V - I_c) - (1.482 \pm 0.038), \quad (3)$$

$$(B - R) = (0.701 \pm 0.006)(C - T_1) + (0.367 \pm 0.006). \quad (4)$$

By applying the SBF method and morphological classification to establish the membership status of Fornax dwarf galaxies, Hilker et al. (2003) and Mieske et al. (2007) have found a CMR for dEs with a scatter $\sigma_{(V-I)} = 0.14$ [$\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.36$] down to $V = 19$ mag ($T_1 \sim 18.6$ mag). In the Perseus cluster, early-type galaxies brighter than $M_B = -16$ mag ($T_1 \approx 15.3$ mag) display a tighter CMR with a scatter of $\sigma_{(B-R)} = 0.07$ [$\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.1$], which is similar to our dispersion (Conselice et al. 2002). However, at $M_B = -13$ mag ($T_1 \approx 18.5$ mag), this scatter increases up to $\sigma_{(B-R)} = 0.54$ [$\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.77$], i.e. there is no longer a relation.

López-Cruz et al. (2004, hereafter LC04) have studied the CMR for early-type galaxies in 57 X-ray detected Abell clusters in the redshift range $0.02 \leq z \leq 0.18$. They have found that the CMR is universal, with an average dispersion of $\sigma_{(B-R)} = 0.074 \pm 0.026$ [$\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.1$]. When these authors distinguish between low- and high-redshift clusters, the mean dispersion turns to be 0.061 for clusters with $z < 0.04$, and 0.076 for the rest of the systems. Furthermore, LC04 noted that the cluster showing the largest dispersion in its CMR (A2152, $\sigma_{(B-R)} = 0.5$ at $R = 18$ mag) belongs to the set of systems that present background contamination from higher redshift clusters (see fig. 1 in their paper).

Regarding the slope of the relation in a T_1 versus $(C - T_1)$ diagram, LC04 find a range between -23.3 and -8.8 with a trend of steepening at increasing redshifts. In particular, the Coma cluster CMR spans 8 mag in R , down to $R = 21.2$, with a constant slope of -15.2 . LC04 do not detect any significant change of slope within the CMR in any of their clusters.

For Fornax, Mieske et al. (2007) derived a slope which is equivalent to -12.1 in our CMD and, in the Perseus cluster, bright Es follow a relation with a slope of -12.6 (Conselice et al. 2002). Furthermore, Secker et al. (1997) find a CMR for the Coma cluster galaxies in the range $14 < R < 18.5$ mag, with a slope of -12.5 in a T_1 versus $(C - T_1)$ diagram. Data from a previous Washington system study of Fornax dwarf elliptical galaxies by Cellone, Forte & Geisler (1994), although spanning a small magnitude range, are still consistent with our Antlia slope.

Lisker et al. (2008) have recently obtained the CMR for dwarf early-type galaxies in the Virgo cluster, with SDSS data. In order to compare their slope with the one of our CMR, we transformed our mean relation to the SDSS photometry system using equation (2) quoted above, and equations (4) and (7) from Jordi, Grebel & Ammon (2006). We have obtained a value of $b = -0.022$ for a relation of the form $(g - r) = a + br$. This is in good agreement with what is obtained by Lisker et al. (2008) for their full dE sample [excluding dEs with blue centres, dE(bc)]. Our colour scatter transforms into $\sigma_{(g-r)} \sim 0.02$, which is smaller than those estimated by these authors.

From the previous analysis we can see that Antlia's CMR is one of the tightest and most extended relations reported up to now for nearby clusters, spanning a range of 9 mag from cD to dwarf galaxies. Our $\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.07$ is consistent with the scatter reported by LC04 for 57 X-ray detected clusters, and with that found for Perseus in its bright end. The large scatter reported by Conselice et al. (2002, 2003) in the dwarf regime is probably due to background contamination as it was stated by LC04 (see also Penny & Conselice 2008). Antlia's CMR displays no change of slope in agreement with other clusters, and its slope is consistent with those found in Fornax, Virgo, Perseus and Coma.

It is interesting to note that our CMR slope is also in agreement with that reported, in the Washington photometric system, for the metal-poor (blue) GCs ($M_{T_1} > -10.4$, $M_V > -10.0$) associated to NGC 4486 (Forte, Faifer & Geisler 2007). In this galaxy, the mean colour of the globulars becomes redder with increasing luminosity, a behaviour that has been called 'blue tilt' (Brodie & Strader 2006, and references therein). Forte et al. have found a slope of -16.67 .

4.4 Luminosity–metallicity relation

To transform colours to metallicity, we naively adopt the relation given by Harris & Harris (2002) between $(C - T_1)$ and $[\text{Fe}/\text{H}]$ derived for Galactic GCs. The transformation to our CMR then reads

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -2.71 + \sqrt{-4.10 - M_{T_1}/1.88}. \quad (5)$$

However, this relation describes old, single population objects. A significant fraction of dE galaxies is known to harbour young or intermediate-age stellar populations (e.g. Cellone & Forte 1996), as well as hidden discs, bars, spiral structure (e.g. Drinkwater et al. 2001; Barazza, Binggeli & Jerjen 2002; De Rijcke et al. 2003; Graham, Jerjen & Luzmán 2003), or even ongoing star formation at their centres (e.g. Vigroux, Souviron & Vader 1984; Cellone & Buzzoni 2001; Lisker et al. 2006). van Zee et al. (2004) found in their sample of 16 Virgo dwarfs that all galaxies are dominated by populations in the age range 5–7 Gyr. The mean age of 17 dwarfs was found by Geha et al. (2003) to be 5 Gyr. Therefore, the integrated $(C - T_1)$ colours of dwarf galaxies are apparently determined by a mixture of age and metallicity, which we cannot disentangle.

Ignoring this complication, in Fig. 6 we plot the luminosity–metallicity relation of our Antlia galaxies. In order to compare our photometric metallicities with other samples, where mostly M_V is given, we transformed our T_1 magnitudes to M_V , using equation (2). Equation (5) is shown as a reference with a solid line. We also plot Local Group dSphs from Grebel, Gallagher & Harbeck (2003), Virgo dwarf–globular transition objects (DGTOs) from Hasegan et al. (2005), Virgo dEs from Caldwell (2006), and the Fornax Compact Objects (FCO) from Mieske et al. (2006).

The individual scatter of the published metallicities around the mean relation is considerable and given the log–log character of this diagram, more than a global statement of the kind that low-mass galaxies are metal-poorer than high-mass galaxies is probably not permitted. It is more interesting to note how tight the relation for Antlia galaxies is in all its extension.

Three of the five brightest galaxies of the Local Group sample (viz. Sgr, NGC 185 and NGC 205) fall on the relation. The other two (M32 and NGC 147) depart towards higher luminosities or lower metallicities, as fainter dSphs do. However, given the large metallicity errors of the Local Group dSphs (a typical value is 0.4 dex, see Grebel et al. 2003), we cannot rule out that they follow the same trend as our mean luminosity–metallicity relation down to $M_V \sim$

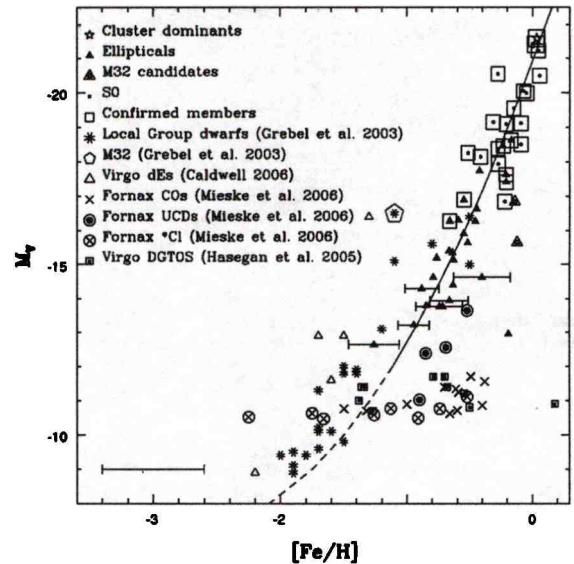


Figure 6. M_V magnitude versus $[\text{Fe}/\text{H}]$ for different samples. As a reference, we show our mean $[\text{Fe}/\text{H}]$ versus M_{T_1} relation as a solid line, as well as its extrapolation as a dashed line. Our typical error in $(C - T_1)$ (0.02 mag) translates into a $[\text{Fe}/\text{H}]$ error of 0.03 dex by means of equation (5). For clarity, we only show error bars for Antlia galaxies that display uncertainties greater than 0.1 dex. The large isolated error bar corresponds to the mean metallicity error in Grebel et al. (2003) sample (0.4 dex).

-9 . Moreover, it should be noticed that this mean relation is just an extrapolation for magnitudes fainter than $M_V \sim -13$. In any case, irrespective of the curve defined by our mean relation in Fig. 6, dSphs seem to extend the luminosity–metallicity relation defined by the Antlia early-type galaxies, towards fainter magnitudes.

Virgo dEs seem to depart stronger from the Antlia mean relation than do the Local Group dSphs. Fornax and Virgo compact objects (COs and DGTOs), as well as Fornax bright GCs ($M_V < -10.4$, *Cl) whose colour distribution is unimodal (e.g. Ostrov, Forte & Geisler 1998), do not obey any relation. Fornax Ultra Compact Dwarfs (UCDs) seem to follow the galaxies' trend, although towards fainter magnitudes or higher metallicities. This might be pointing to the galaxy nature of UCDs.

Given all the cautious remarks on the limited applicability of our photometric approach, Antlia galaxies define a tight luminosity–metallicity relation that extends over 9 mag and might be followed by Local Group dSphs in its faint end. We note that these faint objects would not show this trend if we had used a linear relation between Washington colour and metallicity.

The astrophysical meaning of such a relation, which covers giant Es, dwarfs and likely dwarf spheroidals has been discussed extensively in the literature. The formation history of these different types of galaxies is expected to be very different (e.g. De Rijcke et al. 2005). Dwarf Es probably were gas-rich late-type galaxies which lost their gas by stripping or outflows related to star formation activity (e.g. Mastropietro et al. 2005). Dwarf spheroidals may also have a tidal origin.

Finally, we remark that the bright S0s outnumber the elliptical galaxies roughly by a factor of 3. This is a difference to Fornax or Virgo, where most of the central galaxies are Es. If Es form by the merging of disc galaxies while S0s form by the gas removal of gas-rich disc galaxies, then merging was apparently much less efficient in Antlia than close encounters. Since S0s and Es most

certainly differ significantly in their population composition, a common metallicity–luminosity relation is not expected. S0s are thought to have a strong intermediate-age component, which is in line with the separation between S0s and Es in our diagrams. We have no handle on the metallicity without spectroscopic information, but we may suspect that age or composite populations are responsible for a large part of the scatter among the brightest galaxies.

5 CONCLUSIONS

We conclude that spectroscopically confirmed or FS90 definite (i.e. status 1) early-type dwarf members of the Antlia cluster define a very narrow sequence in the CMD. Luminous E and S0 galaxies follow the same CMR as their faint counterparts, with no perceptible change in slope and with a slightly larger dispersion, which is due to the separation of E and S0 galaxies.

This CMR spans 9 mag in brightness down to $T_1 = 19.7$ mag ($M_B \approx -11.7$, $M_V \approx -12.5$) with a small colour scatter of $\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.07$ mag. Our relation for only dwarf galaxies is tighter [$\sigma_{(C-T_1)} \sim 0.08$ mag] than that of most other samples found in the literature. This may be due to our homogeneous data, obtained thanks to the good match of our MOSAIC field to the angular size of the central region of Antlia. However, since there is the possibility that colours of dwarf galaxies may be influenced by younger stellar populations, one cannot be certain about metallicities, and part of the scatter might still be due to different mean ages.

The slope of the Antlia CMR is in agreement with those found in clusters like Fornax, Virgo, Perseus and Coma, despite of their different dynamical structure. This fact might indicate that the build-up of the CMR is more related to internal galaxy processes than to the influence of the environment. Furthermore, the slope of this relation is also consistent with that displayed by blue GCs (‘blue tilt’) in NGC 4486 (Forte et al. 2007). Previous comparisons between the ‘blue tilt’ and the positions of dE nuclei in the CMD, have already been performed by Harris et al. (2006) and Brodie & Strader (2006). As this subject is out of the scope of the present paper, we plan to go on studying it in the near future.

We find a clear relation between luminosity and effective surface brightness among the Antlia dwarf galaxies, scattering around a nearly constant mean effective radius with a mild (if at all) dependence on luminosity. A comparison with samples in the Virgo and Coma clusters reveals consistency with a mean effective radius of about 1 kpc for some samples. The dynamical meaning of this finding is unclear.

By applying the calibration between $(C - T_1)$ colours and $[\text{Fe}/\text{H}]$ from Harris & Harris (2002), and interpreting the CMR as a metallicity–luminosity relation of old stellar systems, we find that Antlia early-type galaxies seem to follow a tight luminosity–metallicity relation that extends from cD galaxies to the dwarf regime. Within metallicity uncertainties, Local Group dSphs might extend this non-linear relation covering a range of 13 mag. Fornax UCDs seem to define a luminosity–metallicity relation as well, but towards fainter magnitudes or higher metallicities in comparison with that displayed by Antlia early-type galaxies and Local Group dSphs. This behaviour might point to a galaxy nature of UCDs.

The Antlia cluster provides a wealth of investigation possibilities which are still awaiting their exploitation. The present paper only refers to its central region and to early-type galaxies. In forthcoming papers, we shall give brightness profiles, present new dwarf galaxies and perform spectroscopic studies of Antlia galaxies. We also plan to study the M32 candidates as well as the UCD candidates that we might find in the Antlia fields.

ACKNOWLEDGMENTS

The measurement of new radial velocities has been done by Cristian Aruta. We dedicate this paper to his memory.

We thank the referee for a thorough reading of the manuscript and for useful comments that helped to improve this paper. We also thank Nicola Masetti for kindly providing observing time. This work was funded with grants from Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina, Agencia Nacional de Promoción Científica Tecnológica and Universidad Nacional de La Plata (Argentina). TR and LI are grateful for support from the Chilean Centre for Astrophysics, FONDAF No. 15010003. AVSC would like to thank Neil Nagar and Universidad de Concepción for their hospitality during her stay in Chile, where part of this work was done.

REFERENCES

- Adami C. et al., 2006, *A&A*, 459, 679
 Andreon S., Cuillandre J.-C., Puddu E., Mellier Y., 2006, *MNRAS*, 372, 60
 Barazza F. D., Binggeli B., Jerjen H., 2002, *A&A*, 391, 823
 Barazza F. D., Binggeli B., Jerjen H., 2003, *A&A*, 407, 121
 Bassino L. P., Richtler T., Dirsch B., 2008, *MNRAS*, in press (arXiv:0802.2354)
 Baum W., 1959, *PASP*, 71, 106
 Bertin E., Amouts S., 1996, *A&AS*, 117, 393
 Binggeli B., Cameron L. M., 1991, *A&A*, 252, 27
 Binggeli B., Jerjen H., 1998, *A&A*, 333, 17
 Binggeli B., Sandage A., Tammann G. A., 1985, *AJ*, 90, 1681
 Bower R. G., Lucey J. R., Ellis R. S., 1992, *MNRAS*, 254, 601
 Brodie J. P., Strader J., 2006, *ARA&A*, 44, 193
 Buzzoni A., 2005, *MNRAS*, 361, 725
 Caldwell N., 1983, *AJ*, 88, 804
 Caldwell N., 2006, *ApJ*, 651, 822
 Caldwell N., Bothun G. D., 1987, *AJ*, 94, 1126
 Cantera R., 1976, *AJ*, 81, 228
 Carrasco E. R., Mendes de Oliveira C., Infante L., 2006, *AJ*, 132, 1796
 Carter D. et al., 2002, *ApJ*, 567, 772
 Cellone S. A., 1999, *A&A*, 345, 403
 Cellone S. A., Buzzoni A., 2001, *A&A*, 369, 742
 Cellone S. A., Buzzoni A., 2005, *MNRAS*, 356, 41
 Cellone S. A., Forte J. C., 1996, *ApJ*, 461, 176
 Cellone S. A., Forte J. C., Geisler D., 1994, *ApJS*, 93, 397
 Chang R., Gallazzi A., Kauffmann G., Charlot S., Ivezić Ž., Brinchmann J., Heckman T., 2006, *MNRAS*, 366, 717
 Chilingarian I., Cayatte V., Chemin L., Durret F., Laganá T. F., Adami C., Slezak E., 2007, *A&A*, 466, L21
 Conselice C. J., Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 2002, *AJ*, 123, 2246
 Conselice C. J., Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 2003, *AJ*, 125, 66
 De Rijcke S., Dejonghe H., Zeilinger W. W., Hau G. K. T., 2003, *A&A*, 400, 119
 De Rijcke S., Michielsen D., Dejonghe H., Zeilinger W. W., Hau G. K. T., 2005, *A&A*, 438, 491
 De Vaucouleurs G., 1961, *ApJS*, 5, 233
 Dirsch B., Richtler T., Bassino L. P., 2003, *A&A*, 408, 929
 Dressler A., 1984, *ApJ*, 286, 97
 Dressler A. et al., 1997, *ApJ*, 490, 577
 Drinkwater M. J., Gregg M. D., Holman B. A., Brown M. J. I., 2001, *MNRAS*, 326, 1076
 Ferguson H. C., Binggeli B., 1994, *A&AR*, 6, 67
 Ferguson H. C., Sandage A., 1990, *AJ*, 100, 1
 Ferrarese L. et al., 2006, *ApJS*, 164, 334
 Forte J. C., Faifer F. R., Geisler D., 2007, *MNRAS*, 382, 1947
 Geha M., Guhathakurta P., van der Marel R. P., 2003, *AJ*, 126, 1794
 Geisler D., 1996, *AJ*, 111, 480
 Graham A. W., 2002, *ApJ*, 568, L13

- Graham A. W., Driver S. P., 2005, *PASA*, 22, 118
 Graham A. W., Guzmán R., 2003, *AJ*, 125, 2936
 Graham A. W., Jerjen H., Guzmán R., 2003, *AJ*, 126, 1787
 Grebel E. K., 2005, in Jerjen H., Binggeli B., eds, *Proc. IAU Colloq. 198, Near-Field Cosmology with Dwarf Elliptical Galaxies*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 1
 Grebel E. K., Gallagher J. S., Harbeck D., 2003, *AJ*, 125, 1926
 Gutiérrez C. M., Trujillo I., Aguerrí J. A. L., Graham A. W., Caon N., 2004, *ApJ*, 602, 664
 Harris H. C., Canterna R., 1977, *AJ*, 82, 798
 Harris W. E., Harris G. L. H., 2002, *AJ*, 123, 3108
 Harris W. E., Whitmore B. C., Karakla D., Okoń W., Baum W. A., Hanes D. A., Kavelaars J. J., 2006, *ApJ*, 636, 90
 Hasegan M. et al., 2005, *ApJ*, 627, 203
 Hilker M., Mieske S., Infante L., 2003, *A&A*, 397, L9
 Hopp U., Materne J., 1985, *A&AS*, 61, 93
 Jordi K., Grebel E. K., Ammon K., 2006, *A&A*, 460, 339
 Kodama T., Arimoto N., 1997, *A&A*, 320, 41
 Köppen J., Weidner C., Kroupa P., 2007, *MNRAS*, 375, 673
 Kormendy J., 1977, *ApJ*, 217, 406
 Kuntschner H., 2000, *MNRAS*, 315, 184
 Lisker T., Grebel E. K., Binggeli B., 2005, in Jerjen H., Binggeli B., eds, *Proc. IAU Colloq. 198, Near-Field Cosmology with Dwarf Elliptical Galaxies*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 311
 Lisker T., Glatt K., Westera P., Grebel E. K., 2006, *AJ*, 132, 2432
 Lisker T., Grebel E. K., Binggeli B., 2008, *AJ*, 135, 380
 López-Cruz O., Barkhouse W. A., Yee H. K. C., 2004, *ApJ*, 614, 679 (LC04)
 Mastropietro C., Moore B., Mayer L., Debattista V. P., Piffaretti R., Stadel J., 2005, *MNRAS*, 364, 607
 Mieske S., Infante L., Hilker M., Hertling G., Blakeslee J. P., Benítez N., Ford H., Zekser K., 2005, *A&A*, 430, L25
 Mieske S., Hilker M., Infante L., Jordán A., 2006, *AJ*, 131, 2442
 Mieske S., Hilker M., Infante L., Mendes de Oliveira C., 2007, *A&A*, 463, 503
 Nakazawa K., Makishima K., Fukazawa Y., Tamura T., 2000, *PASJ*, 52, 623
 Nonino M. et al., 1999, *A&AS*, 137, 51
 Ostrov P., Forte J. C., Geisler D., 1998, *AJ*, 116, 2854
 Pedersen K., Yoshii Y., Sommer-Larsen J., 1997, *ApJ*, 485, L17
 Penny S. J., Conselice C., 2008, *MNRAS*, 383, 247
 Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P., 1992, in *Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*, 2nd edn. Cambridge Univ. Press, Cambridge
 Prugniel P., Simien F., 1996, *A&A*, 309, 749
 Rakos K., Schombert J., Maitzen H. M., Prugovecki S., Odell A., 2001, *AJ*, 121, 1974
 Rieke G. H., Lebofsky M. J., 1985, *ApJ*, 288, 618
 Schlegel D., Finkbeiner D., Davis M., 1998, *ApJ*, 500, 525
 Secker J., Harris W. E., Plummer J. D., 1997, *PASP*, 109, 1377
 Terlevich A. I., Forbes D. A., 2002, *MNRAS*, 330, 547
 Terlevich A. I., Caldwell N., Bower R. G., 2001, *MNRAS*, 326, 1547
 Thomas D., Bender R., Hopp U., Maraston C., Greggio L., 2003a, *Ap&SS*, 284, 599
 Thomas D., Maraston C., Bender R., 2003b, *MNRAS*, 343, 279
 Tonry J. L., Dressler A., Blakeslee J. P., Ajhar E. A., Fletcher A. B., Luppino G. A., Metzger M. R., Moore C. B., 2001, *ApJ*, 546, 681
 Vader J. P., Chaboyer B., 1994, *AJ*, 108, 1209
 van Zee L., Barton E. J., Skillman E. D., 2004, *AJ*, 128, 2797
 Vazdekis A., Kuntschner H., Davies R. L., Arimoto N., Nakamura O., Peletier R., 2001, *ApJ*, 551, L127
 Vigroux L., Souviron J., Vader J. P., 1984, *A&A*, 139, L9
 Visvanathan N., Sandage A., 1977, *ApJ*, 216, 214

This paper has been typeset from a $\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$ file prepared by the author.

Capítulo 3

Candidatas a galaxias de tipo elíptica compacta

En este capítulo presentamos el análisis fotométrico de cuatro galaxias clasificadas como elípticas compactas (cE, según sus siglas en inglés) en el catálogo de FS90. Hasta el momento, sólo se conocen seis galaxias de este raro tipo morfológico. Utilizando datos en varios sistemas fotométricos (*C* de Washington, *R* de Cousins, *V* e *I* de Bessel, y *F814W* y *F435W* del Telescopio Espacial Hubble), se han medido sus perfiles de brillo y color, así como también algunos parámetros estructurales.

A partir de la comparación de sus propiedades con las presentadas por otras galaxias pertenecientes al cúmulo de Antlia, y galaxias de tipo cE confirmadas en otros cúmulos y grupos de galaxias, hemos encontrado que dos de las candidatas a cEs examinadas, a pesar de ser miembros de Antlia, no son galaxias de este tipo morfológico. Sin embargo, una de ellas presenta fuertes variaciones en elipticidad y ángulo de posición similares a los reportados para M32, la galaxia que define el tipo cE. Estas similitudes nos conducen a especular acerca de la posibilidad de que un objeto de este tipo sea el progenitor de las galaxias elípticas de tipo compacto.

Las otras dos candidatas a galaxias cE examinadas, para las cuales no se tienen determinaciones de velocidades radiales, presentan algunas características típicas de las galaxias cE. A saber, muestran ubicaciones proyectadas cercanas a galaxias más brillantes, perfiles de color planos, y morfologías altamente compactas. Sólo una de estas dos candidatas tiene un alto brillo superficial central, dos componentes en su perfil de brillo y cambios notables en elipticidad y ángulo de posición donde comienza a dominar la componente externa. También parece seguir la tendencia definida por las galaxias cE confirmadas, en el diagrama luminosidad versus brillo superficial efectivo medio. Más aún, muestra una estructura interna distorsionada similar a las

encontradas en simulaciones numéricas de interacciones de galaxias. Además, en imágenes obtenidas con diferentes telescopios (CTIO, VLT y HST) se ha detectado una estructura extremadamente débil que parece vincular este objeto con una de las galaxias dominantes de Antlia. Sin embargo, la naturaleza cE de esta galaxia y su posible interacción con su vecina brillante, debe aún ser confirmada mediante la obtención de datos espectroscópicos.

La autora de esta Tesis ha redactado, en su mayor parte, el trabajo publicado que se adjunta. Así mismo, ha realizado la mayor parte del trabajo fotométrico realizado sobre las imágenes de MOSAIC-CTIO, y ha confeccionado la totalidad de los gráficos.

Galaxy populations in the Antlia cluster – II. Compact elliptical galaxy candidates^{*}

Analía V. Smith Castelli,^{1,2,3†} Favio R. Faifer,^{1,2,3†} Tom Richtler^{4†}
and Lilia P. Bassino^{1,2,3†}

¹Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque, B1900FWA La Plata, Argentina

²Instituto de Astrofísica de La Plata (CCT La Plata - CONICET - UNLP), Paseo del Bosque, B1900 FWA La Plata, Argentina

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Rivadavia 1917, Buenos Aires, Argentina

⁴Departamento de Astronomía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

Accepted 2008 August 19. Received 2008 August 19; in original form 2008 June 21

ABSTRACT

Continuing our study of galaxy populations in the Antlia cluster, we present a photometric analysis of four galaxies classified as compact elliptical (cE) galaxies in the 1990 Antlia Group catalogue of Ferguson and Sandage. Until now, there have been only six known members of this rare type of galaxy. Using data from various photometric systems (Washington *C*, Kron–Cousins *R*, Bessel *V* and *I*, *Hubble Space Telescope* *F814W* and *F435W*), we measured the brightness and colour profiles, as well as the structural parameters. By comparing these with those of other galaxies in the Antlia cluster, as well as with confirmed cE galaxies from the literature, we found that two of the cE candidates, although spectroscopically confirmed Antlia members, are not cE galaxies. However, one of these objects presents strong ellipticity and position angle variations that resemble those already reported for M32, leading us to speculate about this type of object being a progenitor of a cE galaxy. The other two cE candidates, for which radial velocities are not available, match some features typical of cE galaxies, such as being close in projection to a larger galaxy, displaying flat colour profiles, and having a high degree of compactness. Only one of the remaining cE candidates shows a high central surface brightness, two components in its brightness profile and distinct changes in ellipticity and position angle where the outer component begins to dominate. It seems to follow the same trend as other confirmed cE galaxies in a luminosity versus mean effective surface brightness diagram. Moreover, it shows a distorted inner structure with similar characteristics to those found by simulations of interacting galaxies. Also, an extremely faint structure, which seems to link this object with one of the Antlia dominant galaxies, has been detected in images from the Cerro Tololo Inter-American Observatory MOSAIC, the Very Large Telescope FORS1 and the *Hubble Space Telescope* Advanced Camera for Surveys. The cE nature of this galaxy and the possible interaction with its bright companion still have to be confirmed using spectroscopy.

Key words: galaxies: clusters: general – galaxies: clusters: individual: Antlia – galaxies: dwarf – galaxies: elliptical and lenticular, cD – galaxies: peculiar – galaxies: photometry.

1 INTRODUCTION

Early-type dwarf galaxies are the most frequent galaxy type in nearby groups and clusters of galaxies (e.g. Ferguson & Sandage 1990, hereafter FS90). Although the information related to their evolution in such environments is codified in their spatial distribution, chemical composition and kinematics, a single scenario including all their properties in a consistent frame is still missing. The main difficulty lies in the fact that they do not constitute a homogeneous class of objects. Among them, there are nucleated and non-nucleated galaxies, as well as systems that have been found to

^{*}This paper is based on observations carried out at the Cerro Tololo Inter-American Observatory (Chile), at Las Campanas Observatory (Chile), and at the European Southern Observatory, Paranal (Chile) [Program 71.B-0122(A)]. It is also based on observations made with the NASA/ESA *Hubble Space Telescope*, obtained from the data archive at the Space Telescope Science Institute, which is operated by the association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under NASA contract NAS 5-26555.

†E-mail: asmith@fcaglp.unlp.edu.ar (ASC); favio@fcaglp.unlp.edu.ar (FF); tom@mobydick.cfm.udec.cl (TR); lbassino@fcaglp.unlp.edu.ar (LB)

harbour discs and spiral structure (Jerjen, Kalnajs & Binggeli 2000; Graham, Jerjen & Guzmán 2003; Cellone & Buzzoni 2005; Lisker, Grebel & Binggeli 2006b). Moreover, central star formation has also been reported in some objects (Lisker et al. 2006a).

The so-called compact elliptical (cE; e.g. Nieto & Prugniel 1987), compact dwarf elliptical (cdE; Drinkwater et al. 2001) or M32-like (e.g. Ziegler & Bender 1998) galaxies are members of the low-luminosity galaxy family. However, instead of having low surface brightness, as the most common early-type dwarfs do, they have notorious high surface brightness (e.g. Nieto & Prugniel 1987). They constitute a very rare group, as there are many galaxies classified as cEs (see, for instance, Binggeli, Sandage & Tammann 1985), but only five objects have been confirmed as such, in addition to the prototype M32 (see Graham 2002 for an alternative interpretation).

The known examples are all companions of larger galaxies. They are M32 itself, a satellite of the M31 (Andromeda) spiral galaxy, NGC 4486B close to M87 in the Virgo cluster (Sandage & Binggeli 1984; Davidge 1991), NGC 5846A close to the giant elliptical NGC 5846 (Davidge 1991; Mahdavi, Trentham & Tully 2005), A496cE close to the cluster dominant (cD) galaxy of the cluster Abell 496 (Chilingarian et al. 2007), and two objects in the Abell 1689 cluster (CG_{A1689,1} and CG_{A1689,2}; Mieske et al. 2005). It should be noted that object CG_{A1689,1} from Mieske et al. (2005) has a deviating radial velocity with respect to its closest projected giant elliptical.

In particular, M32 presents the following characteristics:

- (i) it is a satellite of a larger galaxy;
- (ii) the brightness profile cannot be accurately fitted with a single Sérsic law (Choi, Guhathakurta & Johnston 2002; Graham 2002);
- (iii) it has high surface brightness in comparison with ellipticals of the same luminosity (Nieto & Prugniel 1987) and correspondingly a small size (Choi et al. 2002; Graham 2002);
- (iv) it has a radial change in both age and metallicity, leading to a flat colour profile, its stellar population being younger and more metal-rich at the centre (Rose et al. 2005).

The other confirmed cE galaxies show similar properties with respect to surface brightness, compactness and projected location close to brighter galaxies. However, there might be some differences in their colour gradients and brightness profiles (see, for example, Lauer et al. 1996; Ferrarese et al. 2006, regarding NGC 4486B) as well as in metal content and age (e.g. Sánchez-Blázquez, Gorgas & Cardiel 2006; Chilingarian et al. 2007).

Some effort has been made to find more examples of these very rare objects in nearby clusters or groups, such as Fornax (Drinkwater et al. 2001) and Leo (Ziegler & Bender 1998). However, all the examined candidates have been rejected as cE galaxies. As the questions related to their origin and their role in the framework of galaxy evolution remain open still, it would be of great interest to find more objects and to study them in relation to their environment.

The Antlia cluster of galaxies is the third nearest well-populated galaxy cluster after Virgo and Fornax. It exhibits a complex structure consisting of several subgroups, the most conspicuous being dominated by the giant elliptical galaxies NGC 3258 and NGC 3268. X-ray observations showed extended emissions around both subgroups (Pedersen, Yoshii & Sommer-Larsen 1997; Nakazawa et al. 2000). These emissions are concentrated towards the dominant galaxies, but extensions elongated in the direction to the other subgroup are also present, suggesting an ongoing merger. Dirsch, Richtler & Bassino (2003) and Bassino, Richtler & Dirsch (2008) have shown that the globular cluster systems around NGC 3258 and

NGC 3268 are elongated in the same direction as a connecting line between the two galaxies, resembling the X-ray results.

The photographic survey of FS90 was the first and last major effort devoted to studying the galaxy population of the Antlia cluster. They identified, by visual inspection, 375 galaxies that are listed in their Antlia Group Catalogue (hereafter labelled by the acronym FS90 plus the catalogue number). It gives, among other data, a membership status (1, definite member; 2, likely member; 3, possible member) and a morphological type for each galaxy. FS90 classified 10 objects as E(M32?) or S0(M32?) and one object as d:E(M32?),N.

Given the lack of an extensive analysis of Antlia's galaxy population, we initiated the Antlia Cluster Project with the aim of performing the first CCD photometric and spectroscopic study of this cluster. In the first paper of this long-term project (Smith Castelli et al. 2008, hereafter Paper I), we presented photometric properties of the early-type galaxy population. Among our results, it was found that early-type members define a tight colour–magnitude relation, spanning 9 mag from giant ellipticals to dwarf galaxies, without a perceptible change of slope. This slope is similar to those found in other clusters such as Virgo, Fornax, Perseus and Coma, which are dynamically different from Antlia. It is also consistent with that displayed by the so-called ‘blue tilt’ of metal-poor globular clusters in NGC 4486 (Forte, Faifer & Geisler 2007).

Within the sample in Paper I, there were four galaxies classified as cE candidates by FS90. Two of these objects are spectroscopically confirmed Antlia members that seem to be normal low-luminosity early-type galaxies. The other two are each close in projection to either one of the dominant galaxies, and are separated from the locus of the early-type members in the luminosity–mean effective surface brightness diagram. They display some characteristics of cE galaxies, but radial velocities are not available.

In this paper, the second of the Antlia Cluster Project, we present a photometric analysis of four FS90 cE candidates (i.e. FS90 110, FS90 165, FS90 192 and FS90 208) located in the central region of the Antlia cluster. We aim to obtain photometric evidence in favour of, or against, these objects being genuine cE galaxies. Given the small number of cE galaxies known to date, any additional members of this class could give important clues about their evolutionary path. The central question is probably whether they have been dynamically transformed by interaction with a massive galaxy.

Throughout this paper, we adopt $(m - M) = 32.73$ as the Antlia distance modulus (Dirsch et al. 2003), which corresponds to an Antlia distance of 35.2 Mpc. At this distance, 1 arcsec subtends 170 pc. The paper is organized as follows. In Section 2 we give information about our photometric data. In Sections 3 and 4 we present an analysis of the data, and in Section 5 we give a discussion and our conclusions.

2 DATA

2.1 Observations

The data set comprises Kron–Cousins *R* and Washington *C* (Canterna 1976) images obtained with the MOSAIC camera (eight CCD mosaic imager) mounted at the prime focus of the 4-m Blanco telescope at the Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO), during 2002 April 4–5. These images cover the central part of the Antlia cluster (Fig. 1) and were used for Paper I. One pixel of MOSAIC subtends 0.27 arcsec on the sky, which results in a field of view of 36×36 arcmin² (i.e. about 370×370 kpc² at the Antlia

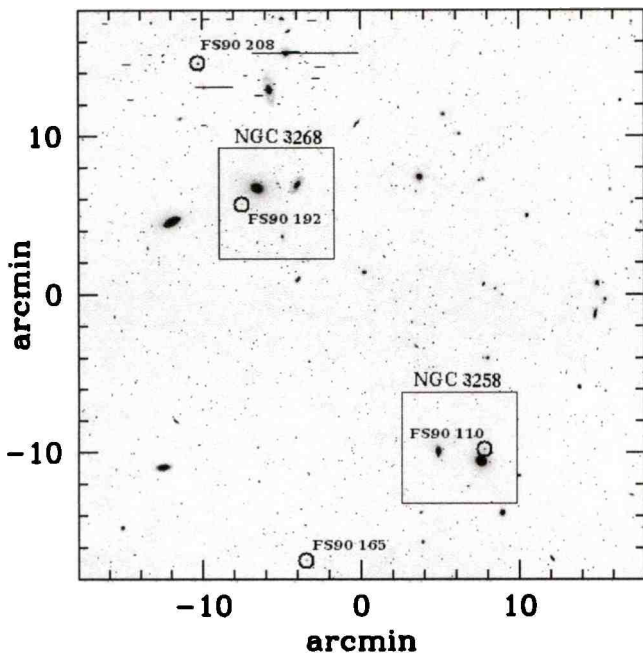


Figure 1. *R* image of the MOSAIC field. We show the positions of the two FORS1 fields centred on NGC 3258 and NGC 3268, respectively. The open circles indicate the locations of the FS90 cE candidates in the central region of Antlia. At the adopted Antlia distance, 1 arcmin = 10.2 kpc. North is up and east is to the left.

distance). The seeing on the *R* image is 1 arcsec and on the *C* image 1.1 arcsec. We refer to Dirsch et al. (2003) for more details.

We selected the Kron–Cousins *R* filter instead of the original Washington T_1 because of its better transmission at all wavelengths (Geisler 1996). *R* and T_1 magnitudes are very similar, with just a very small colour term and zero-point difference ($R - T_1 \approx -0.02$). We have transformed *R* magnitudes into T_1 magnitudes by the calibration given in Dirsch et al. (2003).

As a supplement to the MOSAIC observations, we use Bessel *V* and *I* images for two fields centred on NGC 3258 and NGC 3268, respectively, which were obtained during 2003 March 27–28 with FORS1 at the 8-m Very Large Telescope (VLT) UT1 (Antu; Cerro Paranal, Chile). These images cover two FS90 cE candidates (FS90 110 and FS90 192), are deeper and have higher resolution than those from CTIO. One pixel of this camera subtends 0.2 arcsec on the sky, giving a field of view of 6.8×6.8 arcmin² (i.e. 60×60 kpc² at the Antlia distance). The seeing on the *V* image is 0.53 arcsec for the NGC 3258 field, and 0.54 arcsec for the NGC 3268 field. We refer to Bassino et al. (2008) for more details.

In addition, we have combined four F814W band images of 570 s each, and four F435W band frames of 1340 s each, obtained from the *Hubble Space Telescope* (*HST*) Advanced Camera for Surveys (ACS) archive and centred on NGC 3258, as well as four images in the same bands and with the same exposure times, centred on NGC 3268 (proposal ID, 9427; PI, W. Harris). The FS90 cE candidates covered by these frames are, once more, FS90 110 and FS90 192. In order to make a comparison between these two candidates with a confirmed cE galaxy, we have also combined two images in the F850LP band, of 560 s each, of NGC 4486B, obtained from the same archive (proposal ID, 9401; PI, P. Côté).

All ACS images were processed with the standard calibration pipeline (CALACS + multidrizzle), including bias, dark and flat-fielding corrections. The *HST* images have a FWHM of 0.1–

0.12 arcsec, one pixel of the ACS camera subtends 0.05 arcsec on the sky, and its field of view is 202×202 arcsec² (i.e. 34.3×34.3 kpc² at the Antlia distance). Following Sirianni et al. (2005), the F850LP was calibrated to the *z* band. Additionally, and adopting the transformation for $(B-I) > 1$, the F814W filter was calibrated in Cousins *I*-band magnitudes, and the F435W filter in Johnson *B*-band magnitudes.

2.2 Photometry

We calculated total T_1 magnitudes and $(C-T_1)$ colours by numerically integrating the observed brightness profiles of our FS90 cE candidates. To obtain these profiles, we applied the task ELLIPSE within IRAF (Jedrzejewski 1987). For each galaxy, we used the *R* MOSAIC image to obtain the elliptical apertures to be used also for the *C* image. These apertures were determined allowing their centres, ellipticities and position angles to vary freely, until their fits became unstable as a consequence of the low surface brightness. At this point, the three parameters were fixed in order to extend the isophotal fit as much as possible towards larger radii. The sky level was determined following the procedure described in Paper I.

The central regions of FS90 110, FS90 165 and FS90 208 were overexposed on the long-exposure images. To include these, we worked with both long- and short-exposure frames following the procedure described in Paper I for bright galaxies with overexposed centres (see also Section 3.2).

FS90 110 and FS90 192 are projected close to NGC 3258 and NGC 3268, respectively. As a consequence, they are embedded within the light of their bright companions. To obtain their brightness profiles, we constructed two-dimensional models of both dominant galaxies, and subtracted these from the original images. To build these models, we used the task BMODEL within IRAF, which creates a two-dimensional image file containing a noiseless photometric model of a source image. The models are based on the isophotal analyses previously performed with ELLIPSE. We chose a spline function for the interpolation, which is supposed to give the smallest residuals.

In order to ensure the best quality of our models, we performed two sequences of modelling and subtraction. The first models of NGC 3258/3268, built after masking out the neighbouring bright galaxies, served to enable the modelling of the companion galaxies. These models are then subtracted from the original images, after which we obtain the final models of the dominant galaxies. The subtraction of these last models for NGC 3258 and NGC 3268 from the original images provides the frames in which the profiles of FS90 110 and FS90 192 are measured, following the fitting procedure mentioned above.

The FORS *V* images were used to determine the isophotal apertures to be measured also on the FORS *I* frames, and single sequences of modelling and subtraction of the dominant galaxies were applied. The fitting procedure was similar to that performed on the MOSAIC images. This is also valid for the ACS images.

Table 1 lists relevant information about our cE candidates. In the first five columns, we show the FS90 number, positions, FS90 morphology and $E(B - V)$ values. The next six columns give the photometric results obtained in the Washington photometric system. These are the observed total magnitudes and colours (not corrected by absorption or reddening) with uncertainties in parentheses (obtained as described in Paper I), the surface brightness of the limiting isophote within which the total magnitude has been calculated, the equivalent radius of the limiting isophote, the mean surface brightness within the effective radius, and the effective radius (i.e. the

Table 1. FS90 cE candidates located in our MOSAIC field of the Antlia cluster. Coordinates have been obtained through CDS, which are calculated from FS90. Extinction values are from Schlegel, Finkbeiner & Davis (1998). μ_{T_1} corresponds to the surface brightness of the outermost isophote within which integrated magnitudes and colours were measured. r_{T_1} is the equivalent radius ($r = \sqrt{ab} = a\sqrt{1-\epsilon}$) of that isophote. (μ_{eff}) is obtained within r_{eff} , the radius that contains half of the light. All these values were obtained from ELLIPSE. The radial velocities are from 6dF.

FS90 ID	RA (J2000)	Dec. (J2000)	FS90 morph.	$E(B-V)$ (mag)	T_1 (mag)	$(C-T_1)$ (mag)	μ_{T_1} (mag arcsec ⁻²)	r_{T_1} (arcsec)	$(\mu_{\text{eff}})_{T_1}$ (mag arcsec ⁻²)	r_{eff,T_1} (arcsec)	v_r (km s ⁻¹)
110	10:28:53.0	-35:35:24	E(M32?)	0.085	15.49 (0.01)	2.06 (0.02)	27.5	14.0	18.4	1.5	-
165	10:29:46.0	-35:42:25	S0(M32?)	0.086	15.50 (0.01)	2.01 (0.02)	27.3	20.9	20.3	3.6	2605 ± 80
192	10:30:04.5	-35:20:31	E(M32?)	0.104	16.66 (0.01)	2.11 (0.02)	27.6	11.4	19.8	1.7	-
208	10:30:18.7	-35:11:49	S0(M32?)	0.103	14.76 (0.01)	1.94 (0.03)	27.5	30.1	19.8	4.1	1774 ± 100

radius containing half of the light). The last column gives the heliocentric radial velocities, when available.

3 ANALYSIS OF MOSAIC DATA

3.1 Morphology and spatial location

The left column of Fig. 2 shows the morphologies of the FS90 cE candidates in the MOSAIC *R* frames. Each side is 1 arcmin (10.2 kpc at the adopted Antlia distance). In the case of FS90 110, a model of NGC 3258 has been subtracted.

FS90 110 is located at a radial distance of 47 arcsec (~8 kpc at the Antlia distance) from NGC 3258 to the north. There is no radial velocity available for this object. FS90 110 was catalogued by FS90 as a ‘possible’ (i.e. status 3) Antlia member with an E(M32?) morphology. It resembles a cE galaxy (see Fig. 2), as it is round and small in projected size ($r_{T_1} \sim 2.4$ kpc). It is the closest galaxy in projection to either one of the dominant Antlia galaxies and, interestingly, its *R* image shows an elongation of the outer isophotes towards its bright companion (see Fig. 2). This low surface brightness feature is seen on the *C* image as well.

FS90 165 is located at 12.2 arcmin (~124.4 kpc at the Antlia distance) from NGC 3258 towards the south-east, and is a spectroscopically confirmed Antlia member. It was catalogued by FS90 as a ‘likely’ (i.e. status 2) member of Antlia with an S0(M32?) morphology. FS90 165 is one of the smallest S0 galaxies in the central region of Antlia. It is fainter than $T_1 = 14$ mag, the limiting magnitude that separates dwarfs from bright early-type galaxies in our Paper I sample.

FS90 192 is located at 1.4 arcmin (~14.2 kpc at the Antlia distance) from NGC 3268 to the south-east. No radial velocity is available. It is catalogued as a ‘possible’ (i.e. status 3) Antlia member displaying an E(M32?) morphology. It looks round and compact like FS90 110, albeit smaller ($r_{T_1} \sim 1.9$ kpc at the Antlia distance; see Table 1). It is more distant in projection from NGC 3268 than FS90 110 is from NGC 3258, and there is no visible distortion in its outer isophotes.

FS90 208 is a confirmed Antlia member located at 8.5 arcmin (~86.7 kpc at the adopted Antlia distance) from NGC 3268 to the north-east. It is considered to be a S0(M32?) ‘definite’ (i.e. status 1) member of Antlia by FS90. It displays a round morphology in its central region and is elongated outwards. It is the largest FS90 cE candidate in the central region of Antlia (see Table 1).

3.2 Brightness and colour profiles

As mentioned above, the left column of Fig. 2 shows contour plots superimposed on the *R* images of the FS90 cE candidates. We also

present their $(C-T_1)$ colour profiles and the ELLIPSE B4 index versus equivalent radius (middle column), as well as the ellipticity (ϵ) and position angle (θ) versus equivalent radius (right column). Positive angles are measured from north to east.

Fig. 3 shows the brightness profiles for these four galaxies. From these plots, it can be seen that, if we exclude the region affected by seeing ($r < 1$ arcsec), FS90 165 and FS90 192 show what seems to be a one-component profile with smooth variations in ellipticity and position angle. In contrast, the brightness profiles of FS90 110 and FS90 208 seem to present two components in agreement with the strong changes both in ellipticity and orientation displayed by the fitted apertures.

To test whether single-component models provide good fits to the brightness profiles of the FS90 cE candidates, we used the Sérsic law (Sérsic 1968):

$$\mu(r) = \mu_0 + 1.0857 \left(\frac{r}{r_0} \right)^N \quad (1)$$

Here, μ_0 designates the central ($r = 0$) surface brightness, r_0 is the scalelength of the profile and N is the Sérsic index. Because of its simpler mathematical dependence on the free parameters, we decided to use the above formula instead of

$$\mu(r) = \mu_{\text{eff}} + 1.0857b_n \left[\left(\frac{r}{r_{\text{eff}}} \right)^{1/n} - 1 \right], \quad (2)$$

where $b_n \approx 1.9992n - 0.3271$ for $0.5 < n < 10$ (Graham & Worley 2008, and references therein). There are simple relations between the quantities involved in both equations (e.g. MacArthur, Courteau & Holtzman 2003):

$$n = 1/N \quad (3)$$

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_0 + 1.0857b_n \quad (4)$$

$$r_{\text{eff}} = r_0 b_n^n, \quad (5)$$

which allow us to easily obtain the effective radius (r_{eff}) and the surface brightness at this radius (μ_{eff}) from the parameters of equation (1). Following the results of the numerical simulations performed by Gavazzi et al. (2005), it was decided not to correct the Sérsic parameters for seeing effects (Trujillo et al. 2001a,b) unless a Sérsic index n greater than 3 was obtained.

The structural parameters obtained from the fits are listed in Table 2. The profile fits and their residuals $\Delta\mu = \mu(\text{obs}) - \mu(\text{fit})$ are plotted in Fig. 3.

3.2.1 FS90 110

As mentioned in Section 2.2, the centre of FS90 110 is overexposed in the *R* long-exposure image obtained with MOSAIC. Thus, we

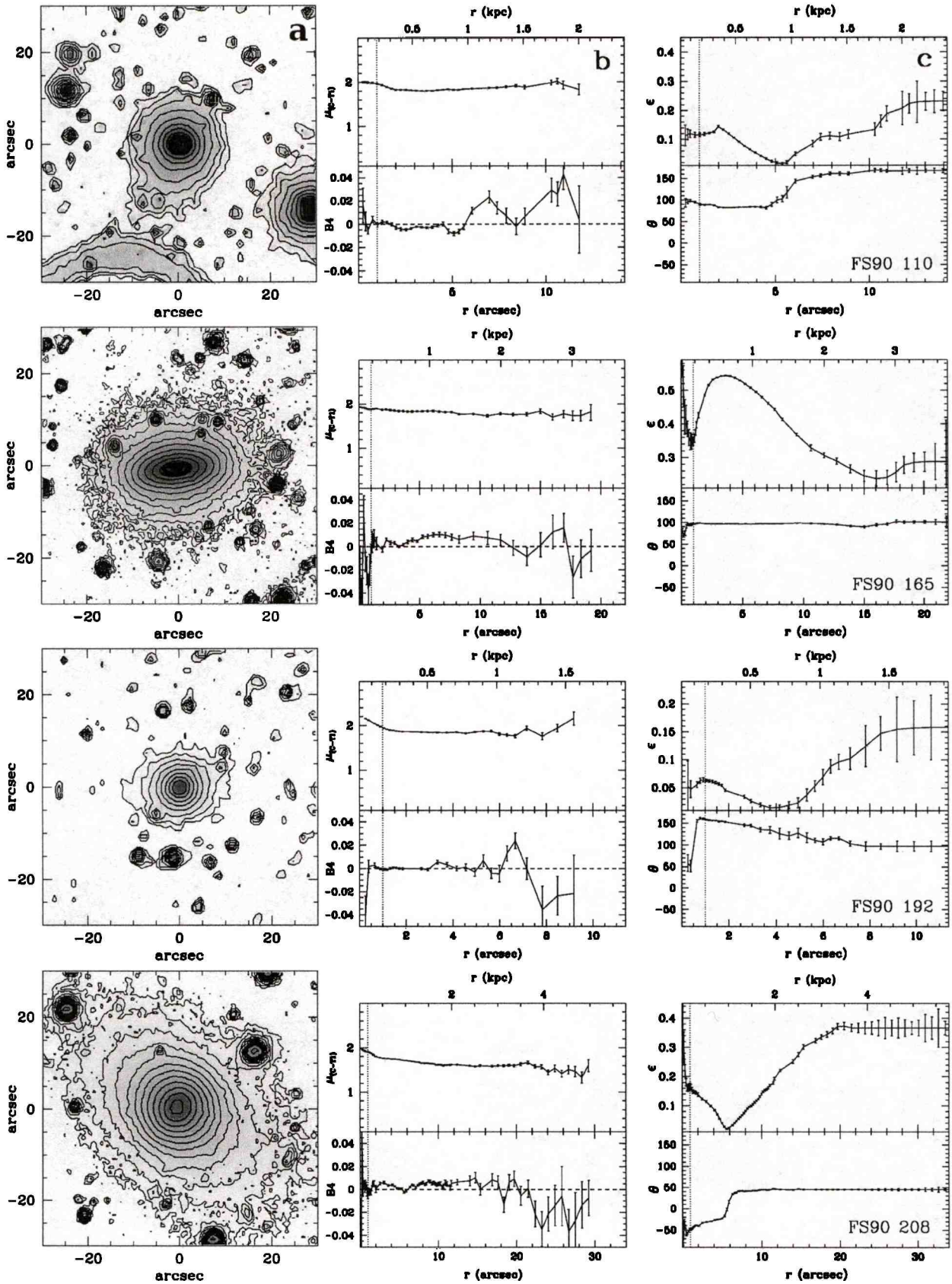


Figure 2. FS90 cE candidates located in the central region of the Antlia cluster. From top to bottom: FS90 110, FS90 165, FS90 192 and FS90 208. From left to right. (a) Brightness contour levels superimposed on the R images of the galaxies. At the adopted Antlia distance, 1 arcsec \simeq 170 pc. North is up and east is to the left. (b) $(C - T_1)$ colour profiles reddening corrected (top) and $B4$ index (bottom) against equivalent radius. (c) Ellipticity (ϵ , top) and position angle (θ , bottom) against equivalent radius. Positive angles are measured from north to east. The vertical dotted lines in (b) and (c) show the region of seeing influence. The equivalent radius scale displayed at the top of the panels in (b) and (c) was obtained with the assumed Antlia distance.

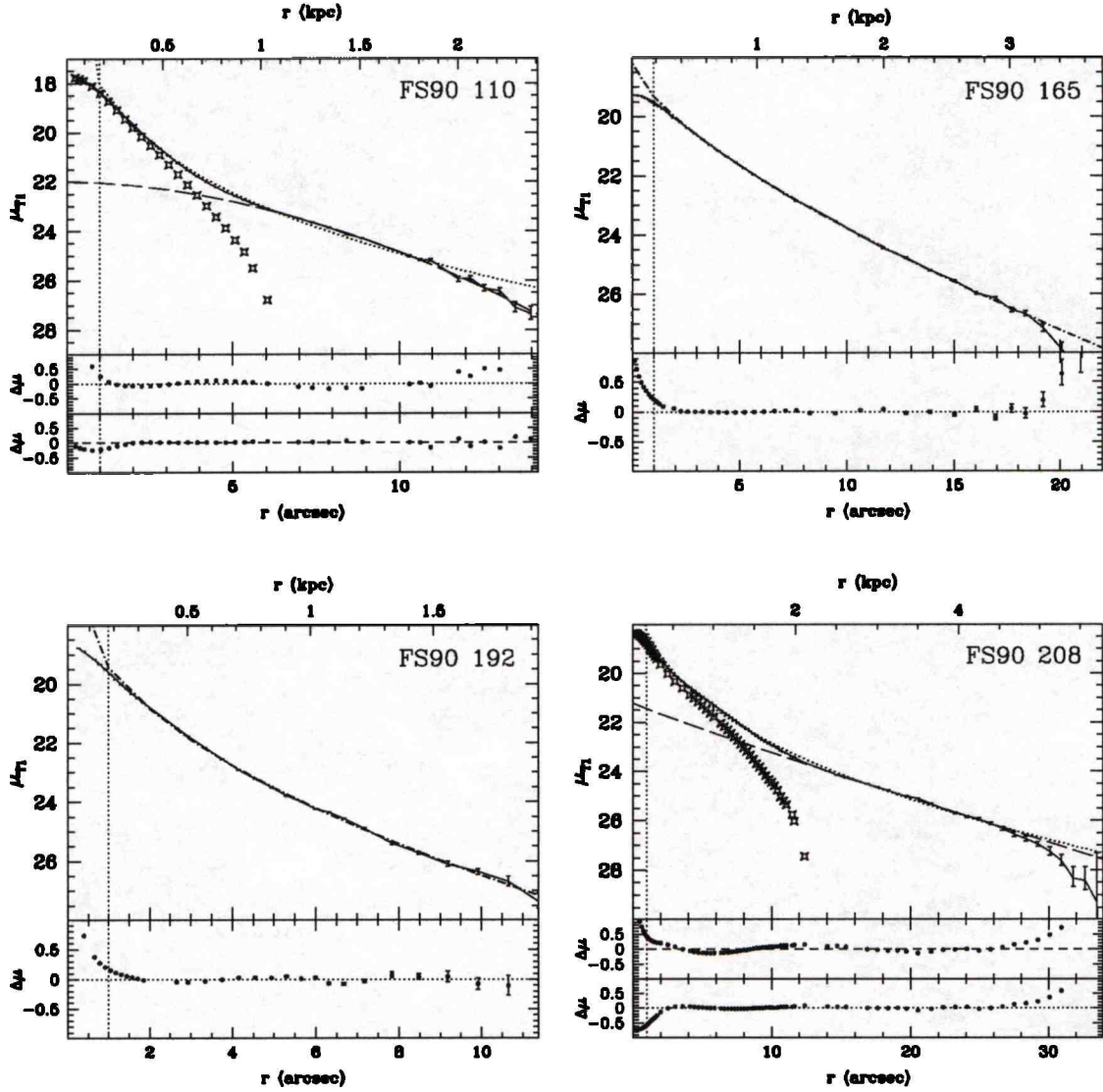


Figure 3. Fits of the Sérsic law to the absorption corrected T_1 brightness profiles of the FS90 cE candidates located in the central region of Antlia. The residuals $\Delta\mu = \mu(\text{obs}) - \mu(\text{fit})$ are shown in the lower panels. For FS90 110 and FS90 208, which display two-component profiles, the upper residuals correspond to the fit of a single Sérsic law (dotted curve), and the lower ones to a two-component fit. For clarity, in these cases we only show the Sérsic fit for the outer component (dashed line), which is subtracted to show the inner component (open symbols). The equivalent radius scale at the top of the four panels was obtained from the adopted Antlia distance ($1 \text{ arcsec} \simeq 170 \text{ pc}$).

Table 2. Structural parameters of FS90 cE candidates, obtained from different fits of the Sérsic law to their absorption corrected T_1 brightness profiles. r_{int} and r_{ext} refer to the inner and outer equivalent radius considered for the fits, respectively. T_1 gives the integrated magnitude obtained from the fitted Sérsic profile.

Object	Component	r_{int} (arcsec)	r_{ext} (arcsec)	μ_0 (mag arcsec $^{-2}$)	r_0 (arcsec)	N	μ_{eff} (mag arcsec $^{-2}$)	r_{eff} (arcsec)	n	T_1
FS90 110	Inner	2.3	4.8	17.73 ± 0.02	1.17 ± 0.01	1.23 ± 0.01	19.13	1.43	0.81	15.61
FS90 110	Outer	6.0	11.8	21.99 ± 0.45	6.07 ± 2.78	1.83 ± 0.36	22.82	5.26	0.55	16.84
FS90 165	Single	2.2	13.8	18.19 ± 0.06	0.94 ± 0.05	0.69 ± 0.01	20.98	3.69	1.45	15.25
FS90 192	Single	1.6	9.9	15.77 ± 0.34	0.07 ± 0.02	0.46 ± 0.02	20.12	1.42	2.17	16.27
FS90 208	Inner	2.0	9.8	19.14 ± 0.08	2.92 ± 0.29	1.29 ± 0.04	20.44	3.37	0.77	15.04
FS90 208	Outer	12.4	24.9	21.21 ± 0.55	5.26 ± 2.45	0.93 ± 0.14	23.16	9.90	1.07	15.52

used the short-exposure image to obtain its inner brightness profile up to an equivalent radius of $r = 1.8 \text{ arcsec}$. For larger radii, we used the R long-exposure frame to obtain its brightness profile out to $r \sim 14 \text{ arcsec}$ ($\mu_{T_1} = 27.5 \text{ mag arcsec}^{-2}$), starting with the parameters for $r = 1.8 \text{ arcsec}$.

The centre of the elliptical apertures, the ellipticity ϵ and the position angle θ were allowed to vary freely for the inner fit. For the outer fit, they were fixed once the convergence of the isophotal fit was prevented because of the low surface brightness of the outermost isophote.

The ellipticity shows a strong variation on a small radial scale. It changes from $\epsilon = 0.14$ at $r \sim 2$ arcsec, to $\epsilon = 0.01$ at $r = 5.3$ arcsec. Then, it increases up to $\epsilon = 0.22$ at $r = 12.3$ arcsec and after that it remains constant. This behaviour is followed by the position angle as it varies from $\theta \sim 83^\circ$ in the range $r = 2$ – 4.5 arcsec, to $\theta \sim 160^\circ$ at $r \sim 8$ arcsec. The B4 coefficient becomes positive (i.e. discy isophotes) in the outer region, at a similar radius as that for which the ellipticity and the position angle change in a significant manner.

The outer isophotes of FS90 110 display an elongation towards NGC 3258 in the *R* MOSAIC image, as can be seen from Fig. 2. Therefore, we performed several isophotal fits to test whether the strong variations in position angle and ellipticity could be an artefact due to the presence of this low surface brightness structure. We performed an outer fit, keeping the position of the centre fixed during the whole process, and an outer fit masking half of the galaxy in the direction to NGC 3258. In all these cases, θ and ϵ show, within the errors, the same behaviour as in the free isophotal fit.

The colour profile of this galaxy does not show any perceptible gradient out of the region of seeing influence.

We performed several fits of the Sérsic law to the T_1 brightness profile of FS90 110. It was found that it is more convenient to fit the profile with two components, as a single-component fit gives systematic positive and negative residuals (see Fig. 3). Furthermore, variations of the range in equivalent radius used to perform single-component fits make the Sérsic index N evolve from convex profiles for larger ranges to concave profiles for smaller intervals.

Following Cellone & Buzzoni (2001), to obtain possible analytical profiles for the two components, we first fitted a Sérsic law to the outer region of the galaxy in the range $r = 6.0$ – 11.8 arcsec (dashed line in FS90 110 panel of Fig. 3). Then, we subtracted the intensities of this model from those observed in the whole profile range. In this way, we recovered the inner component (open symbols in Fig. 3), which was then fitted with an independent Sérsic law (not shown in Fig. 3 for clarity).

We are aware that this decomposition scheme might not be unique as it depends on the radial ranges selected to perform the fits, as well as on sky subtraction effects (see, for instance, Cellone & Buzzoni 2001, for a discussion about the art of profile fitting). However, the validity of our approach is supported by the small and stable residuals shown in Fig. 3. Moreover, a fit of two coupled general Sérsic laws to the profile of FS90 110 in the range 2.3–11.8 arcsec has given structural parameters that are in agreement, within the errors, with those given in Table 3.

The integrated magnitudes obtained for both components from their individual Sérsic fits show that the inner component could be \sim three times brighter than the outer component, making this

galaxy a bulge-dominated system. It is worth noting that the radius at which the changes in ellipticity and position angle arise is similar to that at which the outer component seems to begin to dominate the brightness profile.

3.2.2 FS90 165 (confirmed Antlia member)

The fit of elliptical apertures in the central region of FS90 165 was performed on the short-exposure *R* image, as its centre is overexposed in the long-exposure image. The inner profile was obtained by allowing the centre, ellipticity and position angle to vary freely. The fit reaches an equivalent radius of $r \sim 1.4$ arcsec, and from this radius outwards, we worked with the long-exposure *R* image to obtain an outer profile reaching $r \sim 19.2$ arcsec ($\mu_{T_1} = 27.3$ mag arcsec $^{-2}$).

Again, we allowed for free variation of all elliptical apertures parameters until the outermost (low surface brightness) regions of the galaxies were reached.

The ellipticity shows an almost constant value of about $\epsilon = 0.53$ from $r \sim 2$ arcsec to $r \sim 4$ arcsec, and then displays a smooth decrease until $\epsilon = 0.23$ at $r \sim 16$ arcsec. The position angle has a constant value of $\theta \sim 100^\circ$ along the whole profile. This behaviour of the elliptical apertures can be seen in Fig. 2(a): the ellipses become more and more elongated towards the centre, while their orientation has no detectable variation. The B4 coefficient is positive over the whole equivalent radius range, showing that the isophotes of this galaxy are discy.

Outside $r = 2$ arcsec, the colour profile displays a slight blue gradient of ~ 0.1 mag, from $(C - T_1)_0 = 1.87$ at $r = 2.25$ arcsec, to $(C - T_1)_0 = 1.76$ at $r = 13.8$ arcsec.

The brightness profile was fitted by a single Sérsic law in the range $r \sim 2$ – 14 arcsec. The analytical profile is shallower than a de Vaucouleurs law, and the effective radius obtained from it is in good agreement with that measured from the observed profile (see Table 2).

3.2.3 FS90 192

As the centre of this galaxy is not overexposed in the long-exposure frames, the fit of elliptical apertures was performed on the long-exposure *R* image up to an equivalent radius of $r \sim 11.4$ arcsec ($\mu_{T_1} = 27.6$ mag arcsec $^{-2}$). The centre of the ellipses, the isophotal ellipticity and position angle were allowed to vary freely, until the low surface brightness of the outermost regions prevented a good convergence of the fits.

The ellipticity is consistent with circular isophotes out to $r \sim 5$ arcsec, and then it begins to increase smoothly until it reaches a

Table 3. Data adopted for the confirmed cE galaxies plotted in Fig. 5. In all cases, the mean effective surface brightness (μ_{eff}) was obtained from the effective radius (r_{eff}), and *R* magnitudes transformed into T_1 magnitudes using $R - T_1 = -0.02$ (see Section 2.1), with equation (1) of Paper I. For A496cE, the *R* magnitude was calculated from its r' magnitudes (Chilingarian et al. 2008), using $(r' - R_c) = 0.25$ (Fukugita et al. 1995).

Galaxy	$E(B - V)$ (mag)	$(m - M)$ (mag)	Dist. (Mpc)	<i>R</i> (mag)	r_{eff} (arcsec)	μ_{eff} (mag arcsec $^{-2}$)	r_{tot} (kpc)	Companion	Dist. comp. (kpc)	References
M32	0.062	24.53	0.8	7.68	28.5	16.9	1.2	M31	5.5	1,2,3
NGC 4486B	0.021	31.26	17.9	12.72	2.5	16.7	1.0	NGC 4486	28	4,5,6
NGC 5486A	0.055	32.08	26.1	13.07	4.1	18.1	1.6	NGC 5486	3.1	6,7,8
A496cE	0.138	35.70	138.0	17.35	0.7	18.6	–	A496 cD	14	9

Extinction values are from Schlegel et al. (1998). References: (1) Mateo (1998) and references therein; (2) Graham (2002); (3) Choi et al. (2002); (4) Alonso et al. (2003); (5) Tonry et al. (2001); (6) Nieto & Prugniel (1987); (7) Mahdavi et al. (2005); (8) de Vaucouleurs et al. (1991); (9) Chilingarian et al. (2008).

maximum value of $\epsilon = 0.16$ in the outer regions. The position angle shows a smooth decrease of 60° from the innermost isophotes (out of the seeing influence region) to the outermost ones.

There is no perceptible gradient in the $(C - T_1)$ colour profile, except that seen at $r < 2$ arcsec, likely a result of seeing effects.

The brightness profile was successfully fitted by a single Sérsic profile in the range $r \sim 2$ –10 arcsec. This galaxy does not follow a de Vaucouleurs law, but a shallower one. However, we should stress that we do not have a radial velocity for this object. If it was a background galaxy, we would likely lose the central steepening of the profile because of seeing and distance effects.

The effective radius obtained from the analytical profile is in good agreement with that calculated from the observed profile.

3.2.4 FS90 208 (confirmed Antlia member)

The short-exposure R image was used to obtain an inner profile up to $r = 2$ arcsec. The rest of the profile was obtained from the long-exposure frame, up to $r = 30.1$ arcsec ($\mu_{T_1} = 27.5$ mag arcsec $^{-2}$). Once more, all the elliptical parameters were allowed to vary freely, until a good convergence was prevented because of the low surface brightness of the outer isophotes.

This galaxy presents a remarkable change both in ellipticity and in position angle at $r = 5.6$ arcsec. The ellipticity decreases from $\epsilon = 0.14$ at $r = 2$ arcsec, to $\epsilon = 0.02$ at $r = 5.6$ arcsec, and then increases to $\epsilon = 0.37$ at $r = 23.2$ arcsec. From this point outwards, the ellipticity remains constant. The position angle follows the changes in ellipticity, as it varies from $\theta = -22^\circ$ at $r = 5$ arcsec, to $\theta = 41^\circ$ at $r = 7$ arcsec, and then it remains more or less constant. These variations are similar to those displayed by FS90 110, albeit stronger. The B4 coefficient for this galaxy is consistent with its isophotes being discy.

A small colour gradient is present in the $(C - T_1)$ profile. The colour becomes bluer outwards, from $(C - T_1) = 1.8$ at $r = 2$ arcsec, to $(C - T_1) = 1.6$ at $r = 10$ arcsec. From this point to the outskirts of the galaxy, the colour remains constant.

As in the case of FS90 110, the brightness profile of FS90 208 is better fitted by two components for the same reasons. Therefore, we fitted a Sérsic profile to the outer part of the galaxy, in the range $r = 12.4$ –24.9 arcsec, which was then subtracted in intensities from the original profile. We then recovered the inner component and fitted an independent Sérsic law to it (see Fig. 3).

From the integrated T_1 magnitudes of both components, we found that the inner component seems to be not so prominent in comparison with the outer component, as the former is ~ 1.6 times brighter than the latter. In contrast to FS90 110, the radius at which the changes in ellipticity and position angle arise is smaller than that found to possibly separate the two components.

3.3 Colour maps and unsharp masking

In order to obtain information about the internal structure of the FS90 cE candidates, we built colour maps with their R and C short- and long-exposure images. The individual images were previously filtered by applying a median filter with a window size of 5×5 pixel to reduce the noise of the maps.

Following Lisker et al. (2006b), we have also performed an unsharp masking process on the long-exposure C images of the four galaxies. The C frames were used instead of the R frames, as none of the galaxy centres is overexposed in the C frames. We have produced circular and elliptical masks, considering Gaussian kernels

with σ values in the range 3–30 pixel (i.e. 0.8–8 arcsec). To build the elliptical masks, we used the position angles and ellipticities of the outer isophotes of each galaxy.

In addition, to test the existence of hidden discs, we have analysed the residual images obtained from a fixed ELLIPSE fitting (i.e. by fixing the position angle and ellipticity in the whole fitting process).

For FS90 110 and FS90 192 we have found no evidence of internal structure. Both colour maps are smooth and show redder centres than the outskirts, in agreement to what is seen in their colour profiles (see Fig. 2). As there are FORS1 and ACS images available for these, we continue this analysis in Section 4.2.

Fig. 4 shows, for FS90 165 and FS90 208, $(C - T_1)$ colour maps and resulting images of the unsharp masking process. It can be seen that the mask of FS90 165 shows a red disc-like structure, not evident in its colour profile. This structure is in agreement with the existence of discy isophotes, as expected from the positive values of the B4 index (see Fig. 2). FS90 165 seems to be a low-luminosity lenticular galaxy, displaying a similar colour map to those of similar objects (see, for example, Chilingarian et al. 2008).

The colour map of FS90 208 is smooth with a small red gradient towards the centre, also evident in its colour profile. In contrast, the unsharp mask performed using an elliptical kernel with the same ellipticity and position angle of its outer component shows a possible bar-like structure, which seems to be present in the residual image of a fixed ELLIPSE fitting (not shown).

3.4 Colour–magnitude and luminosity versus mean effective surface brightness relations

The left panel of Fig. 5 shows a T_1 versus $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ (absorption corrected) plot for the FS90 early-type galaxies from our sample of Paper I, where the FS90 morphology has been indicated. We also depict, as a reference, the locus of constant effective radius followed by galaxies fainter than $T_1 = 13$ mag (see Paper I). In this plot, the locations of all these galaxies correspond to observed apparent magnitudes. For comparison, we have also included some confirmed cE galaxies that display the positions they would have at the Antlia distance. These are M32 (large solid pentagon), NGC 4486B (large open triangle), NGC 5846A (large star) and A496cE (large asterisk); see Table 3.

In this figure, FS90 165 and FS90 208 share the locus of the Antlia early-type galaxies. In contrast, FS90 110 and FS90 192 are located far from this relation defined by early-type galaxies, towards higher mean effective surface brightness, smaller effective radius or fainter magnitudes.

In particular, FS90 110 presents the highest mean effective surface brightness of the whole sample from Paper I, with the exception of FS90 94, a bright S0 Antlia member. Furthermore, FS90 110 seems to extend the sequence followed by bright elliptical and S0 galaxies (in a perpendicular direction with respect to the relation of early-type galaxies), in the same way as M32 would do if it were placed at the Antlia distance. This latter correlation corresponds to the Kormendy (1977) scaling relation followed by bright ellipticals and bulges of spiral galaxies on the $r_{\text{eff}} - \mu_{\text{eff}}$ plot, which is a projection of the Fundamental Plane (Djorgovski & Davis 1987). NGC 4486B and NGC 5846A and A496cE are also located within this sequence, towards smaller effective radius. However, M32 is the most extreme case. This behaviour of cE galaxies has already been noticed by, for instance, Nieto & Prugniel (1987); see also Chilingarian et al. (2007). FS90 192 does not follow the same trend as cEs.

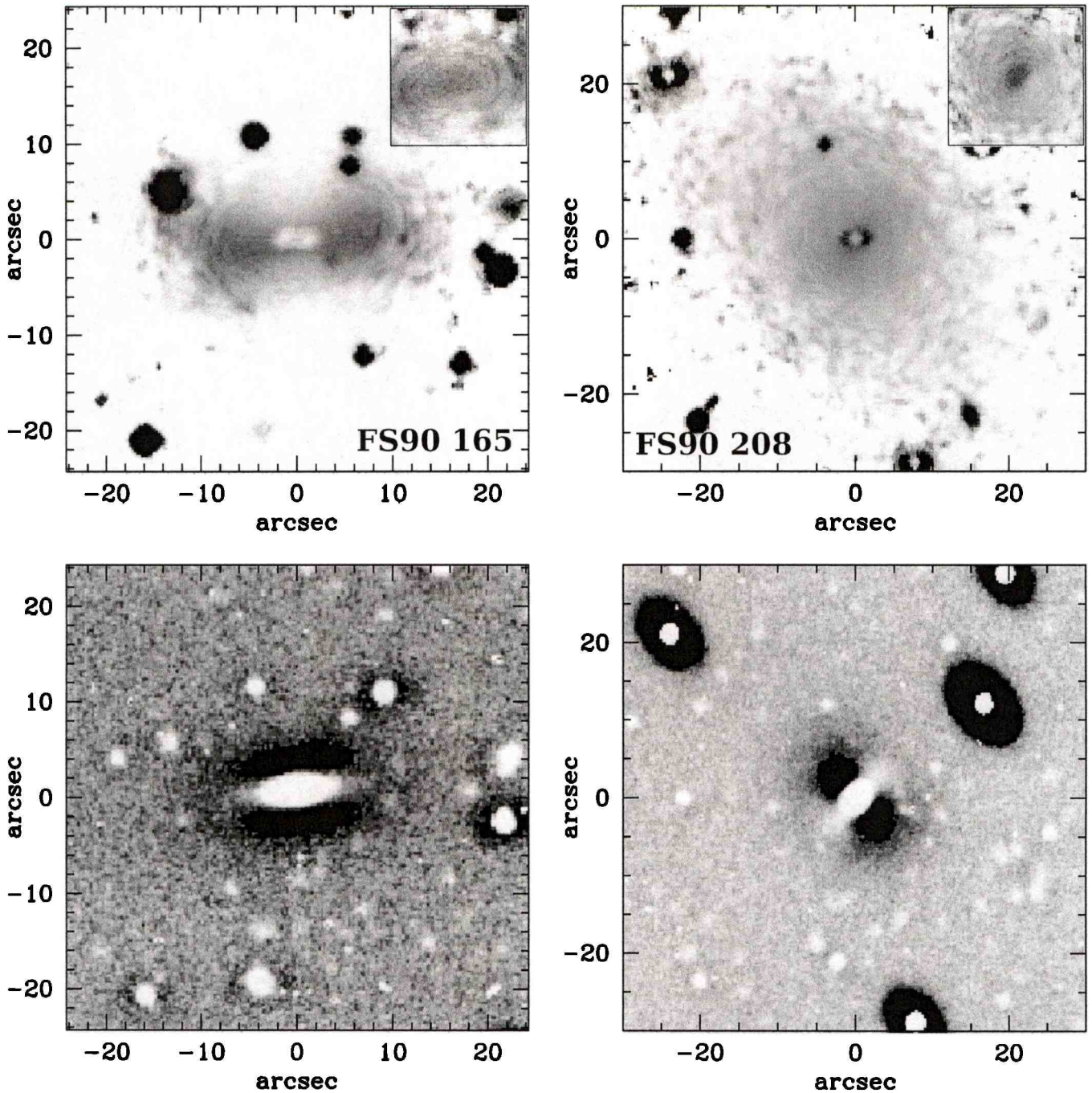


Figure 4. Top: $(C - T_1)$ colour maps of FS90 165 and FS90 208. The large maps were obtained from long-exposure images, and the small maps, in the upper-right corners, from short-exposure frames to recover the overexposed central region. The linear scale of the small colour maps is the same as in the large maps. A median filter with a window size of 5×5 pixel was applied to all individual images, previous to the construction of the maps. The greyscale corresponds to a colour range $(C - T_1) = 0.0$ – 3.0 mag, in which black refers to red colours, and white to blue colours. Bottom: elliptical unsharp masks with kernel size $\sigma = 7$ pixel of FS90 165 (left) and FS90 208 (right).

The right panel of Fig. 5 shows the colour–magnitude diagram of the FS90 early-type galaxies from the sample of Paper I, where the FS90 cE candidates have been included. The solid line shows the mean colour–magnitude relation followed by early-type Antlia galaxies. It can be seen that FS90 110 is located on the red border of the relation, at almost the same position as FS90 165, and evidently separated from the early-type background galaxies with similar

apparent magnitudes. In contrast, FS90 192 clearly deviates from the colour–magnitude relation of Antlia members towards redder colours, or fainter magnitudes.

We note that, considering the $(B - R)$ versus M_B colour–magnitude relation of the Perseus cluster (Conselice, Gallagher & Wyse 2002), and adopting for M32 $(B - R) \sim 1.45$ mag (Peletier 1993) and $M_R \sim -16.8$ (see Table 3), the location of M32 in this

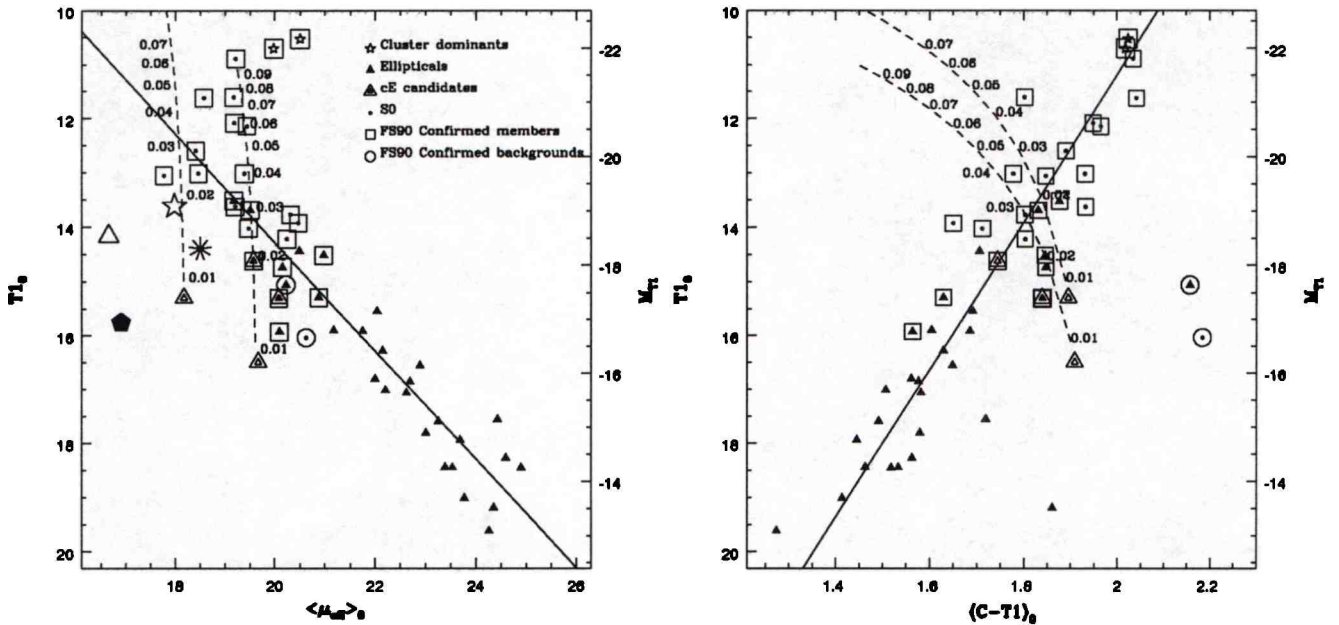


Figure 5. Left: T_1 magnitude versus mean effective surface brightness plot where different morphologies are indicated. The solid line is the locus of constant effective radius (~ 1 kpc) of Antlia early-type galaxies with $T_1 > 13$ mag (see Paper I). Two FS90 cE candidates set the lowest limit in effective radii of our sample from Paper I. All galaxy positions in the plot correspond to their observed apparent magnitudes, except for M32 (large solid pentagon), NGC 4486B (large open triangle), NGC 5846A (large star) and A496cE (large asterisk), which show the location they would display if they were at the Antlia distance. The dashed lines show the possible locations that FS90 110 and FS90 192 would hold at the Antlia distance, if their true distances corresponded to the redshift range $z = 0.01$ – 0.1 (small numbers close to the dashed lines indicate such redshifts). Right: colour–magnitude diagram including the FS90 cE candidates (symbols as in the left panel). The solid line shows the mean colour–magnitude relation followed by early-type Antlia galaxies (Paper I). The dashed lines correspond to those displayed in the left panel. The absolute magnitude scale (on the right of both panels) is only valid for Antlia confirmed members.

diagram presents the same trend as FS90 110 and FS90 192 in ours (i.e. shifted towards redder colours or fainter magnitudes from the cluster mean colour–magnitude relation).

As an additional test, we assume that FS90 110 and FS90 192 are elliptical background galaxies that ‘fall off’ the mean relations followed by Antlia early-type members, because of the effect of distance. Then we can calculate the shift of their positions in the $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ versus r_{eff} and colour–magnitude plots applying cosmological dimming and K -corrections to their observed surface brightnesses, and luminosities and colours, respectively. From Fukugita, Shimasaku & Ichikawa (1995), we adopt the K -correction to $(B - R)$ for an elliptical galaxy. Assuming that early-type galaxies are old stellar systems, we transformed this correction into $(C - T_1)$ following Forbes & Forte (2001). The dashed lines in both panels of Fig. 5 show the different positions that these galaxies would hold at the Antlia distance, if their real distances were within a redshift range $z = 0.01$ – 0.1 . Please note that a redshift of $z \approx 0.01$ corresponds approximately to the adopted Antlia distance.

Fig. 5 shows that, to fall on the locus of the Antlia relation, FS90 110 might have, at most, an intrinsic luminosity similar to those of bright early-type Antlia members, then being at a distance of ~ 120 Mpc ($z \approx 0.03$). This shift would place it within the colour–magnitude relation in the right panel.

For FS90 192, two options exist in the $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ versus r_{eff} plot: it could be a bright dwarf elliptical at ~ 120 Mpc, or a giant elliptical galaxy placed as far as ~ 400 Mpc ($z \approx 0.1$). However, from the colour–magnitude diagram, we can see that the second possibility must be discarded as, for that redshift, FS90 192 would be completely out of the mean relation.

Regarding FS90 192, the images do not show any concentration of galaxies in its neighbourhood, which would make it an interesting

object even if it were not confirmed as an Antlia cE galaxy; isolated ellipticals of moderate luminosity are not common objects. In the case of FS90 110, we cannot rule out from the present analysis that it may be an ordinary background galaxy.

4 ANALYSIS OF FORS1 AND ACS DATA

In order to obtain more evidence in favour of, or against, FS90 110 and FS90 192 being cE galaxies, we have analysed two frames obtained with FORS1, centred on NGC 3258 and NGC 3268, respectively. As mentioned above, these frames are deeper and were taken under better seeing conditions than the MOSAIC frames. We have also used two ACS images from the *HST* archive also centred on NGC 3258 and NGC 3268, respectively. Unfortunately, there are no similar data available for FS90 165 and FS90 208.

4.1 Low surface brightness bridge

In the FORS1 and ACS images of FS90 110 and FS90 192, we have not detected outer structures different from those previously seen on the MOSAIC images. The very low surface brightness ‘bridge’ that seems to link FS90 110 to NGC 3258 is detected in both the V and I FORS1 images as well as in the F814W ACS frame. No comparable structures were found in the corresponding images of FS90 192. Its outer isophotes look regular without visible evidence of distortion.

In the top panel of Fig. 6, we show brightness contour levels superimposed on the F814W ACS frame of FS90 110 from which a model of NGC 3258 has been subtracted. In order to test whether the low surface brightness structure could be just an artefact due to the subtraction of NGC 3258, we added to the original V FORS1

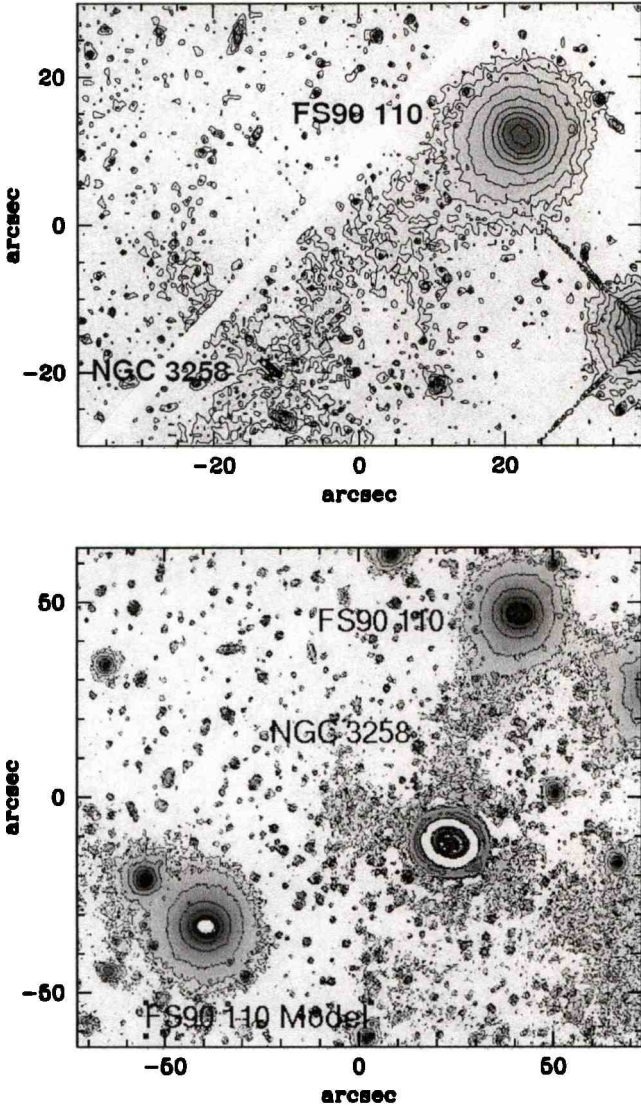


Figure 6. Contour maps showing the low surface brightness structure that seems to link FS90 110 to NGC 3258. Top: F814W ACS frame from which a model of NGC 3258 has been subtracted. Bottom: to test whether the low surface brightness ‘bridge’ is an artefact due to the subtraction of the light of NGC 3258, we have added a model of FS90 110 to the V FORS1 image, shifted in position angle from its original location but keeping its galactocentric distance to the centre of the dominant galaxy. After the subtraction of the NGC 3258 light model, there is no similar low surface brightness structure left around the artificial FS90 110 galaxy.

image of NGC 3258 a model of FS90 110 obtained with `BMODEL`. This artificial galaxy with similar characteristics as FS90 110, was placed in a different position but keeping the original galactocentric distance to the centre of the dominant galaxy. We subtracted the light of NGC 3258 from this new image, and no low surface brightness ‘bridge’ was found at the location of the added object (see Fig. 6). This result can be understood as proof that such a ‘bridge’ is not a spurious detection as a result of image processing. Another argument supporting this statement is the fact that this low surface brightness structure does not connect the two galaxy centres, as can be seen in both panels of Fig. 6.

4.2 Colour maps and unsharp masking

With the aim of obtaining additional information on the possible internal structure of FS90 110 and FS90 192, we built $(V - I)$ and $(B - I)$ colour maps from the FORS1 and ACS images, respectively. We have also performed unsharp masking on these frames with the best signal-to-noise ratio (i.e. the FORS1 V and ACS I images). Elliptical masks were constructed in a similar way as those of MOSAIC.

Fig. 7 shows the ACS $(B - I)$ colour map of FS90 110 (left panel), which has a better spatial resolution than that of FORS1. A FORS1 unsharp elliptical mask is also displayed (right panel), resulting from a σ value of 5 pixel (i.e. 1 arcsec). In the inner region of FS90 110, we see an embedded warped structure, which is detected on both the colour map and the mask. This structure is redder than the rest of the galaxy.

Although the ACS images show a higher spatial resolution, we prefer to show a FORS1 mask, as the former contains an artefact in the same location where the inner structure is expected to show up. All bright point sources also show this artefact (note the bright star at the right side of the top panel of Fig. 6.)

In the colour maps and unsharp masks of FS90 192 (not shown), we have not found any structure different from what has been already seen in the MOSAIC data.

4.3 Brightness profiles

Fig. 8 shows a comparison of the MOSAIC T_1 brightness profiles of FS90 110 and FS90 192, with the V and I profiles obtained from FORS1 and ACS, respectively. The photometric parameters obtained from the VLT V and I profiles are listed in Table 4.

Most of the features observed in the MOSAIC profiles are confirmed through VLT and *HST* images, including the ellipticity and position angle variations. The exception is the `ELLIPSE B4` coefficient behaviour in FS90 110, as it does not become positive at $r \sim 6$ arcsec. The high central surface brightness displayed by FS90 110 in the ACS profile is noticeable, detected thanks to the low FWHM of these images.

In order to test the values of the N Sérsic indices obtained for the T_1 brightness profile (see Section 3.2) of FS90 110, we have fitted two coupled general Sérsic laws to its ACS I brightness profile, within the equivalent radius range 2.0–11.8 arcsec. The Sérsic indices N (i.e. $1/n$) for both components resulting from this new fit (1.8 ± 0.2 and 1.25 ± 0.05 for the outer and inner components, respectively) are in good agreement with those obtained from the MOSAIC profile (see Table 2).

We intended to perform a two-component fit over the whole useful range of the ACS profile (i.e. 0.3–11.8 arcsec), as the innermost 0.3 arcsec are expected to be affected by the seeing. However, no model could be obtained that properly fitted the whole profile considering an inner cut radius lower than 1.5 arcsec (>2 FWHM). This indicates that two Sérsic laws can represent the light profile of the galaxy only if the central region is excluded from the fit. Such a limitation of Sérsic profiles could not be avoided by, for example, performing a point spread function (PSF) convolution with the model.

Choi et al. (2002) have obtained the I profile of M32, which is shown in Fig. 8 with its equivalent radius rescaled to the Antlia distance. In addition, we have obtained the ACS z profile of NGC 4486B, which is also shown rescaled. The profiles of FS90 110 and M32 look similar in both shape and high central surface brightness, although the former extends over a larger galactocentric

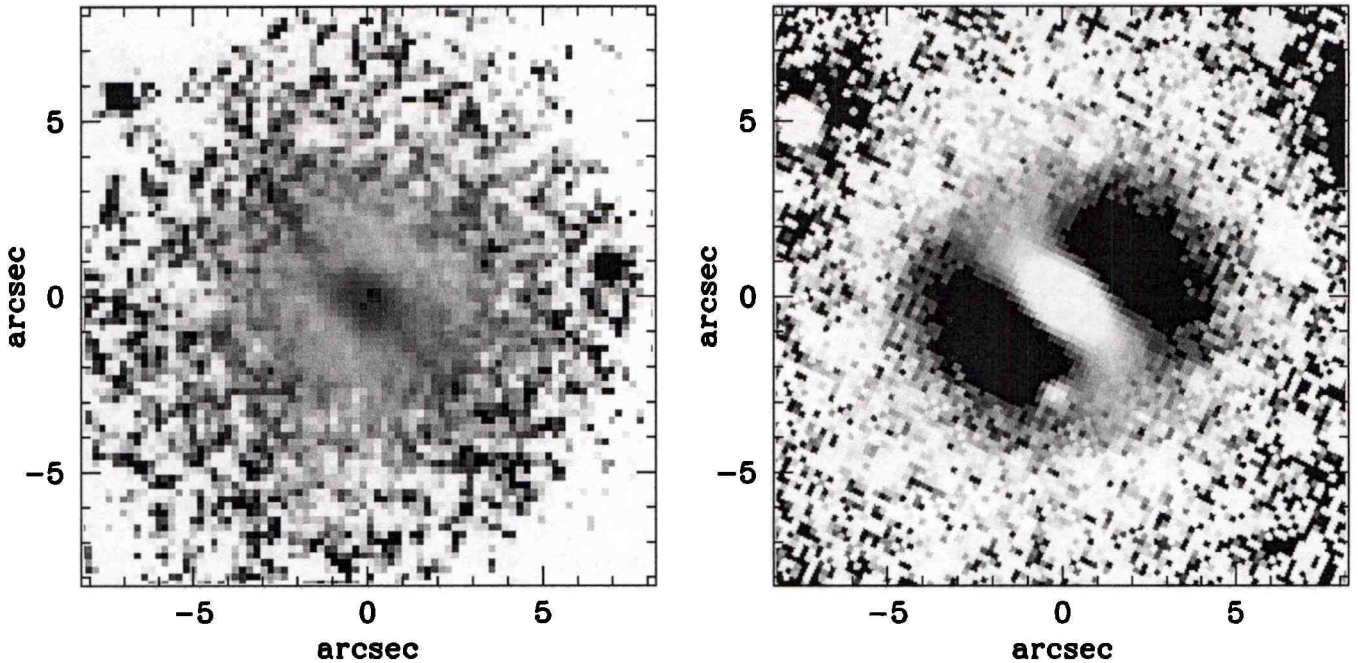


Figure 7. Left: $(B - I)$ colour map of FS90 110, obtained from ACS images. A median filter with a window size of 5×5 pixel was applied. The displayed greyscale corresponds to a colour range $(B - I) = 0.0$ – 2.5 mag, in which black refers to red colours and white to blue colours. Right: FS90 110 FORS1 elliptical unsharp mask, obtained with a Gaussian kernel size of $\sigma = 5$ pixel (i.e. 1 arcsec).

radius. M32 also displays significant changes in both ellipticity and position angle (Choi et al. 2002), similar to those found in FS90 110. However, NGC 4486B is larger than FS90 110 and does not show a two-component profile, similar to FS90 192. This is in agreement with Ferrarese et al. (2006), who fitted a single-component Sérsic law to the profile of NGC 4486B.

5 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

5.1 FS90 165

From the analysis performed in the previous section, we conclude that FS90 165, a spectroscopically confirmed Antlia member, cannot be considered as a cE galaxy. It follows the fundamental relations of low surface brightness early-type Antlia galaxies (see also Paper I), is larger than any confirmed cE object and presents no compact morphology. It is also located far away in projection from any bright galaxy, and from the central cluster region, a characteristic shared by all confirmed cE galaxies. Its T_1 brightness profile is well fitted by a single Sérsic law along its whole radius range (i.e. it does not show two components). However, the S0 morphological classification assigned to this galaxy by FS90 is in agreement with the B4 coefficient values that point to discy isophotes, and with the red inner disc found in its $(C - T_1)$ colour map and confirmed through unsharp masking. There are no images from VLT or *HST* for this object.

5.2 FS90 208

Certainly, FS90 208 is not a cE galaxy either. It is a confirmed Antlia member that follows the same fundamental relations as FS90 165 and the rest of the low surface brightness early-type galaxies, and it is not compact. Besides, it is not close in projection to any bright galaxy and is far from the centre of the cluster. However, it displays a

two-component brightness profile and presents important variations in ellipticity and position angle that resemble those shown by M32 (Choi et al. 2002), albeit stronger. Curiously, these variations arise at the same galactocentric radii as those displayed by FS90 110, and behave in a similar way. FS90 have classified this object as an S0 galaxy, which is in agreement with the two components present in its brightness profile, as well as with the B4 coefficient, which indicates that the isophotes are nearly discy. Moreover, a process of unsharp masking reveals what seems to be an inner bar structure, slightly detected with the subtraction of a fixed ELLIPSE model of the galaxy from the MOSAIC image. However, a triaxial object, in which the axial ratios vary with radius, could also display isophote twisting (Binney & Merrifield 1998).

5.3 FS90 192

There is no radial velocity available for FS90 192. It displays no perceptible colour gradients and, if it were an Antlia member, it would be as compact as other cE galaxies. Furthermore, its projected distance to NGC 3268 would be smaller than that between NGC 4486B and NGC 4486. Although it does not display two components in its brightness profile, it is worth noting that NGC 4486B in the Virgo cluster also presents a single-component profile and a similar n (i.e. $1/N$) value.

Despite all the interesting features mentioned above, we cannot confirm or rule out that this object is in the background. It does not follow the fundamental relations of early-type Antlia members, as it appears shifted towards higher surface brightnesses, fainter magnitudes or redder colours. M32 would hold a comparable position on the colour–magnitude diagram if it were placed at the Antlia distance. However, FS90 192 does not follow the relation between mean effective surface brightness and luminosity defined by confirmed cEs. Under the hypothesis that it is a background object, FS90 192 would become an isolated elliptical galaxy of moderate

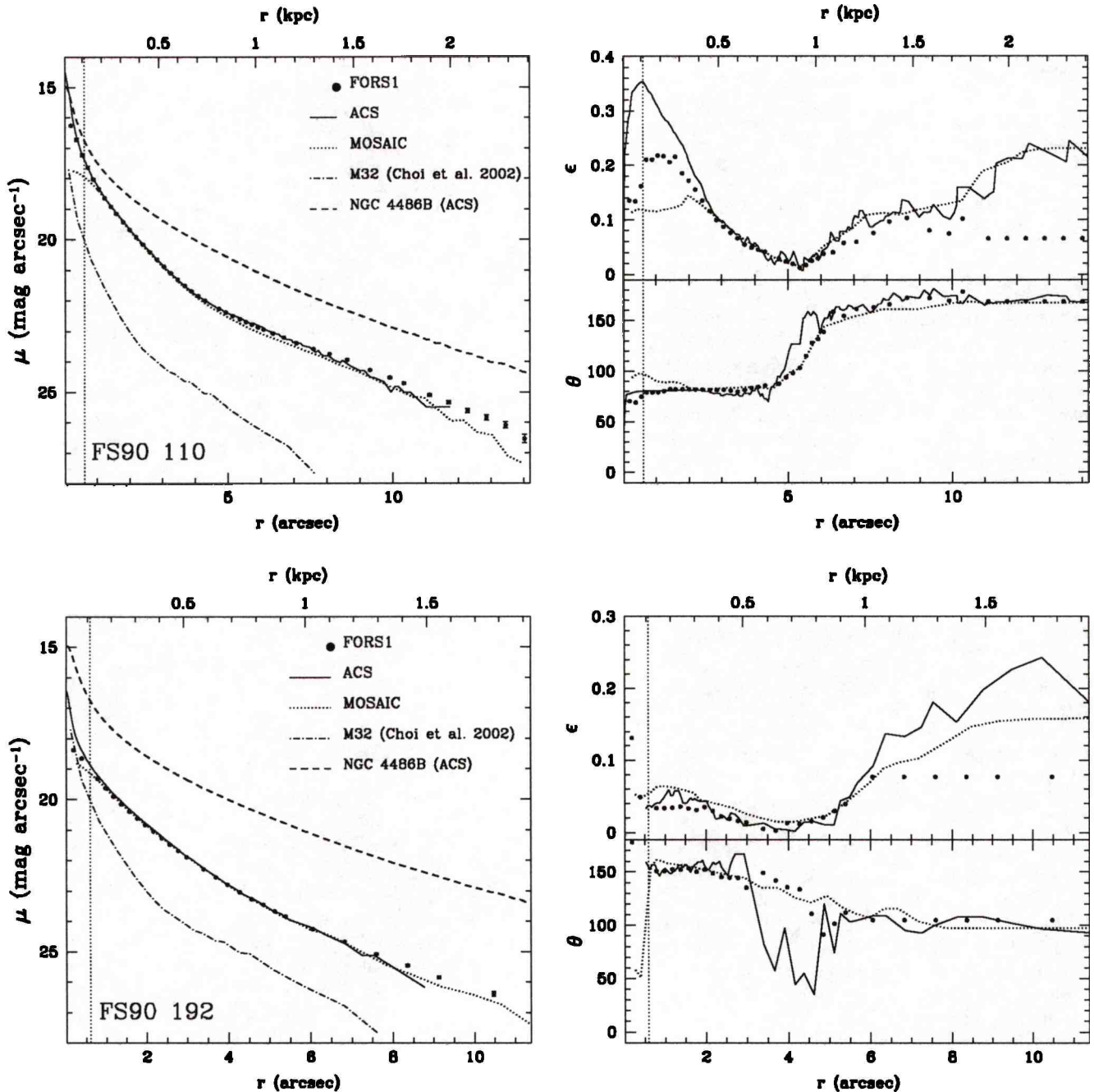


Figure 8. Left: T_1 brightness profiles of FS90 110 (top) and FS90 192 (bottom), compared with the V profile obtained from FORS1, and the I profile obtained from ACS. The FORS1 profiles have been shifted by adding 1.1 mag in order to match the T_1 profiles, and the ACS profiles by adding 0.4 mag. We have also added the z ACS brightness profile of NGC 4486, and that of M32 in the I band from Choi et al. (2002), with their equivalent radius rescaled to the Antlia distance. For clarity, the M32 profile has been shifted by adding 2.5 mag. Right: comparison of ellipticity and position angle versus equivalent radius of FS90 110 and FS90 192, obtained from MOSAIC, FORS1 and ACS images (symbols as in the left panel). The vertical dotted lines in all panels show the seeing region of the FORS1 images. The equivalent radius scale displayed at the top of all panels was obtained considering the adopted Antlia distance (1 arcsec \simeq 170 pc).

luminosity (highly unlikely), as we have not found any concentration of galaxies in its neighbourhood.

5.4 FS90 110

There is no radial velocity available for FS90 110 and, as stated in Section 3.4, it could be a background galaxy placed at ~ 120 Mpc. However, it seems to be the most firm candidate for a cE galaxy.

If it were an Antlia member, its projected separation from NGC 3258 would be of the same order as those of M32 from M31 and NGC 5486A from NGC 5486. Moreover, it would be much closer to the dominant galaxy than NGC 4486B to NGC 4486, and its effective radius would be smaller than that of NGC 5486A.

It presents a high central surface brightness in the brightness profile obtained from the ACS image, and its $(C - T_1)$ and $(V - I)$ colour profiles are flat, in agreement with what is found for M32.

Table 4. FS90 cE candidates located in the FORS1 images. μ_V gives the surface brightness of the outermost isophote within which integrated magnitudes and colours are measured. r_V is the equivalent radius ($r = \sqrt{ab}$) of that isophote. (μ_{eff}) is obtained from r_{eff} . All these values were obtained from ELLIPSE.

FS90 ID	V (mag)	$(V - I)$ (mag)	μ_V (mag arcsec $^{-2}$)	r_V (arcsec)	$(\mu_{\text{eff}})_V$ (mag arcsec $^{-2}$)	r_{eff_V} (arcsec)
110	16.41	1.14	27.7	12.3	18.8	1.2
192	18.00	1.21	27.3	8.6	21.0	1.6

Its brightness profile shows two components in the equivalent radius range 2–11.8 arcsec, which seems to be described by $N > 1$ (i.e. $n < 1$) Sérsic indices. It is tempting to suggest that such an N index for the outer component might be linked to a truncation of the profile (Erwin et al. 2008), because of a possible interaction with NGC 3258. However, such a hypothesis should be studied in light of the confirmed membership status of FS90 110. Furthermore, it would be interesting to test whether the outer component of confirmed cE galaxies displaying two components in their brightness profiles could be fitted by a Sérsic law with $N > 1$ (i.e. $n < 1$).

The variations of the ellipticity and position angle versus radius displayed by FS90 110 resemble those found in M32. These changes occur at a galactocentric radius at which the outer component seems to begin to dominate, in agreement with what Graham (2002) found for M32.

FS90 110 is the only FS90 cE candidate that follows the luminosity versus mean effective surface brightness relation defined by bright ellipticals, which corresponds to the Kormendy (1977) scaling relation, towards fainter magnitudes, smaller radius or higher mean effective surface brightness. It also seems to follow the colour–magnitude relation of Antlia members, although it is located at the red border.

The elongation and twisting of FS90 110’s outermost isophotes in the direction of NGC 3258 are noticeable. This would be consistent with the extremely low surface brightness structure detected in the MOSAIC images, and confirmed with the FORS1 and ACS frames. Such a ‘bridge’, which seems to link FS90 110 with its bright partner, would be in agreement with the fact that most confirmed cE galaxies are located in the vicinity of brighter companions. In this sense, it is also worth noting the warped inner structure displayed in the ACS colour map, and confirmed through unsharp masks of FORS1. Similar stellar structures are found in numerical simulations (Bekki et al. 2001; Mayer et al. 2006) as a consequence of galaxy interactions.

5.5 Final remarks

A galaxy that is interacting with a more massive partner will feel tidal forces most strongly in its outskirts, while its central region will be less affected (see, for example, Bekki et al. 2001, for a model of the interaction between M32 and M31). As a consequence, it would not be surprising to observe asymmetric and ‘egg-shaped’ outer isophotes, and/or to detect low surface brightness stellar ‘tails’, arising from the disruption of the outer regions of the satellite (Mayer et al. 2006). In particular, these faint structures could be observed either as one or two symmetric ‘tails’, depending on projection effects (see fig. 4 in Mayer et al. 2006). The distorted outermost isophotes of FS90 110 and the extremely faint structure detected in the *HST*, VLT and CTIO images fit well in such a scenario.

The similarities in the ellipticity and position angle variations against radius displayed by FS90 110 and FS90 208, which arise at a similar galactocentric radius of ~ 5.5 arcsec (i.e. in their inner regions), are also remarkable. These types of variation have already been detected in M32, although not so strongly. All this evidence leads us to speculate about the possibility that an object similar to FS90 208 might be the progenitor of a cE galaxy. Thus, it is tempting to look for possible links between these two types of object.

We may think that a system with similar characteristics to FS90 208 may lose its outermost regions as a result of interaction with a bright companion, then becoming compact. As a consequence, it could also experience a redistribution of its stellar content, which might produce a warped inner structure, a higher central surface brightness and an attenuation of its ellipticity and position angle variations with radius. Moreover, the bulge-to-disc ratio in such an object could increase after losing its outer parts because of the interaction. With regard to this point, it should be noted that the inner component of FS90 110 seems to be three times brighter than the outer component, while that of FS90 208 is just 1.6 times brighter in relation with the outer component.

As an additional point, we recall that the Antlia cluster seems to be particularly rich in S0 galaxies, and FS90 208 seems to be one of these. If the evolutionary path of cE galaxies include this type of object, S0-rich clusters would arise as favourable environments for the formation of compact galaxies.

Dynamical simulations and the spectroscopically confirmed membership status of FS90 110 and FS90 192 will help to test whether any of the above statements are indeed plausible.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank the referee, Igor Chilingarian, for his useful comments that helped to improve this paper. We are also grateful to S. A. Cellone for valuable discussions and for kindly reading the original manuscript. This research has made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED), which is operated by the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration. This work was funded with grants from Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina, Agencia Nacional de Promoción Científica Tecnológica and Universidad Nacional de La Plata (Argentina). TR is grateful for support from the Chilean Center for Astrophysics, FONDAF No. 15010003.

REFERENCES

- Alonso M. V., Bernardi M., Da Costa L. N., Wegner G., Willmer C. N. A., Pellegrini P. S., Maia M. A. G., 2003, *AJ*, 125, 2307
 Bassino L. P., Richtler T., Dirsch B., 2008, *MNRAS*, 386, 1145
 Bekki K., Couch W. J., Drinkwater M. J., Gregg M. D., 2001, *ApJ*, 557, L39
 Binggeli B., Sandage A., Tammann G. A., 1985, *AJ*, 90, 1681
 Binney J., Merrifield M., 1998, in *Galactic Astronomy*, Princeton Series in Astrophysics. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, p. 184
 Canerna R., 1976, *AJ*, 81, 228
 Cellone S. A., Buzzoni A., 2001, *A&A*, 369, 742
 Cellone S. A., Buzzoni A., 2005, *MNRAS*, 356, 41
 Chilingarian I., Cayatte V., Chemin L., Durret F., Laganá T. F., Adami C., Slezak E., 2007, *A&A*, 466, L21
 Chilingarian I., Cayatte V., Durret F., Adami C., Balkowski C., Chemin L., Laganá T. F., Prugniel P., 2008, *A&A*, 486, 85
 Choi P. I., Guhathakurta P., Johnston K. V., 2002, *AJ*, 124, 310
 Conselice C. J., Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 2002, *AJ*, 123, 2246
 Davidge T. J., 1991, *AJ*, 102, 896

- de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H. G., Buta R. J., Paturel G., Fouque P., 1991, *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*. Springer-Verlag, New York (RC3)
- Dirsch B., Richtler T., Bassino L. P., 2003, *A&A*, 408, 929
- Djorgovski S., Davis M., 1987, *ApJ*, 313, 59
- Drinkwater M. J., Gregg M. D., Holman B. A., Brown M. J. I., 2001, *MNRAS*, 326, 1076
- Erwin P., Pohlen M., Beckman J. E., 2008, *AJ*, 135, 20
- Ferguson H. C., Sandage A., 1990, *AJ*, 100, 1 (FS90)
- Ferrarese L. et al., 2006, *ApJS*, 164, 334
- Forbes D. A., Forte J. C., 2001, *MNRAS*, 322, 257
- Forte J. C., Faifer F. R., Geisler D., 2007, *MNRAS*, 382, 1947
- Fukugita M., Shimasaku K., Ichikawa T., 1995, *PASP*, 107, 945
- Gavazzi G., Donati A., Cucciati O., Sabatini S., Boselli A., Davies J., Zibetti S., 2005, *A&A*, 430, 411
- Geisler D., 1996, *AJ*, 111, 480
- Graham A. W., 2002, *ApJ*, 568, L13 (erratum *ApJ*, 572, L121)
- Graham A. W., Worley C. C., 2008, *MNRAS*, 388, 1708
- Graham A. W., Jerjen H., Guzmán R., 2003, *AJ*, 126, 1787
- Jedrzejewski R. I., 1987, *MNRAS*, 226, 747
- Jerjen H., Kalnajs A., Binggeli B., 2000, *A&A*, 358, 845
- Kormendy J., 1977, *ApJ*, 218, 333
- Lauer T. R. et al., 1996, *ApJ*, 471, L79
- Lisker T., Ghatt K., Westera P., Grebel E. K., 2006a, *AJ*, 132, 2432
- Lisker T., Grebel E. K., Binggeli B., 2006b, *AJ*, 132, 497
- MacArthur L. A., Courteau S., Holtzman J. A., 2003, *ApJ*, 582, 689
- Mahdavi A., Trentham N., Tully R. B., 2005, *AJ*, 130, 1502
- Mateo M. L., 1998, *ARA&A*, 36, 435
- Mayer L., Mastrogiro C., Wadsley J., Stadel J., Moore B., 2006, *MNRAS*, 369, 1021
- Mieske S., Infante L., Hilker M., Hertling G., Blakeslee J. P., Benítez N., Ford H., Zekser K., 2005, *A&A*, 430, L25
- Nakazawa K., Makishima K., Fukazawa Y., Tamura T., 2000, *PASJ*, 52, 623
- Nieto J.-L., Prugniel P., 1987, *A&A*, 186, 30
- Pedersen K., Yoshii Y., Sommer-Larsen J., 1997, *ApJ*, 485, L17
- Peletier R. F., 1993, *A&A*, 271, 51
- Rose J. A., Arimoto N., Caldwell N., Schiavon R., Vazdekis A., Yamada Y., 2005, *AJ*, 129, 712
- Sánchez-Blázquez P., Gorgas J., Cardiel N., 2006, *A&A*, 457, 823
- Sandage A., Binggeli B., 1984, *AJ*, 89, 919
- Schlegel D., Finkbeiner D., Davis M., 1998, *ApJ*, 500, 525
- Sérsic J. L., 1968, *Atlas de Galaxias Australes*. Obs. Astron., Univ. Nac. Córdoba, Córdoba
- Sirianni M. et al., 2005, *PASP*, 117, 1049
- Smith Castelli A. V., Bassino L. P., Richtler T., Cellone S. A., Aruta C., Infante L., 2008, *MNRAS*, 386, 2311 (Paper I)
- Tonry J. L., Dressler A., Blakeslee J. P., Ajhar E. A., Fletcher A. B., Luppino G. A., Metzger M. R., Moore C. B., 2001, *ApJ*, 546, 681
- Trujillo I., Aguerri J. A. L., Cepa J., Gutiérrez C. M., 2001a, *MNRAS*, 321, 269
- Trujillo I., Aguerri J. A. L., Cepa J., Gutiérrez C. M., 2001b, *MNRAS*, 328, 977
- Ziegler B. L., Bender R., 1998, *A&A*, 330, 819

This paper has been typeset from a $\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$ file prepared by the author.

Capítulo 4

Galaxias enanas nuevas en Antlia

4.1. Introducción

Las galaxias enanas elípticas (dE) y esferoidales (dSph) son el tipo más común de galaxias en grupos y cúmulos de galaxias (ver, por ejemplo, FS90). Debido a sus bajos brillos superficiales son, además, los objetos más difíciles de identificar y medir, tanto fotométrica como espectroscópicamente, especialmente a grandes distancias. Como consecuencia de esto, la construcción de catálogos de galaxias muy débiles en cúmulos y grupos distantes o cercanos, se torna una tarea particularmente difícil. A pesar de que los criterios morfológicos de identificación de este tipo de galaxias han demostrado ser una herramienta poderosa en cúmulos y grupos cercanos (ver, por ejemplo, Binggeli, Sandage y Tammann 1985; Ferguson 1989; FS90), las galaxias de fondo pueden ser confundidas con galaxias enanas si no se las observa con suficiente resolución espacial (ver, por ejemplo, el objeto 27 en los trabajos de Conselice et al. 2003 y Penny y Conselice 2008).

Se espera que las galaxias dE y dSph provean información clave sobre la formación y evolución de las galaxias. Este tipo de galaxias son las menos masivas actualmente conocidas y, en el marco de los modelos de materia oscura fría, son identificadas como los bloques elementales a partir de los cuales se forman las galaxias masivas. Por otro lado, estos sistemas seguramente muestran señales de su formación y evolución que, una vez identificadas, pueden ayudar a reconstruir su historia.

Los modelos de materia oscura fría predicen una sobreabundancia de galaxias de baja masa en comparación con lo que se observa, tanto en torno a la Vía Láctea como dentro de grupos y cúmulos de galaxias (el denominado

Problema de los Satélites Perdidos; ver, por ejemplo, Klypin et al. 1999). Esto conduce a una discrepancia importante entre las funciones de luminosidad predicha y observada para el Grupo Local y para cúmulos cercanos, la cual aún debe ser resuelta. Adicionalmente, el halo estelar de la Vía Láctea muestra un grado de subestructura que sería consistente con la acreción de galaxias satélites (Bell et al. 2008). Si este fuera el caso, el número original de las galaxias enanas del Grupo Local debería haber sido mucho más alto que el número observado actualmente de galaxias en este sistema.

En este capítulo presentamos el estudio de galaxias débiles nuevas (esto es, no catalogadas previamente) de tipo dE y dSph ubicadas en la región central del cúmulo de Antlia. Nuestro análisis está basado en imágenes obtenidas con CTIO-MOSAIC y espectros obtenidos con GEMINI-GMOS. De las 71 galaxias de FS90 situadas en esta zona que fueron clasificadas como galaxias enanas definitivas o probables, sólo 15 contaban con datos de velocidades radiales previo a este estudio. Gracias a la obtención de nuevos espectros con GEMINI-GMOS, hemos podido agregar ocho nuevas velocidades radiales a esta muestra. Por otro lado, hemos identificado 44 galaxias sin clasificación previa que muestran morfologías de tipo dE y dSph. Estas nuevas galaxias extienden el rango de luminosidad de probables miembros de Antlia hasta $B_T = 22.6$ mag. Cinco de estas galaxias son nuevos miembros confirmados del cúmulo de Antlia.

En la Sección 4.2 presentamos la información referida a nuestros datos fotométricos y espectroscópicos. También presentamos nuevas velocidades radiales para ocho galaxias FS90 y cinco nuevos miembros de Antlia, así como también un catálogo de nuevas galaxias enanas candidatas a ser miembros del cúmulo de Antlia. En la Sección 4.3 describimos nuestra muestra de galaxias. En la Sección 4.4 revisamos las propiedades fotométricas de las galaxias de tipo temprano de Antlia ya estudiadas en el Capítulo 2, incluyendo los nuevos miembros confirmados y las nuevas galaxias candidatas. En la Sección 4.5 presentamos una discusión de los resultados y las conclusiones del presente capítulo.

4.2. Datos

4.2.1. Observaciones

La identificación visual de nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia se llevó a cabo en la imagen Kron-Cousins R obtenida con la cámara MOSAIC de CTIO. Recordamos que esta imagen, así como también una similar obtenida en el filtro C de Washington, cubre la región central del

cúmulo de Antlia (Fig. 4.1). Este material ha sido utilizado en el análisis presentado en los Capítulos 2 y 3.

Para confirmar parte de nuestra identificación, utilizamos imágenes obtenidas con la cámara FORS1 de VLT, en las bandas V e I , correspondientes a dos campos centrados en las galaxias NGC 3258 y NGC 3268, respectivamente. Este material ya ha sido utilizado en el estudio presentado en el Capítulo 3. También hemos examinado otros dos campos: uno ubicado entre las dos galaxias gigantes que dominan la región central de Antlia (campo denominado “intracluster”), y otro más alejado (campo denominado “background”, Fig. 4.1). Estas imágenes han sido utilizadas en un estudio previo de los sistemas de cúmulos globulares de las dos galaxias centrales, desarrollado por Bassino et al. (2008).

Con el fin de confirmar la pertenencia al cúmulo de algunas galaxias candidatas, obtuvimos espectros multi-objeto en tres campos situados en la región central de Antlia. Los campos fueron elegidos de tal modo que contuvieran la mayor cantidad de galaxias candidatas posible. Estas candidatas fueron seleccionadas a partir del catálogo de FS90 para el Grupo de Antlia, y de estudios morfológicos realizados por nosotros previamente a la obtención de los espectros. Ubicamos, en promedio, 20 ranuras en cada campo. De ellas, aproximadamente 10 correspondieron a galaxias candidatas y objetos utilizados como templates. También se incluyeron algunas ranuras para candidatos a galaxias enanas ultra-compactas (UCDs, según sus siglas en inglés) y cúmulos globulares.

Los datos espectroscópicos fueron obtenidos el 14 de Febrero, y el 15 y 16 de Marzo de 2008 con el espectrógrafo multi-objeto de GEMINI (GMOS), montado en el telescopio GEMINI Sur (Programa GS-2008A-Q-56, PI: T. Richter). Se utilizó la red B600_G5303 centrada en 5000 \AA , con tres longitudes de onda centrales diferentes (5000 , 5050 y 5100 \AA) con el fin de cubrir los gaps del CCD. Las ranuras se tomaron con un ancho de $1''$ y el seeing promedio fue de $0.5'' - 0.6''$. Esta configuración provee una cobertura en longitud de onda de aproximadamente $3500 - 7200 \text{ \AA}$ dependiendo de las posiciones de las ranuras, y una resolución (fwhm) de $\sim 4.6 \text{ \AA}$. El tiempo de exposición total fue de 2 horas, divididas en tres exposiciones de 40 minutos cada una. La reducción de los datos se llevó a cabo en el modo usual, utilizando el paquete GEMINI.GMOS dentro de IRAF.

4.2.2. Fotometría y medición de nuevas velocidades radiales

Con el fin de obtener colores y magnitudes para las nuevas galaxias candidatas y nuevos miembros confirmados, utilizamos SEXTRACTOR (Bertin y Arnouts 1996). Los criterios de detección y el método fotométrico aplicado han sido descritos en el Capítulo 2.

En el caso de las galaxias débiles que no fueron apropiadamente detectadas por SEXTRACTOR, trabajamos con la tarea ELLIPSE de IRAF. En todos los casos utilizamos imágenes recortadas del campo central conteniendo la galaxia a medir, con el mismo tamaño en ambos filtros. Si la galaxia en cuestión se encontraba ubicada cerca de una galaxia brillante, previo a la medición se sustrajo un modelo de la luz de esta última. Este modelo se construyó con la tarea BMODEL de IRAF. También se midió el cielo en forma local, esto es, en las cercanías de la galaxia a medir, debido a que los campos de MOSAIC son muy extensos como para obtener un único valor representativo para el cielo en toda la imagen.

Luego de restar el nivel de cielo y de enmascarar las estrellas de campo, corrimos ELLIPSE sobre las imágenes R . Las galaxias no detectadas por SEXTRACTOR eran objetos muy débiles ($T_1 > 18.5$ mag) y difusos. Como consecuencia de esto, preferimos correr el ajuste de las elipses considerando una isofota externa conteniendo a toda la galaxia, y ejecutando el ajuste hacia adentro, manteniendo la elipticidad, el centro y el ángulo de posición fijos durante todo el proceso. Para medir los colores de una manera consistente, la fotometría correspondiente a la imagen C con el cielo restado fue obtenida tomando las mismas aberturas elípticas que en la imagen R . Las magnitudes en ambos filtros fueron calculadas a partir de la integración de los perfiles de brillo, y a partir de estas magnitudes integradas se calcularon los colores de las galaxias. Los perfiles de brillo fueron corregidos por nivel de cielo a través de la construcción de curvas de crecimiento, tal y como fue descrito en el Capítulo 2.

Hemos obtenido velocidades radiales para ocho galaxias de FS90 y cinco objetos previamente no catalogados. Estas velocidades fueron medidas utilizando el método de correlación cruzada y, en el caso de galaxias con líneas de emisión, mediante el ajuste de estas líneas.

En la Tabla 4.1 presentamos magnitudes, colores y velocidades radiales para las galaxias de FS90 confirmadas por nosotros como miembros de Antlia o galaxias de fondo. Sus imágenes se muestran en la Figura 4.2. En la Tabla 4.2 se listan magnitudes, colores, parámetros estructurales y velocidades radiales para los nuevos miembros de Antlia que no fueron catalogados por FS90. Sus imágenes son las presentadas en la Figura 4.3.

En la Tabla 4.3 se presenta la fotometría disponible para las nuevas candidatas a galaxias enanas del cúmulo. Destacamos que los colores ($C - T_1$) sólo fueron calculados para aquellos objetos cuyas imágenes en el filtro C mostraban relaciones señal-ruido (S/N) mayores que 5 (las imágenes R presentan valores S/N que son dos o tres veces más altos que los de las imágenes C correspondientes). Para algunas galaxias nuevas no hemos podido obtener ningún parámetro fotométrico debido a que son extremadamente débiles y difusos, afectados por bleeding intenso, o presentan estrellas brillantes superpuestas en sus imágenes. Las nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia para las que fue posible obtener algún dato fotométrico se muestran en la Figura 4.4, y aquéllas sin datos disponibles, en la Figura 4.5.

4.3. La muestra de galaxias

4.3.1. Miembros confirmados de Antlia del catálogo FS90

Hemos obtenido nuevas velocidades radiales para ocho galaxias FS90. Entre ellas, siete han resultado ser miembros del cúmulo de Antlia, y una, una galaxia de fondo. Cabe recordar que consideramos miembros de Antlia a aquellas galaxias con velocidades radiales en el rango $1200 - 4200 \text{ km s}^{-1}$ (ver el Capítulo 2 para una justificación). La realización de un análisis detallado de estos sistemas (esto es, de los perfiles de brillo y color, mapas de color o información espectroscópica adicional) se encuentra fuera del alcance de esta Tesis por lo que será pospuesto para futuras publicaciones. Sin embargo, damos a continuación las principales características mostradas por estas galaxias, como ser las relacionadas con su estatus de pertenencia y clasificación morfológica previa (ver Tabla 4.1), así como también las halladas a partir de nuestros datos.

FS90 70: Fue clasificada por FS90 como un miembro definitivo de Antlia (esto es, estatus 1) con morfología dE. Nosotros hemos confirmado su pertenencia al cúmulo a través de la obtención de su velocidad radial, así como también su morfología a partir de nuestras imágenes (ver la Figura 4.2). Sin embargo, cabe destacar que esta galaxia muestra un núcleo por lo que una clasificación dE,N resulta ser más apropiada.

FS90 85: FS90 clasificó a este objeto como un miembro definitivo de Antlia de tipo dE. Es en realidad un miembro del cúmulo con morfología dE. Sin embargo, en su imagen muestra también un pequeño núcleo en

su centro, por lo que debiera ser clasificado como una galaxia de tipo dE,N.

FS90 123: Hemos confirmado la morfología asignada por FS90 a este objeto, esto es, es una galaxia de tipo dE,N. A partir de nuestros datos espectroscópicos, sin embargo, su estatus de pertenencia debe ser cambiado de 2 (esto es, miembro probable de Antlia) a 1 (esto es, miembro definitivo de Antlia).

FS90 133: FS90 clasificó a esta galaxia como un miembro definitivo de Antlia de tipo morfológico d:E,N. Cabe recordar que, siguiendo a Grebel (2005), nosotros consideramos galaxias enanas a todos aquellos sistemas que presentan $T_1 > 14$ mag (ver Capítulo 2). En consecuencia este objeto es una galaxia dE brillante del cúmulo, con un núcleo central, esto es, una galaxia dE,N.

FS90 137: FS90 clasificó a esta galaxia como un miembro probable de Antlia de tipo ImV. A partir de su imagen confirmamos que es una galaxia de tipo irregular y debiera ser clasificada como enana irregular (dI) teniendo en cuenta su magnitud T_1 . Su estatus de pertenencia debe ser cambiado de 2 a 1, dado que es un miembro espectroscópicamente confirmado de Antlia. El color de esta galaxia es mucho más azul que la del resto de los miembros confirmados por nosotros del catálogo de FS90.

FS90 205: Fue clasificada como un miembro probable de tipo dE de Antlia. Sin embargo, ha resultado ser una galaxia espiral de fondo con un redshift de $z = 0.17$, cuyos brazos espirales se aprecian claramente en su imagen.

FS90 221: FS90 clasificó a esta galaxia como un miembro probable de Antlia con morfología dE. La morfología que observamos en su imagen, sin embargo, es similar a la de una galaxia de tipo dI, la cual presenta además estructura interna que podría estar asociada a formación estelar. Su estatus de pertenencia debe ser cambiado de 2 a 1 dado que ha resultado ser miembro de Antlia.

FS90 227: Esta galaxia fue clasificada por FS90 como un miembro probable de Antlia con una posible morfología dE (dE?). Es en realidad una galaxia dE y parece presentar un núcleo central. En consecuencia, debe ser clasificada como un miembro del cúmulo de tipo dE,N.

A pesar de que esta es una pequeña muestra de galaxias del catálogo de FS90, podemos observar que, en general, hemos confirmado la clasificación morfológica asignada por estos autores. Las excepciones las constituyen una galaxia espiral de fondo y una galaxia irregular, ambas consideradas sólo como miembros probables del cúmulo. Tal y como era de esperarse, hemos podido detectar varios núcleos anteriormente no identificados, gracias a la mayor resolución espacial de nuestras imágenes CCD, en comparación con la presentada por las placas fotográficas ($10.9'' \text{ mm}^{-1}$, Ferguson 1989). En un futuro cercano se planea estudiar los núcleos a partir de los perfiles de brillo de las galaxias que los alojan. Adicionalmente, ninguno de los miembros espectroscópicamente confirmados de Antlia fue clasificado por FS90 con estatus de pertenencia 3 (esto es, miembro poco probable de Antlia, ver Capítulo 2). Esto indica que podemos considerar que la mayor parte de las galaxias FS90 de estatus de pertenencia 3 son galaxias de fondo.

Cabe destacar que lo mencionado anteriormente se encuentra en acuerdo con los resultados encontrados por Cellone y Buzzoni (2005) (ver también Mendel et al. 2008) para una muestra espectroscópica de galaxias del grupo NGC 5044. Ellos confirmaron todos los miembros definitivos (esto es, estatus 1) de FS90 de su muestra, excepto uno, y concluyeron que una cantidad considerable de galaxias de fondo estaría presente entre los miembros probables (estatus 2) y poco probables (estatus 3) de su muestra. En consecuencia resulta razonable considerar a las galaxias de FS90 de estatus 1 como miembros de Antlia. Más aún, esto confirma a los criterios morfológicos de identificación de galaxias enanas, como una herramienta poderosa dada la escasez de velocidades radiales disponibles para galaxias débiles.

4.3.2. Galaxias Enanas Nuevas

Sobre la imagen *R* de MOSAIC hemos realizado una búsqueda visual basada en criterios morfológicos, de nuevas galaxias candidatas a enanas miembros de Antlia. Simplemente buscamos objetos extendidos que presentaran brillos superficiales bajos y una apariencia suave. En particular, estábamos interesados en identificar objetos similares a las galaxias de tipo dSph del Grupo Local, dado que este tipo de galaxias representaría el extremo más débil de la población de galaxias enanas de Antlia. Estas galaxias seguramente no han sido incluidas en el catálogo de Antlia de FS90.

Gallagher y Wyse (1994) definen una galaxia dSph como un sistema de apariencia elipsoidal con $M_B > -14$ ($M_V \gtrsim -14$, Grebel, Gallagher y Harbeck 2003; $-8.5 \gtrsim M_R \gtrsim -14.5$, Phillips et al. 1998), bajo brillo superficial en el óptico ($\mu_V > 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$) y sin núcleo. Estos objetos presentan masas totales tan bajas como $\sim 10^7 M_\odot$, y diámetros (obtenidos por radios tidales)

de entre ~ 2 y ~ 6 kpc (Grebel et al. 2003). En el Grupo Local la mayoría de las galaxias dE y dSph se sitúan dentro de un radio de 300 kpc alrededor de la Vía Láctea y M31, dos galaxias espirales masivas (Gallagher y Wyse 1994, Grebel 2005). Se encuentra una distribución similar en otros grupos de galaxias, pero no en cúmulos donde las dSphs no se encuentran asociadas a ningún sistema luminoso (Grebel et al. 2003). Las galaxias dSph también carecen de gas y se encuentran dominadas por estrellas viejas y de edad intermedia, aunque algunas de ellas han experimentado formación estelar reciente (Grebel et al. 2003). Sus tamaños extendidos, sus bajas luminosidades y dispersiones de velocidades, así como también sus grandes relaciones masa-luminosidad, indicarían que las galaxias dSphs se encuentran dominadas por materia oscura (ver, por ejemplo, Mateo 1998).

Las galaxias que hemos identificado no son señaladas por NED (Nasa Extragalactic Database) como objetos catalogados. Nos referiremos a ellos con el acrónimo ANTL seguido por sus coordenadas J2000, esto es *ANTL Jhhmmss-ddmmss*, de acuerdo a las recomendaciones de la IAU para designar nuevas fuentes (ver <http://vizier.u-strasbg.fr/Dic/how.html>).

Miembros Confirmados

Tal y como mencionamos anteriormente, hemos identificado nuevas candidatas a galaxias débiles en la región central del cúmulo de Antlia. A partir de nuestros datos espectroscópicos, hemos obtenido velocidades radiales que nos permitieron confirmar la pertenencia al cúmulo de cinco de ellas, las cuales son presentadas en esta sección. Sus velocidades radiales y parámetros fotométricos se muestran en la Tabla 4.2.

En la Figura 4.3 mostramos las imágenes R en escala logarítmica de los nuevos miembros de Antlia. Podemos ver que todos ellos muestran una morfología dE,N. Esto no se debe a una coincidencia sino a un efecto de selección dado que la presencia de un núcleo brillante central facilita la obtención de velocidades radiales confiables del espectro de un objeto débil y difuso. Nuestros datos espectroscópicos incluyen a otros objetos de bajo brillo superficial para los cuales no fue posible obtener información sobre velocidades debido a que no presentan ninguna región brillante en su estructura interna.

Con respecto a la ubicación espacial dentro del cúmulo, dos de los nuevos miembros (objetos 1 y 2 en la Tabla 4.2) se encuentran situados, en proyección, cerca de una galaxia brillante (FS90 133), la cual ha sido confirmada por nosotros como miembro de Antlia (ver Secc. 4.3.1). El objeto 2 presenta una velocidad que lo ubica en el fondo local. La velocidad radial del objeto 1 parecería indicar que se trata de un compañero físico de FS90 133. Sin embargo, en la imagen residual obtenida a partir de la resta de un modelo

de la luz de FS90 133, no se ha detectado ninguna estructura de bajo brillo que pudiera indicar una posible interacción entre ambas galaxias. Ninguno de los restantes nuevos miembros se encuentra en las vecindades de objetos brillantes.

Galaxias candidatas

Hemos identificado 39 nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia para las cuales no se dispone de información espectroscópica. Entre ellas hay objetos nucleados y no nucleados, así como también sistemas muy débiles y difusos (ver Figura 4.4 y Figura 4.5). Hemos realizado una clasificación morfológica que debiera ser considerada tan sólo como indicativa. Una clasificación más cuidadosa debería ser realizada en base a, por ejemplo, un análisis de mapas de color y perfiles de brillo (ver Capítulo 3). Tal y como fue mencionado anteriormente, dicho análisis será realizado en un futuro cercano. Nuestra clasificación preliminar se presenta en la doceava columna de la Tabla 4.3. Cuando la galaxia es considerada como un posible objeto de fondo, se lo indica en la decimotercer columna como PB, esto es, posible background.

Específicamente, hemos identificado nueve galaxias como posibles objetos de fondo. Los restantes 30 sistemas son considerados, al menos, como posibles miembros de Antlia dada las morfologías que presentan. Once de ellos son consistentes con ser galaxias de tipo dSph dado que son extendidos y difusos, y cinco son galaxias dE,N. Hemos encontrado dos sistemas de tipo dI, uno de los cuales parece estar siendo destruido como consecuencia de su interacción con una galaxia espiral vecina (objeto 27). El resto de las galaxias muestran morfologías dudosas. Esto se ha indicado agregando un símbolo de interrogación a sus clasificaciones morfológicas.

Parte de la muestra ha sido revisada mediante la utilización de imágenes de VLT-FORS1. No hemos encontrado en estos campos galaxias diferentes de las identificadas en las imágenes de MOSAIC en esas mismas regiones. También hemos podido confirmar las morfologías asignadas a partir de MOSAIC a los objetos ubicados en los campos de FORS1.

Los diámetros observados en las galaxias dSphs del Grupo Local corresponden a diámetros angulares de $\sim 12'' - 35''$ a la distancia de Antlia. A partir de la Tabla 4.3 podemos ver que las cuatro galaxias con morfologías dSph no dudosas que cuentan con mediciones de parámetros fotométricos, muestran radios totales menores ($r_{T1} \sim 3.9'' - 5.1''$). Debemos señalar, sin embargo, que algunos de nuestros nuevos miembros confirmados también muestran radios menores. Con respecto a las magnitudes integradas de nuestra muestra de nuevas galaxias dSph, ellas se encuentran en el rango $-12.5 \lesssim M_R \lesssim -10.9$,

lo cual está en acuerdo con las encontradas en el Grupo Local.

4.3.3. Ubicación espacial proyectada de las galaxias

En la Figura 4.6 mostramos la ubicación espacial proyectada, dentro del campo de MOSAIC, de la muestra de galaxias correspondiente al presente capítulo (esto es, nuevos miembros confirmados de FS90, nuevas galaxias enanas miembro y nuevas galaxias enanas candidatas), junto con la analizada en el Capítulo 2. Cabe recordar que esta última muestra incluye miembros espectroscópicamente confirmados de FS90 de tipo temprano (esto es, E y S0) y galaxias de FS90 de tipo temprano con estatus de pertenencia 1.

Pareciera existir una mayor concentración de galaxias alrededor de NGC 3268 que en torno a NGC 3258. Si trazamos una línea imaginaria que pase por el centro de ambas galaxias gigantes, la mayor parte de los objetos parecen delinear una distribución elongada en esa dirección. Con respecto a la ubicación de las nuevas galaxias que son candidatas a ser enanas miembro de Antlia (asteriscos), se puede apreciar que aquéllas que se encuentran en las cercanías de NGC 3258 se encuentran situadas más cerca de su compañera brillante que las que se ubican en las vecindades de NGC 3268.

Observaciones en rayos-X del cúmulo de Antlia (Pedersen et al. 1997, Nakazawa et al. 2000), así como estudios de los sistemas de cúmulos globulares de NGC 3258 y NGC 3268 (Dirsch et al. 2003, Bassino et al. 2008), han revelado que tanto la emisión difusa de rayos-X como la distribución espacial proyectada de los cúmulos, se encuentran elongadas en la dirección de la línea que une los centros de ambas galaxias dominantes. Estos resultados podrían ser la consecuencia de la presencia de fuerzas tidales entre dichas galaxias, lo cual podría apuntar en última instancia a la existencia de una fusión en proceso en la región central de Antlia.

Estudios observacionales de galaxias dSph en cúmulos y grupos muestran que estos objetos están asociados con sistemas luminosos en grupos (Carrasco, Méndez de Oliveira y Infante 2006) pero no en cúmulos. En estos sistemas las galaxias dSph presentan una distribución espacial proyectada más dispersa (Conselice, Gallaher y Wyse 2001, y referencias allí citadas). Si a esta evidencia agregamos la ubicación de nuestras galaxias mostrada en la Figura 4.6, podríamos sugerir que las estructuras involucradas en la posible fusión serían un pequeño cúmulo con NGC 3268 como galaxia dominante, y un grupo cuya galaxia central es NGC 3258.

4.4. Revisión de las propiedades fotométricas de las galaxias de tipo temprano

Dado que contamos con nuevos miembros confirmados de Antlia a partir de datos espectroscópicos obtenidos con GEMINI-GMOS, resulta interesante revisar las relaciones analizadas en el Capítulo 2. Ellas son, la relación color-magnitud (RCM), la relación luminosidad-brillo superficial efectivo medio ($\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$), y la relación luminosidad-metalicidad. Intentamos establecer si se producen cambios significativos con respecto a los resultados previos, como consecuencia de la inclusión de galaxias más débiles en dichos diagramas.

4.4.1. La Relación Color-Magnitud

En la Figura 4.7 mostramos la RCM definida por las galaxias de tipo temprano de FS90 presentadas en el Capítulo 2, esto es, miembros confirmados espectroscópicamente catalogados por FS90 y galaxias con estatus de pertenencia 1 (miembros definitivos), a las cuales hemos agregado las galaxias presentadas en las secciones anteriores. Se han realizado varios ajustes lineales a la relación observada, similares a los presentados en el Capítulo 2. Los parámetros de los nuevos ajustes se muestran en la Tabla 4.4. Siguiendo a Grebel (2005), consideraremos galaxias enanas aquellos sistemas que presenten $M_V \gtrsim -18$ mag, lo cual corresponde a $T_1 > 14$ mag a la distancia de Antlia (Fukugita, Shimasaku y Ichikawa 1995).

Podemos observar que los miembros confirmados espectroscópicamente definen la relación hasta $T_1 = 20$ mag, sin cambio de pendiente o aumento en la dispersión. En comparación con los resultados encontrados en el Capítulo 2, la RCM se vuelve levemente más empujada al incluir las nuevas galaxias, las cuales parecen extender esta relación hasta $T_1 = 23$ mag, introduciendo algo de dispersión en su extremo débil. Sin embargo, cabe mencionar que la ubicación de los dos objetos menos luminosos en el diagrama color-magnitud debe ser considerada con cierta cautela. La galaxia que se ubica cerca de la relación media (objeto 33 en la Tabla 4.3) presenta una baja relación S/N en su imagen C (S/N=6), al igual que el objeto que más se aparta de la relación (objeto 20 en la misma tabla y figura, S/N=5). En particular, este último sistema se encuentra ubicado en las cercanías de una galaxia más brillante, y ha sido excluida a la hora de realizar los distintos ajustes. Tanto su color como magnitud integrados pueden estar afectados por la sustracción de la luz de la galaxia cercana.

4.4.2. La Relación Luminosidad– $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$

En la Figura 4.8 presentamos la relación luminosidad– $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ definida por la muestra de galaxias analizada en el Capítulo 2, junto con los nuevos miembros y galaxias candidatas de Antlia. Por medio de una línea a trazos indicamos la secuencia de radio efectivo constante ($r_{\text{eff}} \sim 1$ kpc) hallada para las galaxias más débiles que $T_1 = 13$ mag en el Capítulo 2. Se puede apreciar que los nuevos miembros FS90 de Antlia se ubican en dicha secuencia, mientras que los miembros no catalogados por FS90 se apartan hacia radios más pequeños. Curiosamente, todos estos objetos son galaxias de tipo dE,N. Las galaxias dSph no dudosas muestran $r_{\text{eff}} \lesssim 0.7$ kpc. Las nuevas candidatas que presentan los radios efectivos mayores han sido, en su mayor parte, clasificadas por nosotros como dE,dI?

4.4.3. La Relación Luminosidad–Metalicidad

En la Figura 4.9 mostramos la relación luminosidad–metalicidad definida por las galaxias de tipo temprano de FS90 del Capítulo 2, agregando los nuevos miembros y candidatas de Antlia. Esta relación se muestra en términos de M_V , en lugar de M_{T_1} , para efectuar una comparación con las galaxias dSph del Grupo Local.

Para obtener la relación media graficada en la Figura 4.9 (línea sólida), transformamos el ajuste de la RCM que se muestra en la primera línea de la Tabla 4.4. Para ello, utilizamos la relación entre $(C - T_1)$ y $[\text{Fe}/\text{H}]$ dada por Harris y Harris (2002) para los cúmulos globulares galácticos, bajo la hipótesis de que nuestras galaxias de tipo temprano son sistemas estelares viejos. La transformación del nuevo ajuste a la RCM está dada por la expresión:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -2.71 + \sqrt{-4.02 - M_{T_1}/1.96} \quad (4.1)$$

Para obtener una relación en la banda V , transformamos las magnitudes M_{T_1} en magnitudes M_R a través de $T_1 - R \simeq 0.02$. Una vez hecho esto, obtenemos magnitudes M_V por medio de la relación entre R_C y V dada por Fukugita et al. (2005) para galaxias E (su tabla 3a).

Encontramos que los miembros confirmados de Antlia definen una estrecha relación luminosidad–metalicidad que se extiende por más de 9 magnitudes en brillo. Nuestros datos GEMINI-GMOS nos permiten extender esta relación en cuatro magnitudes, en comparación con la presentada en el Capítulo 2. Al igual que en ese capítulo, las galaxias dSph del Grupo Local parecen seguir la extrapolación de la relación definida por los miembros y

candidatos de Antlia. Más aún, nuestras nuevas galaxias candidatas muestran una ubicación que está en acuerdo con la presentada por las enanas del Grupo Local. Si nuestras metalicidades fotométricas fueran representativas de las reales, las abundancias de las galaxias enanas de Antlia serían similares a las de las galaxias de bajo brillo del Grupo Local.

4.5. Discusión y conclusiones

4.5.1. Nuevos Datos

A partir de espectros obtenidos con GEMINI-GMOS pudimos confirmar la pertenencia al cúmulo de Antlia de siete galaxias de FS90, las cuales no contaban con datos previos de velocidad radial. También hemos confirmado la pertenencia de cinco galaxias enanas nuevas, esto es, que no han sido catalogadas con anterioridad como miembros definitivos o posibles de Antlia. Agregando estos datos a los 31 miembros confirmados presentados en el Capítulo 2, obtenemos una muestra de 43 miembros de Antlia ubicados en su región central.

A su vez, en base a criterios morfológicos, hemos identificado en esa misma zona, 39 nuevas candidatas a ser galaxias enanas de Antlia. Once de ellas son galaxias de tipo dSph no dudosas, mientras que otras cinco son de tipo dE,N. Los objetos restantes presentan morfologías dudosas, nueve de los cuales podrían ser galaxias de fondo. El catálogo de FS90 del Grupo de Antlia está completo hasta un brillo $B_T = 18$ mag. Nuestra muestra de nuevas candidatas extiende este límite a $B_T = 22.6$ mag.

4.5.2. Ubicación espacial proyectada

Se ha reportado que Antlia muestra una estructura elongada en cuanto a la distribución espacial de sus galaxias (Hopp y Matérne 1985), y comprende dos subestructuras, cada una dominada por una galaxia gigante elíptica (FS90). Estas subestructuras parecen estar experimentando una fusión, dado que observaciones en rayos-X muestran emisiones elongadas entre las dos galaxias brillantes que dominan el centro del cúmulo (Pedersen et al. 1997; Nakazawa et al. 2000). Además, la distribución espacial de cada uno de los sistemas de cúmulos globulares de dichas galaxias, es a su vez elongada en la dirección que las une (Dirsch et al. 2003; Bassino et al. 2008).

La ubicación espacial proyectada de los miembros confirmados de Antlia, y aquella de las nuevas galaxias candidatas, se encuentra en acuerdo con la

anterior descripción, dado que las galaxias siguen una distribución elongada en la dirección que une ambas galaxias dominantes. Las nuevas enanas candidatas son también más abundantes en la vecindad de NGC 3268 que en los alrededores de NGC 3258. Sin embargo, estos sistemas se encuentran más concentrados hacia NGC 3258. Esto también es consistente con los contornos de brillo en rayos-X mostrados en la figura 2 de Nakazawa et al. Allí, el halo de rayos-X en torno de NGC 3268 es más extendido que el que rodea a NGC 3258. Además, la mayor parte de las galaxias candidatas que definen el patrón elongado, se sitúa en las cercanías de galaxias más brillantes, lo cual también ha sido observado en el grupo de galaxias de NGC 5044 group (Cellone y Buzzoni 2007).

Todos estos hechos nos conducen a sugerir que las dos subestructuras que se encontrarían involucradas en una fusión, serían un pequeño cúmulo de galaxias alrededor de NGC 3268, y un grupo cuya galaxia central sería NGC 3258. En este sentido cabe mencionar que Dirsch et al. (2003) han comparado los perfiles de brillo de NGC 3258 y NGC 3268 con el de NGC 1399, la galaxia masiva central del cúmulo de Fornax, y han encontrado que de ambos perfiles, el que más se asemeja al de NGC 1399 es el de NGC 3268. Es interesante notar que la distribución general de las galaxias enanas de tipo temprano de Antlia no se ve modificada si excluimos de nuestra muestra las candidatas a ser galaxias de fondo.

4.5.3. Relación Color-Magnitud

Se acepta ampliamente que la RCM parece ser universal en cúmulos de galaxias cercanos, y que no muestra un cambio perceptible de pendiente al pasar de las galaxias brillantes a las enanas (Secker et al. 1997; López-Cruz et al. 2004; Andreon et al. 2006; Paper I; Misgeld et al. 2008). Sin embargo, se encuentra aún en discusión si existe un aumento genuino (esto es, con un origen físico) en la dispersión de la relación hacia su extremo débil, o si dicho incremento puede ser explicado por errores fotométricos o contaminación de fondo.

Para las galaxias débiles del cúmulo de Perseo, Conselice et al. (2002) han reportado un aumento significativo en la dispersión de los colores ($\sigma_{(B-R)} \sim 0.5$ mag) en torno a la RCM media. Estos autores argumentan en favor de un origen físico para dicha dispersión, apuntando a diferencias de metalicidades y de mecanismos de formación entre las galaxias de baja masa azules y rojas. A partir de un estudio espectroscópico reciente de la población de galaxias débiles de Perseo, Penny y Conselice (2008) han encontrado que muchas de las galaxias azules y rojas responsables del aumento de dispersión eran, en

realidad, galaxias de fondo. Sin embargo, ellos aún encuentran un aumento en la dispersión de los colores de los miembros de baja luminosidad del cúmulo, en comparación con la de los miembros brillantes.

Por el contrario, Andreon et al. (2006) han obtenido una RCM estrecha ($\sigma_{(B-V)} = 0.04$ mag) para Abell 1185, con una dispersión que no se ve incrementada hacia bajas luminosidades. López-Cruz et al. (2004) han encontrado para 57 cúmulos de Abell detectados en rayos-X, en un rango de redshift de $0.02 \leq z \leq 0.18$, una RCM universal con una dispersión media en color de $\sigma_{(B-R)} = 0.074$ mag. Estos autores notan que los cúmulos que muestran la mayor dispersión en su RCM ($\sigma_{(B-R)} = 0.5$ mag at $R = 18$ mag) son aquellos que muestran contaminación de fondo por cúmulos a redshifts mayores. López-Cruz y colaboradores señalan, además, que los errores fotométricos podrían ser una fuente importante de dispersión en los colores de las galaxias (ver también Secker et al. 1997).

La RCM de los miembros espectroscópicamente confirmados de Antlia se extiende a lo largo de aproximadamente 10 magnitudes, sin cambio perceptible en su pendiente hacia brillos débiles. Esta es la relación más extendida y estrecha definida por miembros confirmados de un cúmulo de galaxias cercano reportada hasta el momento. Recientemente, Misgeld et al. (2008) han encontrado una RCM con una extensión similar en luminosidad en el cúmulo de Hydra, pero con un mayor grado de dispersión en su extremo débil.

Dada la universalidad de la RCM en los cúmulos de galaxias, si el aumento en la dispersión a bajas luminosidades se debe a una causa física, debiera ser observada aproximadamente a la misma magnitud absoluta en todos los casos. Secker et al. (1997) han reportado una RCM para el cúmulo de Coma cuya dispersión aumenta a partir de $R \simeq 19.5$ mag. Si adoptamos un módulo de distancia de $(m - M) = 35$ para Coma, esta magnitud aparente equivale a $M_R \simeq -15.5$ mag. En el cúmulo de Perseo, la dispersión aumenta considerablemente a $M_B \simeq -13$. Por medio de las transformaciones entre distintos filtros fotométricos dadas por Fukugita et al. (1995), se encuentra que este valor corresponde a $M_R \simeq -14.5$. En Fornax, Hilker et al. (2003) y Mieske et al. (2007) han encontrado un incremento en el scatter de la RCM a $M_V \simeq -12.5$ o $M_R \simeq -13.1$. En Hydra, esta dispersión aumenta a $M_V \simeq -15$ o $M_R \simeq -15.61$. En consecuencia, en todos estos cúmulos el aumento en la dispersión comienza a diferentes magnitudes absolutas. Cabe destacar que Lisker et al. (2008) no han encontrado un aumento significativo en la dispersión de la RCM de Virgo hacia magnitudes débiles. En nuestro caso, los miembros confirmados más débiles de Antlia introducen una pequeña dispersión hacia colores rojos a $M_R \simeq -12.5$.

A pesar que los colores integrados de las galaxias reflejan tanto la metalicidad como la edad del objeto (la denominada degeneración edad-metalicidad),

estudios espectroscópicos de gigantes elípticas (por ejemplo, Kuntschner 2000) y enanas de tipo temprano (por ejemplo, Mieske et al. 2007), han revelado que la RCM es principalmente dominada por variaciones en metalicidad con la luminosidad. En este sentido, sugerimos que la RCM bien definida de Antlia se debe probablemente a la buena sensibilidad a la metalicidad que muestra el color ($C - T_1$) en el caso de sistemas estelares viejos. Es bien conocido que la coincidencia de este índice de color y las abundancias $[Fe/H]$ empeora a metalicidades más bajas o colores más azules (véanse las calibraciones dadas por Harris y Harris 2002, y Forte et al. 2007). En consecuencia, la poca definición de la relación a bajas luminosidades puede ser una consecuencia de este efecto. Además, debiéramos tener en cuenta el aumento de los errores fotométricos a bajas luminosidades, y el hecho de que algunas galaxias de fondo pueden parecer galaxias enanas cuando no se las observa con la suficiente resolución espacial (Penny y Conselice 2008).

De todo este análisis podemos sugerir que el aumento en la dispersión de la RCM en cúmulos de galaxias cercanos posiblemente refleja dos limitaciones: (i) la representación en metalicidad dada por el sistema fotométrico utilizado para construir la RCM, y (ii) la precisión de los datos fotométricos. Nótese de nuestra comparación previa que la magnitud absoluta a la cual aumenta la dispersión de la RCM observada tiende a ser más brillante para cúmulos más distantes.

4.5.4. Relación Luminosidad– $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$

Los nuevos miembros de Antlia incluidos en el catálogo de FS90, siguen la relación de r_{eff} constante de ~ 1 kpc en un diagrama magnitud T_1 contra $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$. Estas galaxias son todas de tipo dE,N. Curiosamente, las nuevas galaxias no clasificadas que resultaron ser miembros de Antlia son también de tipo dE,N, pero se apartan de esta tendencia hacia radios menores. La mayoría de las nuevas galaxias candidatas también muestran este último comportamiento, en particular las galaxias de tipo dSph no dudosas. En consecuencia, pareciera existir un límite en brillo en el extremo débil para la relación de r_{eff} constante de las enanas de tipo temprano.

Cabe destacar que esto podría deberse al límite isofotal alcanzado por nuestra fotometría. Es posible que no estemos alcanzando las regiones más externas de las galaxias dado que las mismas se encuentran sumergidas en el brillo de fondo. Muchas de estas galaxias débiles se encuentran además en las vecindades de galaxias más brillantes. De este modo, nuestros radios efectivos podrían estar subestimados para luminosidades por debajo de $T_1 \sim 18$ mag ($M_V \sim -14.1$ mag, Fukugita et al. 1995), conduciendo a la aparente

discontinuidad en la relación.

Chiboucas et al. (2008) han encontrado que las galaxias enanas recientemente descubiertas en el grupo de M81 ($D = 3.6$ Mpc), muestran radios efectivos similares a los encontrados para las nuevas galaxias enanas de Antlia, esto es, $r_{\text{eff}} \lesssim 0.5$ kpc (ver su tabla 3). Las galaxias dSphs del Grupo Local presentan $r_{\text{eff}} \lesssim 0.5$ kpc también (Zaritsky et al. 2006, y referencias allí mencionadas). Cellone y Buzzoni (2005) encontraron una tendencia similar a nuestro quiebre en el extremo débil, en su muestra de galaxias enanas en el grupo de NGC 5044. Por lo tanto, nuestros resultados, y aquellos mencionados anteriormente, sostienen la posibilidad de que la relación luminosidad contra $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ correspondiente a un r_{eff} constante de ~ 1 kpc presente dos quiebres: uno a brillos mayores que $M_R \sim -20$ mag, y otro en su extremo débil, por debajo de $M_R \sim -14$. Conviene recordar que la correlación entre luminosidad y $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ para magnitudes más brillantes que $M_R \sim -20$, corresponde a la relación de escala de Kormendy (1977b) definida por las galaxias E y los bulbos de galaxias S, en el diagrama r_{eff} contra μ_{eff} . Esta relación es una proyección del Plano Fundamental de las galaxias E.

Graham y Guzmán (2003) han argumentado que, con la excepción de las galaxias E muy brillantes ($M_B \lesssim -20.5$, $M_V \lesssim -21.5$, esto es, galaxias E tipo “core”), el quiebre en el extremo brillante de la relación luminosidad contra $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ no está originada en diferentes mecanismos de formación para las galaxias E brillantes y enanas. Ellos enfatizan que ambos tipos de galaxias muestran tendencias continuas en los diagramas luminosidad contra brillo superficial central (μ_0), e índice de Sérsic n (Sérsic 1968) versus luminosidad, lo cual estaría indicando que las enanas de tipo temprano son la extensión natural, a bajas luminosidades, de las galaxias E. Graham y Guzmán explican que el diferente comportamiento entre Es y dEs en el diagrama luminosidad- $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$, se debe a un aumento entre la diferencia de los valores numéricos que presentan el μ_0 y el $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ al aumentar n , a medida que se pasa de los sistemas dE a los E (sin core) (ver sus figuras 11 y 12).

Por el contrario, Kormendy et al. (2009) sostienen la existencia de una dicotomía entre las galaxias dE (*esferoidales* en su trabajo) y las E, apuntando a diferentes orígenes. Estos autores argumentan que el hecho de que las Es y las dEs sigan correlaciones similares en algunos diagramas, indica que los parámetros involucrados en tales relaciones no son sensibles a la física que las hace diferentes tipos de objetos. En consecuencia, Kormendy et al. consideran que para distinguir entre distintos tipos de galaxias hay que utilizar todas las posibles correlaciones entre parámetros y descubrir cuáles son sensibles a sus mecanismos de formación. A partir de un extenso análisis, estos autores concluyen que las galaxias E se forman a través de fusiones de otros sistemas, mientras que las dE son galaxias de tipo tardío transformadas

por efectos ambientales y por feedback de energía por supernovas.

Es evidente que la interpretación del comportamiento de las galaxias E, brillantes y enanas, en el diagrama luminosidad- $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ es, definitivamente, un tema abierto. Desafortunadamente, tal y como se mencionó anteriormente, el análisis de los perfiles de brillo de nuestra muestra de Antlia se encuentra fuera del alcance de esta Tesis. Será interesante testear estas dos interpretaciones por medio del estudio de dichos perfiles, en particular de aquellos correspondientes a los miembros confirmados que definen el quiebre a luminosidades bajas de la relación de r_{eff} constante, así como el de las galaxias dSph no dudosas. En este sentido cabe mencionar que la mayor parte de estas galaxias se encuentran en las vecindades de galaxias más brillantes. Nos preguntamos si los menores r_{eff} encontrados en nuestras candidatas débiles podrían estar relacionados con efectos de marea. La existencia de perfiles de brillo que muestren un quiebre entre estas galaxias podría favorecer esta interpretación (Choi et al. 2002, McConnachie e Irwin 2006).

Adicionalmente, nosotros deberíamos ampliar nuestra muestra fotométrica hacia menores luminosidades antes de arribar a alguna conclusión. En este momento no nos es posible discernir si el $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ se mantiene constante a partir del quiebre en el extremo débil, hacia brillos menores, o si se vuelve más brillante con la disminución de la luminosidad, mostrando una tendencia similar a la presentada por las galaxias E brillantes. Nótese que en este último caso, dentro del marco presentado por el análisis de Graham y Guzman, deberíamos observar una variación continua del índice de Sérsic n de los perfiles de brillo de las galaxias que se apartan de la relación de r_{eff} constante, que no debería observarse en las galaxias que sí la siguen.

4.5.5. Relación Luminosidad–Metallicidad

Tal y como se mencionó anteriormente, las galaxias de tipo temprano pertenecientes a cúmulos de galaxias, siguen una muy bien definida RCM. Esta relación se encuentra principalmente delineada por variaciones en metalicidad y no por cambios en edad, dado que de otro modo no conservaría su pendiente o rango de magnitud en diferentes cúmulos a diferentes redshifts (Terlevich et al. 1999, y referencias allí citadas). Inclusive, a partir de estudios espectroscópicos de seis galaxias E que siguen la RCM en Virgo, Vazdekis et al. (2001) encontraron que la luminosidad y el color ($U - V$) correlacionan con la metalicidad pero no con la edad. Resultados similares han sido obtenidos por Kuntschner y Davies (1998) y Kuntschner (2000) a partir de datos espectroscópicos de galaxias E y S0, también en Virgo.

Dada la universalidad de la RCM en cúmulos de galaxias, se esperaría que las galaxias que definen tal relación en Antlia, sigan también una rela-

ción luminosidad–metalicidad. En el Capítulo 2 hemos derivado metalicidades fotométricas a través de la calibración $[Fe/H]$ versus $(C - T_1)$ obtenida para cúmulos globulares de la Vía Láctea por Harris y Harris (2002). Hemos utilizado esta calibración bajo la hipótesis de que las galaxias E pueden ser consideradas como sistemas estelares viejos homogéneos. Aunque ésta pareciera ser una suposición muy fuerte, Kuntschner y Davies (1998) han encontrado que las galaxias E de Fornax son viejas y coetáneas, a pesar de que no fue posible estimar sus edades. En Virgo, Vazdekis et al. (2001) encontraron que las galaxias E son viejas, con edades que van desde los ~ 11 hasta los ~ 20 Gyr. Cabe notar, sin embargo, que las galaxias dE presentan poblaciones estelares más jóvenes, con edades en el rango 5–7 Gyr (Geha et al. 2003; van Zee et al. 2004).

El nuevo ajuste realizado a la RCM incluyendo a los nuevos miembros confirmados de Antlia, se transforma en una relación luminosidad–metalicidad que abarca ~ 11 magnitudes en luminosidad. Esta relación parece ser extendida por la ya conocida relación luminosidad–metalicidad de las galaxias dSph del Grupo Local (Grebel et al. 2003) en su extremo débil. Este hecho indicaría la existencia de una relación luminosidad–metalicidad común con las galaxias del Grupo Local. Como esta coincidencia se alcanza a partir de nuestra aplicación de la calibración color–metalicidad para cúmulos globulares, también sugeriría que los colores integrados de las galaxias dE se encuentran principalmente dominados por las poblaciones estelares viejas.

A partir de esta calibración, obtenemos que nuestras candidatas dSph no dudosas con parámetros fotométricos medidos, ocupan la misma región que las dSphs del Grupo Local en el diagrama metalicidad–luminosidad. Las abundancias de las enanas de Antlia serían entonces similares a aquéllas del Grupo Local. Nuestras galaxias también muestran un aumento de metalicidad con la luminosidad, lo cual es una de las propiedades más importantes para entender la evolución de estos tipos de galaxias, dado que refleja el rol fundamental que juega la masa de las galaxias en la evolución química de las mismas. Adicionalmente, las enanas del Grupo Local clasificadas como pertenecientes a tipos morfológicos de transición dIrr/dSph que yacen sobre la relación luminosidad–metalicidad de las dSphs, son consideradas por Grebel et al. (2003) como progenitoras de las actuales galaxias dSph. Grebel et al. han propuesto que tales progenitores debieron haber experimentado la remoción de su gas por diferentes procesos, los cuales las transformaron en las prácticamente libres de gas dSphs. En este sentido cabe mencionar que varias galaxias ubicadas en la relación luminosidad–metalicidad de Antlia fueron clasificadas por nosotros como de tipo dE, dI?

Tabla 4.1: Galaxias de FS90 con nuevas velocidades radiales obtenidas a partir de espectros de GEMINI-GMOS

FS90 ID	α (2000)	δ (2000)	FS90 mor.	FS90 estatus	$E(B - V)$	T_1 (mag)	$(C - T_1)$ (mag)	v_r (km s ⁻¹)	Morfol. revisada	Notas
70	10:28:06.9	-35:35:20	dE	1	0.078	17.76 (0.02)	1.64 (0.04)	2864±70	dE,N	SE
85	10:28:24.0	-35:34:22	dE	1	0.081	18.12 (0.04)	1.60 (0.07)	2000±200	dE,N	SE
123	10:29:03.1	-35:40:30	dE,N	2	0.080	16.33 (0.01)	1.71 (0.02)	1865±25	dE,N	SE
133	10:29:12.0	-35:39:28	d:E,N	1	0.083	14.63 (0.01)	1.87 (0.02)	2205±24	dE,N	SE
137	10:29:15.1	-35:41:34	ImV	2	0.081	17.74 (0.02)	0.81 (0.03)	3987±36	dI	SE
205	10:30:18.4	-35:24:43	dE	2	0.105	17.71 (0.01)	2.02 (0.02)	45898±80	S	SE
221	10:30:25.4	-35:23:38	dE	2	0.109	19.22 (0.04)	1.27 (0.05)	3600±	dI	SE
227	10:30:31.4	-35:23:06	dE?	2	0.108	17.16 (0.01)	1.78 (0.02)	2921±60	dE,N	SE

Notas.- Las coordenadas fueron obtenidas a través de CDS, las cuales son calculadas a partir de las del catálogo FS90. El estatus 1 de FS90 hace referencia a miembros definitivos de Antlia, el estatus 2, a miembros probables. La columna Notas se refiere a: SE= magnitudes y colores medidos con SEXTRACTOR.

Tabla 4.2: Nuevas galaxias enanas miembro del cúmulo de Antlia

ID	α (J2000)	δ (J2000)	$E(B-V)$	T_1 (mag)	$(C-T_1)$ (mag)	$\mu_{T_1}^{n-2}$ (mag ⁿ⁻²)	τ_{T_1} (")	$\mu_{\text{eff}} >$ (mag ⁿ⁻²)	τ_{eff} (")	v_r km s ⁻¹	Mor.	Notas
1	ANTL J102910-353920.1	10:29:10.3 -35:39:20.1	0.083	20.21 (0.02)	1.73 (0.03)	26.4	4.8	23.5	2.0	1940±155	dE,N	ELL
2	ANTL J102914-353923.6	10:29:14.4 -35:39:23.6	0.083	20.25 (0.06)	1.67 (0.08)	26.3	5.6	24.4	3.0	4067±115	dE,N	ELL
3	ANTL J103013-352458.3	10:30:13.8 -35:24:58.3	0.104	19.49 (0.04)	1.59 (0.06)	25.8	7.6	24.3	3.7	2613±200	dE,N	SE,NS
4	ANTL J103033-352638.6	10:30:33.2 -35:26:38.6	0.104	19.09 (0.02)	1.68 (0.04)	26.6	6.6	23.4	2.9	2311±130	dE,N	ELL
5	ANTL J103037-352708.8	10:30:37.5 -35:27:08.8	0.103	19.16 (0.03)	1.60 (0.04)	25.8	6.8	23.6	3.1	2400±100	dE,N	SE

Notas. - μ_{T_1} corresponde al límite en brillo sobre el cual SEXTRACTOR detecta y mide el objeto (MU_THRESHOLD), o al brillo superficial de la isofota más externa medida por ELLIPSE. τ_{T_1} es el radio que contiene el 90 % de la luz para SEXTRACTOR, o el radio equivalente ($\tau = \sqrt{a \cdot b} = a \cdot \sqrt{1 - \epsilon}$) de la isofota más externa medida por ELLIPSE. En ambos casos, el μ_{eff} se obtiene a partir del τ_{eff} , el radio que contiene la mitad de la luz (ver Capítulo 2), cuyo valor se obtiene del parámetro de salida HALF_LIGHT_RADIUS en el caso de SEXTRACTOR. La columna de Notas hace referencia a: SE= magnitudes y colores medidos con SEXTRACTOR; ELL= magnitudes y colores obtenidos con ELLIPSE; NS= situado en las cercanías de una estrella brillante (Near Star).

Tabla 4.3: Nuevas galaxias candidatas situadas en la región central del cúmulo de Antlia.

ID	α (J2000)	δ (J2000)	$E(B-V)$	T_1 (mag)	$(C-T_1)$ (mag)	$\mu_{T_1}^{n-2}$ (mag ⁿ⁻²)	r_{T_1} (")	$< \mu_{\text{eff}} >$ (mag ⁿ⁻²)	r_{eff} (")	Mor.	Notas
1	ANTL J102828-354128.5	10:28:28.2	0.074	18.15 (0.05)	1.63 (0.07)	25.7	14.8	24.4	7.3	dE,N	SE
2	ANTL J102839-351053.5	10:28:39.0	0.096	18.57 (0.10)	1.48 (0.13)	25.8	17.6	24.7	6.8	dE,dI7	SE
3	ANTL J102843-353933.1	10:28:43.8	0.077	18.74 (0.07)	1.76 (0.11)	25.8	14.2	24.8	6.6	dE,dI7	SE
4	ANTL J102845-353713.7	10:28:45.9	0.081	-	-	-	-	-	-	dSph,dI7	BL,NG
5	ANTL J102848-353632.1	10:28:48.7	0.083	-	-	-	-	-	-	dSph?	BL,NG
6	ANTL J102851-353427.9	10:28:51.4	0.086	-	-	-	-	-	-	dSph	FG,NG
7	ANTL J102907-353445.6	10:29:07.5	0.088	-	-	-	-	-	-	dSph?	FG,NG
8	ANTL J102914-353855.2	10:29:14.7	0.084	21.35 (0.11)	1.31 (0.14)	25.6	5.1	25.7	2.9	dSph	SE,FG
9	ANTL J102918-352900.2	10:29:18.8	0.090	-	-	-	-	-	-	dE,N	NS
10	ANTL J102924-354207.9	10:29:24.9	0.083	-	-	-	-	-	-	dI	FG
11	ANTL J102925-351544.9	10:29:25.8	0.100	20.67 (0.06)	1.37 (0.08)	25.8	5.0	24.9	2.8	dSph	SE
12	ANTL J102927-352337.4	10:29:27.0	0.093	21.81 (0.10)	-	26.4	3.9	25.8	2.5	dSph	ELL,FG,NS
13	ANTL J102932-354216.4	10:29:32.2	0.084	22.35 (0.08)	-	26.5	2.6	25.4	1.6	dSph?	ELL,PB
14	ANTL J102932-352036.5	10:29:32.3	0.098	-	-	-	-	-	-	dSph,dI7	FG
15	ANTL J102936-352445.7	10:29:36.2	0.094	19.00 (0.08)	1.50 (0.11)	25.8	13.0	25.0	6.4	dE,dI7	SE
16	ANTL J102936-352445.7	10:29:36.6	0.091	20.64 (0.03)	1.34 (0.05)	25.6	3.9	25.0	2.0	dE,N7	SE,PB
17	ANTL J102938-352749.9	10:29:38.0	0.091	20.88 (0.06)	-	25.8	4.8	24.7	2.3	dSph?	SE,PB
18	ANTL J102943-352238.8	10:29:43.3	0.098	-	-	-	-	-	-	dSph	FG,NG
19	ANTL J102945-352731.3	10:29:45.4	0.092	20.49 (0.04)	1.50 (0.06)	25.8	4.6	24.4	2.4	dE,N7	SE,PB
20	ANTL J102948-352354.0	10:29:48.6	0.098	22.39 (0.02)	1.90 (0.04)	26.1	2.1	24.5	1.1	dE,N	ELL,NG
21	ANTL J102950-351434.5	10:29:50.9	0.103	-	-	-	-	-	-	dI7	FG,NG
22	ANTL J102952-353133.8	10:29:52.4	0.092	-	-	-	-	-	-	dSph	FG
23	ANTL J102954-353227.2	10:29:54.0	0.092	20.61 (0.07)	1.47 (0.09)	25.8	5.6	24.4	2.3	dE,N7	SE
24	ANTL J102954-352744.6	10:29:54.2	0.094	-	-	-	-	-	-	dE,N7	FG,NS
25	ANTL J102955-351517.6	10:29:55.9	0.103	18.42 (0.03)	1.70 (0.05)	26.0	9.7	25.3	4.0	dE,N	ELL,NG
26	ANTL J102959-354227.1	10:29:59.8	0.089	-	-	-	-	-	-	dSph	FG
27	ANTL J103002-351301.4	10:30:02.1	0.105	-	-	-	-	-	-	dI (disr.?)	FG,NG
28	ANTL J103012-353415.0	10:30:12.0	0.095	21.31 (0.05)	-	25.8	3.5	24.7	1.9	dSph?	SE,PB
29	ANTL J103013-354130.4	10:30:13.4	0.092	20.09 (0.03)	1.57 (0.05)	25.8	4.9	24.1	2.5	dE,N7	SE,PB
30	ANTL J103014-352420.1	10:30:14.3	0.105	20.50 (0.04)	1.58 (0.06)	25.8	4.3	24.3	2.3	dE,N7	SE,PB

Continúa en la próxima página

Tabla 4.3 - continuación

ID	α (J2000)	δ (J2000)	$E(B-V)$	T_1 (mag)	$(C-T_1)$ (mag)	μ_{T_1} (mag $^{n-2}$)	r_{T_1} (")	$\langle \mu_{eff} \rangle$ (mag $^{n-2}$)	r_{eff} (")	Mor.	Notes
31	ANTLJ103020-353310.2	10:30:20.1	-35:33:10.2	0.095	21.05 (0.08)	-	5.0	24.9	2.4	dE,N7	SE
32	ANTLJ103023-351147.8	10:30:23.8	-35:11:47.8	0.101	-	-	-	-	-	dSph,dI?	FG,NS,PB
33	ANTLJ103025-351108.2	10:30:25.3	-35:11:08.2	0.101	23.05 (0.04)	1.22 (0.07)	3.2	27.5	3.1	dE,N	ELL
34	ANTLJ103027-352655.1	10:30:27.2	-35:26:55.1	0.103	18.54 (0.11)	1.65 (0.16)	19.0	24.9	7.4	dE,dI7	SE
35	ANTLJ103027-350957.4	10:30:27.5	-35:09:57.4	0.101	20.24 (0.04)	1.38 (0.05)	5.0	25.4	4.4	dSph	ELL
36	ANTLJ103027-352941.8	10:30:27.5	-35:29:41.8	0.098	-	-	-	-	-	dSph	FG
37	ANTLJ103042-351519.5	10:30:42.1	-35:15:19.5	0.099	-	-	-	-	-	dSph	FG
38	ANTLJ103046-353841.8	10:30:46.5	-35:38:40.8	0.101	-	-	-	-	-	dE,N7	NS,PB
39	ANTLJ103047-354025.1	10:30:47.2	-35:40:25.1	0.102	-	-	-	-	-	dSph	FG

Notes.- μ_{T_1} corresponde al límite en brillo sobre el cual SEXTRACTOR detecta y mide el objeto (MU.THRESHOLD), o al brillo superficial de la isofota más externa medida por ELLIPSE. r_{T_1} es el radio que contiene el 90% de la luz para SEXTRACTOR, o es el radio equivalente ($r = \sqrt{a \cdot b} = a \cdot \sqrt{1 - \epsilon}$) de la isofota más externa para ELLIPSE. μ_{eff} se obtiene en ambos casos a partir del r_{eff} , el radio que contiene la mitad de la luz (ver Capítulo 2). Este radio se obtiene del parámetro de salida HALF_LIGHT_RADIUS para SEXTRACTOR. La columna de notas se refiere a: SE= magnitudes y colores medidos con SEXTRACTOR; ELL= magnitudes y colores obtenidos con ELLIPSE; BL= bleeding; NS= cercana a una estrella (Nearby Star); NG= cercana a una galaxia brillante (Nearby a Galaxy); FG= galaxia muy débil y difusa (Faint Galaxy); PB= posible objeto de fondo (Possible Background).

Tabla 4.4: Resultados de los ajustes de mínimos cuadrados $T_{1_0} = a + b \cdot (C - T_1)_0$ realizados a la RCM corregida por extinción y absorción de los miembros definitivos de Antlia de tipo temprano (esto es, galaxias FS90 de tipo temprano con estatus 1 y galaxias de tipo temprano con velocidades radiales). La primera columna indica las diferentes muestras consideradas para la realización de los ajustes, y la segunda columna muestra el número de objetos de dichas muestras. El límite en magnitud para separar galaxias enanas y brillantes ($T_1 = 14$ mag) corresponde a $M_V \sim -18$ mag (Grebel 2005).

Muestra	Datos	a	b	$\sigma_{(C-T_1)_0}$
Todos los miembros definitivos	51	39.2 ± 1.6	-14.1 ± 0.9	0.08
Miembros definitivos brillantes	15	44.6 ± 10.9	-16.8 ± 5.0	0.07
Miembros definitivos débiles	36	43.3 ± 4.3	-16.6 ± 2.5	0.08
Miembros definitivos de tipo E	35	39.5 ± 1.9	-14.3 ± 1.1	0.08
Miembros definitivos de tipo S0	16	41.4 ± 9.4	-15.2 ± 4.4	0.08

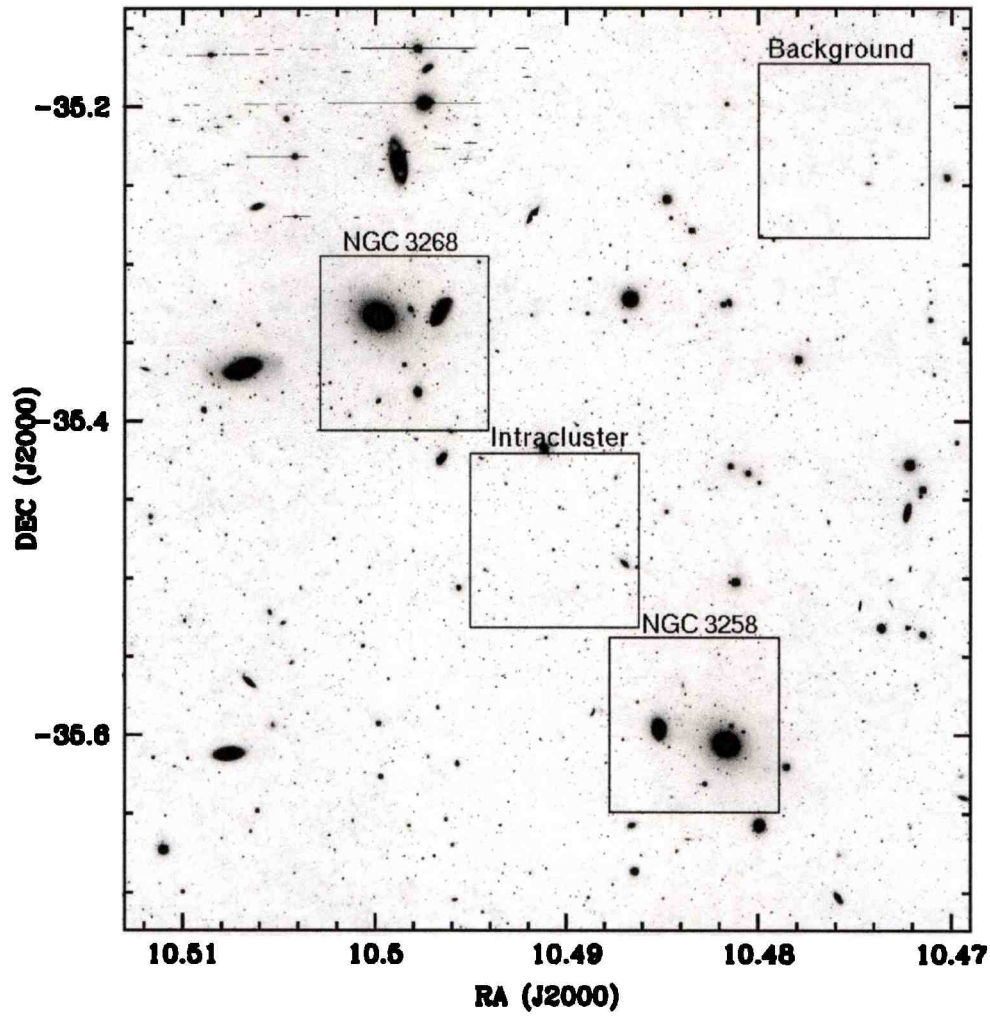


Figura 4.1: Imagen R del campo de MOSAIC donde mostramos las ubicaciones de los cuatro campos de FORS1 utilizados para chequear parte de nuestra identificación de nuevas galaxias. El Norte se encuentra hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

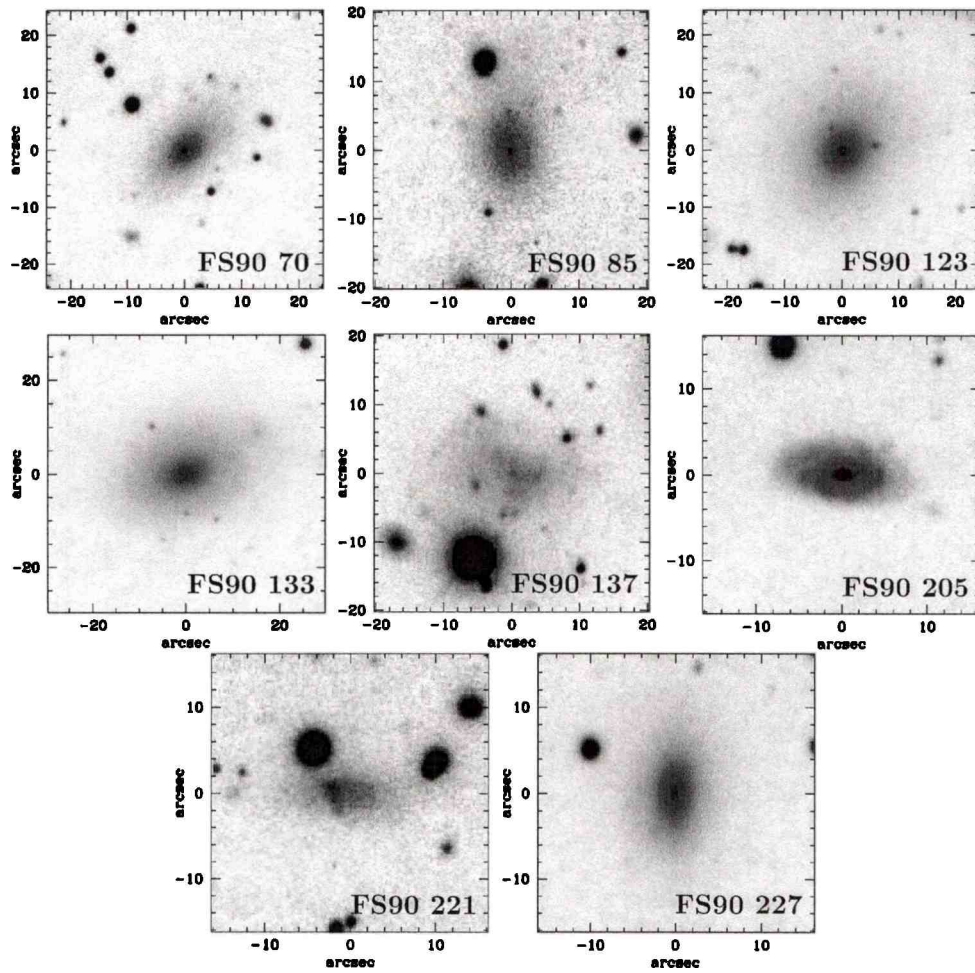


Figura 4.2: Imágenes R en escala logarítmica de las galaxias de FS90 con nuevas velocidades radiales. En todas las imágenes, el Norte se encuentra hacia arriba y el Este, hacia la izquierda.

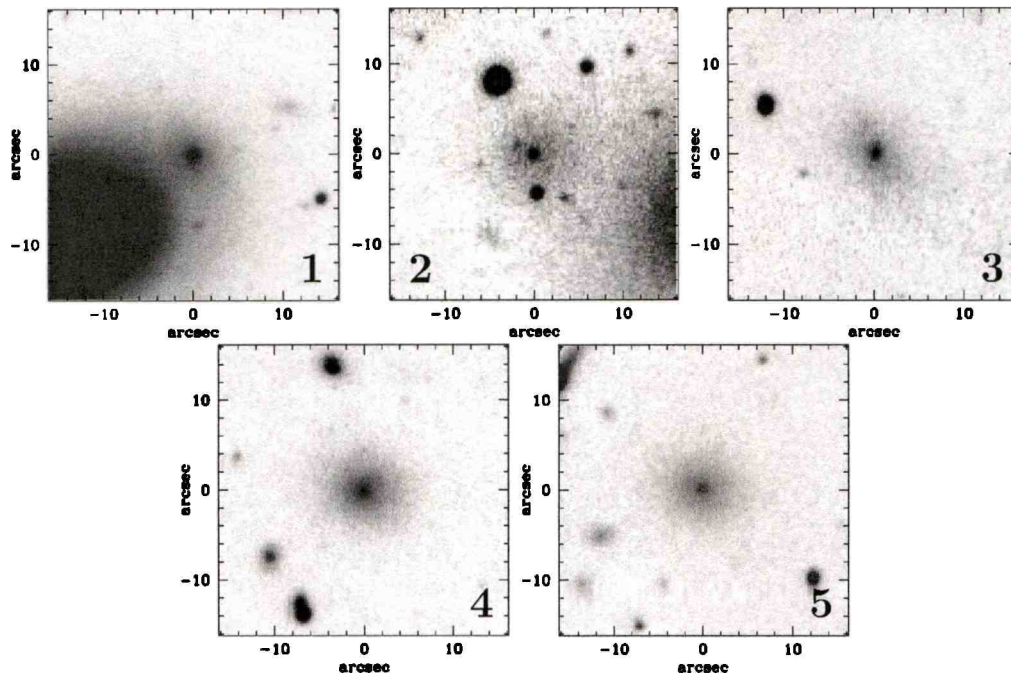


Figura 4.3: Imágenes R en escala logarítmica de nuevos miembros de Antlia. Estos objetos se encuentran identificados por un número ubicado en las esquinas inferiores de sus imágenes, el cual corresponde a su ubicación en la Tabla 4.2. En todas las imágenes el Norte se encuentra hacia arriba y el Este, hacia la izquierda.

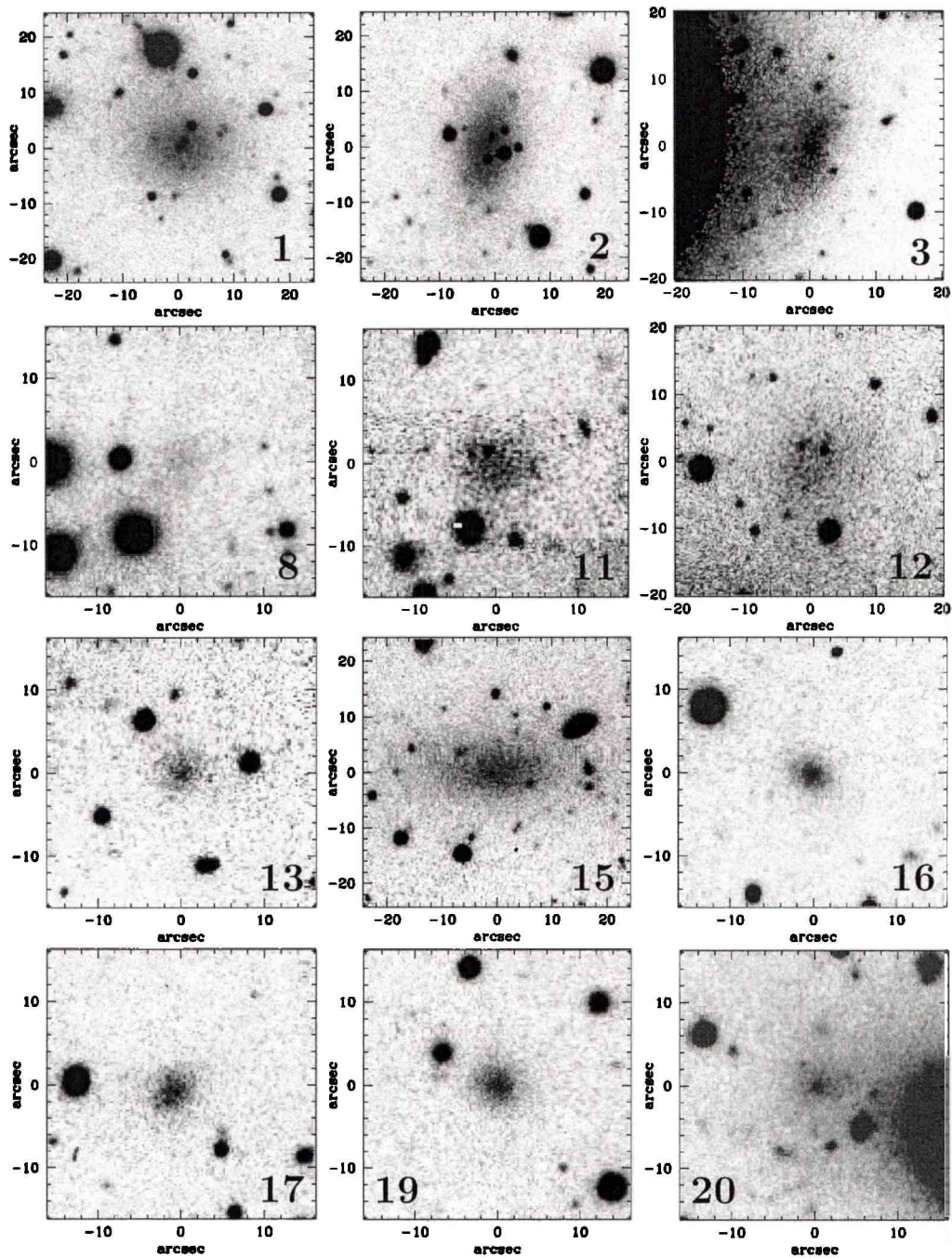


Figura 4.4: Imágenes R en escala logarítmica de nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia, para las cuales fue posible calcular parámetros fotométricos. El número que se encuentra en alguna de las esquinas inferiores de las figuras corresponde a la ubicación del objeto en la Tabla 4.3. El Norte se encuentra hacia arriba y el Este, hacia la izquierda.

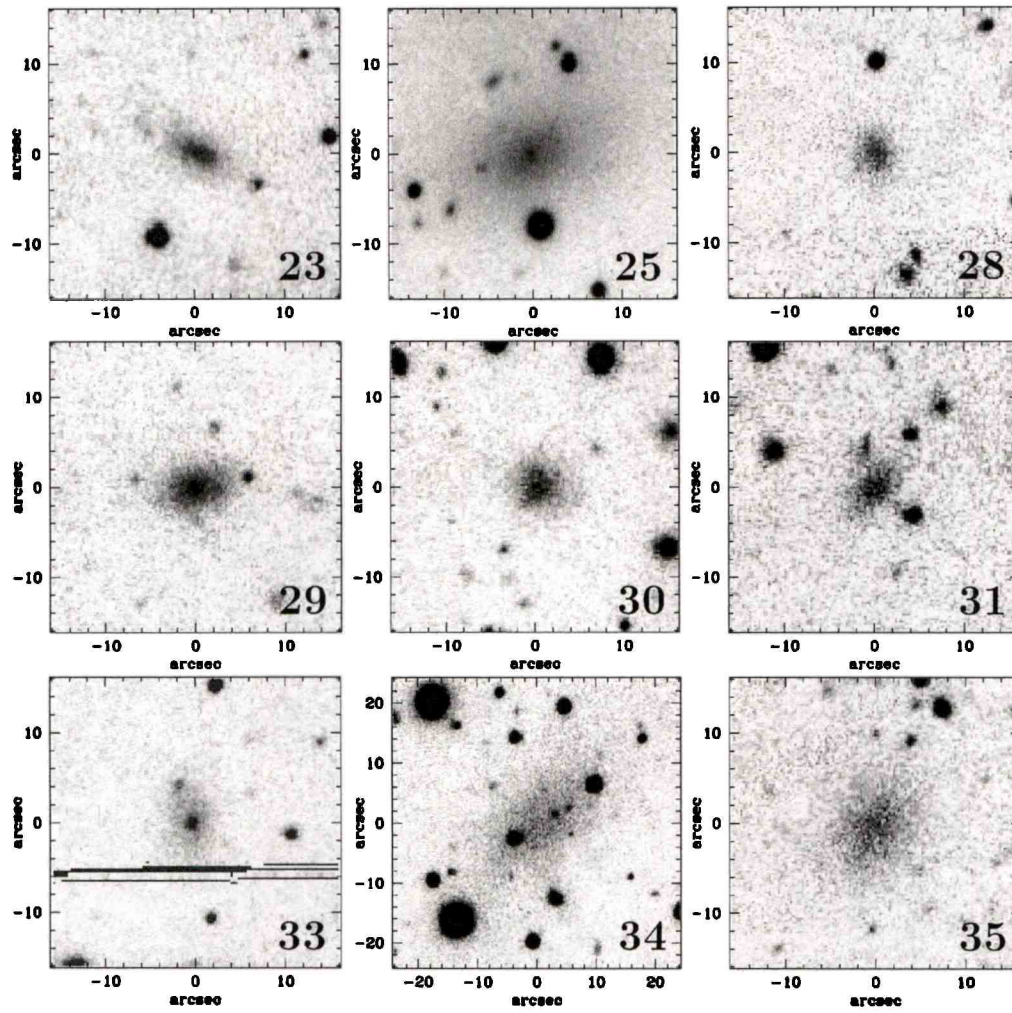


Figura 4.4: Continuación

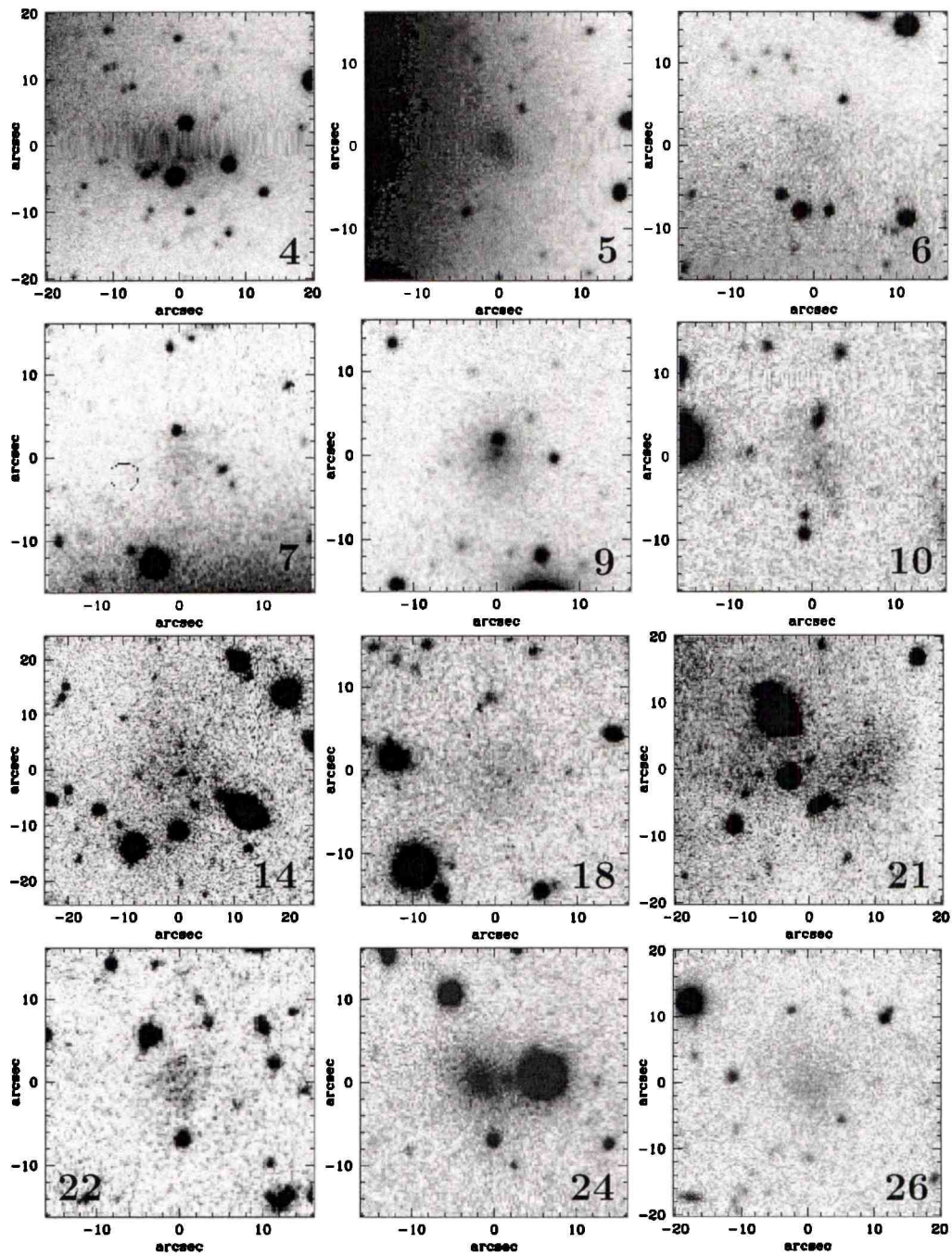


Figura 4.5: Imágenes R en escala logarítmica de nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia, para las cuales no fue posible obtener parámetros fotométricos. El número que se encuentra en alguna de las esquinas inferiores de las imágenes corresponde a la ubicación del objeto en la Tabla 4.3. En todas las imágenes el Norte se encuentra hacia arriba y el Este, hacia la izquierda.

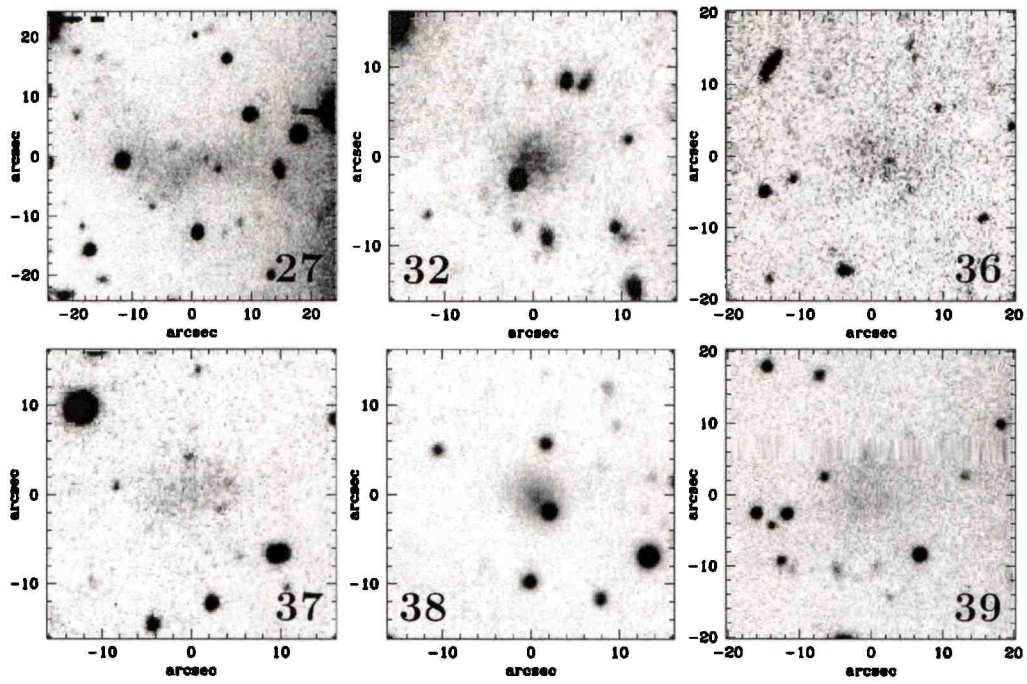


Figura 4.5: Continuación

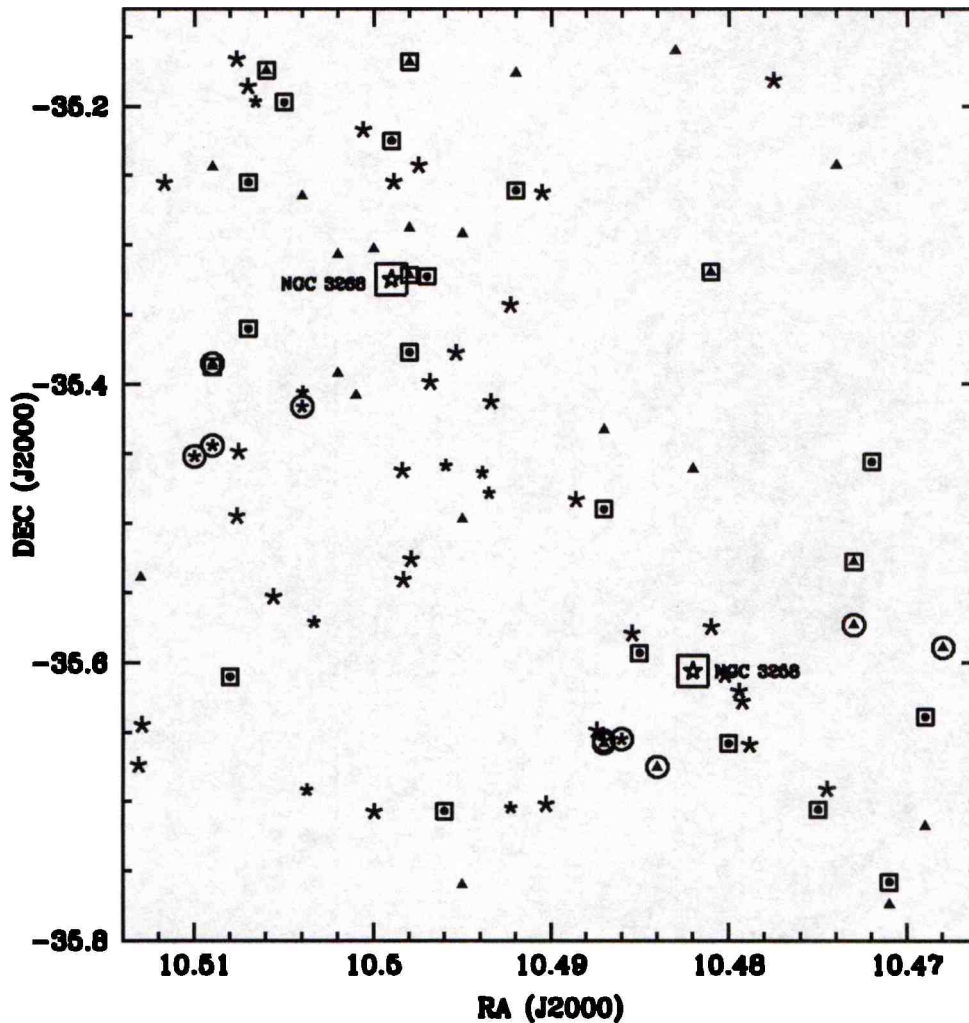


Figura 4.6: Ubicación espacial proyectada en el campo de MOSAIC, de la muestra de galaxias del presente capítulo y de los miembros de tipo temprano presentados en el Capítulo 2. La muestra del Capítulo 2 incluye miembros espectroscópicamente confirmados de tipo temprano (esto es, elípticas y S0s) de FS90, más galaxias de FS90 de tipo temprano con estatus de pertenencia 1. Los símbolos indican: *estrellas grandes*, NGC 3258 y NGC 3268; *triángulos*, elípticas de FS90; *círculos llenos*, S0s de FS90; *asteriscos*, nuevas galaxias enanas; *cuadrados abiertos grandes*, miembros confirmados a partir de espectros de IMACS y de datos de la literatura (Capítulo 2); *círculos abiertos grandes*, miembros confirmados a partir de espectros de GMOS. Las galaxias candidatas con posibilidad de ser objetos de fondo se muestran como asteriscos pequeños. El Norte se encuentra hacia arriba y el Este, hacia la izquierda.

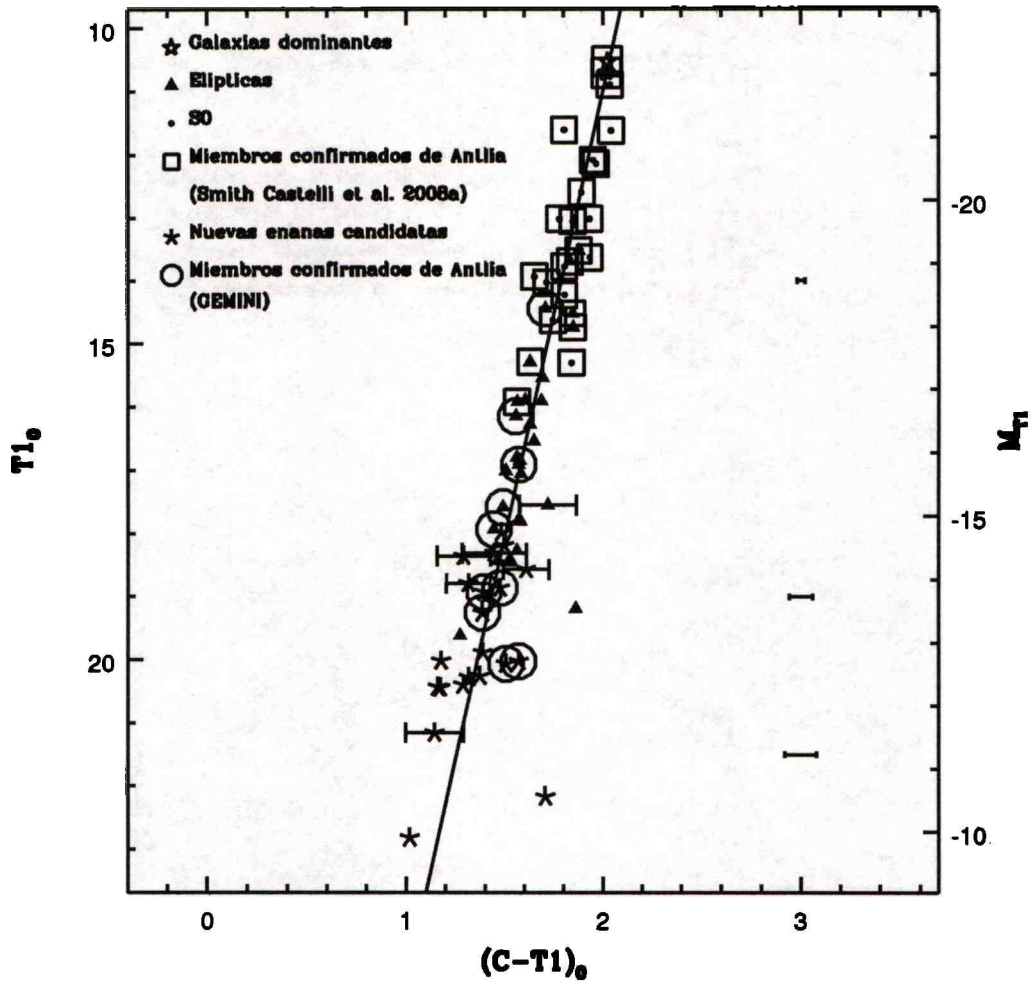


Figura 4.7: Diagrama color–magnitud de los miembros definitivos de Antlia más las galaxias candidatas enanas. La línea sólida muestra el ajuste a la relación definida por las galaxias de FS90 con estatus de pertenencia 1 y los miembros espectroscópicamente confirmados de Antlia. Las barras de error indican los errores típicos en color correspondientes a los rangos $10 < T_1 < 18$ (pequeña, 0.02 mag), $18 < T_1 < 20$ (mediana, 0.06 mag) y $20 < T_1 < 23$ (grande, 0.08 mag). Por claridad sólo mostramos errores individuales para aquellos objetos cuyas incertezas en color superan 0.1 mag.

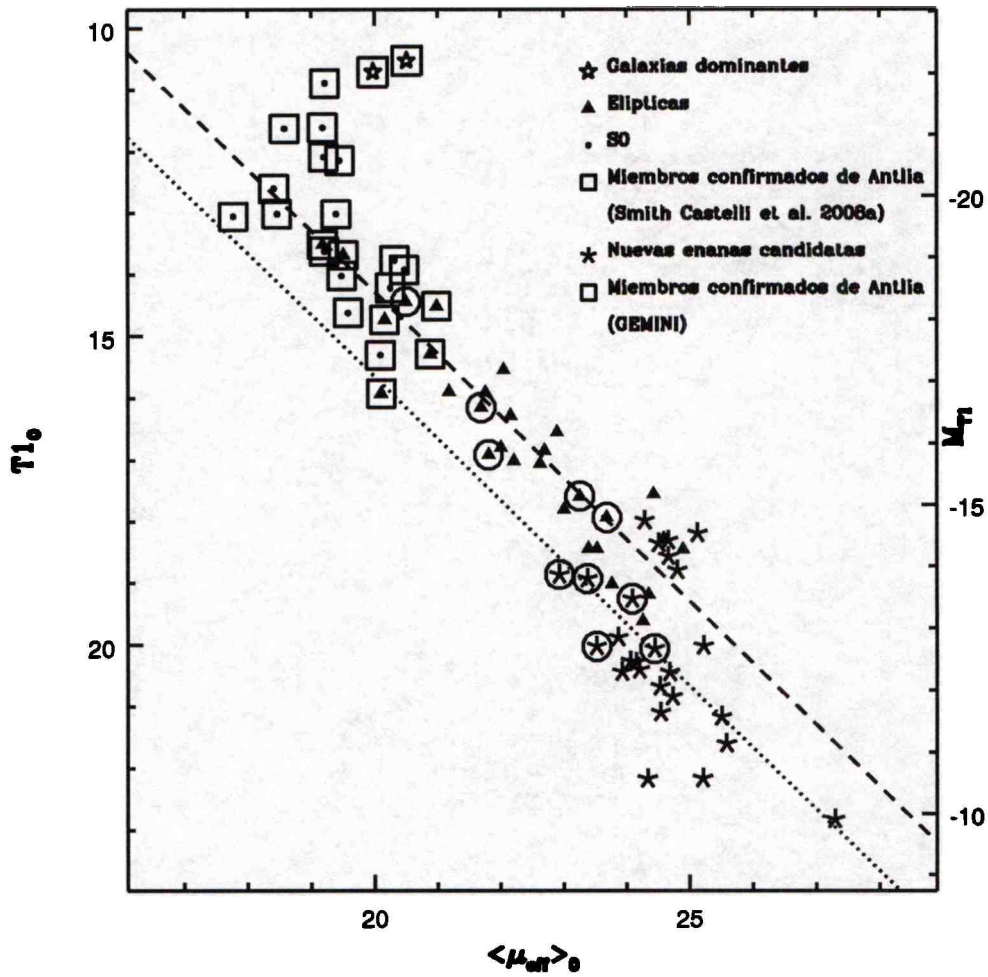


Figura 4.8: Diagrama de magnitudes T_1 contra brillo superficial efectivo medio para los miembros definitivos de Antlia más las nuevas galaxias candidatas a ser miembros de Antlia. La línea a trazos muestra la secuencia de radio efectivo constante de ~ 1 kpc, seguida por las galaxias de FS90 más débiles que $T_1 = 13$ mag, la cual fue presentada en el Capítulo 2. Las nuevas galaxias candidatas tienden a apartarse hacia radios efectivos menores. Como referencia, la línea a puntos muestra la secuencia correspondiente a $r_{\text{eff}} = 0.5$ kpc.

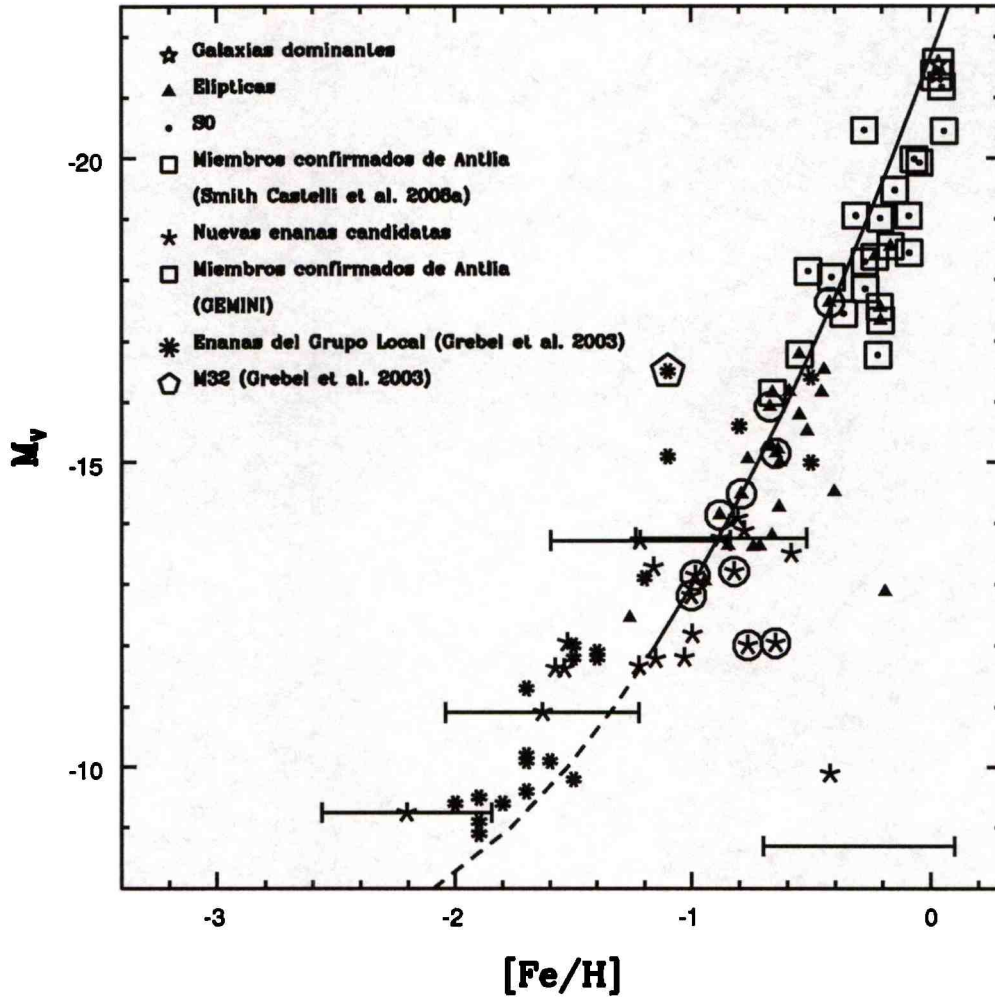


Figura 4.9: Relación M_V contra $[Fe/H]$ para los miembros definitivos de Antlia más las nuevas galaxias candidatas. Como referencia mostramos, con una línea sólida, nuestra relación luminosidad–metalicidad media transformada a la banda V , y con una línea a trazos, su extrapolación hacia luminosidades bajas. Por claridad, sólo mostramos barras de error para las galaxias de Antlia que muestran incertezas en metalicidad mayores que 0.3 dex. La barra de error que se muestra aislada corresponde al error medio en metalicidad de los datos de Grebel et al. (2003) (0.4 dex).

Capítulo 5

Resumen y Conclusiones

En esta Tesis presentamos el estudio de la población de galaxias ubicada en la región central del cúmulo de Antlia. La muestra investigada incluye 100 galaxias del catálogo del Grupo de Antlia de FS90, y 44 galaxias identificadas por nosotros como posibles miembros desconocidos de Antlia.

En base a imágenes obtenidas con MOSAIC-CTIO, hemos obtenido colores integrados ($C - T_1$), magnitudes T_1 y radios efectivos para 93 galaxias de FS90 y 21 galaxias nuevas. Estos objetos integran la muestra de galaxias más extensa analizada hasta el momento en el sistema fotométrico de Washington. Para todas estas galaxias no existe información previa de fotometría CCD. Para algunos casos particulares, la fotometría de MOSAIC fue complementada con la obtenida a partir de imágenes obtenidas con FORS1-VLT, y del archivo de ACS-HST. El estatus de pertenencia (esto es, miembro u objeto de fondo) de 50 galaxias pudo ser confirmada a través de nuevas velocidades radiales obtenidas a partir de espectros tomados con MAGALLANES-IMACS, GEMINI-GMOS y CASLEO-REOSC, así como también por medio de datos recogidos de la literatura.

A partir de todos estos datos construimos la primera relación color-magnitud (RCM) de las galaxias de tipo temprano del cúmulo de Antlia. Encontramos que los miembros espectroscópicamente confirmados del cúmulo, las galaxias clasificadas como miembros definitivos de Antlia por FS90, y las nuevas candidatas, siguen una muy bien definida RCM que se extiende aproximadamente 11 magnitudes en brillo, sin cambio de pendiente o aumento en su dispersión hacia luminosidades bajas. La pendiente de esta relación se encuentra en acuerdo con las halladas en otros cúmulos de galaxias como ser Virgo, Fornax, Perseo y Coma, los cuales parecen ser dinámicamente diferentes al cúmulo de Antlia. Esta última propiedad podría ser interpretada como un indicio de que la construcción de la RCM en Antlia ha estado más relacionada a los procesos internos de las galaxias que a la influencia del

medioambiente.

La RCM de Antlia no es sólo una de las más extendidas halladas hasta el momento, sino también una de las más estrechas definidas por miembros confirmados. En la literatura se ha reportado un incremento considerable en la dispersión en color en otras relaciones hacia el extremo débil. De nuestro análisis surge que dicho incremento podría estar causado por una limitación en la sensibilidad a la metalicidad del color fotométrico utilizado para construir la relación. Adicionalmente, la disminución de la confiabilidad de los datos fotométricos hacia bajas luminosidades, y la contaminación por objetos de fondo, podrían ser otros factores que aumenten la dispersión.

Por otro lado, las galaxias involucradas en la RCM de Antlia siguen una relación luminosidad–metalicidad que es extendida en su extremo débil por la ya conocida relación luminosidad–metalicidad de las galaxias enanas del Grupo Local. Este acuerdo entre ambas relaciones apunta a la existencia de una relación luminosidad–metalicidad común, y sería consistente con la idea de que la RCM estaría definida por una secuencia en metalicidad y no en edad. Las metalicidades de las galaxias de Antlia fueron estimadas a partir de una relación color–metalicidad válida para cúmulos globulares, lo cual significa que estamos suponiendo que las galaxias de tipo temprano pueden ser consideradas como sistemas estelares viejos, de poblaciones estelares simples. El acuerdo entre las abundancias de las enanas de Antlia y del Grupo Local puede ser tomado como un indicio de que nuestra suposición es aceptable, al menos como hipótesis de trabajo. Con el fin de poder confirmar esto, esperamos obtener metalicidades para las galaxias brillantes de nuestra muestra espectroscópica de GEMINI-GMOS en un futuro cercano.

En el diagrama luminosidad–brillo superficial efectivo medio, la secuencia de r_{eff} constante seguida por las galaxias de tipo temprano de FS90 con $-20 \lesssim M_R \lesssim -14$, se encuentra en buen acuerdo con los resultados reportados en otros cúmulos de galaxias, como ser Virgo y Coma. De este modo, las galaxias de tipo temprano que se encuentran dentro de ese rango de luminosidades, muestran un radio efectivo de ~ 1 kpc. A partir del análisis de las nuevas galaxias candidatas de Antlia, hemos encontrado que esta relación muestra dos quiebres en lugar de uno. En el extremo brillante, las galaxias se apartan de la secuencia de r_{eff} constante hacia radios efectivos mayores en el rango de luminosidades $M_R \lesssim -20$ mag ($M_V \lesssim -19.4$ mag). En el extremo débil, no es claro aún cual es el comportamiento de las galaxias con $M_R \gtrsim -14$ mag ($M_V \gtrsim -13.4$), esto es, si el brillo superficial medio se mantiene constante o las galaxias se reacomodan en una secuencia de radios efectivos menores, de aproximadamente ~ 0.5 kpc. Será interesante re-analizar este punto en el contexto del estudio de los perfiles de brillo de las nuevas candidatas, que son las que parecen definir el quiebre a bajas luminosidades.

El origen del quiebre en el extremo brillante se encuentra en un acalorado debate en este momento en la literatura. Una de las suposiciones es que, excluyendo las galaxias E más brillantes (galaxias "core"), no existen diferentes mecanismos de formación entre las galaxias E brillantes y enanas. Esto estaría justificado por la variación continua de sus parámetros fundamentales en diagramas tales como magnitud absoluta-logaritmo del índice de Sérsic n de sus perfiles de brillo, o magnitud absoluta-brillo superficial central. Por el contrario, otra hipótesis sostiene que la discontinuidad en el extremo brillante del diagrama luminosidad-brillo superficial efectivo medio, se debe a una fuerte dicotomía entre galaxias E y dE dado que serían sistemas físicamente diferentes. Se sugiere que tendrían orígenes distintos, siendo las primeras el producto de fusiones de sistemas de menor masa, mientras que las últimas serían el resultado de la transformación de galaxias de tipo tardío. Tanto procesos internos como ambientales estarían involucrados en esta transformación.

Nuestros resultados del Capítulo 3 relacionados con galaxias candidatas a compactas elípticas (cEs), parecen dar apoyo a la existencia de una dicotomía entre galaxias E y dE. En el diagrama luminosidad-brillo superficial efectivo medio encontramos una relación que es prácticamente perpendicular a la dirección definida por la correspondiente a la del radio efectivo constante de ~ 1 kpc, y que se extiende desde las galaxias cE hasta las galaxias gigantes de Antlia. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la mayor parte de las galaxias que se ubican entre las cEs y las gigantes en esta relación, son galaxias lenticulares y no elípticas. De este modo, este resultado no es concluyente y debe ser considerado sólo como indicativo.

La distribución espacial proyectada de nuestra muestra de galaxias nos permite delinear la estructura interna del cúmulo de Antlia. Parecieran existir dos sistemas principales en su región central. Uno situado alrededor de NGC 3258 que muestra características similares a las de un grupo de galaxias, y otro en torno a NGC 3268, el cual sería un pequeño cúmulo. Los mapas de rayos-X existentes muestran contornos de brillo más extendidos alrededor de NGC 3268 que en torno de NGC 3258, indicando que la estructura asociada a la primer galaxia es más masiva que la vinculada a la segunda. Por otro lado, hay más galaxias en la vecindad de NGC 3268, pero se encuentran más concentradas hacia NGC 3258. Estas similitudes entre las emisiones de rayos-X y la distribución proyectada de las galaxias en general, y de las dSphs en particular, ha sido hallada en otros grupos y cúmulos de galaxias. Adicionalmente, la distribución proyectada general de las galaxias en la región central de Antlia es elongada, pareciendo vincular a las galaxias dominantes. Esto está en acuerdo con la forma de los sistemas de cúmulos globulares de NGC 3258 y NGC 3268, los cuales también se muestran elongados en la

dirección del eje que une ambas galaxias, tal y como ha sido reportado en estudios previos. De este modo, todas estas evidencias apoyan la conclusión principal obtenida a partir de la distribución espacial de nuestra muestra de galaxias: las galaxias enanas trazan la distribución de materia dentro de un cúmulo de galaxias.

Como objetos particulares, hemos estudiado cuatro candidatas a galaxias cE del catálogo de FS90, ubicadas en la región central de Antlia (FS90 110, FS90 165, FS90 192 y FS90 208). Hasta el momento, sólo se conocen seis miembros de esta rara clase. A partir del análisis de los perfiles de brillo y color, así como también de los mapas de color y las máscaras unsharp de las candidatas, hemos encontrado que, a pesar de ser miembros espectroscópicamente confirmados de Antlia, FS90 165 y FS90 208 no son galaxias cE. Sin embargo, FS90 208 presenta fuertes variaciones en elipticidad y ángulo de posición que recuerdan a las reportadas para M32, el supuesto prototipo de esta clase de galaxias. Esto nos lleva a sugerir que objetos similares a FS90 208 podrían ser los progenitores de las galaxias cE. Las otras dos galaxias candidatas, FS90 110 y FS90 192, para las cuales no se tienen datos de velocidades radiales, presentan algunas características típicas de galaxias cE tales como ubicarse en proyección en las cercanías de galaxias gigantes, mostrar perfiles de color planos y mostrar una morfología altamente compacta.

Sólo FS90 110 muestra un alto brillo superficial central, dos componentes en su perfil de brillo, y cambios distintivos en elipticidad y ángulo de posición donde la componente externa comienza a dominar. También parece seguir la misma tendencia que otras cEs en el diagrama luminosidad-brillo superficial efectivo medio. Por otro lado, muestra una estructura interna distorsionada con similares características a las encontradas en simulaciones numéricas de galaxias interactuantes. Incluso se ha detectado en imágenes de CTIO-MOSAIC, VLT-FORS1 y HST-ACS, una estructura extremadamente débil que parece vincular a esta galaxia con NGC 3258, una de las galaxias dominantes de Antlia. Todas estas características convierten a FS90 110 en la candidata más probable a ser una genuina galaxia cE. Sin embargo, la pertenencia de este objeto al cúmulo de Antlia debe aún ser confirmada a través de datos espectroscópicos. Esperamos obtener estos datos en los próximos meses.

Cabe destacar que FS90 110 se ubica, en proyección, más cerca de NGC 3258 que FS90 192 de NGC 3268. Si comparamos esto con los casos de M32 y NGC 5846A, estas son dos cEs pertenecientes a dos grupos de galaxias, y son las dos cEs que se ubican más cerca en proyección de sus compañeras brillantes, en comparación con otras cEs pertenecientes a cúmulos de galaxias. En consecuencia, la ubicación proyectada de nuestras dos candidatas se encuentra también en acuerdo con la idea de que NGC 3258 domina un grupo

de galaxias, y NGC 3268, un cúmulo. Evidentemente, un estudio detallado de velocidades radiales es necesario para arribar a conclusiones firmes acerca de la estructura interna del cúmulo de Antlia.

Referencias

- [1] Abell G. O., 1958, ApJS, 3, 211
- [2] Abell G. O., Corwin H. G. Jr., Olowin R. P., 1989, ApJS, 70, 1
- [3] Adami C. et al., 2006, A&A, 459, 679
- [4] Alonso M. V., Bernardi M., Da Costa L. N., Wegner G., Willmer C. N. A., Pellegrini P. S., Maia M. A. G., 2003, AJ, 125, 2307
- [5] Andreon S., Cuillandre J.-C., Puddu E., Mellier Y., 2006, MNRAS, 372, 60
- [6] Barazza F. D., Binggeli B., Jerjen H., 2002, A&A, 391, 823
- [7] Barazza F. D., Binggeli B., Jerjen H., 2003, A&A, 407, 121
- [8] Bassino L. P., Richtler T., Dirsch B., 2008, MNRAS, 386, 1145
- [9] Baum W., 1959, PASP, 71, 106
- [10] Bautz L. P., Morgan W. W. 1970, ApJ, 162, 149
- [11] Bekki K., Couch W. J., Drinkwater M. J., Gregg M. D., 2001, ApJ, 557, L39
- [12] Bell E. F., Zucker D. B., Belokurov V., Sharma S., Johnston K. V. and 13 coauthors, 2008, ApJ, 680, 295
- [13] Berrington R. C., Dermer C. D., 2003, ApJ, 594, 709
- [14] Bertin E., Arnouts S., 1996, A&AS, 117, 393
- [15] Binggeli B., 1999, in *The radio galaxy Messier 87*, proceedings of a workshop held at Ringberg Castle, Tegernsee, Germany, 15-19 September 1997, eds. Roser H.-J., Meisenheimer K., Springer-Verlag, p.9

- [16] Binggeli B., Cameron L. M., 1991, *A&A*, 252, 27
- [17] Binggeli B., Jerjen H., 1998, *A&A*, 333, 17
- [18] Binggeli B., Sandage A., Tammann G. A., 1985, *AJ*, 90, 1681
- [19] Binney J., Merrifield M., 1998, in *Galactic Astronomy*, Princeton Series in Astrophysics, Princeton University Press, 184
- [20] Biviano A., 1998, in *Untangling Coma Berenices: A New Vision of an Old Cluster*, Proceedings of the meeting held in Marseilles (France), June 17-20, 1997, Eds. Mazure, A., Casoli F., Durret F., Gerbal D., Word Scientific Publishing Co Pte Ltd, p. 1
- [21] Borgani S., 2006, in *Lectures for 2005 Guillermo Haro Summer School on Clusters*, Lecture notes in Physics, Springer-Verlag, astro-ph/0605575
- [22] Bower R. G., Lucey J. R., Ellis R. S., 1992, *MNRAS*, 254, 601
- [23] Brodie J. P., Strader J., 2006, *ARA&A*, 44, 193
- [24] Brunzendorf J., Meusinger H., 1999, *A&AS*, 139, 141
- [25] Buzzoni A., 2005, *MNRAS*, 361, 725
- [26] Caldwell N., 1983, *AJ*, 88, 804
- [27] Caldwell N., 2006, *ApJ*, 651, 822
- [28] Caldwell N., Bothun G. D., 1987, *AJ*, 94, 1126
- [29] Canterna R., 1976, *AJ*, 81, 228
- [30] Carrasco E. R., Mendes de Oliveira C., Infante L., 2006, *AJ*, 132, 1796
- [31] Carroll B. W., Ostlie D. A., 1996, in *An Introduction to Modern Astrophysics*, Addison-Wesley, p. 1119
- [32] Carter D. et al., 2002, *ApJ*, 567, 772
- [33] Cellone S. A., 1999, *A&A*, 345, 403
- [34] Cellone S. A., Buzzoni A., 2001, *A&A*, 369, 742
- [35] Cellone S. A., Buzzoni A., 2005, *MNRAS*, 356, 41

- [36] Cellone S. A., Buzzoni A., 2007, in *Groups of Galaxies in the nearby Universe*, eds. Saviane I., Ivanov V. D., Borissova J., ESO Astrophysics Symposia, (Springer-Verlag), 91
- [37] Cellone S. A., Forte J. C., 1996, *ApJ*, 461, 176
- [38] Cellone S. A., Forte J. C., Geisler D., 1994, *ApJS*, 93, 397
- [39] Chang R., Gallazzi A., Kauffmann G., Charlot S., Ivezić Ž., Brinchmann J., Heckman T. M., 2006, *MNRAS*, 366, 717
- [40] Chiboucas K., Karachentsev I. D., Tully R. B., 2009, *AJ*, 137, 3009
- [41] Chilingarian I., Cayatte V., Chemin L., Durret F., Laganá T. F., Adami C., Slezak E., 2007, *A&A*, 466, L21
- [42] Chilingarian I., Cayatte V., Durret F., Adami C., Balkowski C., Chemin L., Laganá T. F., Prugniel P., 2008, *A&A*, 486, 85
- [43] Choi P. I., Guhathakurta P., Johnston K. V., 2002, *AJ*, 124, 310
- [44] Conselice C. J., Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 2001, *ApJ*, 559, 791
- [45] Conselice C. J., Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 2002, *AJ*, 123, 2246
- [46] Conselice C. J., Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 2003, *AJ*, 125, 66
- [47] Davidge T. J., 1991, *AJ*, 102, 896
- [48] De Rijcke S., Dejonghe H., Zeilinger W. W., Hau G. K. T., 2003, *A&A*, 400, 119
- [49] De Rijcke S., Michielsen D., Dejonghe H., Zeilinger W. W., Hau G. K. T., 2005, *A&A*, 438, 491
- [50] de Vaucouleurs G., 1961, *ApJS*, 5, 233
- [51] de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H. G., Jr., Buta R. J., Paturel G., Fouque P., 1991, *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies (RC3)*, Springer-Verlag, New York
- [52] Dirsch B., Richtler T., Bassino L. P., 2003, *A&A*, 408, 929
- [53] Djorgovski S., Davis M., 1987, *ApJ*, 313, 59
- [54] Dressler A., 1984, *ApJ*, 286, 97

- [55] Dressler A. et al., 1997, ApJ, 490, 577
- [56] Drinkwater M. J., Gregg M. D., Colless M., 2001, ApJ, 548, L139
- [57] Drinkwater M. J., Gregg M. D., Holman B. A., Brown M. J. I., 2001, MNRAS, 326, 1076
- [58] Eke V., 2006, in *Groups of Galaxies in the Nearby Universe*, eds. Saviane I., Ivanov V. D., Borissova J., ESO Astrophysics Symposia, (Springer-Verlag), 53
- [59] Erwin P., Pohlen M., Beckman J. E., 2008, AJ, 135, 20
- [60] Ferguson H. C., 1989, Ap&SS, 157, 227
- [61] Ferguson H. C., Binggeli B., 1994, A&AR, 6, 67
- [62] Ferguson H. C., Sandage A., 1990, AJ, 100, 1 (FS90)
- [63] Ferguson H. C., Sandage A., 1991, AJ, 101, 765 (FS91)
- [64] Ferrarese L. et al., 2006, ApJS, 164, 334
- [65] Forbes D. A., Forte J. C., 2001, MNRAS, 322, 257
- [66] Forman W., Jones C., 1982, ARA&A, 20, 547
- [67] Forte J. C., Faifer F. R., Geisler D., 2007, MNRAS, 382, 1947
- [68] Fukugita M., Shimasaku K., Ichikawa T., 1995, PASP, 107, 945
- [69] Gallagher J. S., Wyse R. F. G., 1994, PASP, 106, 1225
- [70] Gavazzi G., Donatti A., Cucciati O., Sabatini S., Boselli A., Davies J., Zibetti S., 2005, A&A, 430, 411
- [71] Geha M., Guhathakurta P., van der Marel R. P., 2003, AJ, 126, 1794
- [72] Geisler D., 1996, AJ, 111, 480
- [73] Graham A. W., 2002, ApJ, 568, L13 (erratum 572, L121)
- [74] Graham A. W., Driver S. P., 2005, PASA, 22, 118
- [75] Graham A. W., Guzmán R., 2003, AJ, 125, 2936
- [76] Graham A. W., Jerjen H., Guzmán R., 2003, AJ, 126, 1787

- [77] Graham A. W., Worley C. C., 2008, MNRAS, 388, 1708
- [78] Grebel E.K., 2005, in *Near-Field Cosmology with Dwarf Elliptical Galaxies*, Proceedings IAU Colloquium 198, ed. H. Jerjen, B. Binggeli (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 1
- [79] Grebel E. K., Gallagher J. S., Harbeck D., 2007, Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 39, p.895
- [80] Grebel E. K., Gallagher J. S., Harbeck D., 2003, AJ, 125, 1926
- [81] Gutiérrez C. M., Trujillo I., Aguerri J. A. L., Graham A. W., Caon N., 2004, ApJ, 602, 664
- [82] Harris H. C., Canterna R., 1977, AJ, 82, 798
- [83] Harris W. E., Harris G. L. H., 2002, AJ, 123, 3108
- [84] Harris W. E., Whitmore B. C., Karakla D., Okoń W., Baum W. A., Hanes D. A., Kavelaars J. J., 2006, ApJ, 636, 90
- [85] Hasegan M. et al., 2005, ApJ, 627, 203
- [86] Hilker M., Mieske S., Infante L., 2003, A&A, 397, L9
- [87] Hopp U., Materne J., 1985, A&AS, 61, 93
- [88] Jedrzejewski R. I., 1987, MNRAS, 226, 747
- [89] Jerjen H., Kalnajs A., Binggeli B., 2000, A&A, 358, 845
- [90] Jordi K., Grebel E. K., Ammon K., 2006, A&A, 460, 339
- [91] Junor W., Biretta J. A., Livio M., 1999, Natur, 401, 891
- [92] Klypin A., Kravtsov A. V., Valenzuela O., Prada F., 1999, ApJ, 522, 82
- [93] Kodama T., Arimoto N., 1997, A&A, 320, 41
- [94] Köppen J., Weidner C., Kroupa P., 2007, MNRAS, 375, 673
- [95] Kormendy J., 1977a, ApJ, 217, 406
- [96] Kormendy J., 1977b, ApJ, 218, 333
- [97] Kormendy J., Fisher D. B., Cornell M. E., Bender R., 2009, ApJS, 182, 216

- [98] Kundu A., 2008, *AJ*, 136, 1013
- [99] Kuntschner H., Davies R. L., 1998, *MNRAS*, 295, L29
- [100] Kuntschner H., 2000, *MNRAS*, 315, 184
- [101] Lauer T. R. et al., 1996, *ApJ*, 471, L79
- [102] Lisker T., Grebel E. K., Binggeli B., 2005, in *Near-Field Cosmology with Dwarf Elliptical Galaxies*, Proceedings IAU Colloquium 198, ed. H. Jerjen, B. Binggeli (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 311
- [103] Lisker T., Glatt K., Westera P., Grebel E. K., 2006a, *AJ*, 132, 2432
- [104] Lisker T., Grebel E. K., Binggeli B., 2006b, *AJ*, 132, 497
- [105] Lisker T., Grebel E. K., Binggeli B., 2008, *AJ*, 135, 380
- [106] López-Cruz O., Barkhouse W. A., Yee H. K. C., 2004, *ApJ*, 614, 679
- [107] Lutovinov A. A., Vikhlinin A., Churazov E. M., Revnivtsev M. G., Sunyaev R. A., 2008, *ApJ*, 687, 968
- [108] MacArthur L. A., Courteau S., Holtzman J. A., 2003, *ApJ*, 582, 689
- [109] Mahdavi A., Trentham N., Tully R. B., 2005, *AJ*, 130, 1502
- [110] Markevitch M., Ponman T. J., Nulsen P. E. J., and 19 coauthors, 2000, *ApJ*, 541, 542
- [111] Mastropietro C., Moore B., Mayer L., Debattista V. P., Piffaretti R., Stadel J., 2005, *MNRAS*, 364, 607
- [112] Mateo M. L., 1998, *ARA&A*, 36, 435
- [113] Mayer L., Mastropietro C., Wadsley J., Stadel J., Moore B., 2006, *MNRAS*, 369, 1021
- [114] McConnachie A. W., Irwin M. J., 2006, *MNRAS*, 365, 1263
- [115] Mendel J. T., Proctor R. N., Forbes D. A., Brough S., 2008, *MNRAS*, 389, 749
- [116] Mieske S., Infante L., Hilker M., Hertling G., Blakeslee J. P., Benítez N., Ford H., Zekser K., 2005, *A&A*, 430, L25
- [117] Mieske S., Hilker M., Infante L., Jordán A., 2006, *AJ*, 131, 2442

- [118] Mieske S., Hilker M., Infante L., Mendes de Oliveira C., 2007, *A&A*, 463, 503
- [119] Misgeld I., Mieske S., Hilker M., 2008, *A&A*, 486, 697
- [120] Nakazawa K., Makishima K., Fukazawa Y., Tamura T., 2000, *PASJ*, 52, 623
- [121] Nieto J. -L., Prugniel P., 1987, *A&A*, 186, 30
- [122] Nonino M. et al., 1999, *A&AS*, 137, 51
- [123] Ostrov P., Forte J. C., Geisler D., 1998, *AJ*, 116, 2854
- [124] O’Sullivan E., Vrtilek J. M., 2007, in *Groups of Galaxies in the Nearby Universe*, eds. Saviane I., Ivanov V. D., Borissova J., ESO Astrophysics Symposia, (Springer-Verlag), 331
- [125] Pedersen K., Yoshii Y., Sommer-Larsen J., 1997, *ApJ*, 485, L17
- [126] Peletier R. F., 1993, *A&A*, 271, 51
- [127] Phillipps S., Parker Q. A., Schwartzberg J. M., Jones J. B., 1998, *ApJ*, 493, L59
- [128] Penny S. J., Conselice C., 2008, *MNRAS*, 383, 247
- [129] Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P., 1992, in “Numerical Recipes in Fortran: The Art of Scientific Computing”, 2nd. edition
- [130] Prugniel P., Simien F., 1996, *A&A*, 309, 749
- [131] Rakos K., Schombert J., Maitzen H. M., Prugovecki S., Odell A., 2001, *AJ*, 121, 1974
- [132] Rasmussen J., Ponman T. J., 2007, in *Groups of Galaxies in the Nearby Universe*, eds. Saviane I., Ivanov V. D., Borissova J., ESO Astrophysics Symposia, (Springer-Verlag), 325
- [133] Rieke G. H., Lebofsky M. J., 1985, *ApJ*, 288, 618
- [134] Rose J. A., Arimoto N., Caldwell N., Schiavon R. P., Vazdekis A., Yamada Y., 2005, *AJ*, 129, 712
- [135] Sánchez-Blázquez P., Gorgas J., Cardiel N., 2006, *A&A*, 457, 823

- [136] Sandage A., 1975, ApJ, 202, 563
- [137] Sandage A., Binggeli B., 1984, AJ, 89, 919
- [138] Sarazin C. L., 1988, in *X-ray emission from cluster of galaxies*, Cambridge Astrophysics Series, Press Syndicate of the University of Cambridge, New York, USA
- [139] Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, ApJ, 500, 525
- [140] Secker J., Harris W. E., Plummer J. D., 1997, PASP, 109, 1377
- [141] Sérsic J. L., 1968, Atlas de Galaxias Australes (Córdoba: Obs. Astron., Univ. Nac. Córdoba)
- [142] Sirianni M. et al., 2005, PASP, 117, 1049
- [143] Smith Castelli A. V., Bassino L. P., Richtler T., Cellone S. A., Aruta C., Infante L., 2008a, MNRAS, 386, 2311 (Paper I)
- [144] Smith Castelli A. V., Faifer F. R., Richtler T., Bassino L. P., 2008b, MNRAS, 391, 685 (Paper II)
- [145] Tammann G. A., Sandage A., 1985, ApJ, 294, 81
- [146] Terlevich A. I., Kuntschner H., Bower R. G., Caldwell, N., Sharples R. M., 1999, MNRAS, 310, 445
- [147] Terlevich A. I., Caldwell N., Bower R. G., 2001, MNRAS, 326, 1547
- [148] Terlevich A. I., Forbes D. A., 2002, MNRAS, 330, 547
- [149] Thomas D., Bender R., Hopp U., Maraston C., Greggio L., 2003a, Ap&SS, 284, 599
- [150] Thomas D., Maraston C., Bender R., 2003b, MNRAS, 343, 279
- [151] Tonry J. L., Dressler A., Blakeslee J. P., Ajhar E. A., Fletcher A. B., Luppino G. A. Metzger M. R., Moore C. B., 2001, AJ, 546, 681
- [152] Trujillo I., Aguerri J. A. L., Cepa J., Gutiérrez C. M., 2001a, MNRAS, 321, 269
- [153] Trujillo I., Aguerri J. A. L., Cepa J., Gutiérrez C. M., 2001b, MNRAS, 328, 977
- [154] Vader J. P., Chaboyer B., 1994, AJ, 108, 1209

- [155] van Zee L., Barton E. J., Skillman E. D., 2004, *AJ*, 128, 2797
- [156] Vazdekis A., Kuntschner H., Davies R. L., Arimoto N., Nakamura O., Peletier R., 2001, *ApJ*, 551, L127
- [157] Vigroux L., Souviron J., Vader J. P., 1984, *A&A*, 139, L9
- [158] Vikhlinin A., Markevitch M., Murray S. S., 2001, *ApJ*, 551, 160
- [159] Visvanathan N., Sandage A., 1977, *ApJ*, 216, 214
- [160] Zabludoff A., 2007, in *Groups of Galaxies in the nearby Universe*, eds. Saviane I., Ivanov V. D., Borissova J., ESO Astrophysics Symposia, (Springer-Verlag), 249
- [161] Zaritsky D., Gonzalez A. H., Z. A. I., 2006, *ApJ*, 642, 37
- [162] Ziegler B. L., Bender R., 1998, *A&A*, 330, 819