

7 *Espectroscopía multiobjeto*

OBJETIVOS

- Aprender los métodos de la espectroscopía multiobjeto.
- Obtener imágenes del *Palomar Observatory Sky Survey* (POSS).
- Seleccionar observables.
- Crear el fichero de entrada y configurar la observación.

MATERIAL

- Discos CD del *Digitized Sky Survey* (DSS).
- Cartas de identificación y lista de galaxias problema.
- Programa GETIMAGE para generar la imagen.
- Programa OCTOPUS para configurar las fibras.

1 Introducción

Se pretende en esta práctica seguir los pasos previos a la observación con un espectrógrafo de fibras. Para ello se crearán imágenes de los campos que contienen a los objetos problema a partir de los discos CD del *Digitized Sky Survey* (DSS). En estas imágenes se identifican los observables y otras galaxias de la vecindad para ocupar las fibras que quedan libres. Se buscan además las estrellas de guiado y las zonas libres de objetos donde colocar las fibras de fondo de cielo. Finalmente se generan los ficheros de entrada para la configuración del espectrógrafo.

2 Espectroscopía multiobjeto

Los espectrógrafos de rendija larga permiten observar simultáneamente objetos celestes alineados sin más que orientar la rendija adecuadamente. Este método es válido para observar objetos extensos o dos objetos alineados, pero si el número de objetos es elevado, en general éstos no estarán alineados y no podrán observarse simultáneamente. Actualmente, muchos programas de investigación requieren la observación espectroscópica de un número elevado de objetos que se encuentran próximos entre sí en el cielo como, por ejemplo, las galaxias de un cúmulo. Para este tipo de observaciones se inventaron los espectrógrafos multiobjeto que permiten ahorrar una cantidad considerable del escaso tiempo de telescopio.

Existen fundamentalmente dos tipos de espectrógrafos multiobjeto: los que utilizan máscaras y los de fibras. Los primeros utilizan una placa, hecha expofeso para cada observación, donde se perforan las rendijas correspondientes a los objetos a observar. Esta placa de aberturas o máscara

se sitúa en el plano focal del telescopio y permite el paso de luz sólo de nuestros objetos de interés. Los espectros correspondientes a cada objeto se registran en el plano focal del espectrógrafo. Se debe poner especial cuidado en realizar una astrometría precisa (a partir de imágenes tomadas con el mismo telescopio si es posible) para perforar las rendijas en el lugar exacto donde se producen las imágenes de los objetos de interés. Algunos espectrógrafos de este tipo necesitan utilizar fibras ópticas para llevar la luz a la rendija de un espectrógrafo convencional. En este caso la máscara y la fibras componen un sistema de adaptación que permite utilizar un espectrógrafo de rendija larga como espectrógrafo multiobjeto.

En los espectrógrafos de fibras un sistema permite situar un conjunto de fibras ópticas en casi cualquier punto del plano focal del telescopio. Cada fibra está sujeta a un brazo robotizado que la coloca en posición. La imagen de cada objeto de interés se produce en la zona del plano focal donde está el extremo de cada fibra de forma que su luz se transmite al otro extremo que se sitúa en la rendija de un espectrógrafo.

Para colocar las fibras en su sitio se parte de un fichero de posiciones en el cielo (ascensión recta y declinación) que se convierte en posiciones en el plano focal (x,y) sin más que conocer las características ópticas del telescopio. También en este caso es necesario realizar una astrometría muy precisa para garantizar que la luz del objeto es recogida por la fibra. Como la colocación de unas fibras en determinada posición impide el posicionamiento de otras fibras, se debe emplear un programa especial de configuración de las fibras.

Como la transmisión de las fibras ópticas no es perfecta, se pierde un porcentaje de luz en ellas. Sin embargo la ganancia de tiempo de telescopio, cuando se observan del orden de 30 objetos simultáneamente, es considerable. Debe notarse además que estos espectrógrafos sólo pueden emplearse en telescopios cuyo campo de visión sin aberraciones sea suficientemente amplio, ya que de otra forma entrarían pocos objetos cada vez y no compensaría utilizar este tipo de espectrógrafos.

3 Realización práctica

3.1 Imágenes de los campos a observar

En primer lugar se utilizará el programa GETIMAGE para obtener las imágenes de la zona de cielo que contiene nuestros observables. Este programa lee los discos CD del *Digital Sky Survey* (DSS) que es una versión digitalizada de las placas fotográficas de la exploración de Monte Palomar (*Palomar Observatory Sky Survey*, POSS). Otra opción es conectarse a alguna página WEB donde dispongan de la utilidad de generar imágenes DSS. En nuestro caso hemos seleccionado el cúmulo de Virgo y extraeremos tres imágenes de campo amplio (60×60 minutos de arco) centradas en las posiciones dadas en la siguiente tabla.

campo	AR (2000.0)	DEC
C1	12 26 32.0	+12 53 30
C2	12 28 08.6	+12 05 36
C3	12 30 49.6	+12 23 29

El programa *getimage* es de uso muy sencillo. Primero pregunta el centro del campo que se desea extraer, así como su tamaño. Posteriormente determina en qué disco CD se encuentra

digitalizada esa zona del cielo y lo solicita. Se introduce este disco correspondiente en la unidad lectora de CDs y *getimage* genera una imagen en formato FITS.

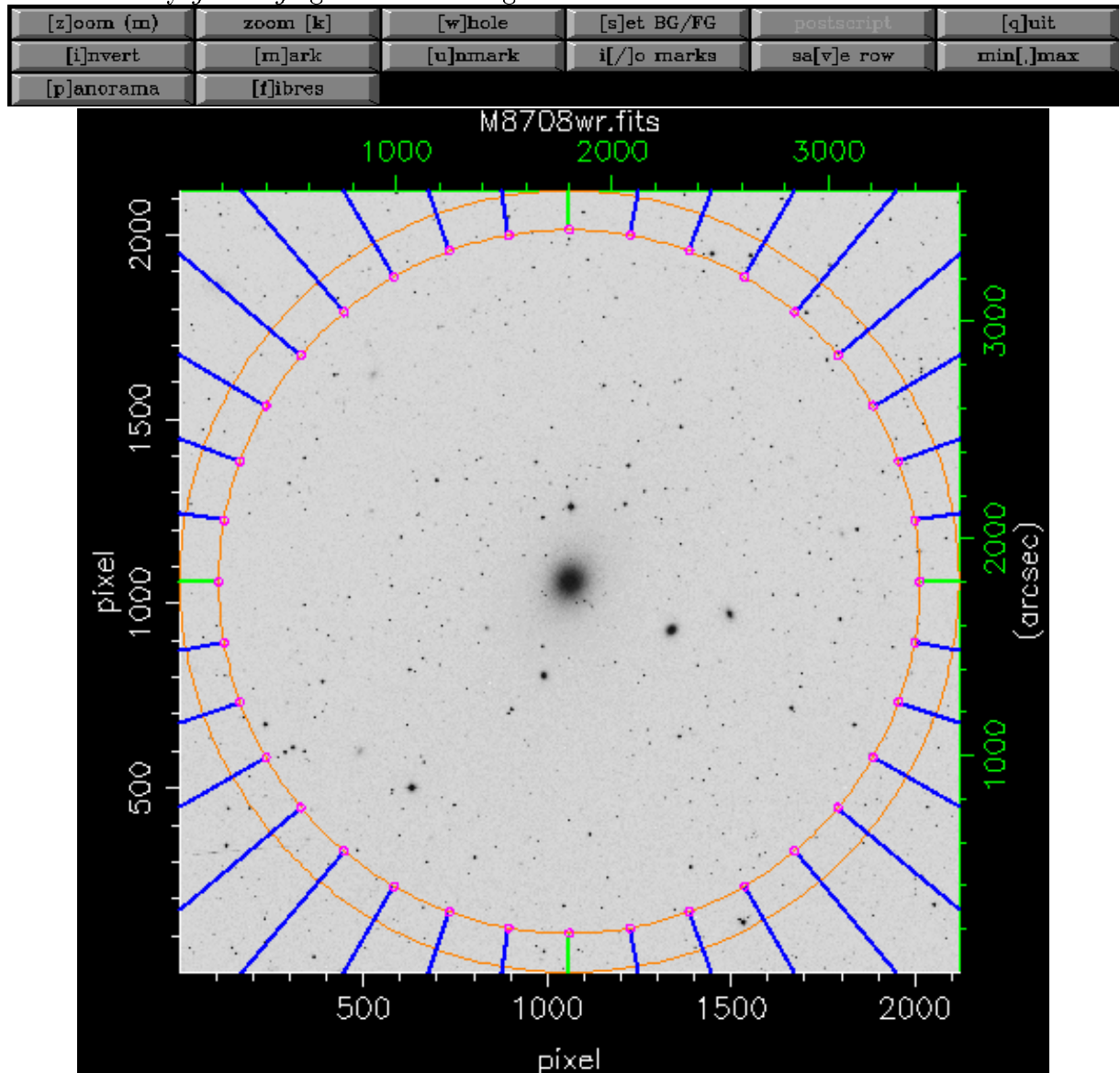


Figura 1 Pantalla gráfica del programa *octopus* en la que se muestra una imagen del campo alrededor de M87. Las fibras están aparcadas ya que no se ha seleccionado todavía ningún objeto.

3.2 Configuración de los campos

A partir de aquí se utiliza el programa *octopus* que permite visualizar a la vez los campos y las fibras. Las posiciones de los objetos a observar y la configuración de las fibras pueden ser almacenadas en un fichero de resultados. A continuación se muestra un ejemplo de como se entra en el programa y se carga la imagen M8708wr.fits:

```
astrolab3:/home/alumnos/g1_practica7> octopus ↵
*****
Welcome to octopus, the fibre spectrograph
simulator of the UCM Department of Astrophysics.
*****
```

```

Press <CR> to start... ↵
Input file name? M8708wr.fits ↵
.....
aquí se imprime información sobre la cabecera fits
.....
OK! File read.
Background: 510.
Foreground: 15832.
> From Scan # 1 to 2119
> From Channel # 1 to 2119
> Total number of pixels: 4490161
> Minimum: 510.
--> in pixel: 1403 151
> Maximum: 15832.
--> in pixel: 216 1506
> Mean : 3445.78638
> Sigma : 1123.87659

```

El programa *octopus* tiene diferentes botones en la pantalla gráfica que permiten realizar operaciones diversas como cambiar los cortes de visualización (BG/FG, min-max), efectuar una ampliación (zoom) o ver el fichero por trozos (panorama). Las más útiles en nuestro caso son:

invert	cambia la escala de grises a video inverso
zoom(m)	para ampliar una zona con el cursor.
mark	para colocar una marca con el cursor.
unmark	para retirar una marca con el cursor.
i/o marks	permite crear y leer ficheros que almacenan las marcas.
fibres	para entrar en el modo de colocación de fibras.

En este modo **fibres** se pueden realizar varias operaciones que se seleccionan con un menú. Veamos un ejemplo en el que se selecciona una fibra con el cursor y se centra en un objeto:

(i) Load fibre configuration from file	(Cargar las posiciones de un fichero)
(s) Save fibre configuration into file	(Salvar a un fichero una configuración)
(c) Locate fibre to cursor	(Centrar una fibra con el cursor)
(p) Park fibre	(Aparcar una fibra ya posicionada)
(x) exit	(Salir del modo fibras)

Option (i/s/c/p/x) ? c ↵	Elegimos c para cursor
Select fibre head with mouse.....	Pinchamos en una fibra
OK! Fibre selected is # 35	Era la número 35
Press mouse button in new fibre location...	Y marcamos en el objeto
Updating configuration.....OK!	El programa calcula la posición
...OK!	Y centra la fibra en el punto marcado
Cursor at 1495.19 970.54 Pixel value: 14692.	
(J2000.0) R.A.: 12 29 59.19 DEC.: +12 20 53.04	
(B1950.0) R.A.: 12 27 27.31 DEC.: +12 37 27.43	

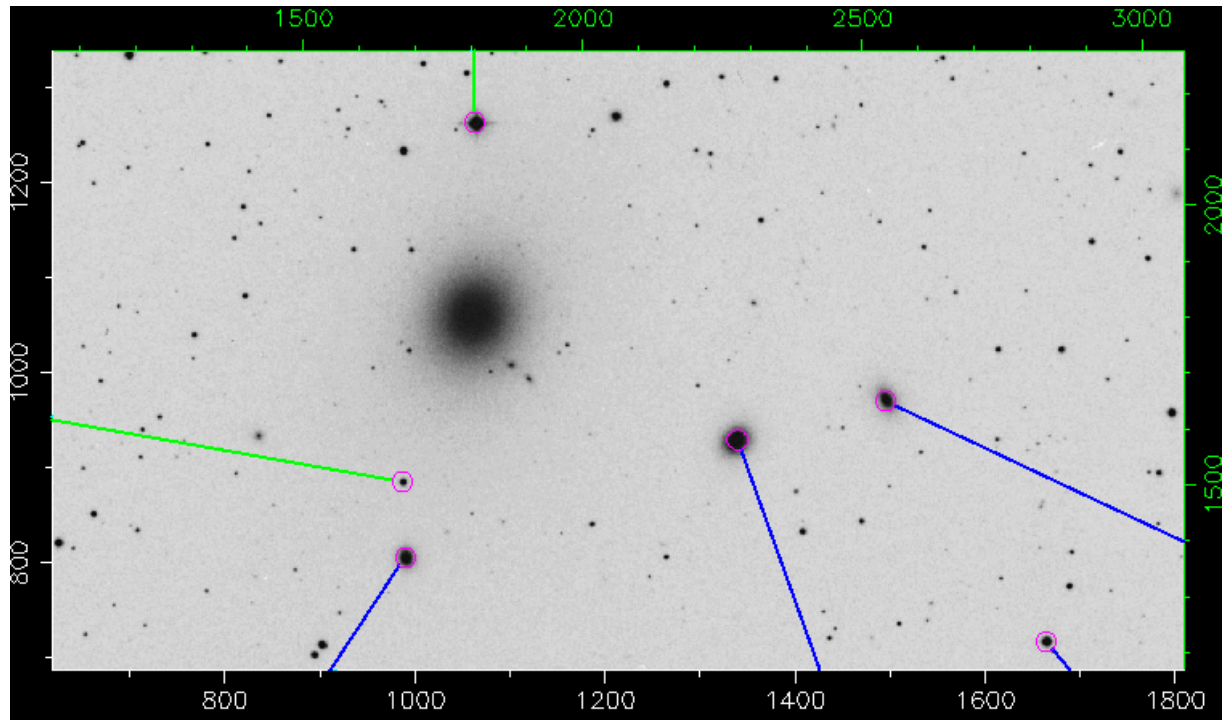


Figura 2 Sección de la imagen proporcionada por *octopus* donde se observan seis fibras centradas. Cuatro de ellas marcan la posición de galaxias, mientras dos están colocadas sobre estrellas. Estas últimas sirven para efectuar el guiado durante la exposición.

3.2.1 Fichero de entrada

Supongamos que se dispone de un espectrógrafo de fibras que permite colocar fibras en un campo de 40 minutos de arco de diámetro. Se dispone de 32 fibras para los objetos de interés y el fondo de cielo y 4 para estrellas de guiado. Estas últimas fibras de guiado (*fiducial fibres*) suelen estar formadas por un haz de fibras cuya luz alcanza detector que se lee en tiempo real durante la exposición. Si el telescopio se desvía en su seguimiento se corrige su apuntado, recentrando las estrellas, para garantizar que la luz de los objetos de interés está llegando a sus fibras correspondientes en la posición determinada anteriormente.

Configuraremos cada campo teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- Se apuntarán al menos 10 galaxias de las proporcionadas en la listas.
- Se colocarán siempre las cuatro fibras de guiado (marcadas en verde en la pantalla de *octopus*) centradas en estrellas del campo.
- Cuatro fibras deben centrarse en zonas libres de objetos para registrar el fondo de cielo. Se procurará que estén bien repartidas por el campo.
- Las fibras no pueden cruzarse debido a problemas mecánicos de diseño. Si se cruzan dos o más fibras, el programa las muestra de color rojo y advierte que existe un conflicto de configuración. En ese caso, se debe apagar la fibra conflictiva y utilizar otra configuración.

Finalmente se grabará un fichero con los resultados para cada campo. El fichero se debe bautizar con el nombre del grupo y el del campo. Por ejemplo: g4c1.dat para el campo 1 del grupo 4.

Sugerencias y recomendaciones

Para saber las coordenadas de una zona de la imagen, se mueve el ratón a ese lugar y se pulsa el tabulador. Entonces *octopus* muestra en la pantalla alfanumérica la posición en coordenadas ecuatoriales y para los equinoccios B1950 y J2000. Este sistema es de gran utilidad para localizar un objeto en particular.

Se deben elegir las fibras que se encuentren más cerca del objeto. Además las fibras una vez posicionadas no deben estar muy desviadas de su orientación radial. De esta forma se evita que se crucen y entren en conflicto con otras.

Para colocar las fibras en los objetos se usa, en primer lugar, la opción (c) en el modo *fibras* con la imagen completa (*whole*). De esta forma es fácil elegir la fibras y colocarlas aproximadamente. Posteriormente se refina el apuntado y ampliando la zona de interés con *zoom(m)* y utilizando de nuevo la opción (c) en el modo *fibras*.

Las fibras se colocan con el ratón pero puede utilizarse también las flechas del teclado para un apuntado más preciso.

Galaxias catalogadas en el campo C1											
VCC	A.R. (1950) DEC.			Tipo	BT	VCC	A.R. (1950) DEC.			Tipo	BT
704	12 21	38.4	+13 38 54	E		898	12 23	52.2	+13 39 00	E	19.61
719	12 21	46.8	+13 11 24	E	18.59	903	12 23	55.2	+13 11 42	E	19.01
723	12 21	49.8	+13 18 24	SO	15.11	912	12 23	59.7	+12 53 11	SBb R	13.01
729	12 21	54.6	+13 30 36	Sbc R	14.98	916	12 24	01.2	+13 01 06	E	16.06
753	12 22	19.8	+13 23 12	Sb	16.23	923	12 24	04.2	+13 04 42	E	19.61
763	12 22	31.5	+13 09 51	E	9.99	927	12 24	06.6	+13 21 18	E	19.61
765	12 22	31.8	+13 31 18	E	16.40	928	12 24	07.2	+12 47 12	E	16.24
766	12 22	31.8	+13 37 36	E		930	12 24	08.4	+13 07 12	E	18.07
767	12 22	32.4	+13 21 12	E	19.61	937	12 24	13.8	+13 32 42	E	19.10
779	12 22	41.4	+13 18 06	E	17.70	940	12 24	15.0	+12 43 42	E	14.83
781	12 22	42.8	+12 59 29	E SO	14.78	941	12 24	15.6	+13 39 24	E	18.95
789	12 22	45.6	+13 31 54	E	19.10	942	12 24	16.2	+12 40 30	E	19.89
793	12 22	49.8	+13 21 00	Irr	16.72	945	12 24	18.0	+13 27 12	SBm	15.19
796	12 22	52.2	+12 57 06	E		956	12 24	24.0	+13 14 06	E	18.84
800	12 22	55.2	+12 57 12	E	18.60	959	12 24	25.8	+12 41 54	E	19.61
803	12 22	57.6	+12 46 18	E	18.07	962	12 24	27.6	+12 46 36	E	17.59
804	12 22	57.6	+13 15 24	E	18.52	965	12 24	31.2	+12 50 06	E	15.36
810	12 23	01.8	+13 30 06	E	16.76	967	12 24	31.8	+13 08 30	E	18.81
814	12 23	04.8	+13 07 36		19.20	968	12 24	34.2	+13 36 06	E	18.64
815	12 23	05.4	+13 25 12	E	16.11	972	12 24	36.6	+13 36 42	E	16.92
828	12 23	09.6	+13 05 18	E	12.95	984	12 24	41.3	+13 00 45	SO-a	12.67
832	12 23	12.0	+12 57 06	E	19.10	987	12 24	43.8	+12 56 30	E	18.59
833	12 23	12.6	+13 17 42	E	17.54	996	12 24	49.2	+13 23 12	E	18.49
838	12 23	14.4	+13 01 54	E	17.64	1004	12 24	54.0	+13 40 54	E	19.10
836	12 23	14.8	+12 56 18	Sb	11.67	1023	12 25	03.0	+13 04 42	E	
843	12 23	16.8	+13 04 42	E	18.87	1027	12 25	06.0	+13 09 24	E	18.16
844	12 23	16.8	+13 23 48	E	19.00	1030	12 25	08.6	+13 21 23	E SO M	11.64
846	12 23	18.0	+13 28 18	E	16.20	1037	12 25	10.2	+12 45 54	E	19.73
850	12 23	20.4	+13 28 00	Irr	19.04	1040	12 25	12.6	+13 15 30	E	17.56
854	12 23	23.4	+13 02 42	E	17.60	1043	12 25	13.5	+13 17 11	Sab	10.89
871	12 23	33.6	+12 50 12	E R	15.69	1042	12 25	13.8	+13 08 54	E	18.69
872	12 23	34.2	+13 08 12	E	17.02	1046	12 25	17.4	+12 46 24	E	
873	12 23	35.8	+13 23 22	Sbc	12.48	1051	12 25	22.8	+12 52 48	E	19.92
876	12 23	37.2	+12 40 12	E	18.59	1069	12 25	34.2	+13 10 24	E	16.54
881	12 23	39.7	+13 13 25	E M	9.78	1070	12 25	34.2	+13 15 12	E	19.71
882	12 23	42.6	+13 14 24	E	16.75	1077	12 25	38.4	+13 05 00	E	19.31
884	12 23	43.2	+13 25 06	E	18.59	1081	12 25	40.2	+13 17 30	E	18.94
886	12 23	43.8	+13 37 06	E		1101	12 25	52.8	+13 28 12	E	15.95
892	12 23	48.0	+12 47 00	E	18.16	1104	12 25	55.8	+13 05 54	E	15.35
896	12 23	50.4	+13 03 36	E	17.91						

R = Ring / M = Multiple / C = Compact / D = Diffuse

Galaxias catalogadas en el campo C2													
VCC	A.R. (1950)			DEC.	Tipo	BT	VCC	A.R. (1950)			DEC.	Tipo	BT
840	12	23	15.0	+11 56 36	E	17.96	1131	12	26	14.4	+12 17 48	E	18.05
842	12	23	16.8	+12 30 06	E		1136	12	26	17.4	+12 24 30	E	18.10
853	12	23	22.8	+12 05 06	E		1137	12	26	19.2	+14 26 00	E	17.26
870	12	23	33.6	+12 05 48	Sab	15.18	1139	12	26	19.8	+12 13 54		
871	12	23	33.6	+12 50 12	E R	15.69	1147	12	26	26.4	+12 13 54	E	
876	12	23	37.2	+12 40 12	E	18.59	1157	12	26	30.6	+12 42 42	E	19.61
880	12	23	40.2	+12 21 42	E	19.71	1161	12	26	33.6	+12 18 18	E	19.13
892	12	23	48.0	+12 47 00	E	18.16	1162	12	26	33.6	+12 25 54	E	19.92
912	12	23	59.7	+12 53 11	SBb R	13.01	1177	12	26	47.4	+12 39 12	E	18.79
928	12	24	07.2	+12 47 12	E	16.24	1185	12	26	51.6	+12 43 36	E	15.47
940	12	24	15.0	+12 43 42	E	14.83	1191	12	26	57.0	+12 46 18	E	17.51
942	12	24	16.2	+12 40 30	E	19.89	1212	12	27	07.2	+11 54 24	E	16.78
950	12	24	21.6	+11 50 18	Irr	15.08	1213	12	27	07.2	+12 49 24	E	16.42
951	12	24	22.2	+11 56 42	E	14.32	1216	12	27	09.6	+12 19 12	E	18.18
959	12	24	25.8	+12 41 54	E	19.61	1239	12	27	21.0	+12 14 18	E	17.87
962	12	24	27.6	+12 46 36	E	17.59	1250	12	27	26.7	+12 37 27	E	13.00
965	12	24	31.2	+12 50 06	E	15.36	1259	12	27	34.8	+12 39 06	E	18.32
977	12	24	39.0	+12 18 54	E	17.96	1264	12	27	39.6	+12 28 12	E	17.02
978	12	24	39.0	+12 23 24	E	18.18	1271	12	27	43.8	+12 47 42	E	19.52
997	12	24	50.4	+12 20 36	E	17.79	1277	12	27	46.2	+12 19 06	E	19.10
998	12	24	51.0	+12 36 12	E	18.12	1278	12	27	46.2	+12 31 06	E	18.38
999	12	24	51.6	+12 24 24	E	19.81	1279	12	27	45.5	+12 36 18	E	12.21
1008	12	24	54.6	+12 13 06	E		1282	12	27	46.8	+12 49 54	E	19.81
1010	12	24	54.6	+12 34 03	E SO	13.78	1297	12	28	00.2	+12 46 01	E C	14.36
1014	12	24	57.6	+12 31 42	E	18.42	1300	12	28	03.0	+12 44 00	E	19.38
1015	12	24	57.6	+12 32 36	E	19.92	1313	12	28	17.4	+12 19 18		17.07
1020	12	25	00.0	+11 53 30	E	17.05	1316	12	28	17.8	+12 39 58	E	9.43
1022	12	25	00.6	+11 48 42	E		1327	12	28	25.9	+12 32 45	E C	13.26
1035	12	25	10.2	+12 21 54	E	16.03	1331	12	28	28.2	+11 59 00	E	17.05
1036	12	25	09.6	+12 35 35	SO-a	13.93	1335	12	28	31.8	+12 21 18	E	19.92
1037	12	25	10.2	+12 45 54	E	19.73	1336	12	28	32.4	+12 06 42	E	17.05
1041	12	25	13.8	+12 01 12		19.71	1348	12	28	44.4	+12 36 30	E	15.75
1046	12	25	17.4	+12 46 24	E		1352	12	28	48.0	+12 53 12	E	17.09
1047	12	25	21.2	+12 34 10	SBab R	12.70	1366	12	28	59.4	+11 52 18	E	17.67
1051	12	25	22.8	+12 52 48	E	19.92	1368	12	29	00.9	+11 54 10	SO-a	13.22
1052	12	25	23.4	+12 38 42	E	15.72	1369	12	29	01.2	+12 20 24	E	17.02
1059	12	25	28.8	+12 13 24	E	18.07	1381	12	29	12.0	+12 53 18	E	19.10
1063	12	25	32.4	+11 53 00	E		1389	12	29	19.8	+12 45 30	E	15.80
1068	12	25	34.2	+12 21 18	E	15.97	1392	12	29	22.8	+12 27 00	SBc	14.86
1073	12	25	36.6	+12 22 11	E	14.16	1396	12	29	24.0	+12 14 54	E	17.02
1083	12	25	40.8	+12 14 48	E	19.15	1399	12	29	27.6	+12 53 42	E	16.60
1087	12	25	43.0	+12 03 58	E	14.33	1407	12	29	30.6	+12 09 54	E	15.12
1093	12	25	47.4	+11 58 36	E	16.72	1411	12	29	33.0	+12 05 36		15.74
1100	12	25	52.2	+11 51 18	E	18.18	1413	12	29	34.8	+12 42 36	E	17.62
1103	12	25	54.6	+12 37 24	E		1416	12	29	36.6	+12 49 42		19.20
1111	12	25	58.8	+12 13 18	E	17.77	1418	12	29	39.0	+12 47 00	E	17.22
1115	12	26	01.2	+12 01 12	E	17.76	1420	12	29	40.2	+12 20 18	E	16.35
1123	12	26	10.8	+12 49 24	E	16.84	1426	12	29	51.0	+12 10 12	Irr	15.57
1125	12	26	11.3	+12 01 56	SO-a	12.94	1429	12	29	52.2	+12 03 48	Sc	15.33

Galaxias catalogadas en el campo C3											
VCC	A.R. (1950) DEC.			Tipo	BT	VCC	A.R. (1950) DEC.			Tipo	BT
1139	12 26	19.8	+12 13 54			1297	12 28	00.2	+12 46 01	E C	14.36
1143	12 26	23.4	+12 58 54	E	18.80	1298	12 28	01.8	+13 10 36	E	18.01
1147	12 26	26.4	+12 13 54	E		1300	12 28	03.0	+12 44 00	E	19.38
1148	12 26	26.4	+12 56 12	E	15.87	1313	12 28	17.4	+12 19 18		17.07
1149	12 26	26.4	+13 10 54	E	17.48	1316	12 28	17.8	+12 39 58	E	9.43
1153	12 26	27.6	+12 55 24	E	17.73	1317	12 28	18.6	+13 00 36	E	17.99
1157	12 26	30.6	+12 42 42	E	19.61	1327	12 28	25.9	+12 32 45	E C	13.26
1161	12 26	33.6	+12 18 18	E	19.13	1335	12 28	31.8	+12 21 18	E	19.92
1162	12 26	33.6	+12 25 54	E	19.92	1348	12 28	44.4	+12 36 30	E	15.75
1177	12 26	47.4	+12 39 12	E	18.79	1352	12 28	48.0	+12 53 12	E	17.09
1185	12 26	51.6	+12 43 36	E	15.47	1353	12 28	48.0	+13 00 48	E	16.49
1191	12 26	57.0	+12 46 18	E	17.51	1369	12 29	01.2	+12 20 24	E	17.02
1213	12 27	07.2	+12 49 24	E	16.42	1381	12 29	12.0	+12 53 18	E	19.10
1216	12 27	09.6	+12 19 12	E	18.18	1386	12 29	19.5	+12 56 00	SO-a	14.65
1219	12 27	12.0	+13 04 48	E	18.08	1392	12 29	22.8	+12 27 00	SBc	14.86
1239	12 27	21.0	+12 14 18	E	17.87	1396	12 29	24.0	+12 14 54	E	17.02
1250	12 27	26.7	+12 37 27	E	13.00	1399	12 29	27.6	+12 53 42	E	16.60
1259	12 27	34.8	+12 39 06	E	18.32	1413	12 29	34.8	+12 42 36	E	17.62
1264	12 27	39.6	+12 28 12	E	17.02	1414	12 29	36.0	+13 07 00	E	17.05
1271	12 27	43.8	+12 47 42	E	19.52	1416	12 29	36.6	+12 49 42		19.20
1277	12 27	46.2	+12 19 06	E	19.10	1418	12 29	39.0	+12 47 00	E	17.22
1278	12 27	46.2	+12 31 06	E	18.38	1420	12 29	40.2	+12 20 18	E	16.35
1279	12 27	45.5	+12 36 18	E	12.21	1426	12 29	51.0	+12 10 12	Irr	15.57
1282	12 27	46.8	+12 49 54	E	19.81	1438	12 30	01.8	+12 55 30	E	17.83
1286	12 27	52.2	+13 04 00	E	18.94	1448	12 30	09.5	+13 02 54	SO-a	14.01