

Curso 2011/12
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS/21
I.S.B.N.: 978-84-15910-17-6

ERNESTO ROBERTO RODRÍGUEZ FLORES

**Estudio de nuevas estrellas simbióticas
en el plano de la Vía Láctea**

Directores

**ROMANO LUIGI MARIA CORRADI
ANTONIO MAMPASO RECIO**



SOPORTES AUDIOVISUALES E INFORMÁTICOS
Serie Tesis Doctorales

© Ernesto Roberto Rodríguez Flores 2012
Tesis dirigida por los doctores Romano Luigi Maria Corradi y Antonio Mampaso Recio
Parte del material de esta tesis ha sido publicado en la revista *Astronomy & Astrophysics*

A mi padre y a mi pequeña Liz
que no vivieron lo suficiente
para acompañarme en
este tramo del camino

Había una vez...

Estas pudieran ser las primeras palabras de una pequeña historia que se inicia con una carta que mi buen compañero de trabajo Ramón Rodríguez envió a Antonio Mampaso, pidiéndole ayuda para mi formación. Mampaso, imbuido en su espíritu progresista y sin tener idea de lo que le esperaba, aceptó el reto y embarcó, de paso, a Romano Corradi en esto. A partir de entonces el camino recorrido ha estado lleno de rosas... ¡con unas espinas de medio metro! Es por ello que mis primeras palabras de agradecimiento son para ellos, con los que estaré en deuda de por vida, no sólo por la oportunidad dada, sus enseñanzas, apoyo y sobre todo la paciencia sino también por no desistir a pesar de los inconvenientes y dificultades.

Mi gratitud a Ramón Rodríguez por su mediación en los momentos más críticos del trabajo en Cuba y a mi compadre Ángel Bongiovanni por estar cuando más lo necesitaba. A ambos, por su inestimable ayuda en varias partes de este trabajo. También a mi maestro Jorge Pérez Doval quien me inició en la investigación y a Lourdes Palacio por su confianza, apoyo y estima.

Mi agradecimiento al IAC y a su director Francisco Sánchez, en particular, por darme la oportunidad de realizar los estudios de doctorado en Canarias poniendo a mi disposición los recursos necesarios para ello, y en general, por apoyar el desarrollo de la astronomía en países con recursos limitados para estos fines. A Ramón García López y Jordi Cepa por hacer posible lo increíble, gracias a sus oportunas intervenciones en el "problema Ernesto". También al proyecto IPHAS y a su I.P. Janet Drew por la posibilidad de participar en este *survey*, sin el cual esta tesis sería irrealizable. En especial a Robert Greimel por los datos aportados para el trabajo y en general a todos los integrantes de la colaboración IPHAS con los que al menos compartí una observación.

Del lado de acá del charco han sido muchos los amigos y compañeros de clase que, además de soportarme y compartir abnegadas jornadas en los bares de La Laguna, han sido de gran ayuda para mi: Ricardo, Mirjana, el gran JuanLu[†], Joaquín,

[†] que lamentablemente ya no está físicamente entre nosotros.

Santiago, Kerttu y Miguel, por sólo citar los más constantes. A la gente del CAU y asociados (redes, etc.) por sus imprescindibles "cabos" en el asunto informático. También mi agradecimiento a Adrián por su generosidad en momentos críticos. Del lado de allá del charco a Efrén, Norma, Alexander, Betty y en general a mis amigos y compañeros de trabajo por su ayuda, apoyo incondicional y constante preocupación.

Estos últimos años han sido muy difíciles para mí en lo personal, sin embargo, muchos amigos me han arropado como verdadera familia. Y aunque el cariño no se agradece, se corresponde, quisiera mencionarlos por lo que han significado en lo espiritual mi gente de Bauta (Eudrys, Ada, Leanne y sus dos fieras), Hilda, Pedro, Jesús, Mercedes, las Noelias y Siomel.

Desde la isla bonita, donde he pasado estos meses de dulce cautiverio, mi gratitud a Juan Carlos Pérez y a la gente del CALP. También lleve mi agradecimiento a los profesores de los que recibí clases, al personal de administración, enseñanza, investigación, biblioteca, recepción y demás de la sede central del IAC, así como también al personal del ING.

Por último, y no por ello menos importante, mi agradecimiento al revisor interno de esta tesis Pablo Rodríguez por el minucioso trabajo realizado. Sin dudas, sus sugerencias y observaciones mejoraron esta memoria.

Quizás estas dos páginas de agradecimiento parezcan mucho pero seguro que alguien se me olvida involuntariamente (pido disculpas por adelantado). Esto no es de extrañar por el tiempo que ha durado este doctorado, realizado entre dos hermosos archipiélagos y la mayor parte del tiempo por correspondencia, que ha costado hasta amores y desamores, pero que sin la ayuda de estas personas e instituciones que menciono no habría sido realidad.

Ernesto Rodríguez

La Palma, 29 de marzo de 2012



Resumen

Las estrellas simbióticas juegan un papel fundamental en la comprensión de las últimas etapas evolutivas de los sistemas binarios aportando información clave sobre una variedad de procesos físicos tales como la pérdida, transferencia y acreción de masa, y los estallidos termonucleares en estrellas compactas. Las estrellas simbióticas son probables progenitores de las supernovas de tipo Ia, objetos clave, a su vez, para determinar distancias extragalácticas y parámetros cosmológicos básicos, y que han llevado a descubrimientos tan importantes como el de la energía oscura. Sin embargo, aún se desconocen aspectos fundamentales de las estrellas simbióticas como su población total en la Galaxia. Las ~200 simbióticas conocidas son el resultado de descubrimientos ocasionales y exploraciones en regiones dispersas del cielo sin que haya habido, hasta el presente trabajo, programas de búsqueda sistemática, lo suficientemente profunda y cubriendo una amplia región del cielo.

En esta tesis se presenta un método novedoso para descubrir estrellas simbióticas que combina fotometría estelar de banda ancha y banda estrecha en $H\alpha$, una línea donde las simbióticas presentan emisión muy intensa. Nuestra investigación utilizó la base de datos del cartografiado *IPHAS* (*INT Photometric H α Survey of the Northern Galactic Plane*), llevado a cabo desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Hemos desarrollado las herramientas esenciales para interpretar los diagramas color-color (DCC) de *IPHAS* y *2MASS* de modo que puedan separarse eficientemente las diferentes clases de estrellas con emisión en $H\alpha$.

La aplicación de nuestro método de búsqueda ha procedido en dos etapas. En la primera, identificamos 1185 candidatos a estrellas simbióticas entre los 4853 objetos con emisión en $H\alpha$ seleccionados por Witham et al. (2008) en la primera base de datos *IPHAS* publicada. El seguimiento espectroscópico de una muestra aleatoria de 170 de esos candidatos nos permitió descubrir catorce nuevas estrellas simbióticas (duplicando la población conocida en el área de búsqueda), además de un centenar de objetos jóvenes, tres estrellas Wolf-Rayet, tres objetos que manifiestan el fenómeno B[e] y cuatro estrellas dMe. El estudio individual de los sistemas

simbióticos descubiertos nos permitió determinar sus propiedades físicas básicas e identificar casos peculiares muy interesantes, como una simbiótica de tipo S en plena fase eruptiva o una simbiótica de tipo D que contiene una Mira de carbono, el tercer caso conocido en la Galaxia.

En la segunda etapa de búsqueda, hemos producido un nuevo catálogo de candidatos a estrellas simbióticas que abarca toda el área cartografiada por *IPHAS* y usa la nueva calibración global del sistema. Partiendo de una lista de 820000 detecciones fotométricas, hemos identificado 5061 candidatos a sistemas simbióticos. Además, hemos refinado nuestro método de búsqueda de modo que permita calcular la probabilidad de encontrar estrellas simbióticas en función de sus colores *IPHAS* y *2MASS*. Estimamos que habrá alrededor de cien estrellas simbióticas nuevas entre estos candidatos, lo que multiplicaría por diez la población conocida en la región investigada.

Este trabajo constituye el primer paso significativo para determinar empíricamente la población global de simbióticas de la Galaxia usando un área de búsqueda razonablemente amplia. En el futuro inmediato nos planteamos su continuidad aprovechando los nuevos programas observacionales ya en marcha (*VPHAS+*) y la experiencia adquirida durante el desarrollo de esta tesis.

Abstract

Symbiotic stars play a fundamental role to understand the final evolutionary stages of binary systems. They provide information on a number of physical processes such as mass loss, transfer and accretion, or thermonuclear runaways in compact stars. Symbiotic stars are recognized as good candidates to be the progenitors of supernovae of type Ia, which in turn are key objects to determine extragalactic distances and basic cosmological parameters and which led to important discoveries such as that of dark energy. However, fundamental figures such as the total population of symbiotic stars in our Galaxy are basically unknown. The ~ 200 symbiotic stars known to date are in fact the result of occasional discoveries, and a systematic and deep search in a wide region of the sky was lacking before the present work.

This thesis presents a new photometric method to discover symbiotic stars. The technique combines broad-band and narrow-band photometry in the H α line, an emission feature that is particularly strong in this class of objects. Our work takes advantage of the photometric database of IPHAS, the INT Photometric H α Survey of the Northern Galactic Plane, which was carried out at the Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). We have developed the main tools to interpret the IPHAS and 2MASS colour-colour diagrams, and to distinguish the different classes of H α emitting stars.

The work consisted of two steps. First, we have identified 1185 symbiotic star candidates in the list of 4853 H α emitters from Witham et al. (2008) drawn from the first release of the IPHAS photometric database. The spectroscopic follow-up of an unbiased sample of 170 of these candidates allowed us to discover fourteen new symbiotic stars, more than doubling the number of objects known in the area of the sky surveyed by IPHAS. We also discovered a hundred young stellar objects, three Wolf-Rayet stars, three stars showing the B[e] phenomenon, and four active M dwarf stars. The individual study of the new symbiotic stars allowed us to determine their basic physical properties, revealing some peculiar, interesting cases such as an

S-type system discovered during an outburst, or a D-type symbiotic with a carbon Mira, only the third one known in the Galaxy.

In the second step of our work, we have produced a new catalogue of symbiotic stars candidates in the whole area explored by IPHAS, using the global photometric calibration of the survey. Starting from a list of 820000 photometric detections by the survey, we have identified 5061 symbiotic stars candidates. With the results from the spectroscopic observations, we have refined our searching criteria and estimated the success rate of the detection of symbiotic stars as a function of the position in the IPHAS and 2MASS colour-colour diagrams. With this, we predict that about a hundred new systems are present in the IPHAS survey area, which would increase by an order of magnitude the symbiotic stars population in this region of the sky.

This work is the first significant step toward a reliable empirical determination of the total population of symbiotic stars in the Galaxy. We will continue working in this direction by applying the experience and tools developed in this thesis to the new observational campaigns that have recently started, such as VPHAS+ in the Southern hemisphere.

Índice

1 Estrellas simbióticas	1
1.1 Definición observacional	2
1.2 Rasgos característicos de su espectro	9
1.3 Propiedades fotométricas	12
1.3.1 Rayos X.....	12
1.3.2 Ultravioleta	13
1.3.3 Visible.....	14
1.3.4 Infrarrojo	16
1.3.5 Radio	21
1.4 Variabilidad	22
1.4.1 Las estrellas simbióticas como progenitoras de las supernovas tipo Ia ...	24
1.5 Elementos orbitales.....	25
1.6 Población estimada en la Galaxia	28
1.7 Objetivos del trabajo	31
2 Clasificación fotométrica de las estrellas simbióticas	33
2.1 Proyecto IPHAS	33
2.1.1 Reducción de las imágenes	37
2.2 Catálogo fotométrico de 2MASS.....	40
2.3 Muestras de referencia de objetos conocidos.....	42
2.3.1 Estrellas simbióticas	42
2.3.2 Otras clases de objeto.....	46
2.4 Interpretación de los DCCs de IPHAS y 2MASS	47
2.4.1 DCC ($r'-H\alpha$) vs. ($r'-i'$) de IPHAS.....	47
2.4.2 DCC (J-H) vs. (H-Ks) de 2MASS.....	51
2.4.3 Estrellas Be clásicas.....	53
2.4.4 Estrellas T Tauri	55
2.5 Criterio para la selección de candidatos a sistema simbiótico galáctico	57
2.5.1 DCCs de IPHAS y 2MASS	57
2.5.2 Otras herramientas del criterio de selección	62
3 Clasificación espectroscópica de candidatos a sistema simbiótico	63
3.1 Candidatos a estrella simbiótica en la Galaxia.....	63
3.2 Observaciones espectroscópicas y su reducción	66
3.2.1 Observaciones con Tillinghast/FAST.....	68
3.3 Clasificación de los candidatos a estrella simbiótica observados	69
3.3.1 Objetos estelares jóvenes y estrellas Be clásicas	69
3.3.2 Estrellas B[e]	73
3.3.3 Estrellas Wolf-Rayet.....	74
3.3.4 Fuente rica en helio rodeada por una gran nebulosa	76
3.3.5 Estrellas dMe.....	78
3.3.6 Candidatos clasificados por otros autores.....	79

3.4 Propiedades básicas de la muestra de objetos clasificados	81
4 Nuevas estrellas simbióticas galácticas	89
4.1 Características del espectro.....	89
4.1.1 Observaciones.....	89
4.1.2 Rasgos espectrales más notables.....	92
4.1.3 Rasgos espectrales de la gigante roja.....	113
4.1.4 Modelización de la gigante roja de los sistemas y estimación de la distancia	114
4.1.5 Candidatos sospechosos de poseer naturaleza simbiótica	119
4.1.6 Diagrama de diagnóstico I([OIII] λ 4363)/I(H γ) vs. I([OIII] λ 5007)/I(H β)	119
4.2 Características fotométricas.....	120
4.2.1 DCCs de IPHAS y 2MASS	121
4.3 Ubicación en la Galaxia	123
5 Número total de estrellas simbióticas en IPHAS	125
5.1 Refinado del criterio de selección	126
5.1.1 División de las cajas de simbióticas en los DCCs de IPHAS y 2MASS..	127
5.2 Porcentaje de simbióticas por combinación de subcajas	132
5.3 Lista ampliada de candidatos a estrella simbiótica	134
5.4 Número de estrellas simbióticas esperadas en IPHAS.....	141
5.5 Número total de simbióticas en la Galaxia	146
6 Conclusiones y Prospectivas	151
6.1 Conclusiones	151
6.2 Prospectivas	153
6.3 Prospectivas en la región de procedencia del doctorando.....	156
Bibliografía.....	159
Anexos.....	167
A - Primera lista de candidatos a estrella simbiótica.....	169
B - Espectro de los candidatos observados	197
C - Principales características espectrales de los candidatos observados	229
D - Candidatos a estrella simbiótica en S2/S2	235
E - Candidatos a estrella simbiótica en D/D2.....	239
F - Candidatos a estrella simbiótica en S2/D2	241

1

Estrellas simbióticas

El fenómeno de “simbiosis” estelar se manifiesta en fases avanzadas de la evolución de sistemas binarios con períodos orbitales comprendidos entre cientos de días y cientos de años. En particular, aparece cuando una de las dos estrellas pasa por la fase de gigante roja (*RGB* o *AGB*) y produce un viento lo suficientemente masivo como para que la compañera pueda capturar parte de él, a través de un disco de acreción, y procesarlo en su superficie a través de reacciones termonucleares. En la mayoría de los casos, la compañera es también una estrella evolucionada, generalmente una enana blanca de gran luminosidad y temperatura cuya radiación es capaz de ionizar una fracción sustancial del viento de la gigante. La presencia simultánea en el mismo sistema de una enana blanca muy caliente, una gigante fría, y una nebulosa parcialmente o completamente ionizada, produce el espectro “simbiótico” característico de estas binarias.

Los sistemas simbióticos son laboratorios privilegiados donde estudiar los procesos físicos relevantes para otros temas astrofísicos, tales como el origen de las fuentes de rayos X *supersoft* (Jordan et al. 1996), la generación de estallidos termonucleares bajo un amplio rango de condiciones (Munari 1997), la formación y destrucción de granos de polvo en ambientes hostiles (Whitelock 1987) y la capacidad de las enanas blancas para acumular masa en tasas elevadas (10^{-8} a 10^{-7} M_{\odot} /año) y retenerla. Esto último hace que las simbióticas sean consideradas buenas candidatas a supernovas de Tipo Ia junto con otros objetos binarios como *mergers* de enanas blancas y binarias compactas *supersoft* (Munari y Renzini 1992, Hachisu et al. 1999). Algunas estrellas simbióticas presentan nebulosas de emisión muy extensas, generalmente bipolares y muy similares a las nebulosas planetarias, por lo que resultan ser clave también en el estudio general de la

formación de las nebulosas planetarias bipolares y su relación con los sistemas binarios (Corradi 2003).

Sin embargo, una carencia muy importante en el estudio de las estrellas simbióticas es nuestro desconocimiento acerca de su número total en la Galaxia. En efecto, hay tan sólo 173 sistemas conocidos en la Vía Láctea (Belczynski et al. 2000), fruto de un siglo de descubrimientos ocasionales al estudiar estrellas variables y de exploraciones en regiones dispersas del cielo utilizando instrumentos dotados de prismas objetivos. Como veremos más adelante, la comparación entre la población observada y la esperada arroja una diferencia de entre dos y tres órdenes de magnitud, lo que representa el principal problema con que se enfrenta hoy la investigación de los sistemas simbióticos.

1.1 Definición observacional

En la actualidad, se define un sistema binario en fase de simbiosis estelar como el formado por una estrella gigante, casi siempre de tipo espectral M, transfiriendo material vía viento estelar a una compañera mucho más caliente (componente secundaria), generalmente una enana blanca. Sólo un pequeño porcentaje de este material (1%) es capturado por el objeto compacto, acumulándose en su superficie (acreción Bondi – Hoyle – Littleton, BHL). El resto se esparce lentamente para formar finalmente una nebulosa que rodea todo el sistema. Parte del material expulsado por la gigante fría es ionizado por la energía radiante proveniente de la componente caliente (figura 1.1).

Existen casos en que la enana blanca es reemplazada por una estrella de neutrones. Para esta componente del par se ha propuesto también la posibilidad de que pudiera ser una estrella de masa pequeña de la secuencia principal, en particular en los sistemas Z And, CI Cyg, YY Her, AR Pav, CL Sco (Kenyon y Webbink 1984) y AX Per (Mürset et al. 1991). Sin embargo, es un asunto aún en discusión pues no está claro que una estrella de este tipo pueda producir la suficiente radiación ionizante como para generar las líneas de emisión de elevada excitación características del espectro simbiótico (ver Mürset y Schmid 1999).

En algunos casos, si la separación orbital es suficientemente pequeña y la gigante llena su lóbulo de Roche, la transferencia de material a la compañera compacta puede ocurrir a

través del punto interno de Lagrange (L1). Este mecanismo clásico, conocido como *RLOF* (*Roche-lobe overflow*), ha sido propuesto para varios sistemas (Mikolajewska 2007) que muestran variaciones elipsoidales en su curva de luz en el rojo o infrarrojo cercano (IRC), propias de estrellas deformadas por fuerzas de marea (ver apartado 1.5).

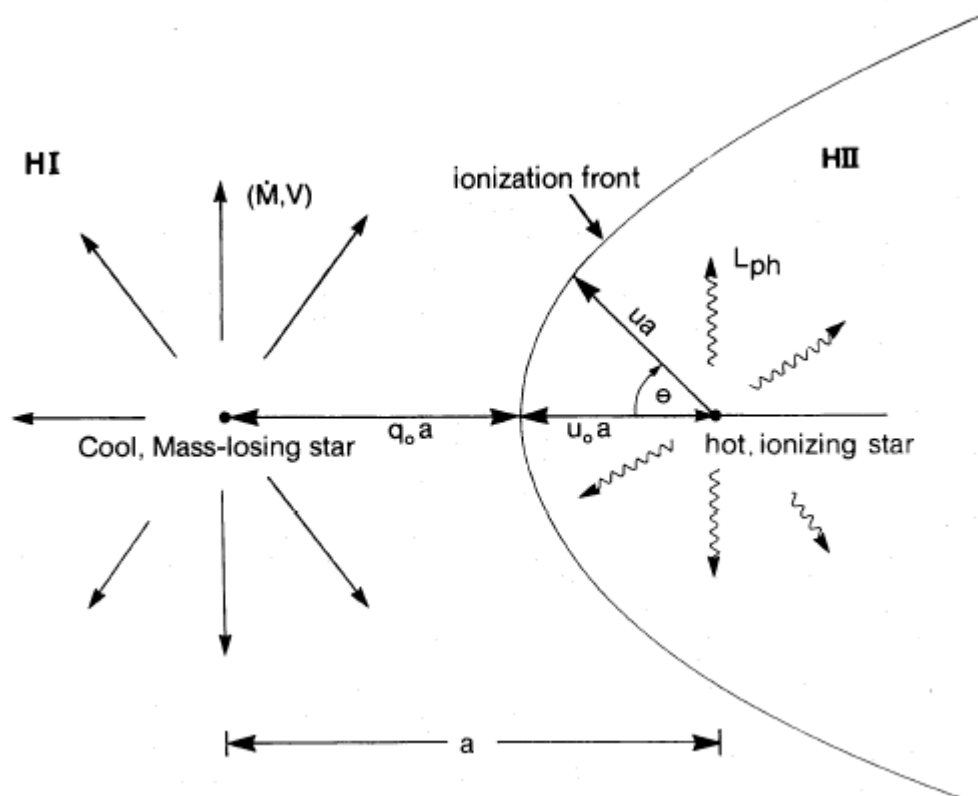


Figura 1.1 - Esquema de un sistema binario en fase de simbiosis estelar. A la izquierda se representa la componente primaria y fría (donante) mientras que a la derecha aparece la componente secundaria y caliente (receptora). Esta última ioniza una porción del material perdido por la primaria, formándose un frente de ionización que separa el material no ionizado (HI) del ionizado (HII). Tomado de Taylor y Seaquist (1984).

Las observaciones de algunos sistemas donde la gigante fría está en la Rama Asintótica de las Gigantes (*AGB*) como variable de tipo Mira, indican que la transferencia de masa y el fenómeno de simbiosis pueden ocurrir en sistemas con períodos orbitales de hasta varios cientos de años (Karovska et al. 1997, Josselin et al. 2000, Marengo et al. 2001, Karitskaya et al. 2005). Estas estrellas simbióticas con una estrella de tipo Mira presentan nebulosas ionizadas muy extensas, muchas veces de forma bipolar (Corradi 2003).

Recientemente, Mohamed y Podsiadlowski (2007, 2010, 2011), basados en modelos numéricos, han propuesto un nuevo modo de transferencia de masa (que han llamado "vientos-*RLOF*") para explicar la fuerte interacción en sistemas binarios con separaciones tan grandes. Según estos autores, el fenómeno ocurre cuando, a pesar de que la fotosfera de la estrella AGB no llena el lóbulo de Roche, sí lo hace la zona de formación del polvo, donde el viento estelar es acelerado por la presión de radiación. En este caso, el material que expulsa la Mira por pulsación no tiene la suficiente velocidad para escapar del lóbulo de Roche y pasa a través del punto L1 (de manera similar al mecanismo *RLOF*) al objeto compacto. La tasa de acreción por esta vía puede ser cien veces mayor que la esperada por BHL y el material transferido tiende a concentrarse en el plano orbital de la binaria, produciendo flujos ecuatoriales.

El espectro de las estrellas simbióticas presenta rasgos de los tres componentes que las forman: el objeto compacto, la estrella gigante y la nebulosa circunestelar parcialmente ionizada. Esto se traduce en una mezcla de rasgos de absorción provenientes de la fotosfera de la gigante y líneas de emisión pertenecientes a iones excitados en la nebulosa por la radiación del objeto compacto. Esas características combinadas fueron las que llevaron a Paul Willard Merrill a denominarlos sistemas "simbióticos" en un trabajo sobre BF Cyg que presentó en la *American Astronomical Society* en 1941 (describió su espectro como una "combinación de espectros"; Sahade 1982).

En base a sus colores en el IRC, las estrellas simbióticas se dividen en dos grupos, S y D (figura 1.2). Los sistemas de tipo S (*stellar*) son los más frecuentes (~80%) y contienen una estrella de la Rama de las Gigantes Rojas (*RGB*). Sus colores en el IRC muestran la presencia de una atmósfera estelar con una temperatura efectiva (T_{eff}) de ~3000-4000 K.

Por su parte, las estrellas simbióticas de tipo D (*dusty*) totalizan el 20% restante y contienen como componente fría una estrella AGB, por lo general una variable pulsante de tipo Mira. Sus colores en el IRC se explican como la combinación de la estrella Mira enrojecida y una capa de polvo caliente, algo típico de las envolturas de este tipo de estrellas (apartado 1.3). Los sistemas de tipo D se conocen también como "estrellas simbióticas de tipo Mira".

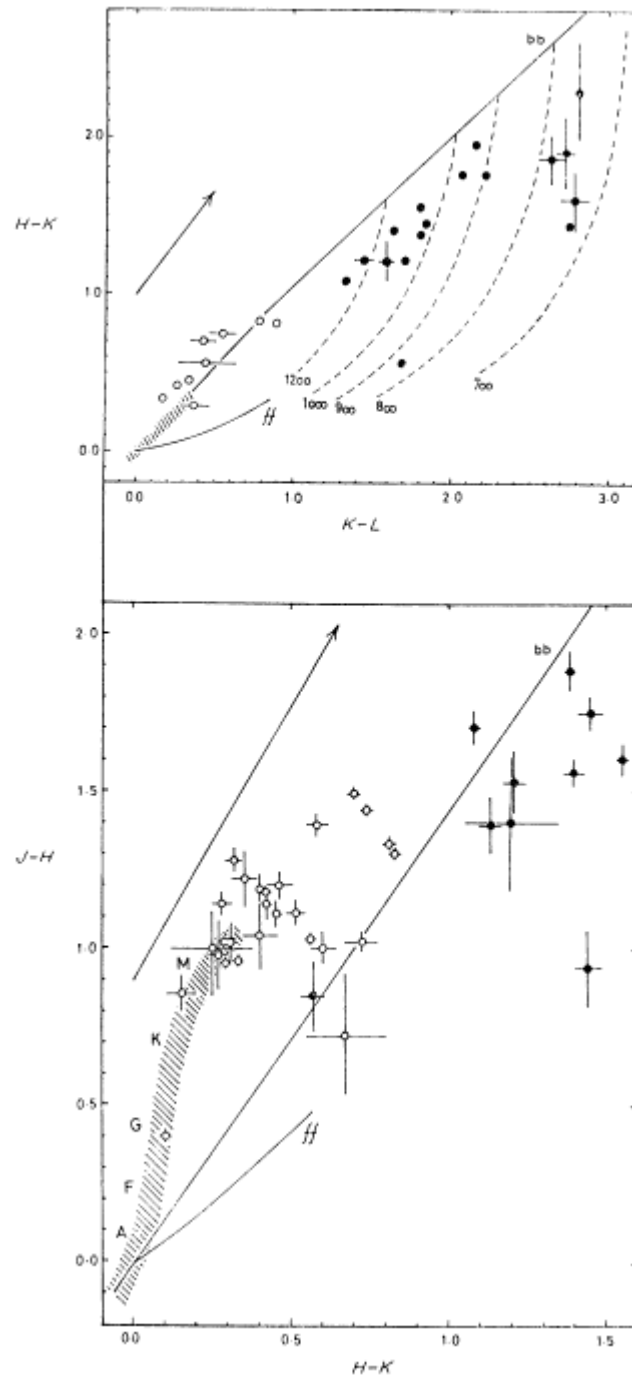


Figura 1.2 - Diagramas color - color ($H-K$) vs. ($K-L$) (gráfico superior) y ($J - H$) vs. ($H - K$) (gráfico inferior), donde se evidenció la dicotomía en las propiedades fotométricas en el IRC de las estrellas simbióticas. Esto confirmó la existencia de dos grupos, S (círculos blancos) y D (círculos negros), con características generales diferentes. Además aparece representada la emisión del cuerpo negro a diferentes temperaturas (bb), las estrellas calientes con emisión libre - libre (ff) y la zona de las gigantes (RGB, sombreadas). Tomado de Allen y Glass (1974).

Dentro de estos dos grupos existen algunos sistemas donde la estrella evolucionada es de tipo espectral más temprano (G o K). En la actualidad, esos sistemas, que inicialmente eran casos aislados, constituyen subgrupos (ver el último catálogo de simbióticas de Belczynski et al. 2000). En particular, dentro de las simbióticas de tipo S se distingue el subgrupo de las "simbióticas amarillas", constituido por los sistemas UKS Ce-1 (C4.5), S32 (C1.1), Hen 2-467 (K0), BD -21 3873 (K2), AG Dra (K2) y CD -43 14304 (K7). Por su parte, el grupo de las simbióticas Miras (o de tipo D) tiene el subgrupo D' formado por las binarias V417 Cen (G8-K2), Cn 1-1 (G5), AS 201 (G5), V471 Per (G5), St Ha190 (G5), Wray 157 (G5) y Hen 1591 (<K4). El tipo espectral de los sistemas enumerados (que hemos acompañado al nombre, encerrándolo entre paréntesis) está tomado de Jorissen et al. (2005). En esta tesis adoptaremos este esquema de clasificación por ser el más aceptado.

Sin embargo, existen otras formas de clasificación. Destacamos el sistema de Munari (1994), de uso frecuente por varios autores, donde las estrellas simbióticas se separan en cuatro subclases: clásicas (ESC), Miras, amarillas y de carbono. La primera subclase (ESC) tiene como estrella evolucionada una no pulsante de tipo espectral M (con algunos miembros de tipo K tardío) y contiene el 70% de todos los sistemas simbióticos conocidos. Las simbióticas ESC son las que Munari y Renzini (1992) proponen como principales progenitores de las supernovas de tipo Ia. Se ha propuesto también (Whitelock y Munari 1992) que los miembros de esta subclase pertenecen a la población del bulbo/disco grueso de la Galaxia.

El 20% del total de simbióticas conocidas corresponden a la segunda subclase de Munari (Miras simbióticas), cuya componente evolucionada es una estrella variable de largo período de tipo Mira (por lo general de tipo espectral M). Las Miras simbióticas forman parte de una población galáctica más joven que las ESC. Las estrellas simbióticas amarillas (tercera subclase; 5% del total) tienen como componente fría una gigante o una supergigante de tipo F o G. Los objetos de esta subclase se encuentran en el halo galáctico. Finalmente, las simbióticas de carbono poseen una gigante de carbono como estrella del par, siendo también raras en la Vía Láctea (5% del total). Sin embargo, la mayoría de las estrellas simbióticas extragalácticas conocidas (y la casi totalidad en las Nubes de Magallanes) son de este último grupo, lo que refleja la abundancia de estrellas de carbono (en general, no sólo simbióticas) en estas dos galaxias, debido a que las bajas

metallicidades favorecen el enriquecimiento superficial de este elemento en estrellas *AGB* (Iben y Renzini 1983).

La estrella gigante evolucionada es indispensable para la existencia de una simbiótica, ya que es quien proporciona el material que será ionizado por la compañera compacta. La presencia de una estrella de un tipo u otro determina la separación orbital del sistema binario. En las simbióticas de tipo S donde se ha logrado determinar el período, el rango de éste es de 200 a 6000 días, lo que implica (según la tercera ley de Kepler) una separación orbital de las componentes entre 1 y 12 Unidades Astronómicas (UA), suficiente para que quepa una estrella *RGB*. Para los sistemas de tipo D, aunque no existen determinaciones precisas (salvo para un caso, R Aqr; Gromadzki y Mikolajewska 2009), los períodos deben ser mayores de unos 20 años. Estas cuestiones se tratarán con más detalle en la sección 1.5.

En la actualidad se han podido resolver espacialmente las nebulosas de algunos sistemas simbióticos, mayoritariamente de tipo D (Corradi et al. 1999). El tamaño de estas nebulosidades está entre 0.1 y 2 pc, es decir de 10 a 1000 veces la distancia que separa a las componentes del par. Las nebulosas pueden tener diversa morfología: bipolar, anular, elipsoidal, irregular, entre otras. (figura 1.3). Las nebulosas bipolares presentan dos lóbulos simétricos, lo que sugiere la existencia de un poderoso mecanismo de colimación de la materia expulsada (Corradi 2003). En algunos casos, como por ejemplo en Hen 2-104 (el “Cangrejo del Sur”, Corradi et al. 2001), el mismo objeto presenta dos nebulosas similares morfológicamente, con la más pequeña situada dentro de la más grande. No está todavía claro que esto indique el acontecimiento de diferentes episodios de pérdida de masa asociados a explosiones de tipo nova separadas por varios siglos (ver Santander-García et al. 2008).

Estas nebulosas, aunque son muy similares a las nebulosas planetarias (por el hecho de ser los restos de la envoltura de una estrella ionizados por un núcleo caliente), no son, estrictamente hablando, nebulosas planetarias, ya que están formadas por el gas perdido por una variable Mira que se encuentra en una fase previa a la expulsión completa de su envoltura y por ende a la creación de una nebulosa planetaria.

En resumen, la clasificación de las estrellas simbióticas en dos grupos principales refleja también diferencias notables en sus períodos orbitales, tasas de pérdida de masa,

densidad de las nebulosas circunestelares, etc. Esta variedad en sus características hace que las estrellas simbióticas sean objetos clave para investigar varios aspectos de la evolución estelar en sistemas binarios. Su estudio es relevante para establecer firmes vínculos entre las estrellas simbióticas y otros objetos relacionados: binarias con jet estelares, nebulosas planetarias, novae, fuentes de rayos X *supersoft* y supernovas Ia.

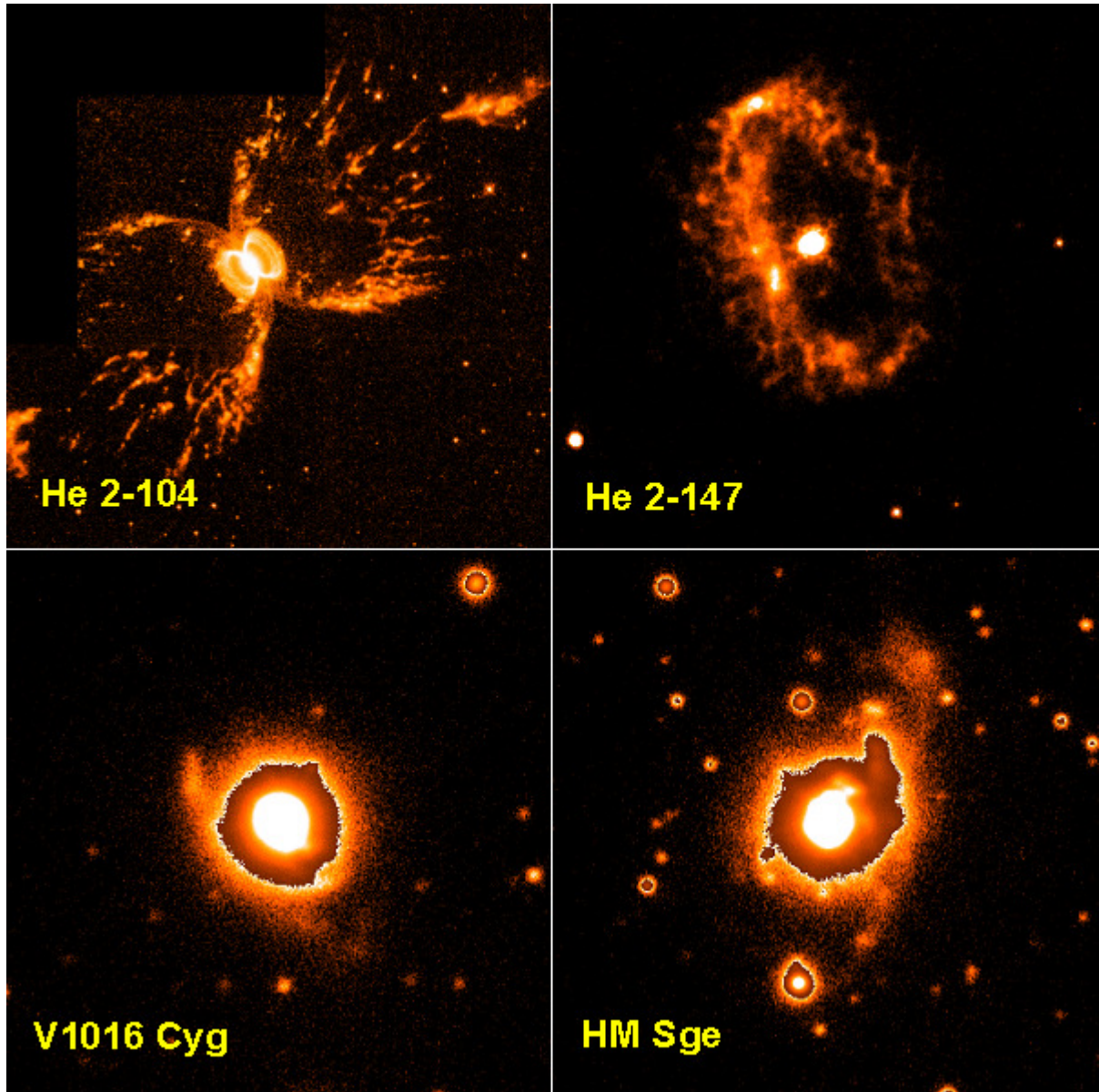


Figura 1.3 - Morfologías más frecuentes en las nebulosas alrededor de simbióticas de tipo D: bipolar (superior izquierda), anular (superior derecha), elíptica (inferior izquierda) e irregular (inferior derecha). Cortesía de R. Corradi.

1.2 Rasgos característicos de su espectro

Tras las primeras observaciones espectrales de las estrellas simbióticas comenzaron las descripciones para establecer sus rasgos característicos. Después de un siglo de estudios, se han publicado varios criterios para identificar la naturaleza simbiótica de un objeto determinado. En esta tesis adoptaremos el criterio de clasificación dado por Allen (1984), que implica la presencia de una estrella gigante de tipo espectral tardío (G-K-M o de carbono) para explicar el continuo rojo e infrarrojo observado, junto con líneas de emisión excitadas por una fuente de al menos 10^5 K. El continuo estelar debe presentar rasgos de una gigante fría (básicamente bandas de absorción de TiO, H₂O, CO, CN, VO, entre otras, y líneas de absorción de CaI, CaII, FeI y NaI) y los niveles de ionización tienen que ser suficientemente altos para producir al menos líneas de emisión de HeII (potencial de ionización superior a 54.4 eV) (figura 1.4). Además, en el espectro ultravioleta de estos objetos predominarán las líneas de emisión de HI, HeII, CIII, SiIII, CIV, NV.

Este criterio define a un grupo de objetos que se caracterizan físicamente por presentar condiciones estables de “quemado” de hidrógeno en la superficie de una enana blanca que acumula materia tras ser expulsada por la compañera fría. Estos objetos fueron propuestos teóricamente por Tutukov y Yungelson (1976) y Paczynski y Rudak (1980) y confirmados observacionalmente por Munari y Buson (1994) y Sokoloski (2003). Sin embargo, hay casos en los que no se observan los rasgos de la gigante fría o líneas de excitación tan alta como las del HeII, y que según el criterio Allen (1984) no serían clasificados como simbióticas. Belczynski et al. (2000) presenta una actualización del criterio establecido por Kenyon (1986), donde estos casos sí se consideran de naturaleza simbiótica.

En el caso de las simbióticas Miras, no siempre es evidente la presencia de rasgos de la componente fría. Algunos sistemas en particular, como R Aqr, exhiben el espectro característico de una estrella variable de tipo Mira con sus profundas bandas moleculares de absorción de TiO y VO. En el otro extremo, hay objetos como H 1-36 que muestran un espectro visible típico de una nebulosa planetaria de alta densidad sin signos de la estrella tardía (figura 1.5), aunque sí puede detectarse en el rango del IRC.

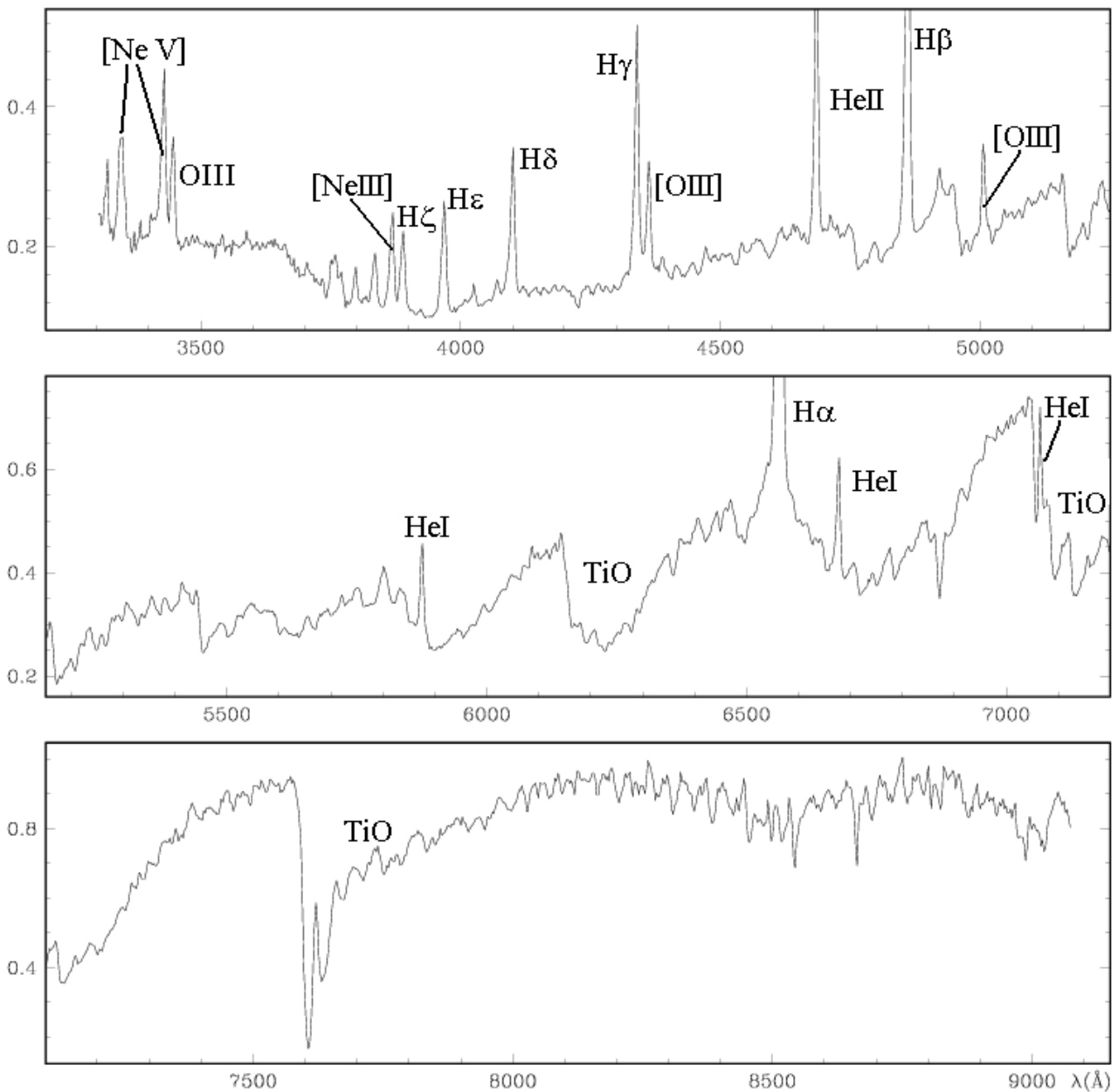


Figura 1.4 - Espectro del sistema simbiótico de tipo S YY Her, tomado de Munari y Zwitter (2002), donde hemos identificado los rasgos más notables.

Esta aparición y desaparición de los rasgos de la estrella gigante del sistema es de esperar en una binaria donde la componente fría presenta variabilidad de gran amplitud con tiempo característico de años a décadas. La diferencia entre los dos extremos descritos puede ser atribuida, en parte, al nivel de actividad asociado a la componente caliente. No obstante, debe depender también del grado de extinción circunestelar experimentado por la Mira (Whitelock 1987).

Existe un rasgo que, aunque no es detectable en todos los casos, se ha observado principalmente en los sistemas simbióticos (Lee et al. 2001 y Lee 2003) y puede utilizarse

como una alternativa para su identificación. Se trata de la emisión por dispersión Raman en 6825 Å y 7082 Å (Schmid 1989). Ese rasgo espectral está presente en los sistemas simbióticos con niveles de ionización tan elevados que logran producir por lo menos líneas de emisión de [NeV] y [FeVII], o sea, con potencial de ionización superior a 100 eV.

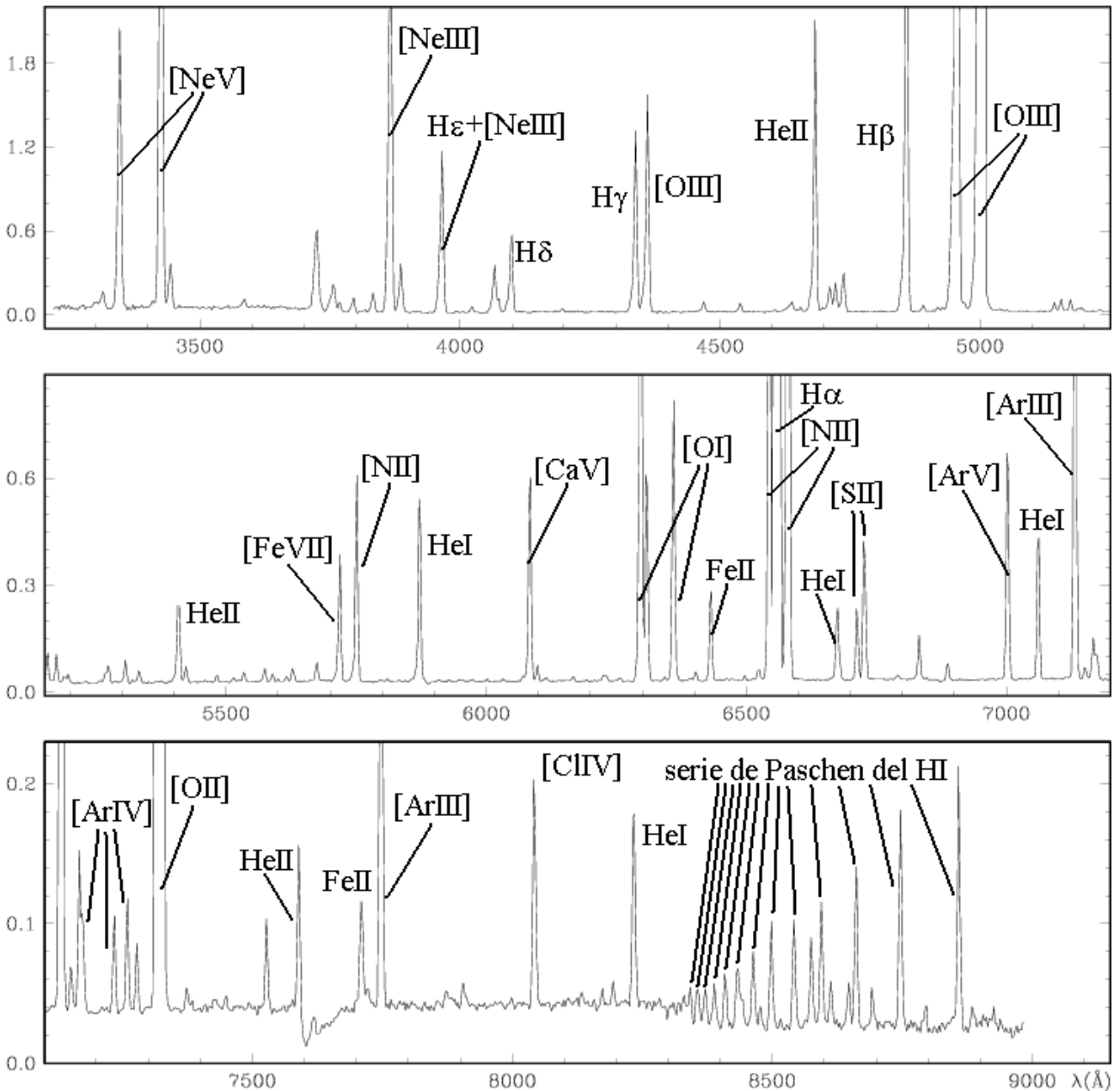


Figura 1.5 - Espectro de la simbiótica de tipo D H 1-36, tomado de Munari y Zwitter (2002).

Los rasgos de emisión en 6825 Å y 7082 Å son el resultado de la dispersión Raman del doblete en resonancia del OVI (1032 Å y 1038 Å) por el hidrógeno neutro. Esta dispersión tiene lugar predominantemente en regiones de alta densidad de hidrógeno neutro (regiones HI) cercanas a la atmósfera de la estrella gigante fría y en el hemisferio enfrente

de la compañera caliente. La presencia y el comportamiento de estas líneas contienen información acerca de las propiedades físicas de los objetos donde se manifiesta la simbiosis estelar, sirviendo como una herramienta adicional para modelizarlos (Schmid 2003).

En observaciones realizadas en la última década se ha detectado dispersión Raman, también por hidrógeno atómico, de fotones de HeII correspondientes a la transición atómica del nivel $n=6$ al $n=2$ en 1025 Å. Se observa en el espectro de algunas estrellas simbióticas y nebulosas planetarias (Lee et al. 2001 y Lee 2003) como un rasgo en emisión en 6545 Å.

1.3 Propiedades fotométricas

Desde el punto de vista observacional, las estrellas simbióticas son objetos muy interesantes por sus propiedades fotométricas, ya que se detectan desde los rayos X hasta las ondas centimétricas. En este apartado se abordará, de forma panorámica y en orden creciente de longitud de onda, las características que consideramos más notables en cada región de su amplio rango espectral de emisión, haciendo especial hincapié en las regiones del espectro más relevantes para este trabajo de tesis (extremo rojo del visible e IRC).

1.3.1 Rayos X

En el último y más completo catálogo general de estrellas simbióticas publicado por Belczynski et al. (2000), se incluyen 167 estrellas simbióticas de las que se han realizado observaciones en rayos X, detectándose emisión en 27 estrellas, es decir, un 16% del total. La mayoría de las observaciones fueron realizadas por la misión *ROSAT* y reportadas por Bickert et al. (1997). Una parte importante de las observaciones restantes se efectuaron por las misiones Einstein (reportadas por Allen 1981), *EXOSAT* y *ASCA*.

Mürset et al. (1997) reportan un porcentaje similar de detecciones, destacando que no encuentran diferencias significativas entre los dos tipos (S y D). Según el espectro en rayos X de las simbióticas (que depende de las propiedades de la componente caliente), estos autores distinguen tres grupos: α (emisión *supersoft* de la atmósfera del objeto

compacto), β (emisión de un plasma ópticamente denso con temperaturas entre $3 \cdot 10^6$ K y $15 \cdot 10^6$ K y luminosidades entre $2 \cdot 10^{-4} L_{\odot}$ y $0.4 L_{\odot}$) y γ (la emisión X más fuerte, proveniente de la acreción sobre una estrella de neutrones). Ellos atribuyen el pequeño porcentaje (16%) de sistemas simbióticos con detección en rayos X a la elevada extinción, típica de las bajas latitudes galácticas donde se encuentran la mayoría de las simbióticas conocidas, pues según calculan, el 60% de las estrellas simbióticas galácticas son lo suficientemente brillantes como para ser detectadas por *ROSAT*.

1.3.2 Ultravioleta

La región del ultravioleta (UV) del espectro aparece dominada por fuertes líneas de emisión provenientes de la nebulosa parcialmente fotoionizada (CIV $\lambda\lambda 1548, 1550$ y HeII $\lambda 1640$), superpuestas sobre el continuo de la fuente caliente (el objeto compacto). Las observaciones en esta región del espectro se deben a la misión *International Ultraviolet Explorer (IUE)* que, de acuerdo con Belczynski et al. (2000), pudo medir el espectro UV de 85 estrellas simbióticas, es decir, la mayoría de los objetos de este tipo conocidos entonces (finales de la década de los setenta).

Es importante destacar que estas observaciones espectroscópicas en el UV permitieron establecer definitivamente la naturaleza binaria de estos sistemas (ver Kenyon y Webbink 1984), cuestión que no es tan evidente pues el continuo UV puede provenir de varios componentes. Estos son (por orden de importancia): el objeto compacto, un disco de acreción, la emisión fotón-fotón, la emisión de la región HII (libre-libre o libre-ligado), y la luz dispersa por el polvo (Penston et al. 1983). Por otro lado, la forma del continuo puede estar afectada por el enrojecimiento circunestelar e interestelar (Whitelock 1987).

El cociente de flujos de algunas líneas de emisión en el UV permite separar a las estrellas simbióticas de otros objetos afines. Feibelman y Aller (1987) utilizaron el diagnóstico $\log R$ (donde R es la razón de los flujos de las líneas CIII $\lambda 1909$ y SiIII $\lambda 1892$, $F(\text{CIII } \lambda 1909) / F(\text{SiIII } \lambda 1892)$), usando datos del *IUE* en una muestra de nebulosas planetarias galácticas y estrellas simbióticas. Estos autores encontraron que las nebulosas planetarias se caracterizan por $\langle \log R \rangle = 1.4$ y que el 80% de ellas están en el rango $1.2 < \log R < 1.8$ (algunas nebulosas bipolares y peculiares tienen $\log R$ por debajo de 1.2). Por su parte, las estrellas simbióticas presentan $\langle \log R \rangle = 0.3$. Este cociente UV proporciona, por tanto, una útil herramienta para discriminar los sistemas simbióticos de otros objetos similares.

1.3.3 Visible

Es en el visible donde el estudio de las propiedades fotométricas de las simbióticas es más frecuente, y son los diagramas color-color (DCCs) las herramientas más usadas, por lo sencillo que resulta su análisis. El visible constituye el rango más fácil de registrar desde Tierra y por ende el más observado. Las principales características de las estrellas simbióticas en las bandas fotométricas UBV son la presencia de intensas líneas de emisión y/o un continuo azul. Esto marca la diferencia entre las simbióticas y las gigantes normales en esta región del espectro.

El color (U-B) está influenciado por una fuerte y muy variable discontinuidad de Balmer, observada en emisión en muchas simbióticas. Las bandas B y V incluyen intensas líneas de emisión nebulares como $\text{HeII } \lambda 4686$, $\text{H}\beta$ y $[\text{OIII}] \lambda\lambda 4959, 5007$, donde la intensidad de las líneas espectrales depende de la abundancia, la temperatura y la densidad de la nebulosa. En estas bandas no existe una diferencia significativa entre los dos grupos principales de simbióticas (S y D) debido a que no hay una contribución importante de las gigantes rojas, y la información dominante proviene de las líneas de emisión (Whitelock y Munari 1992). No obstante, en la figura 1.6 se observa que los sistemas de tipo D tienden a ubicarse en la parte superior del DCC $(\text{U-B})_0$ vs. $(\text{B-V})_0$.

En el DCC $(\text{V-R}_c)_0$ vs. $(\text{V-I}_c)_0$ muchas simbióticas de tipo S tienen colores característicos de estrellas normales de tipo espectral K o M debido a que en la parte roja del espectro la emisión está dominada por la gigante fría del par simbiótico (figura 1.7). Aunque la línea $\text{H}\alpha$ es la más prominente en esta región del espectro, es raro que posea un flujo suficiente como para influir en estos colores de banda ancha. Por su parte, en los sistemas simbióticos de tipo D estas bandas sí están dominadas por las líneas de emisión, razón por la cual se ubican fuera de la zona del DCC ocupada por las estrellas normales (Whitelock y Munari 1992).

Varios autores han aprovechado la presencia de fuertes líneas de emisión de numerosos iones y elementos neutros, en el espectro visible de los sistemas simbióticos, para discriminarlos de otros objetos afines. Son de destacar los trabajos de Gutiérrez-Moreno et al. (1995) y Magrini et al. (2003). Los primeros presentan un diagrama de diagnóstico utilizando la razón de las intensidades de las líneas del $[\text{OIII}]$ en 5007 \AA y 4363 \AA , respecto a las líneas de la serie de Balmer $\text{H}\beta$ y $\text{H}\gamma$. De esta forma, logran separar no

solamente las nebulosas planetarias de las estrellas simbióticas sino estas últimas en sus dos grupos principales (S y D, ver apartado 1.1). En el segundo trabajo (Magrini et al. 2003), se presentan dos gráficos de diagnóstico para la búsqueda de estrellas simbióticas en galaxias del Grupo Local. Para ello se hace uso del flujo de una muestra representativa de estrellas simbióticas y de nebulosas planetarias en las bandas Str y (y de Strömgren) e i' de Sloan y en las bandas estrechas de $H\alpha$ y $[OIII] \lambda 5007$ que confinan las citadas líneas espectrales, lográndose una buena separación entre ambas clases de objeto.

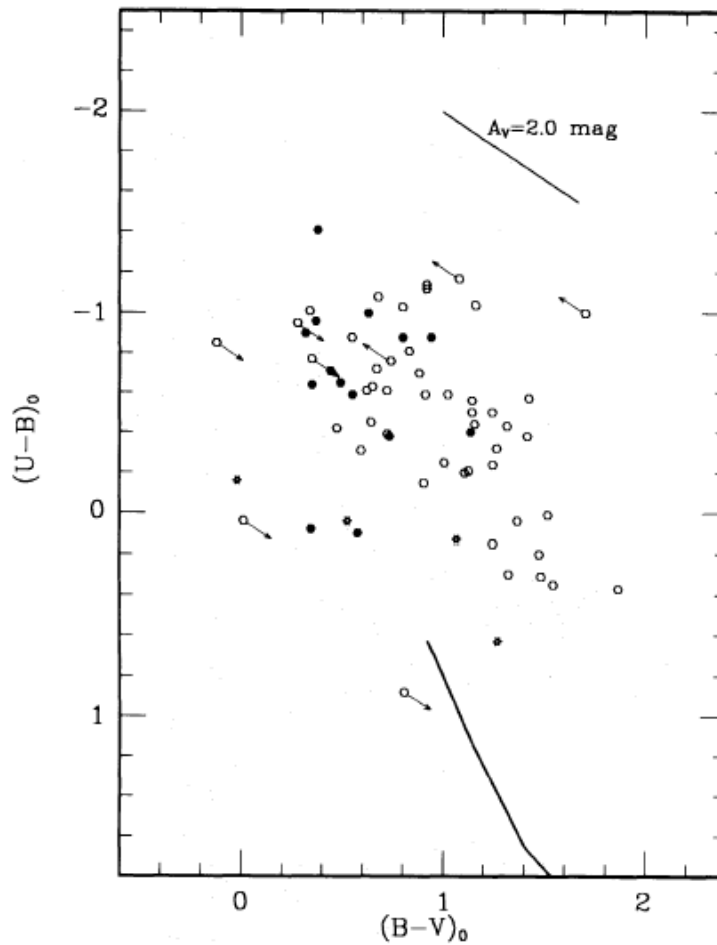


Figura 1.6 - Ubicación de las simbióticas de tipo S (círculos blancos), de tipo D (círculos negros) y del subgrupo de las D' (asteriscos), en el DCC $(U-B)_0$ vs. $(B-V)_0$. La traza de las gigantes (tipo espectral más tardío que G5III) se muestra en la parte inferior del diagrama y el vector de enrojecimiento para $V = 2$ mag en la parte superior. Tomado de Whitelock y Munari (1992).

Nussbaumer (2000) propone otras herramientas de diagnóstico basadas en la dispersión de Rayleigh, la polarización y los efectos de iluminación, para discriminar a las simbióticas de otros objetos similares. Estos autores presentan evidencias de que la dispersión

Rayleigh puede ocurrir cerca de la componente caliente y de que las líneas de emisión de la serie de Balmer se forman en el viento de la gigante. Éstas dependen del gradiente de velocidad de la expansión del viento cercano a la frontera de recombinación (zona de alta densidad en la región HII, determinada por la iluminación de la componente caliente). Por otra parte, la observación de sistemas binarios durante largos períodos de tiempo permite estudiarlos en diferentes ángulos y ver cambios en su polarización, lo que potencialmente permitiría distinguir a las binarias simbióticas de otras clases de objeto.

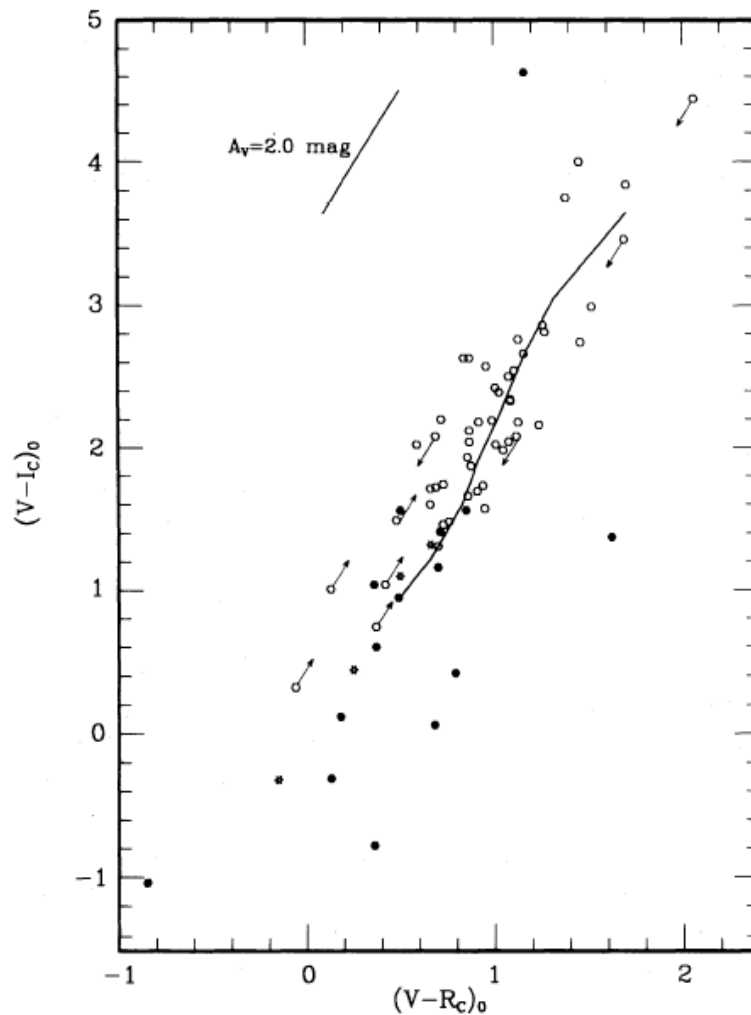


Figura 1.7 – Igual que la figura 1.6, para el DCC $(V-I_c)_0$ vs. $(V-R_c)_0$. La traza de las gigantes (tipo espectral de K0III a M6III) se muestra en la parte central del diagrama. Tomado de Whitelock y Munari (1992).

1.3.4 Infrarrojo

Como vimos anteriormente (apartado 1.1), la región del infrarrojo (IR) marca la diferencia entre los dos principales tipos de simbiótica S y D. La definición clásica de estos dos

grupos la propusieron Allen y Glass (1974) sobre la base de la posición de las estrellas simbióticas de cada tipo en los DCCs del IRC (figura 1.2). Aunque la emisión del polvo más frío en sistemas simbióticos sólo es detectable en longitudes de onda mayores (el infrarrojo lejano, IRL), el análisis de estos autores en el IRC les permitió establecer la dicotomía entre los dos grupos principales de simbióticas conocidos hasta el presente. Usando otro DCC en el IRC con longitudes de onda algo más cortas (JHKs), los dos tipos de simbiótica aparecen también claramente separados, lo cual posibilita utilizar los datos del catálogo *2MASS* y su fotometría de gran precisión para estos estudios (Rodríguez-Flores 2006, Phillips 2007, Corradi et al. 2008).

Phillips (2007) presenta el DCC *2MASS* y señala que la frontera entre la región ocupada por uno y otro tipo de simbiótica viene dada por la variación de la emisión de los granos de polvo en función de su temperatura, tal como indica la línea diagonal de la figura 1.8. A la izquierda de esta diagonal se encuentran las simbióticas S, cuyos colores están determinados por la emisión fotosférica de la gigante roja del sistema. A la derecha se ubican las simbióticas D, con colores que responden a la combinación del continuo de la Mira enrojecida ($T_{\text{eff}} = 2500 \text{ K}$) y la emisión del polvo circunestelar (esencialmente granos de silicatos). Según el modelo propuesto por Phillips, la posición de las simbióticas D en el DCC es explicable por las diferencias en la tasa de pérdida de masa, determinada a su vez, por los cambios en las propiedades de la estructura y en los ciclos de pulsación de la variable Mira, o bien por la rápida evolución de la compañera caliente. Las nebulosas planetarias estudiadas por Ramos-Larios y Phillips (2005) se concentran en la parte inferior de este diagrama (figura 1.8), formando una gran aglomeración con centro cercano a $(J-H)_0 \sim 0.1$ y $(H-Ks)_0 \sim 0.8$, donde se ubica el 74% del total (325 objetos). Estos autores lo atribuyen a la emisión del gas ionizado de la nebulosa.

Usando fotometría en el IRC de diferentes clases de objeto, varios autores han fijado una frontera en $(J-K) \sim 1.6$ mag que separaría las zonas de las nebulosas planetarias y las simbióticas Mira en los DCCs del IRC (bandas JKL, Whitelock 1987; fotometría IJK del proyecto *DEep Near Infrared Southern sky survey-DENIS*, Schmeja y Kimeswenger 2003). Sin embargo, algunas nebulosas planetarias aisladas se ubican en la región dominada por las estrellas simbióticas de tipo D, tanto en estos DCCs como en el diagrama $(J-H)$ vs. $(H-Ks)$ (tabla 8 y figuras 7A y B de Rodríguez-Flores 2006). Estos objetos, aunque pocos, son muy interesantes y merecen ser discutidos más en detalle, cosa que haremos a continuación.

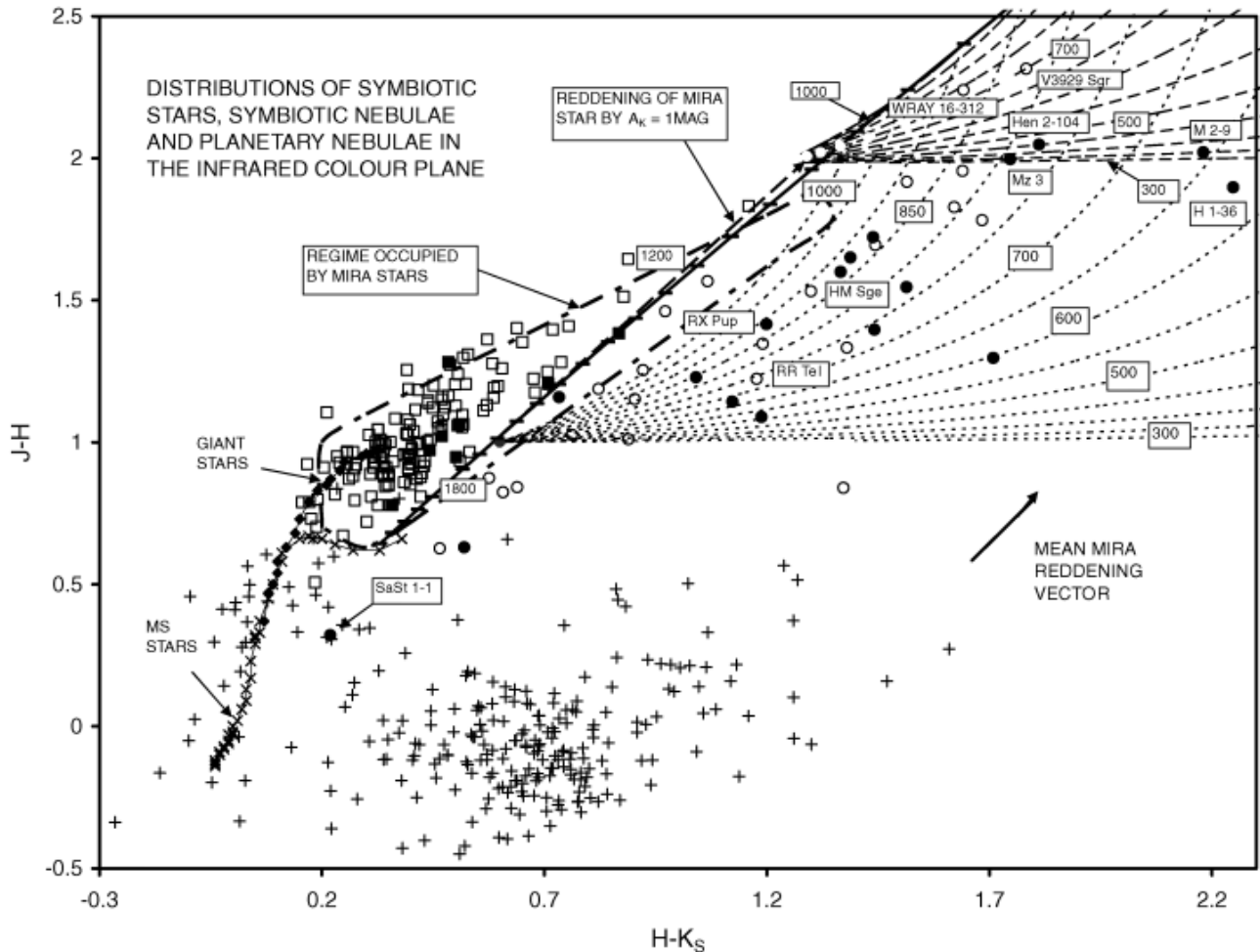


Figura 1.8 - DCC $(J-H)/(H-K_s)$ mostrando la ubicación de las simbióticas S (cuadrados vacíos), D (círculos vacíos), los sistemas de uno y otro tipo con nebulosas resueltas (misma simbología anterior, según el tipo, pero rellenos en negro) y las nebulosas planetarias (cruces). Además, aparecen la traza de las gigantes RGB (rombos negros) y la variación de colores esperada para granos de polvo muy pequeños según su temperatura (diagonal continua). Las curvas punteadas representan la combinación de una fotosfera de tipo Mira con emisión de polvo tibio (600 K-1000 K) mientras que las curvas de líneas discontinuas dan cuenta de la emisión de granos de polvo normales (300 K-1000 K). Junto a las simbióticas S están las variables de tipo Mira (zona delimitada por líneas y puntos). El vector de enrojecimiento (A_K) representa una extinción de 1 magnitud en K_s . Tomado de Phillips (2007).

La hipótesis más obvia es que las nebulosas planetarias que caen en la región de las simbióticas D (ver, por ejemplo, la ubicación de Mz-3, M 2-9 o Hen 2-104 en la figura 1.8) sean ciertamente simbióticas incorrectamente identificados como nebulosas planetarias. En esta línea han trabajado Corradi (1995) y Schmeja y Kimeswenger (2003). Sin

embargo, observaciones recientes utilizando técnicas de alta resolución en el IR como el *Very Large Telescope Interferometer (VLTI)* indican que el exceso infrarrojo que origina la posición extrema en los DCCs es debido a la presencia de discos de polvo circunbinarios, en al menos dos de estos objetos (Mz 3 y M2-9), sin que aparezcan indicios claros de la presencia de una gigante roja. Estos discos son muy pequeños (algunos milisegundos de arco).

En concreto, la estrella central de Mz-3 fue observada por Chesneau et al. (2007) con el *mid-infrared interferometer MIDI/VLTI* y el sistema de óptica adaptativa *NACO/VLT*, y muestra la presencia de un disco ópticamente espeso ($\tau \sim 3.5$), fino y casi de canto, compuesto fundamentalmente por granos de silicato amorfo. Esos autores descartan la hipótesis de Schmeja y Kimeswenger (2001) sobre la existencia de un sistema binario con una variable de tipo Mira como estrella evolucionada (sistema simbiótico D), pues la órbita del sistema estaría en el interior del disco. Chesneau y colaboradores muestran que la distancia entre las dos componentes estaría entre 1 y 2 UA, insuficiente para una simbiótica de tipo D pero típica de sistemas simbióticos de tipo S (Mikolajewska 2003). En el caso de M 2-9, también observado con el *MIDI/VLTI* (Lykou et al. 2011), aparece un complejo disco de polvo en el plano ecuatorial de la nebulosa con tamaño de 15 UA y también compuesto de silicatos. Los autores sugieren la existencia de un sistema binario formado por una estrella evolucionada (0.6 - 1.4 M_{\odot}) y una enana blanca (0.6 - 1 M_{\odot}).

En resumen, la ubicación de estas nebulosas peculiares en el DCC *2MASS* puede deberse a la existencia de discos de polvo caliente que, al reemitir la radiación estelar en el IR, presentan colores superiores a los de la mayoría de las nebulosas planetarias y más cercanos a los de las estrellas simbióticas de tipo D (figura 1.8). La posibilidad de que haya sistemas binarios (simbióticos o no) en el interior de los discos es discutible, y sería interesante realizar nuevas observaciones, en particular sobre la variabilidad en IRC, que confirmen o no su existencia.

Volviendo a la localización de las Miras simbióticas en el DCC (J-K)₀ vs. (K-L)₀, Whitelock (1987) encuentra que la mayoría de ellas se ubican cercanas al lugar esperable para la combinación de una Mira con temperatura efectiva de 2500 K y una envoltura de polvo (básicamente granos de silicatos) a 800 K. Esta temperatura del polvo es superior al caso de las Miras normales (no simbióticas), lo que Whitelock explica por la presencia de la compañera caliente y/o un disco de acreción. Phillips (2007) halla un resultado similar

para este tipo de simbióticas en el DCC (J-H)/(H-Ks) (figura 1.8). Por otro lado, comparado con las Miras normales, las Miras simbióticas presentan períodos de pulsación mayor, tasas de pérdida de masa superiores y eventos de oscurecimiento más frecuentes (atribuidos al mecanismo de formación y destrucción de los granos de polvo, con variaciones de hasta 2 mag en J, Whitelock 2003).

En la región del IRL (longitudes de onda de 12 μm , 25 μm , 60 μm y 100 μm), los datos de las simbióticas provienen en su mayor parte del catálogo del satélite *IRAS* (para más detalles sobre esta misión ver Neugebauer et al. 1984 y el *IRAS Explanatory Supplement*, Beichman et al 1985). Kenyon (1988) y Kenyon et al. (1988) concluyen que en las simbióticas de tipo S la estrella gigante roja del par tiene una tasa de pérdida de masa mayor que una estrella roja (*RGB*) no binaria de igual edad. Se basan en el mayor exceso IRL (razón entre los flujos medidos en 25 μm y 12 μm , $F_{25 \mu\text{m}}/F_{12 \mu\text{m}}$) encontrado para los sistemas de tipo S respecto a estrellas *RGB* de igual tipo espectral que la donante del sistema binario (figura 2 de Kenyon et al. 1988). Dicho exceso se hace más notable para las gigantes menos tardías (de tipo espectral K3 al M2). Por otra parte, Kenyon y colaboradores logran separar a los dos tipos principales de simbióticas (S y D) utilizando el DCC *IRAS* [12/25] vs. [60/25] (ver las notas ¹ y ² al pie de esta página para la definición de los colores en IRL construidos a partir de las mediciones del *IRAS*).

En otro DCC *IRAS* relacionado ([25]-[60] vs. [12]-[25]), van der Veen y Habing (1988) estudiaron la ubicación de las estrellas con envolturas de gas/polvo, separándolas en ricas en oxígeno y ricas en carbono. Las simbióticas se sitúan, en general, hacia la parte baja del diagrama (en la zona VIb de la figura 5b de van der Veen y Habing) que es la correspondiente a estrellas variables con polvo relativamente caliente cerca de la estrella y relativamente frío a gran distancia de la misma. Más recientemente Viironen et al. (2009b; su figura 6) estudian las 10 estrellas simbióticas del catálogo de Belczynski et al. (2000) que cuentan con datos *IRAS* adecuados, encontrando que las simbióticas se ubican junto a las estrellas AGB y Miras OH.

Por su parte, Whitelock y Munari (1992) combinaron datos en IRC e IRL en un diagrama K - [12]³ vs. tipo espectral (variante de la figura 2 de Kenyon et al. 1988) y compararon el exceso en el color K - [12] de las simbióticas S y de las estrellas de tipo espectral tardío

¹ $[\lambda_1/\lambda_2] = F(\lambda_1)/F(\lambda_2)$, donde $F(\lambda_n)$ es el flujo medido en la longitud de onda λ_n .

² $[\lambda_1] - [\lambda_2] = 2.5 \cdot \log(F_{\lambda_2}/F_{\lambda_1})$.

³ [12] = $-2.5 \cdot \log(F_{12\mu\text{m}}/F_{\lambda,0})$, donde $F_{\lambda,0}$ es el flujo en 12 μm para un objeto con magnitud cero.

(M) en diferentes regiones de la Galaxia y encontraron que las simbióticas S son similares a las estrellas M que se localizan en el bulbo Galáctico. Esta similitud puede tener dos interpretaciones: 1) la gigante del sistema simbiótico tiene efectivamente características similares a las estrellas de tipo M del bulbo, lo que implicaría una masa pequeña ($\sim 1M_{\odot}$) y elevada metalicidad ($Z \geq Z_{\odot}$) o 2) puede ser que algún fenómeno inherente a la simbiosis estelar haga que la gigante del par mimetice esos efectos. La importancia de un color con bandas tan distantes (K en $2.2 \mu\text{m}$ y la banda de IRAS en $12 \mu\text{m}$) es que mide a la vez el flujo de la estrella fría del par, la que produce la emisión en K, y la envoltura de polvo caliente que, de haber una contribución significativa, se detecta fundamentalmente en $12 \mu\text{m}$. El color K - [12] es una mejor medida de la emisión del polvo, y por ende de la tasa de pérdida de masa, que el color F25/F12. Sin embargo, las medidas de ambos flujos (K y [12]) no son simultáneas y la variabilidad de los objetos puede condicionar los resultados.

1.3.5 Radio

Según el catálogo de Belczynski et al. (2000), se han realizado observaciones en radio en ondas centimétricas de 141 estrellas simbióticas (4 en 2 cm, 8 en 3.5 cm, 97 en 3.6 cm y 32 en 6 cm de longitud de onda), habiéndose detectado emisión en el $\sim 25\%$ de ellas (Mikolajewska et al. 2003). La mayor parte de las observaciones se llevaron a cabo usando el *Very Large Array (VLA)* mediante exploraciones de alta sensibilidad, 0.5 mJy para $\lambda = 6 \text{ cm}$ (Seaquist et al. 1984) y 110 μJy para $\lambda = 3.6 \text{ cm}$ (Seaquist et al. 1993). No obstante, es meritorio destacar las observaciones de Wright y Allen (1978) para 91 estrellas simbióticas en $\lambda = 2 \text{ cm}$, utilizando el radiotelescopio de Parkes (Australia) con una sensibilidad típica de 0.5 mJy. La emisión detectada se debe, en la mayoría de los casos, a radiación libre-libre del gas ionizado (Seaquist y Taylor 1990).

A partir de las observaciones en radio puede estimarse la cantidad de gas ionizado y la tasa de pérdida de masa (Schmid 2003). Se ha encontrado una correlación entre la luminosidad en radio y el tipo espectral de la gigante fría de la binaria: la luminosidad aumenta en sistemas con una donante muy tardía o una variable de tipo Mira (Seaquist et al. 1993). Esos mismos sistemas presentan las mayores tasas de pérdida de masa (Dupree 1986). Por otro lado, las observaciones en radio permiten modelar la radioemisión a partir del viento, parcialmente ionizado por la compañera caliente, de la gigante roja (Seaquist et al. 1984). El principal problema con este tipo de modelos es que las propiedades del espectro en radio y del frente de ionización son, teóricamente, función

de los parámetros orbitales y físicos del par simbiótico, ambos desconocidos para la mayoría de los sistemas, tal como veremos más adelante (apartado 1.5).

También se han realizado observaciones de estrellas simbióticas en ondas milimétricas y submilimétricas. Un ejemplo son las reportadas por Mikolajewska et al. (2003) para una veintena de sistemas de tipo S en los que no están ocurriendo procesos explosivos (fase tranquila), lo que permitió comprobar modelos como el citado anteriormente y corroborar resultados encontrados en otras regiones del espectro (UV, visible e IR).

1.4 Variabilidad

Las estrellas simbióticas son muy variables, tanto en magnitud como en forma de variabilidad (figura 1.9), debido a la presencia de la gigante roja y de la compañera que acumula parte del material perdido por aquella. Además de los cambios periódicos debido al movimiento binario, tanto la gigante fría como la compañera compacta pueden mostrar variabilidad intrínseca. En el caso de la gigante roja, las fluctuaciones pueden ser debidas a pulsaciones radiales de la gigante (todas las de tipo D y algunas de tipo S) y a variaciones de tipo semirregular (las de tipo S), ambas con escalas de tiempo entre meses y años, además de existir otras variaciones con escalas más largas debidas al oscurecimiento variable por el polvo circunestelar (mayoritariamente en las de tipo D), por ciclos de tipo solar, etc. La propia acreción de masa sobre la componente compacta también origina diferentes fenómenos variables con escala de tiempos en el rango de varios segundos hasta minutos (llamados *flickering* y *Quasi Periodic Oscillation (QPO)*) hasta años y décadas (erupciones de tipo nova, etc.).

Durante las erupciones de tipo nova simbiótica (nova muy lenta, cuya recuperación completa de la fase de *outburst* puede tardar cientos de años), se producen explosiones termonucleares en la superficie de la compañera caliente como consecuencia de la acreción de masa. Los principios físicos básicos de este fenómeno no son muy diferentes de los que se manifiestan en las explosiones de novas clásicas en variables cataclísmicas: el espectro cambia radicalmente y el sistema puede emitir vientos a gran velocidad ($\sim 10^3$ km/s), ocasionalmente en forma de chorros colimados. La aparición de estos eventos puede darse en intervalos de pocos años a varios siglos.

Observacionalmente, las erupciones de nova simbiótica son las que introducen una mayor amplitud en la variabilidad de estos sistemas (entre 2 y 7 mag).

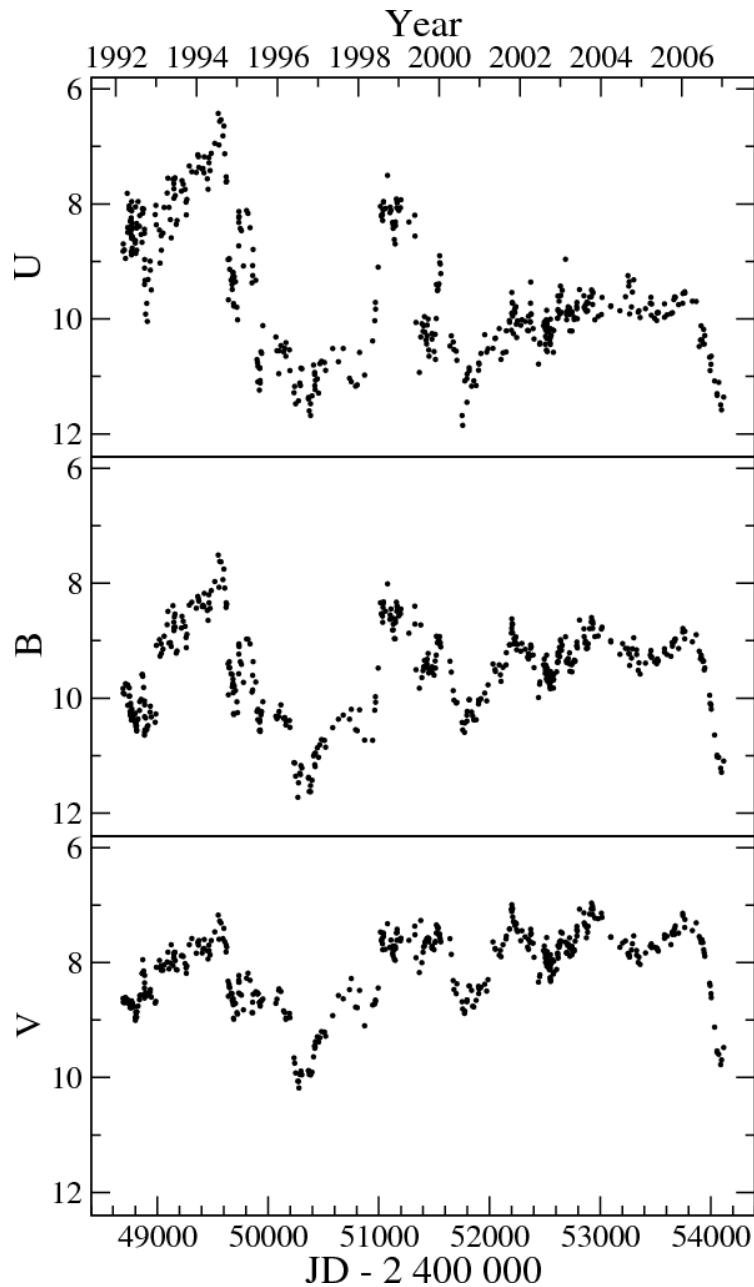


Figura 1.9 - Curva de luz de CH Cyg durante el período 1992-2006 en las bandas U, B y V de Johnson. Tomado de Burmeister y Leedjäv (2009).

Otro de los procesos eruptivos importantes que ocurren en las estrellas simbióticas son las eyecciones de material (*outbursts* clásicos u ordinarios). Al igual que en una nova simbiótica, la naturaleza del proceso eruptivo depende de la tasa de acreción anual, la masa y la luminosidad de la componente caliente y de la composición del material transferido (Kenyon 1986). Sin embargo, los *outbursts* ordinarios tienen amplitud y duración mucho menores que los de una nova: de 1 a 3 mag y de unos meses a pocos

años, respectivamente, para sistemas tales como Z And, CI Cyg y AG Dra (Mikolajewska 2003).

Como consecuencia de todos los fenómenos involucrados, las curvas de luz de las estrellas simbióticas son muy complejas y de difícil interpretación. Incluso para curvas de luz bien estudiadas y representativas como son las de RX Pup, CI Cyg y CH Cyg (figura 1.9), los distintos trabajos publicados discuten los diferentes tipos de variabilidad observados pero sin lograr aún una completa comprensión de las causas que los originan. Entre los mecanismos que se proponen están los eclipses de la pseudofotosfera de la componente caliente por la gigante fría, posibles efectos de reflexión, distorsión de la componente fría por fuerzas de marea producidas por la componente caliente, pulsación de la gigante, oscurecimiento por polvo producido por la gigante, etc. (ver, por ejemplo, Mikolajewska 2001, Skopal 2003).

1.4.1 Las estrellas simbióticas como progenitoras de las supernovas tipo Ia

Las supernovas de tipo Ia (SN Ia) constituyen uno de los eventos explosivos estelares más luminosos del universo y ocurren cuando la masa de una enana blanca de carbono-oxígeno llega al límite crítico de Chandrasekhar, $M_{Ch} \sim 1.4 M_{\odot}$. Tras la explosión, la luminosidad de la SN Ia alcanza un máximo que es casi uniforme (Perlmutter et al. 1999, Riess et al. 1998), por lo que estas supernovas se encuentran entre los mejores indicadores de distancias extragalácticas. Son de gran valor para la determinación de los parámetros cosmológicos y han llevado a descubrimientos tan importantes como el de la energía oscura.

Whelan e Iben (1973) propusieron el escenario clásico para la formación de SN Ia en galaxias elípticas: se trataría de un sistema binario formado por estrellas de masa intermedia que se transforma, tras $\sim 10^{10}$ años de evolución, en una enana blanca masiva (cercana al límite de Chandrasekhar) y una gigante roja que llena su lóbulo de Roche y transfiere masa a la compañera compacta por *RLOF* (tal par no sería otra cosa que una estrella simbiótica. A ese escenario se le conoce como “*single-degenerate*”). Hoy en día sabemos que no es estrictamente necesario que la gigante llene su lóbulo de Roche; lo más importante es que el balance entre la tasa de acreción y la tasa de pérdida de masa de la enana blanca en su fase eruptiva sea positivo, de modo que pueda llegar a la masa crítica de Chandrasekar en tiempos razonables. La hipótesis alternativa (escenario

“*double-degenerate*”) es que las SN Ia resulten de la fusión de dos enanas blancas. Sin embargo, los trabajos observacionales más recientes favorecen la primera hipótesis, es decir que los progenitores inmediatos de las SN Ia sean estrellas simbióticas. Una pista clave es la detección de material circunestelar, muy probablemente relacionado con la pérdida de masa de la gigante fría, alrededor de varias SN Ia (Patat et al. 2007, Sternberg et al. 2011).

Hay claros candidatos a progenitores de SN Ia entre las simbióticas conocidas, en concreto RS Oph, T CrB, V745 Sco y V3890 Sgr. Todas ellas son miembros de la clase de las novae recurrentes, es decir estrellas simbióticas que sufren repetidas explosiones, generalmente más moderadas que las novae clásicas, separadas por decenas de años (Hachisu 2003, Nomoto 1982, Nomoto et al. 1984). Tanto T CrB como RS Oph contienen una enana blanca con masa muy cercana a M_{Ch} (1.35 y 1.377 M_{\odot} , respectivamente) y presentan una tasa de acreción anual elevada ($0.4 \cdot 10^{-7}$ y $1.2 \cdot 10^{-7}$ $M_{\odot}/año$, respectivamente). Los otros dos candidatos, V745 Sco y V3890 Sgr, presentan también enanas blancas masivas ($\geq 1.35 M_{\odot}$) y tasas de acreción elevadas, aunque algo menores que las anteriores ($4.5 \cdot 10^{-9}$ y $1.11 \cdot 10^{-8}$ $M_{\odot}/año$, respectivamente).

1.5 Elementos orbitales

Desde la década de los treinta del siglo pasado se han medido variaciones fotométricas periódicas en las estrellas simbióticas, con amplitudes que se incrementan hacia las longitudes de onda más cortas y que han sido interpretadas como debidas al movimiento orbital. Actualmente se conoce el período orbital (P), obtenido a partir de las curvas de luz, de 60 sistemas simbióticos galácticos y de 3 en las Nubes de Magallanes (Brandi 2007). En algunos sistemas se trata de binarias eclipsantes y la interpretación es relativamente sencilla, es el caso de las primeras simbióticas eclipsantes conocidas: AR Pav (Mayall 1937) y CI Cyg (Hoffleit 1968). En otros casos no se miden eclipses sino modulaciones elipsoidales debidas a que la gigante roja está deformada porque llena (o está a punto de llenar) su lóbulo de Roche, de modo que cambia la luz que recibimos de la estrella según cambia la proyección de su superficie en el plano del cielo durante las diferentes fases orbitales (figura 1.10). Se conocen una docena de sistemas simbióticos con variaciones elipsoidales (Mikolajewska 2007).

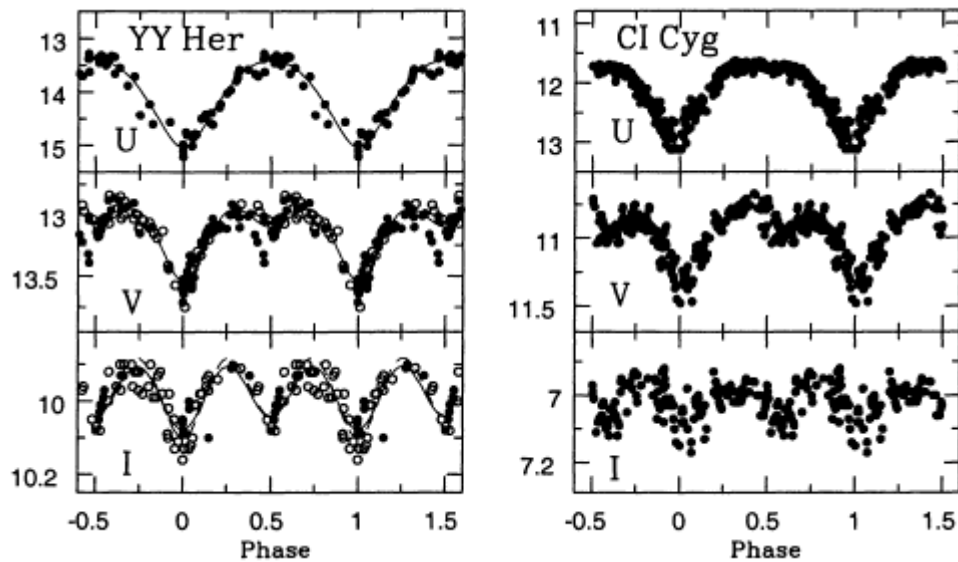


Figura 1.10 – Curva de luz (abscisa: fase orbital; ordenada: magnitud aparente en U, V e I) de los sistemas simbióticos YY Her y CI Cyg. Observe las variaciones elipsoidales en las curvas de las bandas V (medio) e I (inferior). Tomado de Mikolajewska et al. (2003).

Por otra parte, se han determinado órbitas espectroscópicas para 32 sistemas simbióticos de tipo S. El método más usado es la determinación de la curva de velocidad radial midiendo el desplazamiento Doppler de las líneas estelares. En general, la aplicación del método está limitada porque las variaciones de velocidad radial son muy pequeñas (debido a los períodos orbitales muy largos) y a que hay que medir durante un período de tiempo muy largo. En aquellos casos en que se ha logrado determinar la masa de cada componente, se encuentra un rango entre 0.6 y 3.2 M_{\odot} para la gigante (M_g) y entre 0.3 y 1.4 M_{\odot} para el objeto compacto (M_h) (Brandt 2007). En la mayoría de los casos la relación de masas ($q=M_g/M_h$) está en el rango 2 – 4. La excepción son las dos novae recurrentes T CrB y RS Oph que presentan una relación inferior a la unidad, producto de un elevado valor de M_h (muy cerca de M_{Ch}).

Otro método empleado para medir períodos orbitales en simbióticas es mediante el estudio de la variación de la polarización lineal de las líneas de emisión producidas por dispersión Raman del OVI (ver apartado 1.2). La dispersión de los átomos de HI introduce una fuerte polarización que informa directamente acerca de la posición relativa de la fuente de luz respecto a la región de dispersión. Observaciones repetidas de este fenómeno muestran cambios en el vector de polarización debido al movimiento orbital, de modo que es posible conocer algunos parámetros del sistema, entre ellos el período (Schmid y Schild 2002).

Todos los sistemas para los cuales existen mediciones, de un tipo u otro, del período orbital son de tipo S (excepto R Aqr, que es de tipo D) y, en la mayoría, P se encuentra en el rango entre 200 - 1500 días. Además, no se han encontrado diferencias en la distribución del período respecto a la ubicación de las estrellas en la Galaxia (en el disco o en el bulbo galáctico). Sin embargo, en el caso de las simbióticas amarillas (las que tienen una gigante de tipo espectral G o K de baja metalicidad y ubicadas en el halo galáctico), se ha propuesto que la distribución del período orbital muestra dos poblaciones con $P \sim 200-600$ días y $P \geq 900$ días (Brandi 2007), aunque realmente la muestra es muy escasa para llegar a conclusiones sólidas. Por otro lado, todos los sistemas con período mayor de 1000 días (excepto la simbiótica amarilla CD -43 14302), contienen gigantes muy frías (más tardías que M6).

Los sistemas simbióticos con período inferior a 1000 días presentan órbitas circulares (o cercanas, con excentricidad (e) ≤ 0.1), mientras que los de período superior a ese valor presentan, en general, órbitas más excéntricas. Aunque la cantidad de simbióticas con elementos orbitales conocidos no es numerosa, éstas presentan una distribución excentricidad-período significativamente diferente a otros sistemas binarios que incluyen una gigante roja, que se caracterizan por poseer una fracción mucho mayor de órbitas de gran excentricidad para los casos con períodos inferiores a los 1000 días (Mikolajewska 2003).

Gromadzki y Mikolajewska (2009) recalcularon los elementos orbitales de la Mira simbiótica R Aqr, utilizando los valores de velocidad radial de la componente fría publicados entre 1935 y 2007. Encontraron un período orbital de 43.6 años y una relación de masas (q) consistente con la presencia de una variable de tipo Mira típica de 1-1.5 M_{\odot} , acompañada por una enana blanca de 0.6-1 M_{\odot} . Como dato curioso, destacan que en 2012 habrá una excelente oportunidad para resolver este sistema binario ya que la variable de tipo Mira estará en su mínimo de brillo y la separación aparente entre las componentes será cercana a la máxima posible.

Los períodos orbitales de otras Miras simbióticas podrían ser aún mayores que el de R Aqr. En general, la separación de las componentes en una simbiótica D debe ser más grande que el radio de formación de polvo, por lo que, suponiendo un radio típico de formación de polvo mayor o igual a cinco veces el radio de la variable de tipo Mira (con

radio $\sim 1 - 3$ UA), la mínima separación de la binaria sería de 20 UA y el correspondiente período, mayor o igual a 50 años típicamente. Por tanto, la distribución del período orbital debe obedecer a un compromiso entre tres parámetros: el mínimo de separación de los componentes de la binaria, el espacio ocupado por la gigante evolucionada y la razón mínima de acreción de masa requerida para el comienzo del fenómeno simbiótico (Mikolajewska 2003). Para concluir esta sección, vale la pena mencionar el caso extremo de interacción simbiótica representado por la estrella *omicron* Ceti (Mira), el prototipo de este tipo de variables. Mira tiene como compañera compacta una enana blanca caliente (Mira B, Karovska et al. 1997) que consigue capturar parte del viento de la gigante a pesar de que el período orbital estimado está entre 500 y 1000 años.

1.6 Población estimada en la Galaxia

La población observada de estrellas simbióticas galácticas es muy pequeña si la comparamos con las estimaciones realizadas por diferentes autores. El catálogo de Belczynski et al. (2000) registra 188 sistemas, de los cuales 173 pertenecen a nuestra galaxia, 8 a la Gran Nube de Magallanes, 6 a la Pequeña Nube de Magallanes y 1 a la galaxia enana de Draco. Recientemente se han descubierto nuevas simbióticas en otras galaxias del Grupo Local, concretamente una en IC 10 (Gonçalves et al. 2008) y una en NGC 6822 (Kniazev et al. 2009). Por su parte, las estimaciones teóricas para la Vía Láctea son muy variadas y arrojan los siguientes valores: $3 \cdot 10^3$ (Allen 1984), $3 \cdot 10^4$ (Kenyon et al. 1993), $\sim 3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$ (Yungelson et al 1995), $3 \cdot 10^5$ (Munari y Renzini 1992) y $4 \cdot 10^5$ (Magrini et al. 2003). En este apartado analizaremos con cierto detalle algunos de estos trabajos.

Munari y Renzini (1992) estiman la población de simbióticas clásicas (entiéndase de tipo S), en un trabajo donde las proponen como posibles precursores de supernovas de tipo Ia (ver apartado 1.1). Para calcular el número total de simbióticas en la Galaxia analizan la densidad de objetos en la vecindad solar, lo que requiere conocer la distancia a las estrellas simbióticas individuales. En este sentido, esos autores critican investigaciones anteriores que estimaban las distancias suponiendo que las simbióticas pertenecían a una población joven (de tipo I). La concentración observada de simbióticas en torno al plano galáctico sería para Munari y Renzini un mero efecto de selección, pues su descubrimiento sería el resultado de exploraciones del cielo limitadas a bajas latitudes

galácticas. De hecho, el análisis de las observaciones en UBVRIJHKL realizadas por Munari et al. (1992) para cientos de objetos de varias poblaciones estelares, incluyendo 93 simbióticas, demuestra que las simbióticas de tipo S son muy similares a las gigantes del bulbo de la Galaxia (Whitelock y Munari 1992). Esta conclusión viene apoyada por medidas cinemáticas de 74 estrellas simbióticas: la dispersión de velocidad proporciona una evidencia adicional a favor de que las estrellas simbióticas S pertenecen a la población del bulbo/disco grueso de la Galaxia.

Esto cambia sustancialmente el número estimado de estrellas simbióticas en la Vía Láctea pues las distancias calculadas por Munari y Renzini (1992), basadas en las magnitudes absolutas más débiles de las gigantes del bulbo respecto a las gigantes del disco (Frogel y Whitford 1987), son menores que las distancias adoptadas en trabajos anteriores. Munari y Renzini (1992) estiman que hay unos 40 objetos de tipo S dentro de 1 kpc del Sol, es decir un tercio de todos los sistemas conocidos en la fecha. Teniendo en cuenta el gradiente de densidad y las dimensiones del bulbo y el disco grueso de la Galaxia (ver Freeman 1987 y Gilmore et al. 1989), Munari y Renzini (1992) extrapolan este número hasta un total de $2.5 \cdot 10^4$ de tipo S de la Galaxia. Esta cantidad debe ser corregida por la incompletitud de objetos dentro del citado radio debido a las siguientes razones:

1. No se pueden reconocer las simbióticas basándose solamente en sus colores en banda ancha en el visible y en el IR: se necesitan datos espectroscópicos.
2. La mayoría de las simbióticas se han identificado *a posteriori* mediante estudios de objetos que originalmente fueron clasificados como nebulosas planetarias, estrellas Ae/Be u otros objetos de emisión, lo que indica que aún podría haber otras simbióticas catalogadas erróneamente en aquellos grupos.
3. Para identificar a las estrellas simbióticas con observaciones espectroscópicas, los espectros deben poseer una resolución suficientemente alta y cubrir un amplio rango ($\sim 4500 \text{ \AA} - 9000 \text{ \AA}$) de modo que aparezcan los rasgos de la gigante fría y de la nebulosa.
4. Aunque se cuente con espectroscopia en el visible de alta resolución, ello podría no ser suficiente para reconocer la naturaleza simbiótica de un objeto. Es el caso, por

ejemplo, de HD 4174 y HD 34842, dos objetos muy brillantes ($V = 7.2$ y 6.6 , respectivamente) que en observaciones espectroscópicas en el visible no muestran ningún rasgo que permita clasificarlas como estrellas simbióticas. Solamente pudo detectarse la componente caliente en el UV, con observaciones del *IUE*.

Por todas esas razones Munari y Renzini (1992) estimaron, de forma muy cualitativa, que sólo se conocía el $\sim 10\%$ de todas las estrellas simbióticas a menos de 1 kpc del Sol. Aplicando esa corrección de incompletitud, concluyeron que el número de estrellas simbióticas que se espera en la Galaxia asciende a $3 \cdot 10^5$.

Por su parte, Yungelson et al. (1995) presentan modelos de síntesis de poblaciones estelares para analizar la formación de sistemas simbióticos donde la enana blanca está quemando hidrógeno de forma estable, o bien en la fase *plateau* de nova, estimando el número de simbióticas en la Galaxia entre $\sim 3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$. Los mismos autores determinan una tasa de novas simbióticas de ~ 0.1 (año) $^{-1}$, lo que consideran compatible con las observaciones.

Finalmente, Magrini et al. (2003) estiman el número total de simbióticas en diferentes galaxias del Grupo Local, incluyendo la nuestra, usando propiedades básicas de modelos de síntesis de población estelar y comparándolas con las observables, tales como: la magnitud total de cada galaxia en las bandas fotométricas K y B, la distancia y la contribución en el IRC de las estrellas jóvenes. Para el caso particular de la Vía Láctea, suponiendo una luminosidad típica de $100 L_{\odot}$ para las gigantes rojas en ésta (como estimación aproximada de su población) y considerando una masa para nuestra Galaxia de $3 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, estos autores estiman un total de $4 \cdot 10^5$ estrellas simbióticas. Esta conclusión está basada también en una suposición *ad hoc*: el número de estrellas simbióticas será el 0.5% del total de gigantes frías (Munari y Renzini 1992) y que, de éstas, sólo una fracción se observará en fase activa, o sea, mostrando el espectro típico de sistema simbiótico (figura 1.4).

Dejando a un lado las diferencias entre estas tres determinaciones, que son seguramente debidas a los diferentes métodos e hipótesis adoptados, está claro que la población observada de sistemas simbióticos difiere en varios órdenes de magnitud de lo esperado. Esta discrepancia representa uno de los problemas fundamentales a la hora de relacionar

los sistemas simbióticos con otros objetos astrofísicos (supernovas de tipo Ia, nebulosas planetarias bipolares, novas recurrentes, fuentes de rayos X *supersoft*, etc.).

Di Stefano (2010) revisa en detalle los diferentes candidatos propuestos como progenitores de las SN Ia y, entre ellos, considera a las estrellas simbióticas. Utiliza los datos de las detecciones de fuentes de rayos X *supersoft* (SSSs) realizadas por las misiones Chandra y XMM-Newton y los contrasta con modelos numéricos de población estelar en varias galaxias del Grupo Local. De esta comparación resulta que el número de SSSs es demasiado pequeño, en al menos dos órdenes de magnitud, para sustentar la hipótesis de que las binarias que pasan a través de la fase de SSSs sean la única vía para producir SN Ia.

De todas formas, sean los progenitores directos de las SN Ia las binarias formadas por dos enanas blancas interactuantes (escenario *double-degenerate*), o sean las formadas por una enana blanca acumulando materia de una compañera fría (escenario *single-degenerate*), está claro que, en ambos casos, una fracción significativa de esas binarias tiene que pasar por la fase de estrella simbiótica. Esto enfatiza aún más la relevancia del estudio de las estrellas simbióticas junto con el de su distribución y población total en la Galaxia.

1.7 Objetivos del trabajo

En este primer capítulo hemos revisado las características más sobresalientes de las estrellas simbióticas, resaltando que no son solamente un excelente objeto de estudio para entender varios escenarios astrofísicos importantes, sino también una pieza fundamental en nuestro conocimiento de la evolución estelar en binarias interactivas. Hemos visto también que la mayor limitación en el estudio de las estrellas simbióticas viene dada por la escasa muestra de sistemas observados hasta el momento y por la discrepancia existente con las estimaciones teóricas acerca de la población global en la Galaxia. La resolución de este problema la consideramos primordial para cualquier estudio que requiera poblaciones, si no completas, al menos representativas de estos sistemas binarios.

En el presente trabajo de tesis analizaremos los datos producidos por un nuevo cartografiado profundo en H α del plano de la Vía Láctea, *IPHAS* (Drew et al. 2005). La combinación de los datos en el visible de *IPHAS* y de los datos infrarrojos de *2MASS* nos proporciona información tanto sobre las regiones de hidrógeno ionizado de las estrellas simbióticas (nebulosas, discos de acreción, actividad estelar) como sobre sus componentes frías (estrellas de tipo tardío, polvo caliente y tibio), y demostraremos que es una herramienta muy efectiva para detectar nuevas simbióticas en la Galaxia.

En este contexto, nos planteamos como objetivos de la tesis:

- La caracterización fotométrica de las simbióticas en el extremo rojo del visible e infrarrojo cercano, donde se ubican las bandas fotométricas de *IPHAS* y *2MASS*.
- La identificación de candidatos a estrellas simbióticas en el plano de la Galaxia. Para ello desarrollaremos un criterio de selección cuya aplicación a los datos del catálogo fotométrico de *IPHAS* nos dé la posibilidad de realizar una búsqueda sistemática y completa (hasta una profundidad de 20.5 mag) de los candidatos a sistemas simbióticos dentro de la región del cielo estudiada.
- La confirmación espectroscópica de una muestra representativa de candidatos a estrellas simbióticas. Esto incluye el seguimiento espectroscópico y el estudio individual de los candidatos para establecer su verdadera naturaleza.
- El refinado del criterio de selección (mediante los datos espectroscópicos tomados), de modo que permita calcular cuantitativamente la probabilidad de éxito en la búsqueda de simbióticas usando los criterios fotométricos adoptados (DCCs de *IPHAS* y *2MASS*).
- La estimación del número total de simbióticas presentes en la zona explorada por *IPHAS*, en base a cantidad de nuevas simbióticas encontradas y la frecuencia relativa de otras clases de objeto (“contaminantes”). Finalmente, estudiaremos las implicaciones de esa estimación en el cálculo del número total de estrellas simbióticas en la Galaxia.

2

Clasificación fotométrica de las estrellas simbióticas

2.1 Proyecto *IPHAS*

IPHAS (<http://www.iphas.org>) es un cartografiado fotométrico en H α , r' e i' de la parte norte del plano de la Vía Láctea. Es fruto de la colaboración de 15 instituciones de diferentes países encabezada por el Reino Unido, España y Holanda. El área del cielo explorada por *IPHAS*, en coordenadas galácticas, es $|b| < 5^\circ$ y $29.5^\circ < l < 215.5^\circ$ (Greimel 2006, comunicación personal), totalizando 1860 grados cuadrados en el cielo. La profundidad de *IPHAS*, para fuentes puntuales con relación señal-ruido (*SNR*) superior a 10, es de $r' \leq 20$ mag (González-Solares et al. 2008).

Las observaciones se realizaron entre 2003 y 2010, usando el telescopio Isaac Newton (*INT*; Observatorio del Roque de los Muchachos, ORM, La Palma) de 2.5 metros de diámetro y una relación focal de f/3.29 (foco primario con corrector focal), junto con la Cámara de Gran Campo (*WFC*) equipada con los filtros de banda ancha r' e i' del sistema fotométrico de Sloan y el filtro estrecho de H α . La respuesta espectral de estos filtros se muestra en la figura 2.1. La longitud de onda central (λ_c), y el ancho de banda ($\Delta\lambda$) a mitad de altura (*FWHM*) de cada filtro vienen dados por González-Solares et al. (2008):

$$\text{Sloan } r': \lambda_c = 6254.1 \text{ \AA}, \Delta\lambda = 1350.0 \text{ \AA}$$

$$\text{Sloan } i': \lambda_c = 7771.9 \text{ \AA}, \Delta\lambda = 1490.0 \text{ \AA}$$

$$\text{H}\alpha: \lambda_c = 6568.3 \text{ \AA}, \Delta\lambda = 96.0 \text{ \AA}$$

La *WFC*, instalada en el foco primario del *INT*, está compuesta por un mosaico de 4 *CCDs* EEV 2k×4k configurados en forma de "L" (figura 2.2). El tamaño de cada píxel cuadrado es de 13.5 μm de lado lo que cubre 0.33" en el cielo, por lo que el tamaño del mosaico de borde a borde es de 34.2'. Estas características de la *WFC*, unidas al *seeing* excelente del ORM (valor medio de 0.7", ver <http://www.ing.iac.es/astrometry/observing/conditions/>), ofrecen la oportunidad de realizar cartografiados con gran campo en el visible, con alta resolución espacial y gran profundidad.

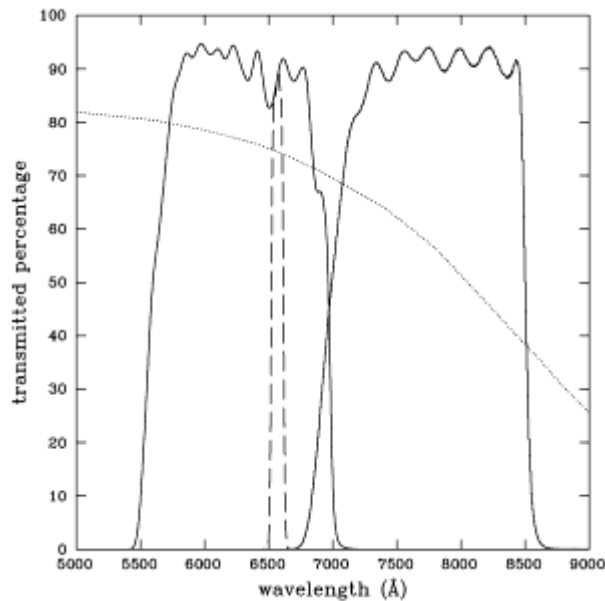


Figura 2.1 - Perfiles de transmisión (abscisa: longitud de onda; ordenada: porcentaje transmitido) de los filtros usados en el proyecto *IPHAS*: *r'* e *i'* de Sloan (línea continua) y *H α* (línea discontinua). La curva punteada representa la respuesta espectral de los *CCDs* que componen la *WFC*. Tomado de Drew et al. (2005). Los valores numéricos de estos perfiles están disponibles en <http://catserver.ing.iac.es/filter/>.

El catálogo fotométrico derivado de *IPHAS*, con su distribución inicial de datos (*IDR*, González-Solares et al. 2008), es el más profundo realizado en *H α* hasta el presente. El anterior a éste, realizado en el Observatorio de Monte Wilson, data de hace más de medio siglo atrás y sólo llegó a magnitud 13 en R (Merrill y Burwell 1950). Con un rango útil de magnitudes de $13 < r' < 20$, el *IDR* de *IPHAS* incluye las observaciones realizadas entre agosto de 2003 y diciembre de 2005, lo que representa el 80% del área total de la exploración (1600 grados cuadrados que se ilustran en el gráfico superior de la figura 2.3) y generó un catálogo fotométrico de aproximadamente 200 millones de objetos (para más detalles ver González-Solares et al. 2008). Un porcentaje importante del área explorada y catalogada (63% \approx 90 millones de objetos) en este *IDR* fue observado en noches

fotométricas y con buenas condiciones de *seeing* (figura 2.4). Estos objetos están incluidos en el catálogo *PhotoObjBest* (ver gráfico inferior de la figura 2.3).

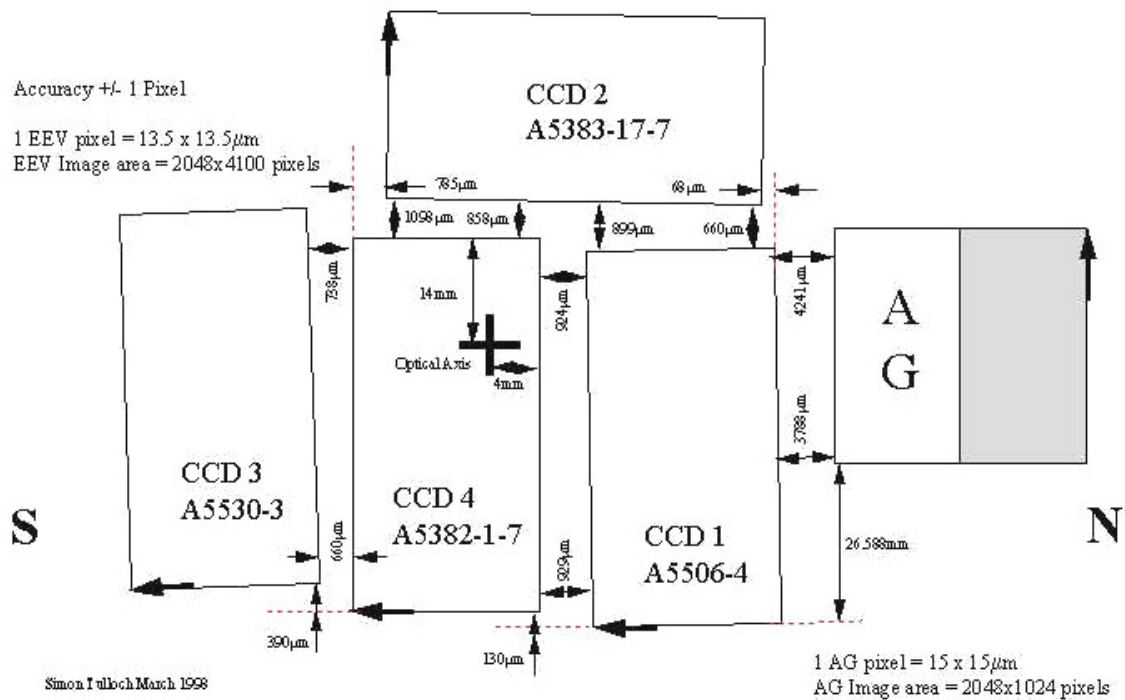
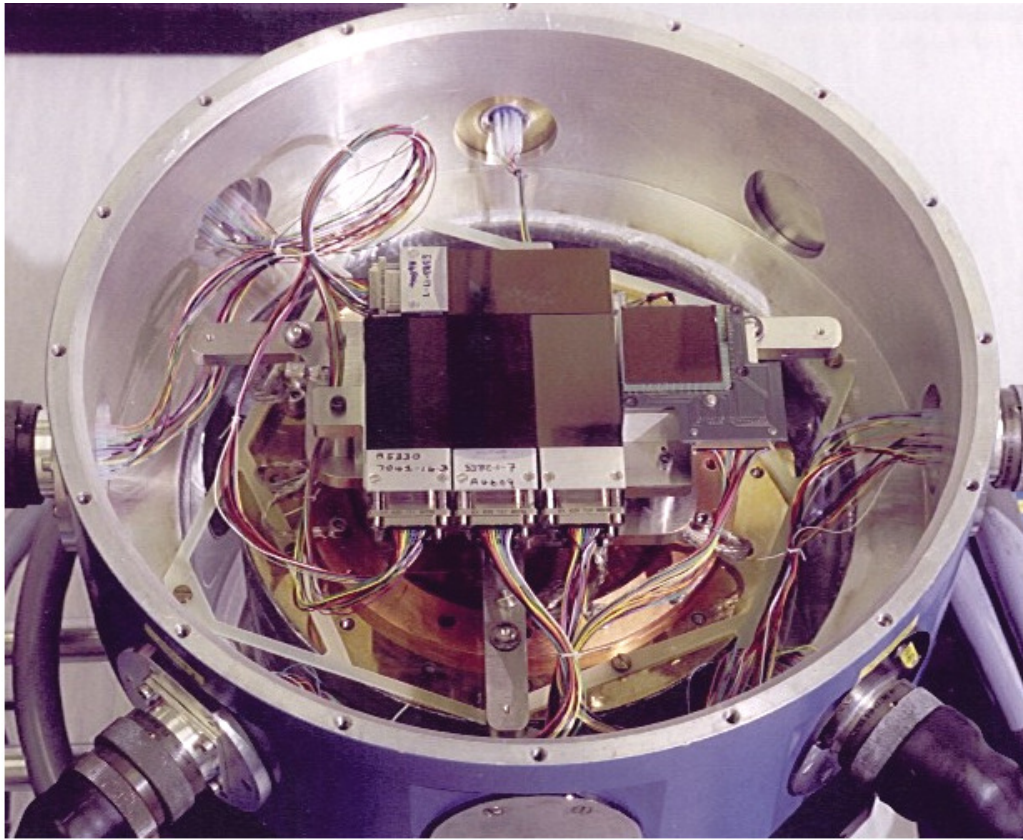


Figura 2.2 – Ubicación de los detectores CCD (Charge-Coupled Device) en la WFC (imagen superior) y esquema que muestra su disposición detallada en la cámara (parte inferior). En este último, la cruz marca el centro del campo visual del telescopio INT.

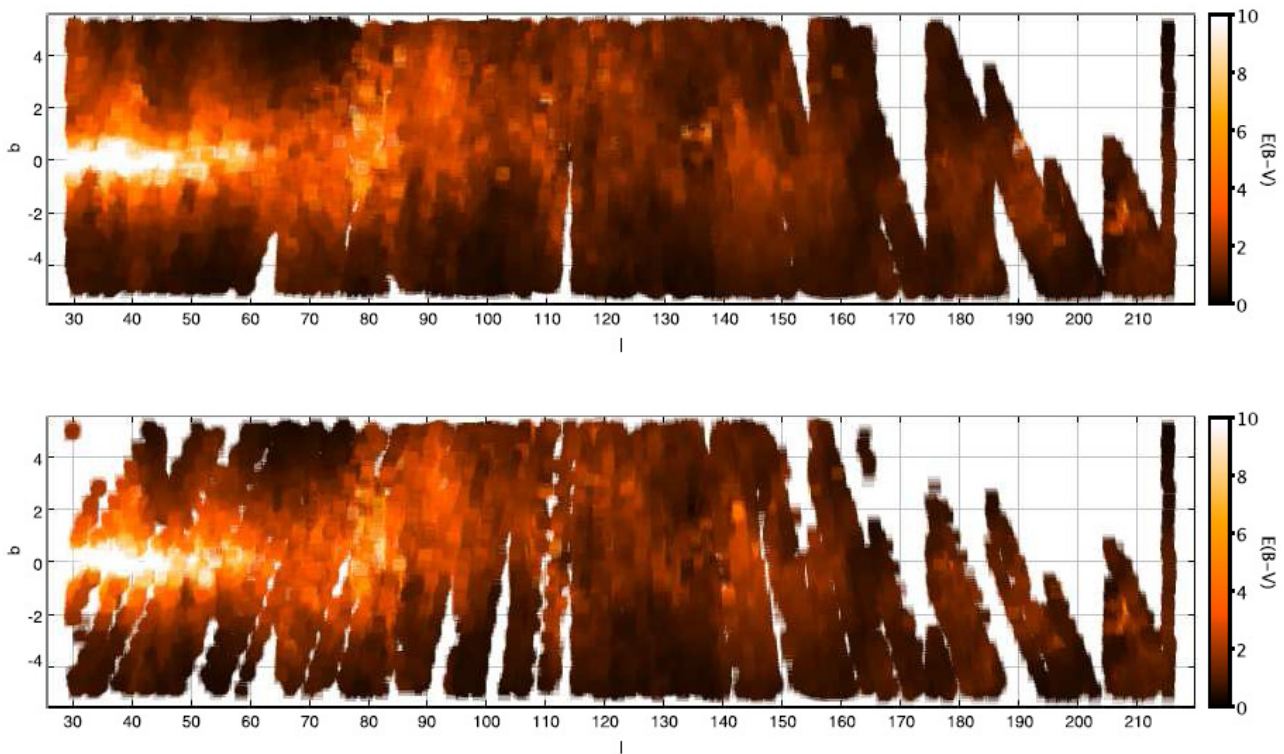


Figura 2.3 - Área cubierta por el IDR de IPHAS, expresada en coordenadas galácticas. En la gráfica superior se muestran los 1600 grados cuadrados explorados hasta fines de 2005, mientras que la gráfica inferior representa los campos de mejor calidad, obtenidos con seeing inferior a 2.0" en las tres bandas fotométricas e incluidos en el catálogo PhotoObjBest. Tomado de González-Solares et al. (2008).

El tiempo de exposición empleado para cada filtro fue de 30 s en r' (excepto en el primer año de exploración (2003), donde se utilizó 10s), 10 s en i' y 120 s en el filtro estrecho H α . Esto, unido al tiempo de lectura de los detectores y al necesario para que el mecanismo de la cámara cambie el filtro de trabajo, supone un total de cinco minutos para el registro en imagen directa de un campo en los tres filtros. Con el objetivo de asegurar que se tomaban las estrellas que pueden caer en el espacio entre los CCDs de la WFC, se hizo un segundo registro (complementario) del mismo campo con un desplazamiento de 5' al oeste y 5' al sur respecto al primer registro. Esto también permitió que la gran mayoría de las estrellas se observe al menos dos veces.

Además de las imágenes *flats* (tomadas durante los crepúsculos vespertino y matutino) y *bias*, se registraron campos de estrellas estándares cada 2 horas para la calibración fotométrica. Las estrellas usadas para esta calibración fueron las pertenecientes a los campos estándares de Landolt en el ecuador celeste (Landolt 1992), junto con las

estándares de Sloan (Smith et al. 2002) y las estrellas estándares de Stetson (<http://www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/community/STETSON/index.html>).

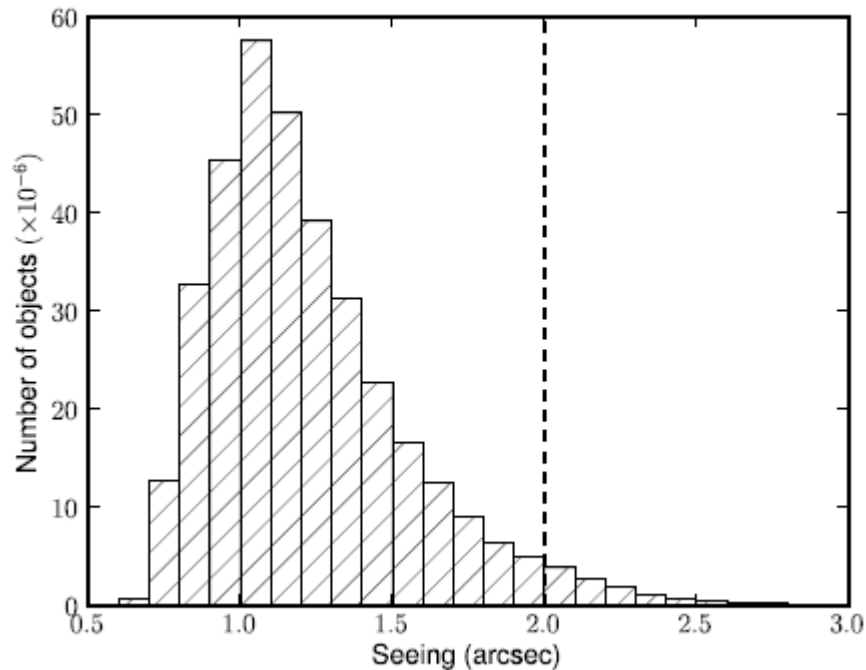


Figura 2.4 - Distribución del seeing en la banda r' para los aproximadamente 200 millones de objetos catalogados en el IDR de IPHAS. Tomado de González-Solares et al. (2008).

En la medida de lo posible, se evitó la intervención humana en el proceso de observación por lo que se elaboraron programas de observación automática para ello. Este proceso automático sólo era interrumpido cada dos horas para el citado registro de los campos estándares necesarios para la calibración fotométrica.

2.1.1 Reducción de las imágenes

Las imágenes generadas se transfieren a *CASU* (*Cambridge Astronomical Survey Unit*), donde se procesan automáticamente (*pipeline*) siguiendo los procedimientos detallados por Irwin y Lewis (2001) e Irwin et al. (2005). El primer paso en esta reducción automática consiste en eliminar el nivel de base que contienen las imágenes usando para ello las exposiciones con tiempo de integración cero (*bias*) tomadas durante la noche y que determinan la estructura espacial del referido nivel cero. Luego se recortan las imágenes para limitarlas al área de datos útiles (*trimsec*) y se corrigen por la no-linealidad en la detección del *CCD* correspondiente. Además, se eliminan los píxeles malos (los que no responden como la mayoría a la luz que reciben) mediante interpolación de los valores de los píxeles vecinos.

Para corregir de la no-uniformidad en la respuesta píxel a píxel y a gran escala de las imágenes se utilizó la combinación de los diferentes *flats* de cielo (imágenes tomadas durante los crepúsculos). Hay que mencionar que los *flats* de cielo en el filtro i' están muy afectados por el *fringing* (franjas de interferencia) típico de los *CCDs* usados. Para disminuir este efecto indeseable a niveles aceptables, se utilizó un algoritmo específico desarrollado por CASU que utiliza una librería de mapas de estas franjas en i' construida con observaciones con el mismo telescopio e instrumentación (Drew et al. 2005). Por otro lado, para corregir la diferencia en el nivel de cielo promedio de cada detector (debido a la diferencia de ganancia entre éstos) se tomó como referencia el nivel de cielo promedio del CCD#1.

Posteriormente se realiza la calibración astrométrica basada en el catálogo de fuentes puntuales de *2MASS* (*Two Micron All Sky Survey*, Skrutskie et al. 2006). Las razones que sustentaron esta decisión son varias: *2MASS* es una exploración que cubre todo el cielo, su calibración astrométrica se basa en el *International Celestial Reference System (ICRS)*, provee al menos de 100 o más estándares astrométricos apropiados para cada región observada, es una exploración relativamente reciente, lo que minimiza los problemas generados por el movimiento propio de las estrellas, y su error es inferior a 100 *mas* (milisegundo de arco) para todo el cielo (Zacharias et al. 2003).

Para la medición del flujo de las fuentes puntuales se utilizó fotometría de apertura. El valor de apertura empleado fue de 3.5 píxeles (1.2"), apropiado teniendo en cuenta el *seeing* del lugar. A todas las fuentes medidas se les aplicó una corrección automática de apertura basada en su curva de crecimiento (es decir, la variación del flujo dentro de la apertura como función del radio). Con el valor del flujo corregido de cada fuente se obtiene la magnitud observada (m) utilizando la siguiente expresión (González-Solares et al. 2008):

$$m = k_1 - \kappa \cdot (X - 1) - 2.5 \cdot \log (f/t) + c \quad (2.1)$$

Donde k_1 es el punto cero de calibración calculado a partir de las estrellas estándar observadas en cada noche; κ es el coeficiente de extinción atmosférica; X , la masa de aire; f , el flujo medido; t , el tiempo de exposición y c , un factor de corrección adicional para la ganancia y que generalmente no supera el 1%.

Además de la fotometría en las tres bandas de IPHAS, la reducción automática genera, para cada objeto detectado, otras variables de control como son el error final en la fotometría, el *seeing*, el tamaño de la apertura óptima para la estimación del flujo, el promedio de la elipticidad de la imagen estelar, el brillo y el ruido del cielo. El error típico en la fotometría *IPHAS* es inferior a una décima de magnitud para casi todo el rango de magnitudes cubierto (ver un ejemplo en la figura 2.5).

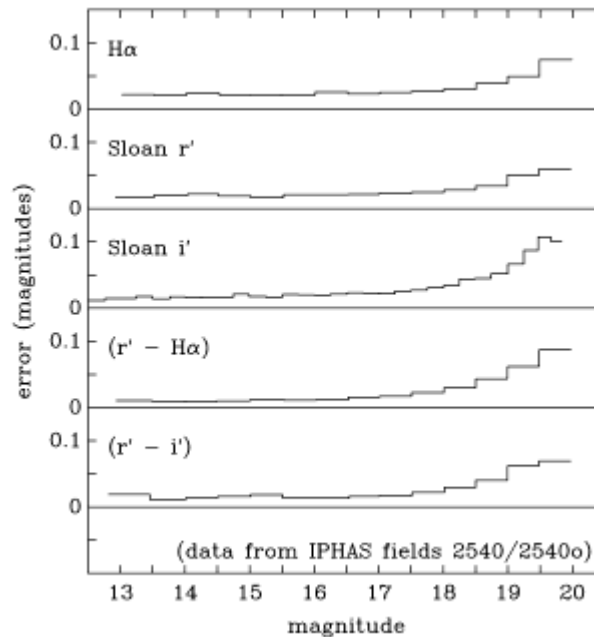


Figura 2.5 - Errores rms en la magnitud y el color en IPHAS (ordenada) como función de la magnitud (abscisa), obtenidos de cada campo y su complementario. En este caso, se muestra el comportamiento de estos errores para los campos de IPHAS 2504/2504o. Las imágenes fueron obtenidas en una noche fotométrica en noviembre de 2003. Tomado de Drew et al. (2005).

El acceso a los datos primarios del catálogo *IDR* de *IPHAS* se ha implementado a través del uso de enlaces a observatorios virtuales estándares (*AstroGrid*, *VO*). Un acceso tradicional de tipo *web*, análogo al de *2MASS*, permite disponer de los datos del catálogo fotométrico principal de *IPHAS*. González-Solares et al. (2008) proporcionan ejemplos de acceso a los datos de este *IDR* y otros detalles. Para información general sobre el proyecto *IPHAS* ver Drew et al. (2005) o acceder a la página *web* del proyecto (<http://www.iphas.org>).

2.2 Catálogo fotométrico de 2MASS

Como vimos en el capítulo 1, las bandas del IRC han aportado información crucial en el estudio de los sistemas simbióticos. La propia división de los mismos en dos grupos (S y D) se debe a su dicotomía en el agrupamiento en los DCCs (J-H) vs. (H-K) y (H-K) vs. (K-L) (Allen y Glass 1974). Esto sugiere la utilización de la información en el IRC para refinar la búsqueda de estrellas simbióticas, a partir de un catálogo que contenga datos fotométricos de un número grande de objetos en las mencionadas bandas espectrales y que cubra un área importante del cielo. En este sentido, el catálogo de 2MASS es el más completo hasta el presente.

El proyecto 2MASS se desarrolló entre junio de 1997 y febrero de 2001, empleando dos telescopios de 1.3 m de características similares, ubicados uno en cada hemisferio. El del hemisferio norte, ahora conocido como *PAIRITEL* (*Peters Automated IR Imaging Telescope*), está instalado en el Observatorio Fred Lawrence Whipple de Monte Hopkins (Arizona, EEUU). Su homólogo del hemisferio austral está ubicado en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (*CTIO*, Chile) y en la actualidad es operado por el consorcio *SMARTS* (*Small and Moderate Aperture Research Telescope Systems*). Cada telescopio fue equipado con una cámara de tres canales, con detectores de 256×256 píxeles de HgCdTe. Esto permitió la observación del cielo en las bandas J (1.25 μm), H (1.65 μm) y Ks (2.17 μm), simultáneamente (figura 2.6).

Una característica de este proyecto es la utilización de la banda Ks en lugar de la tradicional banda K (2.2 μm), con el fin de minimizar los efectos de la emisión atmosférica e instrumental sobre esta zona del espectro. La banda Ks es más estrecha que la K, de tal forma que su límite superior no excede los 2.3 μm . El límite de sensibilidad ($\text{SNR}=10\sigma$) fue de ~ 1 mJy. Para fuentes puntuales, esta exploración detecta objetos con $J < 15.8$ mag, $H < 15.1$ mag y $Ks < 14.3$ mag. Para objetos extensos este límite es una magnitud más brillante, aproximadamente. La resolución efectiva de 2MASS es de 5" (Carpenter 2000; para más detalles sobre este proyecto ver Cutri et al. 2000 y Skrutskie et al. 2006).

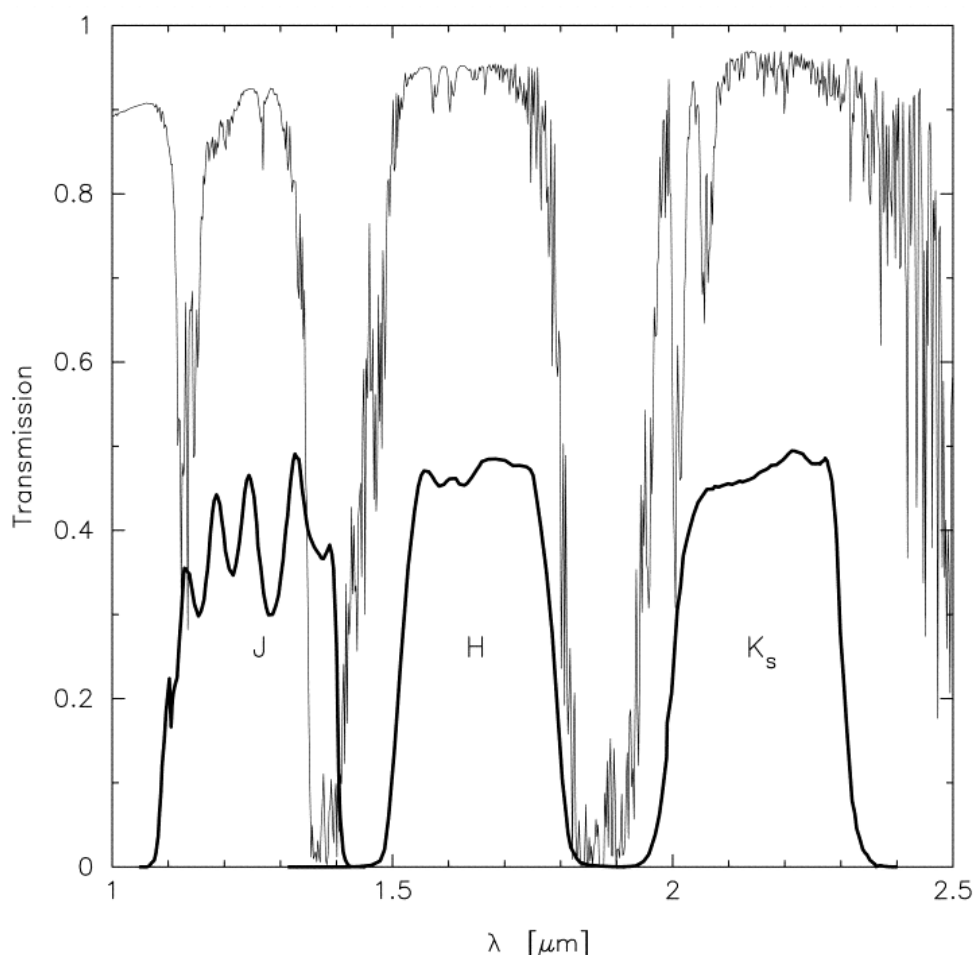


Figura 2.6 - Perfiles de transmisión (abscisa: longitud de onda; ordenada: transmisión) de los filtros utilizados en el proyecto 2MASS (línea gruesa). Estos perfiles son la combinación de la respuesta espectral de varios factores tales como la reflectividad del espejo del telescopio, filtros y del detector NICMOS pero excluye la absorción atmosférica. La línea fina muestra el modelo de transmisión para las condiciones medias de observación en Mount Hopkins, calculado usando el código USAF PLEXUS con una resolución de $0.002 \mu\text{m}$. Tomado de Carpenter (2001).

Los diferentes objetos analizados en el presente trabajo de tesis se estudiaron en las bandas espectrales de *IPHAS* y de *2MASS*. Los datos fotométricos de *2MASS*⁴ se tomaron directamente del catálogo disponible en la red a través del “*Centre de Données Astronomiques de Strasbourg (CDS)*” y su servicio *VizieR* (<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>).

⁴ Este trabajo de tesis utiliza datos del *Two Micron All Sky Survey*, el cual es un proyecto conjunto de la Universidad de Massachusetts y el *Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology*, financiado por la *National Aeronautics and Space Administration* y la *National Science Foundation*.

2.3 Muestras de referencia de objetos conocidos

2.3.1 Estrellas simbióticas

En la región explorada por *IPHAS* se conocen sólo 11 estrellas simbióticas (Belczynski et al. 2000) y son todas muy brillantes, así que el catálogo fotométrico de *IPHAS* contiene datos no saturados sólo para tres de ellas (DQ Ser, Ap 3-1 y V352 Aql). Para aumentar la muestra realizamos nuevas observaciones de estrellas simbióticas del catálogo de Belczynski et al. (2000) los días 20 de abril, 17 y 18 de septiembre de 2005, usando el mismo instrumental y los mismos filtros que *IPHAS* (ver apartado 2.1). En los objetos más brillantes tuvimos que desenfocar ligeramente el telescopio para evitar la saturación del detector. A continuación describimos brevemente el proceso de reducción de imágenes realizado.

A diferencia de *IPHAS*, donde se usan tiempos de exposición fijos de 120 s (H α), 30 s (r') y 10 s (i'), en nuestras observaciones los tiempos utilizados para cada filtro fueron los necesarios para obtener una fotometría de precisión (SNR > 300). En general, éstos son inferiores a los de *IPHAS* (tabla 2.1) ya que las estrellas seleccionadas son, en su mayoría, muy brillantes (r' < 13 mag). Nótese que el obturador de la WFC es un disco rotante, por lo cual no se introducen efectos apreciables para exposiciones de corta duración. Como estrellas estándares utilizamos las situadas en los campos ecuatoriales (Landolt 1992), concretamente: SA104-456, SA110-349, SA110-246, GD50, SA95-42, SA95-271, SA110-246, SA113-260 y SA92-347. Se observaron cada dos horas en los tres filtros y con masa de aire típica cercana a la unidad.

Para la reducción de las imágenes (*bias*, *flats* y calibración en flujo) hemos usado las rutinas estándares de *IRAF* (*Image Reduction and Analysis Facility*; Massey 1997). Para la fotometría de apertura usamos *imexam*, variando los parámetros de entrada con *rimexam*. Después de múltiples pruebas, elegimos utilizar tres iteraciones para obtener la apertura óptima en la fotometría. Este número de iteraciones resultó suficiente pues el flujo obtenido entre 3 y 4 iteraciones difería tan solo el 0.1%. El radio de la apertura utilizada varió, según el flujo de la estrella medida, entre 5 y 30 píxeles, con un valor promedio de 10 píxeles, mientras que la diferencia entre el radio interno y externo del anillo de cielo fue de 5 píxeles.

Tabla 2.1- Coordenadas ecuatoriales (α , δ) y tiempo de exposición (t) en cada filtro, de las estrellas simbióticas observadas durante el 2005 en el INT/WFC.

Fecha	Estrella	α (J2000.0)	δ (J2000.0)	Filtro	t [s]
20-04	BD -21°3873	14:16:34.31	-21:45:50.21	r'	3.1
20-04				i'	3.1
20-04				H α	19.6, 20.1
20-04	Hen 2-374	18:15:31.07	-21:35:22.81	r'	3.1
20-04				i'	3.1
20-04				H α	20.1
20-04	Hen 3-1341	17:08:36.58	-17:26:30.50	r'	4.1
20-04				i'	4.1
20-04				H α	20.1
20-04	LT Del	20:35:57.23	+20:11:27.50	r'	3.6
20-04				i'	3.6
20-04				H α	25.1
20-04	V 1329 Cyg	20:51:01.23	+35:34:54.00	r'	3.6
20-04				i'	3.6
20-04				H α	25.1
20-04	YY Her	18:14:34.19	+20:59:21.30	r'	3.5
20-04				i'	3.6
20-04				H α	25.1
17-09	Hen 2-468	20:41:18.99	+34:44:52.33	r'	3.1
17-09				i'	3.1
17-09				H α	15.1
17-09	LL Cas	23:09:20.16	+54:44:50.00	r'	3.1
17-09				i'	3.1
17-09				H α	15.1, 20.1
17-09	QW Sge	19:45:49.54	+18:36:47.80	r'	3.1
17-09				i'	3.1, 5.1
17-09				H α	15.1, 20.1
17-09	V 1016 Cyg	19:57:05.03	+39:49:36.30	r'	3.1, 3.1
17-09				i'	3.1, 3.1
17-09				H α	5.1, 5.1
17-09	V 1329 Cyg	20:51:01.23	+35:34:54.00	r'	3.1
17-09				i'	2.6
17-09				H α	15.1
18-09	HM Sge	19:41:57.09	+16:44:39.90	r'	2.5, 3.1
18-09				i'	3.1
18-09				H α	3.1
18-09	LT Del	20:35:57.23	+20:11:27.50	r'	3.1
18-09				i'	2.5, 3.1
18-09				H α	3.1
18-09	V 471 Per	01:58:49.67	+52:53:48.40	r'	3.1
18-09				i'	3.0
18-09				H α	3.1
18-09	Z And	23:33:39.95	+48:49:05.95	r'	2.5, 3.1
18-09				i'	3.1
18-09				H α	3.1

Para calcular el valor del cielo en la fotometría de apertura, optamos por la mediana de los valores (cuentas) en el anillo de cielo (usando $Xorder = 0$ e $Yorder = 0$), lo cual evita la influencia del brillo de una posible estrella cercana sobre el valor de flujo de la estrella medida. Estudiamos casos difíciles en los cuales una estrella vecina se ubicaba en el anillo de cielo de la estrella medida. Para ello tomamos un segundo anillo con un diámetro interior ligeramente superior al primero y en el cual no existiese ninguna estrella. La discrepancia entre los flujos obtenidos con uno u otro anillo de cielo no superó el 0.2%. En esta prueba incluimos también estrellas vecinas con brillo comparable al de la estrella a medir. También comprobamos los flujos obtenidos con *imexam* y otras tareas para la fotometría de *IRAF*. Para ello utilizamos las imágenes de estrellas estándares y simbióticas, correspondientes a uno de los días de observación. Como herramienta utilizamos la tarea *qphot* con tres radios de apertura fijos para cada estrella. La discrepancia obtenida para la magnitud instrumental, determinada con *qphot* y con *imexam*, difería a lo sumo en la centésima de magnitud, para todos los casos.

Una vez realizadas las mediciones de flujo de todas las estrellas estándares y simbióticas, procedimos al cálculo de la magnitud instrumental. El coeficiente de extinción atmosférica en el filtro r' de Sloan para cada noche de observación lo tomamos directamente de las mediciones del Telescopio Meridiano Carlsberg en el ORM (http://www.ast.cam.ac.uk/~dwe/SRF/camc_extinction.html). A partir de la extinción en r' y reescalando la curva de extinción promedio del ORM (<http://www.ing.iac.es/Astronomy/observing/conditions/wlEXT.html>), obtuvimos la extinción en el resto de los filtros. Con esos datos y utilizando los valores de magnitud instrumental de las estrellas estándares medidos y sus correspondientes magnitudes reales (Landolt 1992), hallamos los puntos cero de calibración, que se muestran en la tabla 2.2, para las diferentes fechas de observación. Para las estrellas estándares se supuso que la magnitud en $H\alpha$ era igual que la magnitud en r' (Drew et al. 2005).

Tabla 2.2 - Puntos cero de calibración de las observaciones adicionales.

Fecha	k_1 ($H\alpha$) [mag]	k_1 (r') [mag]	k_1 (i') [mag]
20-04-2005	21.45	24.59	23.97
17-09-2005	21.59	24.73	24.11
18-09-2005	21.57	24.71	24.09

De esta forma, teniendo κ y k_1 para cada banda fotométrica, la masa de aire, el tiempo de exposición y el flujo medido de las simbióticas observadas, es posible obtener la magnitud (m) en cada filtro, por medio de la expresión 2.1. Los errores estimados, incluyendo los de la fotometría de los objetos, la calibración fotométrica y la extinción atmosférica son típicamente de cinco centésimas de magnitud.

Por otro lado, hemos incluido también otras estrellas simbióticas, resultado de una observación adicional anterior (2 de junio de 2004) y del registro no saturado de una observación de *IPHAS* del sistema V1413 Aql (tabla 2.3). En estos casos las imágenes fueron reducidas automáticamente por *CASU*, según el procedimiento detallado en Irwin y Lewis (2001) e Irwin et al. (2005). Finalmente, hemos ampliado nuestra muestra con la fotometría sintética de 17 estrellas simbióticas (tabla 2.4) obtenida tras convolucionar los espectros calibrados en flujo con la curva de respuesta de los filtros de *IPHAS* y de la *WFC*. Dicha fotometría fue amablemente realizada por Joanna Mikolajewska para el presente trabajo. En los casos en que la magnitud i' no pudo ser obtenida del espectro, se adoptó el color ($r' - i'$) promedio de las observaciones reportadas por Munari et al. (1992), para la estrella en cuestión.

Tabla 2.3 - Otras estrellas simbióticas observadas en IPHAS.

Objeto	α (J2000.0)	δ (J2000.0)
Draco C-1	17:19:57.66	+57:50:05.50
ALS 2	17:50:51.12	-17:47:57.19
AS 245	17:51:00.92	-22:19:35.00
MaC 1-9	17:55:52.68	-14:06:49.10
V1413 Aql	19:03:46.83	+16:26:17.10

En resumen, disponemos de una muestra de 38 estrellas simbióticas (28 de tipo S y 10 de tipo D) con magnitudes y colores completamente consistentes con los producidos por el catálogo fotométrico de *IPHAS*. Será la muestra de referencia principal para el desarrollo de nuestro criterio de selección. Además, hemos utilizado los colores del IRC de *2MASS* como herramienta de selección. Ya mencionamos en los apartados 1.1 y 1.3 que estos colores infrarrojos no solamente dividen a las simbióticas en dos grupos claramente definidos (S y D) sino que distinguen a éstas de otras clases de objeto. El catálogo *2MASS* contiene la fotometría IRC de 153 estrellas simbióticas del catálogo de Belczynski et al. (2000), es decir, incluye a la mayoría de los sistemas conocidos.

Tabla 2.4 – Estrellas cuya fotometría fue obtenida a partir de su espectro.

Objeto	α (J2000.0)	δ (J2000.0)
AG Dra	16:01:41.01	+66:48:10.14
AG Peg	21:51:02	+12:37:29
AX Per	01:36:22.71	+54:15:02.40
Hen 3-1092	15:47:10.50	-66:29:16.20
Hen 2-173	16:36:24.64	-39:51:44.41
V 455 Sco	17:07:21.73	-34:05:14.50
M 1-21	17:34:17.22	-19:09:23.00"
AE Ara	17:41:04.91	-47:03:27.00
V2416 Sgr	17:57:16.03	-21:41:29.00
AS 281	18:10:43.86	-27:57:50.10
RX Pup	08:14:12.31	-41:42:29.03
Hen 2-38	09:54:43.29	-57:18:52.40
Hen 2-147	16:14:01.10	-56:59:28.00
Hen 2-171	16:34:04.25	-35:05:26.80
H 2-38	18:06:01.16	-28:17:04.20
Hen 2-104	14:11:52.06	-51:26:24.10
Hen 2-106	14:14:09.41	-63:25:46.30

2.3.2 Otras clases de objeto

Para caracterizar las propiedades fotométricas de las estrellas simbióticas hemos investigado otras clases de objeto que pueden confundirse con ellas por presentar colores *IPHAS* similares, ya sea por tener una emisión H α significativa o porque su tipo espectral es similar al de la componente fría del sistema simbiótico. Utilizando observaciones tanto de *IPHAS* como adicionales, disponemos de las magnitudes r' , i' y H α de 59 nebulosas planetarias (Viironen 2006, comunicación personal), 52 variables cataclísmicas (Witham et al. 2006), 22 estrellas T Tauri (Greimel 2006, comunicación personal), 41 estrellas B con líneas de emisión (Be) y 100 estrellas variables de tipo Mira (Rodríguez-Flores 2006).

Los datos fotométricos de todos los objetos que forman estas muestras fueron obtenidos de la base de datos de *CASU*. La reducción automática empleada por *CASU* proporciona una clasificación del objeto definida por la calidad de la imagen y la calidad de la información que se mide (apartado 2.1). Con estos parámetros el usuario puede verificar la calidad de los datos fotométricos. En nuestro caso, cada una de las muestras fue

examinada minuciosamente para eliminar cualquier fuente de error en la fotometría de *IPHAS* no detectada por la reducción automática de *CASU*. Estas mediciones erróneas pueden originarse por ser los objetos extensos, por la existencia de una estrella vecina (no separable con la *Point Spread Function, PSF*, del *INT*) o por posibles errores en las coordenadas (la menos frecuente).

Para situar las estrellas de la secuencia principal (O5V - M6V) y las gigantes (O8III - M5III) en el DCC de *IPHAS* ($r' - H\alpha$) vs. ($r' - i'$), utilizamos los colores sintéticos obtenidos para diferentes tipos espectrales (trazas sintéticas). Tanto los valores numéricos generados, como las referencias de los modelos y librerías de espectros utilizados, se pueden consultar en Drew et al. (2005).

Respecto a los datos infrarrojos de *2MASS*, disponemos de 285 nebulosas planetarias (Ramos-Larios y Phillips 2005), 444 estrellas T Tauri (Dahm y Simon 2005), 52 estrellas variables cataclísmicas, 100 variables de tipo Mira, y 69 estrellas Be (Rodríguez-Flores 2006). Estas muestras incluyen a la mayoría de los objetos con fotometría *IPHAS* citados anteriormente. Para representar la traza de las estrellas de la secuencia principal (B8V - M6V) y las gigantes (G0III - M7III) en el plano de colores del IRC utilizamos los datos fotométricos de Bessell y Brett (1988) transformados al sistema fotométrico de *2MASS* (JHKs), según las relaciones dadas por Carpenter (2001). Para tener en cuenta el desplazamiento que sufren tanto estas trazas como las utilizadas en el plano de colores *IPHAS*, para diferentes valores de la extinción interestelar en V, empleamos las expresiones analíticas derivadas del modelo de extinción de Howarth (1983).

2.4 Interpretación de los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*

2.4.1 DCC ($r' - H\alpha$) vs. ($r' - i'$) de *IPHAS*

La herramienta principal que usaremos para la selección de candidatos a estrellas simbióticas es el DCC ($r' - H\alpha$) vs. ($r' - i'$) de *IPHAS*. Como en todo DCC, la posición de un objeto no depende en primera aproximación de su distancia, sino solamente a través del enrojecimiento que sufre (a mayor distancia suele corresponder mayor enrojecimiento, lo cual desplaza la posición del objeto en el diagrama). El eje de las ordenadas del DCC de *IPHAS* ($r' - H\alpha$) cuantifica la emisión (o absorción) en $H\alpha$ respecto al continuo adyacente

(a mayor emisión en H α los objetos aparecerán más arriba) mientras que el eje de las abscisas ($r' - i'$) informa de la temperatura superficial de los objetos. El color ($r' - i'$) está más afectado por el enrojecimiento interestelar que el ($r' - H\alpha$); por tanto, los objetos se desplazarán más a la derecha cuanto más enrojecidos estén.

En la práctica, el color ($r' - H\alpha$) nos permite separar los objetos con fuerte emisión en H α , como las estrellas simbióticas, de la generalidad de objetos presentes en la Galaxia (mayormente estrellas normales). Sin embargo, esperamos cierta contaminación⁵ en nuestra búsqueda, ya que los sistemas simbióticos aparecerán junto a otros objetos con emisión H α intensa (nebulosas planetarias, estrellas T Tauri, estrellas Be, etc.). Por ello es importante incluir en los DCCs muestras de referencia de todos esos objetos, tal como se discutió en el apartado 2.3.2. La figura 2.7 muestra la posición de las estrellas simbióticas conocidas y de los objetos de referencia en el DCC ($r' - H\alpha$) vs. ($r' - i'$).

Los diferentes tipos de objeto se codifican en la figura 2.7 de la siguiente manera: las estrellas simbióticas de tipo S se representan como cuadrados rojos y las de tipo D como cuadrados azules. En el caso de disponer de varias mediciones de un mismo objeto obtenidas en diferentes épocas, se representan los colores medios, ya que la dispersión de los sistemas simbióticos en este diagrama es suficientemente grande para cubrir su variabilidad intrínseca. Las nebulosas planetarias (PN) se representan con asteriscos negros, las variables cataclísmicas (CV) con circunferencias verdes, las estrellas Be (Be) con rombos negros, las estrellas T Tauri (T Tau) con cuadrados de color amarillo oscuro y las variables de tipo Mira (Mira) con triángulos de color granate. También se representan en la figura 2.7 las trazas sintéticas correspondientes a la secuencia principal (MS) (línea continua) y a las gigantes (G) (línea de puntos), para los casos de enrojecimiento $E(B-V) = 0$ y 4 mag (ver Drew et al. 2005). La traza de las supergigantes se ha omitido por claridad (queda por debajo, pero muy cercana, a la traza de las gigantes). En la figura 2.7 no se han representado los errores, pues el tamaño de los símbolos usados es siempre mayor que las barras de error.

⁵ Es importante aclarar que llamaremos “contaminantes” a aquellos objetos que, sin ser estrellas simbióticas, se ubican en los DCCs en las zonas donde aquellas aparecen. Sin embargo, podría tratarse de objetos nuevos como nebulosas planetarias, variables cataclísmicas, etc., tan interesantes como los sistemas simbióticos que buscamos.

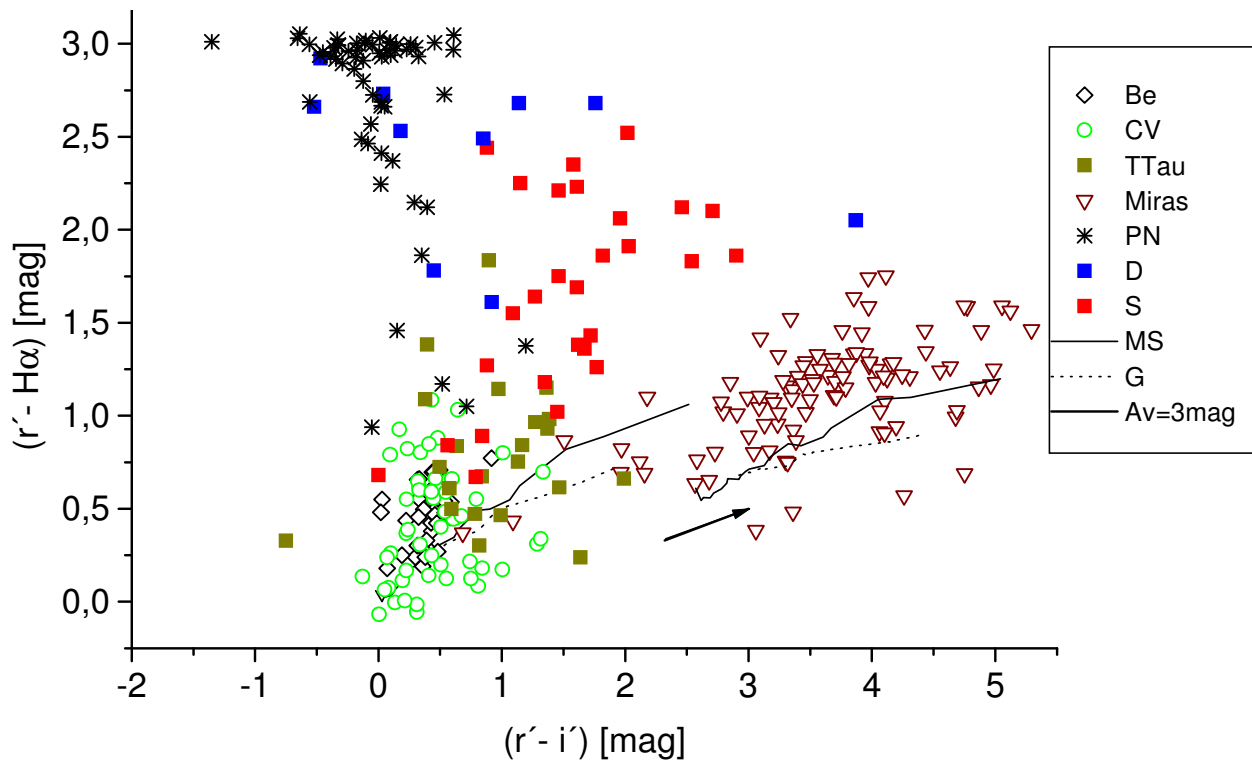


Figura 2.7 - DCC ($r'-H\alpha$) vs. ($r'-i'$) de IPHAS para diferentes clases de objeto. Aparecen representadas las trazas de las estrellas de la secuencia principal (MS) con diferentes tipos espectrales y las gigantes (G), ambas sin enrojecimiento (inferior central) y con enrojecimiento de $E(B-V) = 4$ mag (inferior derecha). La nomenclatura utilizada en la leyenda se explica en el texto.

Los colores de los objetos representados en el DCC de la figura 2.7 se calcularon a partir de magnitudes sin corregir de extinción interestelar debido a que no conocemos en todos los casos los valores del enrojecimiento. Pero, como se verá más adelante en el apartado 3.5, el desplazamiento que sufren los objetos debido a la extinción interestelar no cambia significativamente los resultados. En la figura 2.7 se representa también el vector de enrojecimiento para estrellas normales, calculado a partir de las expresiones analíticas de Howarth (1983), que mide cuánto se desplazaría un objeto si sufriera una extinción en V (A_v) de 3 mag.

Como es de esperar, las nebulosas planetarias se ubican en la parte superior de la figura 2.7 debido a su espectro característico de líneas de emisión sobre un continuo débil. Muchas de ellas están cercanas al valor límite $(r'-H\alpha) \sim 3.1$ correspondiente a la emisión pura de $H\alpha$ para fuentes “ideales”, es decir, cuando todo el flujo en las bandas $H\alpha$ y r' proviene de la línea $H\alpha$. Por su parte, las estrellas simbióticas S y D se ubican en una

zona por debajo de las planetarias, aunque solapándose con ellas, y cubren un mayor rango en el color ($r' - i'$).

Las estrellas simbióticas con el menor valor del color ($r' - H\alpha$) son BD -21 3873, AG Dra y LT Del, y pertenecen al subgrupo de las “simbióticas amarillas”. Los miembros de este subgrupo se caracterizan por tener un ancho equivalente⁶ de la línea $H\alpha$ ($EW(H\alpha)$) inferior al resto de las simbióticas, lo que explica su posición en el DCC. Por encima de estas tres estrellas, y ocupando una posición central en el diagrama, se localizan todas las simbióticas de tipo S con componente fría tardía (de tipo espectral M).

Por su parte, los sistemas simbióticos de tipo D, poseen un color ($r' - H\alpha$) generalmente superior a las S y similar al de las nebulosas planetarias, algo ya discutido por varios autores en el pasado (ver Kenyon 1986 y Corradi 2003). Ambos autores han remarcado lo complicado que resulta la distinción entre algunos casos de simbióticas D y nebulosas planetarias.

El único caso con el que se cuenta de estrella simbiótica de tipo D' (V471 Per), se localiza en la zona baja de las simbióticas de tipo D debido a su pequeño exceso en $H\alpha$. Sin embargo, su posición es similar a la de Hen 2-147 y cae por encima de la de RX Pup, ambas simbióticas de tipo D en proceso de “recuperación” tras una explosión como nova simbiótica (Munari 1997, Mikolajewska et al. 1999).

Las estrellas Be, las T Tauri y las variables cataclísmicas muestran un moderado exceso en $H\alpha$ y se ubican por encima pero cerca de las estrellas de la secuencia principal, como veremos más adelante con detalle. En el extremo inferior derecho del DCC se localizan las estrellas variables de tipo Mira, las cuales sólo a veces muestran la línea de $H\alpha$ en emisión. Su elevado color ($r' - i'$) que supera generalmente al del resto de objetos, es debido a la combinación de una fotosfera fría ($T_{\text{eff}} \sim 2500$ K) y, en muchos casos, al gran enrojecimiento causado por el polvo circunestelar. En este diagrama es notable la separación de las variables Miras respecto a cualquier tipo de estrella simbiótica.

Además del comportamiento general de las distintas muestras de objetos, es interesante destacar algunos casos puntuales. Por ejemplo, unas pocas nebulosas planetarias se

⁶ De acuerdo con la definición, el ancho equivalente de una línea de emisión es un valor negativo pero en aras de simplificar la discusión, en esta tesis lo usaremos con signo positivo. De esta forma, los mayores valores de ancho equivalente corresponden a una mayor emisión de la línea de $H\alpha$.

localizan lejos de la zona ocupada por la mayoría de las planetarias en el DCC de *IPHAS* (figura 2.7), mostrando colores ($r' - H\alpha$) relativamente pequeños. No hemos encontrado espectros en la literatura que nos permitan investigar y entender el comportamiento de estos objetos peculiares.

2.4.2 DCC (J-H) vs. (H-Ks) de 2MASS

Como discutimos en el apartado 1.3, el DCC (J - H) vs. (H - Ks) de 2MASS es una herramienta muy útil para refinar y completar la selección de estrellas simbióticas. En la figura 2.8 presentamos el DCC 2MASS para los mismos tipos de objeto, pero usando muestras más numerosas, que las utilizadas en el DCC *IPHAS* (apartado anterior). Los datos fotométricos los hemos tomado directamente del catálogo 2MASS y la simbología utilizada es la misma que la figura 2.7. Los colores 2MASS utilizados son los observados (no corregidos de extinción interestelar).

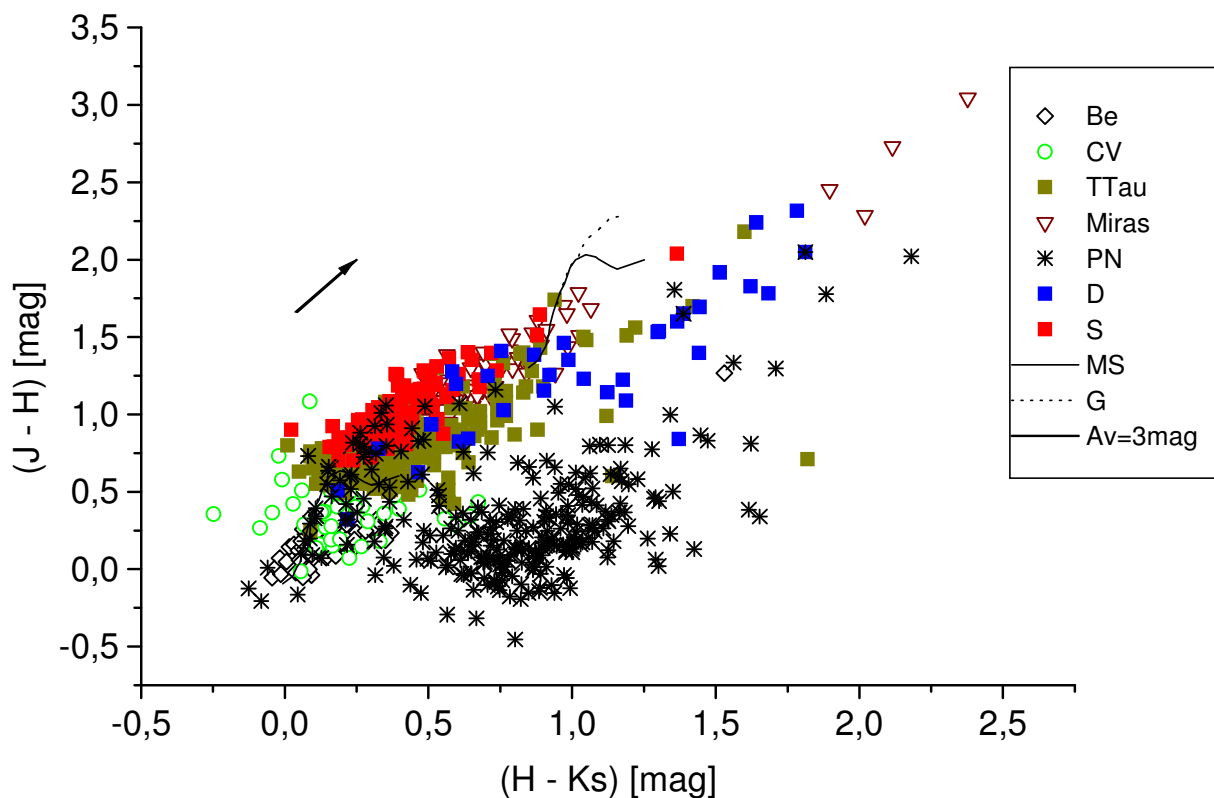


Figura 2.8 – Igual que la figura 2.7, para el DCC (J - H) vs. (H - Ks) de 2MASS.

La figura 2.8 muestra que, de acuerdo con su definición original (Allen y Glass 1974), las estrellas simbióticas de tipo S tienen colores IRC típicos de estrellas *RGB*, aunque ocupan zonas más hacia arriba y a la derecha debido a su mayor enrojecimiento. Salvo algunos

objetos aislados, los integrantes de este grupo forman un cúmulo compacto en el diagrama. Por el contrario, las de tipo D aparecen más dispersas, mostrando un amplio rango en los colores IRC. Phillips (2007) explica este comportamiento mediante modelos con dos componentes: emisión estelar de una fotosfera con $T_{\text{eff}} \sim 2500$ K y emisión de granos de polvo circunestelares (básicamente de silicatos) con temperaturas entre 600 y 1000 K.

Las simbióticas amarillas y las D' se ubican en la parte baja de la zona ocupada por el resto de sistemas simbióticos. Las primeras aparecen concentradas en una región muy reducida debajo de las simbióticas de tipo S. En contraposición, las del subgrupo D' aparecen dispersas, con integrantes localizados en la zona baja tanto de las simbióticas S como las D.

Las estrellas Be se concentran en la parte baja del DCC (extremo izquierdo de la figura 2.8), superpuestas con las variables cataclísmicas que presentan colores típicos algo por encima de aquellas. Ambas clases de objeto no representan un contaminante importante para las estrellas simbióticas en este diagrama. No ocurre lo mismo con las estrellas T Tauri y las variables de tipo Mira. Las primeras se solapan con las simbióticas de tipo S situándose inmediatamente debajo de ellas y con las simbióticas de tipo D en toda la amplia zona que ocupan. Las estrellas variables de tipo Mira, por su parte, se solapan en este diagrama con las simbióticas. Sin embargo, esta última situación no es preocupante pues, como vimos en el apartado anterior, las variables de tipo Mira no se mezclan con las estrellas simbióticas en el DCC *IPHAS*.

En el caso de las nebulosas planetarias, la mayoría de ellas se concentran, como vimos en el apartado 1.3.4, en la zona alrededor de $(J - H) \cong 0.1$ mag y $(H - K_s) \cong 0.8$ mag, lo cual es indicativo de que el flujo medido se debe a la emisión del gas de la nebulosa (Ramos-Larios y Phillips 2005). También discutimos en ese apartado, la presencia de algunos objetos catalogados como nebulosas planetarias que tienen colores $(J - H)$ y $(H - K_s)$ mucho más extremos, típicos de estrellas simbióticas de tipo D (tabla 2.5).

Whitelock (1987) encontró un límite inferior para el color de las estrellas simbióticas de tipo Mira de 1.6 mag en $(J - K)$. Por otra parte, Schmeja y Kimeswenger (2003) encuentran un valor similar como límite superior en ese color para las nebulosas planetarias. Entre los objetos de la tabla 2.5, todos con color $(J - K_s) > 1.6$ mag, se

encuentra la nebulosa M 2-9, sospechosa de ser una Mira simbiótica (Schmeja y Kimeswenger 2001).

Tabla 2.5 - Magnitudes en las bandas JHKs y colores (H-Ks), (J - H) y (J - Ks) de las nebulosas planetarias que se ubican en la zona típica de estrellas simbióticas de tipo D.

Nombre	J [mag]	H [mag]	Ks [mag]	H-Ks [mag]	J-H [mag]	J-Ks [mag]
He 2-25	13.41	12.12	10.41	1.71	1.29	3.00
PM 1-339	14.44	13.11	11.55	1.56	1.33	2.89
He 2-171	9.68	8.03	6.64	1.39	1.65	3.04
V _O 1	11.97	10.19	8.31	1.88	1.78	3.66
H 1-12	10.43	8.63	7.27	1.36	1.80	3.16
M 2-9	11.20	9.18	7.00	2.18	2.02	4.20

2.4.3 Estrellas Be clásicas

Las estrellas Be, así como las T Tauri, son objetos muy frecuentes en el plano galáctico, por lo que merecen un análisis detallado. En primer lugar, hemos usado los colores *IPHAS* observados en una muestra de estrellas Be pertenecientes a los cúmulos estelares NGC 663, NGC 869 y NGC 884 (enrojecidos por $A_v \sim 2$ mag) y NGC 7419 (enrojecido por $A_v \sim 6$ mag). El resultado se muestra en la figura 2.9 (diagrama superior), donde hemos dibujado con línea continua el área de forma romboidal que representa la región ocupada por las estrellas Be sin enrojecer, con líneas de puntos la correspondiente a un enrojecimiento de $A_v = 2$ mag y con líneas de trazos la correspondiente a $A_v = 6$ mag.

En segundo lugar, hemos usado los datos fotométricos *2MASS* de una muestra de 1148 estrellas Be estudiada por Zhang et al. (2005); esta muestra incluye a la mayoría de los objetos de esta clase conocidos en la Galaxia. Zhang et al. reportan el valor de la extinción para cada estrella, así que hemos desenrojecido sus colores y los hemos representado en el diagrama inferior de la figura 2.9 como puntos. Además, hemos incluido los datos *2MASS* (sin desenrojecer) de las estrellas Be de los cuatro cúmulos antes mencionados (cuadrados vacíos y llenos).

Como ejercicio de consistencia, hemos aplicado un enrojecimiento de $A_v = 2$ mag y 4 mag a las 1148 estrellas Be de Zhang et al. (2005), obteniendo un desplazamiento de la región

intrínseca de las estrellas Be sin enrojecimiento (área romboidal de lados continuos) hasta las áreas delimitadas con puntos y trazos, respectivamente, tal como se muestra en el diagrama inferior de la figura 2.9. Está claro que las tres muestras representadas son consistentes y su ubicación particular en los DCCs corresponde efectivamente a un solo parámetro: la extinción que sufren.

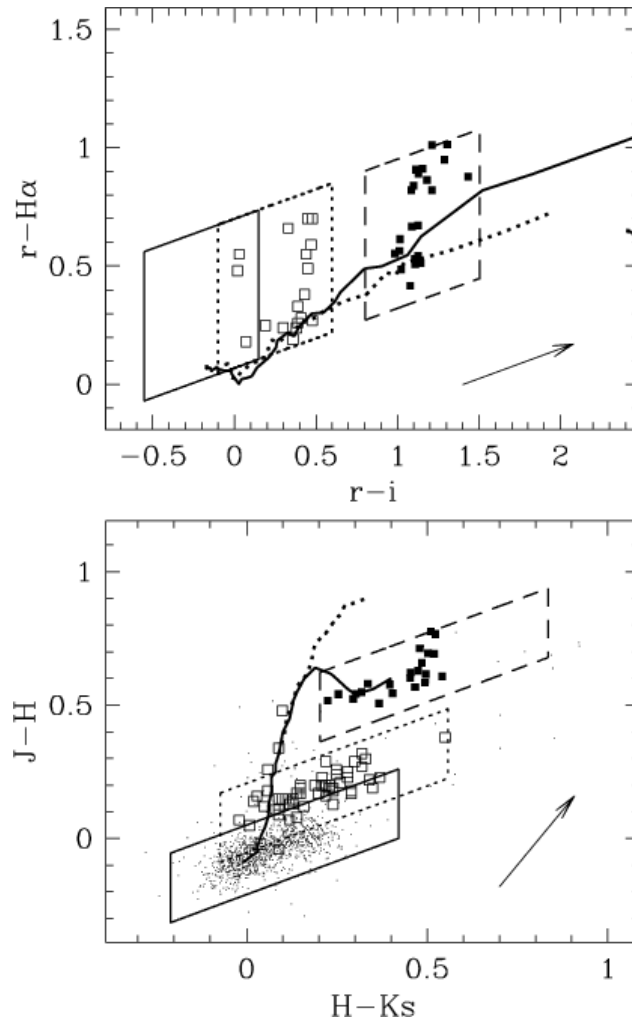


Figura 2.9 - Ubicación de las estrellas Be conocidas en los DCCs de IPHAS (diagrama superior) y 2MASS (diagrama inferior). Los puntos indican los colores desenrojecidos de 1148 estrellas Be de Zhang et al. (2005), los cuadrados vacíos representan los colores observados de estrellas Be pertenecientes a los cúmulos NGC 663, NGC 869 y NGC 884, y los cuadrados llenos son los correspondientes a las estrellas Be de NGC 7419.

Para fijar el límite superior de la región que podrían ocupar las estrellas Be en el DCC IPHAS, unimos con una recta los tres lados superiores de las cajas correspondientes a los diferentes valores de enrojecimiento (0, 2 y 4 mag) en la figura 2.9 (superior). La recta límite se puede expresar matemáticamente como $(r' - H\alpha) = 0.25 \cdot (r' - i') + 0.65$. No

esperamos estrellas Be con colores *IPHAS* por encima de ese límite, o bien serán casos aislados. De esta forma, podemos considerar como buenos candidatos a estrellas Be, aquellos cuyos colores *IPHAS* y *2MASS* sean tales que se ubiquen en las regiones delimitadas en los diagramas de la citada figura.

En resumen, conocemos bien la región ocupada por las estrellas Be con extinción interestelar desde $A_v = 0$ a 6 mag y podemos, ciertamente, extrapolar este resultado a extinciones aún mayores, tal como las que se esperan en algunas zonas de *IPHAS*. Nuestra meta final es fijar un límite inferior adecuado para la región de búsqueda de estrellas simbióticas donde la contaminación por estrellas Be sea la menor posible, cosa que abordaremos en el apartado 2.5.

2.4.4 Estrellas T Tauri

Como vimos en los apartados 2.4.1 y 2.4.2, las estrellas T Tauri son también contaminantes muy importantes para las simbióticas en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*. Hemos usado los datos fotométricos y espectroscópicos de una muestra de 444 estrellas T Tauri obtenidas de Dahm y Simon (2005) pertenecientes al joven cúmulo estelar NGC 2264, el cual sufre una extinción interestelar de $A_v = 0.22$ mag y es rico en objetos pre-secuencia principal con emisión $H\alpha$. No existe fotometría *IPHAS* de esa muestra, pero usaremos la proporcionalidad existente entre el $EW(H\alpha)$ medido y el color ($r' - H\alpha$) (ver Drew et al. 2005). La figura 2.10 muestra que más de la mitad de esas T Tauri (52%) presentan valores de $EW(H\alpha)$ iguales o inferiores a 10 \AA , disminuyendo abruptamente el número de objetos que presentan valores superiores. En particular, los objetos con $EW(H\alpha) > 200 \text{ \AA}$ constituyen casos aislados en la muestra de Dahm y Simon (2005); son 14 objetos (3% del total) y por ello no se han representado en la figura.

Usando ahora nuestras medidas del $EW(H\alpha)$ para las 82 simbióticas del “Atlas de alta resolución de estrellas simbióticas” de Van Winckel et al. (1993) e Ivison et al. (1994), estimamos un límite inferior de $EW(H\alpha) = 60 \text{ \AA}$ para las simbióticas, ya que es el valor típico medido para las cuatro simbióticas amarillas de las que hay datos (BD -21 3873, AG Dra, LT Del y CD -43 14304). Adoptando ese valor, la figura 2.10 nos indica que un 16% (71 objetos) de las 444 estrellas T Tauri de la muestra de Dahm y Simon (2005) aparecerían como contaminantes en la región de simbióticas del DCC *IPHAS*. En la figura 2.11 se observa dónde se ubican esas 71 estrellas en el DCC *2MASS*.

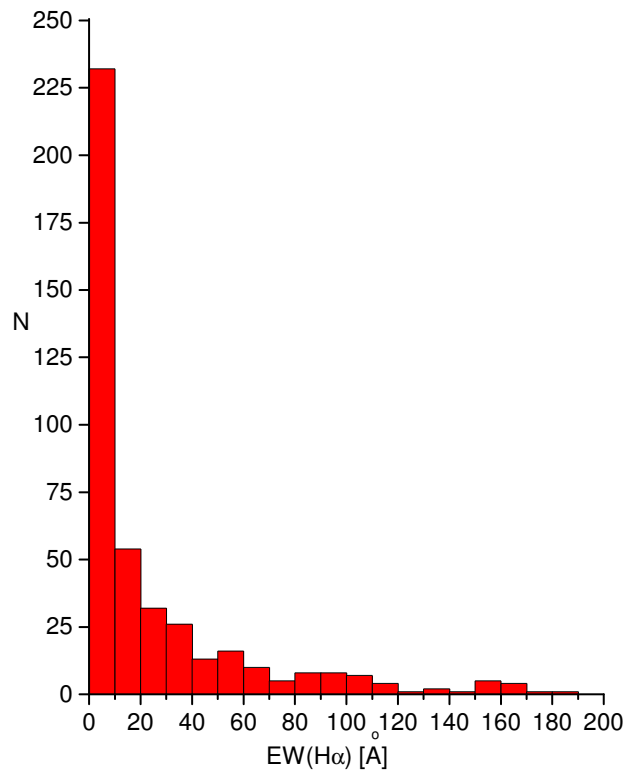


Figura 2.10 - Distribución de $EW(H\alpha)$ para 444 estrellas T Tauri de la muestra de Dahm y Simon (2005). No se representan los 14 objetos que tienen $EW(H\alpha) > 200 \text{ \AA}$.

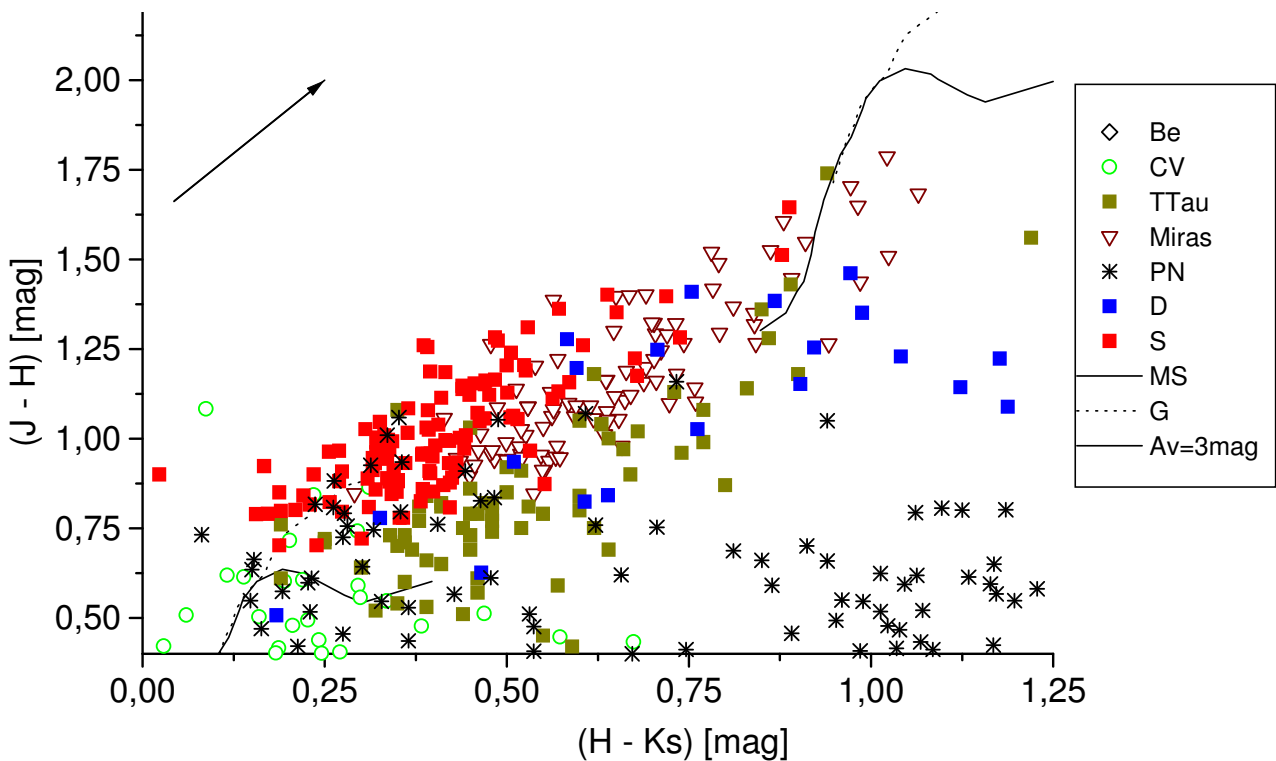


Figura 2.11 - Ampliación de la zona ocupada en el DCC 2MASS por las simbióticas de tipo S y parte baja de la región de las simbióticas D, mostrando las 71 estrellas T Tauri de Dahm y Simon (2005) que tienen $EW(H\alpha) \geq 60 \text{ \AA}$ (cuadrados amarillos).

Las T Tauri se distribuyen paralelamente y por debajo de las simbióticas de tipo S. Aunque hay cierto solapamiento entre ambos tipos de objeto, la contaminación es menor que la producida por las variables Mira (figura 2.11). Sin embargo, las zonas de las simbióticas de tipo D y de las estrellas T Tauri sí se solapan completamente y, por ello, se espera que en el DCC *2MASS* las T Tauri sean más frecuentes en la región de las simbióticas de tipo D que en las de tipo S. En el DCC *IPHAS* ocurre justo lo contrario, como vimos anteriormente, lo que mitiga un poco el problema. De cualquier forma, la significativa superposición de las estrellas T Tauri con las simbióticas en ambos DCCs las convierte en el contaminante más importante en nuestra búsqueda de nuevas estrellas simbióticas en el plano de la Galaxia.

2.5 Criterio para la selección de candidatos a sistema simbiótico galáctico

2.5.1 DCCs de *IPHAS* y *2MASS*

En esta sección estableceremos, sobre la base de la caracterización fotométrica realizada anteriormente en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*, los límites de las regiones dominadas por las estrellas simbióticas. A estas regiones las llamaremos informalmente "cajas" y definirán las zonas de búsqueda de estrellas simbióticas.

Como vimos, las simbióticas de tipo S y D aparecen en el DCC *IPHAS* en regiones solapadas pero diferentes (figura 2.7). Sin embargo, el escaso número de sistemas D que cuentan con datos *IPHAS* no nos permite realmente definir una caja para este grupo. Por ello, usaremos en el DCC *IPHAS* una sola caja para ambos tipos, S y D, dejando al DCC *2MASS* la tarea de separar los integrantes de cada grupo.

La inecuación $(r' - H\alpha) \geq 0.25 \cdot (r' - i') + 0.65$ representa un límite inferior razonable para la caja de las simbióticas en el DCC de *IPHAS* ya que es un término medio entre la cantidad de simbióticas presentes y el número de contaminantes. Nótese que ese límite es una línea inclinada paralela al vector de enrojecimiento, para así tener en cuenta la influencia de la extinción interestelar en el color observado de los objetos. Adoptando ese límite quedan incluidas todas las estrellas simbióticas de la muestra utilizada (ver apartado 2.3.1) excepto la simbiótica amarilla BD -21 3873. Además, como analizamos en los

apartados 2.4.3 y 2.4.4, se minimiza la presencia de estrellas Be y T Tauri, que son los contaminantes más frecuentes en la parte baja de esta caja. Por otro lado, el límite superior de la caja de simbióticas vendrá dado por el color ($r' - H\alpha$) correspondiente a una fuente de emisión $H\alpha$ pura, es decir $(r' - H\alpha) = 3.1$ mag.

Para establecer los límites izquierdo y derecho de la caja de búsqueda de simbióticas es necesario conocer el rango de color ($r' - i'$) que pueden presentar esos objetos y para ello hemos buscado en la literatura datos fotométricos de simbióticas en los filtros r' e i' . Sin embargo, el sistema fotométrico de Sloan es relativamente reciente y existen pocos datos en esos filtros, así que hemos incluido también bandas fotométricas más frecuentes de encontrar en la literatura y que pueden transformarse al sistema de Sloan, en concreto los catálogos fotométricos publicados por Munari et al. (1992) y Henden y Munari (2008).

Ambos catálogos contienen varias mediciones, cercanas en el tiempo, para cada objeto así que hemos utilizado sus promedios. Las magnitudes R_c e I_c y el color ($R_c - I_c$) (en el sistema fotométrico de Cousins) se transformaron al sistema fotométrico de Sloan usando las fórmulas determinadas para la *Wide Field Camera* del telescopio *INT* (<http://www.ast.cam.ac.uk/~wfcsur/technical/photom/colours>). Todas las estrellas simbióticas utilizadas en la construcción del DCC *IPHAS* están incluidas en aquellos dos catálogos y hemos comprobado que la fotometría promedio que calculamos es consistente, una vez transformada al sistema Sloan, con las medidas reales nuestras (ver apartado 2.3.1).

Sumando todos los objetos en ambas muestras, contamos en total con 84 estrellas simbióticas (45% de todas las conocidas, según Belczynski et al. 2000) con datos del color ($r' - i'$). Para determinar el rango de colores intrínsecos $(r' - i')_0$ de la muestra utilizamos los valores de extinción interestelar A_v calculados por Whitelock y Munari (1992). En la figura 2.12 se observa la distribución del color observado ($r' - i'$) y su valor intrínseco $(r' - i')_0$. Una comparación entre las medias de ambas distribuciones, usando el método del contraste de hipótesis y la prueba estadística z (Freund 1960), indica que ambas medias son iguales a un nivel de significatividad de 0.05). Esto nos dice que el desplazamiento sufrido por la muestra debido a la extinción es despreciable respecto al rango intrínseco del color. Este es un resultado esperado por tratarse, en general, de objetos brillantes y relativamente cercanos.

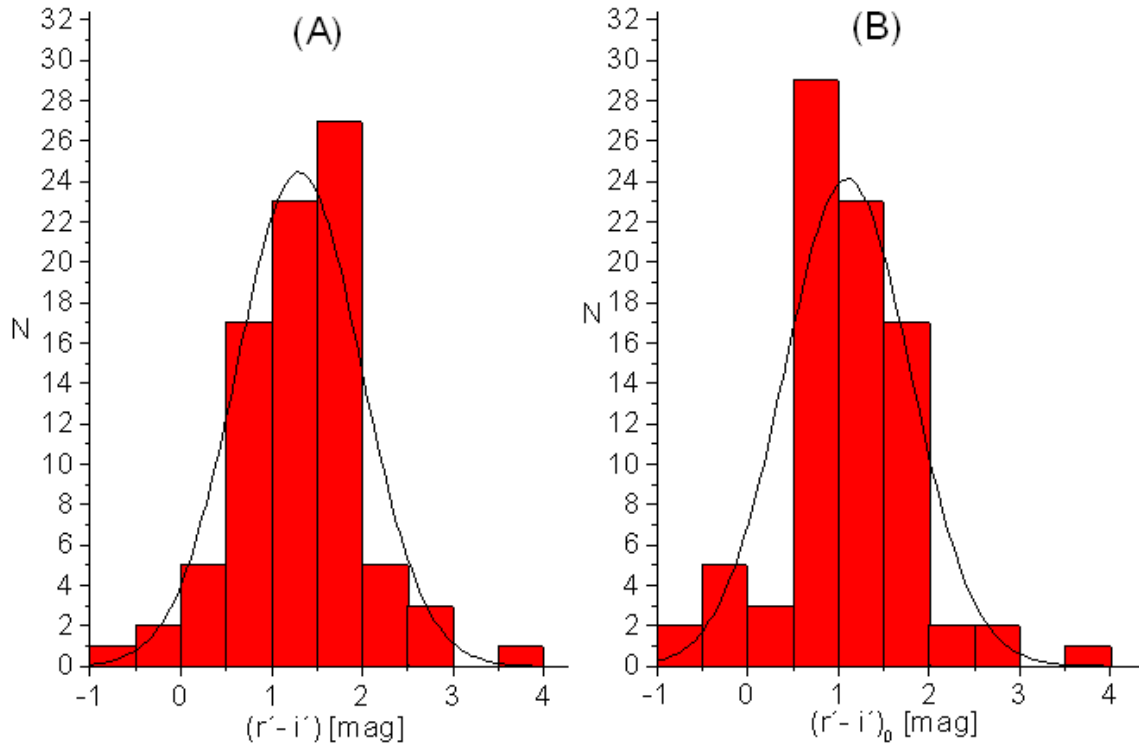


Figura 2.12 - Distribución del color observado ($r' - i'$) (A) y su valor intrínseco (B) para la muestra de 84 estrellas simbióticas (ver texto). El valor medio de la curva normal ajustada a la distribución A es de 1.3 mag y la desviación estándar (σ) de 0.7 mag mientras que para la distribución B es de 1.1 mag (media) y 0.7 mag (σ).

Respecto al límite izquierdo de la caja de búsqueda, la figura 2.12 muestra que el valor $(r' - i') = -0.7$ mag es adecuado, pues corresponde a 3σ por debajo de la media. Además, es un valor inferior al menor color de los presentes en la muestra, correspondiente a Hen 2-104 ($(r' - i')_0 = -0.64$ mag). Finalmente, no es necesario que fijemos un límite derecho porque en la exploración de *IPHAS* esperamos detectar objetos muy enrojecidos por el polvo presente en el plano galáctico. En la figura 2.13 representamos la caja adoptada para las simbióticas en el DCC de *IPHAS*.

Es de destacar en la figura 2.13 la presencia de una simbiótica de tipo D con un color ($r' - i'$) muy elevado, cercano a 4 mag. Se trata de Hen 2-147, una nova simbiótica cuyo color se debe probablemente a la combinación de la emisión del gas de la nebulosa ionizada y la de la estrella variable Mira que contiene.

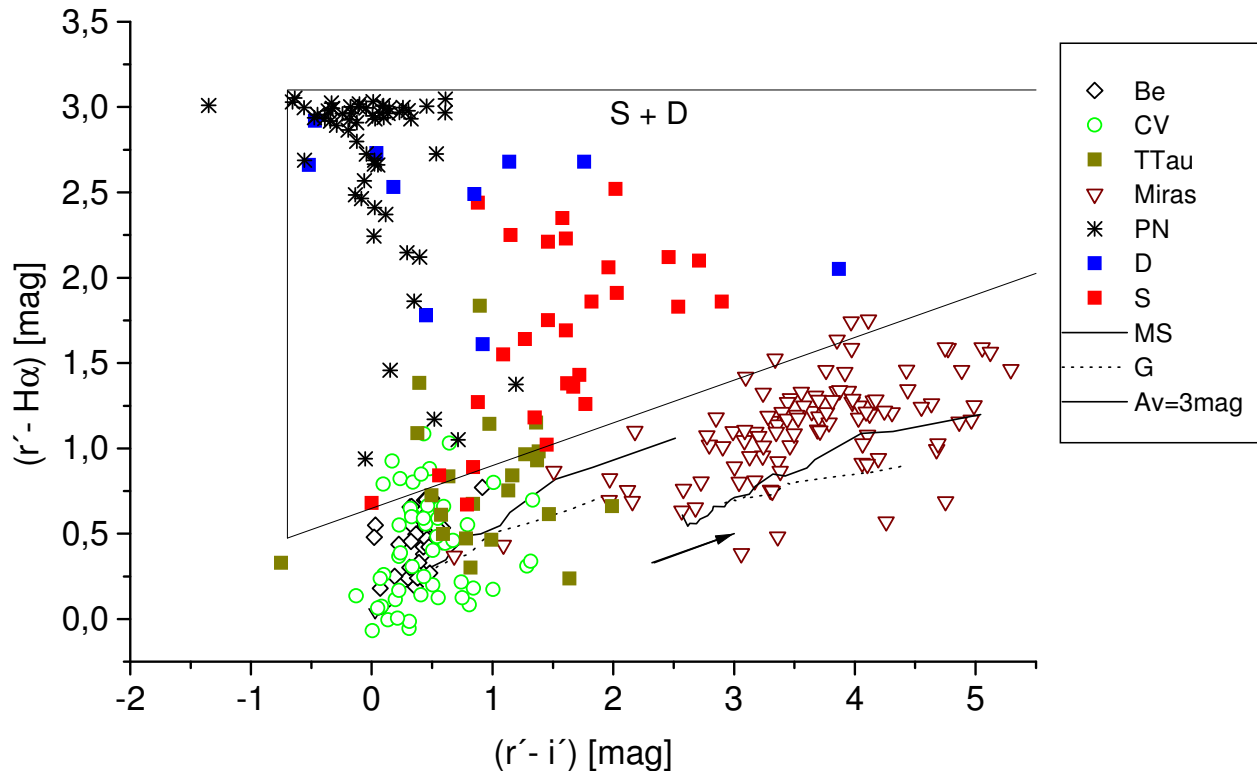


Figura 2.13 - Caja de simbióticas ($S + D$) en el DCC IPHAS de la figura 2.7. Los símbolos empleados son los mismos que los utilizados en la figura de referencia.

Respecto al DCC *2MASS*, el elevado número de simbióticas disponibles sí nos permite ahora definir una caja separada para cada tipo, S y D (figura 2.14). Para los sistemas S, el límite inferior (horizontal) que elegimos incluye todos los objetos conocidos de su tipo, mientras que los límites izquierdo y derecho (de nuevo paralelos al vector de enrojecimiento), incluyen a la mayoría de las simbióticas de tipo S conocidas. Quedan fuera de estos límites nueve simbióticas S, de las que ocho caen en la región de los sistemas de tipo D.

Hemos decidido mantener el límite derecho de la caja de simbióticas S (la clase más frecuente de estos sistemas) lo más a la izquierda posible para minimizar la contaminación por estrellas T Tauri. Además, dicho límite está muy cercano a la línea correspondiente a los colores *2MASS* de granos de polvo muy pequeños con temperaturas entre 1000 y 2000 K que, según Phillips (2007), es la que marca la división entre los sistemas S y D en este diagrama (figura 1.8).

Para la caja de simbióticas D, utilizamos el mismo límite inferior que para las S y colocamos el límite izquierdo coincidente con el derecho de la caja de los sistemas S. Finalmente, el límite derecho de las simbióticas de tipo D se ha elegido teniendo en cuenta la gran dispersión de estos sistemas en este diagrama, mientras que el límite superior de ambas cajas tiene en cuenta el elevado enrojecimiento de los objetos esperados en la exploración de *IPHAS* (figura 2.14).

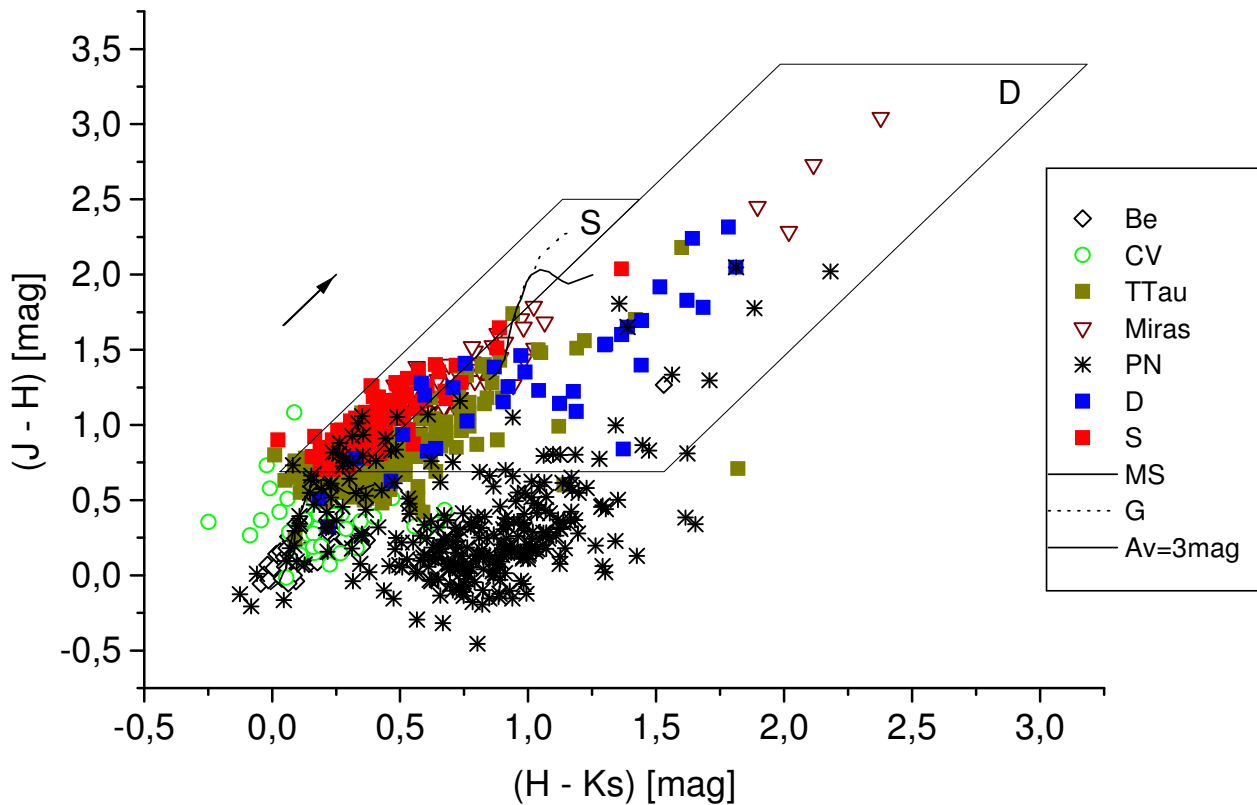


Figura 2.14 - Caja de simbióticas de tipo S (a la izquierda) y D (a la derecha) en el DCC 2MASS de la figura 2.8. Los símbolos empleados son los mismos que los utilizados en la figura de referencia.

La combinación de los dos DCCs se convierte en una nueva y excelente herramienta para la búsqueda de candidatos a estrellas simbióticas en la Galaxia. Para que un objeto sea considerado candidato a estrella simbiótica debe poseer colores *IPHAS* y *2MASS* tales que caiga dentro de los límites marcados en la figura 2.13 (DCC *IPHAS*) y en una de las cajas S o D en el DCC *2MASS* (figura 2.14). Matemáticamente, este criterio de selección se puede expresar con las inecuaciones de la tabla 2.6.

Tabla 2.6 – Inecuaciones que fijan el área de cada caja de búsqueda en el DCC IPHAS o 2MASS (ver figuras 2.12 y 2.13).

Caja	DCC	Límites
S+D	IPHAS	$0.25 \cdot (r' - i') + 0.65 \leq (r' - H\alpha) \leq 3.1$ $(r' - i') \geq -0.7$
S	2MASS	$1.64 \cdot (H - K_s) + 0.15 \leq (J - H) \leq 1.64 \cdot (H - K_s) + 0.64$ $0.69 \leq (J - H) \leq 2.5$
D	2MASS	$1.64 \cdot (H - K_s) - 1.81 \leq (J - H) < 1.64 \cdot (H - K_s) + 0.15$ $0.69 \leq (J - H) \leq 3.4$

2.5.2 Otras herramientas del criterio de selección

Nuestro criterio de búsqueda fotométrica puede complementarse teniendo en cuenta otros aspectos importantes, como son el tamaño y la morfología del objeto en la imagen o su variabilidad fotométrica. En el aspecto morfológico, algunas simbióticas de tipo D presentan una nebulosa extensa alrededor de un núcleo puntual muy brillante. Esta particularidad las diferencia de la mayoría de las nebulosas planetarias, que suelen tener estrellas centrales mucho más débiles. Por su parte, las simbióticas de tipo S aparecen generalmente como objetos puntuales sin ninguna nebulosidad extensa asociada. Por tanto, el estudio del tamaño y la morfología podría servirnos como herramienta adicional para separar estos objetos, en caso de duda, tras el análisis en los DCCs de IPHAS y 2MASS. En cuanto a la variabilidad, las nebulosas planetarias y sus estrellas centrales no son objetos fuertemente variables por lo que son fáciles de distinguir de las estrellas simbióticas.

3

Clasificación espectroscópica de candidatos a sistema simbiótico

3.1 Candidatos a estrella simbiótica en la Galaxia

Witham et al. (2008) presentaron el primer catálogo de fuentes puntuales con emisión H α de *IPHAS*. Estos autores tuvieron en cuenta únicamente las observaciones que se realizaron en noches fotométricas, lo que garantizaba un buen *seeing* (inferior a 2", ver figura 2.4) y donde el promedio de la elipticidad estelar en la imagen de cada banda (r' , i' y H α) era inferior a 0.2. Además, aplicaron otros criterios de calidad a las fuentes individuales, cuyos detalles se pueden encontrar en el citado trabajo.

El catálogo está constituido por 4853 objetos con H α en emisión y cuya magnitud en r' está limitada al rango $13 \leq r' \leq 19.5$ mag (Witham et al. 2008). Esta muestra la utilizamos para la primera búsqueda de candidatos a estrella simbiótica. La aplicación de nuestro criterio de selección (apartado 2.5) generó una lista de 1185 objetos, de los cuales 337 son candidatos a estrella simbiótica de tipo S y 848 candidatos a sistema de tipo D (Corradi et al. 2008). La ubicación de los candidatos en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS* se muestra en la figura 3.1.

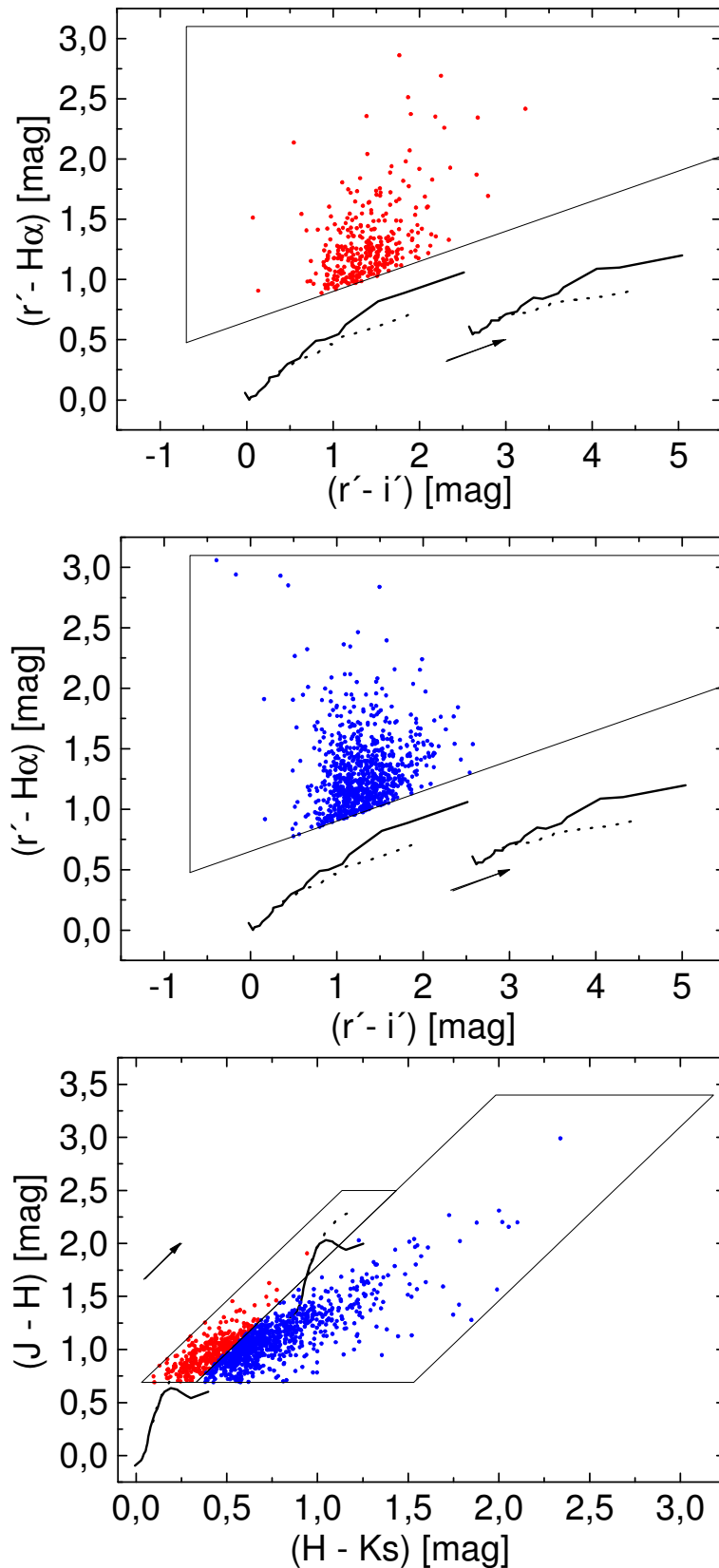


Figura 3.1 - Ubicación de los 337 candidatos a estrella simbiótica S (rojo) y los 848 candidatos a estrella simbiótica de tipo D (azul) en el DCC IPHAS (gráfico superior y medio, respectivamente). En el gráfico inferior, se muestra la ubicación de ambos tipos de candidato en el DCC 2MASS.

La lista completa de candidatos a estrella simbiótica, así como su fotometría *IPHAS* y *2MASS*, aparece tabulada en el anexo A. Los nombres siguen la nomenclatura de *IPHAS*, que a su vez está acorde a lo aprobado por la Unión Astronómica Internacional para estos casos, comenzando con el acrónimo del proyecto (en nuestro caso *IPHAS*) seguido de sus coordenadas ecuatoriales según el equinoccio J2000.0.

En el DCC *2MASS*, una gran cantidad de objetos se ubica en la parte inferior derecha de la caja S y en la parte inferior izquierda de la caja D (figura 3.1, gráfico inferior). En esta zona de máxima acumulación de candidatos S y D es donde se espera una contaminación importante de objetos jóvenes.

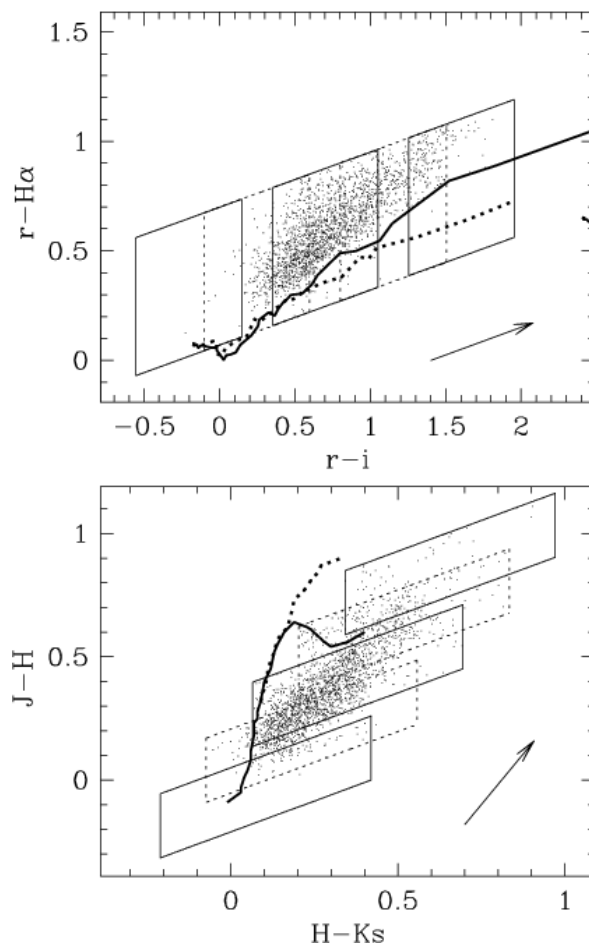


Figura 3.2 - Ubicación de los candidatos a estrellas Be en los DCCs de *IPHAS* (gráfico superior) y *2MASS* (gráfico inferior). Las cajas corresponden a la misma región marcada en línea continua, según su DCC, de la figura 2.9 con enrojecimiento (A_v) de 0, 2, 4, 6 y 8 mag, sucesivamente.

Todos los objetos de Witham et al. (2008) que caen fuera de la caja de búsqueda de simbióticas en el DCC *IPHAS*, se ubican por debajo de ésta. Según el análisis del

apartado 2.4.3, esperamos que una parte considerable de ellos sea candidatos a estrella Be. Para un rango de enrojecimiento desde $A_v = 0$ hasta $A_v = 8$ mag (representado por la secuencia de cajas romboidales de los diagramas de la figura 3.2) encontramos un total de 2035 candidatos a estrella Be, la mayoría con enrojecimiento $3 \text{ mag} < A_v < 5 \text{ mag}$. Los objetos sin enrojecimiento están virtualmente ausentes, presumiblemente por tratarse de estrellas muy cercanas, y por ende, brillantes y saturadas en *IPHAS*.

Solamente en el caso de estrellas Be con valores extremos de enrojecimiento sería posible la mezcla entre éstas y las T Tauri menos afectadas por la extinción interestelar. Podemos tener una idea de la magnitud de esta contaminación considerando que sólo el 4% de las estrellas T Tauri de Dahm y Simon (2005), incluyendo aquellas con los más bajos $EW(H\alpha)$, tienen $J-H \leq 0.55$. Si suponemos que todos los objetos de la lista de Witham et al. (2008) con $J-H > 0.55$ son estrellas T Tauri, podemos concluir que podría esperarse un centenar de objetos de este tipo con color $J-H$ menor, en contraposición con los más de 1600 candidatos a estrellas Be que se ubicarían por debajo de ese color límite, en el DCC *2MASS*.

3.2 Observaciones espectroscópicas y su reducción

Hemos realizado observaciones espectroscópicas de 67 candidatos a estrellas simbióticas de la lista presentada en el anexo A en diferentes observatorios astronómicos, desde junio de 2006 hasta diciembre de 2010. La característica común de todos los instrumentos empleados es que son espectrógrafos de resolución intermedia acoplados a telescopios de clase 2 - 4 metros (tabla 3.1), algo necesario pues se trata de objetos relativamente débiles, con r' entre 14 y 19 mag. Aunque en general la cobertura espectral es de $\sim 5000 \text{ \AA}$, centrada en 6200 \AA , con una dispersión recíproca entre 1.6 y 4 \AA/pixel , tanto éstas como otras características espectrales (p. ej.: profundidad y resolución espectral) dependen de los instrumentos y los elementos ópticos utilizados en las diferentes noches (ver Corradi et al. 2010a).

La reducción de todos los espectros se realizó usando el paquete *IRAF* según la metodología estándar descrita por Massey et al. (1992) y Massey (1997). Las primeras correcciones que realizamos a los espectros fueron las de nivel de base y de *flat-field* (tarea *ccdproc* de *IRAF*). Para las primeras utilizamos el promedio de los *bias* tomados

durante la noche. Seguidamente, realizamos la corrección de la no uniformidad de la respuesta píxel a píxel y a gran escala de los espectros, empleando una serie de *flats* de lámpara (no sin antes eliminar la respuesta espectral de éstos y normalizarlos). Además, corregimos los espectros por iluminación usando la combinación de los *flats* de cielo tomados durante el crepúsculo de cada noche.

Tabla 3.1 - Telescopios y espectrógrafos utilizados en la campaña espectroscópica.

Telescopio	Lugar	Apertura [m]	Espectrógrafo	Resolución [Å]
NOT	ORM	2.6	ALFOSC	8.1
INT	ORM	2.5	IDS	5.0
ATT	SSO	2.3	DBS	4.5
WHT	ORM	4.2	ISIS	4 – 9
–	SPM	2.1	B&Ch	~ 5
NCT	Asiago	1.8	AFOSC	4 – 9

Donde:

NOT - Nordic Optical Telescope

INT - Isaac Newton Telescope

ATT - Advanced Technology Telescope

WHT - William Herschel Telescope

NCT - Nicolas Copernicus Telescope

ORM - Observatorio Roque de Los Muchachos (La Palma, Islas Canarias, España)

SSO - Siding Spring Observatory (Australia)

SPM – Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir (México)

Asiago - Asiago Observatory (Italia)

ALFOSC - Andalucía Faint Object Spectrograph and Camera

IDS - Intermediate Dispersion Spectrograph

DBS - Double Beam Spectrograph

ISIS - Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System

B&Ch - Boller & Chivens

AFOSC - Asiago Faint Object Spectrograph and Camera

La mayoría de los objetos fueron observados más de una vez en la noche, lo que permite eliminar una parte considerable de los rayos cósmicos (si no todos) y obtener un espectro combinado con mayor *SNR* (*imcombine*), después de haber corregido por posibles desplazamientos del espectro debido a flexiones instrumentales. Para la calibración en longitud de onda se utilizaron diferentes lámparas dependiendo del telescopio y el espectrógrafo empleado (por lo general, CuNe, CuAr y CuHeNeAr). La extracción del espectro (formato *multispec*) y sustracción del cielo la realizamos con la tarea *apall*. Por

último, calibramos en flujo los espectros usando las estrellas estándares espectrofotométricas observadas cada noche (Oke 1990).

3.2.1 Observaciones con *Tillinghast/FAST*

Los objetos observados espectroscópicamente y que, en su mayoría presentamos en Corradi et al. (2010a), constituyen el 5.7% del total de candidatos a estrellas simbióticas del anexo A. Para ampliar este porcentaje hemos utilizado las observaciones de otros candidatos de nuestra lista, obtenidas en el telescopio Tillinghast con el espectrógrafo *FAST (Tillinghast/FAST)*. Este telescopio es un reflector con objetivo de 1.5 m de diámetro y está instalado en el *Fred Lawrence Whipple Observatory (FLWO)* en Monte Hopkins (Arizona, EEUU). A pesar de su modesto tamaño, este instrumento es muy productivo científicamente (Fabricant et al. 1998). Los detalles de sus características tanto ópticas como mecánicas se presentan en Schild (1973). El espectrógrafo *FAST (FAst Spectrograph for the Tillinghast telescope)* ofrece una cobertura espectral de $\sim 3940 \text{ \AA}$, centrada en 5450 \AA , con una resolución de 3 \AA cuando utiliza la red de difracción de 300 líneas/mm y un ancho de la rendija de 1.5". Una información detallada sobre el diseño visible y mecánico de este espectrógrafo, así como especificidades de su funcionamiento pueden encontrarse en Fabricant et al. (1998).

El 16 de enero de 2005 comenzó el seguimiento espectroscópico de las fuentes brillantes con H α en emisión de *IPHAS*, contenidas en la lista de Witham et al. (2008). Hasta el 14 de enero de 2011, este proyecto liderado por Danny Steeghs (Universidad de Warwick, Reino Unido), ha observado 2178 objetos, entre los cuales hemos identificado 103 candidatos a estrellas simbióticas no observados antes por nosotros. Éstos, junto a los 67 candidatos ya mencionados, elevan el porcentaje de objetos observados a 14.3% (170 objetos).

El sistema *RoadRunner* (Tokarz y Roll, 1997), desarrollado en el *Smithsonian Astrophysical Observatory*, SAO (Massachusetts, EEUU) calibra automáticamente en longitud de onda, pero no en flujo, los espectros obtenidos con el *Tillinghast/FAST*. Para pasar de cuentas a $\text{erg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{\AA}^{-1}$, aplicamos la función multiplicativa recomendada que es un promedio temporal del flujo calibrado de la estrella espectrofotométrica de Oke (1990) BD +28 4211.

3.3 Clasificación de los candidatos a estrella simbiótica observados

En la muestra de 170 candidatos cuyo espectro hemos estudiado pudimos descubrir 14 estrellas simbióticas (**SyS**). Por su importancia para este trabajo, dedicaremos un capítulo aparte a esos sistemas en la presente memoria (capítulo 4), limitando el presente apartado a los objetos de naturaleza "no simbiótica". La mayoría de estos últimos resultaron ser objetos estelares jóvenes (**YSO**), en algunos casos muy enrojecidos, incluyendo 57 estrellas T Tauri clásicas (**CTT**), 7 estrellas Be clásicas (**Be**) y 57 objetos de naturaleza menos clara que identificamos de forma genérica como **Be/YSO**. Además, descubrimos otros objetos peculiares como 3 estrellas Wolf-Rayet (**WR**), 4 nebulosas planetarias jóvenes (**yPM**), 3 objetos que manifiestan el fenómeno B[e] (**B[e]**), 4 estrellas enanas M con actividad cromosférica y coronal incrementada (**dMe**), entre otros. Los espectros y la tabla con sus rasgos más distintivos se muestran en los anexos B y C, respectivamente.

Del total de candidatos analizados, 19 no pudieron ser clasificados (**S/C**) por varias razones. En algunos casos la *SNR* era muy pequeña para apreciar los rasgos característicos de algún tipo de objeto, mientras que otros tenían su espectro contaminado por emisión nebulosa de fondo y otros candidatos no presentaban los rasgos suficientes para una adecuada clasificación. Estos objetos, aunque su espectro y rasgos característicos se muestran en los anexos B y C, respectivamente, no serán tenidos en cuenta para los subsiguientes análisis.

Los criterios utilizados para la clasificación de los candidatos observados se basan en los rasgos más distintivos encontrados en su espectro. En los siguientes apartados detallamos estos criterios, poniendo ejemplos del espectro de alguno de los candidatos clasificados.

3.3.1 Objetos estelares jóvenes y estrellas Be clásicas

Las propiedades comunes de estos objetos son la presencia en su espectro de líneas de emisión de CaII, OI $\lambda 8446$ y FeII. Aunque generalmente los dividimos en dos grupos, estrellas T Tauri clásicas y estrellas Be u objetos estelares jóvenes (Be/YSO), ambos presentan uno o más de estos rasgos, además de fuertes líneas de emisión pertenecientes a la serie de Balmer del H α .

Para que un objeto sea clasificado dentro del grupo de las *CTT*, su espectro debe mostrar evidencias de una fotosfera de estrella tardía (de tipo espectral K o M), con la línea de emisión $H\alpha$ relativamente estrecha (figura 3.3). En la mayoría de los casos, la línea de $H\alpha$ no está resuelta. En los dos objetos en los que se pudo medir, el valor fue modesto, con *FWHM* en el rango entre 200 y 180 km/s. Estos valores son típicos de T Tauri (Barrado-Navascués y Martín 2003 y Valdivielso et al. 2009).

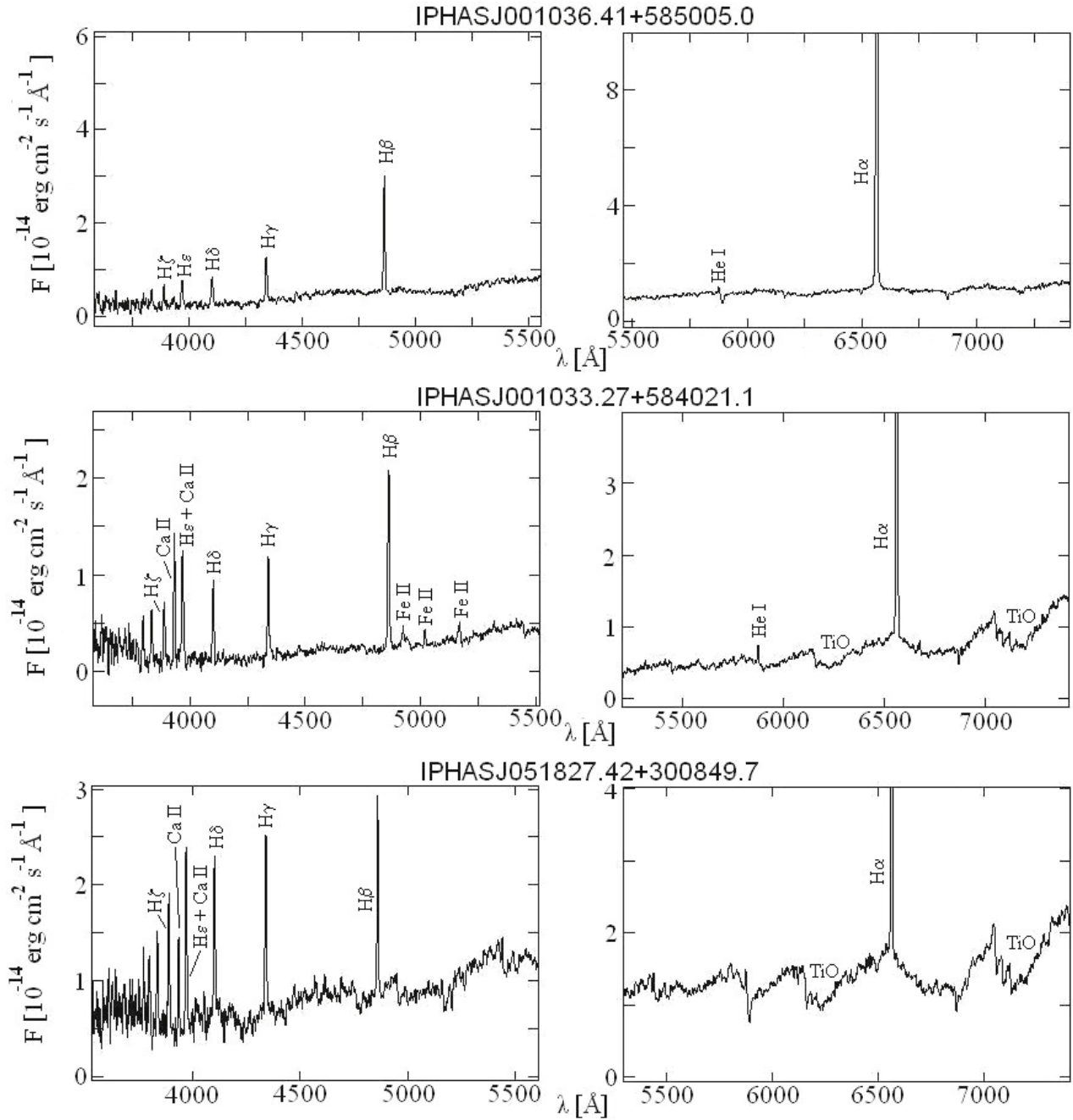


Figura 3.3 - Espectro de tres de las estrellas T Tauri clásicas descubiertas. En todas es evidente la existencia de una fotosfera de estrella de tipo espectral M.

Varios objetos del grupo de las estrellas *CTT* muestran un continuo muy débil pero la presencia de $\text{Li I } \lambda 6708$ en absorción (aunque no siempre es observable en estos objetos; ver Martín 1997), nos ayuda a decidir si se trata o no de un miembro de este grupo (figura 3.4). Otro rasgo a tener en cuenta es el Ca II en emisión, muy común en este tipo de objetos (Vink et al. 2008, referido a un estudio del espectro de estrellas T Tauri en Cyg OB2).

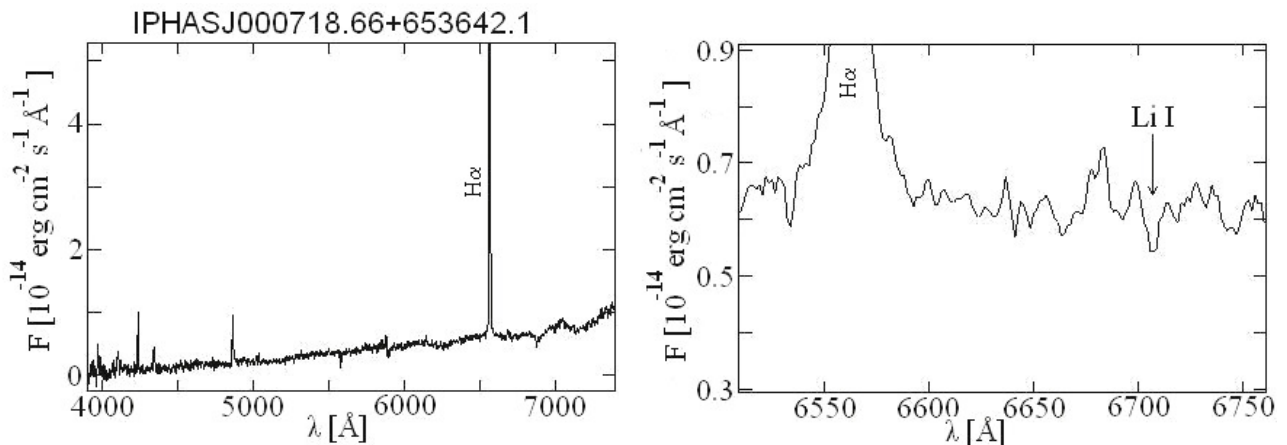


Figura 3.4 - Espectro de la estrella T Tauri clásica IPHASJ000718.66+653642.1 (a la izquierda). A la derecha se muestra una ampliación del mismo, correspondiente al continuo adyacente a la línea de emisión $\text{H}\alpha$. Se ha señalado con una flecha la línea de $\text{Li I } 6708$ en absorción.

Una propiedad común a los objetos clasificados como *YSO* o *Be/YSO* es la presencia de un continuo muy enrojecido, sin evidencias de líneas de absorción fotosférica y con algunas bandas de absorción interestelar (p. ej.: líneas de Na I D y otras bandas difusas interestelares, *DIBs*) (figura 3.5). Sin embargo, esto no excluye que puedan aparecer los rasgos de absorción fotosférica en espectros con *SNR* mayor que la presentada aquí. De hecho, en varios de estos objetos hemos detectado líneas de He I en absorción (anexo C).

Hemos podido resolver la línea de $\text{H}\alpha$ en emisión de algunos de estos objetos, encontrando valores de *FWHM* en el rango entre 200 y 500 km/s. Los objetos con valores cercanos al extremo superior de este rango pudieran pertenecer a la secuencia principal o ser estrellas *Be* evolucionadas. Una evidencia que apunta en esa dirección es la presencia de *DIBs* en estos objetos, signo de las grandes distancias recorridas por la radiación en el medio interestelar lo cual es posible si la fuente tiene una elevada luminosidad. La designación de *YSO* es más segura en los casos donde exista un notable

exceso en el IRC pero, sin datos adicionales, es preferible una clasificación más general, como la de *Be/YSO* (Corradi et al. 2010a).

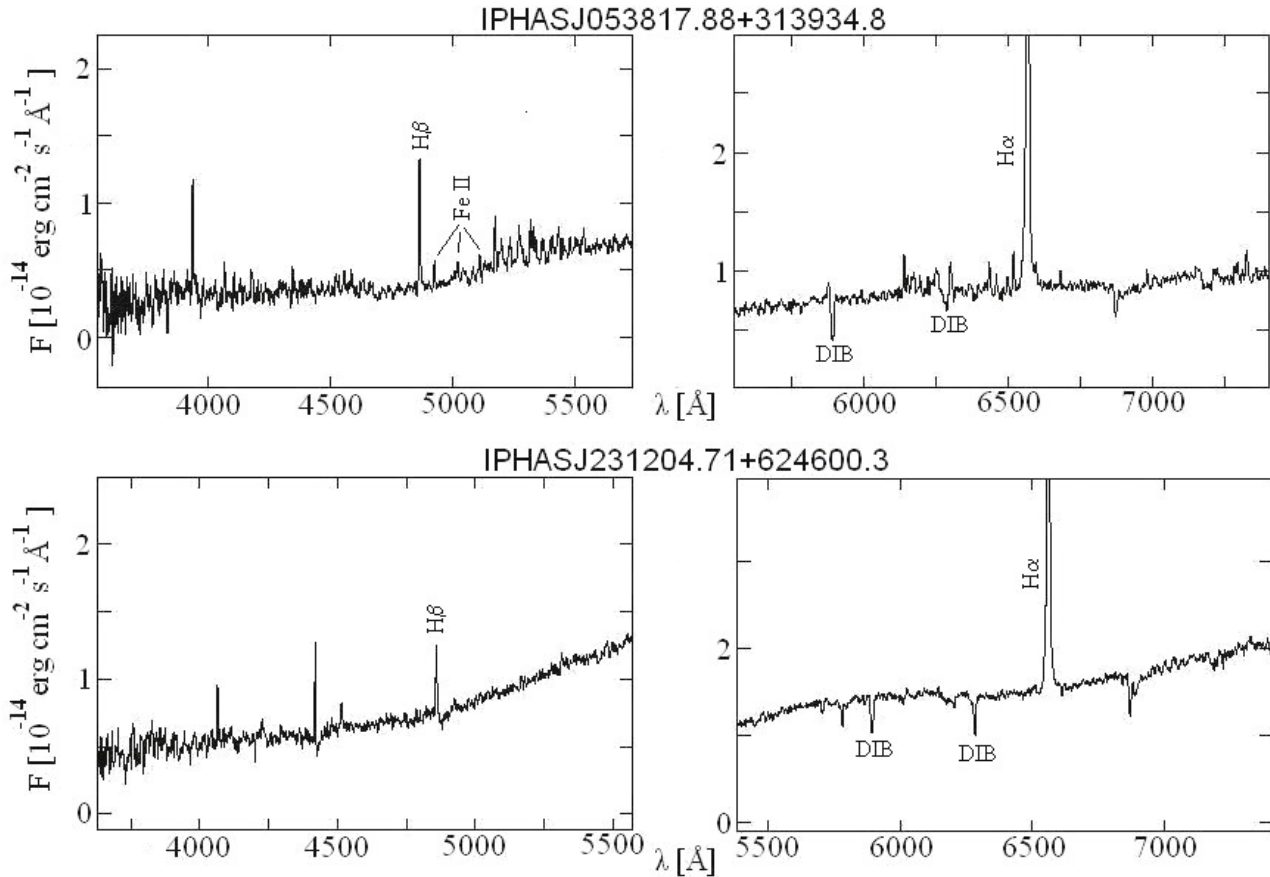


Figura 3.5 - Espectro de dos de los objetos *Be/YSO* encontrados. Nótese la presencia de algunas bandas de absorción interestelar (DIB).

Algunos espectros muestran un continuo azul, característico de estrellas de tipo espectral B, con toda la serie de Balmer del HI en absorción excepto $H\alpha$. Además, es significativa la existencia de otras especies en emisión (p. ej.: [OI], FeII), por lo cual estos objetos son clasificados como estrellas Be clásicas. Éstas constituyen un subgrupo de las estrellas Be que incluye a otras subclases como las estrellas de Herbig HAe/Be (HAe/Be), los sistemas de tipo Algol, las β Cep, entre otras (para más detalles ver Porter y Rivinius 2003). En este trabajo utilizaremos el término "Be" para las estrellas Be clásicas. El resto de subclases de estrella Be, presentes en nuestra clasificación, serán identificadas por el denominador de su subtipo (p. ej.: HAe/Be, ver anexo C).

Los rasgos descritos anteriormente para las estrellas Be clásicas están presentes en 7 de los candidatos observados, por lo cual los hemos clasificado como tales (anexo C). En la figura 3.6 se muestra el espectro de tres de estos objetos.

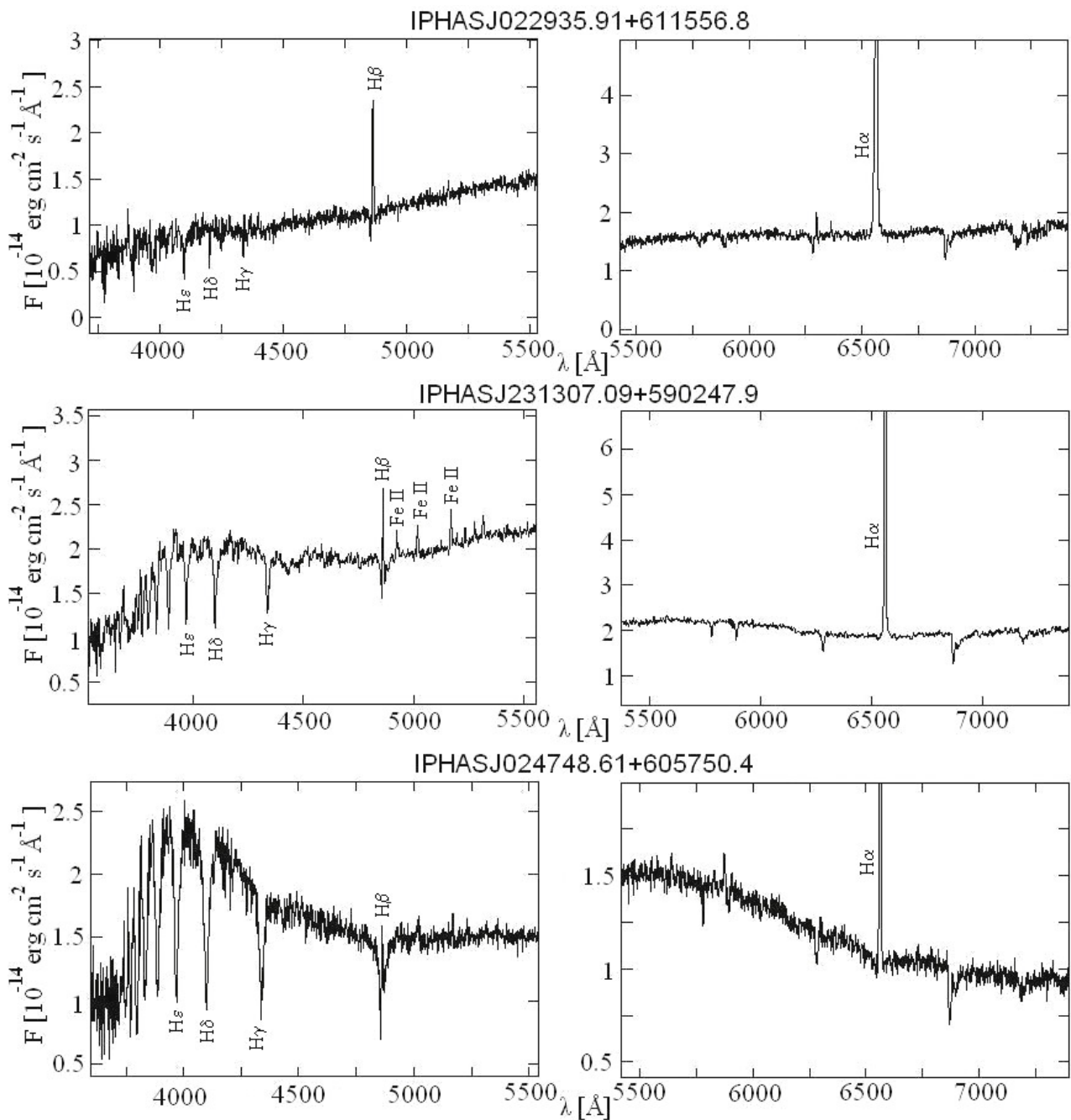


Figura 3.6 - Espectro de tres de las estrellas Be clásicas descubiertas.

3.3.2 Estrellas B[e]

Hasta hace poco, las estrellas de tipo espectral B que presentasen en su espectro visible fuerte emisión de algunas líneas de la serie de Balmer junto con otras líneas prohibidas de emisión (principalmente de [FeII] y otras especies de baja ionización), se denominaban “estrellas B[e]”. En la actualidad, varios autores prefieren usar el término “fenómeno B[e]”, considerándolo más apropiado para estos objetos al basarse en las características observacionales de la estrella y su materia circunestelar.

El fenómeno B[e] incluye diversos tipos de objeto de diferente masa y en distintos estados de evolución, para los que se han definido cinco clases según: la presencia e intensidad de las líneas de Balmer, las líneas de emisión permitidas de baja excitación (p. ej.: FeII), las líneas de emisión prohibidas de [FeII] y [OI], así como del exceso en el IRC e infrarrojo medio (IRM) debido al polvo circunestelar caliente (Lamers et al. 1998). En este trabajo no usaremos una clasificación tan específica para las estrellas que manifiestan el fenómeno B[e], pues escapa a los objetivos de esta tesis; nos referiremos simplemente a “estrellas B[e]” cuando muestren signos del citado fenómeno.

En tres candidatos hemos encontrado una fuerte emisión de la línea H α junto con otros rasgos, también en emisión, correspondientes al FeII, [FeII] y [OI] (anexo C), como se muestra en la figura 3.7. Además, todos exhiben un notable exceso en el IRC (figura 3.13) y por ello los clasificamos como estrellas B[e]. En el caso de IPHASJ190229.97-022757.0, su espectro muestra también líneas de emisión de [NIII]. La presencia de emisión fluorescente de [NIII], identificada por las razones de las líneas [NIII] $\lambda\lambda$ 6666, 7378, 7412, no es muy común (Corradi et al. 2010a), aunque se ha detectado en la estrella LBV P Cygni y en la nebulosa de Orión (ver Lucy 1995 para una discusión más detallada del proceso de fluorescencia).

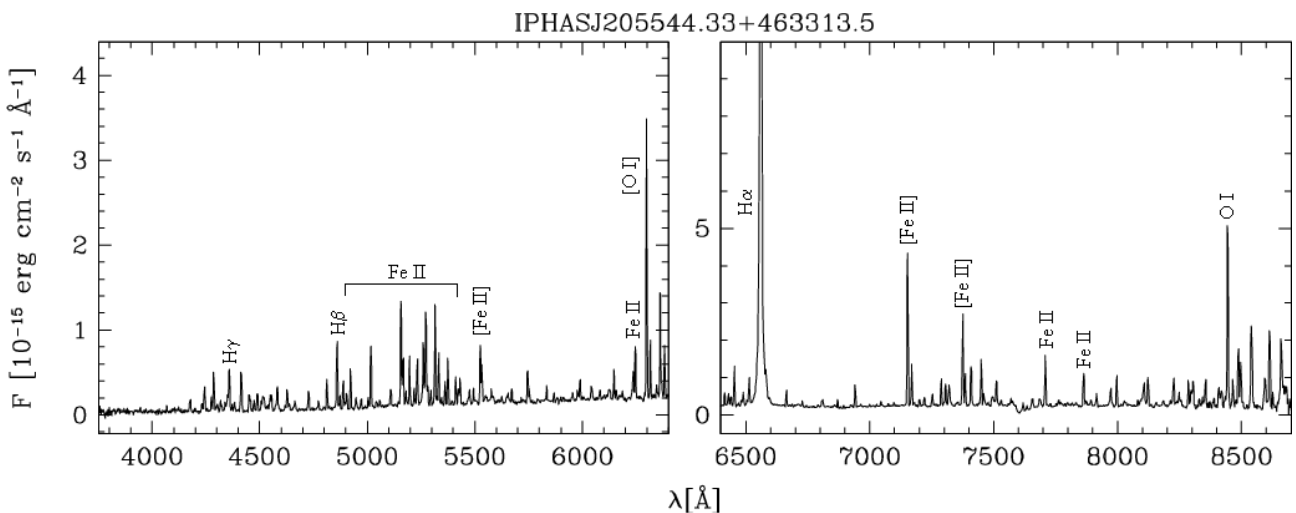


Figura 3.7 - Espectro de la estrella B[e] IPHASJ205544.33+463313.5.

3.3.3 Estrellas Wolf-Rayet

Las Wolf-Rayet son estrellas masivas evolucionadas y muy raras en la Vía Láctea. Nuestro estudio ha permitido el descubrimiento de tres objetos de esa naturaleza (figura 3.8).

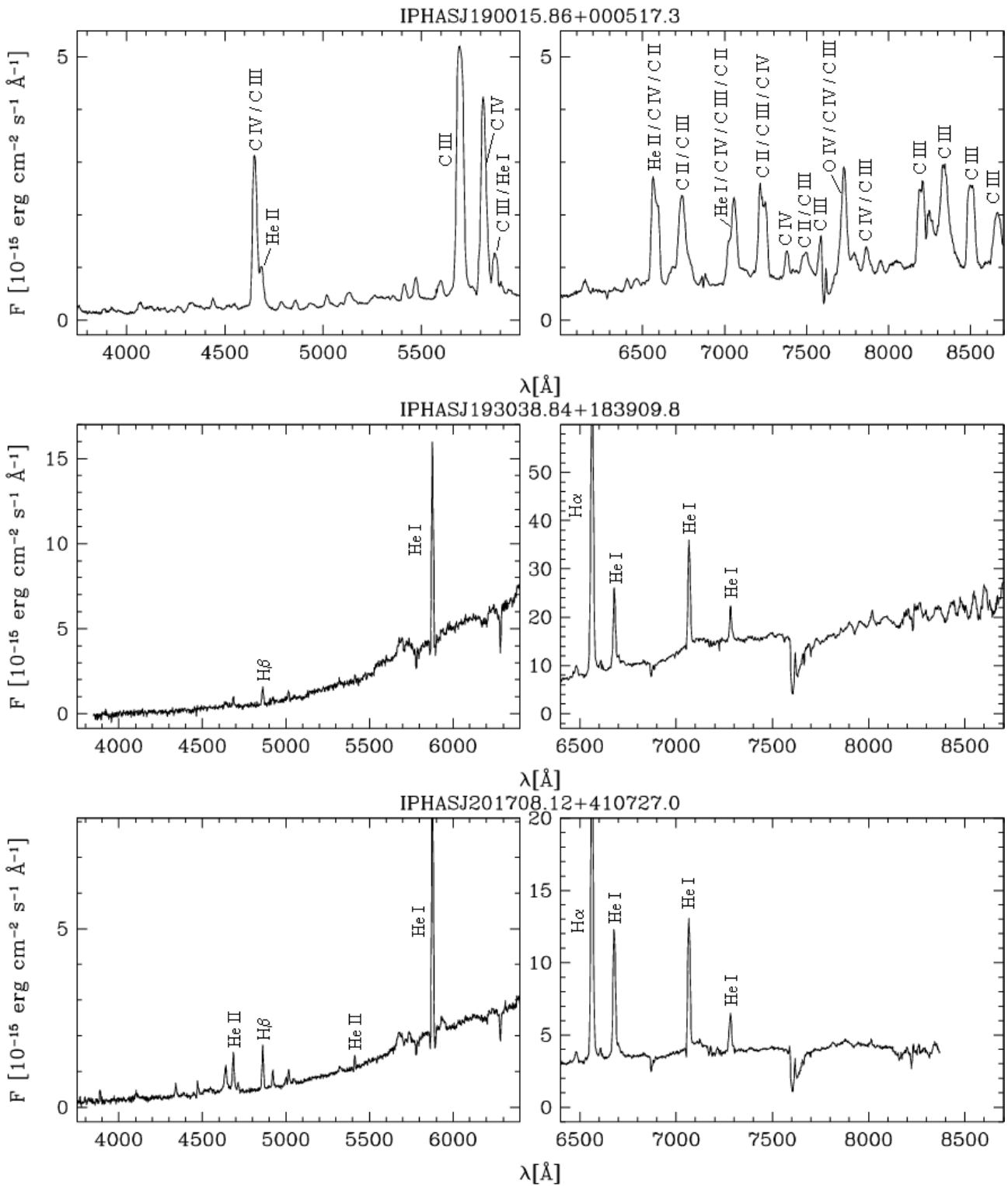


Figura 3.8 - Espectro de las estrellas Wolf-Rayet IPHASJ190015.86+000517.3 (superior), IPHASJ193038.84+183909.8 (media) y IPHASJ201708.12+410727.0 (inferior).

IPHASJ190015.86+000517.3 tiene un espectro que puede ser clasificado como WC8 (figura 3.8, superior), basado en la comparación con la librería espectrofotométrica de Torres y Massey (1987). Su modesto exceso ($r' - H\alpha$) es debido a la emisión ancha de C IV $\lambda 6560$, pues esta estrella no tiene emisión H α . La latitud galáctica de este objeto

($b=-1.92^\circ$) la ubica más lejos del plano medio galáctico que las usuales estrellas WR masivas.

En contraposición, IPHASJ193038.84+183909.8 e IPHASJ201708.12+410727.0 son dos estrellas WR de tipo WN. La última de éstas fue identificada previamente por Kohoutek y Wehmeyer (1999) como un objeto con líneas de emisión. Más recientemente, Gvaramadze et al. (2009) lo asociaron con una nebulosa de anillo detectada en el IRM y analizaron su espectro visible, asignándole el tipo WN8-9h. Como el patrón de líneas de emisión del espectro de ambos objetos es muy parecido (figura 3.8, media e inferior, respectivamente), el tipo espectral de IPHASJ193038.84+183909.8 debe ser también cercano a WN8-9. Gvaramadze et al. (2009) deduce un enrojecimiento de IPHASJ201708.12+410727.0 (o WR 138a) de $A_v = 7.4$ mag. En comparación, nosotros estimamos el enrojecimiento (A_v) de IPHASJ193038.84+183909.8 en aproximadamente 9 mag (Corradi et al. 2010a).

3.3.4 Fuente rica en helio rodeada por una gran nebulosa

IPHASJ195935.55+283830.3 es un objeto interesante que presenta líneas de emisión correspondientes a especies de elevada excitación. La línea de $H\alpha$ está resuelta espectralmente (un ajuste gaussiano de su perfil nos da una $FWHM$ de 350 km/s, aproximadamente). Las líneas de HeI y $HeII$ están en emisión y tienen un flujo muy elevado, por lo que no hay duda de que se trata de una fuente rica en helio. También aparecen otras líneas como $[NII] \lambda\lambda 6548, 6583$ y $[OIII] \lambda\lambda 4959, 5007$ (figura 3.9).

El enrojecimiento de IPHASJ195935.55+283830.3 es de 6 magnitudes en la banda V y el continuo es muy azul (de tipo espectral O), aunque posiblemente no se observen los rasgos estelares en absorción debido a la limitada resolución y la pobre SNR del espectro. El exceso en el IRC de esta fuente también es notable (figura 3.13). Además, el objeto está asociado a una nebulosa ionizada débil, asimétrica y muy extensa (el lado mayor mide cerca de $10'$; figura 3.10). La estrella está ubicada cerca de la zona más brillante de la nebulosa.

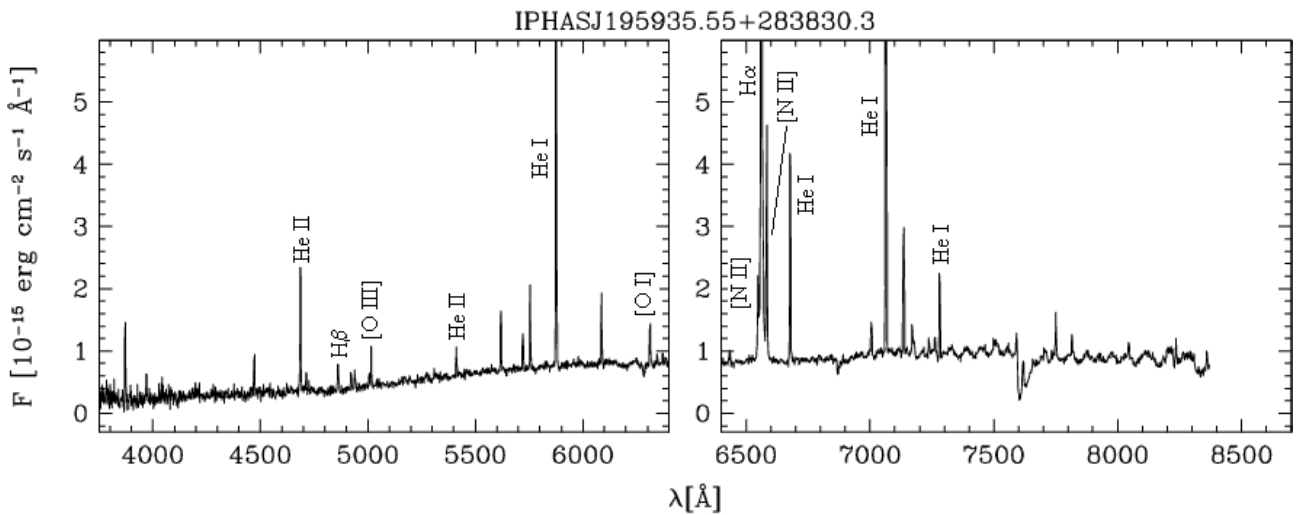


Figura 3.9 - Espectro de la fuente rica en helio IPHASJ195935.55+283830.3, posiblemente relacionada con una estrella Wolf-Rayet.

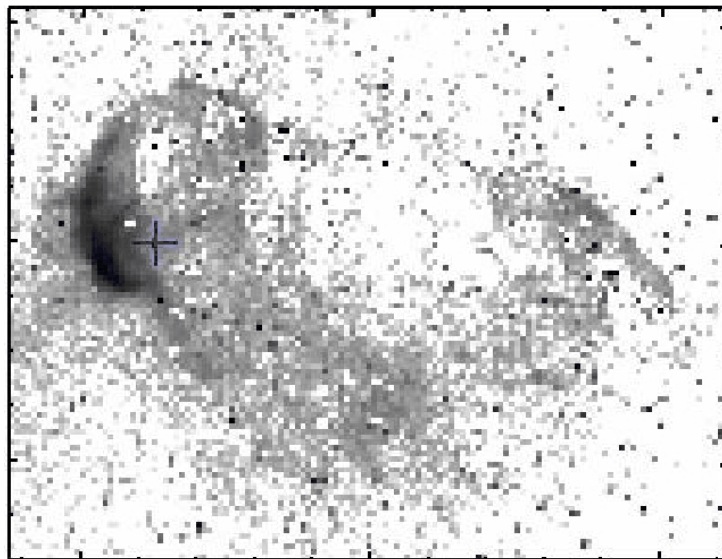


Figura 3.10 - Imagen en $H\alpha$ de IPHAS (con el continuo sustraído) de la nebulosa alrededor de IPHASJ195935.55+283830.3 (la cruz). La imagen es de 650"x 500"; el Norte está arriba y el Este a la izquierda.

Notamos que el espectro de IPHASJ195935.55+283830.3 es muy similar al de NaSt1 (ver Crowther y Smith 1999), excepto porque este último objeto tiene una línea de $H\alpha$ más estrecha ($FWHM \sim 50$ km/s). Esos autores sugieren que tal espectro es producido en una eyección densa y fotoionizada de gas por una estrella WR de tipo WN o WC. Esta es la razón por la que identificamos a IPHASJ195935.55+283830.3 como "nebulosa WR?" en la tabla del anexo C. Sin embargo, otra hipótesis alternativa es que este objeto sea una binaria compacta emergiendo de una fase de nebulosa planetaria (Corradi et al. 2010a).

3.3.5 Estrellas dMe

El espectro visible de estas estrellas activas se caracteriza por la presencia de bandas moleculares en absorción (TiO, CaOH y MgH), características de una fotosfera evolucionada de estrella de tipo espectral K o M, y líneas de emisión cromosférica (serie Balmer del H α , H β y CaII) superpuestas (figura 3.11). En estos objetos la línea de H α presenta un ancho equivalente promedio de $3.7 \pm 1.4 \text{ \AA}$, con valores extremos de hasta $\sim 10 \text{ \AA}$ aunque existen casos que superan este límite por su variabilidad (Pettersen y Hawley 1989). El CaII en emisión también es común en estos objetos y se usa como indicador de actividad estelar (Christian et al. 2001). En la muestra de candidatos observados, hemos encontrado dos objetos cuyo espectro presenta los rasgos descritos anteriormente y otros dos que contienen la mayoría de ellos, por lo que los clasificamos como "posible dMe" (dMe?) (anexo C).

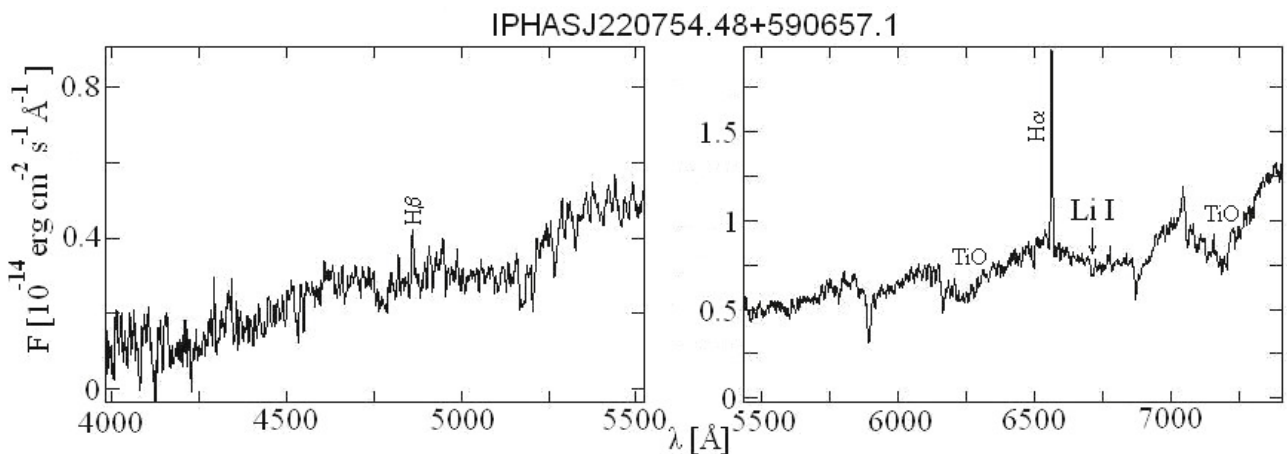


Figura 3.11 - Espectro de la estrella dMe IPHASJ220754.48+590657.1 donde se observan evidencias del Li I $\lambda 6708$ en absorción (indicado por la flecha vertical).

Algunos autores opinan que la actividad de estas estrellas puede ser una manifestación de su juventud (p. ej.: Skumanich 1972), basándose en el hallazgo de una abundancia de litio muy elevada en muchas estrellas activas (Favata et al. 1993, Tagliaferri et al. 1994, Favata et al. 1995 y Neuhaeuser et al. 1997). Entre los candidatos que hemos clasificado como dMe (o dMe?), solo IPHASJ220754.48+590657.1 presenta evidencias de Li I $\lambda 6708$ en absorción (anexo C, señalado con una flecha en la figura 3.11).

3.3.6 Candidatos clasificados por otros autores

Para completar la información sobre la muestra de candidatos a estrellas simbióticas, hemos realizado una minuciosa búsqueda bibliográfica sobre nuestros 1185 objetos en la base de datos astronómicos *SIMBAD*⁷ (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>) y en la biblioteca digital *Astrophysics Data System*⁸ (ADS) (<http://adswww.harvard.edu/>). Un total de 26 candidatos tienen alguna clasificación, de los cuales 6 corresponden a trabajos previos de la colaboración *IPHAS* (tabla 3.2).

El objeto IPHASJ054703.77+210034.8 ha sido clasificado como **WTTS** (estrella T Tauri de líneas débiles). Las *WTTS*, a diferencia de las estrellas T Tauri clásicas (*CTT*; ver apartado 3.3.1), presentan líneas de emisión muy débiles (generalmente H α y CaII). Las *CTT* son, en promedio, más calientes que las *WTTS* y sus líneas de emisión son más intensas debido a la acreción de materia sobre el objeto central, fenómeno que no ocurre en las *WTTS*. Varios autores han dividido a estos dos grupos según el ancho equivalente de la línea H α (EW(H α)), fijando el límite en 5 Å (Herbig y Bell 1988) ó 10 Å (Appenzeller y Mundt 1989). Sin embargo, Martín (1997) sugiere una dependencia de este límite con el tipo espectral y encuentra un valor de 5 Å para los tipos espectrales más tempranos que M0, 10 Å para M0 - M2 y 20 Å para tipos espectrales más tardíos que M2.

Según nuestro criterio de selección de candidatos (apartado 2.5.1), no esperamos contaminación significativa de *WTTS*, salvo casos muy aislados como el mencionado de IPHASJ054703.77+210034.8 (tabla 3.2). Todas las estrellas T Tauri encontradas y clasificadas por nosotros (anexo C) pertenecen al grupo de las *CTT*. Como veremos en el apartado 3.4, sólo dos casos del grupo de las *CTT* tienen EW(H α) < 20 Å: IPHASJ224604.51+605346.0 con 17 Å y IPHASJ235734.77+644649.1 con 18 Å. Sin embargo, el continuo de ambos objetos muestra rasgos de una fotosfera de estrella más temprana que M2 (anexo B), lo que nos indica una correcta clasificación como *CTT*.

⁷ *SIMBAD* pertenece al *Centre de Données astronomiques de Strasbourg* (CDS, Francia).

⁸ *ADS* depende del *Smithsonian Astrophysical Observatory* (SAO) con el financiamiento de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, EEUU).

*Tabla 3.2 - Candidatos clasificados por otros autores. En la clasificación: TTS - estrella T Tauri, WTTS - estrella T Tauri de líneas débiles, *PMS - objeto pre-secuencia principal, *AE - estrella en asociación estelar. El resto de la nomenclatura se explica en el texto.*

Nombre (IPHASJ...)	Clasificación	Técnica	Fuente
000213.37+645424.6	TTS	Espectroscopia UV	V+93
041011.85+505954.6	YSO	Fot.2MASS/MSX/IRAS-vel.radial	SL07
054703.77+210034.8	WTTS	Fot.UBVRI-Esp.óptico	S03
063221.34+044619.2	*AE	Astrometría-Fotometría UBVIH α	PS02
203149.04+401538.0	CTT	Fot.IPHAS/2MASS-Esp.óptico	V+08
203300.81+401800.3	CTT	Fot.IPHAS/2MASS-Esp.óptico	V+08
203353.45+405448.9	CTT	Fot.IPHAS/2MASS-Esp.óptico	V+08
205040.29+443049.1	YSO	Astrometría-Esp.UV	DP+84
210350.13+501023.7	*PMS	Fot.VRcIc/2MASS-Esp.óptico	HD06
213516.28+572822.2	CTT	Fot.VRI/2MASS-Esp.óptico	SA+05
213935.62+571821.9	CTT	Fot.VRI/2MASS-Esp.óptico	SA+05
214011.35+573951.8	CTT	Fot.VRI/2MASS-Esp.óptico	SA+05
214021.30+572657.9	CTT	Fot.VRI/2MASS-Esp.óptico	SA+05
214114.98+573814.8	CTT	Fot.VRI/2MASS-Esp.óptico	SA+05
221411.56+612606.4	CTT o Be/YSO?	Fot.IPHAS/2MASS-Esp.óptico	D+05
221734.33+611408.8	CTT	Fot.IPHAS/2MASS-Esp.óptico	D+05
221740.25+614702.5	B[e]/YSO	Fot.IPHAS/2MASS-Esp.óptico	D+05
224722.39+580121.5	*AE	Fot.UBV-Esp.UV	M+95
225331.30+623711.4	*AE	Astrometría-Fot.UBVRI	J+95
225458.16+624132.7	*AE	Astrometría-Fot.UBVRI	J+95
225509.51+624123.2	*AE	Astrometría-Fot.UBVRI	J+95
225556.25+624540.5	*PMS	Fot.2MASS-Esp.rayos X	G+06
225602.82+624513.8	*PMS	Fot.2MASS-Esp.rayos X	G+06
225615.81+623932.8	*PMS	Fot.2MASS-Esp.rayos X	G+06
225623.13+624354.2	*PMS	Fot.2MASS-Esp.rayos X	G+06
225630.87+624215.7	*PMS	Fot.2MASS-Esp.rayos X	G+06

Donde:

V+93 - Valenti et al. (1993), SL07 - Straizys y Laugalys (2007), S03 - Semkov (2003), PS02 - Park y Sung (2002), V+08 - Vink et al. (2008), DP+84 - Della Prugna et al. (1984), HD06 - Herbig y Dahm (2006), SA+05 - Sicilia-Aguilar et al. (2005), D+05 - Drew et al. (2005), M+95 - Massey et al. (1995), J+95 - Jordi et al. (1995), G+06 - Getman et al. (2006).

Valenti et al. (1993) clasifican el objeto IPHASJ000213.37+645424.6 como estrella T Tauri (*TTS*) (tabla 3.2), sin dar datos suficientes para distinguir entre *CTT* o *WTTS*, con lo cual mantendremos la clasificación dada por ellos. Los casos clasificados como "B[e]/YSO", "*PMS", "*AE", "YSO" y "CTT o Be/YSO?" (tabla 3.2), pertenecen al grupo genérico Be/YSO, reservado para los objetos sin una clasificación específica. El resto de objetos clasificados por otros autores son 9 T Tauri clásicas que aumentan la muestra de *CTT* clasificada por nosotros (anexo C). En resumen, incluyendo los 26 objetos de la tabla 3.2, la muestra total de candidatos a estrellas simbióticas clasificados espectroscópicamente asciende a 177 (15% del total de nuestra lista). Nos referiremos a ella a partir de ahora como la "muestra de objetos clasificados".

3.4 Propiedades básicas de la muestra de objetos clasificados

Las observaciones espectroscópicas de los candidatos a estrellas simbióticas presentadas en el apartado 3.3 nos permiten validar y mejorar el criterio de selección adoptado. Las figuras 3.12 y 3.13 muestran la ubicación de los 177 objetos clasificados en los DCCs *IPHAS* y *2MASS*, respectivamente. Los objetos con mayor exceso ($r' - H\alpha$) en el DCC *IPHAS* (figura 3.12) son, como era de esperar, las nebulosas planetarias, las estrellas B[e] y las estrellas simbióticas. Sin embargo, excepto una, las nuevas nebulosas planetarias descubiertas tienen valores medios del exceso $H\alpha$ inferiores al valor típico de esta clase (figura 2.7) debido a que son nebulosas muy jóvenes (ver una discusión detallada en Viironen et al. 2009a).

Por su parte, las *CTT*, *Be*, *Be/YSO*, *WR* y las *dMe* se ubican en la parte inferior de la caja de búsqueda. En cuanto al color ($r' - i'$), las *CTT*, *Be* y *Be/YSO* se concentran en el rango entre 0.75 y 1.75 mag, a diferencia de los objetos utilizados como referencia en el capítulo 2 que ocupan el intervalo de 0 a 1 mag (figura 2.7). Este resultado evidencia el notable enrojecimiento de la mayoría de objetos clasificados, determinado por la elevada extinción interestelar de la región explorada por *IPHAS*, el plano galáctico. Es notable que las estrellas simbióticas sean la clase de objeto con mayor color ($r' - i'$) en la muestra clasificada.

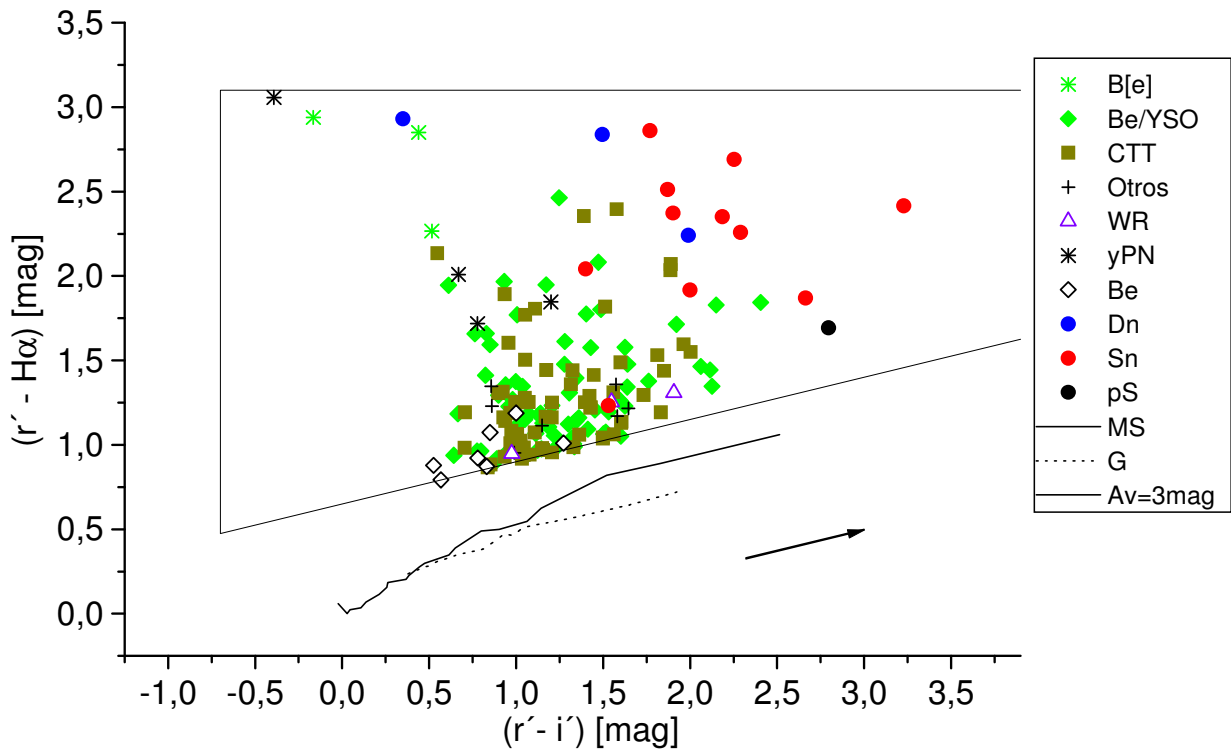


Figura 3.12 - Ubicación de los 177 objetos clasificados en el DCC IPHAS ($r'-H\alpha$) vs. ($r'-i'$), donde identificamos a las nuevas simbióticas de tipo S y D como “Sn” y “Dn”, respectivamente, y a la posible simbiótica como “pS” (ver leyenda).

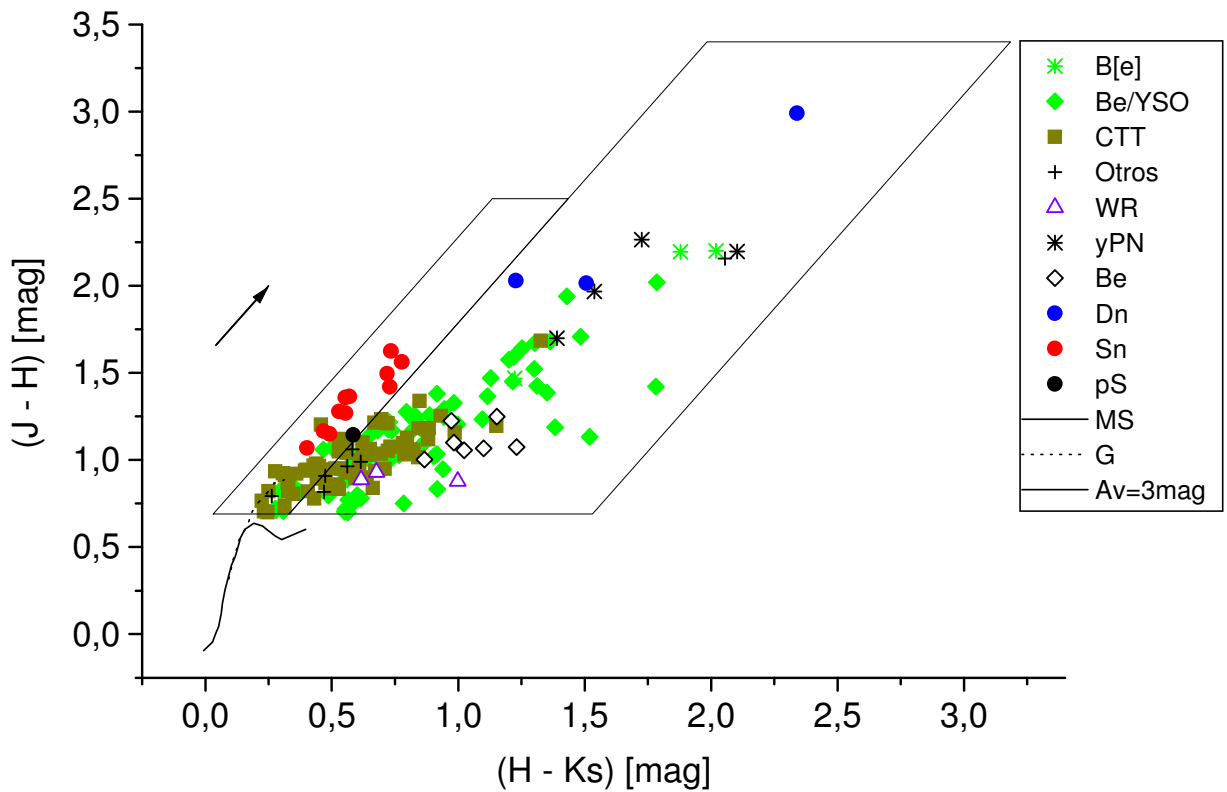


Figura 3.13 –Igual que la figura 3.12, para el DCC 2MASS ($J - H$) vs. ($H - K_s$).

En el DCC *2MASS* (figura 3.13), como esperábamos, las nuevas simbióticas de tipo S (Sn) se agrupan alrededor de la traza de las gigantes frías enrojecidas. Por su parte, las nuevas simbióticas D (Dn) se localizan en la zona alta de este diagrama junto a las nebulosas planetarias jóvenes de Viironen et al. (2009a) y las estrellas B[e]. Las *CTT*, *Be* y *Be/YSO* están más dispersas, aunque muestran un mayor color (H-Ks), en promedio, que los objetos de igual naturaleza de la muestra de referencia (figura 2.14). Es importante destacar que estos DCCs también proporcionan información útil para la búsqueda de otros objetos raros en la Galaxia, como las estrellas WR.

La figura 3.14 presenta la distribución de la magnitud r' en la muestra de objetos clasificados (histograma izquierdo) y en la muestra total de candidatos (histograma derecho). Aunque ambas distribuciones cubren casi el mismo rango de magnitud, para los objetos clasificados se aprecia una disminución significativa del número de objetos con magnitudes más débiles que 17.5. Esto se debe al hecho de que la mayoría de las observaciones espectroscópicas usadas para la clasificación (58% del total) se han obtenido con un telescopio de pequeño diámetro, lo que impide observar los objetos más débiles de nuestra muestra de candidatos (apartado 3.2.1).

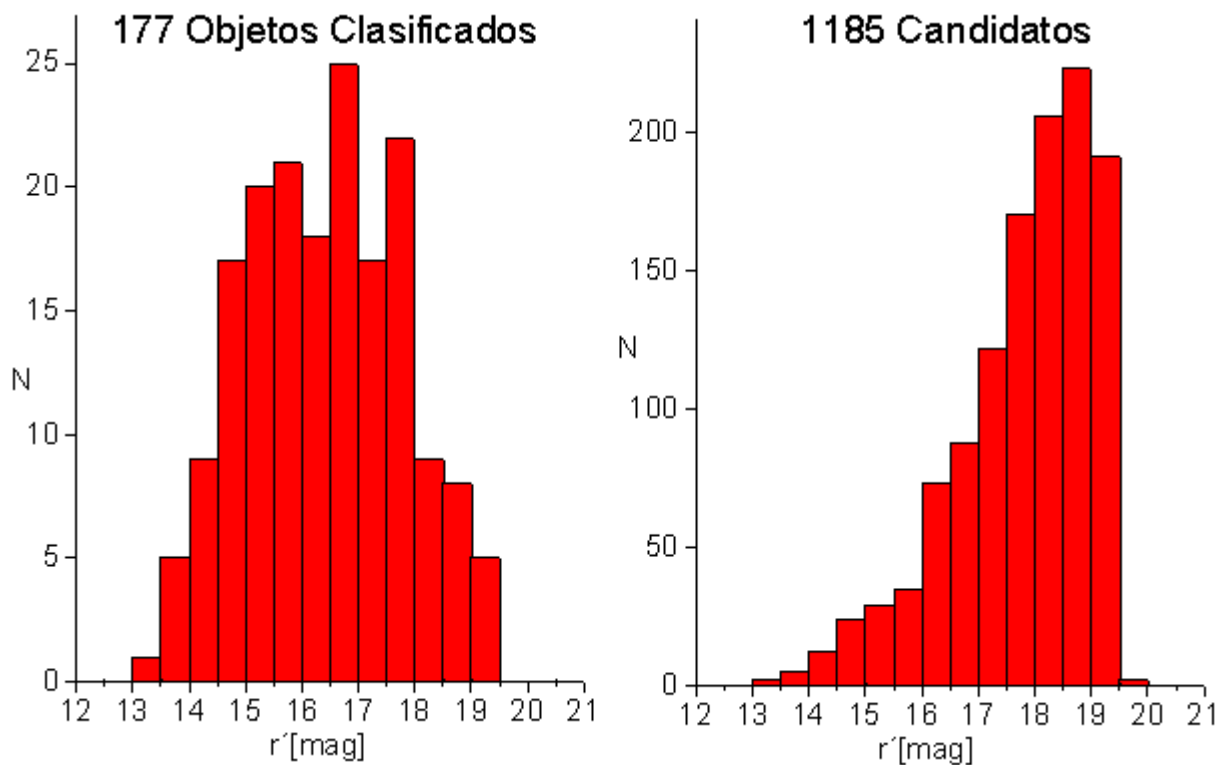


Figura 3.14 - Distribución de la magnitud r' para la muestra de objetos clasificados (izquierda) y para la muestra total de candidatos a estrellas simbióticas (derecha).

Como se mencionó en el apartado 2.4.1, el color ($r' - H\alpha$) es principalmente un indicador de la intensidad de la emisión $H\alpha$ sobre el continuo estelar. Drew et al. (2005) discuten la relación entre la posición en el DCC de *IPHAS* y el ancho equivalente de $H\alpha$ para algunas distribuciones espectrales de energía simplificadas (continuo estelar representado por un cuerpo negro o por una ley de potencia, ver su figura 6 y tabla 4). Para estudiar esta relación en los tipos de objeto presentes en la muestra clasificada, hemos medido el ancho equivalente de la línea de $H\alpha$ en todos los espectros de los objetos de la tabla del anexo C.

Los objetos con el valor más elevado de $EW(H\alpha)$ ⁹ son las nebulosas planetarias jóvenes, las estrellas B[e] y las estrellas simbióticas, lo que se explica por la poca contribución del continuo respecto a la línea de $H\alpha$, mientras que los objetos jóvenes (*CTT* y *YSO*) y las estrellas Be tienen un $EW(H\alpha)$ generalmente inferior a 200 Å (Martín 1997, Barrado-Navascués y Martín 2003). En la figura 3.15 se presentan los histogramas del ancho equivalente de esta línea espectral para las clases de objeto más numerosas. Hay que notar que existe una fracción de estrellas *CTT* con valores más altos que se solapan con el rango medido en las estrellas simbióticas, como es de esperar según la figura 3.12. Este solapamiento dificulta la separación entre estrellas *CTT* y simbióticas a partir de los colores *IPHAS*, dado que las primeras, asociadas a regiones de formación estelar, son mucho más frecuentes en el plano galáctico que las simbióticas (de población más vieja).

Si consideramos solamente los objetos para los cuales los espectros permiten una clasificación segura como estrellas Be clásicas y *CTT*, los valores de $EW(H\alpha)$ observados son consistentes con la información disponible en la literatura. Para las Be clásicas se reportan valores típicos inferiores a 40 Å, con posibles (pero escasas) excepciones con $EW(H\alpha) \sim 100$ Å (Andrillat y Fehrenbach 1982, Andrillat 1983, Hanuschik 1986 y Banerjee et al. 2000). En tanto que para las estrellas *CTT*, Sicilia-Aguilar et al. (2005) en un estudio del cúmulo abierto Trumpler 37 en la región de Cepheus OB2, no reportan ninguna *CTT* con $EW(H\alpha) > 200$ Å, mientras que en la muestra de 444 estrellas T Tauri de Dahm y Simon (2005) existen sólo 14 casos con $EW(H\alpha)$ por encima de ese valor.

⁹ Para medir $EW(H\alpha)$ bastó con realizar un ajuste lineal del continuo estelar a los dos lados de la línea de emisión, incluso para las estrellas M tardías de algunas de las simbióticas y estrellas T Tauri presentadas en los capítulos 3 y 4.

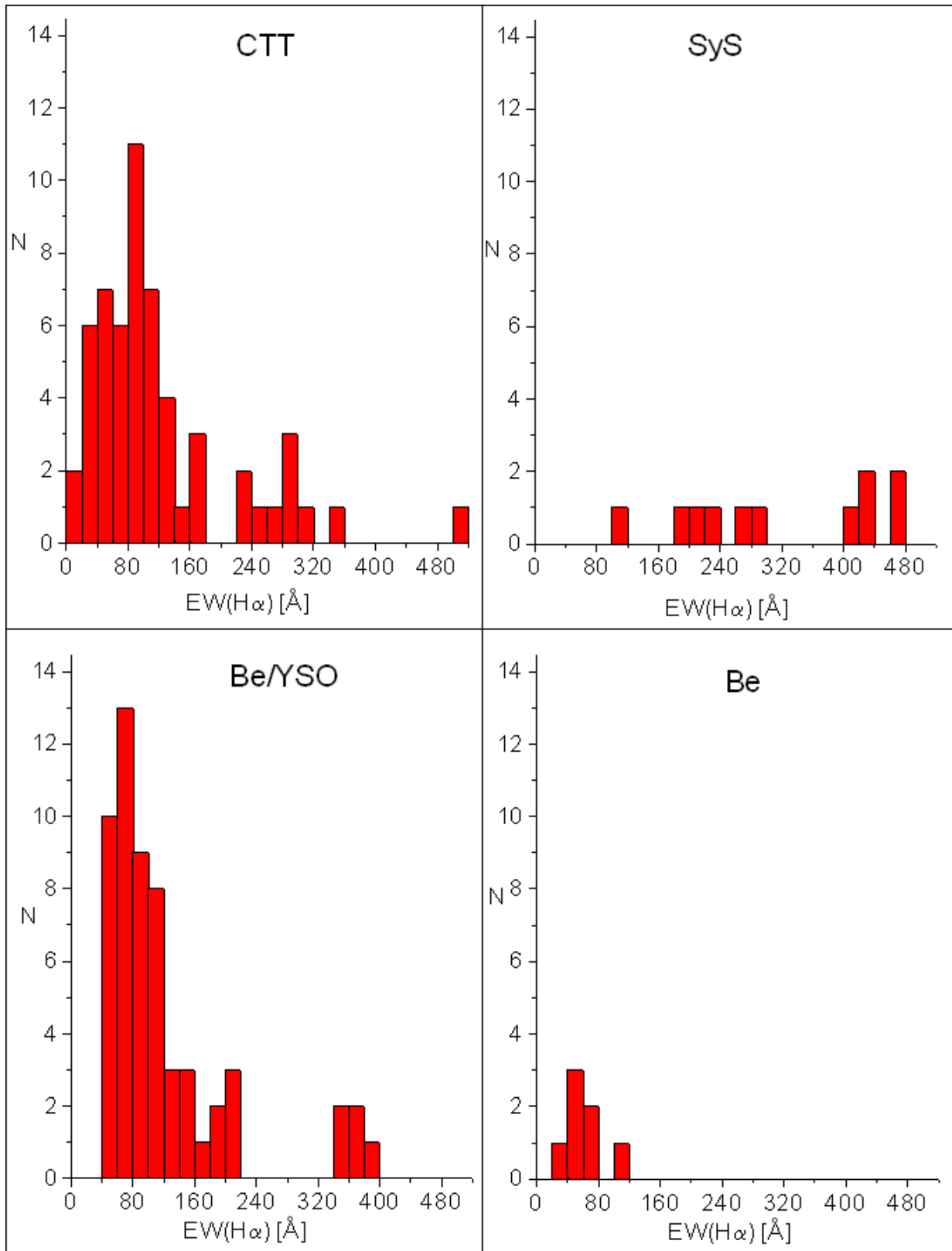


Figura 3.15 - Distribución de $EW(H\alpha)$ para los objetos clasificados como CTT (superior izquierda), SyS (superior derecha), Be/YSO (inferior izquierda) y Be (inferior derecha). En el caso de las estrellas simbióticas, no incluimos en su distribución tres objetos que tienen $EW(H\alpha) > 520 \text{ \AA}$: dos simbióticas de tipo D (con $EW(H\alpha)$ de 2172 Å y 961 Å) y una simbiótica de tipo S con $EW(H\alpha) = 579 \text{ \AA}$.

Para ilustrar cómo se relaciona el $EW(H\alpha)$ de los 137 objetos analizados con su posición en el DCC *IPHAS* construimos la figura 3.16, en la que el tamaño del símbolo indica el valor de $EW(H\alpha)$, independientemente de la naturaleza del sistema. El aumento general del $EW(H\alpha)$ con el color ($r' - H\alpha$) es cualitativamente consistente con los modelos de Drew et al. (2005), pero existen algunas excepciones que se pueden explicar considerando la variabilidad típica de muchos de estos objetos. De hecho, los datos fotométricos y espectroscópicos utilizados para construir este diagrama no son simultáneos: las menores diferencias entre la fecha de las observaciones de uno y otro tipo son superiores a un año, para cada objeto.

Entre las excepciones más notables se encuentra una *CTT* con un $EW(H\alpha)$ de 282 Å en una zona dominada por objetos con valores inferiores a 100 Å. Aunque en la literatura estudiada las variaciones en el $EW(H\alpha)$ ($\Delta EW(H\alpha)$) para este tipo de objetos suelen ser de unas decenas de angströms, existen casos con $\Delta EW(H\alpha) \sim 200$ Å (ver Fernández et al. 1995 y Barrado-Navascués y Martín 2003). En otros casos, la combinación de los efectos de variabilidad y/o de una diferente distribución espectral de energía en el continuo estelar puede explicar las discrepancias observadas, como la de que una *CTT* ($EW(H\alpha)=17$ Å) y un *Be/YSO* ($EW(H\alpha)=92$ Å), o una *dMe* ($EW(H\alpha) = 25$ Å) y un *Be/YSO* ($EW(H\alpha) = 81$ Å), tengan los mismos colores *IPHAS* y su valor de $EW(H\alpha)$ sea tan diferente.

Otro caso interesante es el de un *Be/YSO* y una *CTT*, muy cercanos en el DCC de la figura 3.16, con $EW(H\alpha)$ de 63 y 316 Å, respectivamente. Para el caso de las estrellas *CTT*, los tiempos característicos de variabilidad pueden ser desde días hasta meses (Herbst et al. 2000), y están asociados al fenómeno de acreción activa o magnetosférica (Barrado-Navascués y Martín 2003). Mediante este mecanismo el material del disco de acreción puede ser transportado a través de las líneas del campo magnético desde la estrella a su superficie. La acción del campo magnético sobre el material produce el efecto Zeeman que se manifiesta como un ensanchamiento (o desdoblamiento, en dependencia de la intensidad del campo) en las líneas espectrales magnéticamente sensibles, entre las que está la de $H\alpha$, que aumenta su ancho equivalente debido a este fenómeno. Por su parte, la variabilidad en estrellas como las *Be* clásicas puede oscilar entre menos de un día (Percy et al. 2002) hasta décadas (Okazaki 1997).

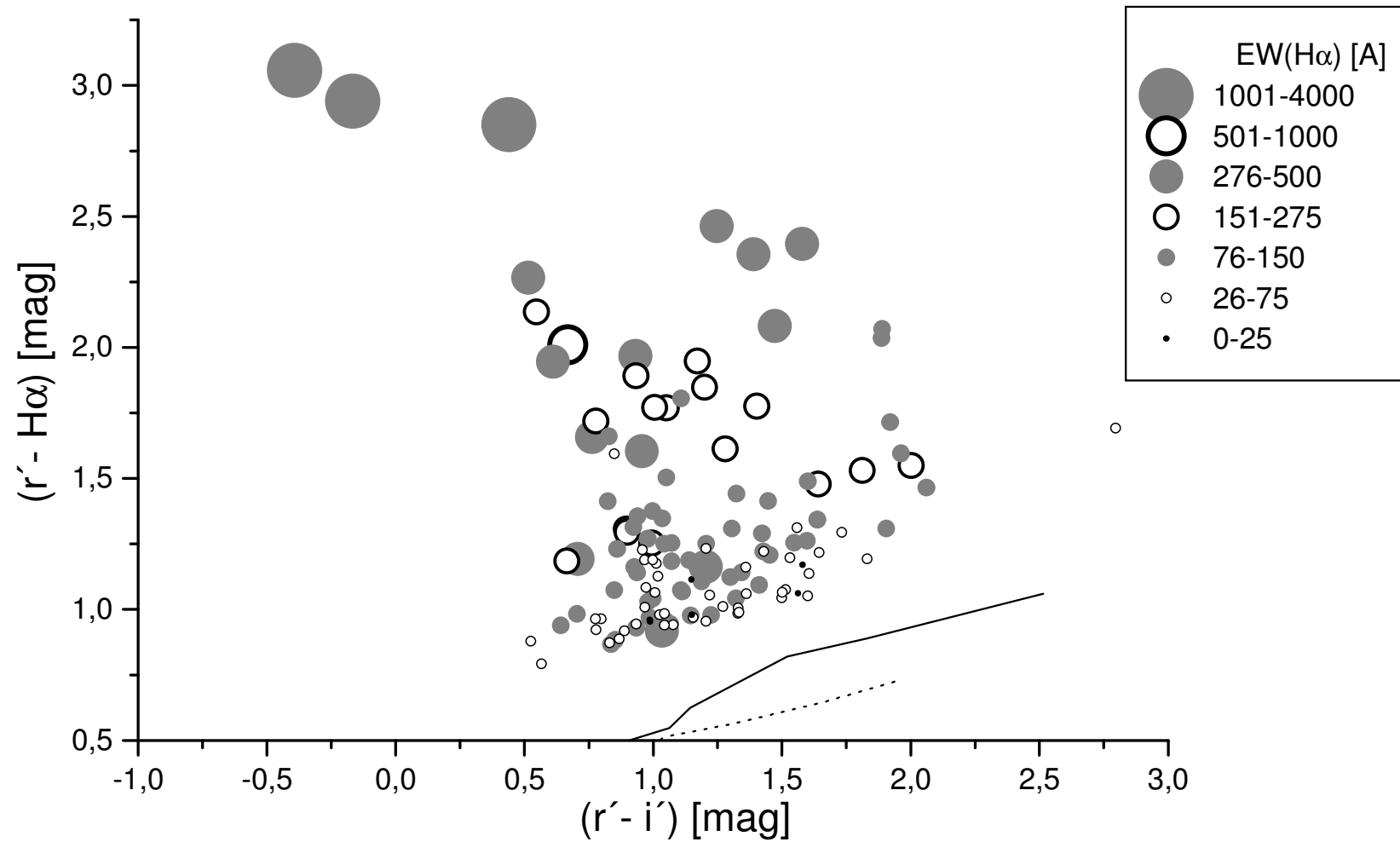


Figura 3.16 – Ubicación en el DCC IPHAS de los 137 objetos donde se ha podido medir el ancho equivalente en $H\alpha$. Los objetos se han repartido en 7 grupos según su valor de $EW(H\alpha)$ tal como aparece en la leyenda. En la parte inferior se muestra las trazas de las estrellas de la secuencia principal (línea continua) y las gigantes (línea de puntos), ambas sin enrojecimiento.

Finalmente, notamos la situación de una nebulosa planetaria joven con $EW(H\alpha)$ de 950 Å en una región donde todos los objetos tienen $EW(H\alpha) < 500$ Å. Una diferencia tan grande se puede explicar por la distribución espectral de energía peculiar de estos objetos, que hace que sus colores sean sensibles a la contribución relativa del continuo nebuloso y estelar, a la presencia de varias líneas de emisión en los filtros anchos considerados y al tipo espectral y luminosidad de la estrella central.

4

Nuevas estrellas simbióticas galácticas

En este capítulo presentamos las nuevas estrellas simbióticas descubiertas en la región norte del plano galáctico. Tras describir las observaciones realizadas, discutiremos sus características fotométricas y espectroscópicas y las compararemos con las de los sistemas simbióticos conocidos (Belczynski et al. 2000).

4.1 Características del espectro

4.1.1 Observaciones

Siete de las nuevas estrellas simbióticas las observamos entre junio de 2006 y septiembre de 2009 con el *INT* (ORM) y el espectrógrafo *IDS* (tabla 3.1). Usando un ancho de rendija de 1.1", la red R300V proporciona una dispersión recíproca de 1.9 Å/píxel y una resolución espectral de 5.0 Å. El tiempo de exposición de la mayoría de los objetos fue de 20 a 30 minutos, aunque para IPHASJ190926.60+120044.6 fue necesario exponer 80 minutos (en 2 exposiciones de 40 minutos cada una) para poder medir las líneas de emisión menos intensas. La cobertura espectral, aunque diferente para cada caso, abarca en general todo el rango visible. Sin embargo, el *fringing* (franjas de interferencia producidas por el detector) que sufre el *CCD* 2k×4kEEV hacia la parte roja del visible (~7000 Å) y las aberraciones ópticas en los bordes, producto del gran tamaño de este dispositivo, hacen que la calibración en flujo tenga una gran incertidumbre en la zona más roja del espectro. En dos objetos de este grupo se encontraron características particulares

que necesitaron de más observaciones espectroscópicas tal como detallamos a continuación.

El primero de ellos es la simbiótica de tipo S en fase activa IPHASJ190832.31+051226.6 (Corradi et al. 2010b). El 29 de julio de 2009 se obtuvo un segundo espectro de este sistema usando el *WHT* (ORM) con el espectrógrafo *ISIS* (tabla 3.1). En el brazo azul se usó la red R300B con un ancho de rendija de 1.5", obteniéndose una dispersión de 1.73 Å/píxel (usando *binning* de 2) y una resolución de 5 Å en el rango espectral entre 3700 Å y 5350 Å. Por su parte, en el brazo rojo se empleó la red R158R con dispersión de 3.64 Å/píxel (usando *binning* de 2), resolución de 9.5 Å y un rango espectral desde 5550 Å hasta 9200 Å (no afectado por el *fringing* pues la amplitud de esta interferencia en 9000 Å es de 1%). El tiempo de exposición fue de 35 minutos en cada brazo y la *SNR* en el continuo adyacente a la línea H α fue de 20, incrementándose a medida que nos desplazamos hacia el rojo debido al continuo frío de este sistema simbiótico. La región en torno a H α fue observada el 17 de agosto de 2009 en el *NOT* (ORM) con el espectrógrafo *ALFOSC* (tabla 3.1). En este caso se utilizó la red #17 y un ancho de la rendija de 0.5" lo que permitió una cobertura espectral entre 6350 Å y 6850 Å, con alta resolución (0.65 Å) y una *SNR* en el continuo cercana a 10.

El 28 de agosto de 2009 se obtuvo el cuarto y último espectro de este objeto, también con el *WHT* pero utilizando el espectrógrafo infrarrojo *LIRIS*, que cubre entre 0.9 y 2.4 μm . El ancho de la rendija fue de 0.75" para ambas redes zJ y HK, proporcionando una resolución de 12 Å y 20 Å, respectivamente. El tiempo de exposición fue de 400 s para la red zJ y de 200 s para la HK. Para la corrección telúrica y la calibración en flujo se empleó la estrella Hipparcos 102359 (de tipo espectral B9V) que se encontraba a la misma masa de aire que el objeto de estudio. La *SNR* del espectro resultante está entre 20 y 40.

El segundo objeto, IPHASJ205836.43+503307.2, es una estrella simbiótica Mira rica en carbono (Corradi et al. 2011). El 19 de septiembre de 2010 se observó con el telescopio de 2.1 m del OAN/SPM y el espectrógrafo *B&Ch* (tabla 3.1), equipado con una red de 400 líneas/mm. Además, se utilizó el filtro OG550 para eliminar la contaminación del espectro de segundo orden hasta la parte más roja ($\sim 1\mu\text{m}$). La dispersión, para el ancho de rendija usado de 2.5", fue de 1.9 Å por píxel y la resolución de 5.5 Å. El rango del espectro va desde 5850 a 9700 Å y el tiempo de exposición fue de 30 minutos. La calibración en flujo, determinada por la observación de las estrellas espectrofotométricas de Oke (1990), tiene

una notable incertidumbre a partir de los 9200 Å. Con ese mismo telescopio, pero utilizando el espectrógrafo tipo *échelle Mezcal* se tomó un espectro de alta resolución de la región en torno a H α , el 21 de septiembre de 2010. Para esta observación el ancho de la rendija fue de 2", lo que proporciona una dispersión de 0.06 Å/píxel y una resolución de 0.25 Å, en un espectro que cubre el rango de 6531 a 6593 Å con un tiempo de exposición de 90 minutos (en 3 exposiciones de 30 minutos cada una).

Este sistema simbiótico fue observado también el 26 de diciembre de 2010 con el *WHT* usando el brazo rojo del espectrógrafo *ISIS*. El empleo de la red R158R y un ancho de rendija de 1" proporciona una dispersión de 1.8 Å/píxel, una resolución de 6.5 Å y una cobertura espectral de 5400 a ~10000 Å. Este espectro, obtenido con un tiempo de exposición de 20 minutos, se tomó durante una noche nublada pero bajo excelentes condiciones de *seeing* (0.7"). Por esta razón sólo lo usaremos para investigar el perfil espacial y la velocidad de las líneas de emisión. Debido a la variabilidad de este objeto (ver apartado 4.2.2), creímos oportuno una observación adicional del mismo que se realizó en diciembre de 2011, empleando también este instrumental.

En septiembre de 2007 se observaron otras seis nuevas estrellas simbióticas usando el telescopio *NOT* y el espectrógrafo *ALFOSC*. La red de difracción empleada fue la #4 y el ancho de la rendija fue de 0.5", lo cual implica una dispersión recíproca de 3.1 Å por píxel y una cobertura espectral entre 3700 y 8700 Å. El *CCD#8 2kx2kEEV* empleado sufre un severo "*fringing*" en la región roja del visible, con amplitudes tan grandes como del 25% en 8000 Å. Este problema fue parcialmente corregido utilizando *flats* de lámpara tomados con el telescopio en la posición de los objetos observados e inmediatamente después del registro de éstos. Los tiempos de exposición estuvieron en el rango de 10 a 30 minutos por objeto. Posteriormente se tomó un espectro de alta resolución con 5 minutos de exposición del objeto IPHASJ194607.52+223112.3 utilizando la red de difracción #17, cubriendo la región 6350-6850 Å con 0.65 Å de resolución.

La nueva estrella simbiótica IPHASJ193501.31+135427.5 fue observada en agosto de 2008 con el telescopio *ATT (ANU/SSO)* usando como espectrógrafo el *DBS* (tabla 3.1). Este espectrógrafo de dos brazos permite, en su parte azul, una cobertura espectral entre 3700 y 6000 Å con una dispersión recíproca de 2.0 Å por píxel y una resolución de 4.5 Å. El tiempo de exposición fue de 30 minutos. Por su parte, el brazo rojo cubre desde 5700 a 9000 Å y el tiempo de exposición usado fue parecido al de la parte azul, lo mismo que la

dispersión y la resolución resultantes (1.9 Å por píxel y 5.0 Å, respectivamente). Ambos espectros fueron tomados con un ancho en la rendija del espectrógrafo de 2".

Los espectros fueron calibrados en longitud de onda utilizando diferentes lámparas. Para la calibración en flujo se observaron estrellas estándares espectrofotométricas de Oke (1990). La reducción de todos los espectros se realizó usando el paquete *IRAF* y los procedimientos explicados en el apartado 3.2.

4.1.2 Rasgos espectrales más notables

Como se mencionó en el apartado 1.2, para la identificación de un objeto como estrella simbiótica seguimos el criterio de clasificación de Allen (1984): el espectro debe mostrar los rasgos fotosféricos de la gigante fría y condiciones de ionización suficientemente elevadas como para producir, al menos, líneas de emisión de HeII. Sin embargo, entre las simbióticas descubiertas en el presente trabajo existen ejemplos, como IPHASJ190832.31+051226.6 e IPHASJ185704.44+002631.7, cuyo espectro no presenta HeII en emisión. No obstante, estos objetos presentan otras propiedades que analizaremos en detalle y que justifican su clasificación como estrellas simbióticas.

A continuación presentamos las características espectrales más importantes de las nuevas estrellas simbióticas. Para cada sistema, incluimos una gráfica con su espectro, una descripción del mismo y la carta de identificación de cada objeto en las tres bandas de *IPHAS*. Al final de este apartado se resumen en sendas tablas, una para cada tipo de simbiótica, S y D, los flujos relativos de las líneas de emisión identificadas. El flujo de cada línea está referido al de la línea de H α ($F(\text{H}\alpha) = 1000$) del espectro correspondiente. El flujo absoluto de H α que se lista para cada objeto debe tomarse como una simple estimación, ya que es el medido en una rendija relativamente estrecha y sin corregir por los efectos de la apertura.

IPHASJ182906.08-003457.2

El espectro de este objeto es el clásico de una estrella simbiótica, con un continuo rojo prominente y profundas bandas de absorción de TiO (apartado 4.1.3), típicas de una gigante fría (figura 4.1a). Aparecen líneas de emisión desde baja hasta alta excitación, incluyendo las líneas correspondientes a la serie de Balmer hasta H δ , He I $\lambda\lambda$ 5876, 6678, 7065, He II $\lambda\lambda$ 4686, 5411 y débiles líneas nebulares [Fe II] λ 5721, [Ca I] λ 6086, [Fe II] λ 6086 y otras como el O I λ 8446. No fueron detectadas otras líneas nebulares prohibidas en su espectro. La razón de los flujos de H α y H β es de 24 (tabla 4.1). En la figura 4.1b se muestra la carta de identificación de este objeto en las tres bandas de IPHAS.

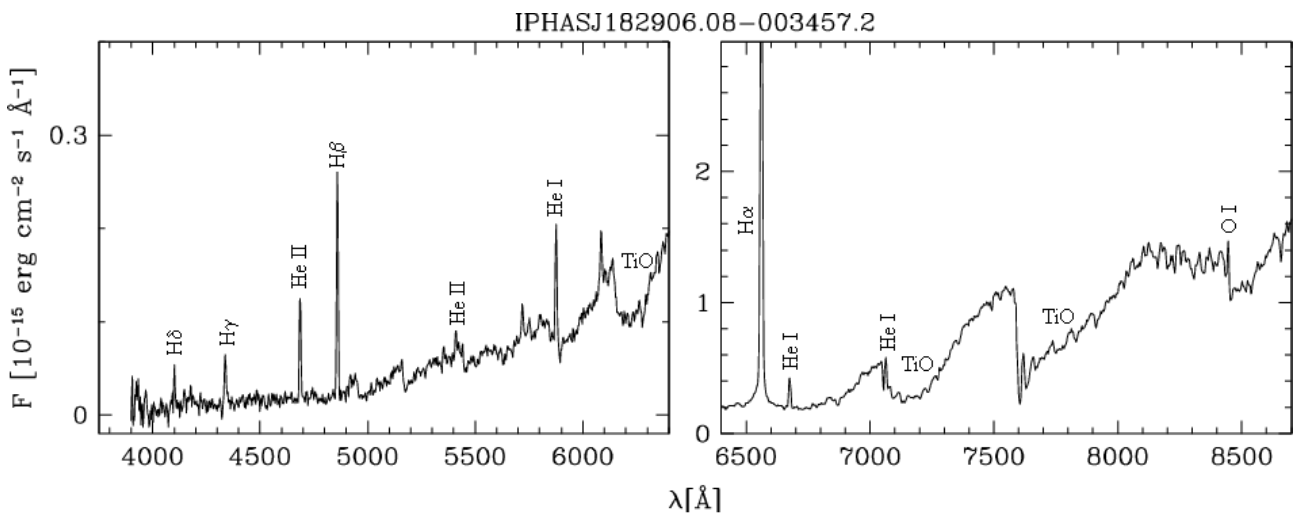


Figura 4.1a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ182906.08-003457.2.

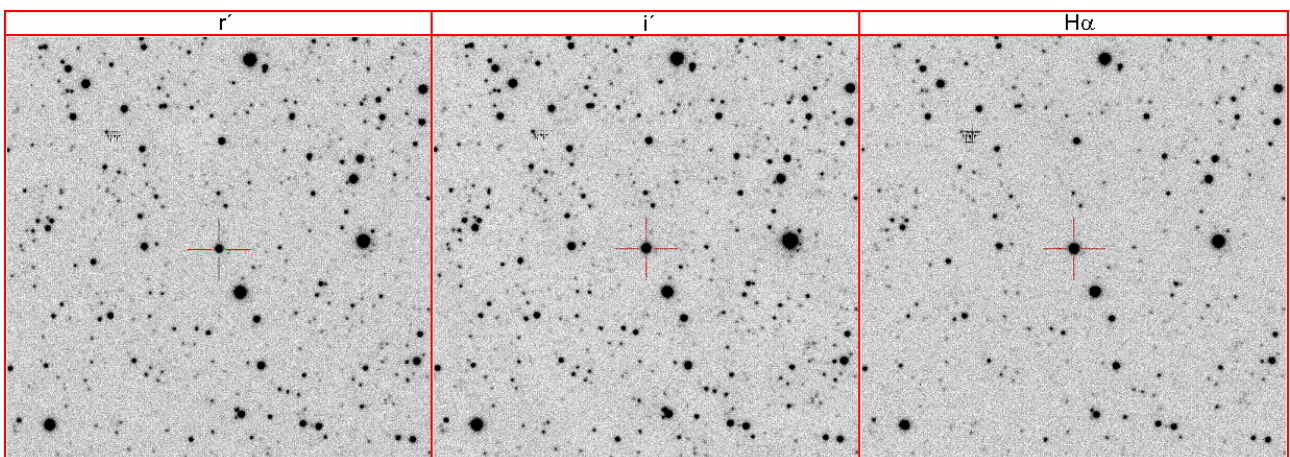


Figura 4.1b. IPHASJ182906.08-003457.2 en las tres bandas fotométricas de IPHAS (r' i' $H\alpha$) (en el centro de cada imagen e identificada con una cruceta roja). El tamaño de cada imagen es $3' \times 3'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

IPHASJ183501.83+014656.0

Este sistema está incluido en la lista de objetos débiles con H α en emisión de Robertson y Jordan (1989). Su espectro revela su naturaleza simbiótica, mostrando un continuo con bandas de absorción de TiO y muchas líneas de emisión de baja y alta ionización (figura 4.2a). Éstas incluyen [Ne III] λ 3869, las líneas de la serie de Balmer hasta H ζ , [O III] λ 4363, He II λ 4686, [O III] λ 4959, 5007, [Ar III] λ 7136 (débil), He I λ 5876, 6678, 7065, 7281 y O I λ 8446. La razón de los flujos de H α y H β es 25 (tabla 4.1). En la figura 4.2b se muestra la carta de identificación.

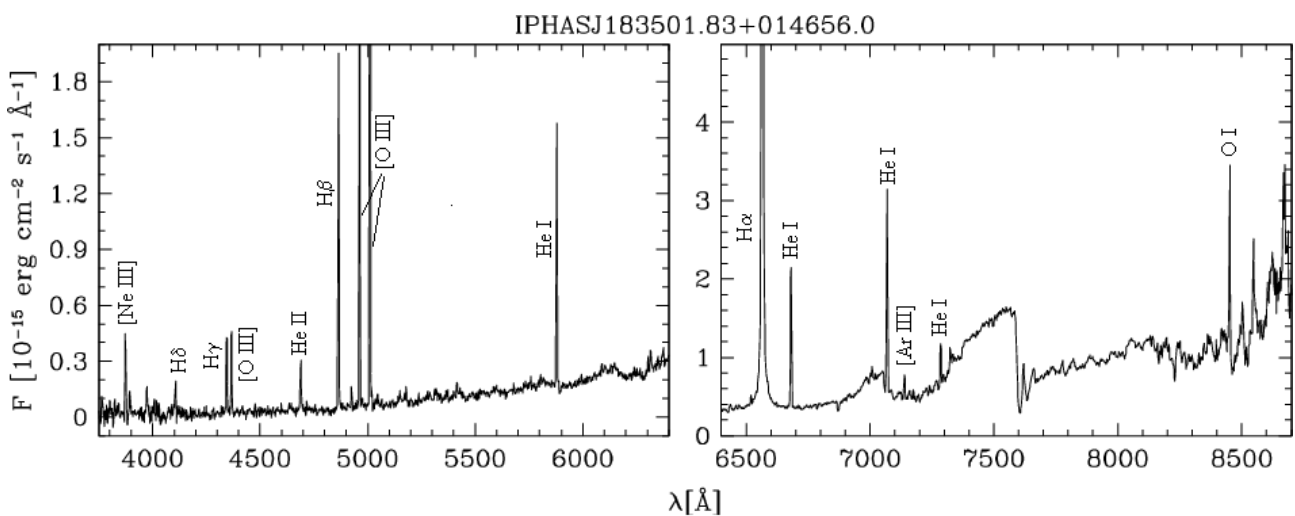


Figura 4.2a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ183501.83+014656.0.

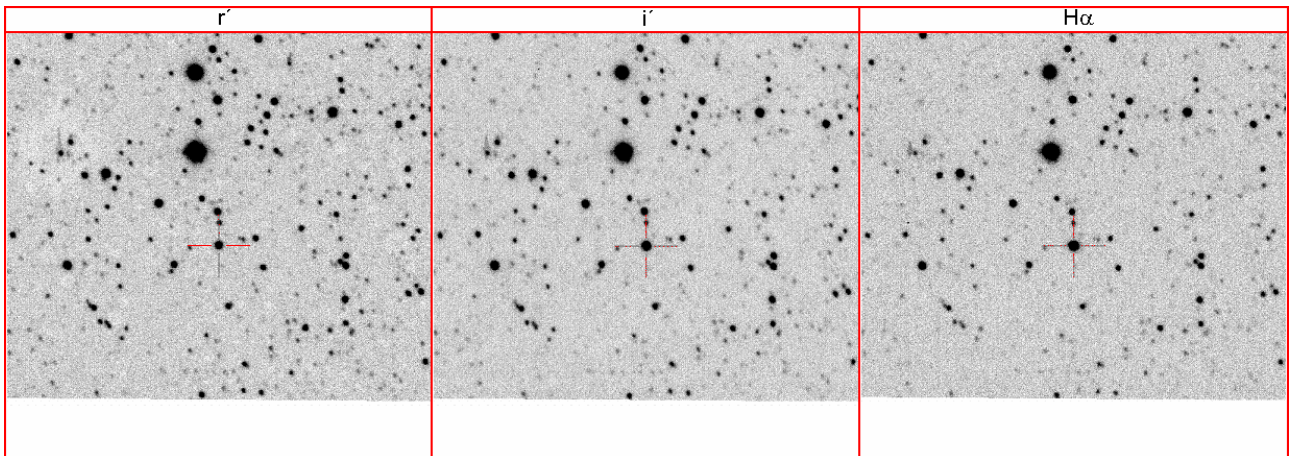


Figura 4.2b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ183501.83+014656.0.

IPHASJ184446.08+060703.5

Este objeto fue originalmente incluido en el catálogo de nebulosas planetarias de Kohoutek (1965) con el nombre PN K3-12. Sin embargo, Acker y Stenholm (1990) consideran que es un candidato a estrella simbiótica. El espectro confirma su naturaleza simbiótica por la presencia de líneas de emisión combinadas con las líneas en 6825 Å y 7082 Å de dispersión Raman, además de las bandas de absorción de TiO (figura 4.3a). Las líneas de emisión presentes incluyen a las pertenecientes a la serie de Balmer (hasta H ϵ λ 3835), He I λ 5876, 6678, 7065, He II λ 4686, 5411, Fe II λ 4924, 5018, [Fe II] λ 5721 (débil), [Ca V] λ 6086 (muy débil) y O I λ 8446. La razón de los flujos de H α y H β es 17 (tabla 4.1). En la figura 4.3b se muestra la carta de identificación.

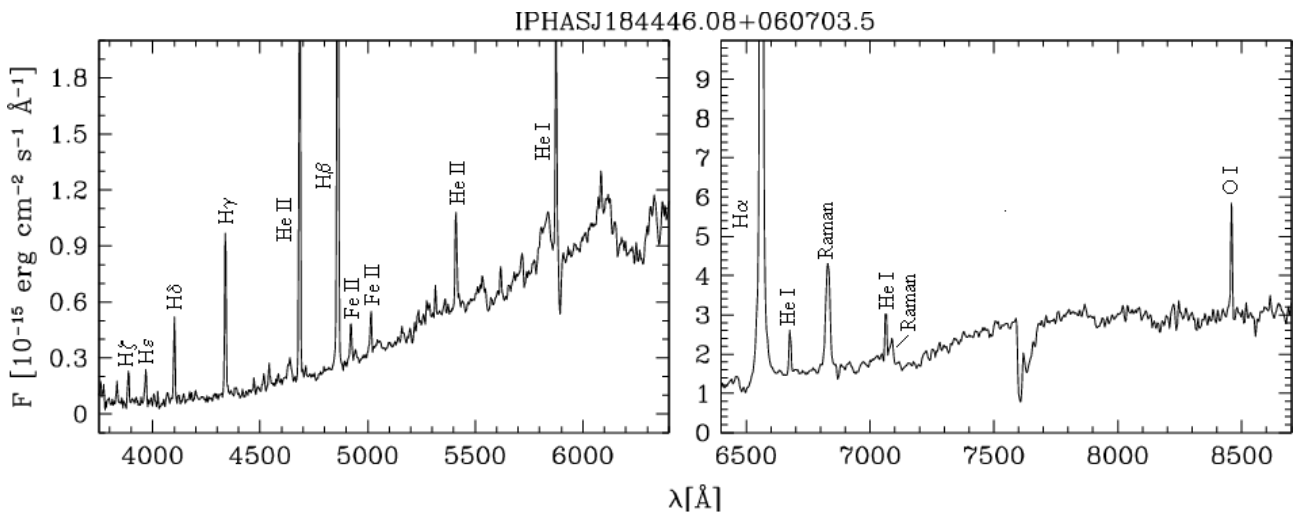


Figura 4.3a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ184446.08+060703.5.

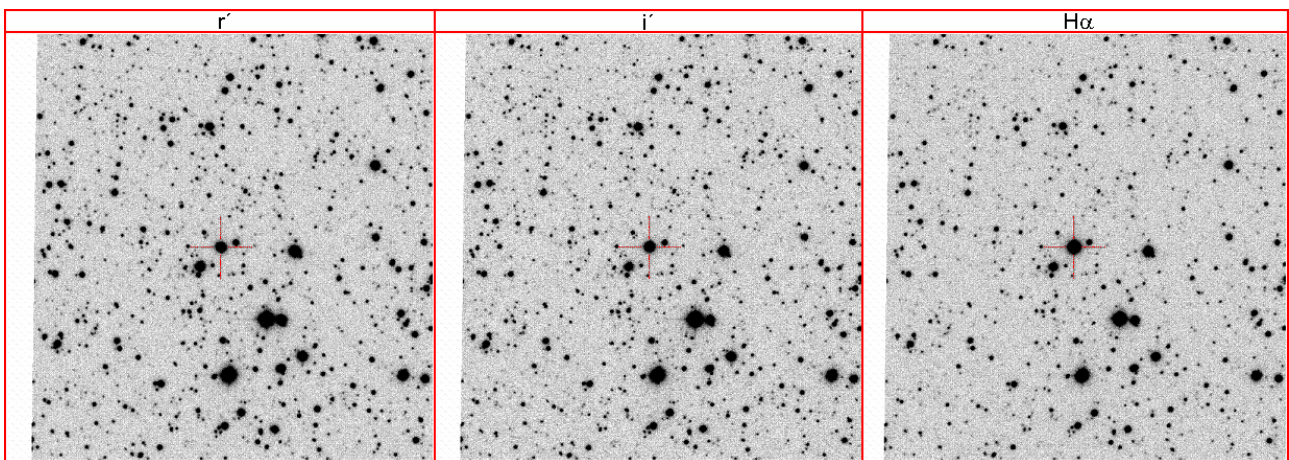


Figura 4.3b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ184446.08+060703.5.

IPHASJ184733.03+032554.3

Objeto muy enrojecido con ninguna señal por debajo de $H\beta$ (figura 4.4a). Su naturaleza simbiótica se manifiesta por las fuertes bandas de absorción de TiO y las siguientes líneas de emisión: [FeVII] λ 5721, HeI λ 5876, 6678, 7065, [CaV] λ 6086, [FeVII] λ 6086, OI λ 8446 y $H\alpha$, 66 veces más intensa que $H\beta$ (tabla 4.1). En la figura 4.4b se muestra la carta de identificación.

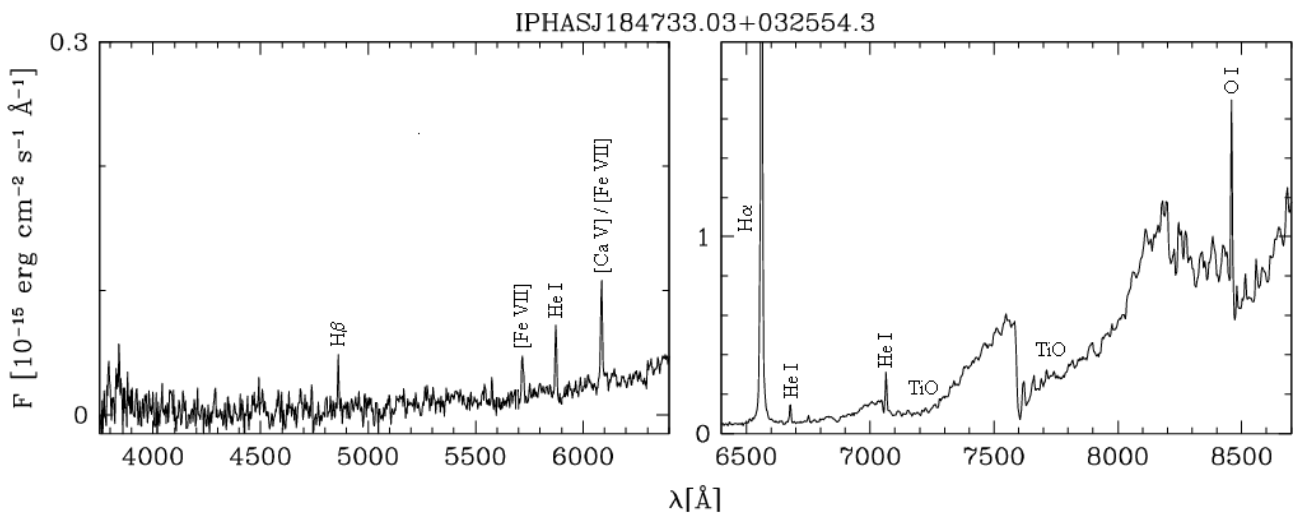


Figura 4.4a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ184733.03+032554.3.

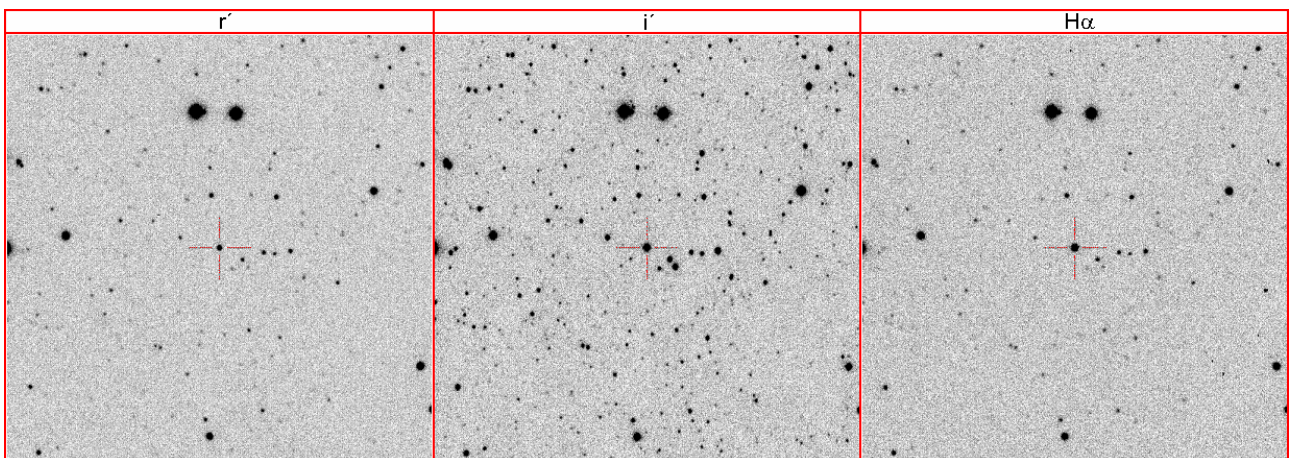


Figura 4.4b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ184733.03+032554.3.

IPHASJ185323.58+084955.1

El espectro de este objeto es también clásico de una estrella simbiótica, con prominente continuo y bandas de absorción de TiO en su región roja. Las líneas de emisión presentes incluyen las de la serie de Balmer (hasta H δ), HeI λ 4471 (muy débil), HeI λ 5016, 5876, 6678, 7065, HeII λ 4686 (tan intensa como H β) y HeII λ 5411, [OIII] λ 5007, FeII λ 4924, NiII λ 4634, 4641, [FeVII] λ 4942, 5158, 5721, [CaV] λ 6086, [FeVII] λ 6087, OI λ 8446 y los rasgos de la dispersión Raman en 6825 Å (figura 4.5a). La razón de los flujos de H α y H β es de 37 (tabla 4.1). En la figura 4.5b se muestra la carta de identificación.

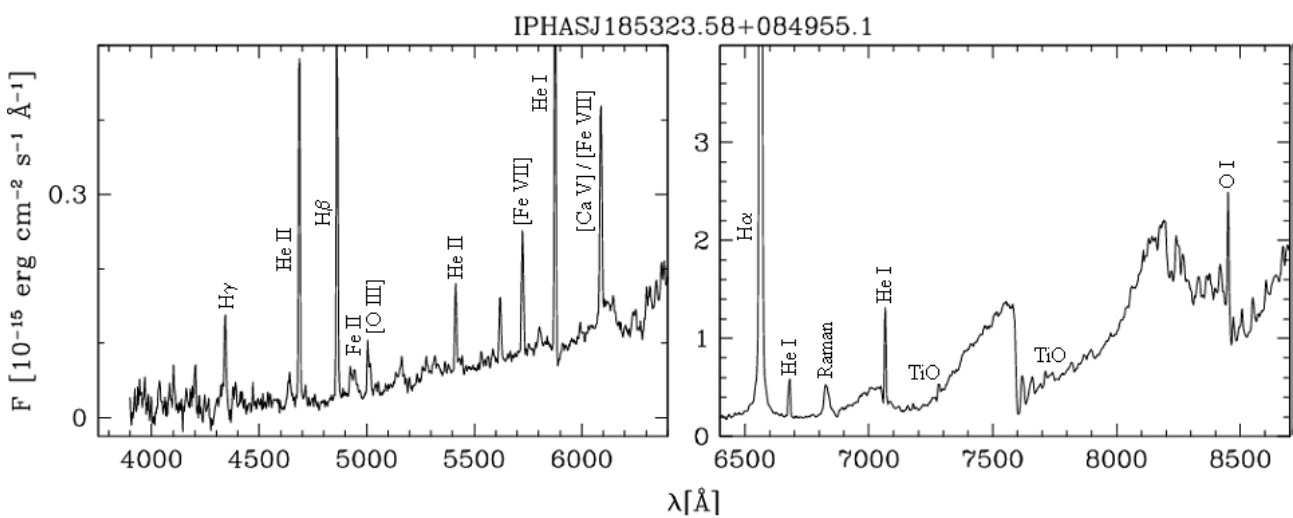


Figura 4.5a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ185323.58+084955.1.

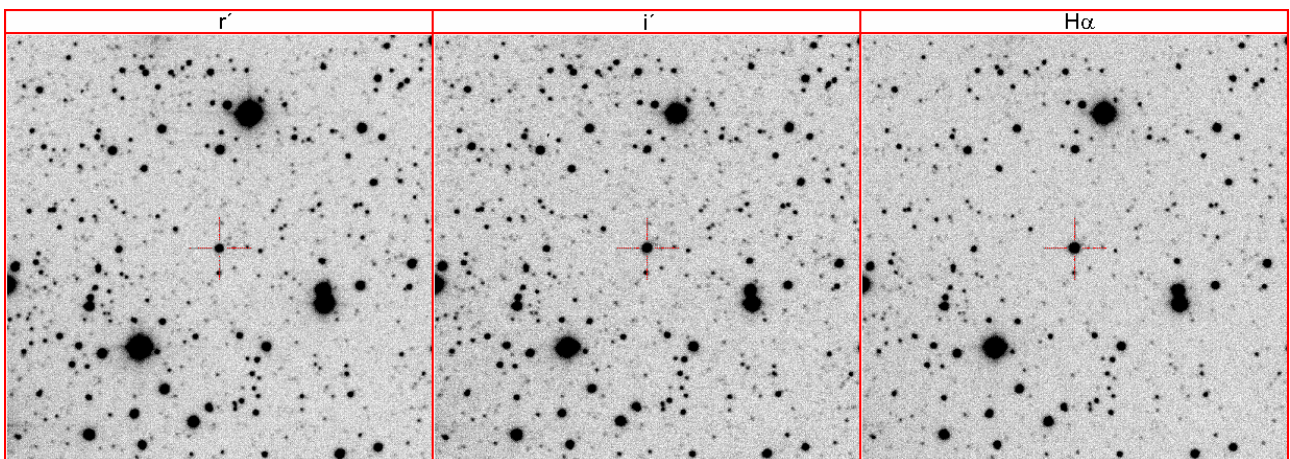


Figura 4.5b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ185323.58+084955.1.

IPHASJ185704.44+002631.7

El espectro de este objeto muestra un continuo con bandas de TiO y líneas de emisión pertenecientes a especies de baja y alta excitación, entre las cuales se cuenta la línea de $H\alpha$, HeI $\lambda\lambda 5876, 6678, 7065, 7281$, OI $\lambda 8446$, [ArIII] $\lambda 7136$, [OIII] $\lambda 5007$ y débiles [FeII] $\lambda 7155$ y [ArIV] $\lambda 7236$ (figura 4.6a y tabla 4.1). Relativamente cerca de este objeto (30') existe una conocida región HII pero no hay evidencias del vínculo entre esta región y el objeto que analizamos. En la figura 4.6b se muestra la carta de identificación.

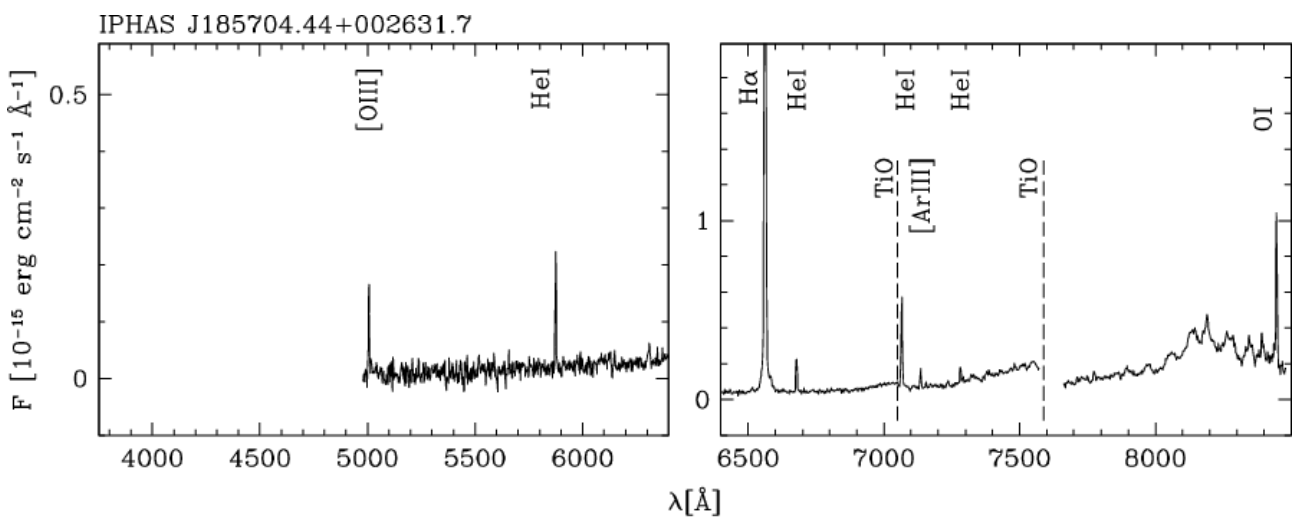


Figura 4.6a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ185704.44+002631.7.

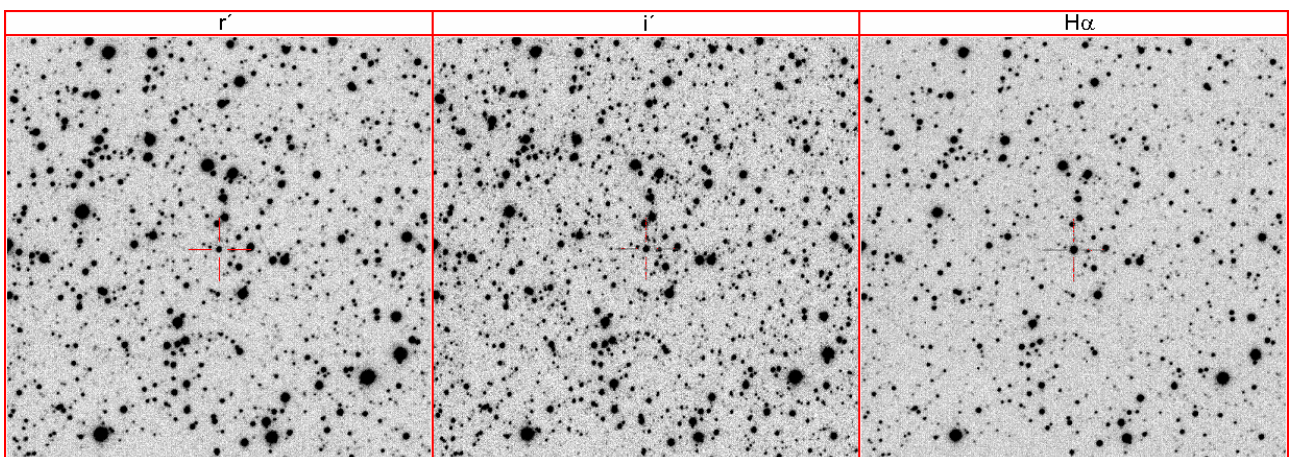


Figura 4.6b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ185704.44+002631.7.

IPHASJ190832.31+051226.6

Los dos espectros de este objeto, tomados en 2006 y 2009, son notablemente diferentes, aunque típicos de estrellas simbióticas observadas en distintas fases. En 2006 observamos un continuo rojo con bandas de TiO relativamente profundas, además de líneas de emisión, fundamentalmente de baja excitación ($H\alpha$, $H\beta$ y He I $\lambda\lambda 5876, 6678, 7065, 7281$) (figura 4.7a, superior). Quizás la pobre *SNR* del espectro de 2006, el gran enrojecimiento o la elevada densidad electrónica ($N_e \geq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, según la relación entre las líneas de He I en 5876 Å y 6678 Å, Schmid 1989), no permitieron la observación de otros rasgos correspondientes a especies de mayor excitación, salvo el [O III] $\lambda 5007$. $H\beta$ es 93 veces más débil que $H\alpha$ (tabla 4.1).

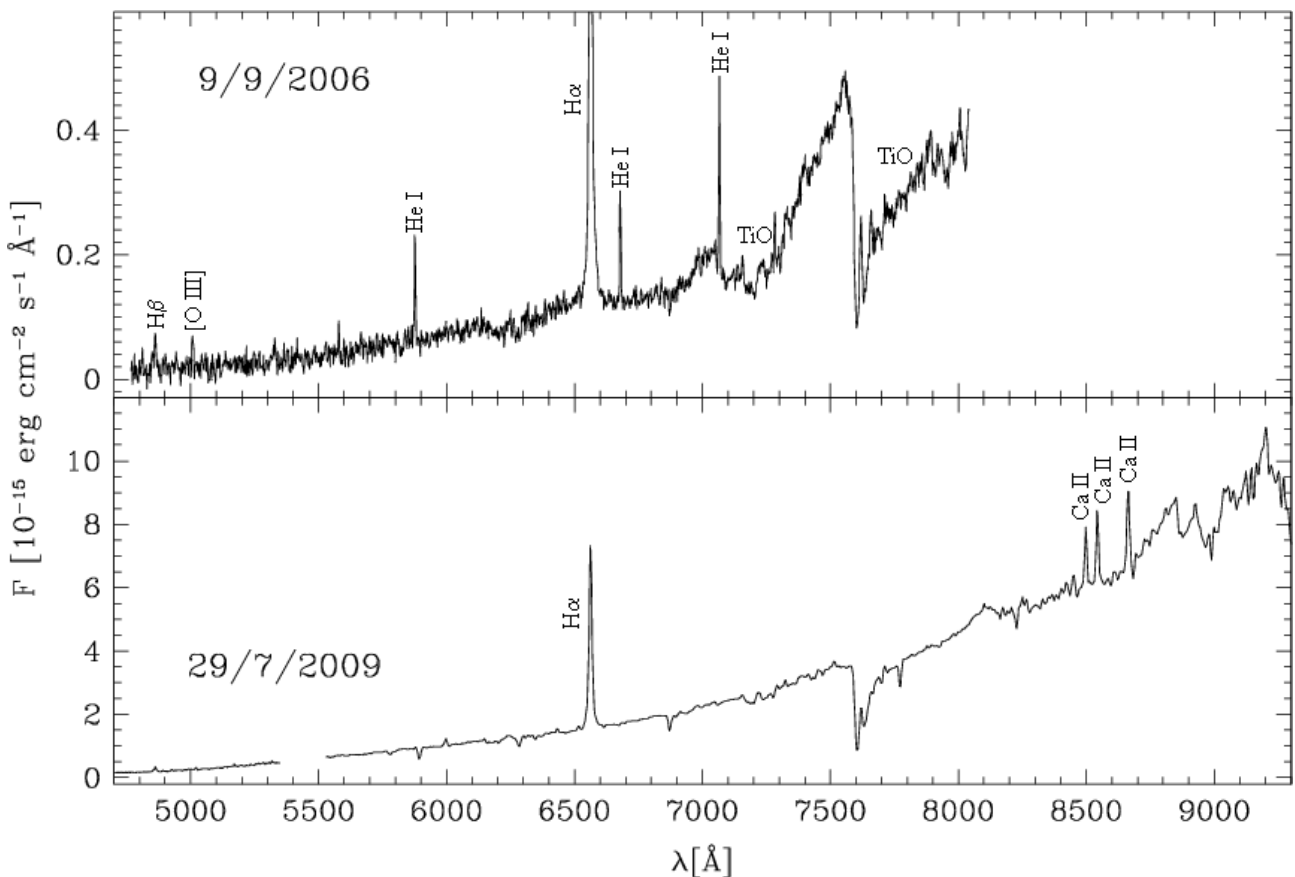


Figura 4.7a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ190832.31+051226.6, tomado en 2006 (superior) y 2009 (inferior).

Sin embargo, en 2009 su espectro se caracterizaba por un continuo dos magnitudes más brillante (como reflejado en su comportamiento fotométrico, figura 1 de Corradi et al. 2010b) y brillante con bandas de TiO de la gigante fría (figura 4.7a, inferior). Además, son visibles fuertes *DIBs* y líneas interestelares de NaI D en absorción. Las líneas de HeI en emisión han desaparecido, los rasgos en emisión (además de las líneas de H α) de baja excitación pertenecen a FeII y a un fuerte triplete de CaII en el IRC. En esta región, el espectro está dominado por la gigante fría con las líneas de la serie Paschen del H α y con las bandas moleculares en absorción (apartado 4.1.3). A lo anterior hay que agregar la variabilidad fotométrica de este objeto, que comentaremos en el apartado 4.2.2, y por lo que Corradi et al. (2010b) lo clasificaron como una simbiótica S en fase activa. En la figura 4.7b se muestra la carta de identificación.

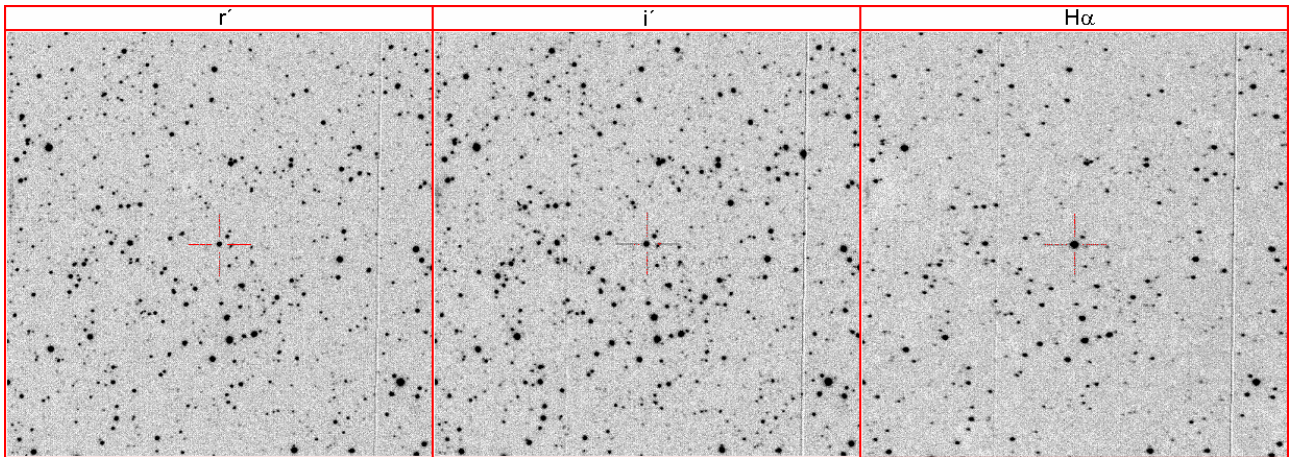


Figura 4.7b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ190832.31+051226.6.

IPHASJ190924.64-010910.2

SIMBAD lista este objeto como posible nebulosa planetaria (PN K4-17). Sin embargo, el espectro descrito por Stenholm y Acker (1987) no aclara su verdadera naturaleza. Nuestro espectro del telescopio *INT* (figura 4.8a) muestra las bandas de absorción de TiO y líneas de emisión de la serie de Balmer hasta H ϵ , [NeIII] λ 3869, [OIII] $\lambda\lambda$ 4363, 4959, 5007, HeII $\lambda\lambda$ 4686, 5411, [FeVII] $\lambda\lambda$ 5158, 5721, [FeV] $\lambda\lambda$ 5147, 5177, NIII $\lambda\lambda$ 4634, 4641, HeI $\lambda\lambda$ 4471, 5876, 6678, 7065, 7281, [CaV] λ 6086, OI λ 8446. La razón de los flujos de H α y H β es de 14 (tabla 4.1). En la figura 4.8b se muestra la carta de identificación.

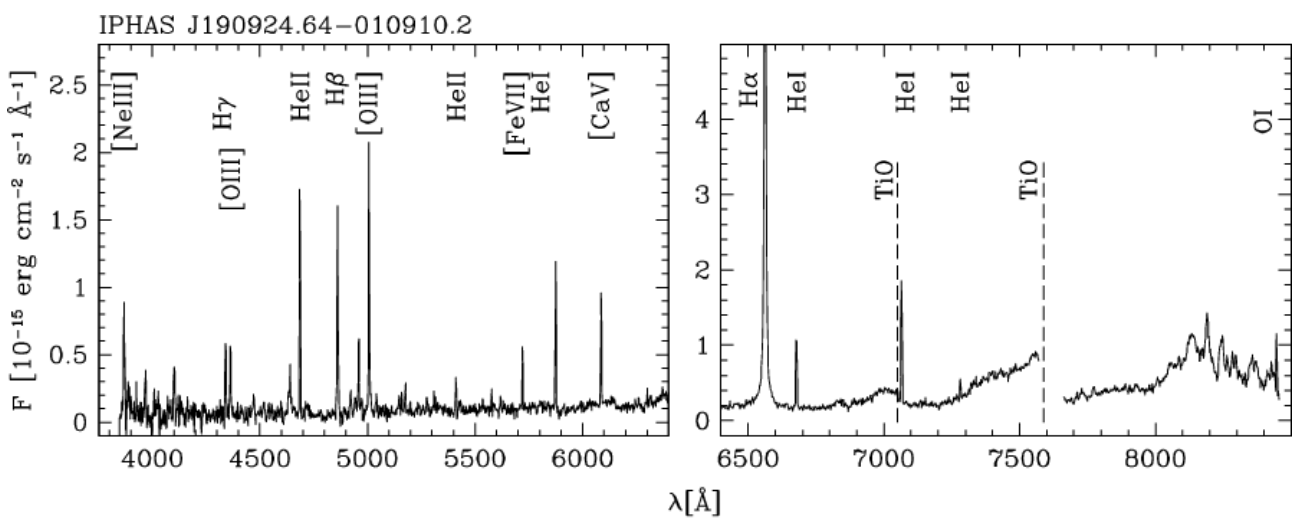


Figura 4.8a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ190924.64-010910.2.

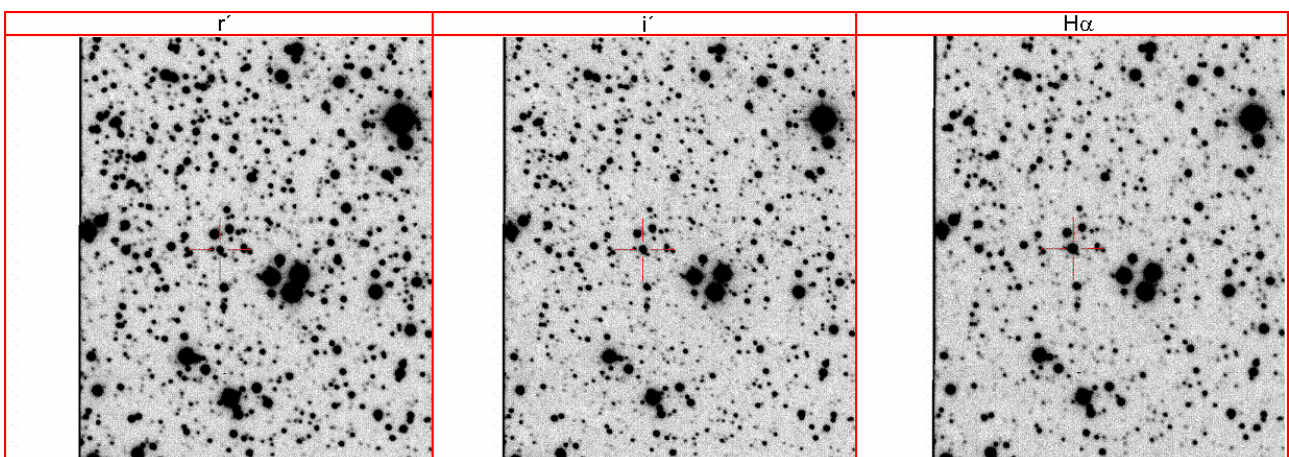


Figura 4.8b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ190924.64-010910.2.

IPHASJ190926.60+120044.6

Objeto identificado en *SIMBAD* como nebulosa planetaria (PN K 3-22) y catalogado como G045.6+01.5 por Acker et al. (1992). Su espectro está dominado por líneas nebulares correspondientes a especies tanto de baja (p.ej.: [O I], [S II]) como de alta excitación ([O III], He II, [Ca V], [Fe VII]) (figura 4.9a). La emisión de H I y He I es muy intensa mientras que la de He II es relativamente débil. A pesar de no estar en la figura, debido a que la calibración en flujo tiene una gran incertidumbre en esa zona, destacamos la presencia de las líneas de emisión de O I λ 8446 y del H I de la serie de Paschen (desde H I λ 8346 a H I λ 8863).

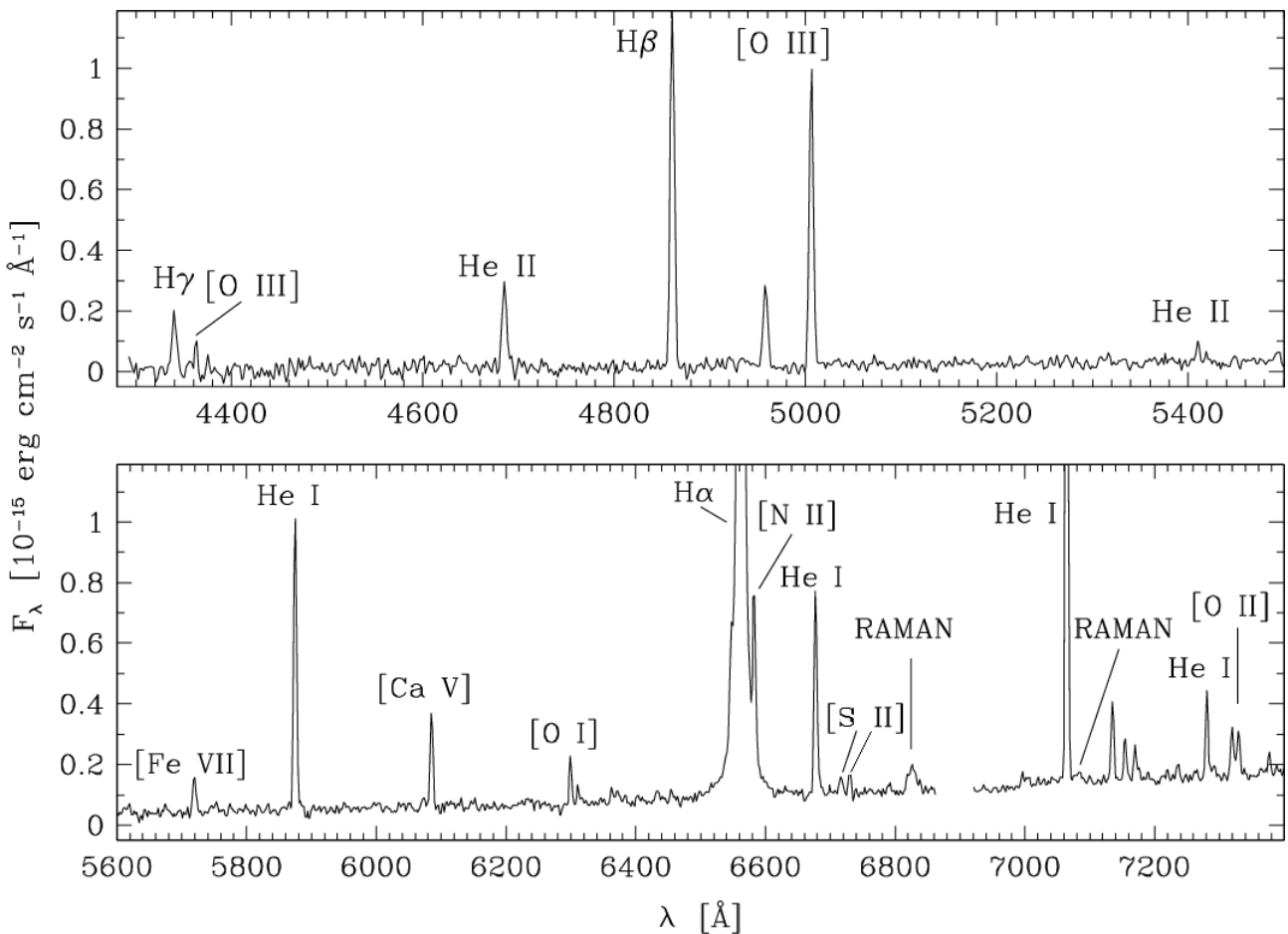


Figura 4.9a - Espectro de la simbiótica de tipo D IPHASJ190926.60+120044.6.

El objeto presenta un continuo débil que se eleva lentamente hacia el rojo, sin evidencia de bandas de absorción de una gigante fría. Su naturaleza simbiótica se manifiesta por los rasgos de emisión en 6825 Å y 7082 Å (débil), como resultado de la dispersión Raman del doblete en resonancia del OVI (Schmid 1989). La estrella presenta una elevada razón de los flujos de H α y H β (55) (tabla 4.2). Los colores IRC responden a una Mira enrojecida

por polvo a temperatura moderada ($T \sim 1000$ K), típico de una simbiótica de tipo D (Corradi y Giammanco 2010). En la figura 4.9b se muestra la carta de identificación.

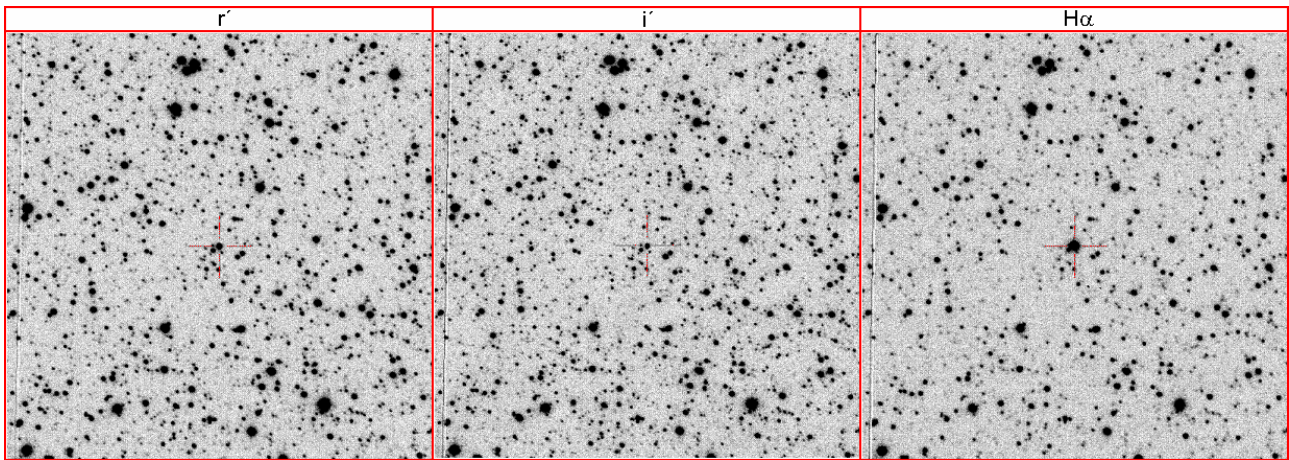


Figura 4.9b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ190926.60+120044.6.

IPHASJ193436.06+163128.9

El espectro de este objeto muestra prominentes bandas de absorción de TiO y líneas de emisión que incluyen las de la serie Balmer hasta $H\epsilon$, varias líneas de He I, He II $\lambda 4686$, [Fe II] $\lambda\lambda 4607, 4951$, el multiplete 43 de Fe II, O I $\lambda 8446$ y [O III] $\lambda\lambda 4363, 4931, 4959, 5007$, la última tres veces menos intensa que $H\beta$ (figura 4.10a). El cociente de los flujos de $H\alpha$ y $H\beta$ es de 30 (tabla 4.1). La pequeña razón entre los flujos de [O III] $\lambda 5007$ y [O III] $\lambda 4363$ (2.5) indica una elevada desexcitación colisional de la línea [O III] $\lambda 5007$ a causa de las altas densidades típicas de los sistemas simbióticos de tipo S. A densidades mayores de $\log(N_e)=5.8$, la tasa de desexcitación colisional del nivel energético 1D_2 para la producción de [O III] $\lambda 5007$ supera la tasa de desexcitación radiativa. En cambio, la línea auroral [O III] $\lambda 4363$, proveniente del nivel energético 1S_0 , tiene una densidad crítica más alta ($\log(N_e)=7.2$) por lo cual esta línea sigue produciéndose eficientemente. En la figura 4.10b se muestra la carta de identificación de esta estrella simbiótica.

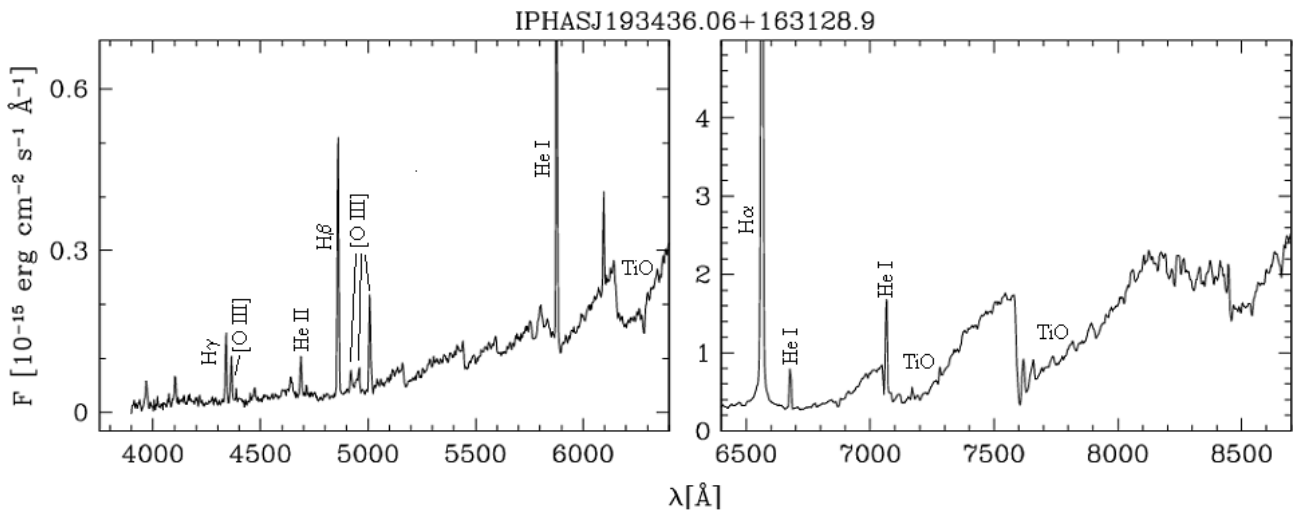


Figura 4.10a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ193436.06+163128.9.

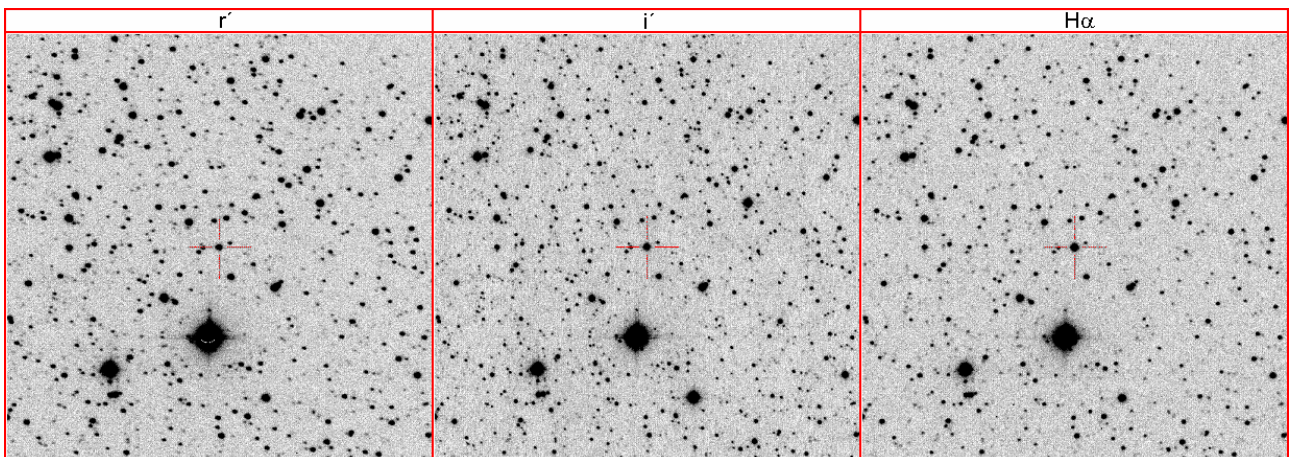


Figura 4.10b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ193436.06+163128.9.

IPHASJ193501.31+135427.5

Este objeto está incluido en el catálogo de estrellas con $H\alpha$ en emisión de Kohoutek y Wehmeyer (1999). El espectro revela su naturaleza simbiótica por la evidencia de bandas de absorción poco profundas de una gigante fría, similar a IPHASJ184446.08+060703.5 (apartado 4.1.3), junto con líneas de emisión de moderada y alta excitación (figura 4.11a). Estas líneas incluyen las de la serie de Balmer hasta $H\gamma$, algunas del He I y Fe II, O I $\lambda 8446$ y He II $\lambda 4686$. Además, aparecen líneas prohibidas de [Ne III] $\lambda 3869$ y [O III] $\lambda\lambda 5007, 4959, 4363$. Se observa la presencia de algunas *DIBs* intensas. El flujo de [O III] $\lambda 5007$ es más del doble que el de [O III] $\lambda 4363$ y la razón de los flujos de $H\alpha$ y $H\beta$ es de 13 (tabla 4.1). En la figura 4.11b se muestra la carta de identificación.

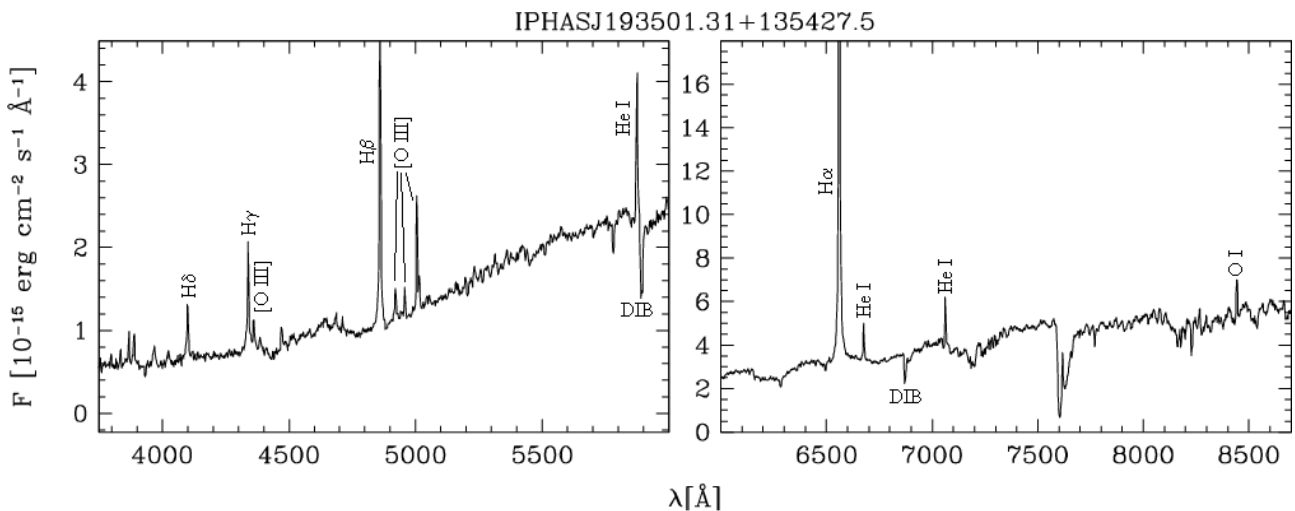


Figura 4.11a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ193501.31+135427.5.

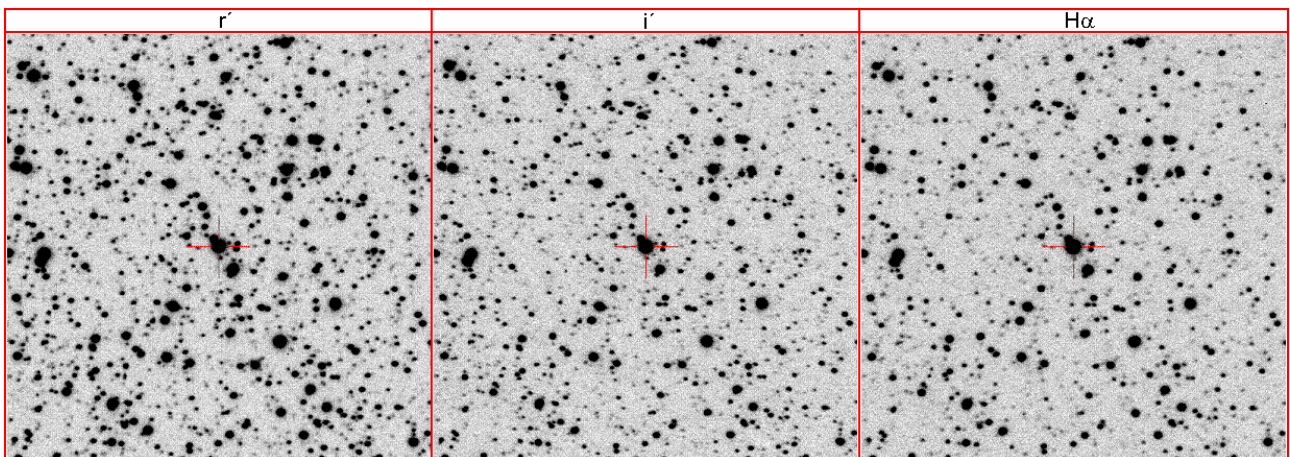


Figura 4.11b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ193501.31+135427.5.

IPHASJ194607.52+223112.3

Además de las líneas de emisión de H I y He I, el espectro de este objeto muestra numerosas líneas nebulares de especies de baja ([O I], [O II], [N II], [S II], [Fe II]) y de alta ionización ([Ar III], [Ar V], [O III], [S III], He II, [Fe VI], [Fe VII], [Ca V]) (figura 4.12a). También se observan líneas de la serie de Paschen (desde H I λ 8346 a H I λ 8863) y O I λ 8446. La razón de los flujos de H α y H β es 46 (tabla 4.2). El continuo es débil y sin evidencias de bandas de absorción de TiO. Sin embargo, la presencia de la emisión Raman en 6825 Å es una prueba inequívoca de su naturaleza simbiótica. Su ubicación en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS* (figuras 4.19 y 4.20, respectivamente) y los rasgos nebulares de su espectro son suficientes para ubicarla dentro de las simbióticas de tipo D (Corradi et al. 2010a). En la figura 4.12b se muestra la carta de identificación.

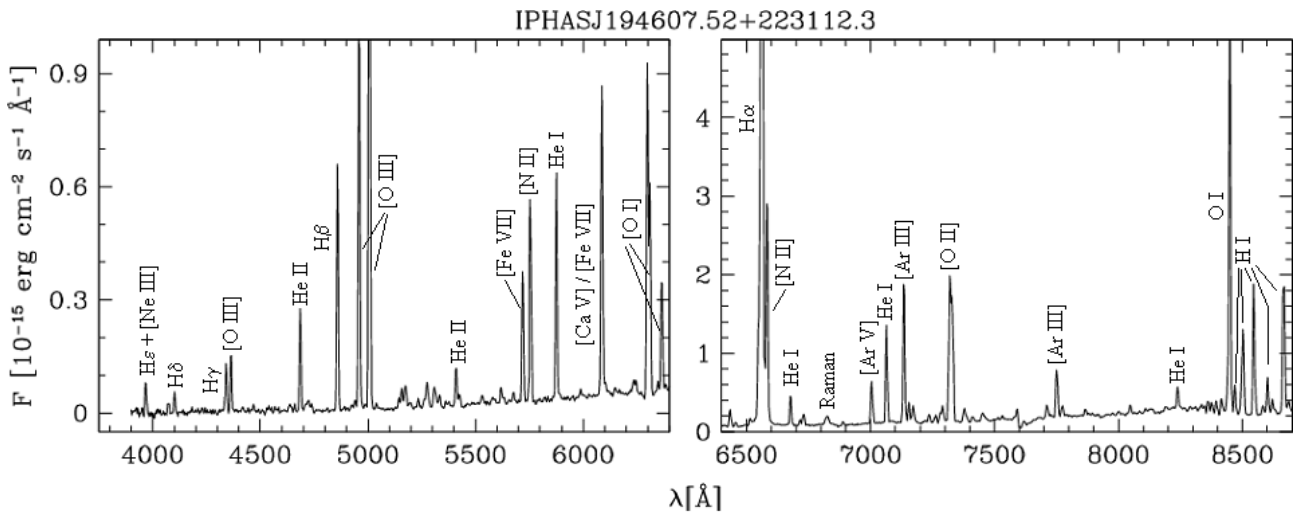


Figura 4.12a - Espectro de la simbiótica de tipo D IPHASJ194607.52+223112.3.

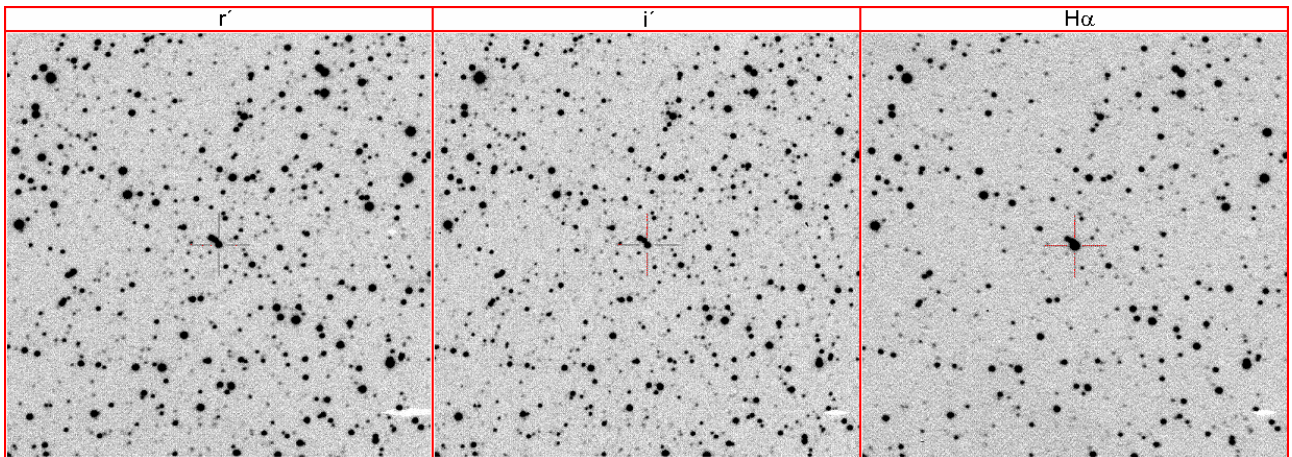


Figura 4.12b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ194607.52+223112.3.

IPHASJ202510.58+435233.0

SIMBAD identifica este objeto como nebulosa planetaria mal clasificada (PN K3-59) pero un espectro de Sabbadin et al. (1987) solamente revela la línea de H α en emisión (muy débil) sobre un continuo muy rojo. El espectro tomado por nosotros, de mayor resolución espectral y mejor *SNR*, muestra los rasgos típicos de una estrella simbiótica (figura 4.13a): continuo con bandas de absorción de TiO más líneas de emisión tanto de especies de baja como de alta excitación, incluyendo las de la serie de Balmer hasta H γ , [O I] λ 6300, [O III] $\lambda\lambda$ 4363, 4959, 5007, He II λ 4686, He I $\lambda\lambda$ 4922, 5876, 6678, 7065, 7281 y O I λ 8446. La razón de los flujos de H α y H β es de 51 (tabla 4.1). En la figura 4.13b se muestra la carta de identificación.

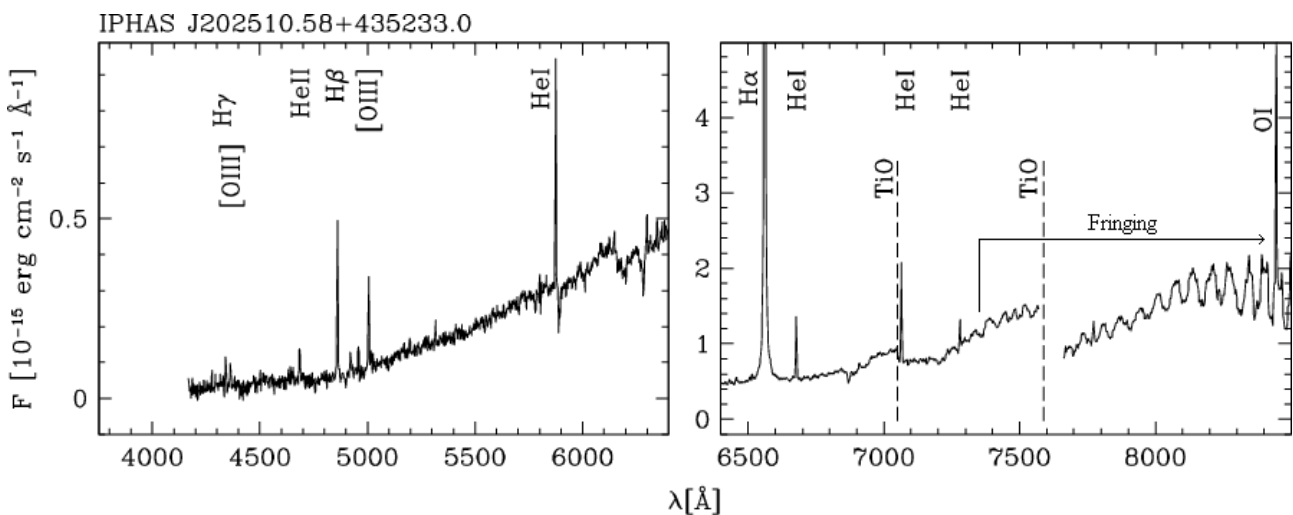


Figura 4.13a - Espectro de la simbiótica de tipo S IPHASJ202510.58+435233.0.

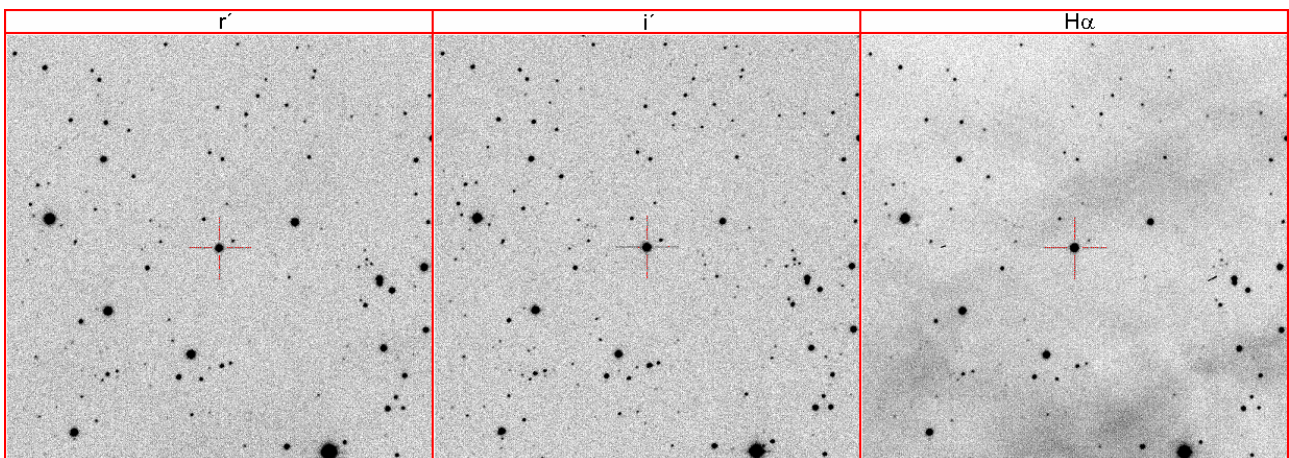


Figura 4.13b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ202510.58+435233.0.

IPHASJ205836.43+503307.2

Esta es quizás la estrella simbiótica más interesante descubierta por *IPHAS*. El espectro tomado en 2006 en el *INT* (figura 4.14a, superior y siguiente) presenta un continuo rojo con bandas de absorción, particularmente de CN, típicas de las gigantes ricas en carbono (apartado 4.1.3). Además, aparecen líneas de emisión correspondientes a especies tanto de baja (p. ej.: [OI], [OII], [FeII], [SII]) como de elevada excitación ([OIII], HeII, [CaV], [FeVII]). La razón de los flujos de H α y H β es de 27.

Obtuvimos un segundo espectro al final de 2010 en SPM, cubriendo la región espectral entre $\sim 6000 \text{ \AA}$ y 9500 \AA y encontrando que el brillo de la gigante había aumentado de más de 2 magnitudes respecto a 2006 (para una descripción detallada de la variabilidad fotométrica del sistema, ver Corradi et al. 2011). El espectro aparece ahora completamente dominado por la gigante de carbono, con sus líneas de absorción de K1 $\lambda\lambda 7665, 7699$ y las intensas bandas de absorción de CN (figura 4.14a, tercer panel). Otro espectro obtenido en 2010 con el *WHT*, durante una noche nublada pero con muy buen *seeing*, nos permitió resolver espacialmente la región donde se originan las líneas de emisión de [NII]: estimamos que la nebulosa circunestelar de baja densidad donde se producen esas líneas prohibidas tiene un tamaño aparente de 2.5 segundos de arco (Corradi et al. 2011).

El espectro observado, los colores IRC y la variabilidad fotométrica registrada (Corradi et al. 2011), son consistentes con la clasificación de este objeto como una simbiótica de tipo D conteniendo una variable Mira rica en carbono y una envoltura espesa de polvo circunestelar. Es importante destacar que, además de *IPHASJ205836.43+503307.2*, sólo se conocen otras dos estrellas simbióticas con Mira de carbono en la Galaxia (SS 38 y AS 210, Gromadzi et al. 2009). Así pues este inusual objeto puede proporcionar valiosa información sobre las propiedades de los pulsos de las Miras de carbono, la causa de las variaciones fotométricas de largo período, etc.

Como parte del seguimiento fotométrico y espectroscópico de este objeto, tomamos un nuevo espectro profundo en diciembre de 2011, usando *ISIS* en el *WHT* (panel inferior de la figura 4.14a). Están presentes los mismos rasgos de la gigante fría detectados en el espectro de 2010. La comparación con el espectro obtenido en 2006, de profundidad similar, nos indica que el flujo de las líneas de emisión H α ($F(\text{H}\alpha) = 1.3 \cdot 10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$),

H β y [O III] no ha variado, dentro de los errores estimados, desde el año 2006. Sin embargo, no hay indicios en el nuevo espectro de los rasgos de emisión de líneas de muy alta excitación como [Ca V] λ 6086 y [Fe VII] λ 5722, que se detectaban claramente en 2006.

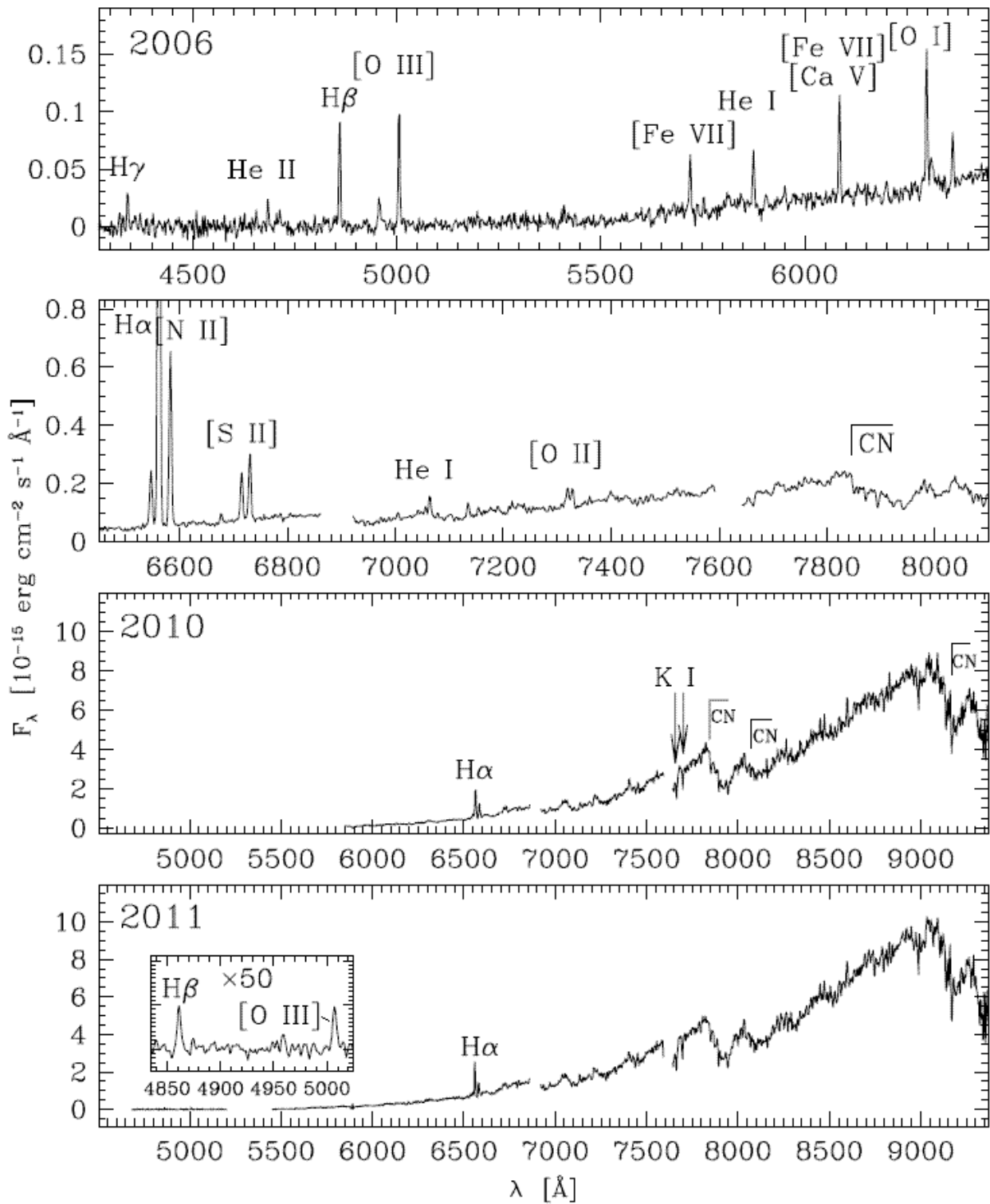


Figura 4.14a - Espectros de la simbiótica de tipo D IPHASJ205836.43+503307.2, tomados en 2006, 2010 y 2011. En el espectro inferior (2011), se ha ampliado la zona de menor longitud de onda para facilitar la identificación de las líneas H β y [O III] λ 5007 en emisión.

Las líneas de [CaV] $\lambda 6086$ y [FeVII] $\lambda 5722$ se forman muy cerca de la compañera caliente de la Mira y su desaparición puede deberse a dos posibles causas. La primera es que, por el movimiento orbital, la pequeña región cerca de la enana blanca donde se forman las líneas de alta excitación esté ahora eclipsada por la Mira, cuya fotosfera tiene un tamaño considerable (varias unidades astronómicas). El problema con esta interpretación es el lento movimiento orbital, considerando que el período de este tipo de simbióticas se estima en muchas decenas o cientos de años. La segunda explicación es que, por cualquier razón (p. ej.: una variación de la tasa de acreción o el fin de una fase eruptiva), la temperatura y/o luminosidad de la enana blanca hayan bajado significativamente, como ocurre frecuentemente en las estrellas simbióticas. En ambos casos, las líneas de excitación más baja como H α y [NII] no estarían afectadas porque se forman en una región cientos o miles de veces más grande que la líneas de alta excitación (evitando el eclipse), y se pueden producir con una enana blanca considerablemente más fría.

En la figura 4.14b se muestra la carta de identificación de este objeto.

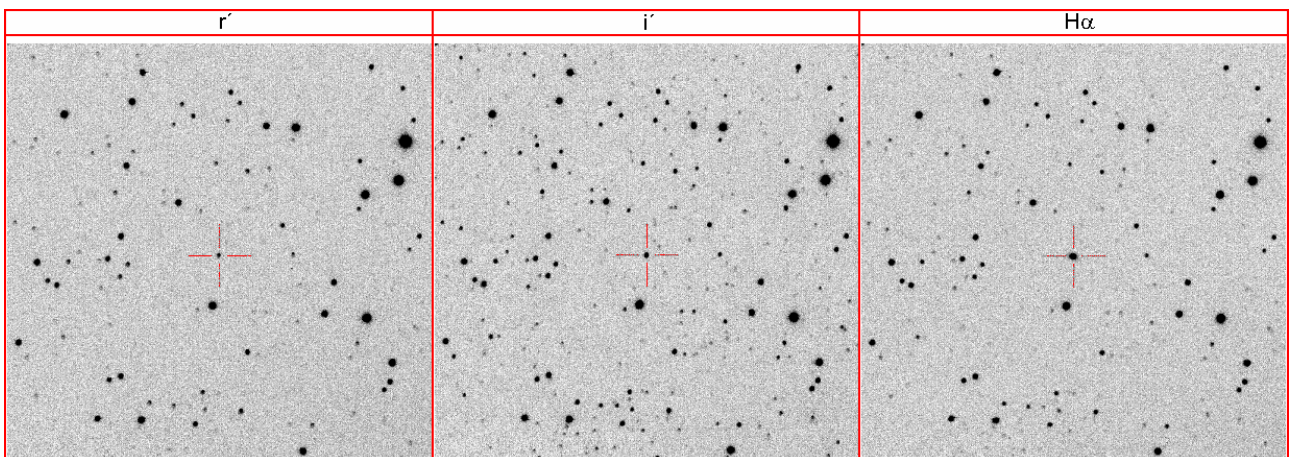


Figura 4.14b – Igual que la figura 4.1b, para IPHASJ205836.43+503307.2.

Tabla 4.1 - Flujos relativos a $F(H\alpha)=1000$ de las líneas de emisión observadas en las nuevas simbióticas S. Los nombres se identifican por la ascensión recta.

Línea	185704	190924	202510	182906	183501	184446	184733	185323	193436	193501	190832
H I λ 3835	-	-	-	-	-	1	-	-	-	5	-
[Ne III] λ 3869	-	46	-	-	8	-	-	-	-	7	-
H I λ 3889	-	-	-	-	3	2	-	-	-	10	-
H I λ 3970	-	26	-	-	5	3	-	-	6	9	-
N II λ 4026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-
H I λ 4102	-	28	-	6	4	6	-	4	6	13	-
H I λ 4340	-	31	5	11	8	12	-	13	9	29	-
[O III] λ 4363	-	27	2	-	9	-	-	-	5	10	-
He I λ 4388	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
He I λ 4471	-	5	-	-	-	-	-	1	2	5	-
Fe II λ 4473	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[Fe II] λ 4607	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
N III λ 4634	-	11	-	-	-	-	-	2	-	-	-
N III λ 4641	-	12	-	-	-	-	-	6	2	-	-
He II λ 4686	-	72	5	20	6	40	-	26	5	5	-
H I λ 4861	-	69	20	41	40	60	15	27	34	77	11
He I λ 4922	-	-	7	-	-	-	-	-	3	8	-
Fe II λ 4924	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	-
[O III] λ 4931	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
[Fe VII] λ 4942	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-
[Fe II] λ 4951	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
[O III] λ 4959	-	24	3	-	37	-	-	-	3	5	-
[O III] λ 5007	26	84	11	-	126	-	-	3	13	23	14
[Fe VI] λ 5147	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[Fe VII] λ 5158	-	7	-	-	-	-	-	4	-	-	-
[Fe VI] λ 5177	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe II λ 5316	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
He II λ 5411	-	16	-	4	-	7	-	7	-	-	-
[Fe VII] λ 5721	-	21	-	7	-	2	14	11	-	-	-
He I λ 5876	39	52	27	22	29	16	18	34	43	40	28
[Cav] λ 6086	-	39	-	10	-	3	33	19	-	-	-
[Fe VII] λ 6086	-	4	-	1	-	-	2	2	-	-	-
[O I] λ 6300	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
He I λ 6678	32	46	36	41	38	15	24	23	34	31	28
Raman λ 6825	-	-	-	-	-	97	-	60	-	-	-
He I λ 7065	83	74	53	44	59	18	49	58	88	32	53
Raman λ 7082	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-
[Ar III] λ 7136	18	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-
[Fe II] λ 7155	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[Ar IV] λ 7236	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
He I λ 7281	14	11	15	-	12	-	-	-	-	-	13
O I λ 8446	107	26	137	51	37	40	262	61	21	54	-

Tabla 4.2 – Igual que la tabla 4.1, para las nuevas simbióticas D.

Línea	194607	190926	205836
H I λ 3970	3	–	–
O II λ 4069	1	–	–
O II λ 4076	1	–	–
H I λ 4102	2	–	–
H I λ 4340	4	5	13
[O III] λ 4363	5	2	–
He II λ 4686	9	4	9
H I λ 4861	22	18	37
[O III] λ 4959	36	5	11
[O III] λ 5007	121	16	39
[Fe VII] λ 5158	2	–	–
[Fe VI] λ 5177	2	–	–
Fe III λ 5273	5	–	–
[Cav] λ 5309	3	–	–
S II λ 5333/Cr II λ 5335	2	–	–
He II λ 5411	4	1	4
[Fe VI] λ 5425	2	–	–
V II λ 5618	3	–	–
N II λ 5676	2	–	–
[Fe VII] λ 5721	13	2	20
[N II] λ 5755	19	–	–
He I λ 5876	20	14	18
[Cav] λ 6086	29	5	39
[Fe VII] λ 6086	2	–	3
Fe II λ 6238	2	–	–
Fe II λ 6248	1	–	–
[O I] λ 6300	31	2	55
[S III] λ 6312	19	1	15
Fe II λ 6318	–	–	21
[O I] λ 6364	11	–	18
Fe II λ 6433	7	–	–
Fe II λ 6456	2	–	–
[N II] λ 6548	37	4	77
[N II] λ 6583	112	4	255
He I λ 6678	13	10	12
[S II] λ 6716	2	1	66
[S II] λ 6731	5	1	91
Raman λ 6825	7	4	–
He II λ 6891	2	–	–
[Ar V] λ 7005	19	–	9
He I λ 7065	41	40	22
Raman λ 7082	–	1	–
[Ar III] λ 7136	65	4	18
[Fe II] λ 7155	9	2	11
[Ar IV] λ 7170	10	2	–
[Ar IV] λ 7236	3	1	–
[Ar IV] λ 7263	3	–	–

Tabla 4.2 – Cont.

Línea	194607	190926	205836
HeI λ 7281	4	4	–
[OI] λ 7320	64	2	34
[OI] λ 7331	60	2	33
[FeII] λ 7379	10	1	–
[FeII] λ 7452	6	1	–
HeII λ 7593	5	–	–
FeII λ 7711	6	–	–
[ArIII] λ 7751	21	–	–
[ClIV] λ 8046	4	–	–
HeI λ 8237	10	2	–
HI λ 8346	–	3	–
HI λ 8359	–	5	–
HI λ 8374	–	3	–
HI λ 8392	–	2	–
HI λ 8413	–	2	–
HI λ 8438	–	4	–
OI λ 8446	189	42	–
HI λ 8467	10	2	–
HI λ 8502	41	–	–
HI λ 8545	57	–	–
HI λ 8598	14	–	–
HI λ 8665	62	–	–
HI λ 8750	24	–	–
HI λ 8863	34	–	–
HeII λ 8929	14	–	–

4.1.3 Rasgos espectrales de la gigante roja

La mayoría de las estrellas simbióticas descubiertas en este trabajo presentan espectros típicos con bandas de absorción¹⁰ correspondientes a una fotosfera fría. Sólo IPHASJ190926.60+120044.6 (figura 4.9a) e IPHASJ194607.52+223112.3 (figura 4.12a) presentan un continuo débil sin la evidencia de dichas bandas, lo cual se explica por ser sistemas simbióticos de tipo D. En todas las simbióticas de tipo S aparecen las conocidas bandas de TiO en 7053 Å, 7589 Å y 8206 Å (ver espectros en el apartado anterior). La comparación de estos rasgos con los descritos por Kirkpatrick et al. (1991) sugiere que la componente fría de estos sistemas es una estrella de tipo espectral M.

En la simbiótica de tipo S en fase activa IPHASJ190832.31+051226.6, además de los rasgos típicos de la gigante fría en el visible, se observa en su espectro IRC la presencia

¹⁰ Los valores que identifican las bandas moleculares de absorción corresponden a las cabezas de las mismas.

de bandas de absorción de TiO (1.1 μm), CO (1.56 y 2.29 μm) y VO (1.046 μm). Por su parte, IPHASJ205836.43+503307.2 (única simbiótica de tipo D de la muestra donde se observan claramente los rasgos de la componente fría), presenta un continuo rojo con bandas moleculares de absorción de CN y KI, típicas de las estrellas ricas en carbono.

Las figuras 3 y 5b de Kirkpatrick et al. (1991) nos permiten estimar a *grosso modo* el subtipo espectral de la gigante, comparando las intensidades relativas de las bandas observadas. Según eso, IPHASJ202510.58+435233.0, IPHASJ185704.44+002631.7, IPHASJ193501.31+135427.5 e 184446.08+060703.5 contendrían una gigante M de tipo temprano (M0-M2), mientras que IPHASJ190924.64-010910.2 e IPHASJ190832.31+051226.6 serían de tipo intermedio (M4-M5). Las restantes cinco simbióticas S contendrían gigantes más tardías que M5. En dos de estas últimas (IPHASJ182906.08-003457.2 e IPHASJ193436.06+163128.9), se observa además TiO en 4950 Å y 5450 Å y CaOH en 5500 Å.

4.1.4 Modelización de la gigante roja de los sistemas y estimación de la distancia

Conociendo el tipo espectral de la gigante, su magnitud aparente Ks y el enrojecimiento que sufre podemos estimar la distancia a la que se encuentran los nuevos sistemas simbióticos. Con ese fin hemos ajustado a los espectros observados una colección de espectros de estrellas gigantes rojas tomados de la librería de Flucks et al. (1994) tras sumarles la contribución del continuo nebuloso (Osterbrock y Ferland 2006). Para corregir el enrojecimiento se supuso la misma extinción para la gigante fría y para la región nebuloso, y se adoptó la ley de extinción de Fitzpatrick (1999) con $R_v=3.1$. De esta manera fue posible determinar el tipo espectral de la gigante con un error de unos 0.3 subtipos y el enrojecimiento E(B-V) con 0.1 mag de precisión. Un ejemplo se muestra en la figura 4.15.

La extinción sufrida por las nuevas estrellas simbióticas en las bandas V y Ks se calculó directamente integrando sobre todo el perfil de transmisión de la banda (y no solamente en las longitudes de onda efectivas) siguiendo el procedimiento descrito por Fiorucci y Munari (2003) lo cual asegura una mayor consistencia de los resultados. Para el cálculo de la distancia se supuso que la emisión en Ks se origina en su totalidad en la gigante roja, ya que la emisión libre-libre de la componente nebuloso y la emisión térmica del polvo circunestelar son despreciables en esta región del espectro.

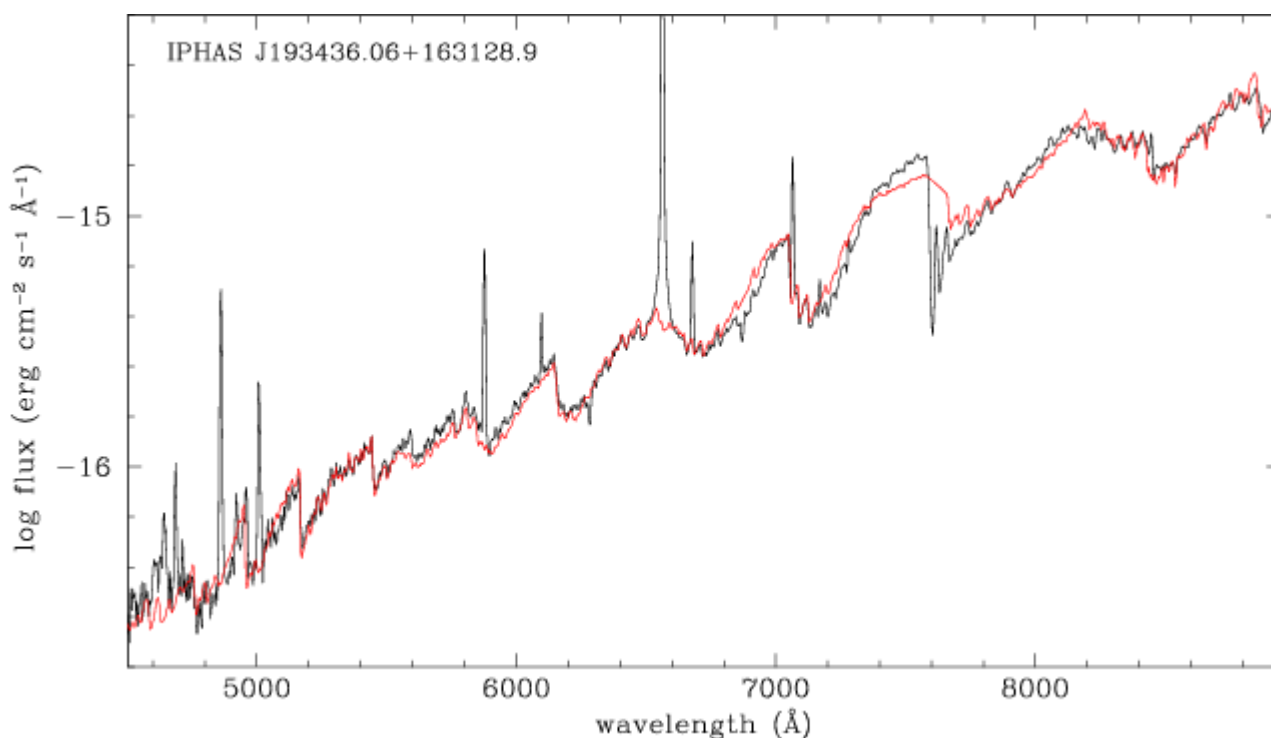


Figura 4.15 - Ajuste (rojo) al espectro observado (negro) de IPHASJ193436.06+163128.9 combinando una estrella M5.9III, un continuo nebuloso y un enrojecimiento de $E(B-V)=1.08$ mag ($R_V=3.1$).

En los casos de IPHASJ185704.44+002631.7, IPHASJ190832.31+051226.6, IPHASJ190924.64-010910.2 e IPHASJ202510.58+435233.0 no se pudo realizar esta modelización por la calidad limitada de los espectros, en particular la incertidumbre de la calibración en flujo en el rojo debido al fuerte *fringing* del detector. El tipo espectral de la componente fría de estos sistemas se obtuvo por comparación visual de los rasgos de absorción observados en su espectro visible con los descritos por Kirkpatrick et al. (1991). Para el cálculo de la extinción de estos sistemas tomamos como referencia el color intrínseco $(J-K)_0$ dado por Frogel y Whitford (1987), según el subtipo, y lo comparamos con el color observado por 2MASS.

Whitelock y Munari (1992) estudiaron los colores infrarrojos de las estrellas simbióticas, encontrando que se asemejan a las gigantes de tipo M más débiles del bulbo galáctico. Por esta razón, utilizamos las magnitudes intrínsecas de las gigantes de tipo espectral M en la ventana de Baade del bulbo (reportadas por Frogel y Whitford 1987), que transformamos a magnitudes absolutas suponiendo una distancia del Sol al centro galáctico de 8.0 kpc. La magnitud absoluta (M_K) de la gigante en las nuevas estrellas

simbióticas se calculó interpolando hasta el tipo espectral observado a partir de los valores absolutos de Frogel y Whitford (1987).

Finalmente, usando las magnitudes observadas en K (*2MASS*), las absolutas (M_K), y la extinción calculada (A_{Ks}), determinamos la distancia (d) a las nuevas estrellas simbióticas. La tabla 4.3 lista el tipo espectral de la gigante, A_{Ks} , M_K , d y la altura sobre el plano galáctico (z) de las nuevas estrellas simbióticas de tipo S. Los sistemas simbióticos de tipo D no aparecen en la tabla pues en su espectro la fotosfera de la gigante fría está enmascarada por el gas y polvo circunestelares.

IPHAS brinda la posibilidad de obtener la relación extinción-distancia a lo largo de la línea de visión de cada objeto por medio del algoritmo *Mapping Extinction Against Distance* (*MEAD*, Sale et al. 2009). Utilizando como datos de entrada la fotometría *IPHAS* y sus errores, *MEAD* determina el color intrínseco $(r' - i')_0$, la extinción y la distancia de las estrellas de tipo espectral A0 – K4 presentes en la línea de visión (área de $10' \times 10'$). De esta forma, es posible construir la curva de crecimiento extinción vs. distancia (p. ej.: figuras 4.16 y 4.17) para el área de estudio y con ello conocer la distancia de cualquier objeto de la misma, supuesto que se conoce la extinción.

Tabla 4.3 - Parámetros de las nuevas estrellas simbióticas de tipo S.

Nombre (IPHASJ...)	Subtipo Espectral	A_{Ks} [mag]	M_K [mag]	d [kpc]	z [pc]
182906.08-003457.2	M5.7	0.59	-5.65	6.7	600
183501.83+014656.0	M5.5	0.63	-5.55	5.9	500
184446.08+060703.5	M2.0	0.44	-3.80	3.6	300
184733.03+032554.3	M6.5	0.96	-6.22	3.9	200
185323.58+084955.1	M6.5	0.61	-6.15	6.5	500
185704.44+002631.7	M0-M2	0.87/0.82	-3.20/-3.82	1.2/1.6	-200/-300
190832.31+051226.6	M4-M5	0.65/0.63	-4.72/-5.32	3.3/4.4	-100
190924.64-010910.2	M4III	0.38	-4.72	6.7	-500
193436.06+163128.9	M5.9III	0.49	-5.75	6.4	-200
193501.31+135427.5	M1.5III	0.27	-3.66	2.5	-100
202510.58+435233.0	M0III	0.81	-3.20	1.1	100

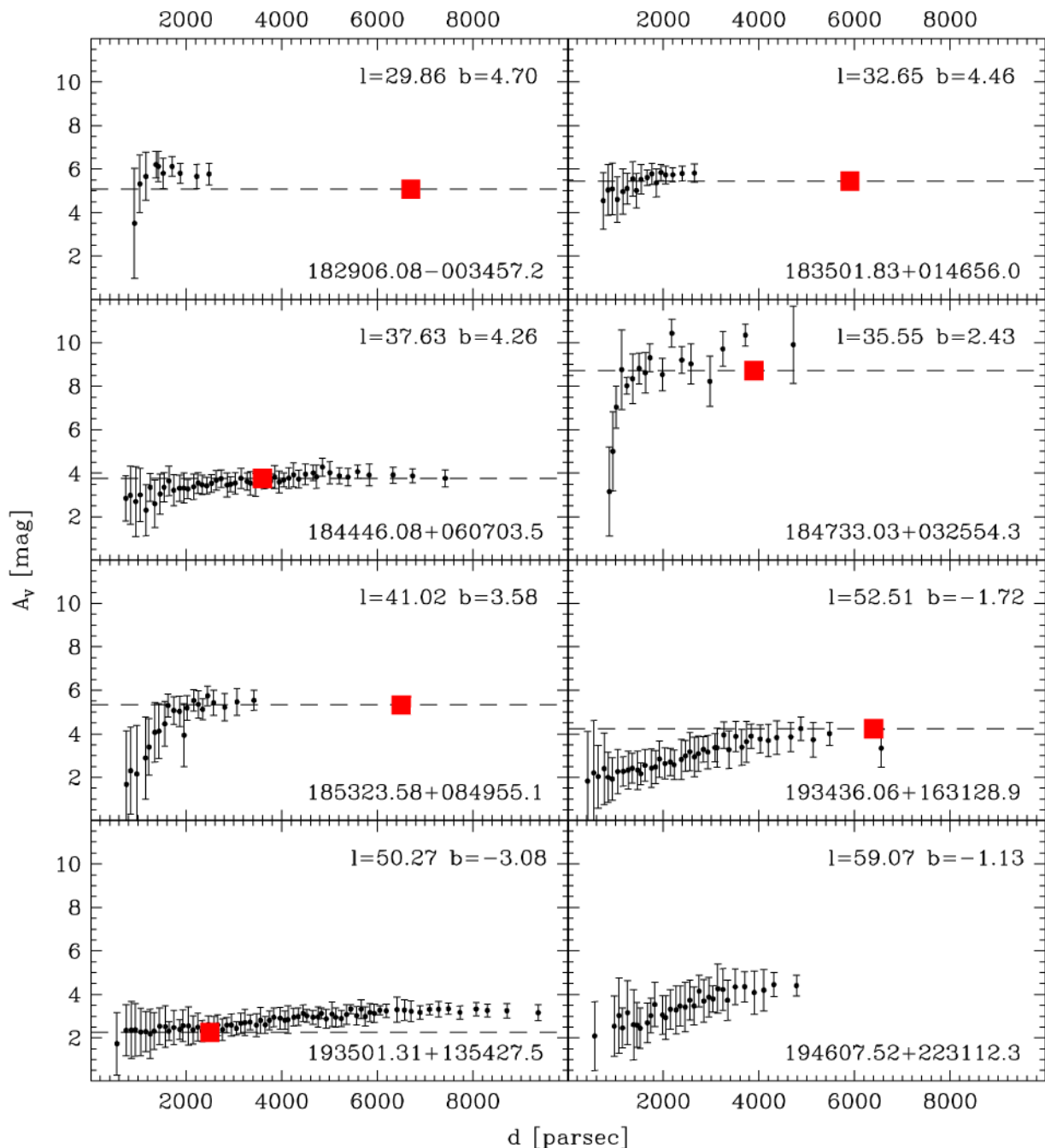


Figura 4.16 - Extinción interestelar vs. distancia para las líneas de visión hacia ocho de las nuevas estrellas simbióticas. Las coordenadas galácticas (en grados) aparecen en la parte superior derecha de cada gráfico. El cuadrado rojo y la línea discontinua en cada gráfico indican la distancia y el enrojecimiento determinado por el ajuste del espectro observado, respectivamente. El gráfico inferior derecho corresponde a la simbiótica de tipo D IPHASJ194607.52+223112.3 donde no se ha podido determinar la extinción (ver texto).

Para cada simbiótica nueva, hemos comparado los valores de enrojecimiento y distancia listados en la tabla 4.3 con los que se obtienen a partir de la relación extinción-distancia calculada con *MEAD*. Las figuras 4.16 y 4.17 muestran la relación extinción-distancia para

las ocho estrellas simbióticas de tipo S en las que se pudo determinar con precisión la extinción. Cada círculo negro representa un intervalo que incluye las medidas individuales de un gran número de estrellas de fondo situadas dentro de un área de $10' \times 10'$, alrededor de cada estrella simbiótica.

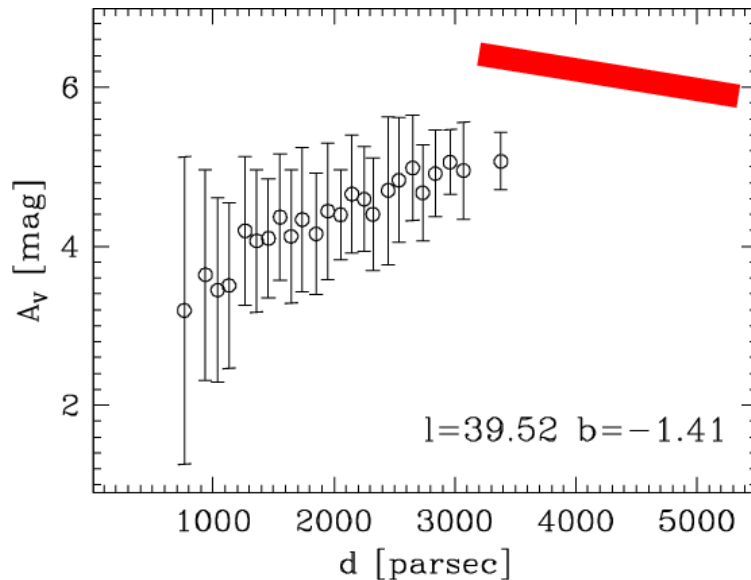


Figura 4.17 – Igual que la figura 4.16, para IPHASJ190832.31+051226.6. Las coordenadas galácticas (en grados) aparecen en la parte inferior derecha. La franja roja en la parte superior derecha indica el rango de posibles distancias y extinción determinado por el ajuste del espectro tomado en 2006 (figura 4.7a, superior).

En el caso de IPHASJ182906.08-003457.2 e IPHASJ184733.03+032554.3 fue necesario emplear un área dos veces mayor para tener suficientes estrellas y errores razonables. Los cuadrados rojos y la línea horizontal discontinua indican la distancia y la extinción derivadas del ajuste a los espectros tal y como se discutió más arriba, y están de acuerdo (dentro de los errores) con las curvas de crecimiento de la extinción interestelar en cada línea de visión. Esto refuerza la calidad de nuestros ajustes y de las distancias resultantes. En la figura 4.16 (inferior derecha) se ha incluido la estrella simbiótica de tipo D IPHASJ194607.52+223112.3. Para este tipo de objetos, no se pudo medir la extinción a partir del espectro de la gigante. A la espera de una determinación independiente de la extinción, mostramos en la figura la relación extinción-distancia a lo largo de su línea de visión.

4.1.5 Candidatos sospechosos de poseer naturaleza simbiótica

Entre los candidatos observados espectroscópicamente (capítulo 3), hay cinco objetos cuyo espectro muestra algunos rasgos típicos de simbióticas aunque no suficientes para que podamos realizar una clasificación definitiva. El primero de ellos es IPHASJ190441.53-005957.2, cuyo espectro muestra un continuo típico de gigante roja con líneas de emisión (figura B1, anexo B). Este continuo se ajusta al de una estrella de tipo espectral M6.8III con un enrojecimiento $E(B-V)=0.87$ mag. Sin embargo, todas las líneas de emisión observadas corresponden a especies de baja ionización, por lo que no es suficiente para clasificar este objeto como una estrella simbiótica (Corradi et al. 2010a).

Por otro lado, los candidatos IPHASJ012544.66+613611.7, IPHASJ053440.77+254238.2, IPHASJ194907.23+211742.0 e IPHASJ200514.59+322125.4 se ubican en la zona dominada por las estrellas simbióticas de tipo D en el DCC *2MASS* (ver más adelante, figura 4.20). Además, muestran un espectro nebuloso también típico de las simbióticas de tipo D.

En particular, el espectro del candidato IPHASJ194907.23+211742.0 (ver anexo B) es similar al de la estrella simbiótica de tipo Mira He2-104 (ver el atlas de Munari y Zwitter 2002). Sin embargo, la ausencia de las bandas de absorción de la gigante roja y de los rasgos en emisión por dispersión de Raman hacen dudar de que esos cuatro candidatos sean realmente estrellas simbióticas. De hecho, Viironen et al. (2009a) estudian esos objetos en detalle y demuestran que son nebulosas planetarias muy jóvenes. Los cuatro objetos forman parte de un grupo, que incluye objetos muy estudiados como M2-9 y Mz-3, cuya naturaleza como nebulosa planetaria joven o estrella simbiótica ha sido objeto de debate durante mucho tiempo. La complejidad de este problema ha sido discutida por Santander-García, Corradi y Mampaso (2007).

4.1.6 Diagrama de diagnóstico $I([\text{OIII}] \lambda 4363)/I(\text{H}\gamma)$ vs. $I([\text{OIII}] \lambda 5007)/I(\text{H}\beta)$

El diagrama del cociente de la intensidad de las líneas de $[\text{OIII}]$ y $\text{H}\gamma$, $([\text{OIII}] \lambda 4363)/I(\text{H}\gamma)$ vs. $I([\text{OIII}] \lambda 5007)/I(\text{H}\beta)$ (Gutiérrez-Moreno et al. 1995), permite separar objetos ionizados con diferentes condiciones físicas, temperatura y densidad. Hemos situado en ese diagrama las nuevas estrellas simbióticas de las que existen datos de la emisión de $[\text{OIII}] \lambda 4363$ y $[\text{OIII}] \lambda 5007$ (figura 4.18). Nótese que los flujos utilizados en la figura 4.18 no están

corregidos de extinción interestelar, corrección que en todo caso sería muy pequeña dada la cercanía de las líneas que se comparan. La posición de estos objetos en el diagrama es claramente consistente con su naturaleza simbiótica.

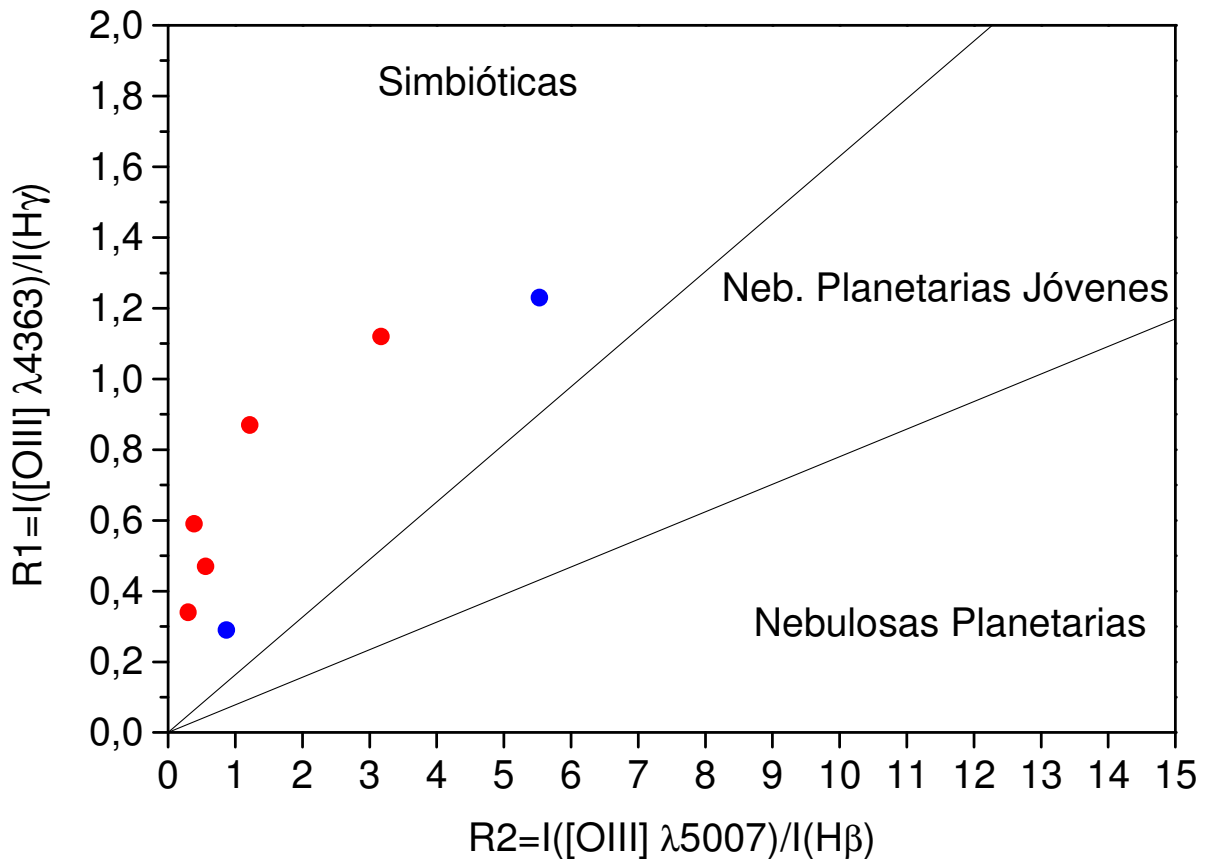


Figura 4.18 - Ubicación de siete de las nuevas estrellas simbióticas, dos de tipo D (círculos azules) y cinco de tipo S (círculos rojos), en el diagrama de diagnóstico $I([OIII] \lambda 4363)/I(H\gamma)$ vs. $I([OIII] \lambda 5007)/I(H\beta)$.

4.2 Características fotométricas

La tabla 4.4 presenta los datos fotométricos de las nuevas estrellas simbióticas. Las magnitudes r' , i' y $H\alpha$ están tomadas de Witham et al. (2008) y son anteriores a la calibración global de *IPHAS* (que estará disponible a lo largo de 2012). La cota máxima de los errores de la fotometría es de 0.1 mag. Por su parte, las magnitudes en el infrarrojo se obtuvieron del catálogo *2MASS* y los errores son típicamente de 0.02 mag, salvo valores aislados de 0.03 y 0.04 mag.

Tabla 4.4 - Datos fotométricos de las nuevas estrellas simbióticas.

Nombre (IPHASJ...)	Tipo IR	r' [mag]	i' [mag]	$H\alpha$ [mag]	J [mag]	H [mag]	Ks [mag]
182906.08-003457.2	S	17.5	14.9	15.7	10.97	9.61	9.05
183501.83+014656.0	S	16.3	14.5	13.8	10.74	9.48	8.92
184446.08+060703.5	S	14.7	13.3	12.7	11.04	9.88	9.40
184733.03+032554.3	S	18.6	15.3	16.1	10.07	8.44	7.71
185323.58+084955.1	S	16.5	14.3	14.3	10.32	9.05	8.51
185704.44+002631.7	S	18.3	16.0	15.6	10.42	8.86	8.09
190832.31+051226.6	S	17.8	16.0	14.9	10.68	9.26	8.53
190924.64-010910.2	S	17.2	15.3	14.8	11.44	10.29	9.80
190926.60+120044.6	D	16.9	16.6	14.0	12.34	10.33	8.82
193436.06+163128.9	S	16.8	14.7	14.5	10.70	9.34	8.77
193501.31+135427.5	S	14.0	12.5	12.8	10.05	8.98	8.58
194607.52+223112.3	D	17.5	16.0	14.7	9.22	7.19	5.96
202510.58+435233.0	S	15.3	13.3	13.4	9.94	8.45	7.73
205836.43+503307.2	D	18.9	16.9	16.6	13.49	10.50	8.16

4.2.1 DCCs de IPHAS y 2MASS

Las figuras 4.19 y 4.20 muestran la posición de las nuevas estrellas simbióticas en los DCCs ($r' - H\alpha$) vs. ($r' - i'$) y (J - H) vs. (H - Ks) de IPHAS y 2MASS, respectivamente. La comparación con los objetos conocidos indica que las nuevas estrellas simbióticas están más enrojecidas, tanto en el visible como en el IRC. Además, son más débiles en el visible ($14.0 < r' < 18.9$) que las simbióticas conocidas ($6.7 < r' < 16.6$) (figura 4.21). Sin embargo, las nuevas simbióticas de tipo S tienen una magnitud Ks similar a las conocidas; esto es debido al hecho de que la extinción en Ks es aproximadamente diez veces menor que en el visible. Es obvio que el mayor enrojecimiento y la débil magnitud en el visible de los nuevos sistemas respecto a los conocidos se deben a la mayor extinción interestelar que sufren esos objetos. El cartografiado IPHAS se realizó precisamente a lo largo del plano galáctico donde la extinción promedio es mayor, de modo que es esperable esa mayor extinción medida en los nuevos sistemas simbióticos.

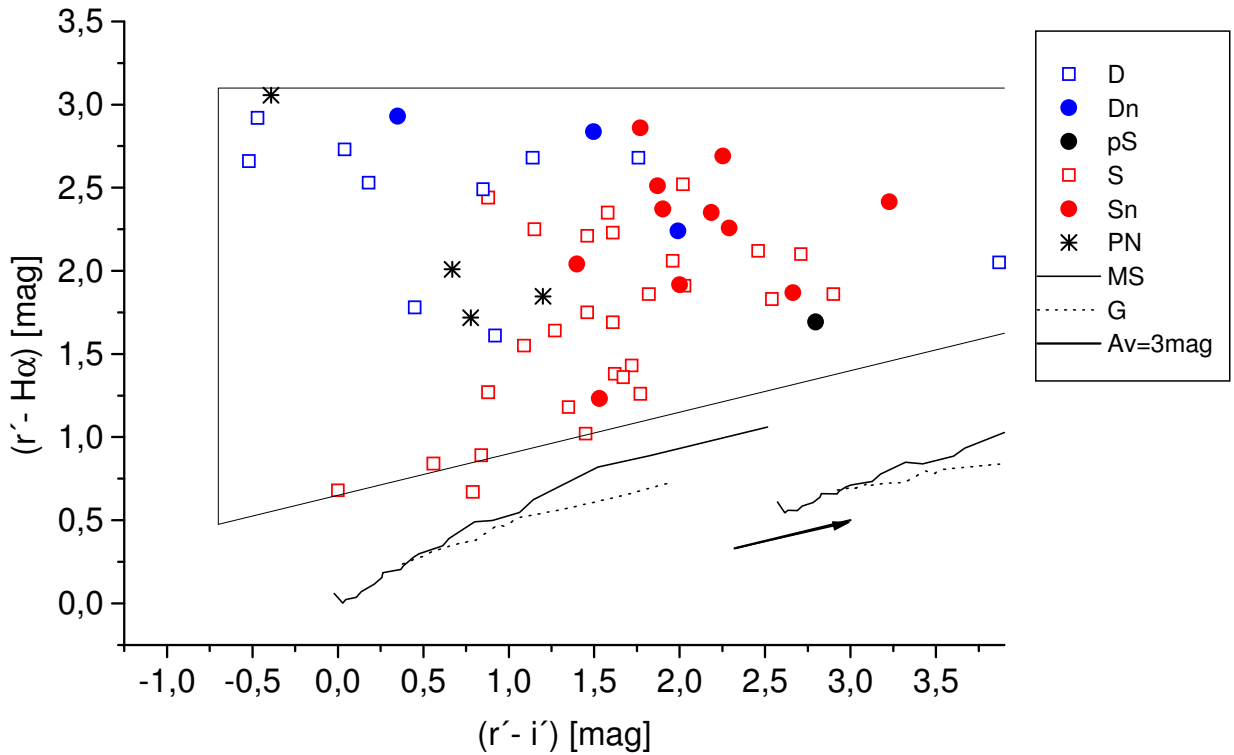


Figura 4.19 - Ubicación en el DCC IPHAS de las simbióticas conocidas, las nuevas (que diferenciamos de las conocidas con la letra "n", ver leyenda) y de los objetos sospechosos de poseer naturaleza simbiótica (donde distinguimos a la posible simbiótica como "pS"). En la parte inferior están las trazas de estrellas normales sin enrojecimiento (izquierda) y con $E(B-V) = 4 \text{ mag}$ (derecha).

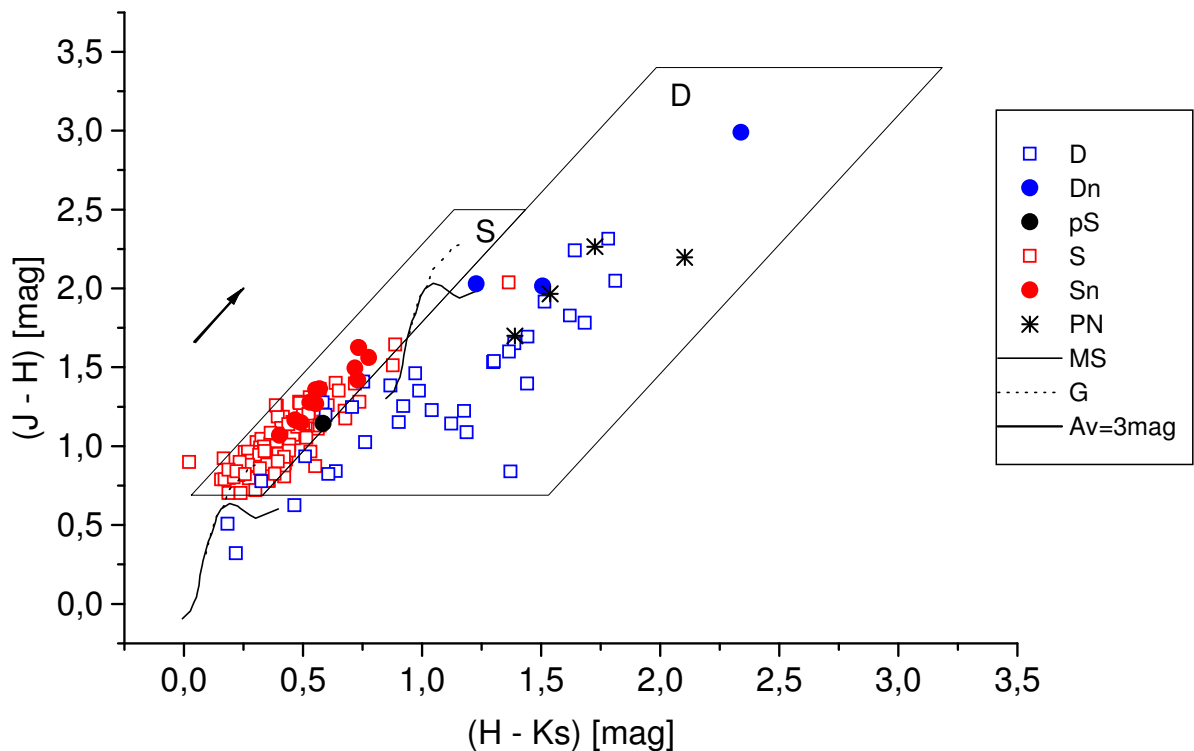


Figura 4.20 - Igual que la figura 4.19, para el DCC (J-H) vs. (H-Ks) de 2MASS.

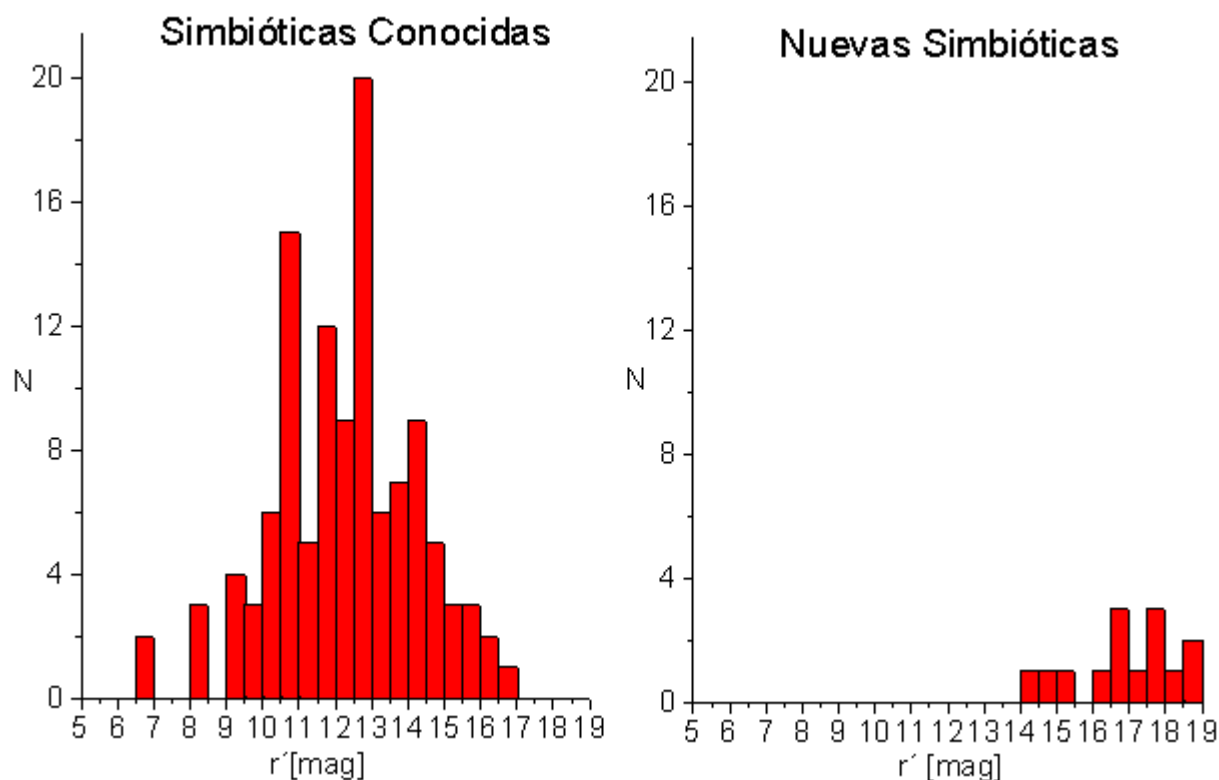


Figura 4.21 - Distribución de la magnitud r' para las simbióticas conocidas, 115 casos del catálogo de Belczynski et al. (2000) (izquierda), y para las 14 estrellas simbióticas nuevas (derecha).

4.3 Ubicación en la Galaxia

Una propiedad notable de las nuevas estrellas simbióticas descubiertas es que todas se concentran entre 18.5^{h} de ascensión recta (cerca del límite sur de la cobertura de *IPHAS*) y 21^{h} , lo que corresponde al rango de 30° a 90° de longitud galáctica (figura 4.22). Aunque nuestra muestra de nuevas estrellas simbióticas es aún pequeña, su distribución parece consistente con la de las simbióticas conocidas (Belczynski et al. 2000): ambas poblaciones se concentran hacia el interior de la Galaxia y el bulbo.

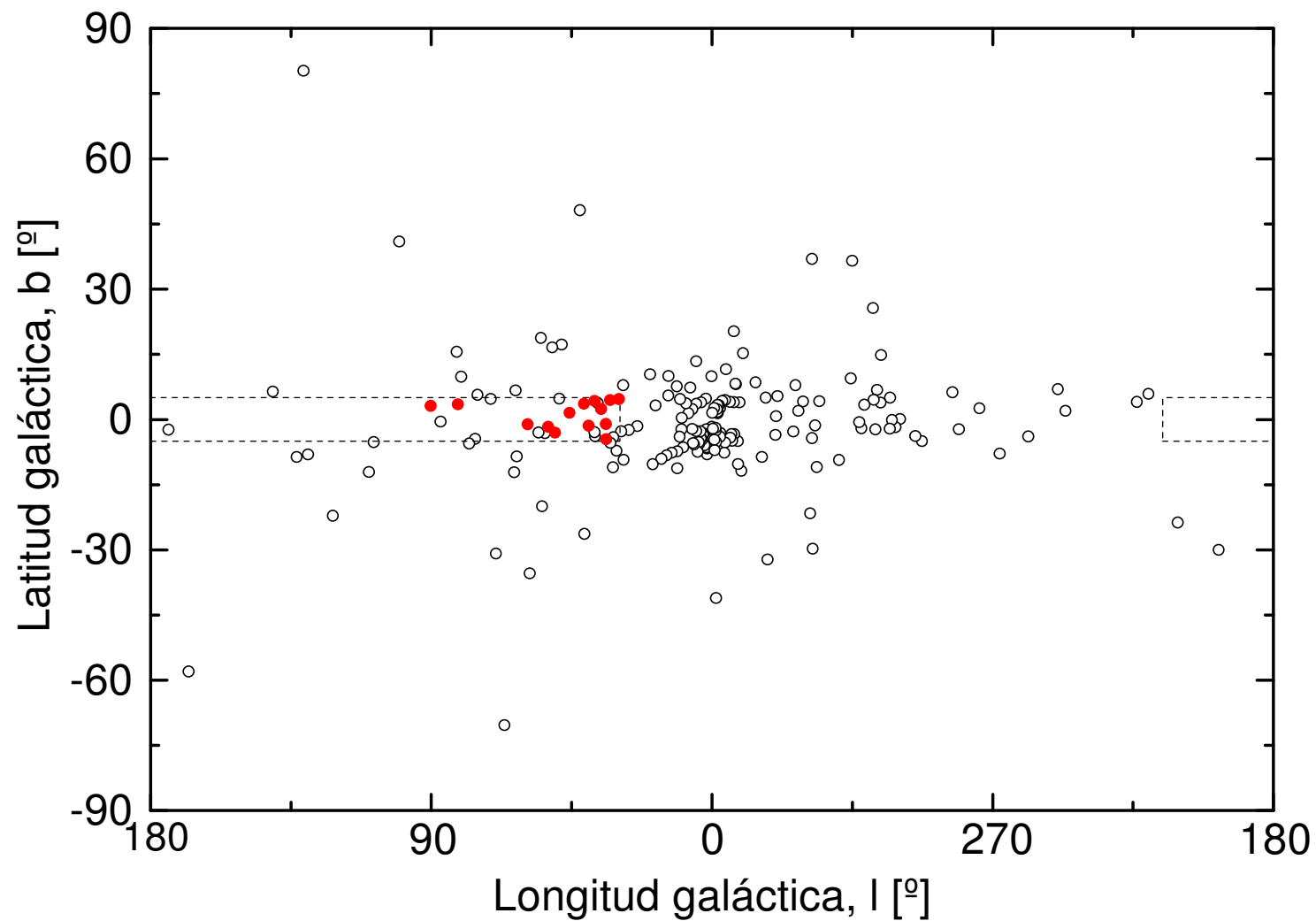


Figura 4.22 - Distribución galáctica de las simbióticas conocidas (Belczynski et al. 2000; circunferencias negras) y las nuevas simbióticas (círculos rojos).

5

Número total de estrellas simbióticas en *IPHAS*

En los capítulos anteriores hemos presentado nuestro método para detectar estrellas simbióticas en la base de datos de *IPHAS*. El procedimiento seguido consta, en resumen, de los siguientes pasos:

1. El primer paso fue definir muestras de referencia de varios tipos de estrella con emisión en $H\alpha$, para estudiar sus propiedades fotométricas básicas en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*. Estas muestras se basan en la calibración fotométrica inicial de *IPHAS* (2005) con errores fotométricos sistemáticos que, aunque generalmente no sobrepasan la décima de magnitud, pueden ser notablemente más grandes en determinados campos (p. ej.: los observados en noches no fotométricas) debido a la falta de una calibración global y homogénea en la fotometría de *IPHAS* (González-Solares et al. 2008). Estos objetos de referencia los hemos utilizado para establecer un primer criterio general de búsqueda de simbióticas, basado en la definición de cajas de búsqueda en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS* (capítulo 2).
2. Nuestro criterio de selección lo aplicamos a la única lista de *IPHAS* existente hasta el presente (Witham et al. 2008) que contiene 4853 estrellas con emisión en $H\alpha$. Estos autores seleccionaron los objetos por encima de la secuencia principal en el DCC *IPHAS*, considerando individualmente los campos para minimizar el problema de la falta de una calibración fotométrica homogénea. Además, utilizaron sólo los datos de imágenes tomadas en noches fotométricas, que en aquel momento (2008), representaban el 63% del área total que exploró y catalogó *IPHAS*. A partir de aquella

lista y usando el criterio adoptado, nosotros seleccionamos una primera muestra de 1185 candidatos a estrellas simbióticas (apartado 3.1).

3. La validación de nuestro criterio de selección, aplicado siempre a la lista de Witham et al. (2008), se ha desarrollado mediante un intenso programa espectroscópico usando diferentes telescopios e instrumentos. Obtuvimos espectros en el visible de 170 candidatos a estrellas simbióticas (capítulo 3) que luego clasificamos, atendiendo a sus rasgos espectrales relevantes (continuo estelar, líneas de absorción y líneas de emisión), lo que nos ha permitido descubrir 14 estrellas simbióticas. Al mismo tiempo, hemos constatado que la contaminación más importante en nuestra búsqueda viene de las estrellas jóvenes de la pre-secuencia principal (T Tauri, Be/YSO, etc.), muy abundantes en las bajas latitudes galácticas observadas por *IPHAS*.

Esa contribución significativa de las estrellas jóvenes es la que nos obliga ahora a intentar refinar nuestro criterio de búsqueda, con el fin de mejorar aún más el porcentaje de éxito en la detección de estrellas simbióticas. El nuevo criterio se presentará en este capítulo y nos permitirá cuantificar la probabilidad de éxito en la búsqueda de simbióticas en las diferentes regiones de los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*.

Por otro lado, nuestro objetivo final de estimar la población total de simbióticas en la región de *IPHAS*, necesita una muestra de candidatos más completa que la generada a partir de la lista de Witham et al. (2008). En este capítulo también presentaremos esa lista completa de candidatos a simbióticas, basada en la calibración global del total de observaciones de *IPHAS* que se distribuirá a la comunidad astronómica en la primera mitad de 2012. La aplicación de los nuevos criterios a esta muestra ampliada nos permitirá finalmente calcular el número de estrellas simbióticas que se esperan en el área de *IPHAS* y discutir sus implicaciones.

5.1 Refinado del criterio de selección

En el apartado 2.5 definimos el criterio de selección de candidatos a estrellas simbióticas, en base a los colores *IPHAS* y *2MASS* de las muestras originales de objetos de referencia. Esas muestras habían sido construidas considerando la fotometría preliminar

de *IPHAS* y obteniendo de la literatura la clasificación de un número suficiente de objetos de otros tipos con emisión H α . A pesar de los numerosos sesgos introducidos, como el hecho de que la proporción de objetos de cada tipo es completamente arbitraria, el criterio de selección adoptado ha demostrado ser eficaz en la detección de estrellas simbióticas nuevas (capítulo 4).

Gracias a nuestra campaña espectroscópica de seguimiento de los candidatos, ahora tenemos una muestra más representativa de la proporción de tipos de objeto que se espera en las regiones pobladas por simbióticas en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*. A esta muestra de 177 objetos clasificados añadimos las tres estrellas simbióticas conocidas no saturadas en la exploración de *IPHAS* (DQ Ser, Ap 3-1 y V352 Aql), para aumentar el número de casos de esta clase. Estos 180 objetos representan la nueva muestra de referencia que nos permitirá refinar el criterio de selección.

La estrategia que adoptaremos es reducir el tamaño de la región de búsqueda en los DCCs, eliminando zonas donde la probabilidad de encontrar simbióticas es muy baja. Al mismo tiempo, dividiremos cada región en subregiones para cuantificar con más precisión la probabilidad de encontrar simbióticas en función de la posición de los objetos en los DCCs. Evidentemente, los límites adoptados para estas subregiones seguirán siendo subjetivos, pero demostraremos que son lo suficientemente robustos para obtener una estimación razonable del número total de simbióticas que se espera en el área de *IPHAS*.

Continuando con la nomenclatura seguida en esta tesis para las regiones de interés en la búsqueda de estrellas simbióticas (apartado 3.5.1), llamaremos subcajas a cada parte en la que dividiremos dichas regiones o cajas. A continuación presentamos los nuevos límites para las cajas y subcajas de búsqueda de simbióticas.

5.1.1 División de las cajas de simbióticas en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*

La figura 3.12 muestra que la mayor cantidad de contaminantes en el DCC *IPHAS* se concentra muy cerca del límite inferior de la caja de búsqueda de simbióticas. Por tanto, el primer paso es subir tanto como sea posible el límite inferior de la caja para disminuir la contaminación. Para fijar ese límite tomamos como referencia la posición de la estrella simbiótica de menor exceso H α en la muestra de 180 objetos. Con el nuevo límite

eliminamos el 36% (59 objetos) de los contaminantes presentes anteriormente (apartado 2.5.1).

La nueva caja excluye obviamente a posibles simbióticas nuevas con menor exceso $H\alpha$. Para tener una idea de lo anterior, tomamos las 38 simbióticas de referencia utilizadas en el capítulo 2 y observamos que entre las excluidas solamente una de ellas (ALS 2) es una simbiótica galáctica de tipo S. Las otras excluidas son la simbiótica extragaláctica Draco C-1 y las tres simbióticas amarillas BD -21 3873, AG Dra y LT Del. Esto significa que incluimos en la nueva caja el 87% del total de la muestra de simbióticas de referencia.

El segundo paso es dividir en zonas menores (las llamaremos “subcajas”) las cajas de búsqueda de simbióticas, motivados por la distribución no homogénea de los diferentes tipos de objeto (figura 3.12). Como vimos, las estrellas simbióticas de tipo S aparecen bastantes dispersas en el DCC *IPHAS* mientras que en el DCC *2MASS* se concentran en la pequeña zona definida por la traza de las gigantes rojas (*RGB*). Por su parte, las simbióticas de tipo D están más concentradas en el DCC *IPHAS*, cerca del límite superior que corresponde a las fuentes con emisión $H\alpha$ pura. Sin embargo, su distribución en el DCC *2MASS* es muy dispersa, cubriendo un área considerable en este diagrama. El comportamiento descrito para ambos grupos de simbióticas hace que existan regiones, dentro de las cajas definidas, que sean más productivas que otras en la búsqueda de objetos de esta naturaleza.

La primera división de la caja de simbióticas en el DCC *IPHAS* debe responder a la marcada diferencia entre ambos grupos (S y D). Sin embargo, para fijarla disponemos de muy pocos casos de tipo D, por lo que nos apoyaremos en las simbióticas de referencia, utilizadas en el capítulo 2 (figura 2.13), excluyendo los casos peculiares discutidos en el referido capítulo. De esta forma, tomamos como referencia para la división entre tipos S y D en el DCC de *IPHAS*, la simbiótica S de mayor exceso $H\alpha$. Esto es consistente con los valores extremos de $EW(H\alpha) \sim 1000 \text{ \AA}$ que obtuvimos en las mediciones del espectro de 60 estrellas simbióticas S, tomadas del “Atlas de alta resolución de estrellas simbióticas” de Van Winckel et al. (1993) e Ivison et al. (1994). Al igual que para el límite inferior de la caja, adoptamos una línea paralela al vector de enrojecimiento.

Por otra parte, la zona ocupada por las simbióticas S la dividiremos verticalmente en dos y el límite será determinado por la simbiótica S con menor color ($r' - i'$) en la muestra de 180

objetos. El resultado de estas particiones se muestra en las figuras 5.1 y 5.2, donde la caja de simbióticas queda dividida en tres subcajas que llamamos D, S1 y S2 (figura 5.1). La subcaja D contendrá la mayoría de simbióticas de tipo D, además de nebulosas planetarias y estrellas B[e]. Existen algunos casos de simbióticas de tipo S que por su elevado exceso H α podrían ubicarse en esta subcaja, además de objetos peculiares o en fase eruptiva (apartados 4.1.2 y 4.2.2) y algunas variables cataclísmicas como 1425 Aql (ver Rodríguez-Flores 2006, Corradi et al. 2008). Por otra parte, la subcaja S1 estará dominada por las simbióticas de tipo S con poco enrojecimiento ($r' - i'$) mientras que en la subcaja S2 estarán ubicadas las simbióticas más enrojecidas. Por esta razón, esperamos encontrar en esta última subcaja muchas de las nuevas simbióticas descubiertas por *IPHAS* (figura 5.2).

En el DCC *2MASS*, cada caja (S y D) será dividida en dos. Para la subdivisión de la caja S utilizaremos como referencia la posición de la simbiótica S de menor color (J-H) en la muestra de 180 objetos. De esta forma, esta caja queda dividida en dos subcajas, una para las simbióticas S menos enrojecidas (S1) y otra para las S más enrojecidas (S2), como se observa en las figuras 5.3 y 5.4. De nuevo, esperamos que en S2 se concentre la mayoría de simbióticas localizadas en el plano galáctico, como efectivamente muestra la figura 5.4.

Por otra parte, para la división de la caja D tenemos que utilizar nuevamente las simbióticas de referencia del capítulo 2. La referencia para la división de esta caja es la media de la distribución del color (J-H) de todas las simbióticas D conocidas que cuentan con buena fotometría en el catálogo de *2MASS* (figura 2.14). De esta forma, la caja queda dividida en dos subcajas, la que encierra a las simbióticas D menos enrojecidas (D1) y las D más enrojecidas (D2) (figura 5.4).

En resumen, las nuevas subcajas propuestas dan cuenta del tipo de simbiótica esperable (S o D) y de su enrojecimiento. No hemos dividido la región de las simbióticas D en el DCC *IPHAS* porque la muestra es demasiado pequeña. Las inequaciones que determinan el área que ocupa cada subcaja en los planos *IPHAS* y *2MASS* se muestran en la tabla 5.1.

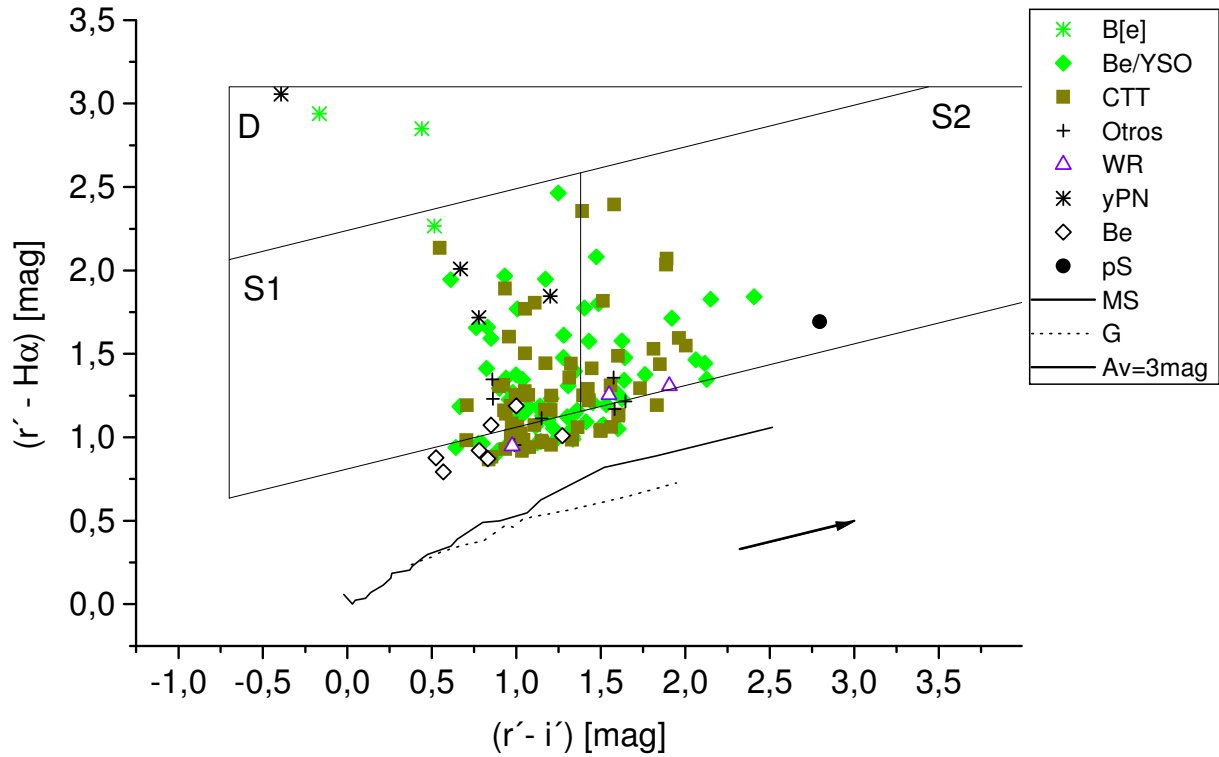


Figura 5.1 - Ubicación de los 163 objetos de naturaleza no simbiótica en las subcajas del DCC IPHAS.

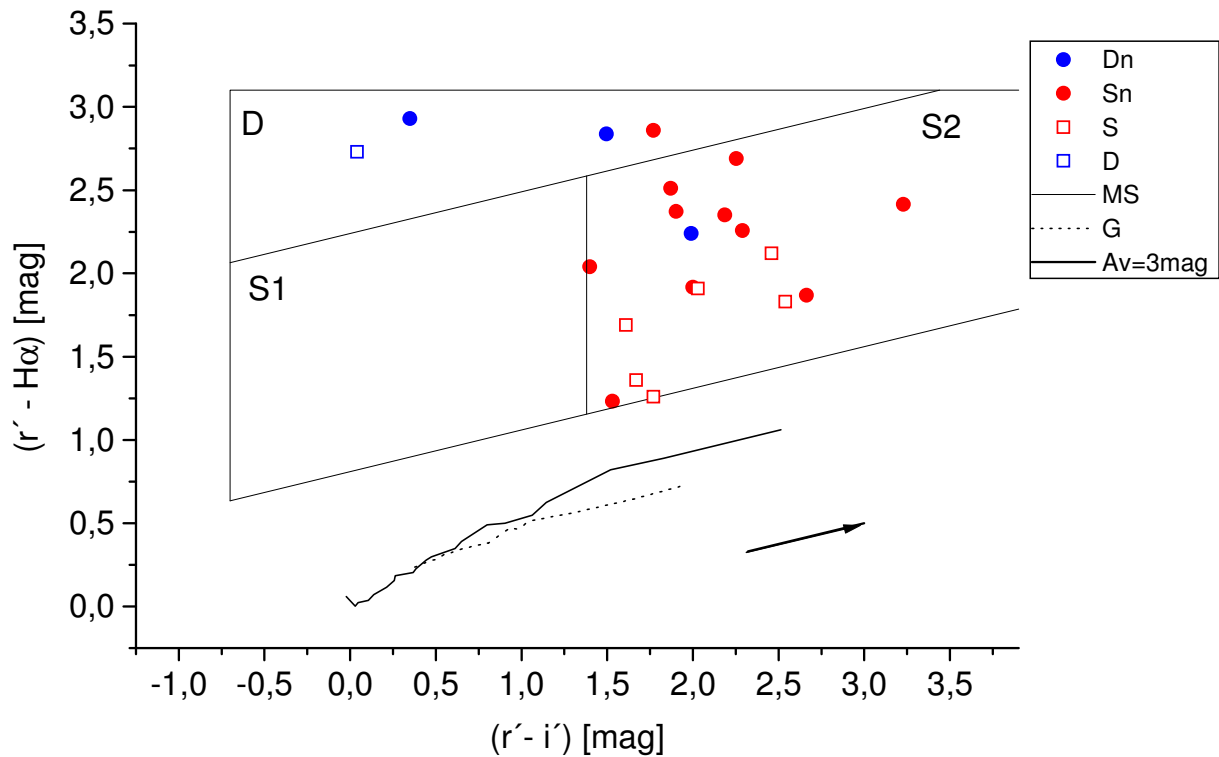


Figura 5.2 - Ubicación de las 14 nuevas estrellas simbióticas (círculos) y 7 de las simbióticas conocidas (cuadrados) en las subcajas del DCC IPHAS. El color de los símbolos corresponde al tipo de simbiótica, S (rojo) y D (azul).

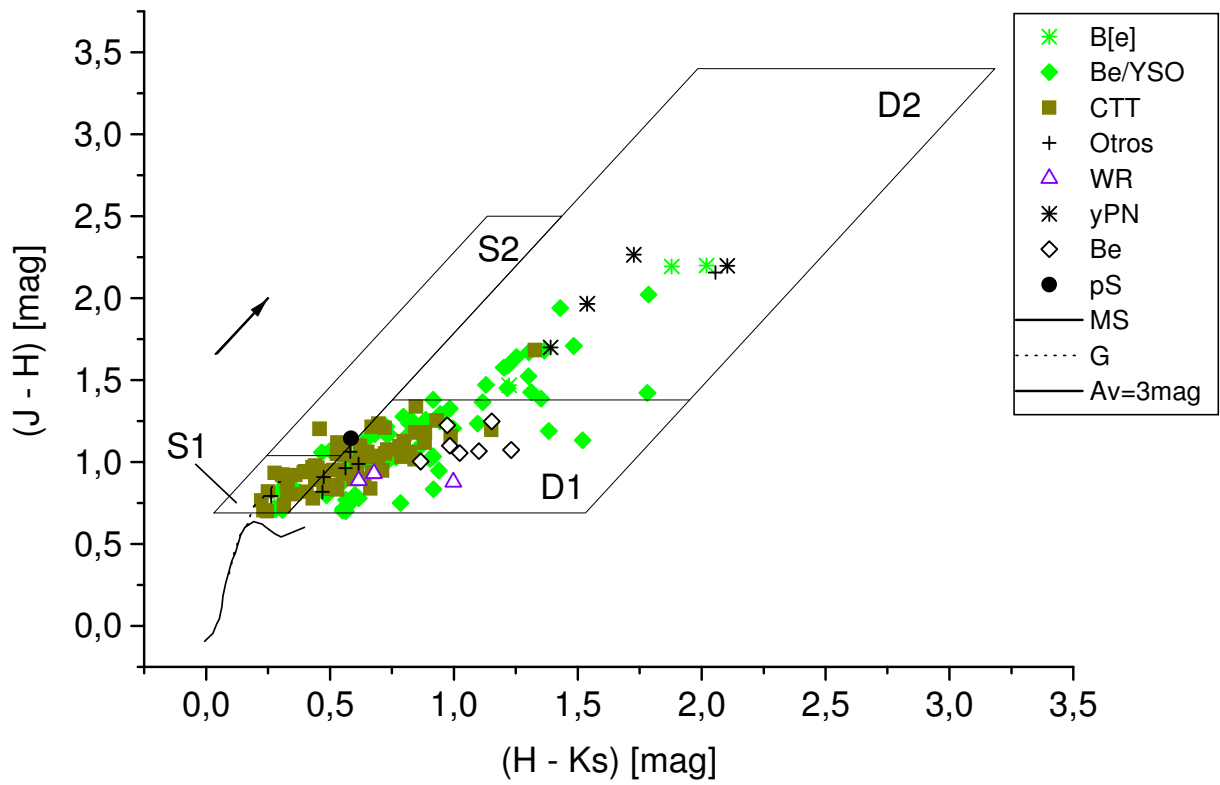


Figura 5.3 – Igual que la figura 5.1, para el DCC 2MASS.

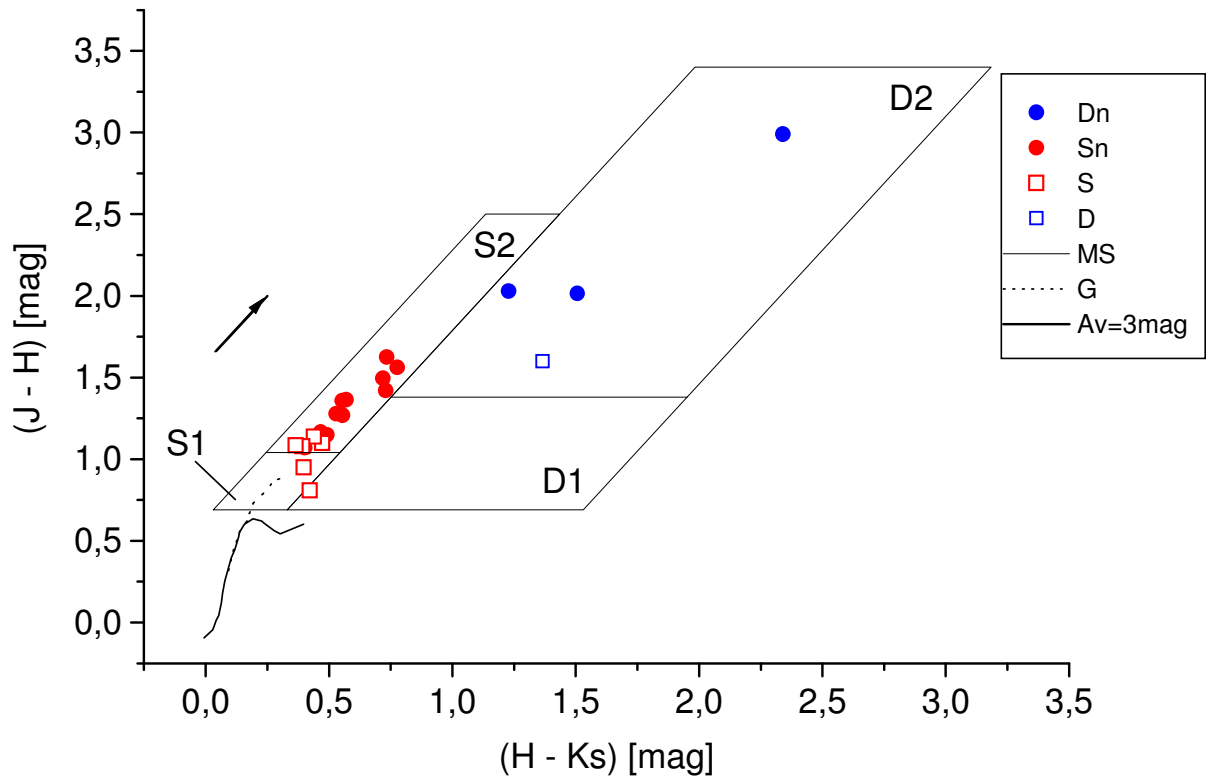


Figura 5.4 - Igual que la figura 5.2, para el DCC 2MASS.

Tabla 5.1 - Inecuaciones que fijan el área de cada subcaja en los DCCs de IPHAS y 2MASS (figuras 5.1-5.4). En rojo aparecen las subcajas donde se agrupa la mayor parte de simbióticas de tipo S y en azul las subcajas donde se ubica la mayoría de las de tipo D.

SUBCAJA	DCC	LÍMITES
S1	IPHAS	$0.25 \cdot (r' - i') + 0.81 \leq (r' - H\alpha) < 0.25 \cdot (r' - i') + 2.24$ $-0.7 \leq (r' - i') < 1.38$
S2	IPHAS	$0.25 \cdot (r' - i') + 0.81 \leq (r' - H\alpha) < 0.25 \cdot (r' - i') + 2.24$ $(r' - i') \geq 1.38$
D	IPHAS	$0.25 \cdot (r' - i') + 2.24 \leq (r' - H\alpha) \leq 3.1$ $(r' - i') \geq -0.7$
S1	2MASS	$1.63 \cdot (H - K_s) + 0.15 \leq (J - H) \leq 1.63 \cdot (H - K_s) + 0.64$ $0.69 \leq (J - H) < 1.04$
S2	2MASS	$1.63 \cdot (H - K_s) + 0.15 \leq (J - H) \leq 1.63 \cdot (H - K_s) + 0.64$ $1.04 \leq (J - H) \leq 2.5$
D1	2MASS	$1.63 \cdot (H - K_s) - 1.81 \leq (J - H) < 1.63 \cdot (H - K_s) + 0.15$ $0.69 \leq (J - H) < 1.38$
D2	2MASS	$1.63 \cdot (H - K_s) - 1.81 \leq (J - H) < 1.63 \cdot (H - K_s) + 0.15$ $1.38 \leq (J - H) \leq 3.4$

5.2 Porcentaje de simbióticas por combinación de subcajas

De acuerdo a los nuevos límites propuestos, esperamos que la mayoría de simbióticas S que se ubican en la subcaja S1 en el DCC IPHAS lo hagan también en la subcaja S1 en el DCC 2MASS y las que ocupen la subcaja S2 en el DCC IPHAS estén en la subcaja S2 del DCC 2MASS. Por otra parte, la mayoría de simbióticas D debe estar en la subcaja D en el

DCC *IPHAS* y en la subcaja D1 o D2 del DCC *2MASS*, según sea su enrojecimiento. Sin embargo, debido a la frecuente variabilidad de las simbióticas y a la no simultaneidad de la fotometría *IPHAS* y *2MASS*, es posible que algunos casos no sigan ese comportamiento general. También podrían aparecer sistemas peculiares o en fase eruptiva.

Este comportamiento general nos permite refinar el criterio de selección utilizando combinaciones entre subcajas de uno y otro DCC. Con las subcajas propuestas (3 en el DCC *IPHAS* y 4 en el DCC *2MASS*), existen 12 posibles combinaciones. Para explicar la nomenclatura que usaremos veamos el siguiente ejemplo: los objetos localizados en la subcaja S1 en el DCC *IPHAS* y en la subcaja S2 en el DCC *2MASS* diremos que cumplen con la combinación S1/S2. Llamaremos "combinaciones primarias" a S1/S1, S2/S2, D/D1 y D/D2 pues son las que agrupan a la mayor cantidad de simbióticas, mientras que a las 8 combinaciones restantes las llamaremos secundarias. A este método lo denominaremos "combinación de subcajas". Su aplicación a la muestra de referencia de 180 fuentes clasificadas espectroscópicamente nos permite validarlo y calcular el porcentaje de simbióticas encontradas por combinación, una forma de cuantificar el peso de los contaminantes en cada subregión de los DCCs. Los resultados se resumen en la tabla 5.2.

Podemos concluir lo que ya adelantábamos en el apartado anterior, o sea, que la mayor cantidad de simbióticas se encuentra en combinaciones primarias. Sin embargo, por ser sistemas en el plano galáctico y por lo tanto muy enrojecidos, no se encuentran nuevas simbióticas en las combinaciones primarias S1/S1 y D/D1, sino en S2/S2 (números en rojo en la tabla 5.2) y D/D2 (en azul en la citada tabla). Además, todas las simbióticas que cumplen S2/S2 son simbióticas de tipo S y las que cumplen con D/D2 son de tipo D. Estas combinaciones resultan, por tanto, las más efectivas en la búsqueda de nuevas estrellas simbióticas en el plano galáctico.

En la tabla 5.2 aparecen dos simbióticas en combinaciones secundarias (en verde), pero lo interesante es que son sistemas peculiares o en fase eruptiva. Obsérvese que ambos casos se ubican en una subcaja del DCC *IPHAS* que no corresponde con su tipo. Por otro lado, como hemos dicho, no se puede descartar la aparición de casos aislados en combinaciones secundarias debido a la no simultaneidad de la fotometría *IPHAS* y *2MASS* de estos objetos variables.

Tabla 5.2 - Cantidad de objetos en cada combinación de subcajas usando la muestra de referencia (Total). Además, se lista el número de objetos simbióticos (SyS), no simbióticos (Otros) y el porcentaje de simbióticas por cada combinación (% SyS). En rojo, la combinación primaria de las simbióticas S (S2/S2), en azul la combinación primaria de las simbióticas D (D/D2) y en verde las combinaciones secundarias (S2/D2 y D/S2).

ObjTyp	S1/S1	S1/S2	S1/D1	S1/D2	S2/S1	S2/S2	S2/D1	S2/D2	D/S1	D/S2	D/D1	D/D2
SyS	0	0	0	0	0	13 ^a	0	1 ^c	0	1 ^d	0	2 ^e
Otros	11	1	38	12	8	5 ^b	18	8	0	0	0	3
Total	11	1	38	12	8	18	18	9	0	1	0	5
% SyS	0	0	0	0	0	72	0	11	0	100	0	40

Notas:

a - todos son de tipo S

b - uno de ellos es la posible simbiótica IPHASJ190441.53-005957.2

c - IPHASJ205836.43+503307.2: simbiótica de tipo D con una Mira de carbono

d - IPHASJ190832.31+051226.6: simbiótica de tipo S en fase activa

e – ambos son de tipo D

5.3 Lista ampliada de candidatos a estrella simbiótica

Como indicábamos en la introducción de este capítulo, la muestra de candidatos a estrellas simbióticas que usamos para el análisis anterior se extrajo de una lista incompleta de estrellas con H α en emisión producida por Witham et al. (2008). Desde entonces, la colaboración de *IPHAS* ha trabajado para completar todas las observaciones previstas en el proyecto y para obtener una calibración fotométrica global y homogénea de todos los datos obtenidos. Lo anterior es posible por la propagación de la fotometría de campo a campo, corrigiendo así los errores en la fotometría original debido a condiciones no fotométricas en las noches de observación de algunos campos.

La calibración global, llevada a cabo por el grupo de investigación de la I. P. de *IPHAS*, Janet Drew, se ha concluido recientemente y será presentada a la comunidad astronómica durante la primera mitad de 2012. Usando esa nueva base de datos

fotométricamente homogénea, hemos producido una nueva lista de candidatos a estrellas simbióticas. Para la selección, hemos usado programas que buscan automáticamente en la base de datos de *IPHAS* y *2MASS*. De una muestra inicial de 820000 medidas en *IPHAS* que satisfacen los criterios fotométricos definidos en el capítulo 2, hemos excluido las siguientes:

1. probables medidas erróneas sistemáticas en campos caracterizados por mala calidad de imagen o nubes;
2. objetos con colores muy peculiares, normalmente debido a la presencia de una o más fuentes muy cercanas al objeto o a la presencia de efectos no deseados como trazas de satélites, reflejos, etc.;
3. los objetos con una sola medición en *IPHAS*. La repetición de cada campo y la consistencia de la medición fotométrica en cada repetición garantizan la detección segura de una fuente. Hemos adoptado, en cada caso, el promedio de todas las mediciones fotométricas disponibles para cada filtro;
4. los objetos con magnitud $r' > 20.5$ mag. Estos objetos se han descartado ya que sus errores fotométricos son considerables y porque la magnitud $r' = 20.5$ mag representa el límite estimado de completitud de la muestra, considerando que la distribución de los candidatos tiene su pico máximo en este valor.

Para los candidatos de tipo S hemos seleccionado solamente fuentes puntuales en el filtro de $H\alpha$ (visto que estos objetos muy raramente tienen una nebulosa extensa resuelta), mientras que para los candidatos de tipo D (donde las nebulosas extensas son mucho más frecuentes) hemos relajado ese requerimiento. Después de aplicar todos los filtros anteriores, la muestra de candidatos a estrellas simbióticas quedó reducida de 820000 a 5061 fuentes. De ellas, 1161 son candidatos a estrellas simbióticas de tipo S y 3900 a sistemas de tipo D. En la figura 5.5 (izquierda), presentamos la distribución de la magnitud r' de estos candidatos donde se observa que un gran porcentaje de objetos son más débiles que el límite de 19.5 mag de los candidatos de la primera lista (figura 5.5, derecha), seleccionados de la muestra de Witham et al. (2008).

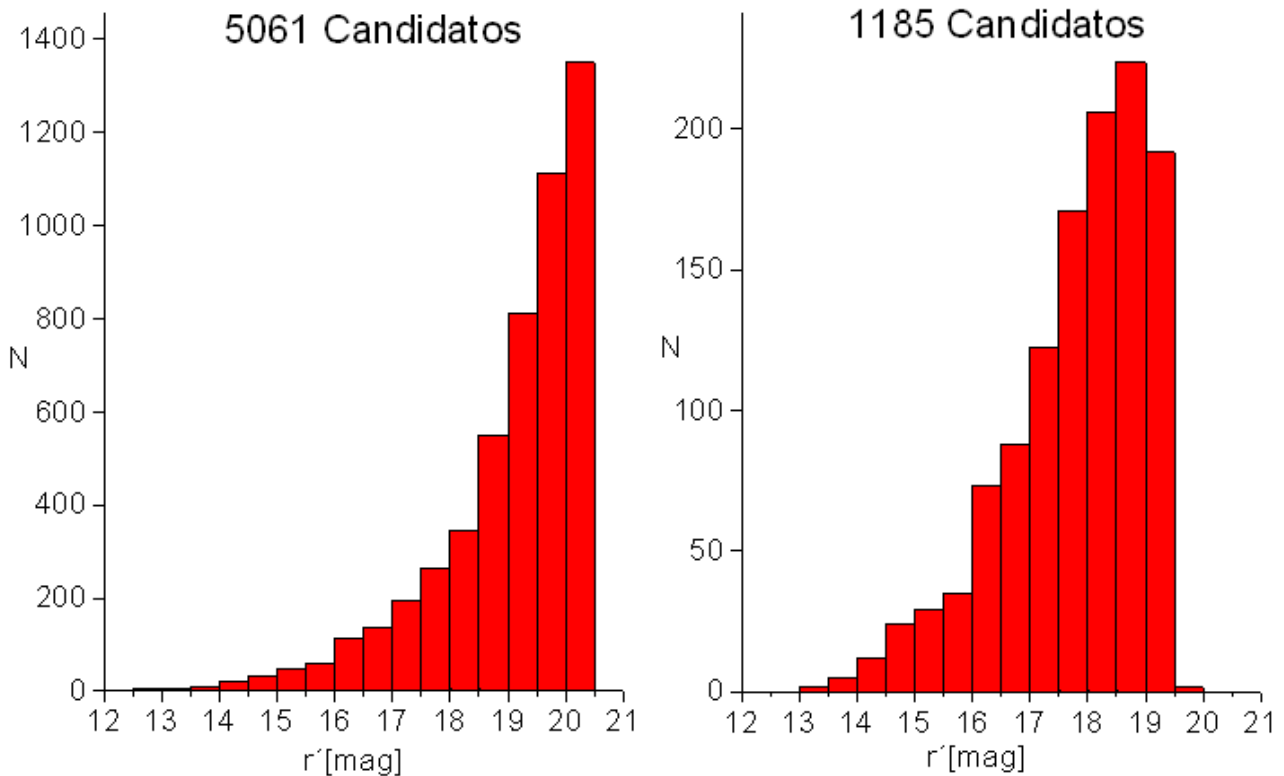


Figura 5.5 - Distribución de la magnitud r' para los 5061 objetos de la lista ampliada de candidatos a estrellas simbióticas (izquierda) y los 1185 candidatos de la primera lista (derecha).

La distribución en el cielo de los nuevos candidatos (figuras 5.6 y 5.7) muestra claramente algunas zonas de mayor densidad espacial. Esas zonas coinciden con la posición de varias de las asociaciones OB presentes en la región cartografiada por *IPHAS* (ver apartado 3.5 de Witham, 2007) lo que es un indicio de la posible contaminación por objetos jóvenes en esas zonas.

La nueva muestra de 5061 candidatos incluye a la mayoría de los objetos de la primera selección (1085 candidatos). Para los objetos en común, las diferencias fotométricas en los colores medidos no superan la décima de magnitud, con diferencias promedio de 0.01 ± 0.11 mag en $(r' - i')$ y 0.01 ± 0.08 mag en $(r' - H\alpha)$. Aunque pequeñas, esas diferencias explican por qué 100 objetos de la primera lista (apartado 3.1), situados cerca del límite inferior de la caja de selección del DCC *IPHAS*, son ahora rechazados como candidatos con la nueva fotometría. En las figuras 5.8 (a y b) y 5.9 se muestra la ubicación de los 5061 candidatos (identificados según su tipo), en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*, respectivamente.

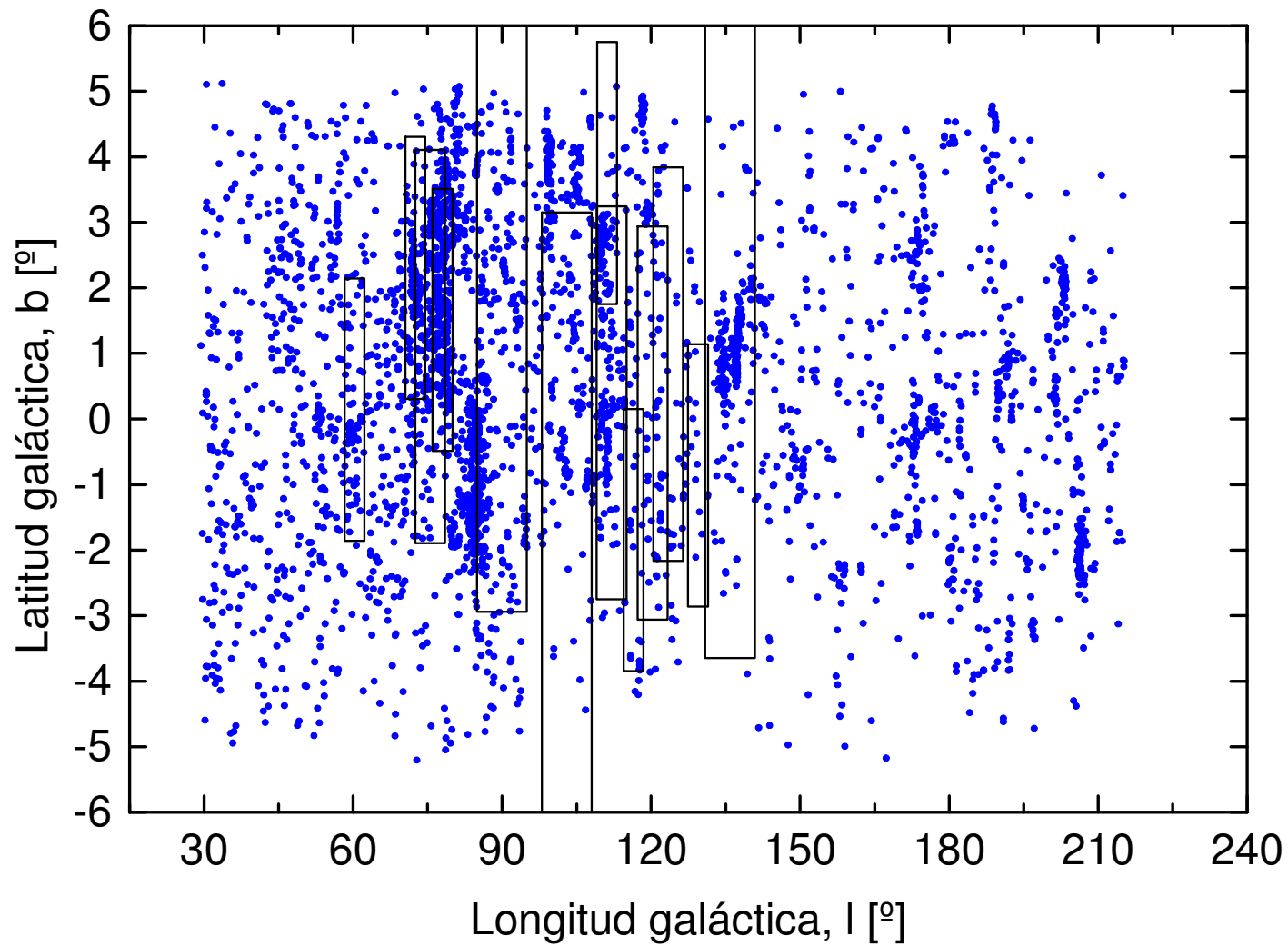


Figura 5.6 – Distribución espacial de los 3900 candidatos a estrella simbiótica de tipo D. Hemos marcado con rectángulos el área ocupada por cada una de las 13 asociaciones OB presentes en la región explorada por IPHAS, según Witham (2007).

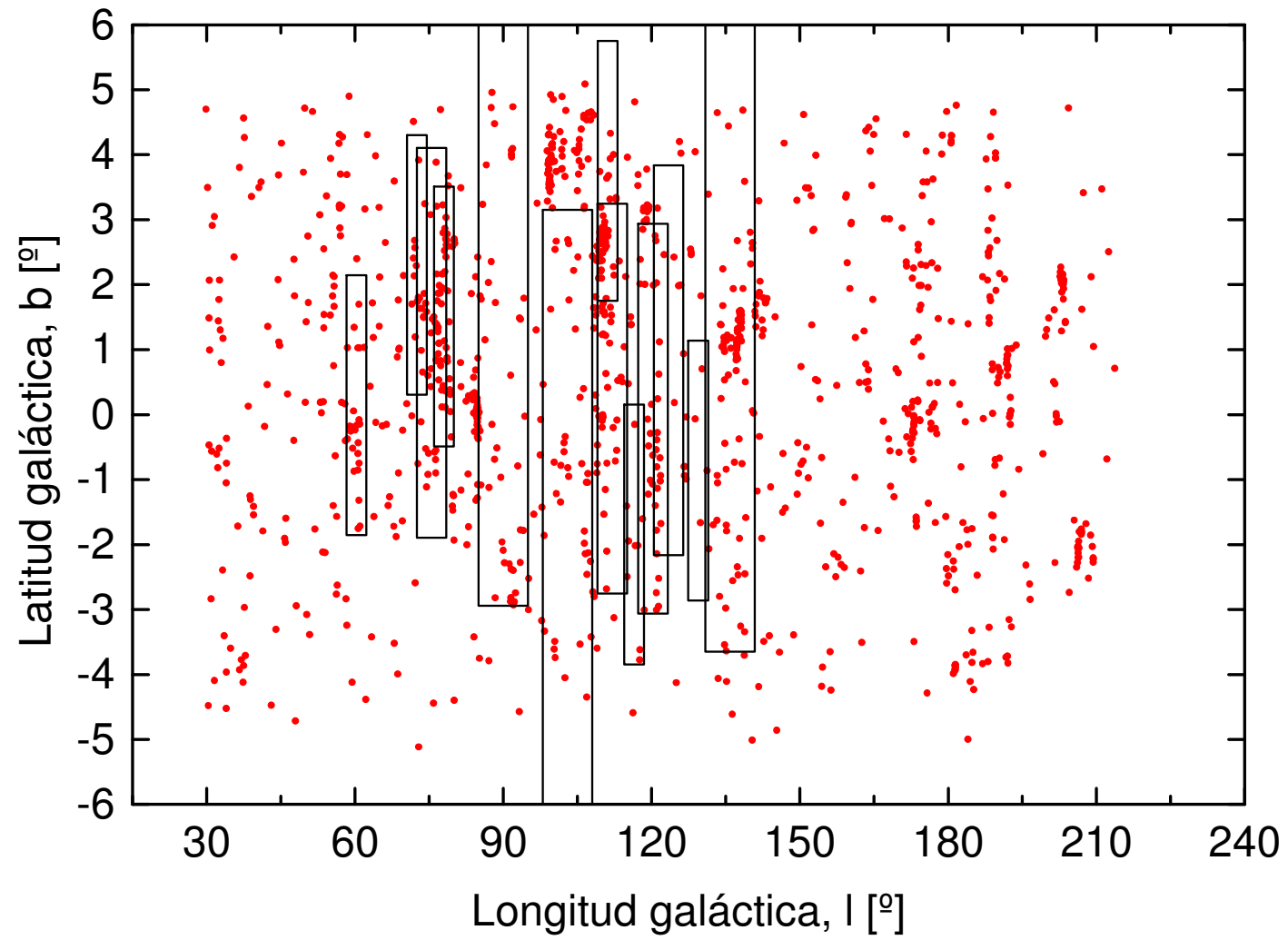


Figura 5.7 – Igual que en la figura 5.6, para los 1161 candidatos a estrella simbiótica de tipo S.

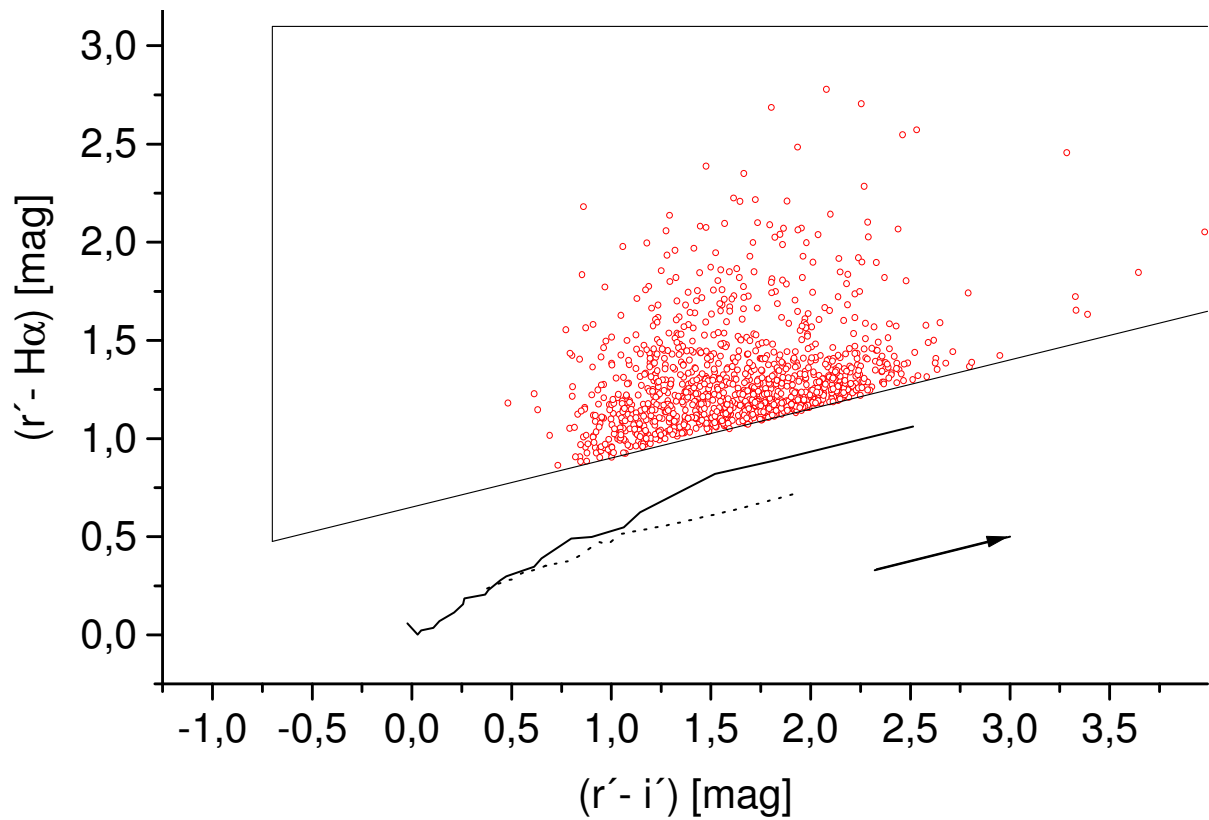


Figura 5.8a – Ubicación en el DCC IPHAS de los 1161 candidatos a estrella simbiótica de tipo S de la lista ampliada.

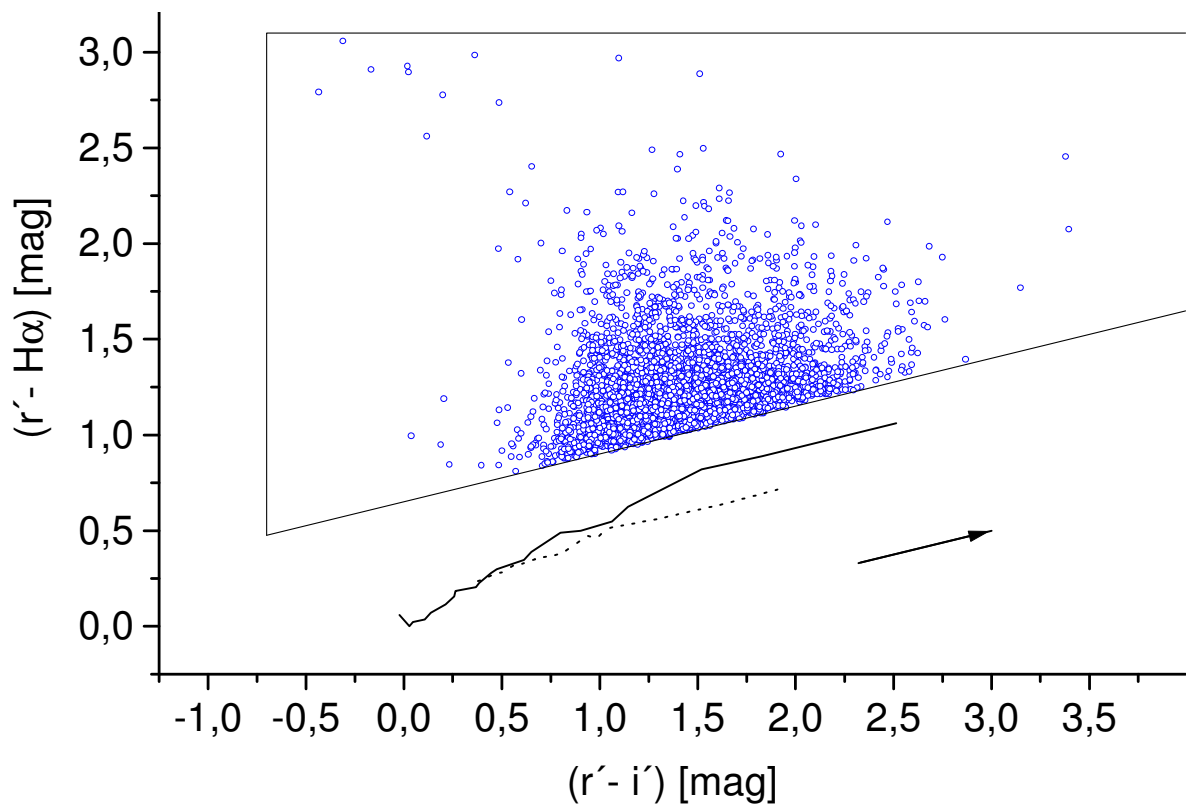


Figura 5.8b – Igual que la figura 5.8a, para los 3900 candidatos a estrella simbiótica de tipo D.

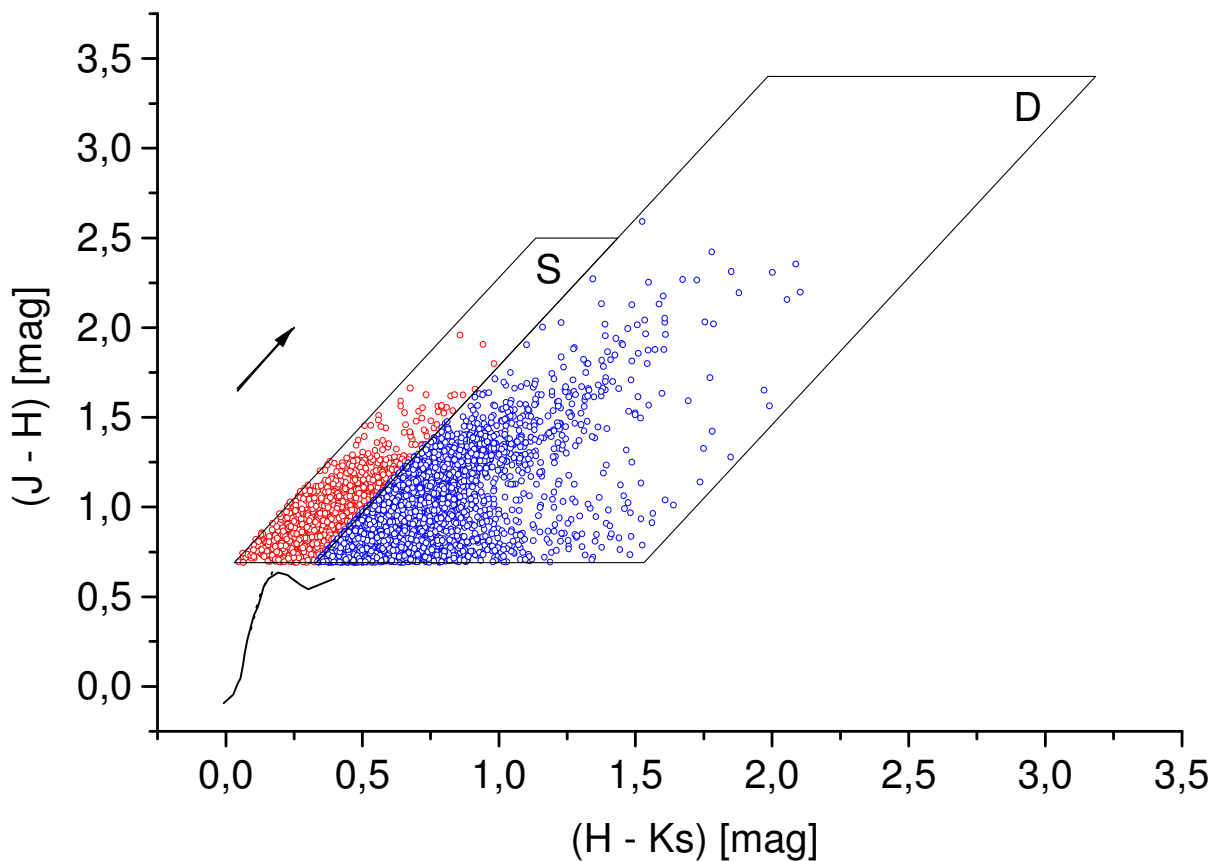


Figura 5.9 – Ubicación en el DCC 2MASS de los 5061 candidatos a estrella simbiótica de la lista ampliada. En rojo se identifican los candidatos a estrella simbiótica de tipo S y en azul los candidatos a sistemas de tipo D.

Estas diferencias en la fotometría no cambian significativamente los resultados presentados en los apartados 5.1 y 5.2 pues son, al menos, un orden de magnitud inferior al tamaño de las subcajas definidas en el DCC *IPHAS*. Incluso los casos aislados que presentan una variabilidad fotométrica intrínseca superior a estas diferencias de calibración, tampoco alteran estos resultados generales, dentro de los errores estimados. Un ejemplo de lo anterior es la situación extrema presentada por la simbiótica activa *IPHAS*J190832.31+051226.6, único objeto de la muestra de estudio que cumplía con la combinación D/S2 (tabla 5.2), y que según la nueva fotometría ahora satisface la combinación S2/S2.

En la tabla 5.3 presentamos, para la muestra de referencia de 180 objetos, la misma información que en la tabla 5.2 (cantidad de objetos por cada combinación de subcajas), pero usando la nueva fotometría. Como era de esperar, el porcentaje de simbióticas en cada combinación de subcajas apenas varía, siendo las diferencias insignificantes si se consideran los errores estimados. Si suponemos que la muestra de referencia no tiene

sesgos observacionales importantes (los objetos que se observaron espectroscópicamente se eligieron de forma aleatoria de la lista de Witham et al. 2008), podemos considerar que los porcentajes listados son representativos del total de las observaciones de *IPHAS* y, por ende, los podremos adoptar para estimar el número de simbióticas que esperamos encontrar en la región del cielo explorada por *IPHAS*. De esta forma, los porcentajes calculados en cada combinación de subcajas nos darán una medida de la “probabilidad de éxito” de encontrar estrellas simbióticas en función de la posición de los candidatos en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*.

Tabla 5.3 - Cantidad de objetos por combinación de subcajas en la muestra de referencia, con la nueva fotometría. La nomenclatura es igual a la de la tabla 5.2.

ObjTyp	S1/S1	S1/S2	S1/D1	S1/D2	S2/S1	S2/S2	S2/D1	S2/D2	D/S1	D/S2	D/D1	D/D2
SyS	0	0	0	0	0	14 ^a	0	1 ^c	0	0	0	2 ^d
Otros	12	1	41	12	9	5 ^b	18	8	0	0	0	3
Total	12	1	41	12	9	19	18	9	0	0	0	5
% SyS	0	0	0	0	0	74	0	11	0	0	0	40

Notas:

a - todos los de tipo S de la muestra de estudio

b - unos de ellos es la posible simbiótica IPHASJ190441.53-005957.2

c - IPHASJ205836.43+503307.2: simbiótica de tipo D con Mira de carbono

d - ambos son de tipo D

5.4 Número de estrellas simbióticas esperadas en *IPHAS*

Los objetos clasificados espectroscópicamente representan sólo el ~3.5% del total de candidatos a estrellas simbióticas de la lista ampliada. A pesar de ese pequeño porcentaje, hay que remarcar que hemos duplicado el número de simbióticas conocidas y confirmadas en la región explorada por *IPHAS*, pasando de 11 estrellas (Belczynski et al. 2000) a 25. Más aún, si nos limitamos sólo al rango de magnitudes explorado por *IPHAS* ($13 < r < 20.5$), donde sólo se conocían tres simbióticas más débiles que magnitud 13 en

la zona cartografiada (Ap 3-1, DQ Ser y V352 Aql), entonces resulta que hemos aumentado en casi 5 veces lo catalogado.

Aplicando la probabilidad de éxito a la lista ampliada de candidatos, según las diferentes combinaciones (tabla 5.3), podemos estimar el número de simbióticas que esperamos encontrar entre $13 < r' < 20.5$, en toda la región explorada por *IPHAS*. Los resultados se presentan en la tabla 5.4. De los 178 objetos que satisfacen la combinación S2/S2, esperamos que el 74%, es decir unos 132 ± 9 tendrán naturaleza simbiótica (y serán mayoritariamente de tipo S). Además, esperamos otras 16 ± 5 simbióticas (algunas de tipo D) de las combinaciones S2/D2 y D/D2. Estos números incluyen a las 17 simbióticas de la muestra de referencia de 180 objetos clasificados, o sea las 14 simbióticas descubiertas en este trabajo y las 3 conocidas, no saturadas en *IPHAS* (ver capítulo 4).

Tabla 5.4 – Para cada combinación de subcajas, se lista el número total de candidatos a estrella simbiótica encontrados en la lista ampliada de 5061 objetos (CSyS(o)) y el número final esperado de simbióticas (SyS(e)), asumiendo los porcentajes de éxito de la tabla 5.3.

ObjTyp	S1/S1	S1/S2	S1/D1	S1/D2	S2/S1	S2/S2	S2/D1	S2/D2	D/S1	D/S2	D/D1	D/D2
CSyS (o)	144	88	1049	71	205	178	954	133	1	0	4	8
SyS (e)	0	0	0	0	0	132	0	13	0	0	0	3

Es importante destacar que las combinaciones donde no se encontraron simbióticas (casillas con SyS = 0, tabla 5.3) presentan una gran incertidumbre por lo que carece de sentido tenerlas en cuenta. Sin embargo, como mencionamos en el apartado 5.2, no se puede descartar la aparición de casos aislados en estas combinaciones.

En los anexos D, E y F se listan las coordenadas ecuatoriales (J2000.0) y la fotometría (*IPHAS* y *2MASS*) de los 286 candidatos a estrella simbiótica que satisfacen las combinaciones más exitosas S2/S2, D/D2 y S2/D2, respectivamente, excluyendo los objetos ya observados y clasificados espectroscópicamente. Son 159 objetos que satisfacen la combinación S2/S2, 3 que cumplen con D/D2 y 124 en S2/D2.

La distribución de la magnitud r' de los candidatos que satisfacen la combinación S2/S2 muestra que la inmensa mayoría de ellos son más débiles que 17 mag (figura 5.10, histograma izquierdo). Un comportamiento similar se observa en la distribución de los candidatos que cumplen con S2/D2 (figura 5.10, histograma derecho), mientras que de los 3 candidatos en D/D2 sólo uno es más brillante que $r' = 17$ mag (ver anexo E). Esto sugiere que, salvo casos aislados, las simbióticas a descubrir serán todas débiles. Entre las nuevas estrellas simbióticas confirmadas espectroscópicamente, sólo 3 son más brillantes que 16 mag en r' . Por tanto, la evidencia indica que la mayor parte de las simbióticas brillantes ($r' < 16$ mag) del plano galáctico están ya descubiertas.

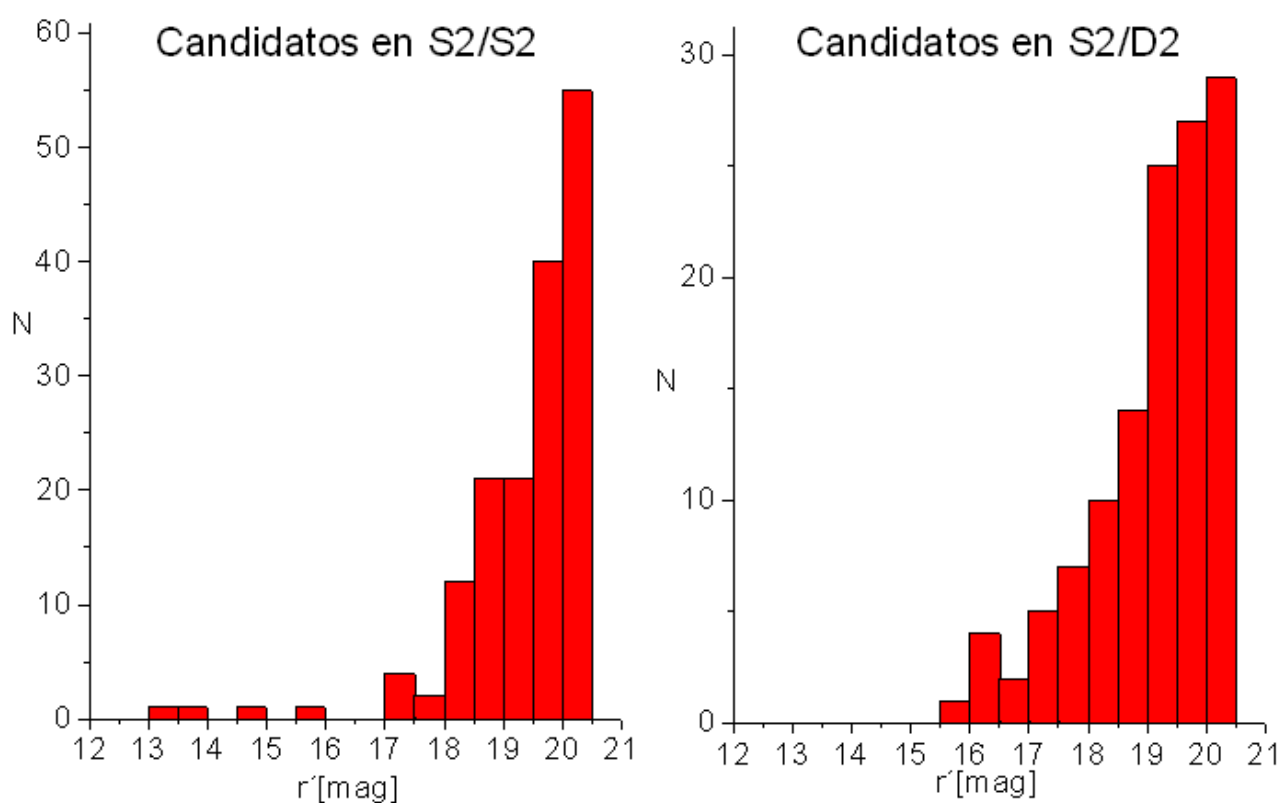


Figura 5.10 – Distribución de la magnitud r' para los candidatos que satisfacen las combinaciones S2/S2 (izquierda) y S2/D2 (derecha).

La distribución en los DCCs *IPHAS* y *2MASS* de esos 286 candidatos se muestra en las figuras 5.11 y 5.12, respectivamente. Los candidatos de diferente naturaleza (S o D) aparecen separados aunque tengan colores similares en alguna de las bandas (comparar con los DCCs de la muestra total de 5061 candidatos en las figuras 5.8 y 5.9). Esto permite minimizar considerablemente la contaminación por objetos jóvenes en la zona de simbióticas y separar con éxito a los dos tipos de simbiótica (S y D).

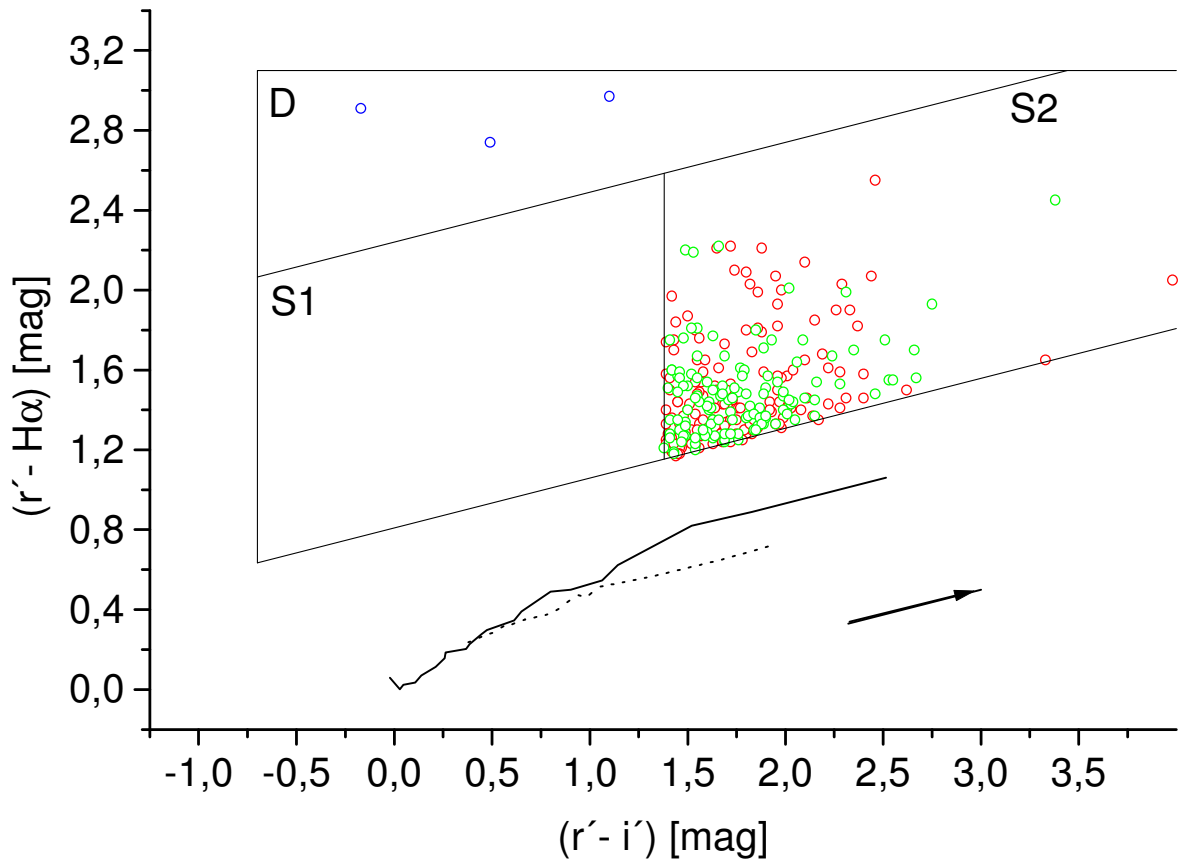


Figura 5.11 - Ubicación en el DCC IPHAS de los candidatos que satisfacen las combinaciones S2/S2 (rojo), D/D2 (azul) y S2/D2 (verde).

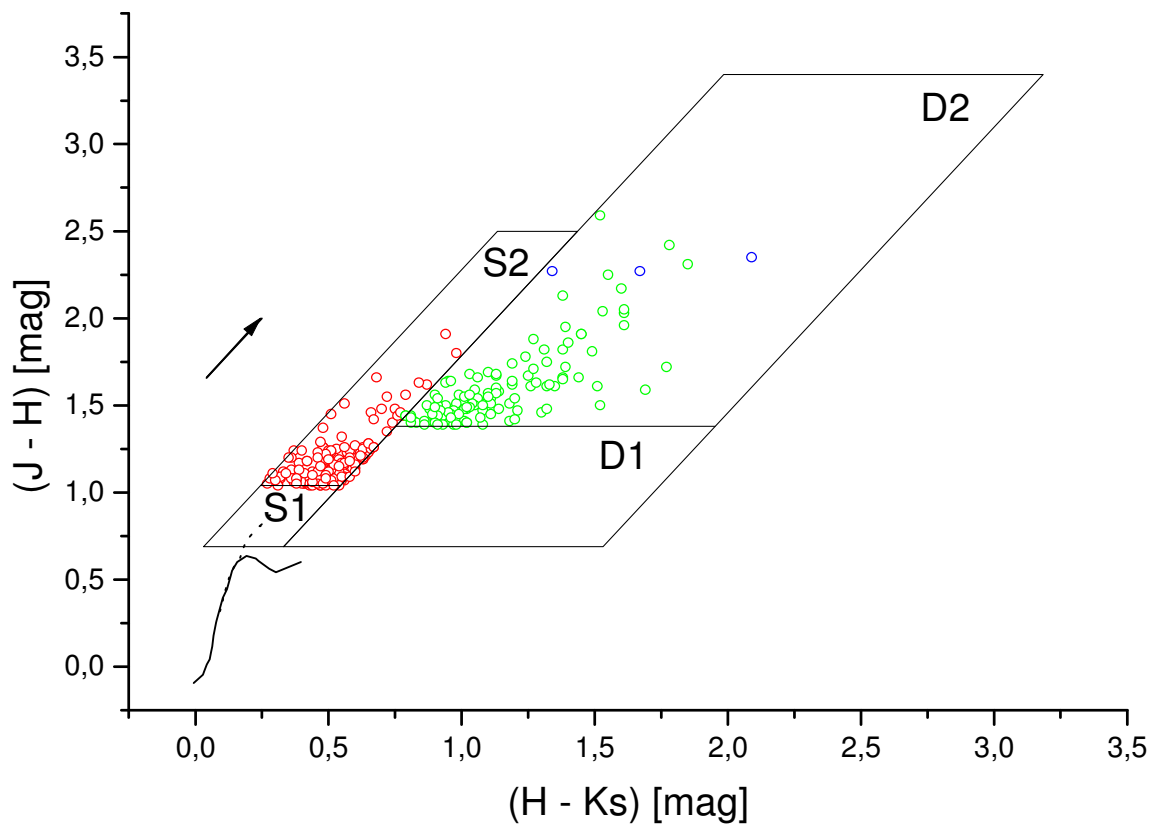


Figura 5.12 - Igual que la figura 5.11, para el DCC 2MASS.

En la figura 5.11 es evidente que la mayoría de los nuevos candidatos se ubican hacia la esquina inferior-izquierda de la subcaja S2, mientras que las simbióticas conocidas y las descubiertas por nosotros están aparentemente distribuidas más homogéneamente dentro de la subcaja (figura 5.2, aunque ciertamente la estadística existente es muy limitada). Por ello, hemos realizado un ejercicio de consistencia dividiendo la citada subcaja S2 en otras dos, separando los candidatos con menor exceso $H\alpha$ de los de mayor exceso. La expresión analítica de la línea divisoria es $(r' - H\alpha) = 0.25 \cdot (r' - i') + 1.19$ y las dos partes en que queda dividida S2 las llamaremos S2L (parte inferior) y S2H (parte superior).

Tomando ahora la muestra de referencia de 180 objetos, encontramos que en S2L hay 4 simbióticas, además de otros 4 objetos no simbióticos, mientras que en S2H quedan 10 simbióticas y un objeto de naturaleza no simbiótica. Hemos recalculado la probabilidad de éxito en la búsqueda teniendo en cuenta las nuevas combinaciones (ahora son 16) resultando que las combinaciones más exitosas son S2L/S2 (50%), S2H/S2 (91%) y S2H/D2 (50%), además de D/D2 (40%) que no se ve afectada con el cambio. Aplicando estos nuevos valores a la lista ampliada, resulta que la cantidad de simbióticas esperadas es de 61 (en S2L/S2), 35 (en S2H/S2), 12 (en S2H/D2) y 1 (D/D2). Es decir, un total de 109 ± 19 nuevas simbióticas, un número ligeramente inferior al obtenido anteriormente (148 ± 14) aunque no significativamente diferente.

Por tanto, concluimos que no es necesario hacer más subdivisiones en las cajas de búsqueda (la división adoptada en el apartado 5.1.1 y mostrada en la figura 5.11 nos proporciona un resultado suficientemente robusto) y que el tamaño de las subcajas es adecuado para mantener los errores estadísticos dentro de cada subcaja a un nivel aceptable. En resumen, además de las 14 estrellas simbióticas ya descubiertas, esperamos encontrar alrededor de cien simbióticas nuevas en la región explorada por *IPHAS*, con grandes probabilidades de que la mayoría (sino todas) sean de tipo S.

5.5 Número total de simbióticas en la Galaxia

La población total de estrellas simbióticas en la Galaxia proporciona información fundamental para: entender la frecuencia e importancia de esos objetos en la evolución estelar, calibrar las escalas de tiempos característicos de la fase de simbiosis estelar y poner a prueba la hipótesis de que las simbióticas pueden ser progenitoras de las supernovas de tipo Ia (capítulo 1). A pesar del número reducido de simbióticas que hemos descubierto hasta la fecha, el carácter sistemático del cartografiado fotométrico de *IPHAS* nos permite sacar alguna conclusión general sobre este importante asunto. Todo ello a la espera de completar el programa de confirmación espectroscópica de los candidatos más probables de poseer naturaleza simbiótica que hemos identificado (anexos D, E y F). Además, ha comenzado una nueva exploración, esta vez de la parte sur del plano de la Vía Láctea (*VPHAS+*) y que utiliza las mismas bandas fotométricas que *IPHAS*, gracias a la cual podremos obtener información más exhaustiva al respecto.

En el apartado 4.3 presentamos la distribución en longitud galáctica de las estrellas simbióticas, tanto nuevas como conocidas, notando que la mayoría de ellas se concentran hacia el centro galáctico (figura 4.22). La estimación de sus distancias (apartado 4.1.4) nos permite ahora una representación de la posición de las nuevas estrellas simbióticas en la Galaxia. Nos fijaremos principalmente en las simbióticas de tipo S, las más relevantes para la discusión de la formación de las supernovas de tipo Ia (capítulo 1). En una representación de nuestra galaxia vista desde su dirección polar (figura 5.13), resulta claro que las simbióticas descubiertas por *IPHAS* se sitúan en la dirección hacia el centro, con varias de ellas cercanas al extremo de la barra de la Galaxia. Además, su altura z sobre el plano galáctico (tabla 4.3) es generalmente de varios cientos de parsec, lo que confirma la conclusión de Whitelock y Munari (1992) y Munari y Renzini (1992) de que las simbióticas no pertenecen a una población estelar joven concentrada en el plano galáctico, sino a una población más vieja del disco y/o bulbo.

Sin embargo, para estudiar adecuadamente la población de estrellas simbióticas pertenecientes al bulbo habrá que esperar a *VPHAS+* (más detalles en el capítulo 6) porque, como puede verse en la figura 5.13, el área explorada por *IPHAS* (la región a la izquierda de la línea roja) no se extiende hasta regiones donde la luz integrada del bulbo domina. *IPHAS* llega hasta 3.9 kpc del centro galáctico en su máximo acercamiento (figura 5.13), siendo inalcanzable para ésta más del 90% de las estrellas del bulbo

(ubicadas a una distancia inferior a 3.9 kpc del centro galáctico). Además, *IPHAS* ha explorado sólo una fracción muy pequeña del 10% restante, la comprendida entre $+5^\circ$ y -5° de latitud galáctica.

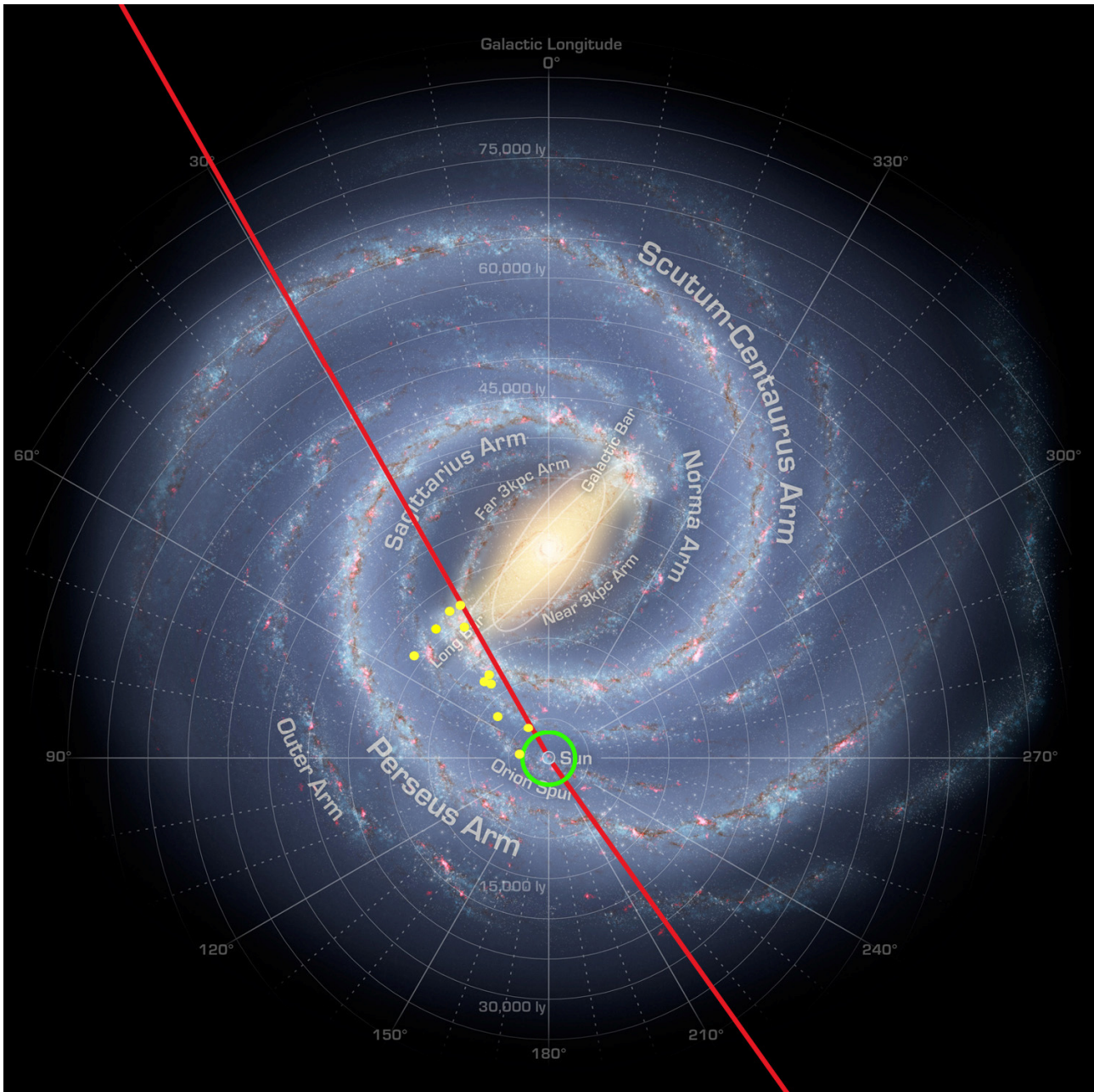


Figura 5.13 – Distribución de las nuevas estrellas simbióticas de tipo S de *IPHAS* (círculos amarillos) en una proyección de la Galaxia vista desde la dirección polar. El área explorada por *IPHAS* es la región a la izquierda de la línea roja. La circunferencia verde con centro en el Sol indica el límite de la zona estudiada por Munari y Renzini (1992) para estimar el número total de simbióticas en la Galaxia.

Como se mencionó en el capítulo 1, Munari y Renzini (1992) estimaron la población global de simbióticas en la Galaxia usando el censo de objetos en el entorno solar, concretamente dentro de 1 kpc del Sol (círculo verde en la figura 5.13). A continuación vamos a reanalizar sus cálculos y a investigar qué implicaciones podrían tener los resultados presentados en esta tesis.

Con las distancias adoptadas por Munari y Renzini, 40 de las simbióticas de tipo S conocidas entonces (1992) se localizan a menos de 1 kpc del Sol. Esto les llevó a estimar, extrapolando a toda la Galaxia, un total de 25000 simbióticas. El paso siguiente de Munari y Renzini, la parte más discutible de su razonamiento, fue asumir *ad hoc* que solamente una de cada diez simbióticas existentes se había descubierto realmente (ver apartado 1.6), lo que implicaría que el número total de simbióticas en la Galaxia llegaría hasta 250000, y que 400 de ellas estarían dentro de la esfera de 1 kpc considerada.

Respecto a *IPHAS*, hay que remarcar que este proyecto ha explorado unos 1800 grados cuadrados en total, es decir el 4% de la superficie total de la bóveda celeste. Si las aproximadamente 400 estrellas simbióticas que aún faltan por descubrir en el volumen esférico de 1 kpc (considerado por Munari y Renzini), estuvieran distribuidas homogéneamente, entonces deberíamos encontrar unas 15 simbióticas en el área explorada por *IPHAS* dentro de ese volumen esférico.

Pero no es esperable que las simbióticas estén distribuidas homogéneamente. La población de simbióticas del entorno solar tiene que estar formada mayoritariamente por estrellas del disco porque la contribución del bulbo a nuestra distancia galactocéntrica es completamente despreciable. Según López-Corredoira et al. (2005), la densidad de estrellas del bulbo cerca del Sol es $\rho \sim 2 \cdot 10^{-7}$ estrellas pc^{-3} , mientras que las estrellas del disco tienen una densidad $\rho = 5 \cdot 10^{-2}$ estrellas pc^{-3} , en el mismo entorno. Como ejercicio, podemos suponer para las simbióticas del entorno solar una distribución exponencial en altura z sobre el plano, típica de los discos de galaxias ($N_{(z)} = N_0 \cdot e^{-(z/z_h)}$, donde z_h es la escala de altura típica de la población). Bajo ese supuesto, resulta que la fracción de estrellas simbióticas existentes en el entorno solar que *IPHAS* puede potencialmente descubrir es del 5% si $z_h = 700$ pc (la escala de altura típica del -controvertido- disco "grosso" de la Galaxia, ver Casetti-Dinescu et al. 2011) y del 10% si $z_h = 300$ pc (el valor característico para las estrellas de masa pequeña/intermedia, ver por ejemplo Phillips 2005). Por tanto, si el número total de unas 400 simbióticas en el entorno solar estimado

por Munari y Renzini es correcto, en el área explorada por *IPHAS* se tendrían que encontrar entre 20 y 40 simbióticas con distancia menor o igual a 1 kpc.

Usando ahora las distancias que hemos calculado en la tabla 4.3, vemos que ninguna de las nuevas simbióticas descubiertas en *IPHAS* forma parte de estas supuestas 400 simbióticas del entorno solar. Como máximo podríamos considerar, teniendo en cuenta los errores, que dos de los nuevos objetos están cerca del límite de 1 kpc y podrían formalmente entrar en el área de Munari y Renzini (círculo verde en figura 5.13), si hubiésemos subestimado su extinción o sobreestimado el tipo espectral de su gigante roja. Por otro lado, notamos que tampoco hay un número significativo de objetos a una distancia menor de 1 kpc entre los candidatos más probables de ser simbióticas (anexos D, E y F). Suponiendo un tipo espectral $\geq M0$ para la gigante roja del sistema y un límite superior de la extinción $A_{Ks} \leq 1$ mag (más de un orden de magnitud superior al valor promedio en el entorno solar, típicamente 0.07 mag, ver Wainscoat et al. 1992), entonces resulta que la magnitud aparente de una simbiótica a menos de 1 kpc de distancia sería $K_s < 7.8$ mag. Sin embargo, salvo muy pocos casos (6), la mayoría de candidatos son más débiles que este valor (figura 5.14) por lo que concluimos que hay muy pocas, o incluso ninguna simbiótica nueva o por descubrir a menos de 1 kpc en el área del cielo cubierta por *IPHAS*. En cuanto a las ocho simbióticas de tipo S conocidas previamente en el área de *IPHAS*, si estimamos su distancia con el mismo método usado en el apartado 4.1.4, resulta que solamente una (CI Cyg) parece estar situada a menos de 1 kpc del Sol (tabla 5.5).

En resumen, sumando todas las simbióticas previamente conocidas, las descubiertas por *IPHAS* hasta la fecha y nuestros candidatos más probables, estimamos que el número total de sistemas simbióticos que hay en el área del cielo explorada por *IPHAS* y a una distancia menor de 1 kpc es muy pequeño, entre 1 y 9. Por tanto, comparando con las 20-40 simbióticas que predice el análisis de Munari y Renzini, y a pesar de la estadística tan limitada con que se cuenta, concluimos que Munari y Renzini han sobrestimado, probablemente en un factor dos o más, el número total de simbióticas en el entorno solar y, por ende, en la Galaxia.

No obstante, somos conscientes de las enormes extrapolaciones que encierran estos cálculos y de lo pequeñas que son las regiones de la Galaxia donde se ha estudiado la población de simbióticas con un mínimo grado de completitud. El análisis de los bancos

de datos de futuras exploraciones (ver capítulo 6), siguiendo la metodología que hemos desarrollado en esta tesis para *IPHAS*, permitirán llegar a conclusiones más robustas.

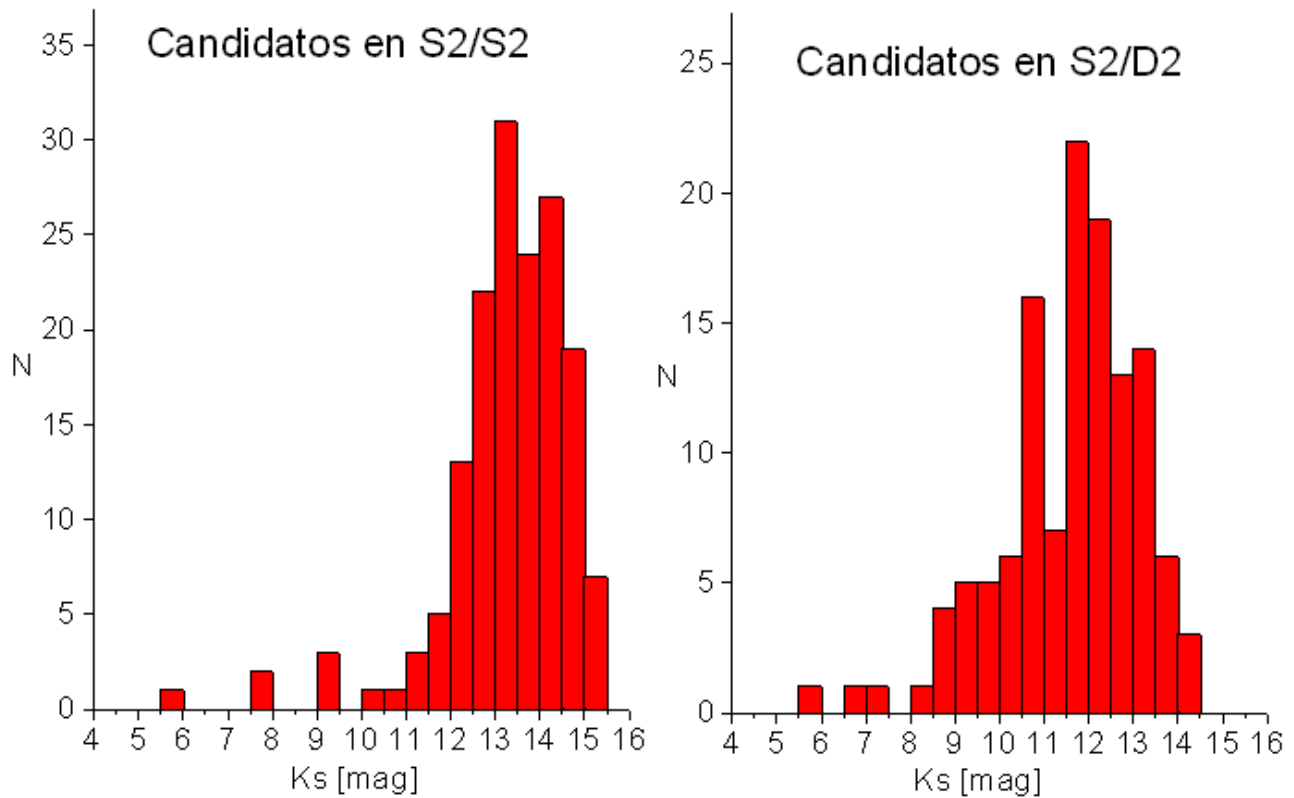


Figura 5.14 – Distribución de la magnitud K_s para los candidatos que satisfacen las combinaciones S2/S2 (izquierda) y S2/D2 (derecha).

Tabla 5.5 – Parámetros y distancias de las 8 simbióticas de tipo S conocidas anteriormente en el área explorada por *IPHAS*.

Nombre	l [°]	b [°]	Tipo IR	J [mag]	H [mag]	K_s [mag]	Tipo espectral	A_{K_s} [mag]	d [kpc]
DQ Ser	36,67	3,81	S	9,39	8,29	7,81	M3-M5	0.37-0.32	2.6-3.6
CM Aql	31,59	-4,09	S	9,21	8,10	7,69	M0-M4	0.44-0.32	1.2-2.6
V1413 Aql	48,97	4,77	S	8,73	7,92	7,50	M4-M5	0.16-0.14	2.6-3.4
Ap 3-1	37,64	-2,97	S	10,08	8,94	8,51	M5-M7	0.33-0.23	5.0-9.1
V352 Aql	37,51	-3,86	S	10,90	9,82	9,43	M2-M3	0.35-0.31	3.8-5.6
QW Sge	55,64	-3,02	S	8,32	7,37	6,97	M5-M6	0.20-0.17	2.6-3.3
Cl Cyg	70,90	4,74	S	5,76	4,76	4,41	M5.5	0.19	0.9
Hen 2-468	75,94	-4,44	S	9,40	8,31	7,95	M7	0.16	7.3

6

Conclusiones y Prospectivas

6.1 Conclusiones

El trabajo descrito en esta memoria de tesis se ha centrado en el estudio observacional de las estrellas simbióticas, utilizando, en primer lugar, fotometría en la banda estrecha $H\alpha$ combinada con las bandas anchas del extremo rojo del visible (r' e i'), e infrarrojo cercano (JHKs) y, en segundo lugar, espectroscopia en el visible de los nuevos candidatos a estrella simbiótica descubiertos en el transcurso de nuestro trabajo. La zona del espectro electromagnético que hemos elegido contiene información de muchos de los fenómenos que ocurren en estos sistemas binarios, en particular en sus gigantes rojas, las envolturas de polvo y las nebulosas ionizadas por la compañera caliente. El análisis de las propiedades fotométricas de otras clases de objeto de referencia (estrellas normales y objetos con intensa emisión en $H\alpha$) en esta región del espectro, ha sido fundamental para poder distinguir las estrellas simbióticas de las restantes clases. Los resultados principales de nuestro estudio (en negrita) son los siguientes:

- **Presentamos por primera vez un método eficaz para descubrir estrellas simbióticas basado en fotometría estelar de banda ancha con la única ayuda adicional de un filtro de banda estrecha centrado en $H\alpha$, donde esas estrellas presentan emisión muy intensa.** El método se basa en una definición precisa de las regiones, tanto en el DCC *IPHAS* como en el de *2MASS*, que agrupan a la mayoría de las simbióticas conocidas. En el curso del trabajo, hemos ido refinando el criterio de

selección usando la información proporcionada por el análisis espectroscópico de una muestra considerable de candidatos.

- El número limitado de colores utilizados conlleva la presencia de otras clases de objeto en las zonas típicas de las simbióticas. Hemos realizado un estudio detallado de los “contaminantes” más frecuentes (objetos estelares jóvenes, básicamente estrellas Be y T Tauri). **Nuestra investigación proporciona las herramientas esenciales para interpretar los DCCs de *IPHAS* y *2MASS* y discriminar entre las diferentes clases de estrella con H α en emisión.**
- Para validar el criterio fotométrico de selección adoptado, hemos desarrollado un intenso programa de seguimiento espectroscópico en diferentes observatorios, lo que nos proporcionó espectros de 170 candidatos a simbióticas y **nos permitió descubrir catorce nuevas estrellas simbióticas, además de un centenar de objetos jóvenes (CTT, Be/YSO, Be), algunos de ellos muy enrojecidos, junto con otros objetos peculiares como tres estrellas Wolf-Rayet, tres objetos que manifiestan el fenómeno B[e] y cuatro estrellas enanas M con elevada actividad cromosférica o coronal.**
- Considerando que antes de este trabajo sólo se conocían once estrellas simbióticas en la región del cielo explorada por *IPHAS* (Belczynski et al. 2000), **hemos duplicado el número de sistemas simbióticos conocidos en esa región. Por otro lado, si nos limitamos sólo al rango de magnitudes explorado por *IPHAS* ($13 < r' < 20.5$), donde se conocían sólo tres simbióticas, el número de objetos nuevos supera en casi cinco veces lo catalogado. El estudio individual de los nuevos sistemas simbióticos nos ha permitido determinar sus propiedades físicas básicas.**
- Hemos aplicado nuestro criterio de selección al nuevo catalogo fotométrico de *IPHAS* usando una nueva calibración global del sistema, generando así una **nueva lista de 5061 candidatos a estrellas simbióticas (1161 candidatos a estrella simbiótica de tipo S y 3900 candidatos a sistemas de tipo D)**. Esta es la lista más completa de candidatos disponible y reemplaza a la presentada en Corradi et al. (2008).
- El criterio de selección adoptado, y su posterior validación y refinado, mediante al seguimiento espectroscópico de una muestra significativa y sin sesgos

observacionales importantes, nos han permitido estimar la probabilidad de encontrar estrellas simbióticas en función de la ubicación de los candidatos en los DCCs de *IPHAS* y *2MASS*. Aplicando esta "probabilidad de éxito" a la lista de candidatos a estrellas simbióticas, encontramos que **el número total de estrellas simbióticas esperadas en la región explorada por *IPHAS*, hasta la magnitud $r=20.5$, es alrededor de cien**. La gran mayoría (si no todas) serán de tipo S.

- La estimación de las distancias de todas las simbióticas existentes en el área explorada por *IPHAS* (las previamente conocidas y las descubiertas por nosotros), nos permite concluir que **Munari y Renzini (1992) podrían haber sobreestimado en un factor dos o más el número total de simbióticas en el entorno solar, y por ende, en la Galaxia**.

6.2 Prospectivas

El trabajo que hemos presentado constituye el primer paso significativo para determinar empíricamente la población global de simbióticas de la Galaxia, usando un área de búsqueda razonablemente amplia. En el futuro inmediato nos planteamos la continuidad de este trabajo aprovechando los nuevos programas observacionales ya en marcha y la experiencia adquirida analizando la base de datos del proyecto *IPHAS*.

🌐 *VPHAS+*

A finales de 2011 se puso en marcha el proyecto *VST Photometric H α Survey of the Southern Galactic Plane* (*VPHAS+*; <http://www.vphas.eu/>), extensión de *IPHAS* para el hemisferio sur con la inclusión de dos bandas anchas en el azul (u' y g' del sistema fotométrico de Sloan), y en el cual participamos activamente. Este cartografiado fotométrico utiliza la poderosa cámara *OmegaCAM* (1°×1° y 268 Megapíxeles), en el nuevo telescopio *VLT Survey Telescope* (*VST*) de 2.6 m del *ESO* en Paranal, Chile.

El área del cielo cubierta por *VPHAS+* será la parte sur del plano galáctico entre $-5^\circ < b < +5^\circ$, con una extensión en la zona del bulbo ($-10^\circ < b < +10^\circ$ para $-10^\circ < l < +10^\circ$), cubriendo un total de ~2100 grados cuadrados (figura 6.1). Los límites de esta exploración se estiman en 21.8 (u'), 22.5 (g'), 21.6 (H α), 22.5 (r') y 21.8 mag (i').

Las observaciones de *VPHAS+* nos permitirán determinar con mucha mayor precisión la población total de simbióticas del bulbo de la Galaxia, gracias a una cobertura de más del 70% de la luz integrada del bulbo. Sin embargo, es igualmente importante calcular la población de simbióticas en el disco de la Galaxia y determinar luego sus propiedades fundamentales, en particular, la escala de altura típica sobre el plano. Ésta es un indicador directo de la edad/masa de los progenitores y nos permitirá distinguir si las simbióticas pertenecen a una población vieja de disco o al disco grueso de la Galaxia. *VPHAS+* duplicará el volumen observado por *IPHAS* cerca del plano galáctico, aumentando el valor estadístico de los resultados y conclusiones que presentamos en el capítulo 5.

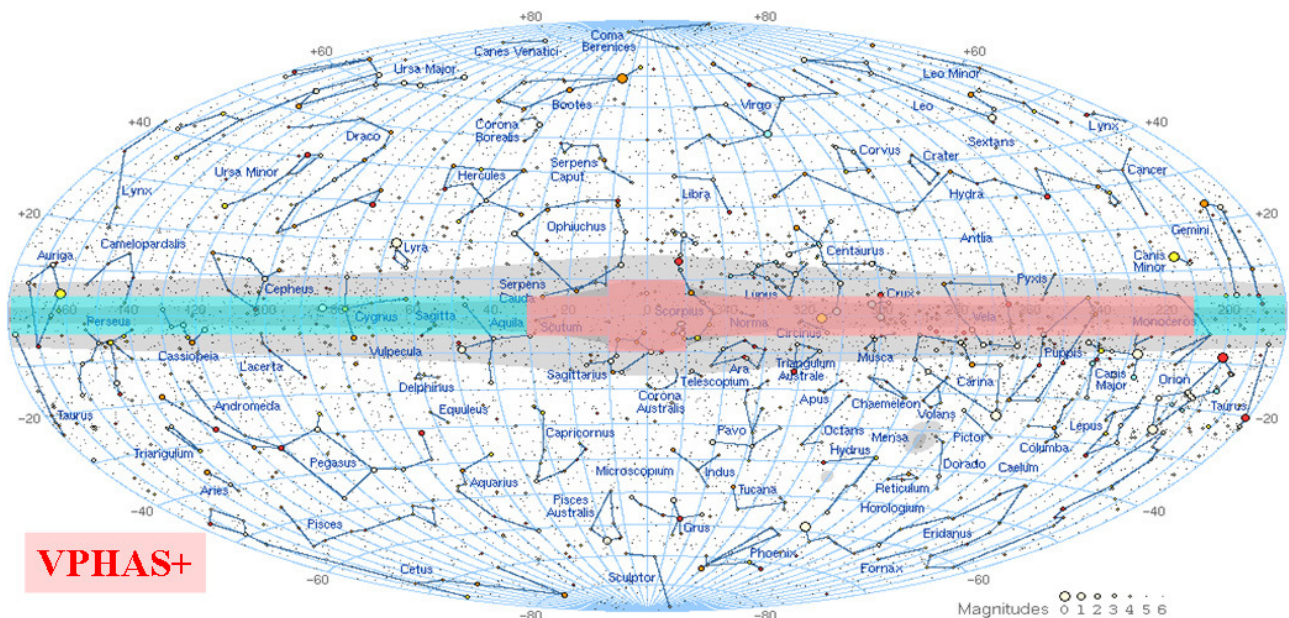


Figura 6.1 – En color rosado, la región de la Galaxia que observará el proyecto *VPHAS+*. Nótese la extensión en latitud en la zona del bulbo. El área explorada por *IPHAS* se muestra en color azul.

🌌 Otras exploraciones en marcha

Entre los cartografiados en $H\alpha$ a gran escala existentes o planeados para el futuro, el *Wisconsin $H\alpha$ Mapper* (*WHAM*, <http://www.astro.wisc.edu/wham/>) carece de la resolución necesaria para el estudio de fuentes puntuales. Por otro lado, el *Virginia Tech Spectral-line Survey* (*VTSS*, <http://www.phys.vt.edu/~halph/>) en el hemisferio Norte y el *Southern $H\alpha$ Sky Survey Atlas* (*SHASSA*, <http://amundsen.swarthmore.edu/SHASSA/>) en el Sur, ambos con una resolución alrededor de 1 minuto de arco, podrían servir para el estudio

de fuentes puntuales brillantes en campos estelares poco densos a altas latitudes galácticas. Nuestro plan es investigar detalladamente su posible uso para la búsqueda de simbióticas en el entorno solar.

Estudiaremos también la potencialidad de la base de datos del *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS, <http://www.sdss.org>) que, a pesar de no ser un cartografiado fotométrico en H α , ha explorado una región muy extensa del cielo en varios filtros con un seguimiento espectroscópico de cientos de miles de estrellas.

Finalmente, *SkyMapper* (<http://www.mso.anu.edu.au/skymapper>) es un proyecto que empezó en 2010 y que observa repetidamente todo el cielo del hemisferio sur, en varios filtros de banda ancha con una resolución limitada por el *seeing*. Además del cartografiado en banda ancha, se pretende usar parte del tiempo para explorar en H α una región significativa del cielo. Los detalles (ubicación y tamaño del área a cartografiar en H α) y las escalas de tiempo no están todavía completamente definidos, pero mantenemos una colaboración activa con Quentin Parker de la Universidad Macquarie de Sydney que nos permitirá aprovechar los datos H α de *SkyMapper* cuando estén disponibles y si finalmente resultasen ser útiles para nuestra búsqueda de simbióticas.

🌐 Nuevas observaciones

Otra atractiva posibilidad es explorar mediante nuevas observaciones en el visible las direcciones polares en el entorno solar, lo que tendría la ventaja de la escasa extinción interestelar en esas direcciones y de evitar buena parte de la contaminación debida a las estrellas jóvenes que, por lo general, se concentran en el plano galáctico.

Vamos a esbozar brevemente los requerimientos básicos de tal estudio. Según nuestro análisis en el apartado 5.5, esperamos unas 200 estrellas simbióticas o menos en el entorno de 1 kpc. Esto significa que para disponer de una muestra de simbióticas estadísticamente válida y que además nos permita estimar la altura típica sobre el plano galáctico de dicha población, sería necesario detectar por lo menos unas 40 simbióticas, es decir explorar un 20% de todo el cielo (~8000 grados cuadrados) centrado en uno de los polos galácticos. Sin embargo, la exploración no tendría que ser muy profunda pues, como hemos visto en el apartado 5.5, las simbióticas más cercanas ($d < 1$ kpc) tienen un límite superior de la magnitud Ks de ~7 mag si asumimos una extinción máxima de 0.2

mag en Ks para las altas latitudes galácticas que se observarían. Considerando que la mayor parte de las simbióticas conocidas tienen $(r' - Ks)_0 < 7$ mag, bastaría que la muestra fuera completa hasta la magnitud $r' \sim 16$ mag. Una exploración de estas características es posible con telescopios relativamente pequeños (aperturas superiores a 50 cm), lo que facilita enormemente las posibilidades de realización. Además, sólo se necesitaría observar en el visible y determinar el índice de color $(r' - H\alpha)$ (hemos visto en esta tesis que el color $r' - i'$ no es tan crítico), pues los colores infrarrojos se pueden obtener de *2MASS*.

6.3 Prospectivas en la región de procedencia del doctorando

La experiencia adquirida con este trabajo de tesis, y los resultados obtenidos, nos brindan la posibilidad de extender el conocimiento sobre evolución estelar en general, y estrellas simbióticas en particular, a la institución de procedencia del doctorando, el Instituto de Geofísica y Astronomía¹¹ (IGA, <http://www.iga.cu>) de La Habana (Cuba), así como de plantear proyectos observacionales relacionados con el tema usando los medios y colaboraciones disponibles en el IGA.

En este sentido, desde el 2008, existen proyectos de colaboración en las áreas de Astronomía y Magnetismo Terrestre entre el IGA y la Fundación Centro de Investigaciones de Astronomía "Francisco J. Duarte" (CIDA, <http://www.cida.ve>) de Venezuela, en el marco del Convenio de Cooperación Integral entre ambos países en materia científico-tecnológica y contando con la financiación del Fondo de Desarrollo Nacional (Fonden) de Venezuela.

El proyecto de Astronomía se basa en la creación de un Observatorio Virtual (OV) entre ambos países que incluirá posteriormente a otros países del área. Entre las bases de datos integradas en el OV se encuentran las observaciones realizadas a bajas latitudes galácticas desde 1998 hasta 2007 con la cámara Schmidt de 1 m del Observatorio Llano del Hato (Mérida, Venezuela), lo que nos permite disponer de información valiosa para el estudio de la variabilidad de las estrellas simbióticas e implementar algoritmos de búsqueda de objetos candidatos a simbiótica. Por otro lado, la mencionada cámara Schmidt cuenta con un mosaico de *CCDs* que cubre un gran campo visual ($2.3^\circ \times 2.3^\circ$)

¹¹ al cual pertenece el doctorando como investigador de plantilla.

con varios filtros y, entre ellos, uno de $H\alpha$ (Sánchez et al. 2001). Es, por tanto, un instrumento adecuado para el proyecto de búsqueda de simbióticas en grandes regiones del cielo descrito en el apartado anterior. En el futuro inmediato trabajaremos para materializar este proyecto aprovechando el Convenio de Cooperación existente entre los dos países.

Por otro lado, en Cuba contamos con un único telescopio óptico profesional, un reflector de 60 cm de diámetro del IGA que, una vez modernizado y dotado con detectores y filtros adecuados, se dedicaría, en parte, a trabajos relacionados con las estrellas simbióticas. Podría llevarse a cabo, por ejemplo, un seguimiento fotométrico de algunas de las nuevas simbióticas descubiertas, con el fin de medir sus curvas de luz y determinar sus parámetros básicos, como el período orbital del sistema o el período pulsacional de la gigante fría, así como el tipo de actividad simbiótica (erupciones, tipo nova, etc.) que las caracteriza. Estas observaciones se podrían realizar en colaboración con los diversos grupos de aficionados a la astronomía organizados en el país.

Bibliografía

- Acker, A., Stenholm, B.: 1990, A&AS 86, 219.
- Acker, A., Ochsebein, F., Stenholm, B., Tylenda, R., Marcout, J. y Schohn, C.: 1992, "The Strabourg-ESO catalogue of galactic planetary nebulae", Part I and II, ESO, 1042 p.
- Allen, D.: 1981, MNRAS 197, 739.
- Allen, D.: 1984, PASA 5 (3), 369.
- Allen, D. y Glass, I. S.: 1974, MNRAS 167, 337.
- Andrillat, Y.: 1983, A&AS 53, 319.
- Andrillat, Y. y Fehrenbach, C.: 1982, A&AS 48, 93.
- Appenzeller, I. y Mundt, R.: 1989, A&A Rev. 1, 291.
- Banerjee, D. P. K., Rawat, S. D. y Janardhan, P.: 2000, A&AS 147, 229.
- Barrado-Navascués, D., Martín, E.L.: 2003, AJ 126, 2997.
- Beichman, C.A., Neugebauer, G., Habing, H. J., Clegg, P. E. y Chester, T. J. (eds): 1985, IRAS Catalogs and Atlases, Explanatory Supplement (U. S. GPO, Washington D. C.).
- Belczynski, K., Mikolajewska, J., Munari, U., Ivison, R. y Friedjung, M.: 2000, A&AS 146, 407.
- Bessell, M. S. y Brett, M.: 1988, PASP 100, 1134.
- Bickert, K. F., Greiner, J., Stencel, R. E.: 1996, "Supersoft X-Ray Sources", Lecture Notes in Physics 472, 225.
- Brandi, E.: 2007, BAAA 50, 57.
- Burmeister, M. y Leedjäv, L.: 2009, A&A 504, 171.
- Carpenter, J. M.: 2000, AJ 120, 3139.
- Carpenter, J. M.: 2001, AJ 121, 2851.
- Casetti-Dinescu, D. I., Girard, T. M., Korchagin, V. I. y van Altena, W. F.: 2011, ApJ 728, id. 7.
- Chesneau, O., Lykou, F., Balick, B. et al.: 2007, A&A 473, L29.

- Christian, D. J., Craig, N., Dupuis, J., Roberts, B. A. y Malina, R. F.: 2001, AJ 122, 378.
- Corradi, R. L. M.: 1995, MNRAS 276, 521.
- Corradi, R. L. M.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 393.
- Corradi, R. L. M. y Giammanco, C.: 2010, A&A 520, A99.
- Corradi, R. L. M., Brandi, E., Ferrer, O. E. y Schwarz, H. E.: 1999, A&A 343, 841.
- Corradi, R. L. M., Livio, M., Balick, B., Munari, U. y Schwarz, H. E.: 2001, ApJ 553, 211.
- Corradi, R. L. M., Rodríguez-Flores, E. R., Mampaso, A. et al.: 2008, A&A 480, 409.
- Corradi, R. L. M., Valentini, M., Munari, U. et al. 2010a, A&A 509, A41.
- Corradi, R. L. M., Munari, U., Greimel, R. et al. 2010b, A&A 509, L9.
- Corradi, R.L.M., Sabin, L., Munari, U. et al.: 2011, A&A 529, A56.
- Crowther, P.A., Smith, L.J.: 1999, MNRAS 308, 82.
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S. et al.: 2000, Explanatory Suppl. 2MASS 2nd IDR (Pasadena: Caltech).
- Dahm, S. E. y Simon, T.: 2005, AJ 129, 829.
- della Prugna, F., Calvet, N. y Araque, M. D. C.: 1984, RMexAA 9, 31.
- Di Stefano, R.: 2010, ApJ 719, 474.
- Drew, J., Greimel, R., Irwin, M. et al.: 2005, MNRAS 362, 753.
- Dupree, A. K.: 1986, ARA&A 24, 377.
- Fabricant, D., Cheimets, P., Caldwell, N. y Geary, J.: 1998, PASA 110, 79.
- Favata, F., Barbera, M., Micela, G. y Sciortino, S.: 1993, A&A 277, 428.
- Favata, F., Barbera, M., Micela, G. y Sciortino, S.: 1995, A&A 295, 147.
- Feibelman, W. y Aller, L.: 1987, ApJ 319, 407.
- Fernández, M., Ortiz, E., Eiroa, C. y Miranda, L. F.: 1995, A&AS 114, 439.
- Fiorucci, M., Munari, U.: 2003, A&A 401, 781.
- Fitzpatrick, E.L.: 1999, PASP 111, 63.
- Fluks, M.A., Plez, B., The, P.S., de Winter, D., Westerlund, B.E. y Steenman, H.C.:1994, A&AS 105, 31.
- Freeman, K. C.: 1987, A&A 25, 603.
- Freund, J. E.: 1960, Estadística elemental moderna, Ediciones Revolucionarias, La Habana, 466p.
- Frogel, J.A., Whitford, A.E.: 1987, ApJ 320, 199.
- Getman, K. V., Feigelson, E. D., Townsley, L., Broos, P., Garmire, G. y Tsujimoto, M.: 2006, ApJS 163, 306.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. y Kuijken, K.: 1989, ARA&A 27, 555.

- Gonçalves, D. R., Magrini, L., Munari, U., Corradi, R. L. M. y Costa, R. D. D.: 2008, MNRAS 391, L84.
- González-Solares, E. A., Walton, N. A., Greimel, R. et al.: 2008, MNRAS 388, 89.
- Gromadzki, M. y Mikolajewska, J.: 2009, A&A 495, 931.
- Gromadzki, M., Mikolajewska, J., Whitelock, P. y Marang, F.: 2009, Acta Astron. 59, 169.
- Gutiérrez-Moreno, A., Moreno, H. y Cortés, G.: 1995, PASP 107, 462.
- Gvaramadze, V.V., Fabrika, S., Hamann, W.R. et al.: 2009, MNRAS 400, 524.
- Hanuschik, R. W.: 1986, A&A 166, 185.
- Hachisu, I.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 261.
- Hachisu, I., Kato, M. y Nomoto, K.: 1999, ApJ 522, 487.
- Henden, A. y Munari, U.: 2008, BaltA 17, 293.
- Herbig, G. y Bell, K.R.: 1988, Lick Obs. Bull., No. 1111.
- Herbig, G. H. y Dahm, S. E.: 2006, AJ 131, 1530.
- Herbst, W., Maley, J. A. y Williams, E. C.: 2000, AJ 120, 349.
- Hoffleit, D.: 1968, Irish Astronomical Journal, Vol. 8(5), 149.
- Howarth, I.: 1983, MNRAS 203, 301.
- Iben, I., Renzini, A. 1983 ARA&A, 21, 271.
- Irwin, M. J. y Lewis, J.: 2001, New Astron. Rev. 45, 105.
- Irwin, M., McMahon, R., Walton, N. et al.: 2005, ING Newsletter, No. 9, 8.
- Ivison R. J., Bode M.F. y Meaburn J.: 1994, A&AS 103, 201.
- Jordan, S.; Schmutz, W.; Wolff, B.; Werner, K. y Muerstet, U.: 1996, A&A 312, 897.
- Jordi, C., Galadi-Enriquez, D., Trullols, E. y Lahulla, F.: 1995, A&AS 114, 489.
- Jorissen, A., Začs, L., Udry, S., Lindgren, H. y Musaev, F. A.: 2005, A&A 441, 1135.
- Josselin, E., Maun, N., Planesas P. y Bachiller, R.: 2000, A&A 362, 255.
- Karitskaya, E. A., Agafonov, M. I., Bochkarev, N. G. et al.: 2005, A&Ap Trans. 24, 282.
- Karovska, M., Hack, W., Raymond, J. y Guinan, E.: 1997, ApJL 482, L175.
- Kenyon, S. J.: 1986, The Symbiotic Stars (Cambridge University Press).
- Kenyon, S. J.: 1988, AJ 96, 337.
- Kenyon, S. J. y Webbink, R.: 1984, ApJ 279, 252.
- Kenyon, S. J., Fernández-Castro, T. y Stencel, R.: 1988, AJ 95, 1817.
- Kenyon, S. J., Livio, M., Mikolajewska, J. y Tout, Ch. A.: 1993, ApJL 407, L81.
- Kirkpatrick, J. D., Henry, T. J. y McCarthy, D. W.: 1991, ApJS 77, 417.
- Kniazev, A. Y., Väisänen, P., Whitelock, P. et al.: 2009, MNRAS 395, 1121.
- Kohoutek, L.: 1965, Bull. Astron. Inst. Czech. 16, 221.
- Kohoutek, L. y Wehmeyer, R.: 1999, A&AS 134, 255.

- Lamers H. J. G. L. M., Zickgraf F.J., de Winter D., Houziaux L. y Zorec J.: 1998, A&A 340, 117.
- Landolt, A.: 1992, AJ 104, 340.
- Lee, H-W.: 2003, JKAS 36, 55.
- Lee, H-W., Kang, Y-W y Byun, Y-I.: 2001, ApJL 551, L121.
- López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A. y Gerhard, O. E.: 2005, A&A 439, 107.
- Lucy L. B.: 1995, A&A 294, 555.
- Lykou, F., Chesneau, O., Zijlstra, A. A. et al.: 2011, A&A 527, A105.
- Magrini, L., Corradi, R. y Munari, U.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 539.
- Marengo, M., Karovska, M., Fazio, G. G. et al.: 2001, ApJ 556, L47.
- Martín, E. L.: 1997, A&A 321, 492.
- Massey, Ph.: 1997, "A User's Guide to CCD Reductions with IRAF", NOAO, AURA Inc.
- Massey, Ph., Johnson, K. E. y Degioia-Eastwood, K.: 1995, ApJ 454, 151.
- Mayall, M.W.: 1937, Harvard Ann. 105, 491.
- Merrill, P. W. y Burwell, C. G.: 1950, ApJ 112, 72.
- Mikolajewska, J.: 2001, ASP Conf. Ser., Vol. 246, 167.
- Mikolajewska, J.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 9.
- Mikolajewska, J.: 2007, BaltA 16, 1.
- Mikolajewska, J. y Kenyon, S. J.: 1992, MNRAS 256, 177.
- Mikolajewska, J., Brandi, E., Hack, W., et al.: 1999, MNRAS 305, 190.
- Mikolajewska, J., Kolotilov, E. A., Shugarov, S. Yu., Tatarnikova, A. A. y Yudin, B. F.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 151.
- Mikolajewska, J., Ivison, R. J., Omont, A.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 478.
- Mohamed, S. y Podsiadlowski, Ph.: 2007, ASP Conf. Ser., Vol. 372, 397.
- Mohamed, S. y Podsiadlowski, Ph.: 2010, AIP Conf. Proc. 1314, 51.
- Mohamed, S. y Podsiadlowski, Ph.: 2011, ASP Conf. Ser., Vol. 445, 355.
- Munari, U.: 1994, Mem. S.A.It. 65, 157.
- Munari, U.: 1997, Physical Processes in Symbiotic Binaries and Related Systems, J. Mikolajewska ed., Warsaw: Copernicus Foundation for Polish Astronomy, p. 37.
- Munari, U., Buson, L.M.: 1994, A&A 287, 87.
- Munari, U. y Renzini, A.: 1992, ApJ 397, L87.
- Munari, U., Zwitter, T.: 2002 A&A 383, 188.
- Munari, U., Yudin, B. F., Taranova, O. G. et al.: 1992, A&AS, Vol. 93, No. 2, 383.
- Mürset, U. y Schmid, H. M.: 1999, A&AS 137, 473.
- Mürset, U., Nussbaumer, H., Schmid, H. y Vogel, M.: 1991, A&A 248, 458.

- Mürset, U., Wolff, B. y Jordan, S.: 1997, A&A 319, 201.
- Neugebauer, G., Beichman, C.A., van Duinen, R. et al.: 1984, ApJL 278, L1.
- Neuhaeuser, R., Torres, G., Sterzik, M. F. y Randich, S.: 1997, A&A 325, 647.
- Nomoto, K.: 1982, ApJ 253, 798.
- Nomoto, K, Thielemann, F. y Yokoi, K.: 1984, ApJ 286, 644.
- Nussbaumer, H.: 2000, ASP Conf. Ser., Vol. 204, 317.
- Okazaki, A. T.: 1997, A&A 318, 548.
- Oke, J. B.: 1990, AJ 99, 1621.
- Osterbrock, D.E., Ferland, F.J.: 2006, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei* (University Science Books).
- Paczynski, R. & Rudak, R.: 1980, A&A 82, 349.
- Park, B-G. y Sung, H.: 2002, AJ 123, 892.
- Patat, F., Chandra, P., Chevalier, R. et al.: 2007, Science 317, 924.
- Penston, M. V., Benvenuti, P., Cassatella, A.: 1983, MNRAS 202, 833.
- Percy, J. R., Hosick, J., Kincaide, H. y Pang, C.: 2002, PASP 114, 551.
- Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G. et al.: 1999, ApJ 517, 565.
- Pettersen, B. R. y Hawley, S. L.: 1989, A&A 217, 187.
- Phil Massey, Ph., Valdes, F. y Barnes, J.: 1992, "A User's Guide to Reducing Slit Spectra with IRAF", NOAO, AURA Inc.
- Phillips, J. P.: 2005, RMxAA 41, 407.
- Phillips, J. P.: 2007, MNRAS 376, 1120.
- Porter, J. M. y Rivinius, T.: 2003, PASP 115, 1153.
- Ramos-Larios, G. y Phillips, J.: 2005, MNRAS 357, 732.
- Riess, A. G., Filippenko, A. V., Challis, P. et al.: 1998, AJ 116, 1009.
- Robertson, T.H., Jordan T.M.: 1989, AJ 98, 1354.
- Rodríguez-Flores, E. R.: 2006, Memoria del Diploma de Estudios Avanzados, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.
- Sabbadin, F., Falomo, R, Ortolani, S.: 1987, A&AS 67, 541.
- Sahade, J.: 1982, IAU Coll. 70, 1.
- Sale S. E., Drew J. E., Unruh Y.C. et al.: 2009, MNRAS 392, 497.
- Sánchez, G., Abad, C. y della Prugna, F. A.: 2001, RMxAA 11, 147.
- Santander-García, M., Corradi, R.L.M., Mampaso, A.: 2007, "Asymmetrical Planetary Nebulae IV", Corradi, R.L.M., Manchado, A. & Soker, N. eds., IAC, 555 (<http://www.iac.es/proyecto/apn4/pages/proceedings.php>)
- Santander-García, M., Corradi, R. L. M., Mampaso, A. et al.: 2008, A&A 485, 117.

- Schild, R. E.: 1973, SAOSR #355.
- Schmeja, S. y Kimeswenger, S.: 2001, A&A 377, L18.
- Schmeja, S y Kimeswenger, S.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 446.
- Schmid, H. M.: 1989, A&A 211, L31.
- Schmid, H.M. 2001, ASP Conf. Proc. 242, 347.
- Schmid, H. M.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 343.
- Schmid, H. M. y Schild, H.: 2002, A&A 395, 117.
- Seaquist, E. R. y Taylor, A. R.: 1990, ApJ 349, 313.
- Seaquist, E. R., Taylor, A. R. y Button, S.: 1984, ApJ 284, 202.
- Seaquist, E. R., Krogulec, M. y Taylor, A. R.: 1993, ApJ 410, 260.
- Semkov, E. H.: 2003, A&A 404, 655.
- Sicilia-Aguilar, A., Hartmann, L. W., Hernández, J. Briceño, C. y Calvet, N.: 2005, AJ 130, 188.
- Skopal, A.: 2003, ASP Conf. Series, Vol. 303, 92.
- Skopal, A., Pribulla, T., Wolf, M., Shugarov, S. Y. y Jones, A.: 2000, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, Vol. 30, No. 1, 29.
- Skrutskie M.F., Cutri R.M., Stiening R. et al.: 2006, AJ 131, 1163.
- Skumanich, A.: 1972, ApJ 171, 565.
- Smith, J. A., Tucker, D. L., Kent, S. et al.: 2002, AJ 123, 2121.
- Sokoloski, J.L.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 202.
- Stenholm, B., Acker, A.: 1987, A&AS 68, 51.
- Sternberg, A., Gal-Yam, A., Simon, J. D. et al.: 2011, Science 333, 856.
- Straižys, V. y Laugalys, V. : 2007, BaltA 16, 327.
- Tagliaferri, G., Cutispoto, G., Pallavicini, R., Randich, S. y Pasquini, L.: 1994, A&A 285,272.
- Taylor, A. R. y Seaquist, E. R.: 1984, ApJ 286, 263.
- Tokarz, S.P. y Roll, J.: 1997, ASP Conf. Ser., Vol. 125, 140.
- Torres, A. V., Massey P.: 1987, ApJS 65, 459
- Tutukov, A.V. y Yungelson, L. R.: 1976, Afz 12, 521.
- Valdivielso, L., Martín, E. L., Bouy, H. et al.: 2009, A&A 497, 973.
- Valenti, J. A., Basri, G. y Johns, Ch. M.: 1993, AJ 106, 2024.
- Van der Veen, W. E. C. J. y Habing, H. J.: 1988, A&A 194, 125.
- Van Winckel H., Duerbeck H.W., Schwarz H.E.: 1993, A&AS 102, 401.
- Viironen, K., Mampaso, A., Corradi, R.L.M., et al.: 2009a, A&A 502, 113.
- Viironen, K., Greimel, R., Corradi, R. L. M. et al.: 2009b, A&A 504, 291.

- Vink, J. S., Drew, J. E., Steeghs, D. et al.: 2008, MNRAS 387, 308.
- Wainscoat, R. J., Cohen, M., Volk, K., Walker, H. J., Schwartz, D. E.: 1992, ApJS 83, 111.
- Whelan, J. e Iben, I. Jr.: 1973, ApJ 186, 1007.
- Whitelock, P.: 1987, ASP Conf. Ser., Vol. 99, 573.
- Whitelock, P.: 2003, ASP Conf. Ser., Vol. 303, 41.
- Whitelock, P. y Munari, U.: 1992, A&A 255, 171.
- Witham A. R.: 2007, PhD thesis, Southampton University.
- Witham, A. R., Knigge, C., Gänsicke, B. T. et al.: 2006, MNRAS 369, 581.
- Witham, A.R., Knigge, C., Drew, J. E. et al.: 2008, MNRAS 384, 1277.
- Wright, A. y Allen, D.: 1978, MNRAS 184, 893.
- Yungelson, L., Livio, M., Tutukov, A. y Kenyon, S. J.: 1995, ApJ 447, 656.
- Zacharias N., McCallon H.L., Kopan E. y Cutri R.M.: 2003, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 16, Sydney, Australia, 16.
- Zhang, P., Chen, P. S. y Yang, H. T.: 2005, New Astron. 10, 325.

Anexos

A

Primera lista de candidatos a estrella simbiótica

Tabla A1 – Candidatos a estrella simbiótica de tipo S. Las dos primeras columnas son las coordenadas ecuatoriales de los candidatos y las restantes son los datos fotométricos IPHAS y 2MASS.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
00:07:40.09	+65:40:10.60	17.1	12.84	1.3	1.5	0.31	0.83
00:08:34.71	+65:28:32.80	18.5	13.55	1.5	1.4	0.32	0.87
00:10:33.27	+58:40:21.10	16.0	11.00	1.6	1.5	0.44	0.89
00:10:36.41	+58:50:05.00	14.7	10.74	1.0	1.6	0.35	0.80
00:13:01.79	+65:34:45.70	18.9	13.38	1.7	1.9	0.42	0.91
00:14:28.55	+65:49:34.50	19.4	13.78	2.1	1.6	0.41	0.92
00:15:20.95	+65:49:41.10	18.6	12.98	2.0	1.5	0.37	0.92
00:15:22.04	+65:45:30.40	16.7	12.09	1.2	1.5	0.45	0.92
00:19:09.80	+62:34:01.50	19.2	15.17	1.3	1.2	0.17	0.76
00:21:06.03	+62:10:49.10	19.4	14.55	1.4	1.0	0.38	1.06
00:22:05.18	+62:36:11.10	18.6	13.08	1.5	1.0	0.31	1.06
00:27:18.55	+64:44:31.30	19.5	13.72	1.5	1.3	0.52	1.07
00:30:31.28	+65:32:02.10	18.5	13.16	1.7	1.7	0.48	1.06
00:30:47.88	+65:21:22.10	18.7	12.61	1.6	1.1	0.59	1.13
00:31:52.06	+65:28:08.30	18.4	13.34	1.4	1.1	0.48	1.14
00:34:24.83	+65:59:30.90	17.7	11.82	1.6	1.1	0.54	1.11
00:36:01.76	+62:32:35.60	18.6	12.91	1.4	1.2	0.61	1.24
00:39:27.23	+60:19:00.30	18.7	14.67	1.1	1.1	0.32	0.90
00:41:10.36	+62:10:54.00	17.7	12.25	2.1	1.3	0.35	0.78
00:41:53.24	+61:49:42.80	18.2	12.64	1.9	1.3	0.39	0.86
00:42:12.35	+61:54:43.20	17.3	11.71	2.0	1.4	0.36	0.78
00:42:52.37	+61:10:39.30	18.2	12.58	1.6	1.3	0.41	1.05
01:23:05.28	+61:42:00.80	18.2	13.68	1.4	1.3	0.29	0.84
01:23:41.80	+61:50:01.00	17.2	12.26	1.3	1.0	0.50	1.02
01:27:01.54	+62:33:07.30	19.3	13.83	1.4	1.2	0.33	1.08
01:38:37.90	+64:57:47.30	18.0	13.06	1.4	1.2	0.51	1.04
02:23:07.88	+56:58:07.20	18.4	14.50	0.9	0.9	0.24	0.74
02:27:59.30	+58:51:47.90	19.2	14.30	1.2	1.7	0.55	1.07
02:28:16.91	+62:09:50.80	18.7	13.86	1.2	1.2	0.49	1.03
02:29:01.93	+62:07:25.20	18.8	14.64	1.1	1.4	0.28	0.86
02:31:42.96	+61:04:53.00	19.3	14.89	1.2	1.0	0.27	0.98
02:32:51.54	+61:43:46.80	18.7	13.74	1.2	1.4	0.49	0.97
02:32:53.77	+62:15:28.90	17.7	13.96	0.9	1.0	0.29	0.85

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
02:36:57.74	+61:28:57.10	18.3	13.53	1.3	1.0	0.42	1.10
02:37:01.50	+61:28:23.60	17.9	13.17	1.2	1.2	0.50	1.05
02:37:49.30	+60:51:07.30	19.2	14.26	1.3	1.2	0.57	1.16
02:38:14.81	+61:52:14.60	18.2	14.11	1.1	1.2	0.27	0.83
02:41:48.15	+57:23:37.10	19.0	14.93	1.2	1.2	0.40	0.97
02:50:45.30	+60:28:09.40	18.0	13.27	1.2	1.0	0.47	1.02
02:52:11.62	+60:29:51.50	18.4	14.01	1.2	1.0	0.33	0.97
02:52:48.11	+60:16:09.60	18.7	13.78	1.2	1.5	0.47	1.10
02:55:26.52	+57:20:50.60	18.1	13.58	1.2	1.0	0.35	0.84
02:57:19.80	+60:21:41.30	19.5	15.01	1.3	1.3	0.32	1.03
02:57:49.09	+60:46:17.90	18.8	14.39	1.2	1.0	0.33	0.89
02:58:20.50	+60:35:58.40	19.0	14.07	1.2	1.3	0.54	1.06
02:58:45.13	+60:29:42.10	19.1	14.29	1.3	1.2	0.37	0.83
02:59:17.69	+60:34:11.00	19.4	13.98	1.5	1.3	0.47	1.07
02:59:31.03	+60:40:25.50	18.8	13.63	1.2	1.4	0.53	1.10
03:00:07.58	+60:25:36.80	19.1	14.12	1.2	1.2	0.44	1.14
03:00:43.98	+60:30:59.00	18.8	13.97	1.2	1.2	0.46	1.02
03:11:47.12	+56:34:30.20	18.8	13.26	1.5	1.3	0.51	1.17
03:17:04.34	+60:15:00.00	16.7	11.91	1.3	1.4	0.44	0.98
03:19:37.54	+59:11:14.40	18.8	14.05	1.4	1.2	0.31	0.95
03:20:20.46	+60:16:32.90	18.6	13.69	1.5	1.4	0.37	0.83
03:20:46.82	+60:20:33.00	18.0	13.13	1.4	1.3	0.49	1.01
03:20:48.19	+60:20:19.00	16.7	12.39	1.1	1.2	0.36	0.89
03:25:42.41	+58:57:30.00	18.7	14.05	1.5	1.3	0.33	0.87
03:26:47.39	+58:55:38.30	18.0	12.31	1.4	1.3	0.58	1.16
03:32:32.97	+60:08:25.20	18.9	13.32	1.6	1.2	0.47	1.04
03:43:35.34	+53:09:40.60	18.3	12.86	1.5	1.1	0.43	1.07
03:44:22.86	+54:07:29.00	18.6	13.76	1.3	1.5	0.29	1.04
03:44:23.39	+56:46:36.30	18.5	14.19	1.4	1.1	0.22	0.86
03:59:22.23	+51:54:15.10	17.1	13.37	1.0	1.0	0.17	0.81
04:02:32.14	+51:39:58.10	18.2	13.24	1.4	1.1	0.44	1.07
04:07:32.70	+57:38:31.40	16.7	13.02	1.0	1.0	0.21	0.82
04:16:42.06	+55:14:44.20	18.6	15.48	0.7	1.4	0.29	0.74
04:23:34.84	+50:18:22.50	18.4	13.74	1.2	1.0	0.60	1.17
04:26:04.19	+45:34:22.70	19.3	13.28	1.6	1.5	0.67	1.26
04:29:07.66	+45:26:47.10	18.4	14.68	0.9	1.1	0.28	0.71
04:31:00.52	+44:55:59.60	19.3	14.46	1.2	1.1	0.38	1.25
04:36:29.20	+45:17:50.40	18.1	14.04	1.2	1.0	0.28	0.87
04:47:07.00	+43:43:39.00	18.3	14.36	1.2	1.1	0.26	0.82
04:56:30.88	+43:57:48.90	18.8	13.96	1.4	1.1	0.42	0.94
04:56:38.58	+45:02:25.90	15.1	11.71	0.8	1.0	0.38	0.81
05:03:15.64	+43:41:43.50	15.9	11.15	1.0	1.2	0.31	0.71
05:11:05.67	+42:36:21.30	18.2	14.49	1.3	1.1	0.18	0.73

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	($r' - i'$) [mag]	($r' - H\alpha$) [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
05:12:01.82	+38:43:34.00	19.0	14.24	0.9	1.0	0.44	1.03
05:18:27.42	+30:08:49.70	13.8	9.64	1.4	1.1	0.25	0.70
05:20:53.15	+38:08:45.80	19.1	14.10	1.3	1.0	0.38	1.02
05:22:41.49	+33:20:50.10	18.4	13.91	1.1	1.0	0.47	1.16
05:22:45.78	+33:28:16.40	18.3	13.54	1.2	1.1	0.49	1.02
05:23:00.06	+33:30:39.00	17.1	12.97	0.9	0.9	0.45	0.91
05:25:44.57	+34:50:17.90	17.7	13.23	1.1	1.0	0.49	0.98
05:26:30.69	+34:50:14.80	17.9	13.74	1.0	1.1	0.47	1.05
05:26:52.58	+40:33:06.20	18.9	15.22	0.9	1.0	0.26	0.85
05:27:12.33	+34:32:19.80	19.0	15.01	0.9	1.2	0.24	0.87
05:27:16.23	+35:13:39.60	19.0	14.10	1.2	1.2	0.50	1.26
05:27:25.89	+34:42:41.70	18.2	14.31	0.9	1.2	0.28	0.85
05:27:43.83	+34:40:27.90	18.8	15.08	1.0	1.5	0.28	0.76
05:27:54.45	+34:46:22.20	17.3	14.22	0.7	1.0	0.27	0.74
05:27:54.76	+34:45:30.70	18.5	13.91	1.0	1.0	0.48	0.97
05:30:18.12	+31:35:58.90	17.0	13.21	0.9	0.9	0.29	0.82
05:32:58.06	+25:54:37.80	17.9	13.09	1.6	1.3	0.33	0.90
05:34:06.31	+25:38:22.50	17.3	12.59	1.1	1.2	0.51	1.00
05:34:26.31	+25:38:50.40	19.3	13.71	1.8	1.8	0.38	0.89
05:34:56.79	+27:47:36.40	18.0	13.88	1.0	1.0	0.35	0.86
05:36:11.81	+32:14:37.90	16.9	13.68	0.8	1.4	0.28	0.72
05:36:12.82	+27:34:10.80	18.1	12.29	1.5	1.1	0.60	1.22
05:36:41.46	+31:46:27.80	18.2	13.57	1.3	1.1	0.35	0.99
05:37:14.05	+27:48:57.80	18.9	13.69	1.4	1.3	0.44	1.12
05:38:44.29	+26:16:41.70	17.6	13.18	1.4	1.2	0.25	0.82
05:39:11.84	+26:42:18.80	17.1	13.19	1.2	1.0	0.20	0.80
05:39:29.60	+31:23:49.50	18.6	13.75	1.3	1.5	0.39	0.96
05:40:50.08	+35:23:49.10	17.7	13.09	1.3	1.2	0.41	0.94
05:42:23.90	+22:49:15.40	19.2	14.02	1.3	1.4	0.60	1.35
05:43:33.43	+33:24:11.80	18.4	14.65	0.9	1.0	0.43	0.90
05:47:06.78	+20:59:13.00	18.7	13.34	1.7	1.3	0.49	1.10
05:49:14.66	+33:23:29.30	17.0	13.12	1.0	1.2	0.35	0.85
05:52:04.78	+20:07:33.80	17.2	13.84	0.9	1.0	0.24	0.76
05:58:37.29	+32:04:38.10	19.3	15.40	1.0	0.9	0.30	0.74
05:58:45.75	+20:10:12.60	17.8	13.90	1.0	1.0	0.21	0.84
05:59:36.44	+20:31:49.00	19.0	14.30	1.4	1.2	0.32	0.97
06:00:05.82	+20:18:17.80	19.1	14.34	1.5	1.1	0.28	0.89
06:01:34.22	+16:13:45.80	15.4	12.04	0.9	1.2	0.23	0.71
06:08:21.91	+29:52:55.70	17.8	12.84	1.4	1.4	0.53	1.05
06:11:20.03	+13:20:58.10	19.0	14.16	1.2	1.2	0.52	1.02
06:13:08.11	+23:05:23.10	17.8	14.34	0.1	0.9	0.25	0.86
06:13:17.70	+23:08:14.10	17.7	14.12	0.1	1.5	0.37	0.78
06:13:28.37	+16:04:55.10	18.1	12.58	1.7	1.7	0.35	0.81

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
06:14:19.39	+21:28:05.70	18.3	14.56	0.6	1.5	0.20	0.79
06:15:40.34	+19:00:05.20	18.5	14.06	1.1	1.1	0.39	0.94
06:16:48.63	+20:56:33.10	18.8	14.15	1.2	1.4	0.42	1.06
06:16:56.26	+23:38:27.10	19.1	14.15	1.1	1.4	0.51	1.15
06:22:06.53	+22:34:36.70	18.6	12.93	1.7	1.2	0.45	1.10
06:31:24.23	+12:16:12.70	18.7	14.73	1.1	1.1	0.22	0.94
06:31:41.98	+04:54:18.20	16.5	12.90	0.9	0.9	0.28	0.71
06:31:54.87	+10:31:18.80	17.8	11.24	2.1	1.2	0.51	1.11
06:31:58.90	+04:58:11.10	18.2	13.74	1.1	1.3	0.45	0.90
06:32:05.29	+04:57:42.50	17.2	13.50	0.9	1.2	0.28	0.83
06:32:10.04	+12:08:17.80	19.1	14.16	1.2	1.1	0.51	1.11
06:32:16.30	+10:09:55.90	18.1	12.38	2.0	1.4	0.36	0.77
06:36:12.36	+03:43:33.70	18.1	13.15	1.2	1.3	0.56	1.13
06:36:59.97	+02:09:58.90	18.8	13.37	1.4	1.6	0.53	1.13
06:37:01.68	+02:10:46.70	17.4	12.72	1.3	1.0	0.40	0.94
06:37:03.18	+02:10:13.90	18.6	12.58	1.4	1.2	0.63	1.19
18:29:06.08	-00:34:57.20	17.5	9.06	2.7	1.9	0.55	1.36
18:33:34.49	+00:34:22.10	18.0	11.63	2.0	1.2	0.46	1.15
18:35:01.83	+01:46:56.00	16.3	8.92	1.9	2.5	0.56	1.27
18:37:48.03	-00:16:17.20	16.9	12.04	1.4	1.2	0.28	0.93
18:38:07.38	+00:11:13.60	18.5	12.79	1.4	2.4	0.45	0.96
18:39:43.08	-01:11:16.70	17.8	12.68	1.5	1.1	0.31	0.94
18:44:46.08	+06:07:03.50	14.7	9.41	1.4	2.0	0.47	1.17
18:46:28.35	+00:25:54.50	18.3	12.46	1.5	1.3	0.62	1.23
18:47:33.03	+03:25:54.30	18.6	7.71	3.2	2.4	0.73	1.63
18:48:39.34	+00:23:42.90	15.5	11.25	1.1	1.1	0.31	0.91
18:50:39.20	+06:59:16.70	17.9	10.33	2.2	1.4	0.53	1.46
18:53:23.58	+08:49:55.10	16.5	8.52	2.3	2.3	0.53	1.28
18:54:48.29	+00:50:33.50	18.3	11.92	1.9	2.1	0.53	1.12
18:56:07.26	+00:38:22.90	17.5	11.44	1.7	1.3	0.56	1.11
18:57:04.44	+00:26:31.70	18.3	8.09	2.3	2.7	0.78	1.56
19:01:06.87	+04:59:27.50	18.7	12.44	2.1	1.7	0.45	0.98
19:03:09.13	+02:04:31.80	18.9	13.74	1.3	1.2	0.48	1.02
19:03:56.19	+09:01:58.40	16.3	13.71	1.8	1.1	0.28	0.79
19:04:41.53	-00:59:57.20	15.9	7.17	2.8	1.7	0.59	1.14
19:08:32.31	+05:12:26.60	17.8	8.53	1.8	2.9	0.73	1.42
19:09:24.64	-01:09:10.20	17.2	9.80	1.9	2.4	0.49	1.15
19:19:17.89	+20:30:51.60	18.1	12.79	1.8	1.4	0.34	1.00
19:21:26.35	+10:53:40.20	18.4	10.95	2.4	1.9	0.57	1.09
19:22:04.55	+10:31:53.70	19.0	9.04	2.7	2.3	0.94	1.91
19:23:36.01	+10:00:09.40	18.7	13.40	2.1	1.4	0.29	0.82
19:25:06.46	+22:45:14.10	16.2	12.05	1.1	1.2	0.46	0.93
19:25:15.05	+22:47:20.30	16.4	12.24	1.1	1.8	0.33	0.82

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	($r' - i'$) [mag]	($r' - H\alpha$) [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
19:25:56.60	+23:04:54.00	17.7	13.38	1.7	1.2	0.19	0.74
19:26:29.11	+21:04:07.40	15.2	11.70	1.0	0.9	0.22	0.77
19:26:35.81	+22:39:24.40	18.0	12.21	1.6	1.3	0.53	1.14
19:27:12.25	+22:39:36.90	16.6	11.31	1.5	1.1	0.52	1.12
19:27:42.36	+20:18:25.70	18.4	13.35	1.8	1.2	0.29	0.76
19:29:51.43	+21:54:11.30	18.3	14.11	1.2	1.0	0.18	0.78
19:34:36.06	+16:31:28.90	16.8	8.77	2.2	2.4	0.57	1.36
19:35:01.31	+13:54:27.50	14.0	8.58	1.5	1.2	0.40	1.07
19:35:30.04	+27:11:47.60	17.4	13.40	1.8	1.3	0.10	0.75
19:41:17.05	+22:01:32.30	18.7	13.44	1.8	1.5	0.31	0.86
19:41:20.78	+24:56:12.80	14.9	8.73	1.6	1.1	0.46	1.20
19:42:23.61	+22:55:30.80	19.4	13.66	1.4	1.1	0.67	1.28
19:44:50.12	+23:47:22.50	19.1	14.01	1.3	1.0	0.41	1.20
19:45:23.91	+23:55:13.10	17.9	12.56	1.4	1.0	0.54	1.11
19:45:29.73	+24:11:56.50	19.0	14.28	1.3	1.1	0.47	1.26
19:59:10.60	+29:19:40.30	16.4	9.10	2.0	1.2	0.58	1.37
20:02:23.56	+35:16:56.30	18.8	13.23	1.5	1.3	0.52	1.02
20:04:21.29	+35:41:49.60	19.1	14.22	1.1	1.5	0.42	0.91
20:04:27.42	+34:37:35.30	19.4	14.48	1.3	1.6	0.38	1.15
20:07:22.57	+35:38:32.50	19.2	14.13	1.4	1.6	0.56	1.14
20:08:12.32	+35:59:22.70	18.9	14.55	1.0	1.3	0.47	0.94
20:08:50.48	+35:54:10.60	18.7	14.35	1.0	0.9	0.64	1.22
20:10:36.18	+30:01:27.80	18.5	14.38	1.4	1.6	0.25	0.74
20:11:42.77	+39:39:54.20	15.4	11.15	1.1	1.1	0.39	0.89
20:11:56.67	+37:00:22.90	17.6	13.31	1.0	1.2	0.49	1.02
20:13:16.45	+36:06:30.10	18.5	13.77	1.1	1.0	0.55	1.09
20:16:37.58	+40:18:47.10	16.1	12.81	1.0	1.1	0.26	0.78
20:17:03.42	+40:41:33.90	17.6	13.37	1.4	1.2	0.25	0.90
20:17:13.67	+40:30:31.20	18.7	12.96	1.6	1.1	0.60	1.14
20:17:43.66	+34:19:07.10	18.9	13.94	1.3	1.1	0.53	1.14
20:18:22.11	+39:10:42.70	18.8	14.47	1.2	1.5	0.18	0.81
20:18:23.03	+38:58:15.90	18.1	13.70	1.2	1.7	0.36	1.01
20:18:45.96	+40:55:53.20	16.9	12.93	1.1	1.0	0.22	0.84
20:18:58.45	+40:29:59.90	18.5	13.48	1.6	1.5	0.41	0.91
20:19:05.63	+39:23:51.30	18.4	13.78	1.2	1.4	0.38	0.94
20:19:13.93	+40:54:05.20	16.1	12.17	1.2	1.2	0.35	0.87
20:19:15.88	+40:35:42.30	17.7	13.30	1.3	1.1	0.38	1.00
20:20:02.64	+40:10:52.30	17.7	12.33	1.7	1.2	0.31	0.98
20:20:10.68	+37:09:03.70	18.1	13.60	1.1	0.9	0.47	0.94
20:20:20.60	+39:52:43.80	19.5	14.08	1.7	1.5	0.46	1.01
20:20:37.46	+39:56:44.90	16.5	12.85	0.9	1.1	0.35	0.79
20:20:41.50	+40:48:59.10	16.2	12.71	0.9	0.9	0.31	0.85
20:20:47.07	+38:55:42.20	18.3	13.30	1.3	1.0	0.45	1.00

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
20:21:25.58	+38:14:04.00	18.1	13.89	1.1	1.1	0.28	0.90
20:22:02.15	+38:50:50.20	17.2	12.98	0.9	1.3	0.51	1.04
20:22:25.44	+38:40:46.10	19.4	14.12	1.5	1.7	0.42	0.93
20:23:52.57	+40:46:05.80	17.3	13.75	0.9	1.0	0.32	0.81
20:24:26.35	+39:02:59.30	16.7	11.38	1.4	1.1	0.53	1.04
20:24:45.41	+39:00:20.90	17.5	12.55	1.5	1.2	0.40	0.90
20:24:46.60	+42:21:42.20	18.0	13.47	1.2	1.2	0.43	0.89
20:25:10.58	+43:52:33.00	15.3	7.73	2.0	1.9	0.72	1.50
20:25:15.11	+39:48:28.10	16.6	12.28	1.1	1.3	0.45	0.95
20:27:17.23	+39:09:42.70	17.0	12.56	1.1	1.4	0.30	0.96
20:29:09.03	+39:31:40.80	19.5	13.93	1.5	1.3	0.31	1.04
20:29:57.91	+39:19:13.50	18.6	13.96	1.4	1.1	0.26	0.85
20:30:52.48	+40:18:16.20	16.6	12.64	1.1	1.3	0.27	0.87
20:31:49.04	+40:15:38.00	17.5	13.90	1.1	1.3	0.43	0.97
20:32:59.66	+45:04:02.60	17.9	13.47	1.0	1.1	0.47	1.00
20:35:45.40	+40:03:32.60	19.5	13.51	2.0	1.6	0.45	0.97
20:36:56.75	+42:15:19.10	17.7	12.56	1.5	1.1	0.42	1.05
20:39:55.96	+49:48:14.40	18.8	14.47	1.0	1.5	0.39	1.04
20:40:31.77	+49:33:03.60	18.3	13.74	1.2	1.4	0.44	0.98
20:40:33.77	+39:48:38.80	18.9	13.85	1.6	1.2	0.23	0.94
20:40:53.55	+39:51:07.20	18.3	13.31	1.6	1.2	0.31	0.84
20:41:27.03	+39:37:30.00	17.0	12.70	1.2	1.4	0.30	0.90
20:43:08.84	+42:46:08.50	16.4	11.90	1.1	1.1	0.37	0.82
20:44:02.83	+39:31:16.30	17.8	13.25	1.4	1.3	0.30	0.79
20:44:33.07	+43:13:21.60	18.5	11.97	1.8	1.7	0.52	1.04
20:45:33.53	+41:07:27.80	18.0	12.26	1.9	1.4	0.42	0.95
20:45:46.40	+45:58:08.40	18.3	12.73	1.8	1.2	0.43	0.89
20:45:55.86	+46:12:01.90	19.3	15.03	1.0	1.0	0.36	1.03
20:46:48.46	+44:11:14.30	18.9	11.95	2.1	1.6	0.51	1.07
20:48:32.87	+44:11:59.70	17.9	12.75	1.5	1.7	0.48	0.94
20:50:21.10	+46:55:44.30	18.4	13.39	1.2	1.0	0.56	1.11
20:50:54.47	+43:46:23.80	16.5	12.97	0.9	1.2	0.24	0.79
20:51:12.11	+47:26:25.50	18.6	14.25	1.1	1.3	0.30	1.12
20:52:15.45	+44:28:10.80	16.8	11.73	1.3	1.3	0.48	1.00
20:52:25.79	+46:18:49.50	18.6	13.92	1.1	1.2	0.49	1.02
20:54:56.93	+44:39:24.50	17.9	12.81	1.6	1.3	0.39	0.90
20:57:26.70	+43:35:29.60	17.2	12.01	1.4	1.3	0.39	1.01
20:57:55.03	+52:55:54.90	16.9	12.09	1.3	1.3	0.51	1.02
21:00:05.43	+52:17:05.10	15.5	11.63	1.1	1.2	0.43	0.99
21:00:24.07	+52:14:50.80	18.0	12.62	1.5	1.7	0.43	0.95
21:00:58.39	+52:28:56.30	17.4	10.48	1.5	1.1	0.59	1.25
21:01:35.60	+49:52:54.00	17.6	11.71	1.5	1.1	0.48	1.30
21:03:51.54	+48:03:35.10	19.0	14.43	1.9	1.2	0.10	0.69

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
21:15:51.96	+51:36:20.80	19.4	14.32	1.6	1.1	0.44	0.91
21:16:15.72	+43:36:58.40	19.4	14.51	1.9	1.3	0.30	0.70
21:19:22.95	+46:47:36.00	18.3	12.32	2.0	1.5	0.40	1.01
21:19:39.41	+51:44:12.60	18.6	13.51	1.6	1.3	0.39	0.88
21:20:54.77	+46:52:36.90	16.1	11.09	1.4	1.3	0.41	0.89
21:22:27.33	+52:35:55.70	19.2	13.25	1.5	1.3	0.65	1.29
21:22:40.17	+46:53:55.60	17.2	12.42	1.5	1.2	0.44	0.91
21:26:51.93	+47:34:13.90	16.9	12.15	1.4	1.3	0.37	0.89
21:28:20.10	+55:28:47.90	18.2	15.03	0.7	1.2	0.32	0.95
21:28:56.65	+47:47:42.00	15.9	12.39	0.9	1.4	0.17	0.73
21:35:16.28	+57:28:22.20	17.3	12.67	1.4	1.3	0.39	0.94
21:38:11.37	+58:53:17.20	18.5	13.24	1.5	1.1	0.39	1.06
21:39:35.62	+57:18:21.90	17.7	13.22	1.3	1.4	0.36	0.92
21:39:55.69	+57:16:38.20	18.1	13.73	1.4	1.3	0.22	0.83
21:39:56.13	+57:27:07.90	19.4	14.22	1.7	1.9	0.42	0.87
21:40:20.05	+57:50:44.30	19.5	13.27	2.3	1.3	0.31	0.91
21:40:25.37	+57:34:16.20	18.5	13.61	1.6	1.7	0.42	0.88
21:40:27.32	+58:14:21.30	18.2	12.88	1.4	1.6	0.43	1.00
21:40:37.61	+57:58:33.20	18.8	13.62	1.7	1.2	0.37	0.91
21:41:14.98	+57:38:14.80	17.2	11.92	1.6	1.1	0.41	0.82
21:42:16.79	+57:36:22.00	17.1	11.95	1.7	1.1	0.32	0.81
21:54:08.13	+59:45:35.30	18.9	14.04	1.7	1.4	0.28	0.82
22:06:16.35	+59:02:07.10	16.1	11.74	1.5	1.5	0.36	0.90
22:07:54.48	+59:06:57.10	15.5	11.24	1.6	1.2	0.26	0.79
22:12:14.28	+61:12:46.40	18.9	13.89	1.7	1.3	0.39	0.82
22:14:30.15	+61:32:13.20	18.5	12.93	1.5	1.1	0.52	1.06
22:14:31.30	+61:27:58.70	17.7	12.15	1.7	1.1	0.44	1.10
22:14:51.53	+61:40:12.80	16.4	12.15	1.1	1.0	0.33	0.92
22:15:30.21	+60:46:09.70	18.8	13.33	1.5	1.8	0.40	0.96
22:15:54.21	+52:17:27.50	18.1	14.82	0.8	1.0	0.17	0.87
22:16:00.81	+59:19:51.00	16.8	12.13	1.6	1.3	0.28	0.79
22:16:01.12	+56:14:50.50	18.4	13.25	1.6	1.3	0.36	0.90
22:16:06.52	+52:27:22.50	18.9	14.42	0.9	1.2	0.65	1.27
22:16:24.48	+61:59:19.00	18.6	13.12	1.5	1.1	0.41	1.08
22:25:35.13	+62:58:16.80	17.5	12.97	1.2	1.1	0.31	0.88
22:26:28.63	+61:20:49.00	18.7	13.42	0.5	2.1	0.33	0.87
22:28:43.00	+62:21:33.70	17.5	12.90	1.3	1.1	0.42	0.90
22:45:47.21	+57:50:53.90	15.9	11.68	1.0	1.0	0.45	0.95
22:46:04.51	+60:53:46.00	15.8	11.42	1.2	1.0	0.46	0.95
22:47:27.94	+60:58:53.50	18.5	12.97	1.6	1.3	0.45	0.97
22:47:34.41	+58:07:17.70	18.2	14.44	1.1	1.1	0.17	0.91
22:47:48.64	+63:21:55.10	17.3	12.10	1.4	1.1	0.48	1.04
22:47:59.08	+61:51:26.40	19.1	13.10	1.9	1.8	0.41	1.01
22:50:22.14	+61:53:28.90	17.2	13.72	0.9	1.1	0.32	0.94

Tabla A1 - Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
22:51:43.33	+62:58:03.00	18.6	13.52	1.7	1.2	0.35	0.83
22:52:01.54	+57:03:22.40	19.1	14.28	1.3	1.2	0.51	1.01
22:53:18.88	+62:29:27.00	17.3	11.48	1.4	1.4	0.62	1.21
22:53:19.03	+62:26:31.70	18.3	12.62	1.5	1.2	0.46	1.05
22:53:45.86	+59:52:16.40	18.0	11.48	1.7	1.2	0.53	1.11
22:53:59.68	+62:37:49.70	16.3	11.38	1.2	1.0	0.54	1.07
22:54:07.90	+62:35:58.60	17.7	12.76	1.5	1.0	0.32	0.99
22:54:58.16	+62:41:32.70	18.1	12.55	1.6	1.2	0.50	1.07
22:55:28.19	+57:08:18.20	18.4	13.88	1.1	1.2	0.50	1.02
22:55:38.34	+63:02:31.60	17.5	12.79	1.3	1.0	0.38	1.00
22:55:56.25	+62:45:40.50	17.3	12.34	1.3	1.4	0.47	1.06
22:55:59.62	+62:47:44.80	16.1	11.11	1.3	1.1	0.49	1.05
22:56:14.14	+62:43:43.50	18.6	12.97	1.7	1.6	0.44	1.06
22:56:15.81	+62:39:32.80	19.2	13.07	2.2	1.8	0.46	0.92
22:56:30.95	+62:41:38.60	18.8	12.60	1.7	1.4	0.60	1.16
22:57:02.73	+62:29:01.90	19.3	13.36	1.8	2.0	0.48	1.05
22:58:34.40	+61:38:38.50	18.7	12.31	2.0	1.2	0.58	1.18
22:59:15.83	+63:52:24.20	19.0	12.99	1.7	1.2	0.54	1.15
23:00:23.89	+62:48:51.60	17.7	12.70	1.5	1.3	0.33	1.00
23:00:26.92	+62:48:30.90	17.7	12.80	1.3	1.0	0.41	0.89
23:00:29.03	+62:44:14.00	18.1	13.05	1.3	1.1	0.42	1.06
23:00:35.60	+61:17:30.60	18.5	13.50	1.2	1.2	0.49	1.08
23:01:11.35	+62:53:25.30	18.9	13.19	1.8	1.3	0.39	0.93
23:01:44.02	+63:06:16.50	18.8	13.11	1.6	1.1	0.50	0.98
23:02:02.60	+64:03:22.70	18.6	13.50	1.5	1.2	0.42	0.96
23:02:16.34	+56:57:55.60	19.0	14.06	1.1	1.2	0.65	1.42
23:02:18.37	+61:46:19.50	17.3	11.70	1.7	1.1	0.46	1.06
23:02:47.08	+64:48:05.70	18.3	13.03	1.3	1.6	0.55	1.06
23:03:41.77	+61:47:36.10	19.1	12.07	1.9	1.4	0.77	1.46
23:05:01.79	+60:04:54.90	18.8	14.31	1.3	1.0	0.31	0.94
23:05:05.93	+62:08:20.10	18.6	13.05	1.7	1.2	0.43	1.03
23:05:31.15	+60:12:23.90	19.1	13.64	1.5	1.2	0.44	1.10
23:05:46.69	+63:50:17.10	18.6	13.00	1.5	1.2	0.62	1.18
23:12:44.96	+61:46:05.40	14.6	11.72	0.7	1.0	0.31	0.74
23:12:49.78	+59:20:54.50	19.0	14.43	1.4	1.2	0.27	0.82
23:13:34.92	+62:09:44.10	17.1	12.90	1.2	1.3	0.31	0.92
23:14:11.67	+62:18:00.00	18.3	13.51	1.6	1.2	0.32	0.83
23:16:27.57	+63:03:38.10	19.0	13.63	1.3	1.8	0.39	1.13
23:24:50.86	+63:38:15.10	18.7	13.81	1.6	1.4	0.13	0.85
23:27:44.89	+61:09:59.00	18.3	14.18	1.1	1.0	0.29	1.09
23:36:30.38	+63:48:16.40	18.6	13.44	1.5	1.5	0.44	0.88
23:46:28.69	+63:28:02.90	17.2	12.21	1.5	1.2	0.43	0.95
23:46:41.72	+66:53:16.60	17.3	12.51	1.3	1.7	0.40	0.97
23:47:40.63	+63:22:17.50	17.2	12.33	1.6	1.3	0.37	0.92
23:55:30.14	+65:56:57.00	17.1	11.52	2.0	1.3	0.33	0.80

Tabla A2- Igual que la tabla A1 para los candidatos a estrella simbiótica de tipo D.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	($r' - i'$) [mag]	($r' - H\alpha$) [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
00:02:13.37	+64:54:24.60	17.0	9.05	0.9	1.3	0.62	0.99
00:04:09.16	+67:22:37.60	16.5	10.02	1.6	1.1	0.84	1.18
00:04:32.31	+58:08:54.00	17.4	12.35	1.3	1.9	0.51	0.77
00:07:18.66	+65:36:42.10	16.6	11.11	1.4	1.3	0.65	1.06
00:09:36.91	+66:45:45.40	19.4	13.70	1.4	1.5	0.83	1.18
00:10:20.53	+58:37:08.60	19.4	13.22	1.2	2.3	1.06	1.46
00:10:41.20	+66:38:53.20	17.1	11.91	1.4	1.4	0.54	0.89
00:10:55.30	+58:45:53.40	17.8	11.71	1.8	1.5	0.71	1.05
00:11:02.24	+58:42:32.20	18.5	12.61	2.0	1.4	0.49	0.75
00:11:25.46	+58:42:09.60	18.2	12.76	2.0	1.4	0.43	0.84
00:12:59.13	+65:47:00.70	18.1	12.42	1.3	1.4	1.32	1.80
00:14:14.65	+61:00:09.60	18.4	13.87	1.0	1.0	0.66	0.82
00:16:36.19	+63:33:48.60	19.3	14.08	1.2	1.0	0.79	1.19
00:16:43.60	+64:31:38.70	18.0	13.48	1.1	1.2	0.50	0.93
00:18:01.43	+65:48:46.50	18.6	12.99	1.4	1.2	0.69	1.20
00:18:53.83	+62:20:13.30	18.6	13.91	1.2	1.2	0.50	0.86
00:19:03.83	+62:42:25.90	19.5	14.79	1.1	1.1	0.74	0.82
00:21:43.02	+61:47:52.40	18.4	13.61	1.1	1.0	0.58	0.94
00:22:08.28	+61:25:45.30	19.3	15.02	1.1	1.1	0.54	0.88
00:24:57.77	+65:51:34.10	19.3	12.57	1.6	1.1	0.76	1.17
00:26:30.19	+65:51:45.80	18.8	12.96	1.5	1.6	0.84	1.15
00:28:20.89	+65:09:26.30	19.3	13.72	2.1	1.5	0.42	0.79
00:30:13.46	+65:28:12.50	18.8	11.69	1.4	1.3	1.19	1.74
00:35:42.71	+58:59:19.40	15.8	11.73	0.9	1.3	0.88	1.12
00:36:17.42	+66:15:13.30	18.2	12.80	1.4	1.6	0.70	0.85
00:37:56.79	+63:04:59.10	17.6	12.98	0.9	2.1	0.61	0.98
00:38:14.97	+63:05:59.70	15.8	10.64	1.0	1.3	0.84	1.02
00:42:24.91	+66:59:31.90	19.5	14.25	1.3	1.2	0.88	1.16
00:42:32.04	+61:47:57.50	19.4	12.86	2.1	1.4	0.70	1.13
00:42:34.61	+61:17:16.10	16.8	12.23	1.2	1.0	0.50	0.95
00:42:54.48	+61:19:31.20	16.9	9.98	1.4	1.6	1.17	1.39
00:42:55.80	+61:23:47.00	18.4	12.54	1.4	1.5	0.70	1.09
00:43:02.63	+61:09:23.00	18.6	12.74	1.7	1.5	0.57	1.02
00:43:15.16	+61:25:01.40	17.7	12.70	1.5	1.1	0.57	1.02
00:44:17.91	+62:01:18.00	18.6	12.61	2.0	1.7	0.47	0.76
00:44:20.30	+61:58:59.20	17.1	12.18	1.5	1.1	0.52	0.88
00:44:20.78	+61:58:34.10	18.0	12.27	1.7	1.3	0.57	0.93
00:44:46.83	+66:57:06.30	18.4	13.67	1.2	1.2	0.81	0.86
00:54:43.63	+61:09:04.00	19.4	12.47	1.7	1.2	0.68	1.15
00:54:49.44	+63:35:42.60	19.3	13.03	1.3	1.4	1.11	1.21
00:59:30.32	+61:38:54.80	15.9	11.33	1.2	1.0	0.59	0.89
01:03:16.60	+61:37:01.10	15.3	10.70	1.0	1.1	0.56	0.93
01:07:22.27	+59:43:35.20	19.4	14.92	1.2	1.1	0.76	0.80
01:12:20.50	+64:39:17.20	17.1	11.48	1.4	1.2	0.69	1.13

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
01:19:35.82	+62:55:25.80	17.2	11.55	1.3	1.2	0.91	1.18
01:21:07.17	+61:29:19.50	18.1	12.47	1.4	1.4	0.56	0.99
01:21:09.27	+61:26:52.70	17.1	12.51	0.9	1.0	0.64	1.11
01:21:58.27	+61:30:18.60	18.2	12.85	1.4	1.4	0.66	0.99
01:24:44.28	+61:53:29.90	18.8	12.74	1.4	1.5	0.71	1.15
01:25:44.66	+61:36:11.70	18.9	11.49	0.7	2.0	1.73	2.27
01:37:20.01	+64:59:57.70	17.5	12.08	1.5	2.0	0.60	0.93
01:39:13.79	+62:21:45.30	17.8	11.51	1.4	1.3	0.97	1.30
01:42:03.40	+61:20:52.90	18.7	13.41	1.1	1.2	0.73	1.15
01:43:49.54	+62:29:52.60	19.3	13.26	1.4	1.3	0.87	1.30
01:45:01.50	+64:12:16.50	19.4	14.30	1.1	1.4	0.64	0.97
01:45:50.34	+57:34:03.10	16.2	9.72	0.6	0.9	1.20	1.58
01:45:51.20	+64:16:05.50	19.0	13.28	1.2	1.7	1.22	1.14
02:00:39.48	+60:32:59.10	14.7	9.88	0.6	1.9	1.38	1.19
02:10:08.00	+59:37:32.60	18.0	12.53	1.2	1.0	0.82	1.23
02:16:23.72	+60:16:57.60	19.3	13.65	1.3	1.2	0.82	1.09
02:17:45.54	+66:00:22.30	17.7	12.31	1.2	1.3	0.86	1.20
02:21:03.83	+62:09:58.40	18.7	13.66	1.3	1.1	0.66	1.05
02:21:06.39	+59:01:13.60	17.0	11.32	1.0	0.9	1.13	1.31
02:22:26.45	+61:25:03.30	18.5	11.99	1.5	1.5	0.86	1.33
02:25:25.64	+62:11:57.70	18.7	13.25	1.4	1.1	0.76	1.17
02:26:22.40	+61:33:08.70	18.4	12.73	1.3	1.2	0.76	1.15
02:26:39.54	+62:02:40.00	18.2	13.20	1.2	1.1	0.65	1.05
02:26:53.83	+60:05:43.30	18.9	13.41	1.8	1.3	0.50	0.87
02:27:43.09	+58:11:58.30	17.9	13.74	0.9	0.9	0.56	0.86
02:29:02.78	+61:15:27.70	17.8	12.57	1.3	1.1	0.61	1.07
02:29:14.18	+61:33:25.50	17.8	12.59	1.3	1.0	0.69	1.09
02:29:24.29	+61:13:54.90	18.3	12.48	1.5	1.2	0.72	1.20
02:29:35.91	+61:15:56.80	13.8	8.94	0.9	1.1	0.97	1.22
02:30:24.71	+56:36:57.60	17.1	13.42	0.8	0.9	0.49	0.78
02:31:02.00	+61:07:57.20	17.8	11.82	1.4	1.1	0.86	1.21
02:31:09.66	+60:54:38.90	18.7	12.33	1.4	1.1	0.70	1.11
02:34:10.28	+61:24:40.40	13.6	9.51	0.7	1.2	0.90	1.02
02:34:25.20	+62:21:08.90	18.3	12.83	1.2	1.0	0.87	1.18
02:34:50.40	+62:25:18.50	19.0	14.00	1.3	1.3	0.60	0.88
02:35:03.66	+61:54:52.40	16.8	12.57	0.9	0.9	0.60	0.88
02:35:15.33	+61:48:03.30	16.8	11.77	1.1	1.1	0.74	1.03
02:38:23.48	+61:51:05.20	18.1	13.86	1.0	0.9	0.47	0.92
02:38:28.34	+59:40:01.30	18.9	14.23	1.1	1.1	0.73	0.94
02:39:40.51	+59:04:01.60	17.5	11.91	1.3	1.2	0.78	1.17
02:41:35.93	+57:37:38.00	18.8	13.30	0.9	1.1	1.85	1.28
02:41:47.73	+60:11:09.10	16.1	11.26	1.3	1.1	0.56	0.70
02:43:26.34	+59:06:31.10	16.6	12.20	1.1	1.3	0.54	0.95
02:44:39.54	+60:59:54.80	16.2	11.25	1.0	1.1	0.85	1.08

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
02:44:42.09	+60:34:27.50	19.1	13.78	1.3	1.1	0.66	1.23
02:45:07.00	+61:07:44.00	19.0	13.63	1.4	1.3	0.71	1.17
02:47:48.61	+60:57:50.40	14.0	9.96	0.5	0.9	0.98	1.10
02:48:34.20	+60:27:55.50	18.6	13.30	1.2	1.1	0.86	1.09
02:49:49.77	+60:17:15.20	18.4	13.04	1.3	1.4	0.78	1.22
02:49:53.35	+60:13:28.30	16.8	11.95	1.0	1.3	0.77	0.99
02:51:51.96	+60:13:09.30	18.7	13.71	1.2	1.3	0.61	1.02
02:51:58.30	+60:23:59.20	18.5	13.57	0.9	1.2	0.79	1.03
02:52:07.87	+60:14:55.60	17.4	12.57	1.1	0.9	0.78	1.02
02:53:38.45	+60:41:16.00	18.7	13.87	1.0	1.3	0.57	0.92
02:53:56.29	+60:39:20.70	18.2	13.40	1.1	1.4	0.70	0.95
02:54:00.78	+60:36:39.50	19.4	14.82	1.3	1.0	0.42	0.81
02:54:06.19	+60:38:33.50	17.8	12.85	1.1	0.9	0.89	1.16
02:54:17.67	+60:38:14.70	18.5	13.88	1.1	1.3	0.74	1.00
02:54:56.86	+60:38:13.70	19.5	14.54	1.2	1.1	0.53	0.80
02:55:45.29	+59:04:38.20	17.3	11.65	0.8	1.0	1.27	1.51
02:56:02.38	+61:11:59.90	17.9	11.62	1.3	1.1	1.00	1.28
02:57:20.41	+60:44:46.60	19.3	14.19	1.4	1.4	0.51	0.88
02:57:21.57	+60:53:09.50	19.0	11.79	1.4	1.4	1.03	1.26
02:57:57.37	+60:20:40.70	17.6	13.02	1.1	1.2	0.55	0.85
02:58:24.52	+60:34:16.40	18.5	14.13	1.1	1.3	0.49	0.79
02:58:51.22	+60:39:54.50	18.7	13.49	1.3	1.2	0.70	1.03
02:59:02.08	+60:36:24.40	17.6	13.07	1.0	1.4	0.66	0.98
02:59:25.87	+60:28:59.40	19.2	13.83	1.2	1.0	0.62	1.13
02:59:40.84	+60:34:53.60	18.4	13.29	1.1	1.4	0.71	1.08
02:59:42.81	+60:28:21.20	18.3	13.95	1.0	1.2	0.70	0.95
03:01:05.20	+60:31:55.40	15.9	11.30	1.1	0.9	0.61	0.94
03:01:34.36	+60:30:08.60	19.3	12.56	1.7	1.3	0.87	1.36
03:04:11.04	+60:55:04.10	18.9	13.06	1.3	1.4	0.85	1.26
03:05:55.54	+60:37:09.40	18.8	13.02	1.4	1.4	0.79	1.19
03:06:14.52	+58:39:35.00	19.3	13.61	1.6	1.6	0.59	0.99
03:09:02.19	+58:29:52.30	18.4	12.73	1.1	1.2	0.78	1.12
03:10:46.27	+59:30:03.60	15.1	10.65	0.6	0.8	1.10	1.07
03:14:05.39	+58:44:53.40	19.0	14.02	1.3	1.4	0.63	1.05
03:16:53.16	+60:03:05.50	19.4	13.66	1.5	1.4	0.69	1.20
03:16:53.27	+60:16:59.90	18.1	11.25	1.4	1.3	0.88	1.21
03:16:56.98	+59:57:39.30	19.0	12.89	1.5	1.9	0.92	1.34
03:17:41.86	+53:08:50.20	18.2	13.40	1.1	1.0	0.64	1.00
03:18:07.44	+59:03:39.70	17.8	12.62	1.4	1.2	0.81	0.95
03:19:12.06	+59:40:09.50	18.8	13.53	1.6	1.2	0.76	1.13
03:20:36.40	+60:18:18.30	15.9	9.86	1.3	1.0	0.94	1.29
03:20:39.49	+56:23:58.20	14.7	8.22	1.3	1.6	1.35	1.39
03:25:08.89	+60:56:54.60	19.3	14.44	0.5	1.0	1.07	1.37
03:25:36.55	+56:05:33.20	16.6	11.88	1.3	1.0	0.58	0.75

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
03:26:38.60	+58:51:25.10	18.8	12.31	1.7	1.6	0.69	1.22
03:27:55.71	+58:18:06.00	18.0	12.90	1.2	1.1	0.51	0.97
03:28:35.36	+58:56:56.00	18.5	13.02	1.3	1.6	0.55	1.01
03:28:57.92	+58:40:50.30	19.4	13.36	1.7	1.4	0.65	0.98
03:30:13.60	+58:04:23.60	18.6	12.12	1.6	1.3	0.81	1.25
03:31:32.99	+60:35:55.90	16.7	12.76	0.8	1.2	0.43	0.79
03:31:55.48	+58:22:32.70	18.2	12.21	1.6	1.3	0.60	1.14
03:32:02.36	+59:32:00.70	17.8	12.07	1.4	1.2	0.60	1.10
03:35:40.02	+57:58:35.70	18.4	11.93	1.6	1.2	1.01	1.41
03:45:13.72	+54:35:25.90	16.9	11.84	1.4	1.1	0.64	0.78
03:46:09.84	+54:55:50.80	17.6	12.76	1.4	1.1	0.57	0.77
03:50:01.78	+53:07:56.20	18.9	13.41	1.6	1.2	0.70	0.96
03:50:46.67	+54:01:09.30	16.9	11.09	1.5	1.2	0.82	1.24
03:55:30.05	+53:45:42.00	18.5	9.65	2.0	1.2	1.27	1.63
03:56:08.31	+53:45:26.00	15.8	10.17	1.6	1.1	0.56	0.89
03:56:19.88	+52:29:44.00	19.4	14.09	1.4	1.2	0.53	0.82
03:56:34.20	+51:48:33.20	17.9	12.18	1.5	1.5	0.67	1.14
03:57:00.59	+51:47:34.80	16.3	11.91	0.9	1.5	0.50	0.88
03:57:07.52	+57:41:42.70	19.3	14.48	0.9	1.8	0.65	0.88
03:57:19.39	+57:07:43.10	18.9	14.15	1.1	1.0	0.67	0.90
03:58:23.95	+52:23:12.60	19.0	14.30	1.2	1.9	0.53	0.92
03:58:41.02	+51:37:23.90	19.3	13.80	1.3	1.3	0.91	1.14
03:59:23.18	+51:42:50.80	18.6	13.63	1.4	1.1	0.55	0.92
04:00:06.20	+51:39:02.30	17.5	12.63	1.0	1.2	0.60	0.93
04:00:56.06	+58:45:29.00	19.1	14.00	1.0	1.6	0.85	1.08
04:02:20.91	+52:51:01.90	18.8	14.21	1.0	1.3	0.58	1.01
04:04:50.08	+54:27:44.80	18.4	12.79	1.2	1.1	1.04	1.13
04:08:10.62	+52:42:58.60	18.1	13.18	1.1	1.4	0.68	1.09
04:09:30.70	+52:44:50.60	19.5	14.50	1.2	1.0	0.46	0.90
04:09:36.51	+49:03:06.80	19.1	13.96	1.1	1.0	0.69	1.09
04:10:11.85	+50:59:54.60	16.8	7.12	2.1	1.4	1.79	2.02
04:18:47.61	+52:42:56.30	19.3	13.98	1.2	1.3	0.86	1.13
04:22:40.39	+46:17:46.30	18.7	13.42	1.1	1.3	0.73	1.09
04:22:56.11	+53:47:09.40	19.3	14.75	1.1	1.2	0.81	0.70
04:23:03.57	+43:26:51.00	18.4	15.06	0.7	1.1	0.55	0.72
04:24:04.10	+44:53:46.70	19.4	14.44	1.3	1.4	0.73	1.06
04:25:04.65	+50:49:57.70	18.1	12.49	1.5	1.3	0.50	0.84
04:27:54.38	+48:10:08.60	19.3	11.94	1.2	1.5	1.61	1.96
04:29:14.20	+45:24:34.80	17.0	12.68	1.0	1.2	0.78	1.01
04:29:26.85	+45:16:10.20	17.2	11.44	1.3	1.5	1.19	1.42
04:30:22.43	+53:48:53.40	18.5	13.10	1.3	1.8	0.82	1.07
04:32:28.30	+46:20:17.10	19.3	14.19	1.5	1.6	0.44	0.85
04:32:36.68	+42:41:21.10	18.5	12.82	1.2	1.3	0.95	1.25
04:33:47.04	+44:31:32.70	18.5	13.53	1.1	1.1	0.77	1.08

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
04:41:12.44	+47:16:52.30	18.3	13.06	1.2	1.4	0.74	1.06
04:43:38.64	+41:09:41.50	15.0	10.17	1.0	1.2	1.02	1.06
04:45:39.97	+42:02:29.90	19.3	14.84	1.1	1.0	0.60	0.88
04:45:42.71	+42:02:13.80	18.7	12.53	1.5	1.4	0.93	1.22
04:54:32.84	+43:21:23.80	17.7	13.51	1.2	1.0	0.62	0.93
04:56:25.15	+43:49:31.80	18.1	13.04	1.0	1.8	1.04	1.17
04:57:17.54	+40:21:21.70	16.3	11.10	1.1	1.3	0.67	1.05
05:01:24.25	+46:48:47.70	15.1	9.99	1.3	1.0	1.23	1.07
05:02:19.46	+48:03:37.60	18.7	14.44	1.1	1.3	0.88	0.80
05:07:47.35	+40:23:55.30	18.6	13.62	0.9	1.5	0.83	0.98
05:08:00.97	+42:42:12.50	17.6	13.24	1.0	1.3	0.66	0.98
05:08:05.09	+40:24:40.30	18.3	13.28	1.0	1.1	0.72	1.09
05:08:10.23	+40:53:51.80	19.2	15.07	0.9	2.0	0.53	0.86
05:13:48.76	+32:42:06.70	18.8	13.43	1.1	1.3	0.77	1.06
05:22:43.78	+33:25:25.80	16.5	9.42	1.4	1.3	1.35	1.61
05:22:54.80	+33:27:18.70	19.1	14.76	0.9	1.3	0.76	1.06
05:24:43.05	+35:01:23.30	18.4	13.50	1.1	1.3	0.60	1.01
05:25:14.61	+43:15:49.40	17.6	13.51	0.8	1.0	0.80	0.90
05:25:27.71	+43:14:07.10	18.1	13.43	0.9	1.2	0.77	0.98
05:26:10.73	+33:37:50.80	18.2	13.62	1.1	0.9	0.59	1.01
05:27:07.61	+34:57:24.80	18.7	13.14	1.0	1.4	0.98	1.22
05:27:07.83	+34:57:27.60	18.4	14.27	1.0	1.1	0.48	0.94
05:27:32.45	+35:02:40.70	17.2	12.90	0.9	0.9	0.63	1.03
05:27:42.63	+34:41:52.90	18.8	14.21	1.2	1.7	0.56	0.91
05:27:46.99	+34:44:01.10	18.8	14.85	0.9	1.1	0.39	0.71
05:28:08.59	+34:25:38.40	16.0	11.83	0.8	1.1	0.68	1.01
05:28:29.01	+35:01:38.80	18.9	14.31	1.1	1.6	0.55	0.81
05:28:29.06	+31:03:24.40	17.9	12.87	1.2	1.0	0.61	1.12
05:28:32.58	+34:59:22.60	19.0	14.50	1.1	1.0	0.62	1.03
05:28:57.93	+35:09:37.00	17.7	13.85	0.8	1.0	0.46	0.88
05:30:29.55	+33:32:20.80	18.5	13.74	1.4	1.1	0.62	1.09
05:31:13.16	+38:20:06.60	16.5	11.14	0.9	1.6	0.60	0.80
05:32:04.48	+30:17:31.30	18.9	13.64	1.3	1.2	0.64	1.06
05:32:09.27	+30:18:53.00	18.7	13.37	1.3	1.3	0.88	0.95
05:33:09.32	+32:50:30.10	17.7	13.47	1.1	1.5	0.51	0.95
05:33:50.71	+30:42:54.00	17.6	12.16	1.3	1.1	0.73	1.22
05:34:23.83	+25:39:10.50	18.5	13.38	1.5	1.5	0.55	0.95
05:34:40.77	+25:42:38.20	17.5	10.58	1.2	1.8	1.54	1.97
05:35:17.98	+27:47:58.10	18.1	13.65	1.1	1.5	0.63	0.97
05:35:23.89	+32:17:21.70	17.9	13.60	1.2	1.0	0.50	0.91
05:35:38.79	+32:21:15.20	18.8	14.56	1.2	1.8	0.44	0.81
05:35:44.51	+36:49:40.10	19.1	14.12	1.3	1.1	0.62	0.90
05:36:11.80	+27:34:36.00	15.5	11.32	1.0	1.3	0.99	1.16
05:36:31.98	+31:49:39.60	18.4	12.44	1.4	1.1	0.72	1.27

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
05:37:06.57	+27:47:24.20	19.4	12.81	1.6	1.4	1.06	1.54
05:37:12.44	+27:48:04.00	16.4	11.66	1.0	1.2	0.72	1.05
05:37:13.51	+26:56:59.20	18.7	13.70	1.2	1.0	1.05	1.13
05:37:28.60	+32:00:01.50	17.7	13.00	1.0	1.4	0.82	1.17
05:37:51.20	+27:03:46.00	18.4	13.49	1.0	1.4	0.69	1.03
05:38:17.88	+31:39:34.80	16.2	11.71	1.0	1.3	0.92	0.83
05:38:21.92	+27:28:32.40	18.2	13.33	1.1	1.2	0.69	0.97
05:38:23.09	+23:02:18.30	17.4	12.29	0.9	1.2	0.76	1.08
05:39:06.05	+30:49:33.00	17.9	13.72	1.0	1.5	0.65	0.86
05:39:17.83	+27:27:47.00	18.5	13.04	1.2	1.5	0.70	1.07
05:39:23.87	+27:26:50.40	18.9	13.26	1.3	1.5	0.89	1.29
05:39:27.29	+30:51:51.00	19.4	13.70	1.4	1.9	0.69	1.08
05:39:55.76	+33:24:12.80	16.3	11.00	1.0	1.0	1.00	1.21
05:40:40.97	+35:27:24.40	18.6	12.47	1.4	1.4	0.88	1.37
05:40:54.32	+35:25:54.90	16.4	12.18	0.8	1.4	0.76	1.11
05:41:32.75	+26:55:13.60	17.3	12.00	1.6	1.2	0.47	0.91
05:41:46.63	+27:27:48.00	18.4	13.46	1.2	1.6	0.57	0.96
05:42:13.34	+34:12:00.60	17.9	12.87	1.2	1.0	0.65	1.03
05:42:40.94	+33:45:15.20	18.9	14.27	1.0	1.4	0.76	0.94
05:42:52.04	+31:00:14.20	18.2	13.28	1.1	1.1	0.63	0.99
05:44:24.19	+31:20:31.40	16.4	11.61	1.1	1.0	0.63	1.09
05:46:21.54	+26:27:24.00	15.6	10.95	0.9	1.3	0.73	1.00
05:46:35.52	+26:19:09.80	17.7	12.96	1.0	1.0	0.64	1.01
05:47:03.77	+21:00:34.80	18.1	10.28	1.6	1.4	0.47	0.82
05:47:13.95	+22:11:00.50	18.9	15.09	0.8	1.1	0.47	0.89
05:47:45.79	+22:48:29.10	18.6	12.18	1.5	1.6	0.79	1.16
05:47:53.19	+30:36:50.40	18.5	13.76	1.1	1.6	0.61	0.94
05:48:07.74	+22:56:53.60	18.7	12.66	1.5	1.3	0.73	1.30
05:49:03.72	+22:27:08.70	18.1	12.90	1.1	1.2	0.73	1.23
05:49:12.30	+33:07:24.50	18.0	12.16	1.0	1.1	1.03	1.31
05:49:14.20	+27:00:21.70	19.2	11.59	1.8	1.4	0.96	1.27
05:49:34.57	+23:19:31.70	18.1	13.14	1.2	1.6	0.58	1.08
05:49:42.86	+28:23:15.60	18.4	13.68	1.2	1.2	0.69	1.00
05:49:45.05	+27:04:16.10	17.0	11.83	1.1	1.2	0.77	1.07
05:49:50.54	+27:07:01.50	16.4	12.36	1.0	0.9	0.64	0.90
05:50:28.14	+23:59:51.10	19.5	14.12	1.3	1.1	0.62	1.11
05:50:31.16	+31:27:46.00	18.0	13.99	0.8	1.0	0.62	0.96
05:50:38.56	+27:03:15.80	19.1	12.27	1.7	1.3	0.98	1.51
05:50:50.63	+24:06:11.90	17.7	12.85	0.9	1.1	0.75	1.04
05:51:12.18	+25:46:03.30	18.5	11.75	1.6	1.5	1.02	1.40
05:51:16.76	+25:42:13.90	18.0	11.51	1.4	1.3	0.94	1.33
05:52:01.57	+26:57:33.70	19.1	13.32	1.4	1.2	0.69	1.23
05:52:45.11	+17:11:19.10	16.4	12.51	1.1	1.2	0.44	0.83
05:52:54.08	+17:14:24.70	16.5	12.50	0.9	1.9	0.53	0.83

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
05:55:32.35	+27:44:51.40	17.3	13.31	0.9	1.4	0.56	0.91
05:57:24.37	+20:08:00.50	19.1	14.07	1.3	1.0	0.59	1.02
05:58:32.17	+19:57:12.60	19.1	13.99	1.4	1.2	0.53	0.96
05:59:20.12	+24:33:07.90	17.5	13.25	0.9	1.3	0.87	1.08
05:59:23.17	+16:56:33.50	19.4	14.02	1.2	1.1	0.84	0.98
06:00:04.54	+16:51:26.00	19.0	14.71	0.8	1.6	0.98	1.00
06:00:19.28	+20:11:59.20	18.2	13.73	1.1	1.5	0.56	0.96
06:00:35.17	+31:29:55.80	17.7	12.15	1.4	1.1	0.89	1.47
06:02:11.11	+26:22:32.10	18.7	14.22	0.5	0.8	1.33	1.21
06:02:36.34	+30:57:44.20	19.1	15.20	1.0	1.2	0.41	0.76
06:02:40.22	+31:21:40.20	19.4	15.34	0.9	0.9	0.61	0.95
06:05:15.15	+20:40:36.70	17.8	11.22	1.3	1.4	1.99	1.56
06:06:24.06	+23:32:35.10	17.8	12.65	1.1	1.2	0.84	1.20
06:06:33.01	+30:06:40.50	18.3	13.92	1.0	1.2	0.66	1.17
06:06:44.63	+19:50:38.60	17.9	13.66	1.0	1.1	0.56	0.98
06:07:15.86	+19:30:00.10	15.1	11.64	0.9	0.9	0.73	1.08
06:08:30.13	+16:27:39.60	15.9	11.96	0.8	0.9	0.63	1.02
06:08:52.63	+20:37:28.30	17.1	13.04	0.9	0.9	0.48	0.90
06:09:23.62	+21:02:35.80	17.7	10.91	1.5	1.1	0.93	1.33
06:09:26.79	+24:55:19.90	16.5	10.24	0.5	1.1	0.96	1.06
06:09:29.56	+20:41:26.30	18.8	14.27	1.1	1.5	0.48	0.83
06:09:35.23	+12:40:22.80	18.0	11.10	1.3	1.0	1.31	1.56
06:10:08.00	+12:17:34.80	18.9	13.08	1.1	1.5	0.95	1.32
06:10:24.41	+12:46:47.60	15.9	11.51	0.8	1.7	0.77	1.03
06:10:45.52	+19:48:17.00	17.8	13.21	1.2	1.1	0.68	1.15
06:12:49.24	+18:03:52.60	19.3	12.91	1.3	1.3	0.93	1.27
06:12:58.84	+15:18:35.40	18.1	12.93	1.2	1.2	0.87	1.26
06:13:02.76	+15:35:27.30	17.8	13.13	1.1	1.1	0.57	0.98
06:13:12.70	+15:20:36.70	14.8	10.57	0.8	0.9	0.87	1.00
06:13:14.30	+17:53:43.90	17.8	13.34	1.0	1.2	0.61	1.01
06:13:17.53	+15:19:57.80	19.5	14.29	1.1	1.4	1.00	0.78
06:13:22.66	+21:57:46.30	18.1	13.52	0.9	0.9	0.65	0.94
06:13:28.57	+16:05:56.90	16.1	11.47	1.1	1.1	0.58	1.06
06:14:17.27	+22:54:18.60	18.6	12.28	0.5	1.9	1.02	1.26
06:14:29.10	+20:09:56.50	18.5	13.68	1.2	1.2	0.75	1.18
06:15:22.28	+18:56:55.20	18.7	14.07	1.0	1.1	0.69	0.84
06:16:38.92	+20:01:51.60	19.4	13.25	1.2	1.4	0.98	1.57
06:17:19.51	+23:36:06.80	17.5	11.78	1.2	1.2	0.93	1.41
06:17:19.67	+24:51:25.00	18.1	13.73	1.0	1.3	0.79	0.90
06:17:29.17	+22:21:52.40	17.3	13.31	0.9	0.9	0.54	1.00
06:17:58.15	+24:11:49.20	19.2	14.47	1.0	1.3	0.85	0.95
06:18:04.17	+18:30:10.30	18.5	13.50	1.2	1.4	0.61	0.85
06:18:05.61	+17:40:43.00	19.1	14.10	1.1	1.4	0.79	1.07
06:18:06.94	+13:02:03.70	17.8	13.80	1.0	1.6	0.60	0.98

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
06:20:21.71	+11:07:10.20	18.6	13.99	1.2	1.2	1.08	1.15
06:20:47.11	+10:57:25.70	19.2	14.15	1.0	1.5	0.89	1.22
06:22:06.60	+22:34:29.50	18.0	12.94	1.2	1.3	0.87	1.28
06:23:11.57	+23:42:51.30	18.9	13.37	1.3	1.2	0.91	1.07
06:23:35.18	+23:10:41.00	19.4	13.02	1.3	1.4	0.73	1.10
06:23:41.27	+22:58:05.90	18.7	13.42	1.3	1.1	0.70	0.97
06:23:52.13	+14:26:19.20	17.4	12.92	1.0	1.2	0.66	1.01
06:24:21.99	+14:33:15.30	18.3	13.45	1.1	1.0	0.69	1.02
06:24:38.78	+09:18:25.90	18.1	13.79	1.0	1.4	0.74	0.81
06:28:42.43	+09:32:09.20	15.3	11.35	1.0	1.0	0.49	0.84
06:30:37.20	+04:54:02.70	16.7	10.72	1.2	1.1	0.94	1.27
06:30:39.33	+05:21:42.10	17.1	12.08	1.2	1.1	0.58	1.04
06:30:48.17	+09:46:04.20	16.6	12.09	1.2	1.6	0.53	0.91
06:30:56.81	+04:38:34.10	16.8	12.08	1.0	1.2	0.72	1.03
06:31:01.43	+10:41:02.00	18.3	11.95	1.8	1.2	0.63	1.16
06:31:02.58	+09:59:20.60	17.8	13.43	1.4	1.5	0.79	1.44
06:31:05.43	+10:01:26.30	18.7	13.74	1.5	1.3	0.41	0.74
06:31:09.62	+10:25:57.50	17.4	11.27	1.9	1.6	0.61	0.97
06:31:10.28	+09:59:17.20	14.4	10.25	0.9	0.9	0.50	0.84
06:31:13.16	+10:26:57.20	19.4	13.21	2.4	1.4	0.43	0.69
06:31:13.55	+10:27:00.00	16.9	11.25	1.6	1.7	0.65	1.02
06:31:16.26	+05:06:51.10	17.2	13.37	0.9	0.9	0.46	0.85
06:31:19.11	+10:22:46.50	19.1	11.91	1.5	1.3	0.90	1.56
06:31:19.66	+04:52:41.90	18.1	13.58	1.1	1.3	0.55	0.96
06:31:27.85	+04:50:02.90	16.4	12.01	0.8	1.2	0.80	0.99
06:31:29.67	+10:23:23.10	17.2	11.74	1.3	1.4	0.58	1.06
06:31:30.96	+05:06:58.50	15.2	11.60	0.8	1.0	0.49	0.80
06:31:46.86	+10:07:48.50	17.1	12.26	1.7	1.1	0.43	0.84
06:31:47.05	+04:48:11.00	18.3	13.81	1.1	1.2	0.55	0.88
06:31:48.05	+04:50:48.30	17.6	12.76	1.3	1.1	0.49	0.90
06:32:06.21	+10:36:27.70	14.8	9.61	1.5	1.1	0.62	0.78
06:32:14.59	+10:07:37.10	17.5	12.35	1.2	1.5	0.51	0.97
06:32:21.34	+04:46:19.20	17.4	12.79	1.1	1.0	0.55	0.93
06:32:31.50	+04:54:53.40	18.8	14.12	1.1	2.1	0.64	1.05
06:32:43.35	+05:02:20.60	17.3	13.29	0.9	1.3	0.61	0.88
06:32:46.98	+10:16:38.10	17.8	10.63	1.3	1.7	0.84	1.31
06:33:22.32	+04:36:38.20	16.7	12.49	0.9	1.1	0.61	1.00
06:33:32.26	+04:57:39.50	18.2	12.73	1.2	1.5	1.05	1.35
06:33:32.39	+04:57:49.20	16.3	11.87	1.0	1.3	0.68	1.01
06:34:16.90	+04:24:19.20	17.1	12.05	1.2	1.2	0.69	1.04
06:36:25.88	+02:16:16.20	16.9	11.83	1.1	1.2	0.83	1.26
06:36:42.85	+05:37:36.80	17.7	13.35	0.9	1.3	0.66	0.84
06:36:54.07	+04:00:46.80	18.2	13.27	1.3	1.0	0.56	0.96
06:38:49.77	+06:23:35.40	17.9	13.54	0.9	0.9	0.72	1.10

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
06:39:34.25	+06:21:16.90	18.8	14.79	0.5	1.3	1.00	0.98
06:42:22.19	-02:26:28.60	19.2	13.75	1.4	1.3	1.15	0.95
06:58:50.75	-01:40:43.30	18.9	13.82	1.3	1.2	0.77	1.09
18:28:15.04	-00:02:59.00	18.4	11.09	2.1	1.2	1.05	1.55
18:28:50.22	+00:09:49.60	17.9	10.30	2.1	1.4	1.03	1.68
18:37:53.26	+00:18:49.20	19.1	11.16	2.6	1.5	0.68	1.21
18:38:14.63	-01:22:13.80	17.3	10.10	2.0	1.5	0.88	1.18
18:40:28.54	+00:07:16.50	19.3	12.64	1.9	1.1	0.71	1.23
18:42:22.67	+02:58:07.00	16.0	11.80	1.0	1.0	0.56	0.96
18:44:31.46	-00:16:52.40	17.2	9.56	1.5	1.2	1.30	1.67
18:46:27.71	+00:28:17.80	18.9	12.02	1.7	1.4	0.78	1.27
18:46:35.85	+00:55:21.40	14.9	8.72	1.2	1.2	1.33	1.68
18:50:05.71	-00:40:41.20	17.0	10.66	1.4	1.2	1.22	1.13
18:51:38.28	-02:14:26.00	15.1	8.02	1.6	1.3	1.13	1.47
18:51:56.32	+06:19:46.10	17.8	11.55	1.8	1.5	0.62	1.10
18:52:31.44	+02:15:25.30	18.9	11.53	2.1	1.5	0.81	1.44
18:53:49.55	+05:23:53.70	18.5	12.26	1.4	1.8	0.80	1.28
18:54:03.70	+03:55:26.70	19.3	11.63	1.7	1.3	1.08	1.58
18:54:24.82	+04:19:05.00	18.3	11.20	1.8	1.2	0.72	1.21
18:55:06.04	+00:54:26.90	19.0	12.23	1.9	1.4	1.31	1.82
18:55:26.72	-04:05:37.50	19.3	13.12	2.5	1.3	0.39	0.72
18:57:07.14	+02:22:26.00	18.8	12.08	1.6	1.4	0.89	1.33
19:00:15.86	+00:05:17.30	14.9	10.30	1.0	0.9	1.00	0.88
19:00:21.58	+05:20:01.10	17.9	10.83	1.2	1.9	1.25	1.64
19:02:29.97	-02:27:57.00	16.1	9.34	-0.2	2.9	1.88	2.19
19:08:57.31	+05:36:20.60	16.9	10.35	1.1	0.9	1.12	1.37
19:09:26.60	+12:00:44.60	16.9	8.82	0.4	2.9	1.51	2.02
19:10:17.43	+06:52:58.10	15.8	7.22	1.9	1.7	1.48	1.71
19:12:33.23	+11:46:31.20	18.6	10.92	1.7	1.5	1.75	1.33
19:17:01.33	+15:59:47.80	17.7	10.76	1.5	1.4	1.29	1.37
19:19:30.75	+13:32:42.50	19.5	14.65	1.4	1.2	0.50	0.76
19:20:33.79	+23:10:40.30	16.9	12.22	1.5	1.0	0.43	0.78
19:22:49.80	+14:22:36.30	17.0	9.88	1.6	1.3	1.31	1.43
19:22:57.72	+11:38:54.80	18.6	11.07	1.4	1.1	1.43	1.79
19:24:00.05	+23:02:53.10	15.8	11.34	1.1	1.2	0.63	0.85
19:25:04.10	+22:44:38.50	19.0	13.66	1.9	1.4	0.43	0.74
19:25:14.31	+22:41:44.10	16.8	11.91	1.5	1.2	0.52	0.90
19:25:17.16	+22:33:55.90	16.1	11.33	1.4	1.3	0.50	0.94
19:25:38.41	+22:34:14.60	14.7	9.61	1.0	1.0	0.93	1.25
19:25:47.52	+22:26:51.30	17.6	13.23	1.0	1.9	0.70	0.79
19:26:19.04	+22:45:46.60	17.4	11.90	1.6	1.1	0.62	0.99
19:26:39.93	+21:07:05.30	14.7	10.95	0.8	0.9	0.52	0.86
19:27:01.88	+22:45:42.00	17.0	10.04	1.5	1.0	0.93	1.41
19:27:08.06	+22:46:22.50	16.1	9.90	1.5	1.2	0.78	1.22

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
19:27:17.94	+08:14:29.40	17.2	12.76	0.2	0.9	1.23	1.32
19:28:02.95	+17:16:43.30	19.3	10.88	1.7	1.7	1.69	1.59
19:28:19.52	+21:55:37.90	18.7	13.25	1.8	1.2	0.58	0.92
19:28:41.27	+17:48:19.90	16.7	11.48	1.2	1.2	0.94	1.25
19:29:13.09	+17:59:23.40	16.9	12.06	1.2	1.0	0.67	1.05
19:29:54.41	+18:10:26.00	17.7	11.20	1.5	1.5	0.96	1.37
19:30:00.51	+18:21:23.00	19.0	12.50	1.8	1.2	0.87	1.50
19:30:12.69	+17:48:36.50	18.7	12.07	1.5	1.6	0.95	1.36
19:30:24.47	+18:19:38.30	19.3	10.96	1.8	1.4	1.20	1.64
19:30:38.84	+18:39:09.80	13.3	6.60	1.9	1.3	0.68	0.93
19:30:56.09	+22:22:28.30	17.2	11.36	1.7	1.2	0.58	0.78
19:31:08.67	+16:49:50.50	19.3	10.70	2.4	1.5	1.07	1.43
19:32:32.88	+15:17:11.50	14.2	10.20	0.9	0.9	0.78	0.75
19:33:11.62	+17:56:59.00	17.9	12.77	1.3	1.1	0.74	1.10
19:34:31.49	+21:55:39.90	17.8	12.21	1.6	1.2	0.59	0.99
19:34:37.89	+18:25:59.30	17.2	11.41	1.4	1.0	0.79	1.18
19:37:09.65	+20:26:55.70	18.8	12.48	1.4	1.2	1.20	1.25
19:37:51.66	+24:44:08.00	19.3	14.01	1.6	1.2	0.54	0.85
19:38:52.27	+20:38:48.80	19.4	13.75	1.4	1.4	0.69	1.07
19:41:30.75	+21:56:50.20	18.3	12.47	1.6	1.4	0.61	0.96
19:42:06.83	+21:28:57.80	17.9	11.38	1.9	1.3	0.66	0.91
19:42:38.90	+22:53:24.10	18.9	11.79	1.8	1.4	1.02	1.48
19:42:54.98	+23:24:14.90	13.5	8.62	1.2	1.0	0.94	0.95
19:42:58.16	+23:24:27.70	18.6	13.86	1.3	1.1	0.57	0.82
19:43:25.03	+23:13:47.60	19.3	13.36	1.5	1.1	0.72	1.26
19:43:44.62	+23:14:44.70	18.6	12.28	1.3	1.0	1.08	1.39
19:44:05.25	+23:26:47.90	14.1	9.08	0.5	2.3	1.22	1.47
19:44:23.55	+23:59:46.40	19.2	13.11	1.7	1.1	0.60	1.04
19:44:29.90	+23:35:31.40	18.1	12.99	1.2	1.2	0.66	1.11
19:44:33.20	+23:44:30.20	18.8	13.65	1.2	1.1	0.72	1.26
19:44:42.55	+27:22:48.60	19.4	14.52	1.4	1.1	0.51	0.72
19:44:45.16	+23:44:39.50	19.3	13.36	1.4	1.1	0.97	1.42
19:45:04.72	+26:39:50.60	18.5	13.03	1.5	1.0	0.66	0.82
19:45:13.64	+23:47:09.40	19.2	12.92	1.5	1.2	0.65	1.19
19:45:13.87	+27:50:45.60	19.2	13.35	1.2	1.0	0.82	1.17
19:46:07.52	+22:31:12.30	17.5	5.97	1.5	2.8	1.23	2.03
19:46:09.56	+22:54:23.20	15.2	10.24	1.5	1.1	0.55	0.70
19:49:07.23	+21:17:42.00	16.8	10.49	0.8	1.7	1.39	1.70
19:49:28.58	+28:58:09.40	17.1	12.23	1.3	1.1	0.74	0.82
19:49:48.25	+23:53:31.80	16.0	11.25	1.1	1.1	0.72	1.06
19:50:01.48	+26:27:38.10	16.4	10.62	1.0	0.9	1.12	1.39
19:54:44.83	+33:51:53.90	18.7	13.54	1.3	1.0	0.66	1.07
19:56:12.57	+30:15:28.60	18.4	13.43	0.9	0.9	0.83	0.97
19:56:55.88	+31:56:37.00	16.4	11.58	1.1	1.4	0.61	0.84

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
19:57:12.42	+30:13:16.10	13.0	8.10	0.8	0.9	1.20	1.00
19:59:34.39	+32:08:48.70	16.0	11.53	1.0	1.0	0.55	0.74
19:59:35.55	+28:38:30.30	15.8	8.27	0.9	1.2	2.06	2.16
19:59:47.22	+35:30:52.90	17.1	13.04	0.8	1.0	0.98	0.78
19:59:56.42	+30:48:23.80	17.5	10.91	1.0	1.6	1.26	1.52
20:01:12.85	+28:22:11.30	17.7	12.20	1.2	1.3	0.85	1.22
20:01:53.90	+35:42:22.30	17.9	12.37	1.3	1.2	0.83	1.13
20:01:54.27	+29:28:48.40	18.8	13.53	1.4	1.3	0.59	0.98
20:01:59.69	+32:06:35.40	16.1	10.08	1.5	1.0	0.67	0.86
20:02:03.12	+32:32:45.50	17.4	11.98	0.7	1.2	0.82	0.87
20:02:33.05	+35:15:38.80	18.5	13.49	1.3	1.0	0.53	0.94
20:04:23.15	+35:40:07.10	18.1	12.56	1.5	1.1	0.69	1.07
20:04:47.02	+35:47:09.50	18.9	14.77	1.0	1.4	0.45	0.82
20:05:00.61	+35:37:52.20	19.3	14.26	1.6	1.3	0.50	0.91
20:05:14.59	+32:21:25.10	17.2	10.66	-0.4	3.1	2.10	2.20
20:05:21.89	+29:51:56.60	17.4	11.25	1.0	0.9	1.12	1.39
20:06:51.26	+27:20:37.60	18.0	11.01	1.6	1.6	1.08	1.38
20:07:07.58	+35:50:06.30	18.0	13.50	1.0	1.1	0.65	1.00
20:07:14.83	+35:36:01.90	19.2	14.50	1.2	1.2	0.74	1.22
20:07:26.84	+35:34:36.00	19.4	14.57	1.4	1.7	0.52	0.89
20:07:28.65	+36:18:29.30	18.2	13.64	1.0	1.5	0.61	0.81
20:08:11.53	+35:25:00.50	15.6	9.78	0.6	1.4	0.83	0.71
20:09:11.34	+30:34:11.70	18.4	11.77	1.4	1.3	0.90	1.19
20:10:22.77	+29:56:21.50	18.0	13.76	1.2	1.0	0.63	1.11
20:10:24.42	+31:45:16.60	17.8	10.90	1.8	1.5	0.91	1.06
20:10:57.51	+34:37:32.40	15.7	9.75	1.3	1.0	1.10	1.23
20:11:26.20	+33:16:06.80	18.9	11.70	1.4	1.3	1.23	1.40
20:11:52.98	+28:15:17.00	17.4	9.50	2.1	1.5	1.22	1.59
20:12:31.94	+32:22:14.00	15.3	10.82	0.7	0.9	1.36	0.95
20:13:07.52	+31:18:51.50	18.4	11.59	1.5	1.4	1.04	1.33
20:13:58.71	+31:42:10.80	19.3	10.97	1.9	1.4	1.18	1.51
20:14:28.69	+32:09:09.50	18.1	12.25	1.4	1.1	0.77	1.22
20:14:42.32	+32:09:03.90	17.4	11.26	1.4	1.1	0.84	1.27
20:15:50.96	+37:30:04.20	18.1	9.96	1.7	2.2	1.51	1.62
20:16:03.23	+37:14:50.60	19.0	13.10	1.3	1.6	1.01	1.34
20:16:22.09	+38:10:14.20	17.4	13.35	1.1	1.3	0.56	0.93
20:16:23.18	+37:37:04.60	19.3	11.48	2.0	1.5	1.18	1.41
20:16:48.91	+29:30:58.20	18.8	11.60	1.9	1.5	0.93	1.34
20:17:04.88	+40:48:34.20	18.4	13.20	1.4	1.0	0.59	1.07
20:17:08.12	+41:07:27.00	14.3	8.65	1.5	1.3	0.62	0.89
20:17:13.88	+42:10:44.20	16.8	10.95	1.4	1.1	0.85	1.25
20:17:15.03	+31:01:01.30	16.0	12.06	0.9	0.9	0.52	0.96
20:17:45.30	+41:50:33.20	18.1	12.31	1.3	1.3	0.98	1.44
20:17:51.21	+31:00:52.00	18.5	11.75	1.1	1.8	1.28	1.64

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
20:18:35.83	+40:55:08.00	17.2	12.89	1.0	1.6	0.93	0.93
20:18:43.67	+40:47:27.80	17.0	12.50	1.2	1.7	0.61	0.83
20:18:49.29	+39:35:32.00	17.0	11.88	1.0	1.5	0.76	0.95
20:18:59.19	+39:24:42.30	17.6	13.02	1.1	1.3	0.65	1.08
20:19:09.01	+33:32:40.10	16.3	12.22	1.0	0.9	0.61	0.87
20:19:11.27	+36:03:59.30	18.3	9.71	1.7	1.1	1.57	1.88
20:19:18.94	+38:14:48.50	18.6	14.19	0.9	2.0	0.68	1.17
20:19:33.95	+36:41:10.60	18.0	13.22	1.0	1.2	0.86	1.02
20:19:35.95	+39:24:43.50	19.4	13.78	1.6	1.4	0.62	1.03
20:19:45.44	+39:44:00.90	16.4	10.97	1.2	1.9	0.86	1.16
20:19:52.07	+32:41:32.30	18.3	12.25	1.4	1.1	0.78	1.15
20:20:07.87	+40:05:08.30	18.0	13.56	1.1	1.5	0.56	0.74
20:20:24.83	+38:43:17.50	19.2	13.44	1.4	1.1	0.61	1.13
20:20:58.52	+38:09:49.80	16.2	8.87	1.5	1.6	1.52	1.50
20:21:12.98	+41:01:13.10	18.0	12.84	1.5	1.2	0.48	0.91
20:22:10.20	+33:50:34.60	14.4	9.28	1.5	1.0	0.55	0.74
20:22:34.45	+40:55:46.40	18.7	13.63	1.6	1.4	0.52	0.72
20:23:41.92	+43:25:38.50	18.4	12.65	1.3	1.2	0.75	1.24
20:23:45.75	+39:04:40.20	19.3	13.87	1.7	1.3	0.57	0.88
20:24:07.29	+42:35:52.10	17.0	11.33	1.4	1.4	0.72	1.11
20:24:11.20	+42:17:09.10	16.3	11.98	0.8	1.2	0.67	0.97
20:24:21.82	+42:25:54.30	17.4	11.25	1.2	1.3	0.98	1.36
20:24:27.02	+38:55:39.00	18.1	10.78	1.0	1.8	1.12	1.51
20:24:27.13	+38:30:54.90	17.9	13.29	1.1	1.3	0.61	0.95
20:24:29.12	+39:02:27.10	15.1	10.66	0.9	1.1	0.77	0.99
20:24:31.08	+42:13:07.60	17.8	13.10	1.1	1.3	0.71	1.05
20:24:39.32	+39:56:55.20	19.0	13.55	1.3	1.7	0.87	1.01
20:24:39.59	+42:21:09.00	15.9	10.75	1.1	1.2	0.79	1.11
20:24:55.53	+42:45:04.00	18.9	12.88	1.9	1.5	0.66	0.88
20:25:30.03	+34:45:17.50	18.4	12.70	1.3	1.5	0.90	1.34
20:25:49.86	+41:23:08.10	18.9	12.30	0.8	1.9	1.55	1.57
20:27:07.14	+39:32:48.60	16.7	10.76	1.2	1.2	0.78	1.16
20:27:09.33	+39:14:21.50	17.8	12.04	1.3	1.2	0.72	1.17
20:27:42.17	+40:30:11.10	18.2	12.26	1.4	1.1	0.68	1.11
20:27:57.89	+39:23:32.50	16.3	10.42	1.1	1.0	1.06	1.29
20:28:31.45	+39:53:20.10	14.7	9.56	0.9	1.3	0.87	1.06
20:28:34.25	+35:54:17.40	15.9	8.30	1.5	2.1	1.78	1.42
20:28:44.46	+40:11:36.70	16.8	12.12	1.3	1.6	0.57	0.99
20:28:47.71	+40:33:49.30	16.9	10.74	1.3	1.1	0.97	1.29
20:28:50.31	+40:35:49.80	17.8	10.91	1.6	1.1	1.18	1.57
20:29:16.22	+40:11:06.20	17.2	12.42	1.3	1.3	0.57	0.97
20:29:32.28	+40:13:07.50	15.7	11.85	0.9	0.9	0.46	0.85
20:29:47.93	+35:59:26.50	14.8	8.14	1.0	1.8	1.30	1.52
20:30:18.58	+38:57:13.50	17.2	12.56	1.1	1.1	0.62	0.99

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
20:30:33.99	+40:43:25.60	18.7	11.67	1.7	1.3	0.93	1.38
20:31:11.04	+40:20:46.50	16.6	11.21	1.2	1.4	0.82	1.20
20:31:13.75	+41:15:17.50	19.3	12.66	1.7	1.3	0.71	1.19
20:33:00.81	+40:18:00.30	17.4	12.62	1.2	1.4	0.56	1.04
20:33:01.84	+39:03:42.70	16.7	10.53	1.4	1.4	1.01	1.24
20:33:53.45	+40:54:48.90	18.8	10.86	1.9	1.4	0.85	1.34
20:34:13.39	+41:01:57.90	19.0	9.86	1.2	2.5	1.43	1.94
20:35:06.32	+47:03:22.80	16.4	10.15	1.2	1.0	1.23	1.35
20:35:26.03	+46:49:56.10	18.5	12.95	1.4	1.0	0.71	1.06
20:41:14.48	+46:01:55.90	18.9	14.28	0.9	1.6	0.63	0.83
20:41:21.02	+41:17:21.30	19.1	12.74	1.5	1.6	1.13	1.68
20:41:22.99	+45:55:41.60	18.8	14.33	1.1	0.9	0.55	0.83
20:41:34.22	+39:32:39.00	15.2	10.20	1.1	1.8	0.80	1.13
20:41:40.07	+41:12:27.90	17.4	10.46	1.6	1.4	0.97	1.39
20:45:02.36	+43:05:20.60	15.3	10.57	1.2	1.2	0.78	1.17
20:45:16.51	+41:35:26.80	17.3	11.34	1.5	1.3	0.69	1.15
20:45:29.31	+41:06:22.30	16.6	11.08	1.1	1.0	0.97	1.33
20:46:26.87	+46:18:17.80	18.8	14.26	1.1	1.3	0.66	1.06
20:46:32.98	+46:40:56.90	17.7	12.60	1.2	1.1	0.65	0.85
20:46:45.49	+41:06:59.60	18.5	13.03	1.1	1.4	1.19	1.39
20:47:04.82	+43:49:11.40	18.8	13.76	1.2	2.1	0.58	0.99
20:47:13.69	+46:35:17.50	14.5	7.48	1.6	1.3	1.45	1.12
20:47:14.21	+47:14:16.60	18.0	13.66	0.9	1.5	0.63	0.84
20:47:25.22	+43:48:32.20	17.8	11.35	1.2	1.7	0.86	1.14
20:47:33.97	+41:31:36.70	18.2	13.58	1.3	1.8	0.51	0.84
20:48:19.32	+47:20:47.30	16.7	12.95	0.8	0.9	0.53	0.81
20:48:57.79	+43:49:55.10	18.3	11.40	1.5	1.1	0.86	1.34
20:49:07.37	+45:55:18.00	16.5	12.53	1.0	1.4	0.41	0.79
20:49:56.23	+46:50:37.80	16.5	12.04	1.0	1.1	0.55	0.92
20:50:18.22	+46:53:56.40	19.0	12.88	1.5	1.4	1.08	1.34
20:50:19.55	+45:47:37.00	18.7	13.77	1.5	1.1	0.90	1.11
20:50:20.65	+45:47:21.50	17.1	12.22	1.2	1.1	0.58	1.01
20:50:22.42	+44:19:17.60	18.9	12.09	2.0	2.2	0.64	1.18
20:50:40.29	+44:30:49.10	15.0	9.56	1.1	1.2	0.87	1.10
20:50:44.99	+47:12:44.70	18.6	13.58	1.1	1.1	0.68	1.14
20:50:50.39	+44:50:11.70	14.8	11.10	1.4	1.1	2.00	2.31
20:50:53.17	+44:50:36.40	18.7	12.28	1.9	1.6	0.61	1.13
20:51:02.14	+47:12:37.40	18.4	11.46	1.8	1.2	0.91	1.44
20:51:20.99	+44:26:19.60	15.3	10.30	1.1	1.2	0.66	0.92
20:51:32.79	+44:23:48.00	16.7	11.63	1.2	1.3	0.64	1.07
20:52:00.99	+44:28:41.40	16.9	11.90	1.3	1.3	0.59	1.06
20:52:40.84	+49:58:04.10	18.5	12.68	1.5	1.0	0.66	0.84
20:52:56.75	+39:08:30.20	18.1	13.31	1.5	1.1	0.51	0.89
20:53:15.64	+43:44:22.80	17.0	12.54	1.1	1.7	0.67	0.85

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
20:53:56.92	+44:51:31.90	18.3	12.20	1.7	1.3	0.60	1.11
20:54:07.40	+41:34:58.00	15.1	11.28	1.4	1.3	1.54	1.80
20:54:33.18	+48:46:30.80	16.5	12.10	1.1	1.1	0.58	0.71
20:54:38.00	+49:13:30.90	19.4	13.13	1.5	1.3	1.08	1.28
20:54:46.91	+44:48:19.90	17.0	10.31	1.4	1.1	1.22	1.36
20:54:54.34	+44:43:43.00	17.8	12.75	1.6	1.8	0.44	0.86
20:54:58.07	+47:45:51.70	14.7	10.77	0.9	1.0	0.77	0.73
20:55:03.02	+44:10:52.10	16.4	10.25	1.5	1.3	0.86	1.32
20:55:03.99	+44:44:26.60	17.8	12.59	1.4	1.4	0.72	1.00
20:55:44.33	+46:33:13.20	15.7	8.39	0.4	2.9	2.02	2.20
20:56:47.90	+46:24:34.50	17.3	11.59	1.6	1.2	0.59	0.95
20:57:20.26	+42:23:19.40	17.1	11.24	1.6	1.2	0.58	1.09
20:57:30.09	+49:32:58.00	16.2	11.84	1.3	1.0	0.62	0.69
20:57:36.62	+52:21:17.10	15.8	10.76	1.2	1.4	0.68	1.01
20:57:37.30	+44:06:44.00	17.9	12.16	1.4	1.5	0.75	0.95
20:57:40.95	+46:59:45.10	15.8	10.99	1.4	1.2	0.58	0.69
20:57:59.87	+43:53:26.10	14.7	10.25	0.9	1.1	0.62	0.98
20:58:01.38	+43:45:20.20	16.5	11.05	1.3	1.3	0.82	1.24
20:58:02.67	+46:35:02.60	19.1	13.20	1.3	1.3	1.14	1.29
20:58:12.19	+46:21:49.00	18.3	12.72	1.6	1.1	0.61	0.91
20:58:21.54	+43:53:44.90	16.7	10.71	1.5	1.3	0.78	1.31
20:58:27.02	+43:53:20.10	17.4	12.25	1.3	1.4	0.67	1.09
20:58:36.43	+50:33:07.20	18.9	8.16	2.0	2.2	2.34	2.99
20:58:42.07	+46:24:59.80	16.4	11.74	1.3	1.2	0.58	0.72
20:59:06.70	+44:18:23.90	17.2	12.75	1.0	1.1	0.54	0.93
21:00:19.06	+52:27:28.30	14.6	9.81	1.0	1.1	0.82	1.06
21:00:21.42	+52:27:09.60	14.1	9.40	1.2	1.2	0.82	0.94
21:01:10.58	+52:15:12.90	17.1	11.29	1.5	1.6	0.75	1.01
21:03:32.56	+47:48:39.40	16.8	11.81	1.2	1.4	0.77	1.03
21:03:50.13	+50:10:23.70	18.8	12.23	2.1	1.3	0.57	1.05
21:03:58.92	+50:14:51.40	15.9	10.35	1.5	1.1	0.71	1.18
21:04:04.87	+53:51:24.40	18.2	11.61	1.6	2.4	0.79	1.03
21:04:06.83	+50:13:18.00	16.3	11.10	1.2	1.2	0.68	0.93
21:04:27.91	+52:22:03.30	16.9	10.42	1.5	1.2	0.68	1.06
21:04:28.81	+50:18:24.60	19.0	12.42	2.3	1.7	0.54	1.01
21:04:54.56	+50:17:51.90	16.5	11.14	1.2	1.6	0.93	1.22
21:05:28.26	+51:36:00.80	18.1	11.06	2.0	1.4	0.78	1.07
21:06:12.87	+51:21:41.30	18.8	12.39	1.8	1.4	0.81	1.32
21:06:13.61	+50:23:22.80	17.6	12.80	1.3	1.2	0.57	0.87
21:07:10.22	+48:57:29.30	15.1	9.97	1.5	1.1	0.58	0.80
21:10:28.25	+44:58:41.80	16.7	12.60	0.9	1.5	0.50	0.92
21:10:53.52	+51:13:44.00	17.1	12.05	1.4	1.1	0.57	0.73
21:11:25.36	+46:57:53.10	16.5	11.76	1.1	1.1	0.71	1.05
21:13:17.53	+51:14:30.20	17.4	11.29	1.5	1.4	0.81	1.24

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
21:13:18.30	+46:20:17.90	19.3	13.24	1.4	1.0	0.67	1.13
21:15:58.05	+47:57:46.50	18.3	12.20	1.5	1.1	1.05	1.23
21:16:22.51	+51:34:41.80	19.5	13.79	1.9	1.3	0.51	0.95
21:16:41.03	+51:30:05.40	18.9	13.58	1.4	1.2	0.71	1.06
21:16:45.67	+47:15:36.50	17.3	13.12	1.2	1.5	0.54	0.92
21:18:18.24	+42:53:52.30	17.6	11.99	1.5	1.5	0.63	0.97
21:19:34.02	+46:47:45.50	16.5	11.69	1.1	1.2	0.50	0.93
21:19:36.96	+46:49:09.00	16.8	10.04	1.5	1.3	0.84	1.21
21:19:38.96	+46:49:13.60	18.8	12.29	1.2	1.7	1.26	1.50
21:19:47.43	+53:22:25.10	16.1	10.56	1.5	1.2	0.60	0.92
21:19:56.24	+51:47:04.20	19.0	13.01	1.5	2.1	1.02	1.17
21:20:25.15	+51:46:30.70	18.3	13.30	1.5	1.2	0.48	0.91
21:20:36.52	+51:51:26.00	18.6	12.51	1.2	1.1	1.02	1.33
21:20:48.00	+53:40:51.30	17.0	11.24	1.6	1.2	0.61	0.87
21:21:24.55	+52:49:55.10	17.7	12.71	1.5	1.1	0.52	0.76
21:21:45.31	+46:54:57.90	17.5	12.07	1.5	1.2	0.62	1.10
21:21:54.68	+46:38:56.70	16.9	12.40	1.2	1.1	0.77	1.10
21:21:59.94	+49:26:24.20	18.2	12.29	2.1	1.5	0.49	0.80
21:22:00.51	+46:54:32.70	15.7	8.59	1.4	1.1	1.20	1.42
21:22:09.02	+49:26:24.60	16.1	8.71	1.3	1.0	1.55	1.98
21:22:14.73	+49:05:38.80	19.1	12.25	1.6	1.6	0.64	1.12
21:22:18.11	+46:57:11.20	18.2	12.32	2.0	2.0	0.44	0.79
21:23:50.19	+50:08:18.20	19.1	11.73	1.6	1.4	1.11	1.55
21:26:20.32	+55:25:51.80	16.8	11.36	0.9	1.0	1.11	1.27
21:29:55.57	+55:39:04.10	17.8	11.38	1.3	1.7	1.36	1.45
21:31:05.96	+51:25:31.80	18.1	12.21	1.7	1.2	0.67	0.95
21:31:08.81	+51:59:45.30	19.1	12.34	1.7	1.3	0.95	1.31
21:31:25.07	+49:18:35.50	18.0	12.88	0.5	1.7	0.83	1.14
21:31:29.48	+48:09:54.70	16.0	11.82	1.2	1.0	0.55	0.91
21:33:17.78	+57:48:13.50	14.6	9.83	0.7	1.0	1.14	1.29
21:34:31.56	+54:16:11.80	15.4	10.64	1.5	1.1	0.57	0.77
21:34:51.70	+57:51:40.50	18.5	12.65	1.7	1.3	0.61	1.07
21:34:53.08	+57:51:25.10	18.7	12.68	1.5	1.3	0.80	1.23
21:35:16.89	+57:32:42.30	17.9	13.07	1.4	1.8	0.49	0.89
21:38:06.68	+55:20:46.40	16.2	11.46	1.4	1.0	0.53	0.75
21:38:10.00	+57:23:52.80	19.0	13.70	1.9	1.5	0.39	0.78
21:38:12.64	+57:20:33.70	17.7	13.17	1.4	1.7	0.47	0.89
21:39:29.40	+57:06:30.70	18.1	13.33	1.6	1.2	0.40	0.78
21:39:51.88	+57:26:58.30	19.4	13.56	2.1	1.5	0.60	0.77
21:39:52.16	+58:14:12.90	17.1	12.29	1.2	1.3	0.57	1.04
21:39:52.23	+52:25:15.20	19.0	13.85	1.1	1.0	0.75	1.00
21:39:54.07	+57:29:33.50	17.8	13.28	1.4	1.1	0.59	0.86
21:39:58.44	+58:12:14.80	17.4	11.76	1.7	1.3	0.59	1.06
21:40:11.35	+57:39:51.80	17.7	12.97	1.5	1.0	0.48	0.87

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
21:40:21.30	+57:26:57.90	17.0	12.62	1.0	1.0	0.78	1.10
21:40:36.90	+58:14:37.90	14.9	10.23	1.1	1.0	0.65	1.02
21:40:42.81	+58:19:37.40	19.0	11.64	1.9	1.7	0.90	1.39
21:40:55.93	+57:17:59.20	17.8	12.25	1.6	1.7	0.59	0.98
21:41:15.97	+58:08:26.50	18.2	12.53	1.5	1.5	0.77	1.16
21:41:39.49	+50:17:49.80	17.8	14.33	0.9	1.1	0.38	0.69
21:42:02.30	+54:43:31.90	19.4	13.06	1.5	1.3	0.91	1.32
21:42:17.63	+56:55:50.20	16.7	11.02	1.4	1.0	0.52	0.90
21:43:06.36	+51:06:10.60	18.1	13.54	0.5	0.8	0.61	0.92
21:44:18.19	+47:23:44.20	16.3	11.54	0.9	0.9	0.60	1.05
21:44:33.16	+57:37:32.70	18.0	12.86	1.4	1.0	0.59	0.90
21:44:41.34	+57:46:11.90	17.2	12.39	1.2	1.0	0.70	1.08
21:44:43.70	+57:14:19.80	18.1	13.81	0.8	1.0	1.25	1.30
21:45:47.74	+56:48:45.80	19.1	12.82	2.2	1.5	0.58	0.93
21:46:00.27	+57:23:09.60	17.2	10.63	1.4	1.1	0.83	1.19
21:46:25.99	+57:28:28.90	18.0	12.30	1.1	2.4	0.76	1.01
21:46:40.27	+47:13:27.60	17.3	11.50	1.4	1.2	0.74	1.12
21:48:11.78	+57:59:41.60	16.7	10.84	1.3	1.2	0.81	1.26
21:49:33.64	+57:45:02.20	16.7	11.86	1.3	1.0	0.57	0.71
21:53:31.40	+56:29:27.00	18.8	12.06	0.7	2.3	1.24	1.64
21:53:45.14	+59:43:42.00	18.3	13.35	1.4	1.1	0.57	0.90
21:54:47.24	+53:13:47.00	18.3	13.10	1.1	1.5	1.06	1.27
21:56:28.47	+57:14:45.50	15.1	10.31	0.8	1.7	1.52	1.13
21:58:12.70	+52:26:21.60	19.1	14.37	1.3	1.2	0.65	0.86
21:58:18.39	+55:26:31.90	19.3	13.64	1.2	1.4	0.78	1.29
21:58:20.72	+55:26:32.60	19.3	13.00	1.3	1.2	1.00	1.33
21:58:58.32	+52:46:03.00	19.2	14.63	0.8	1.5	0.80	1.05
21:59:36.96	+55:24:33.40	18.0	13.19	1.4	1.0	0.42	0.75
22:01:08.17	+55:54:41.40	16.1	10.43	0.8	1.2	1.18	1.41
22:02:10.21	+58:45:44.60	17.3	12.58	1.4	1.0	0.64	0.75
22:03:13.49	+59:39:57.20	17.6	12.29	1.4	1.2	0.59	0.96
22:03:30.08	+58:28:04.20	14.9	10.64	1.0	1.0	0.52	0.91
22:05:13.54	+57:25:53.50	19.1	13.55	1.1	1.5	0.54	1.03
22:06:09.07	+60:42:41.40	16.3	10.40	1.2	1.1	1.22	1.43
22:06:48.59	+54:11:47.50	18.7	14.46	1.3	1.5	0.98	1.04
22:07:15.51	+55:12:39.20	19.3	14.44	1.5	1.2	0.90	1.19
22:08:02.26	+60:59:05.60	17.9	13.56	1.4	1.4	0.61	0.97
22:09:43.15	+58:56:22.70	18.0	11.84	1.4	1.0	0.80	1.17
22:11:00.10	+60:56:33.50	17.7	12.46	1.2	1.4	0.67	1.06
22:11:46.04	+60:42:03.60	17.3	12.81	1.0	1.2	0.60	0.90
22:11:54.94	+58:57:22.10	18.8	11.53	1.9	1.2	1.04	1.38
22:12:13.10	+58:52:02.80	17.3	10.83	1.0	1.7	1.13	1.45
22:12:32.53	+60:42:50.30	17.4	12.30	1.1	1.0	0.55	0.99
22:13:11.17	+54:25:31.40	17.8	14.19	0.2	1.9	0.96	1.45

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
22:13:16.57	+56:12:13.50	17.7	12.25	1.2	1.1	0.63	0.92
22:13:20.22	+60:29:29.20	18.0	12.84	1.3	1.0	0.65	1.19
22:13:34.04	+60:35:58.70	18.8	13.04	1.4	1.3	0.61	1.04
22:13:49.64	+55:54:07.30	19.1	14.32	0.7	1.5	0.70	0.96
22:13:51.53	+60:44:24.80	18.4	11.99	1.4	1.6	0.69	1.28
22:13:59.71	+60:35:06.20	16.4	11.35	1.1	1.0	0.58	1.05
22:14:11.56	+61:26:06.40	17.6	12.12	1.2	1.1	0.92	1.38
22:14:19.27	+60:38:06.70	19.3	13.27	1.3	1.4	1.06	1.29
22:14:28.89	+61:25:24.00	17.7	11.70	1.4	1.1	0.84	1.26
22:14:39.83	+61:25:58.80	17.7	11.81	1.5	1.1	0.69	1.15
22:14:40.31	+61:26:13.80	15.3	9.77	1.2	1.1	0.89	1.26
22:14:42.24	+60:44:02.50	19.4	13.84	1.9	1.6	0.47	0.91
22:15:08.95	+61:02:41.10	17.0	12.13	1.2	1.2	0.69	1.19
22:15:11.99	+57:52:51.40	17.8	11.97	0.7	1.7	1.50	1.52
22:15:18.87	+58:23:12.60	19.0	11.62	1.4	1.7	1.60	1.63
22:15:37.63	+61:06:55.10	16.8	11.89	1.2	1.2	0.61	0.98
22:16:02.80	+56:14:27.30	17.4	12.70	0.9	1.6	0.66	1.08
22:16:21.24	+60:06:30.40	18.6	12.78	1.1	1.0	1.16	1.20
22:16:39.34	+60:47:57.40	18.1	11.51	1.5	1.0	0.82	1.18
22:16:44.69	+60:48:42.10	18.8	13.15	1.4	1.8	0.62	1.08
22:16:55.98	+60:53:43.70	17.9	11.27	1.5	1.6	0.92	1.38
22:17:34.33	+61:14:08.80	19.4	13.39	1.5	1.8	0.67	1.21
22:17:40.25	+61:47:02.50	17.7	10.52	1.4	1.6	0.98	1.33
22:17:55.42	+61:02:05.90	18.7	13.13	1.7	1.3	0.57	0.98
22:18:08.49	+56:05:53.30	13.7	9.03	0.7	1.2	1.15	1.20
22:18:18.15	+56:06:09.70	17.8	12.80	1.1	1.1	0.72	1.04
22:18:25.73	+61:37:26.50	18.5	13.16	1.8	1.2	0.44	0.86
22:19:03.17	+61:37:56.40	15.7	11.11	1.0	1.0	0.69	1.19
22:19:11.20	+60:58:01.60	18.9	10.20	1.7	1.4	1.53	2.04
22:19:11.45	+56:02:53.30	19.1	14.26	1.1	1.3	0.66	0.91
22:19:14.69	+61:38:47.50	18.3	13.34	1.3	1.2	0.54	0.73
22:20:53.13	+58:48:43.90	15.5	8.63	1.4	1.2	1.22	1.45
22:25:48.46	+61:23:54.50	19.2	13.14	1.6	1.4	0.66	0.97
22:27:00.27	+56:17:32.50	16.5	12.11	0.9	1.4	0.75	0.92
22:28:00.09	+63:09:08.90	17.0	11.86	1.3	1.0	0.66	0.99
22:31:50.40	+59:12:46.00	16.1	10.85	1.3	1.1	0.70	1.23
22:31:51.98	+63:10:46.90	19.1	13.17	1.9	1.7	0.51	0.94
22:36:45.28	+61:52:52.20	19.5	12.80	1.9	1.8	0.69	1.21
22:37:03.73	+58:58:49.40	16.2	11.40	1.7	1.1	0.40	0.77
22:37:28.63	+58:37:53.10	18.5	11.88	2.4	1.8	0.55	0.90
22:38:19.84	+62:12:12.10	16.7	11.50	1.0	1.3	1.06	1.28
22:38:53.88	+61:56:28.90	16.7	11.69	1.2	1.1	0.74	1.09
22:40:55.96	+61:31:09.30	19.4	13.66	1.6	1.9	0.68	0.97
22:42:14.74	+59:49:52.60	17.9	13.73	1.1	0.9	0.42	0.79

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
22:44:13.21	+61:00:45.10	18.3	12.45	1.4	1.2	0.79	1.12
22:45:08.11	+59:11:23.00	18.3	11.11	1.6	1.1	1.33	1.54
22:45:18.08	+61:30:49.90	17.4	12.74	1.2	1.7	0.62	0.96
22:46:38.35	+61:08:09.00	17.0	12.28	1.2	1.6	0.56	0.99
22:47:14.25	+59:21:49.10	17.2	9.53	1.5	1.4	1.26	1.61
22:47:22.39	+58:01:21.50	14.0	8.85	1.0	1.2	0.92	1.03
22:49:06.90	+62:07:34.80	16.9	11.22	1.4	1.1	0.74	1.10
22:49:08.54	+61:24:06.80	19.4	13.83	1.3	1.5	0.65	1.04
22:52:50.89	+62:36:17.30	18.5	12.97	1.3	1.2	0.72	1.23
22:53:26.79	+62:35:31.70	18.4	12.14	1.8	1.4	0.61	1.10
22:53:31.30	+62:37:11.40	18.3	12.11	1.6	1.6	0.74	1.17
22:53:50.55	+61:32:46.40	17.9	12.43	1.5	1.1	0.72	1.08
22:53:51.96	+62:34:35.70	18.4	12.38	1.6	1.8	0.71	1.16
22:53:52.02	+62:38:09.00	16.7	11.37	1.2	1.1	0.78	1.21
22:53:52.17	+62:37:46.30	18.4	12.20	1.6	1.4	0.71	1.11
22:54:07.57	+62:38:51.50	18.5	11.25	1.8	1.4	0.92	1.38
22:54:09.88	+62:57:42.90	18.6	12.58	1.2	1.1	0.69	1.08
22:54:37.74	+62:29:30.80	18.4	12.37	1.6	1.5	0.60	1.12
22:54:52.08	+61:59:03.00	18.9	11.98	1.8	1.4	0.77	1.34
22:55:09.51	+62:41:23.20	17.9	11.97	1.5	1.8	0.72	1.17
22:55:21.80	+62:37:53.50	16.0	10.44	1.1	1.3	0.94	1.31
22:55:22.50	+62:28:25.20	17.6	12.33	1.3	1.2	0.74	1.12
22:55:26.19	+62:39:34.00	19.3	13.06	2.1	1.6	0.60	0.91
22:55:36.82	+62:11:15.80	18.1	12.32	1.4	1.2	0.98	1.36
22:55:37.20	+63:00:04.90	19.0	12.24	1.6	1.6	0.94	1.29
22:55:38.17	+62:36:06.30	19.1	12.85	1.7	1.3	0.92	1.29
22:55:39.41	+62:37:39.00	19.1	12.29	2.1	1.7	0.68	1.11
22:55:52.04	+62:36:52.10	18.5	13.33	1.3	1.5	0.63	1.11
22:55:53.65	+58:14:31.30	18.4	13.33	1.2	2.1	0.57	1.08
22:55:58.51	+58:40:57.90	17.7	11.93	1.9	1.3	0.44	0.72
22:55:59.58	+62:37:57.50	18.0	13.34	1.1	1.5	0.61	0.87
22:56:02.82	+62:45:13.80	16.9	11.63	1.3	1.5	0.65	1.06
22:56:13.18	+62:35:33.10	15.2	10.12	1.2	1.0	0.66	1.02
22:56:17.55	+58:44:21.50	17.5	11.63	1.2	1.3	0.95	1.35
22:56:23.13	+62:43:54.20	18.8	12.68	1.8	1.4	0.64	1.13
22:56:26.03	+62:39:00.90	17.6	11.73	1.5	1.2	0.66	1.22
22:56:28.04	+63:08:34.10	19.2	13.68	1.3	1.4	0.83	1.10
22:56:30.87	+62:42:15.70	19.1	11.92	2.4	1.8	0.58	0.98
22:56:30.91	+58:24:47.40	18.3	10.67	1.7	1.2	1.28	1.63
22:57:12.85	+59:46:48.20	18.1	12.70	1.3	1.1	0.67	1.13
22:57:25.85	+62:56:29.00	19.3	13.01	1.5	1.6	0.54	0.99
22:59:06.10	+62:46:30.00	17.6	12.56	1.1	1.7	0.65	1.11
23:00:34.78	+62:34:36.30	18.6	12.47	1.6	1.4	0.90	1.49
23:01:37.10	+61:26:13.30	18.1	10.99	1.5	1.2	1.02	1.49

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
23:01:51.49	+61:40:54.20	18.1	13.26	1.6	1.1	0.50	0.86
23:03:14.95	+63:12:51.80	18.6	13.24	1.1	1.4	1.22	1.56
23:03:27.99	+62:31:06.80	17.1	10.29	1.7	1.2	0.86	1.37
23:03:42.17	+61:18:50.40	17.6	11.12	1.9	2.0	0.70	1.23
23:03:46.02	+61:48:46.20	14.6	9.33	1.1	1.1	0.85	1.18
23:04:03.38	+61:51:37.50	16.4	10.97	1.2	1.2	0.82	1.22
23:04:12.45	+59:39:54.00	17.9	12.79	1.4	1.0	0.61	1.15
23:04:13.56	+59:57:27.00	18.5	13.57	1.2	1.1	0.63	1.06
23:04:39.95	+62:26:19.80	18.4	12.22	1.7	1.1	0.80	1.31
23:06:02.00	+60:12:38.70	19.3	14.73	1.0	1.5	0.68	0.82
23:06:38.25	+62:32:04.10	16.4	9.99	1.5	1.1	0.94	1.32
23:07:56.11	+62:24:14.40	19.4	12.90	2.2	1.8	0.51	0.85
23:08:18.22	+58:34:14.90	19.4	15.13	1.1	0.9	0.45	0.86
23:08:45.42	+62:27:12.50	19.1	12.68	2.0	1.6	0.63	1.04
23:08:47.33	+58:25:07.50	18.3	13.23	1.1	1.0	0.75	1.03
23:10:47.31	+62:36:28.70	18.6	12.23	1.9	1.6	0.65	1.16
23:11:42.83	+66:00:11.30	17.8	12.28	1.8	1.2	0.53	0.85
23:11:59.45	+59:53:26.50	19.1	13.90	1.1	1.1	0.81	1.24
23:12:01.75	+63:41:05.70	18.5	10.79	1.6	1.1	1.33	1.80
23:12:03.04	+60:18:38.60	17.7	10.15	1.6	1.2	1.25	1.67
23:12:04.71	+62:46:00.30	15.2	10.65	1.2	1.1	0.55	0.72
23:12:23.26	+61:43:18.40	18.1	12.53	1.7	1.4	0.53	0.93
23:13:07.09	+59:02:47.90	14.5	9.39	0.8	0.9	1.15	1.25
23:13:19.53	+59:50:16.20	18.6	13.31	1.2	1.0	0.79	0.95
23:15:26.39	+64:22:25.20	18.5	12.83	1.3	1.2	0.77	1.01
23:15:56.90	+61:45:16.90	17.8	12.63	1.0	1.5	0.93	1.26
23:16:10.45	+62:13:03.40	19.4	13.93	1.7	1.7	0.64	0.78
23:16:40.86	+62:20:57.10	16.8	11.89	1.1	1.0	0.97	1.29
23:17:35.92	+63:45:06.40	16.1	9.40	1.5	1.8	1.32	1.48
23:18:26.54	+59:53:46.60	19.2	14.15	1.1	1.1	0.77	1.17
23:18:36.35	+64:04:06.50	17.7	11.57	1.3	1.2	1.08	1.27
23:20:05.35	+62:18:41.70	17.6	12.19	1.4	1.3	0.62	1.10
23:22:27.11	+59:03:11.30	19.2	14.77	1.1	1.0	0.56	0.86
23:24:08.30	+59:17:52.90	19.5	13.97	1.3	1.3	0.88	1.08
23:26:40.12	+62:18:58.10	15.8	11.47	1.0	1.0	0.71	0.95
23:29:07.04	+59:34:30.40	17.4	9.43	1.6	1.3	1.27	1.71
23:29:37.83	+62:13:07.30	17.9	12.84	1.5	2.0	0.50	0.76
23:30:35.06	+59:55:26.00	19.2	13.74	1.5	1.4	0.60	1.02
23:32:44.44	+61:44:10.80	17.5	12.67	1.2	1.1	0.65	0.85
23:35:42.67	+62:12:28.50	18.2	13.15	1.7	1.1	0.43	0.85
23:36:18.62	+62:37:08.90	17.8	13.03	1.2	1.0	0.65	1.15
23:39:24.79	+61:59:40.90	18.6	12.18	1.7	1.2	0.91	1.26
23:40:39.28	+61:35:45.20	18.5	13.13	1.3	1.3	0.64	1.12
23:41:25.21	+65:40:42.60	15.0	7.45	1.6	1.5	1.36	1.68

Tabla A2 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
23:41:33.78	+63:53:23.40	16.1	10.44	1.5	1.1	0.69	1.18
23:46:58.61	+59:01:43.20	17.3	12.54	1.1	1.1	0.76	1.08
23:47:32.55	+63:23:46.30	16.8	11.26	1.7	1.2	0.57	0.93
23:48:35.75	+66:30:53.40	15.7	11.29	1.0	1.0	0.62	1.03
23:51:05.38	+62:52:03.80	18.8	13.95	1.2	1.0	0.57	1.01
23:53:05.89	+60:21:12.70	19.3	12.03	1.8	1.3	0.98	1.39
23:56:09.52	+65:57:23.70	18.5	12.46	1.9	1.4	0.62	0.85
23:56:57.56	+58:30:34.90	16.8	10.83	2.1	1.5	0.48	0.87
23:57:27.29	+58:28:42.10	17.8	11.01	1.1	1.9	0.90	1.39
23:57:34.77	+64:46:49.10	14.4	9.88	1.0	1.0	0.67	0.94
23:58:12.52	+62:54:34.90	18.5	14.00	1.1	1.1	0.66	0.87
23:59:19.98	+66:23:12.00	14.6	8.99	1.3	1.3	0.83	1.23

B

Espectro de los candidatos observados

Figura B1 - El flujo ha sido normalizado al flujo promedio en el rango entre 4800 Å y 5500 Å. Nótese que las dos partes (azul y roja) de cada espectro tienen escalas diferentes.

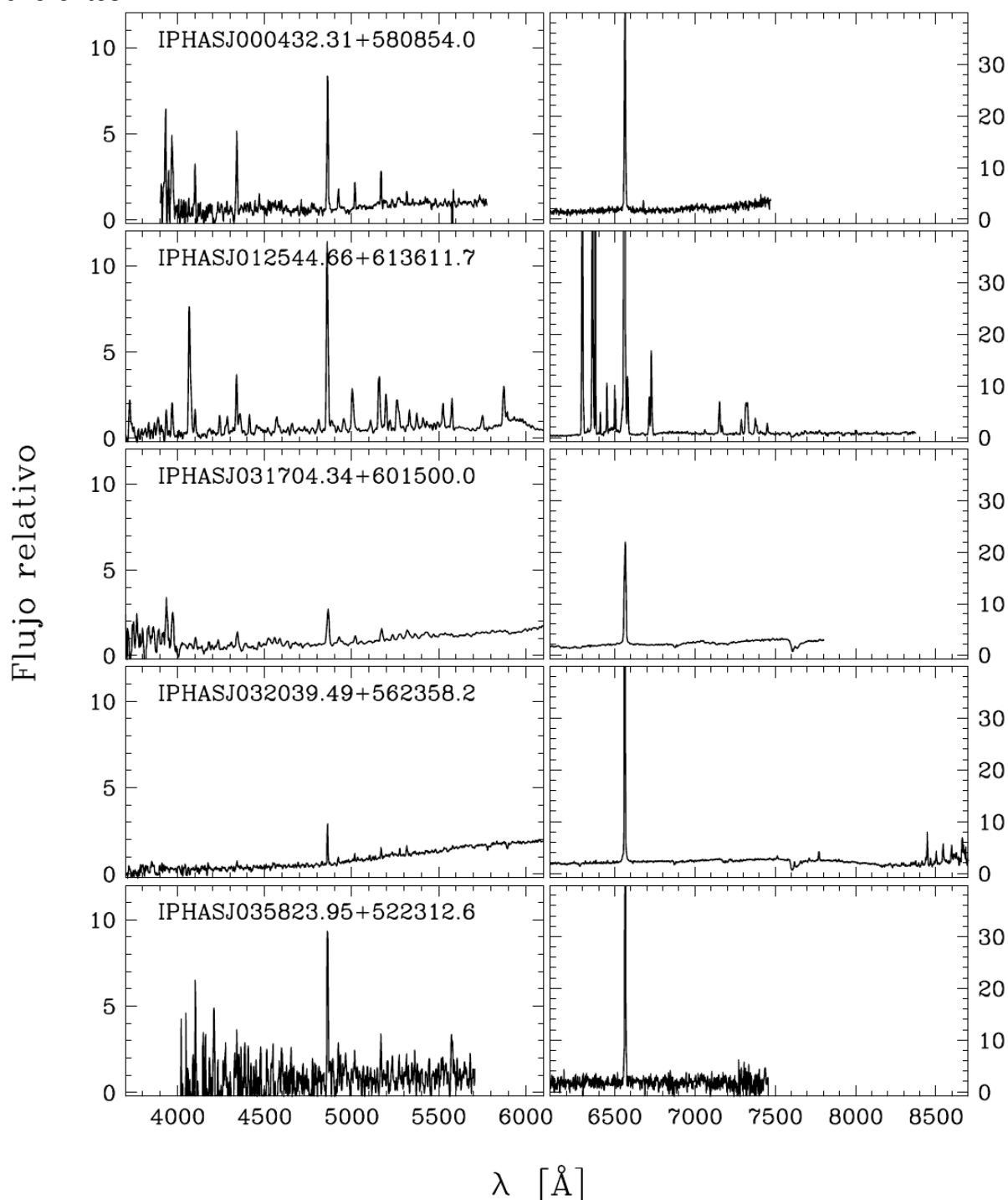


Figura B1 - Cont.

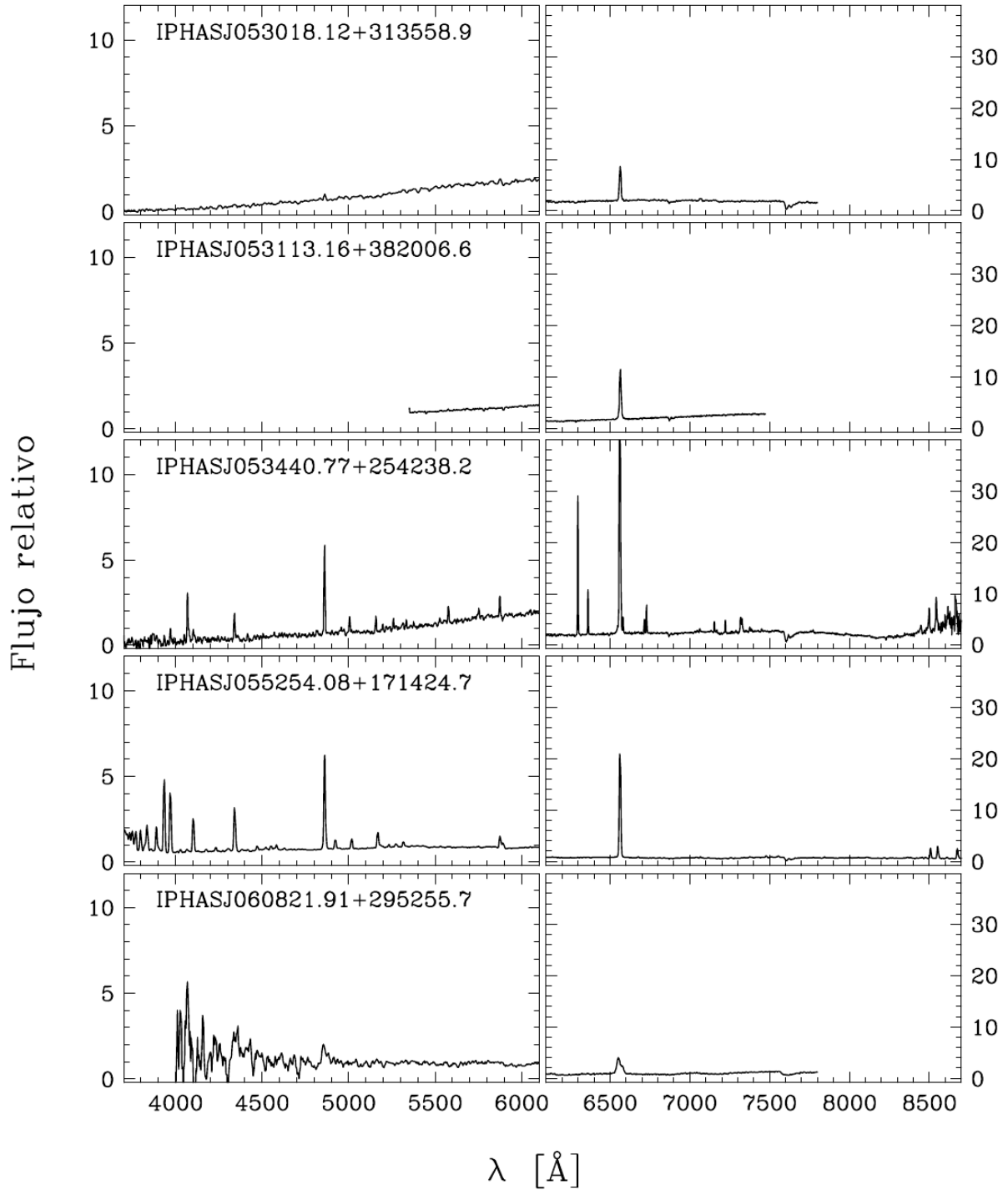


Figura B1 - Cont.

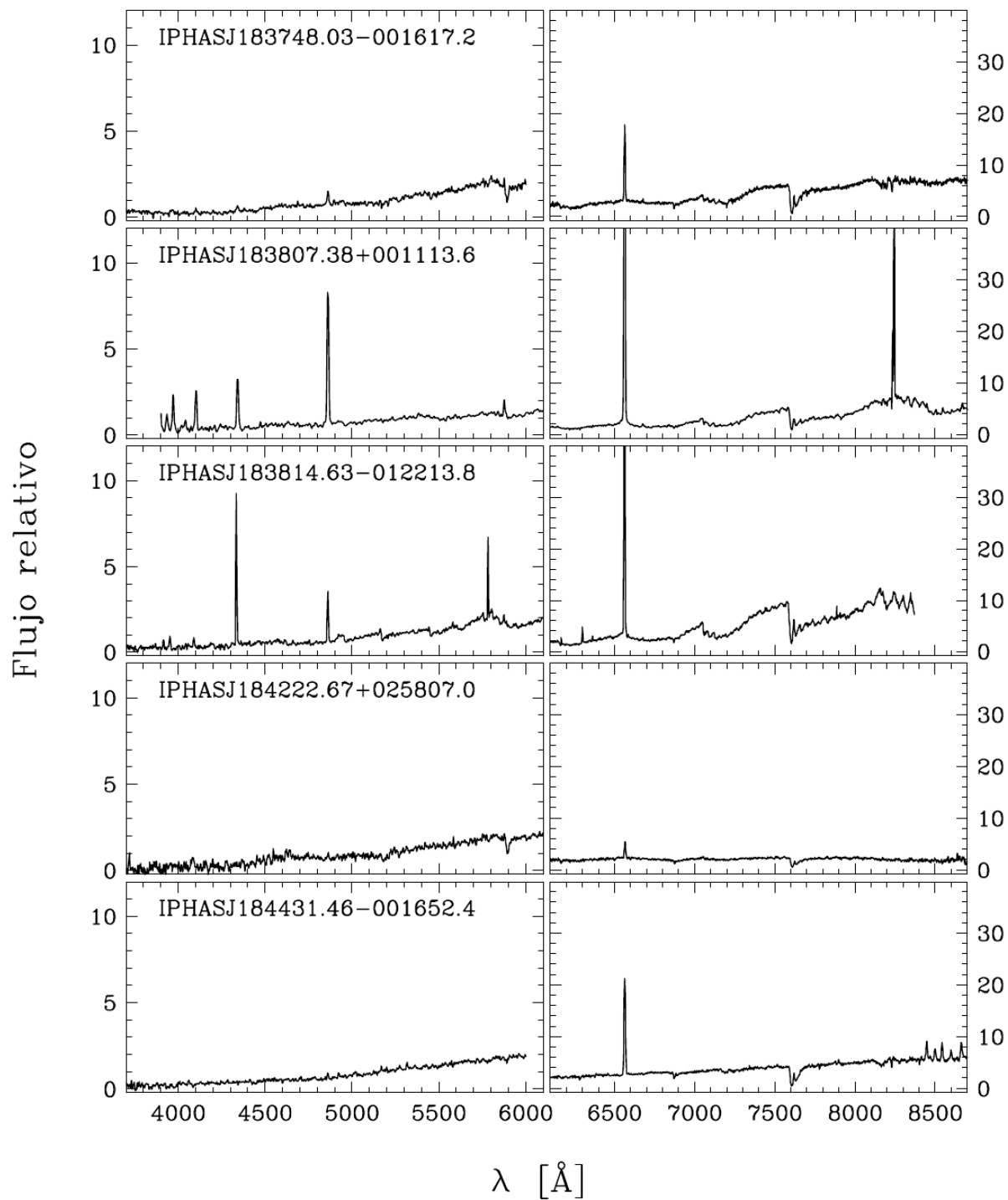


Figura B1 - Cont.

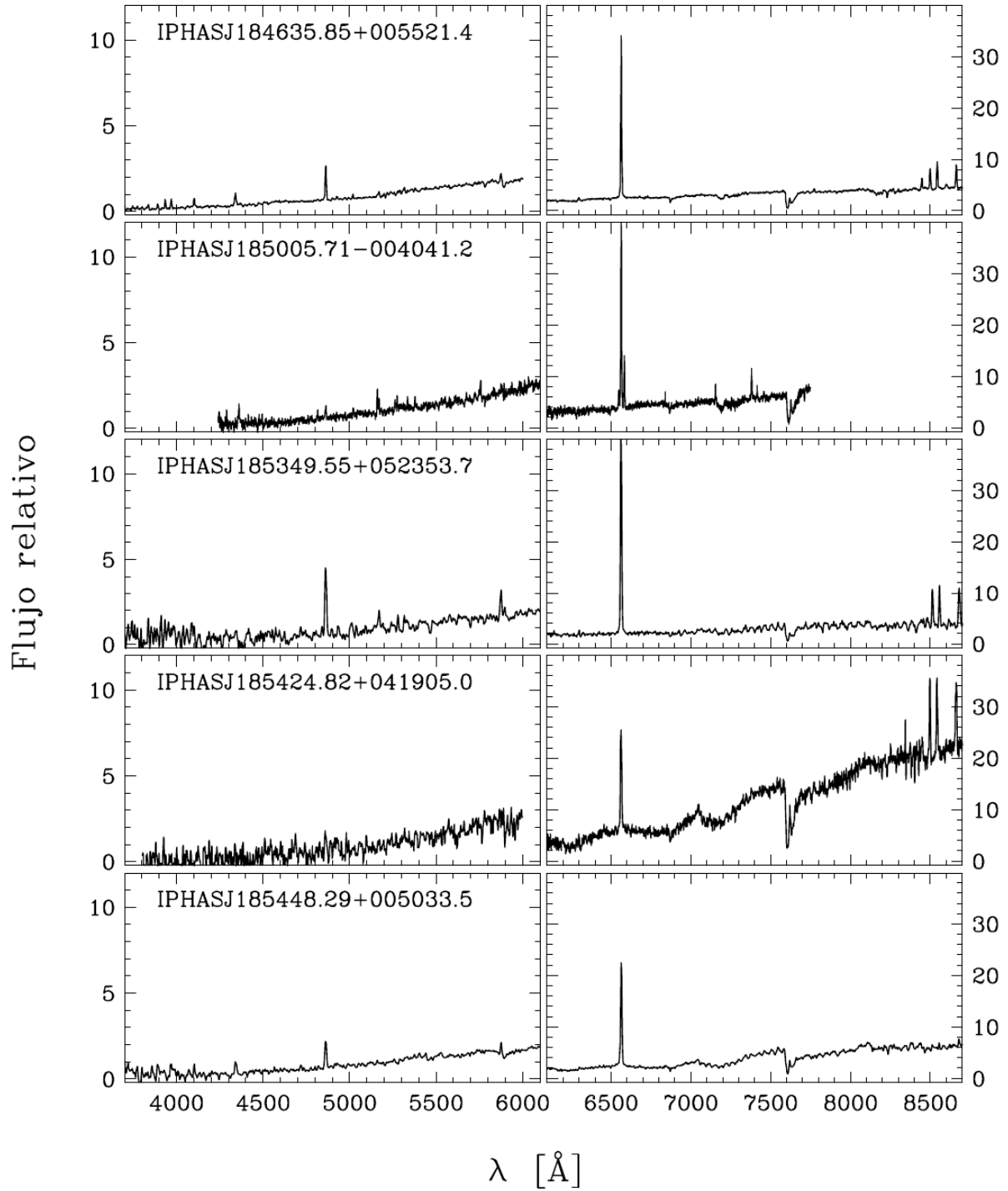


Figura B1 - Cont.

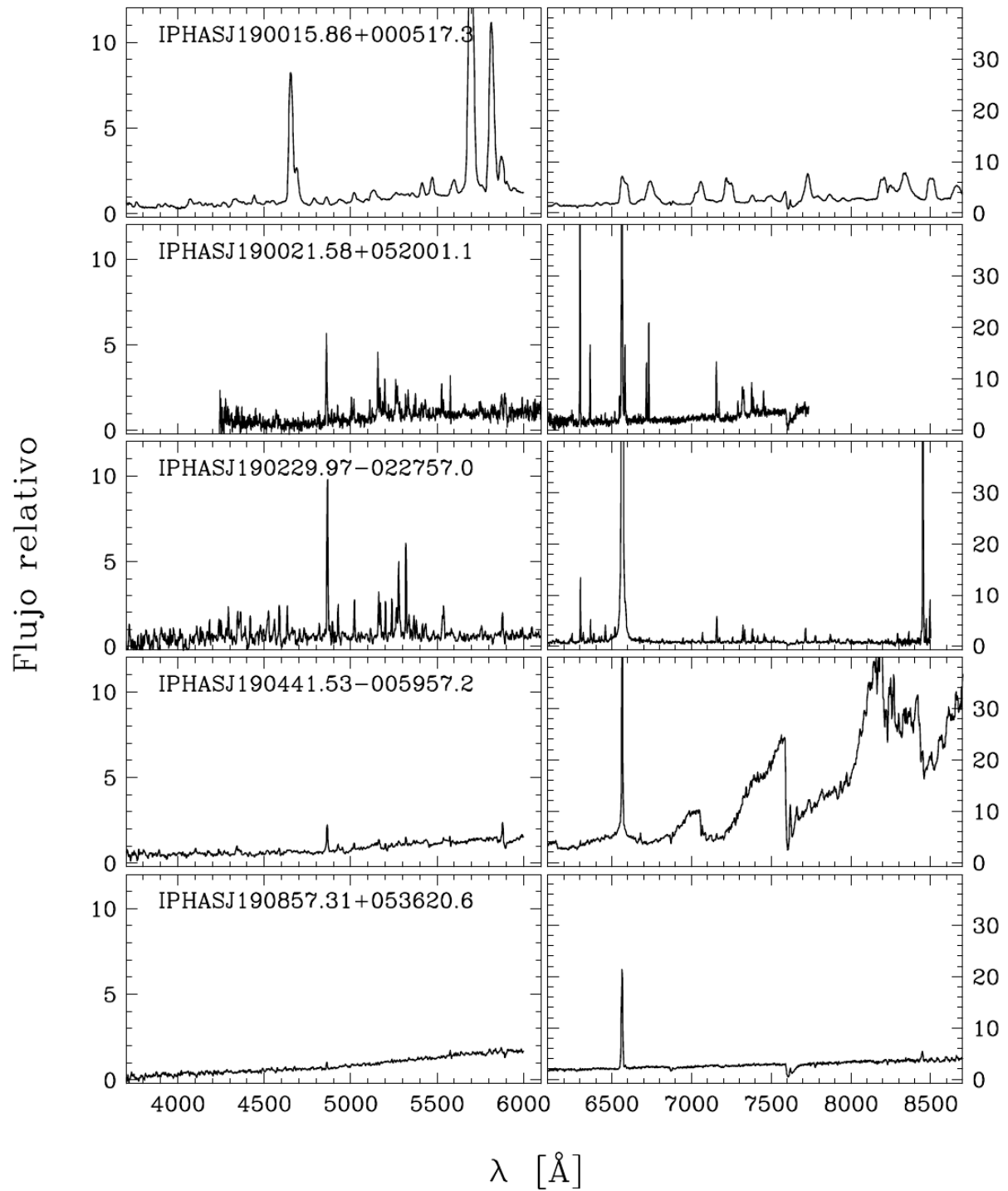


Figura B1 - Cont.

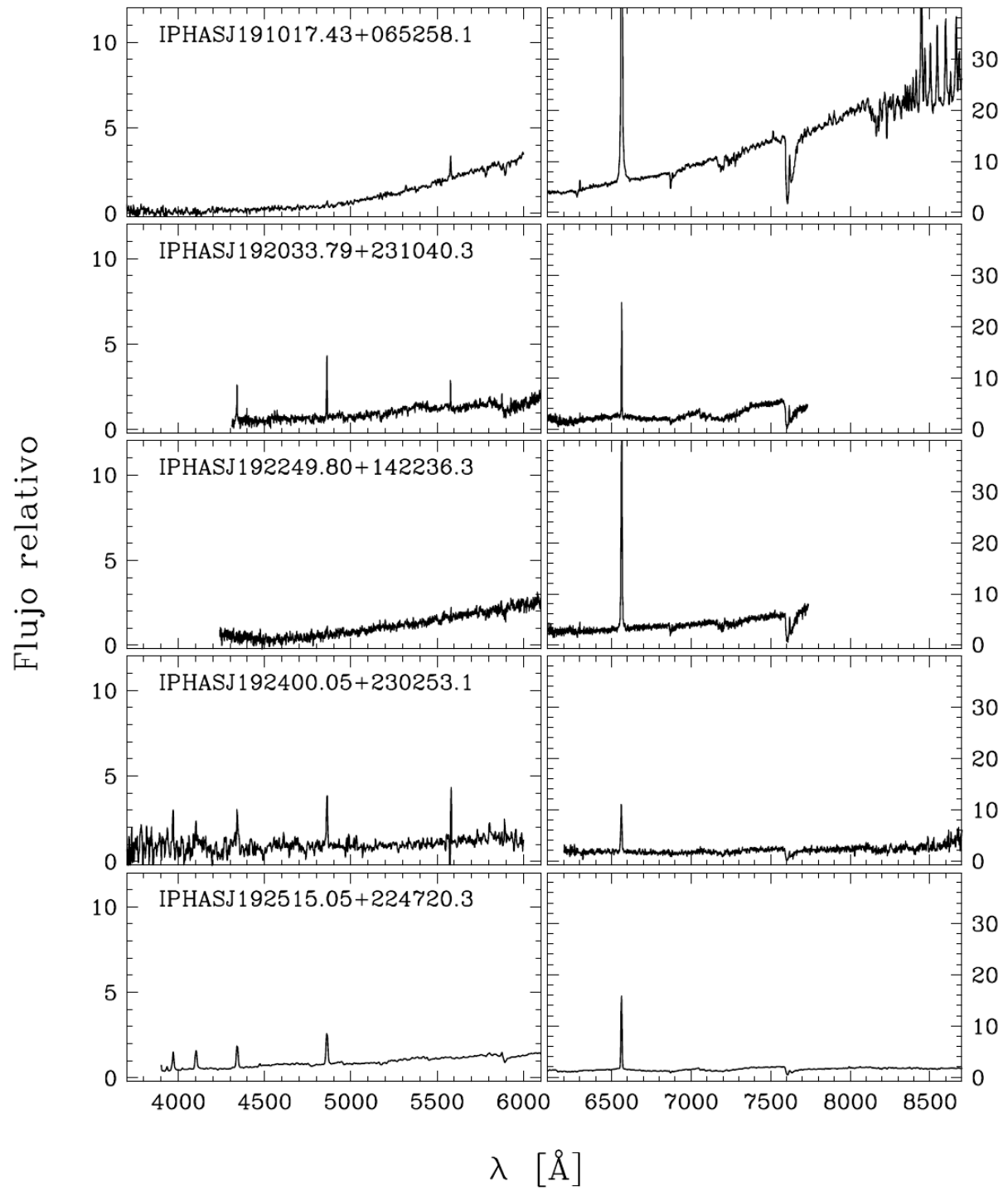


Figura B1 - Cont.

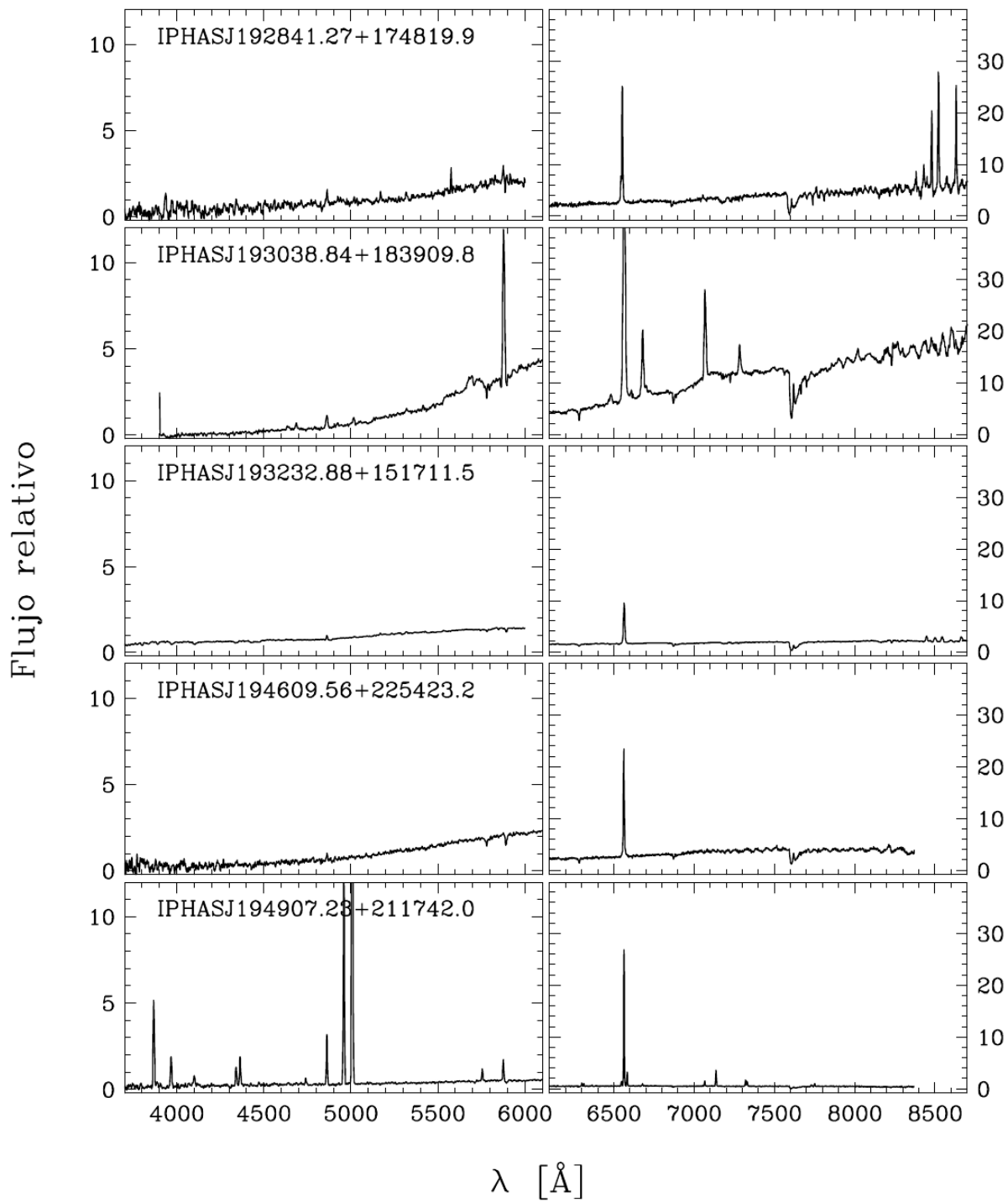


Figura B1 - Cont.

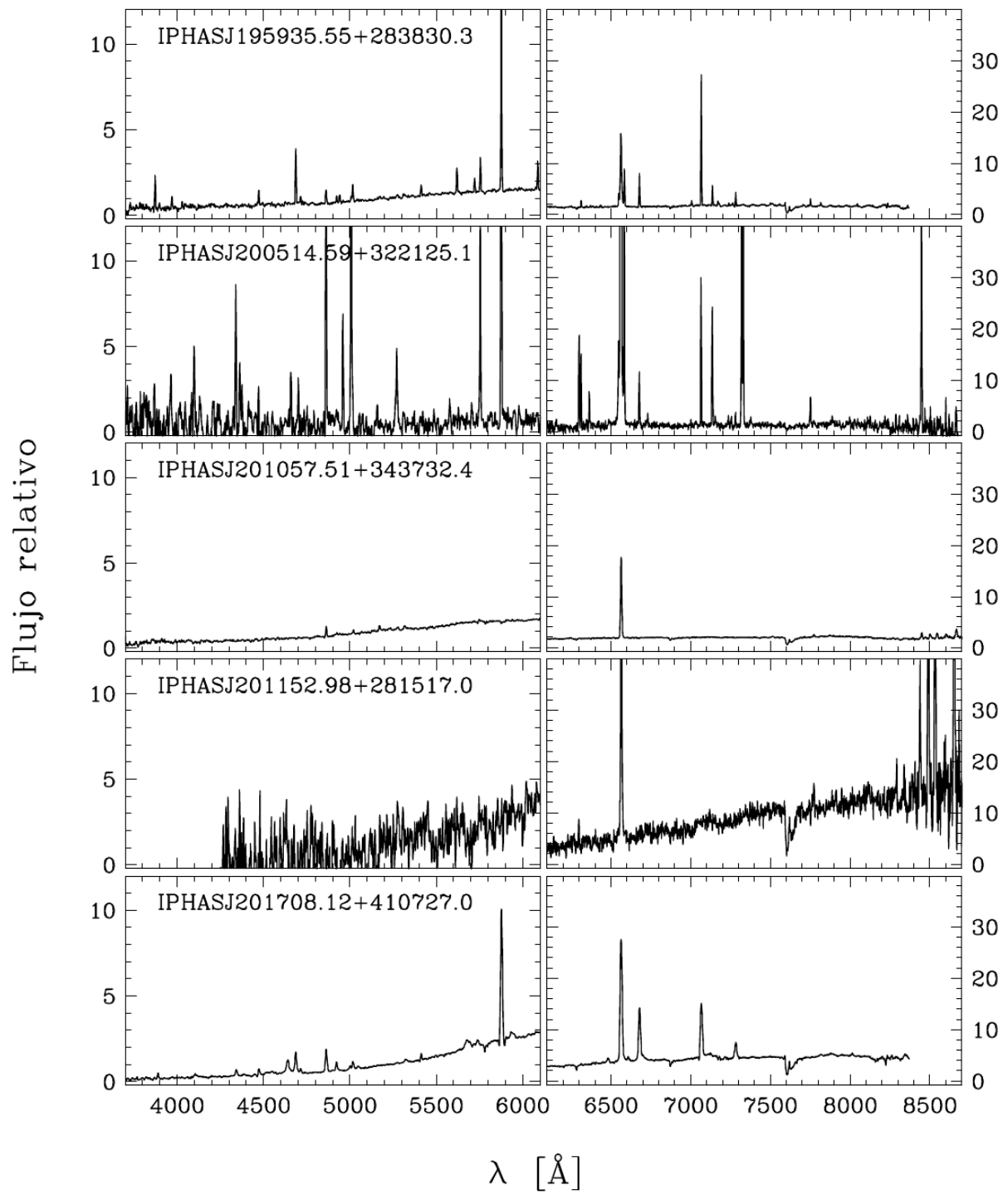


Figura B1 - Cont.

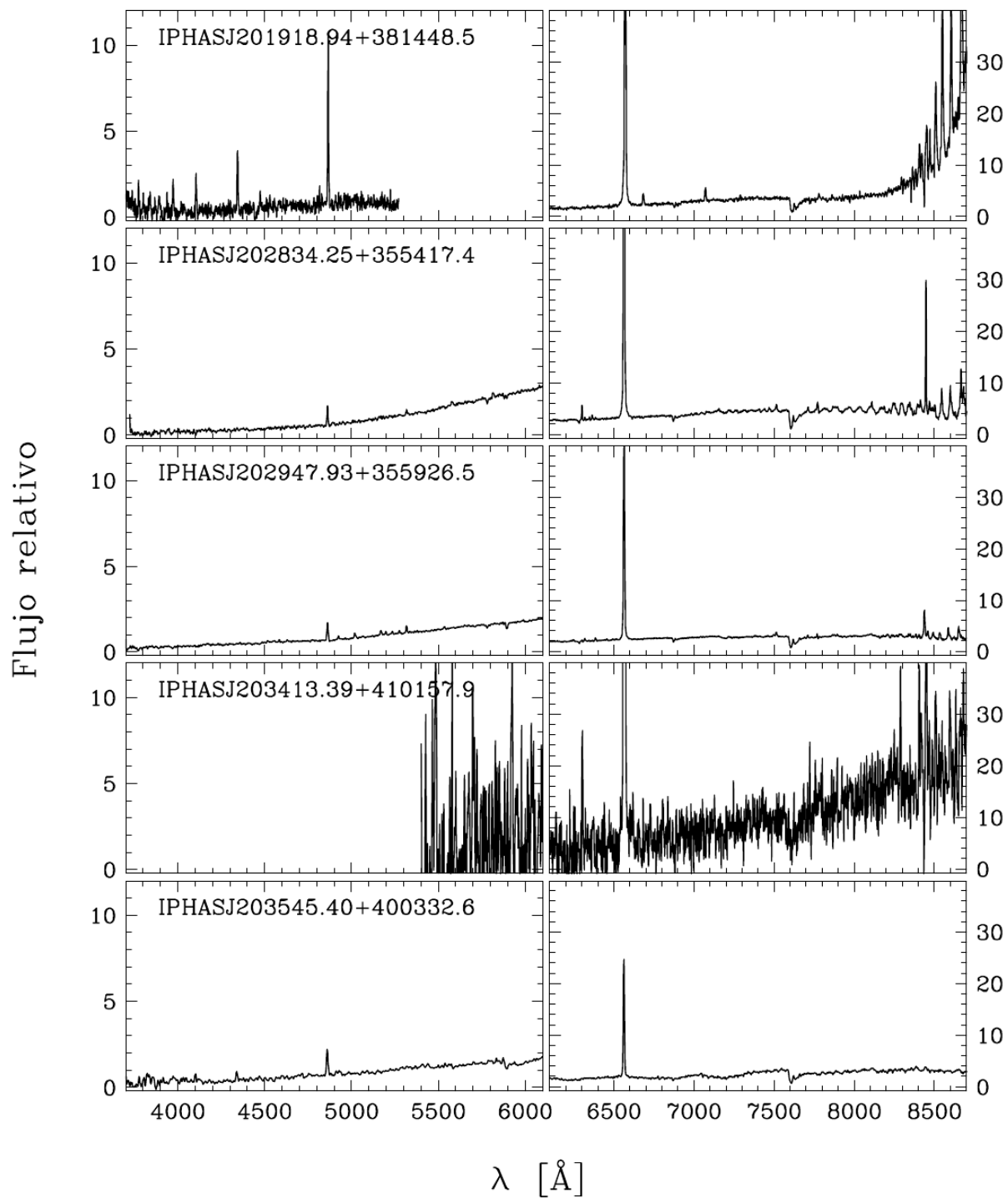


Figura B1 - Cont.

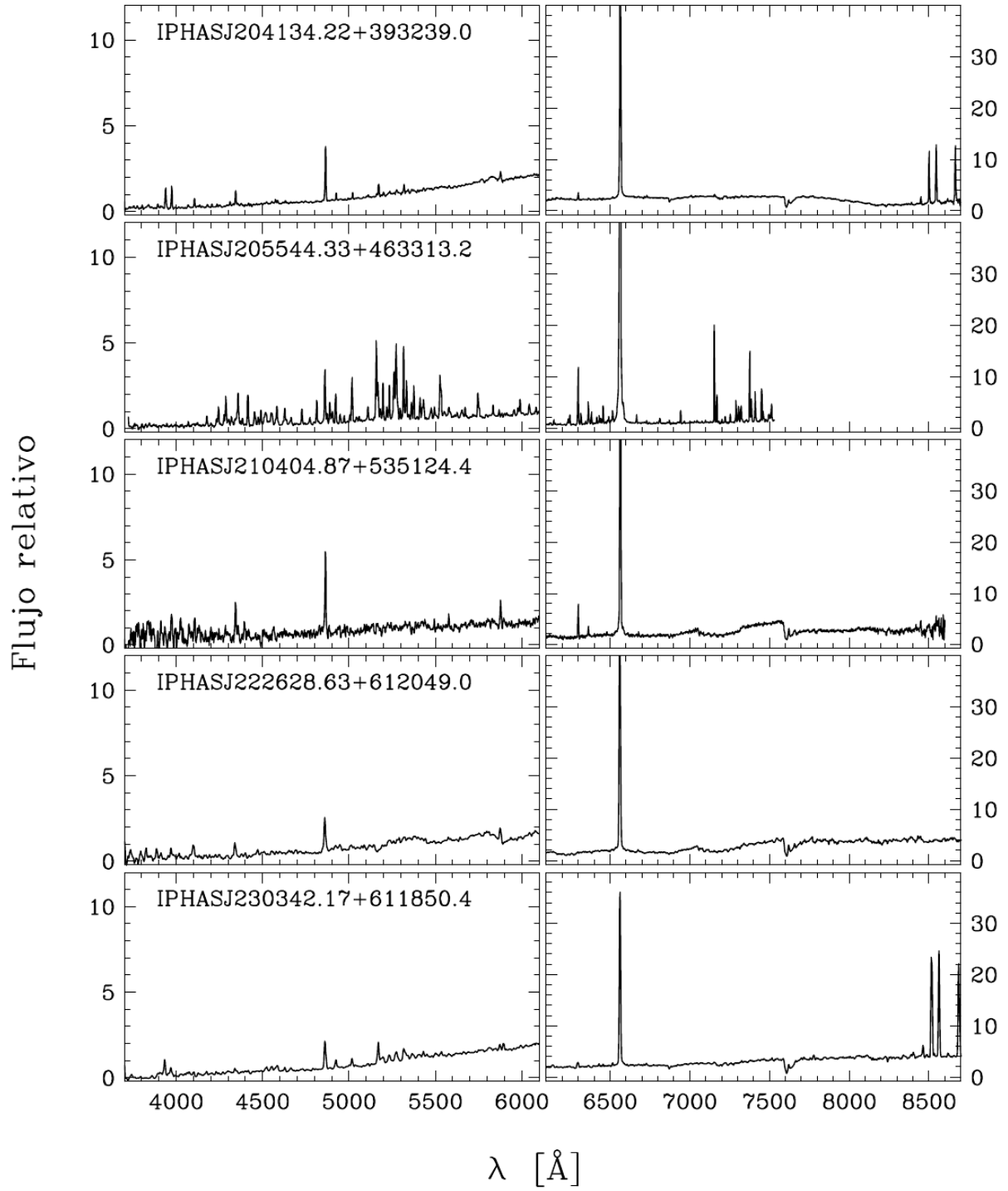


Figura B1 - Cont.

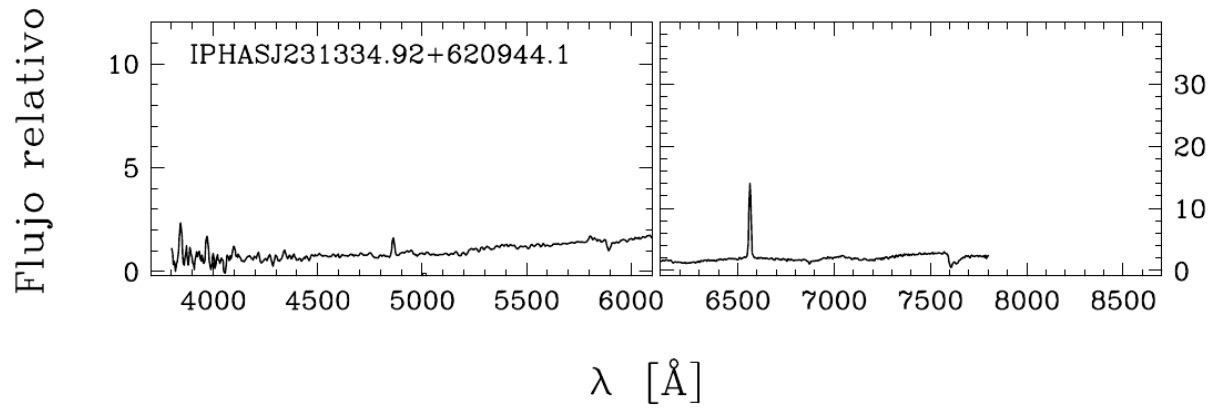


Figura B2 – Igual que la figura B1, para los espectros obtenidos con el telescopio *Tillinghast/FAST*.

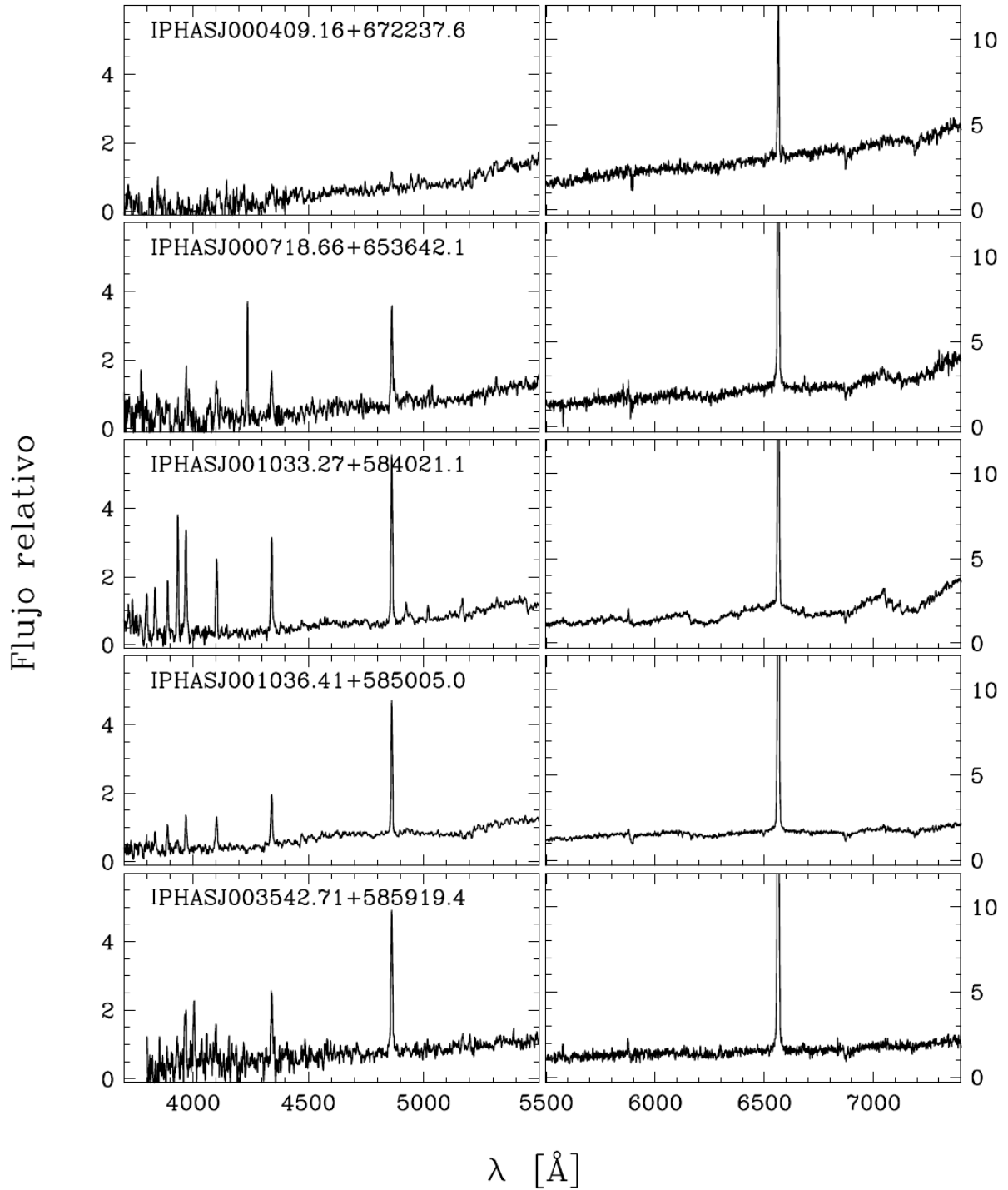


Figura B2 - Cont.

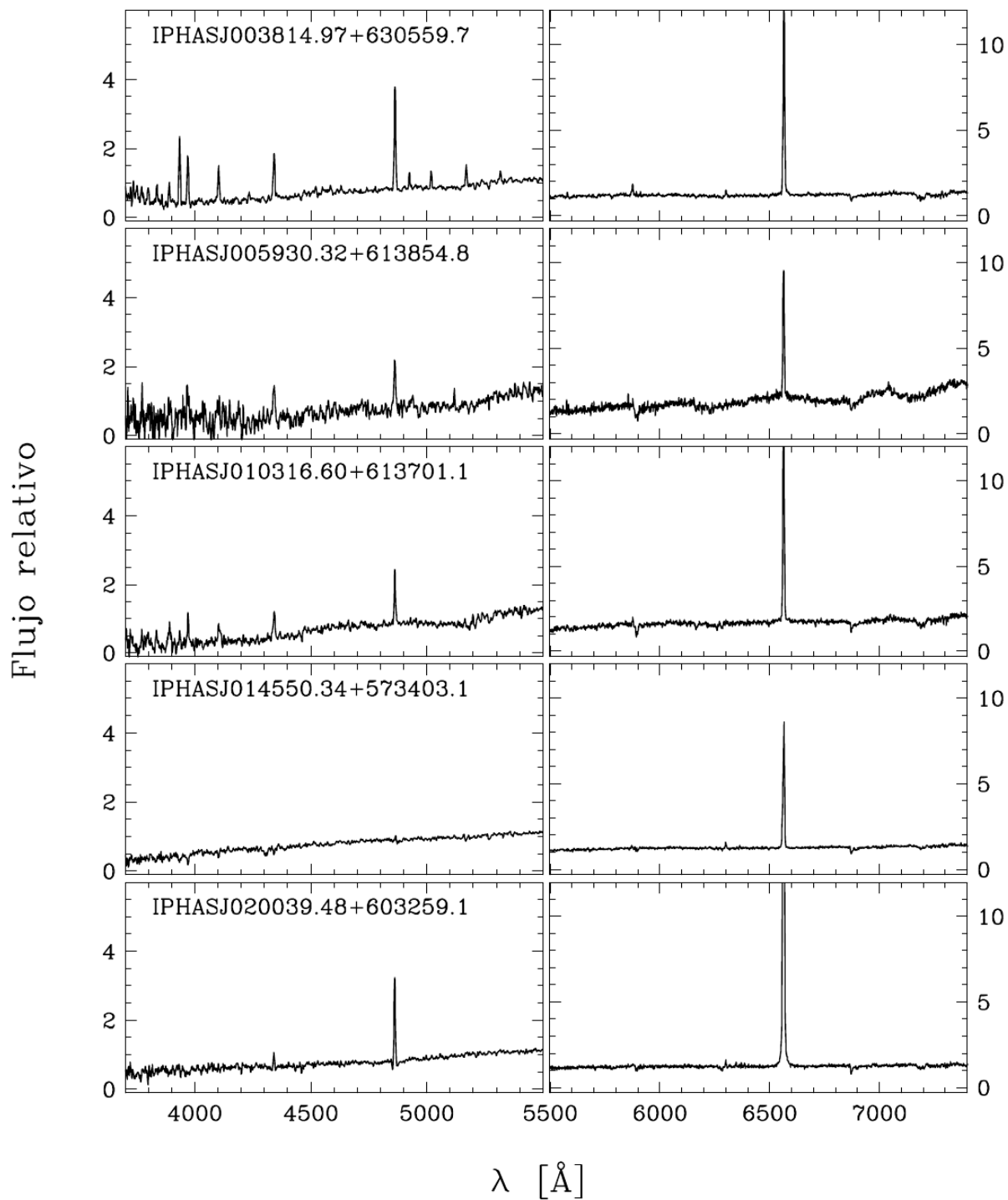


Figura B2 - Cont.

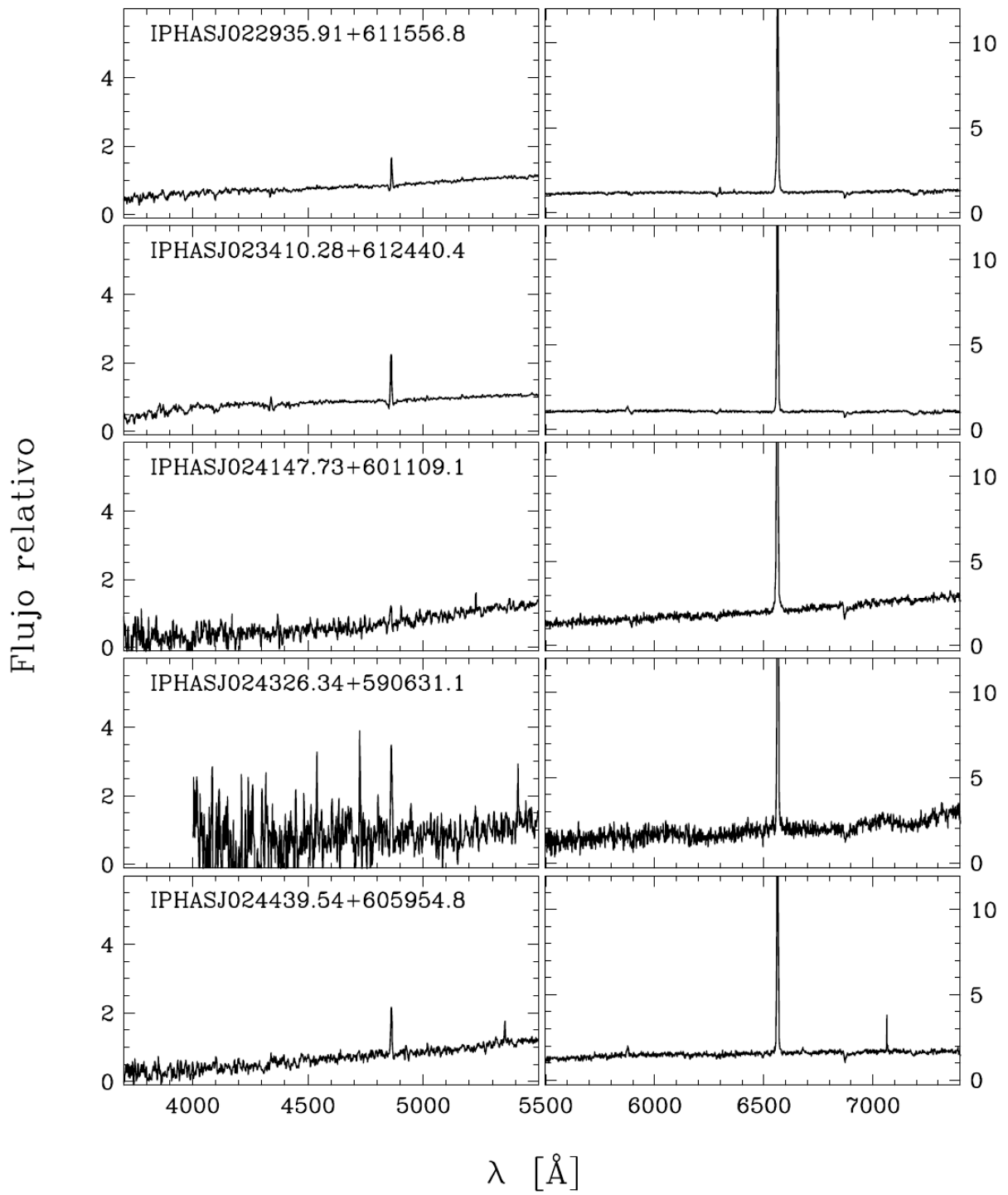


Figura B2 - Cont.

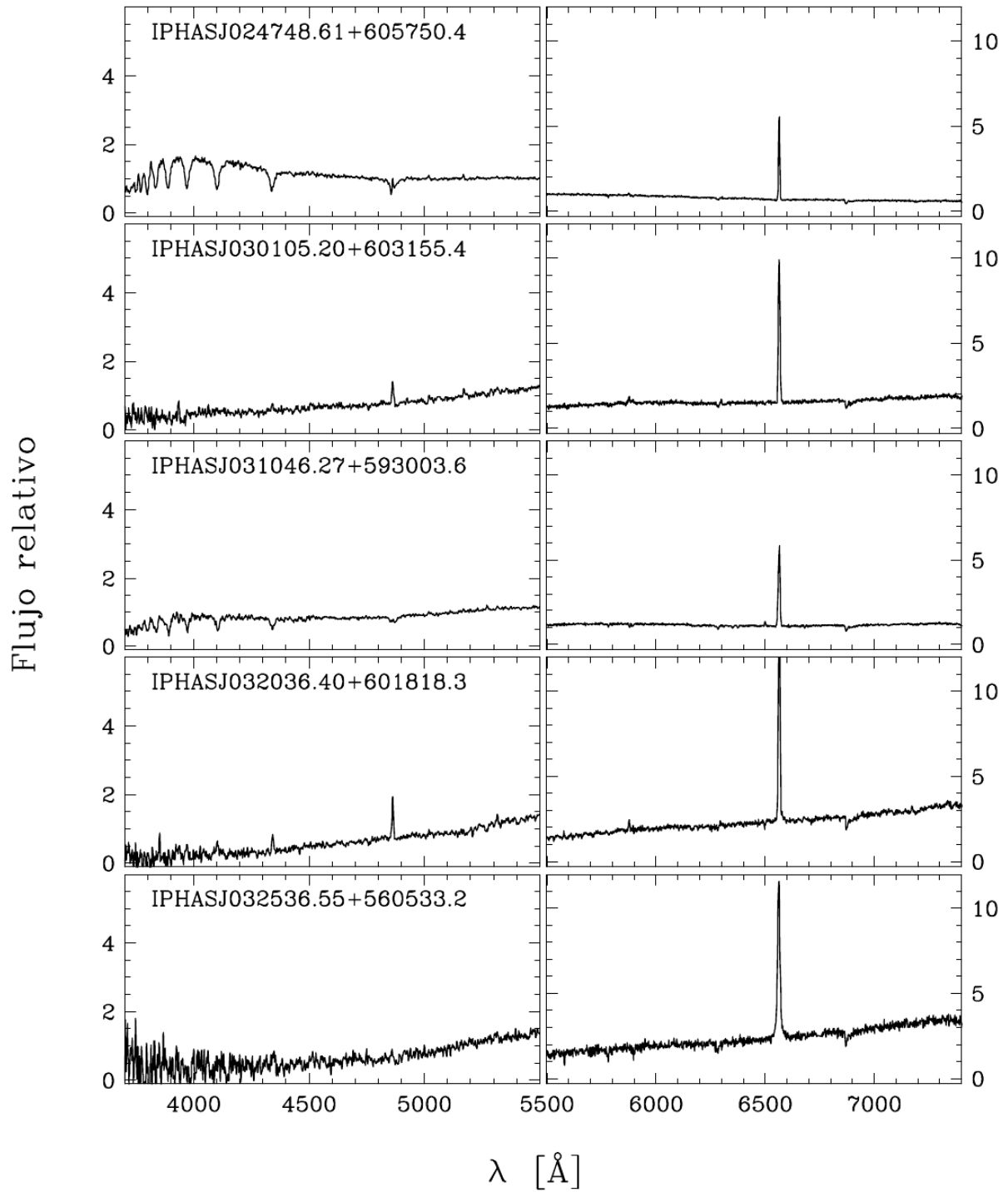


Figura B2 - Cont.

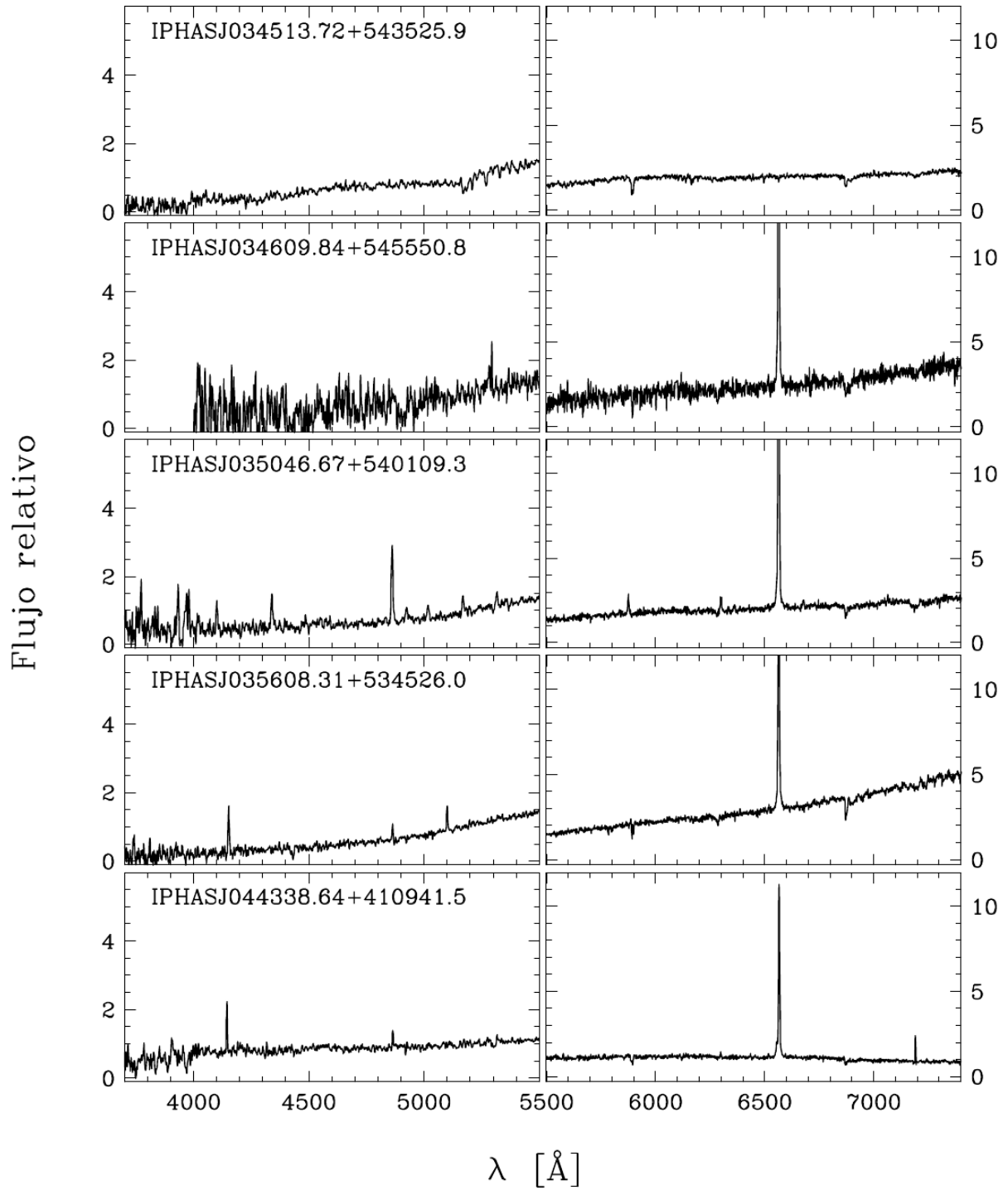


Figura B2 - Cont.

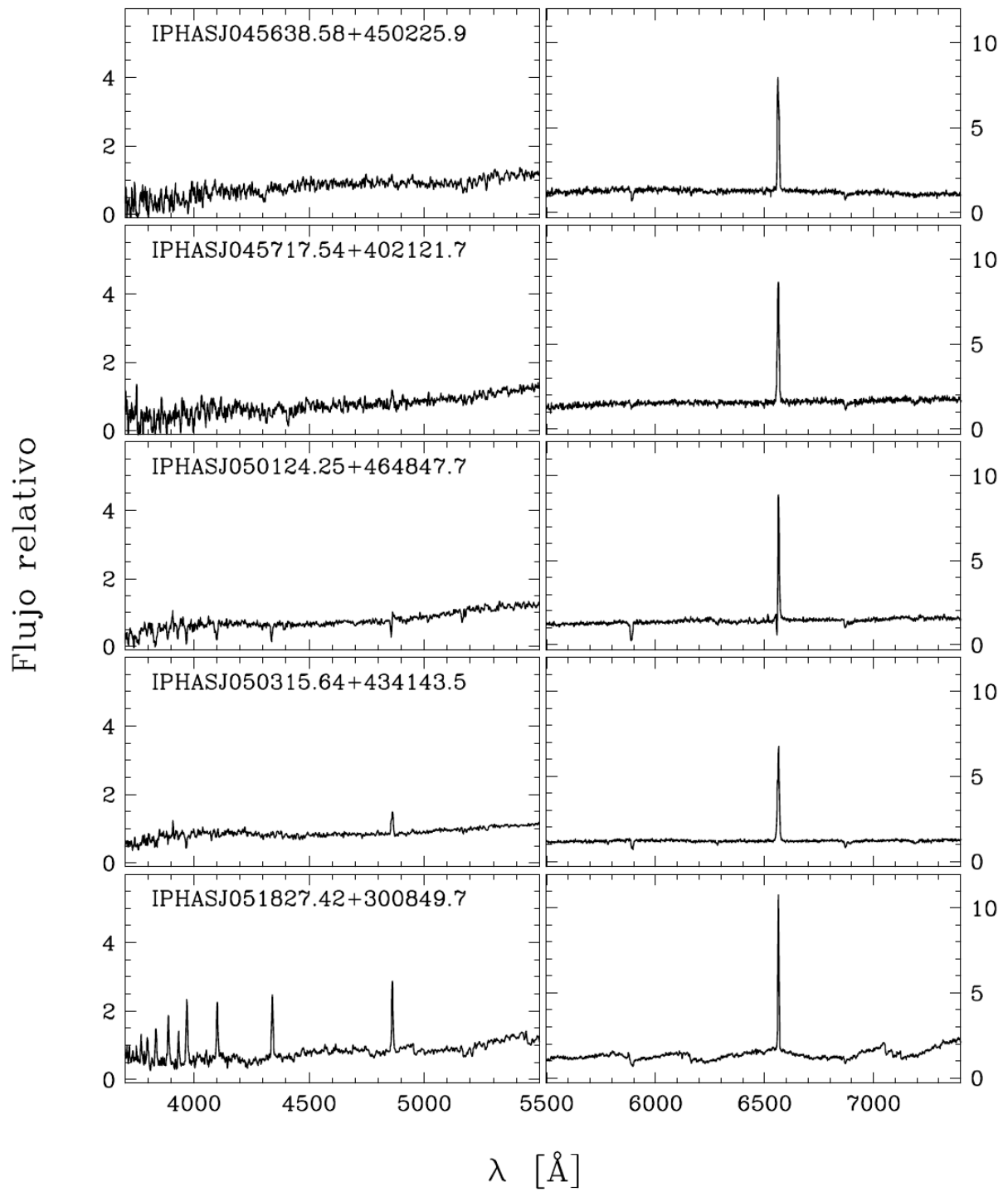


Figura B2 - Cont.

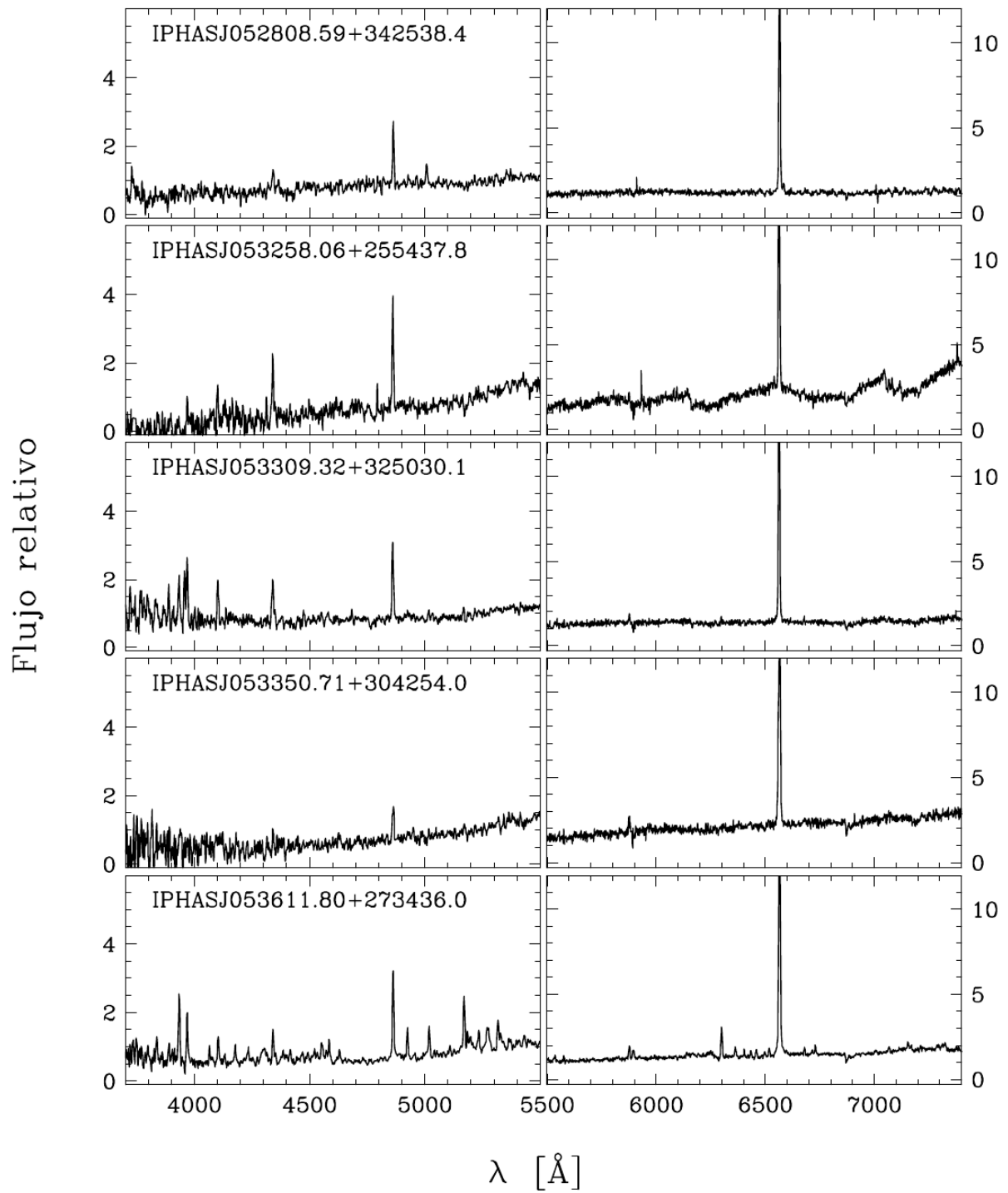


Figura B2 - Cont.

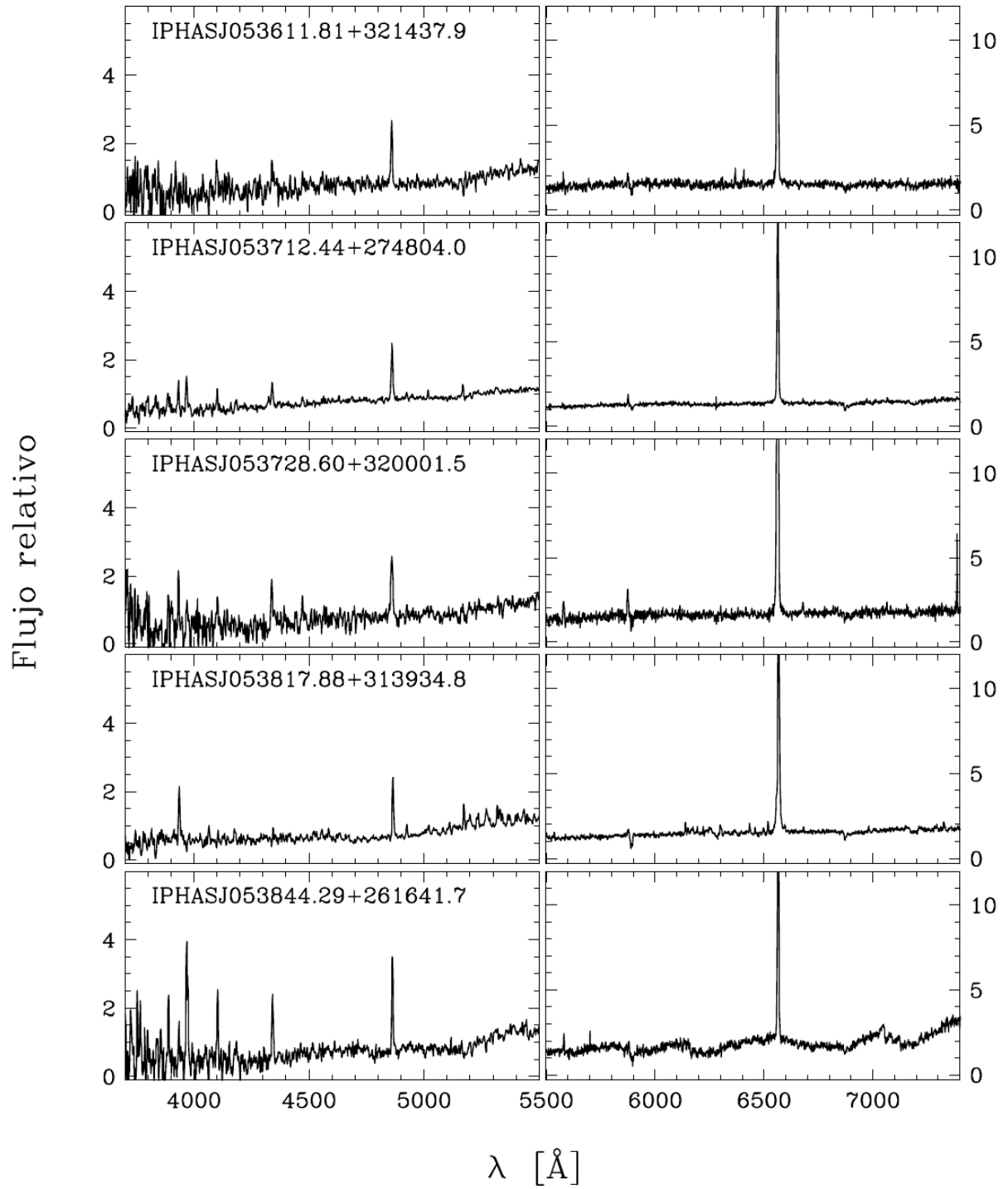


Figura B2 - Cont.

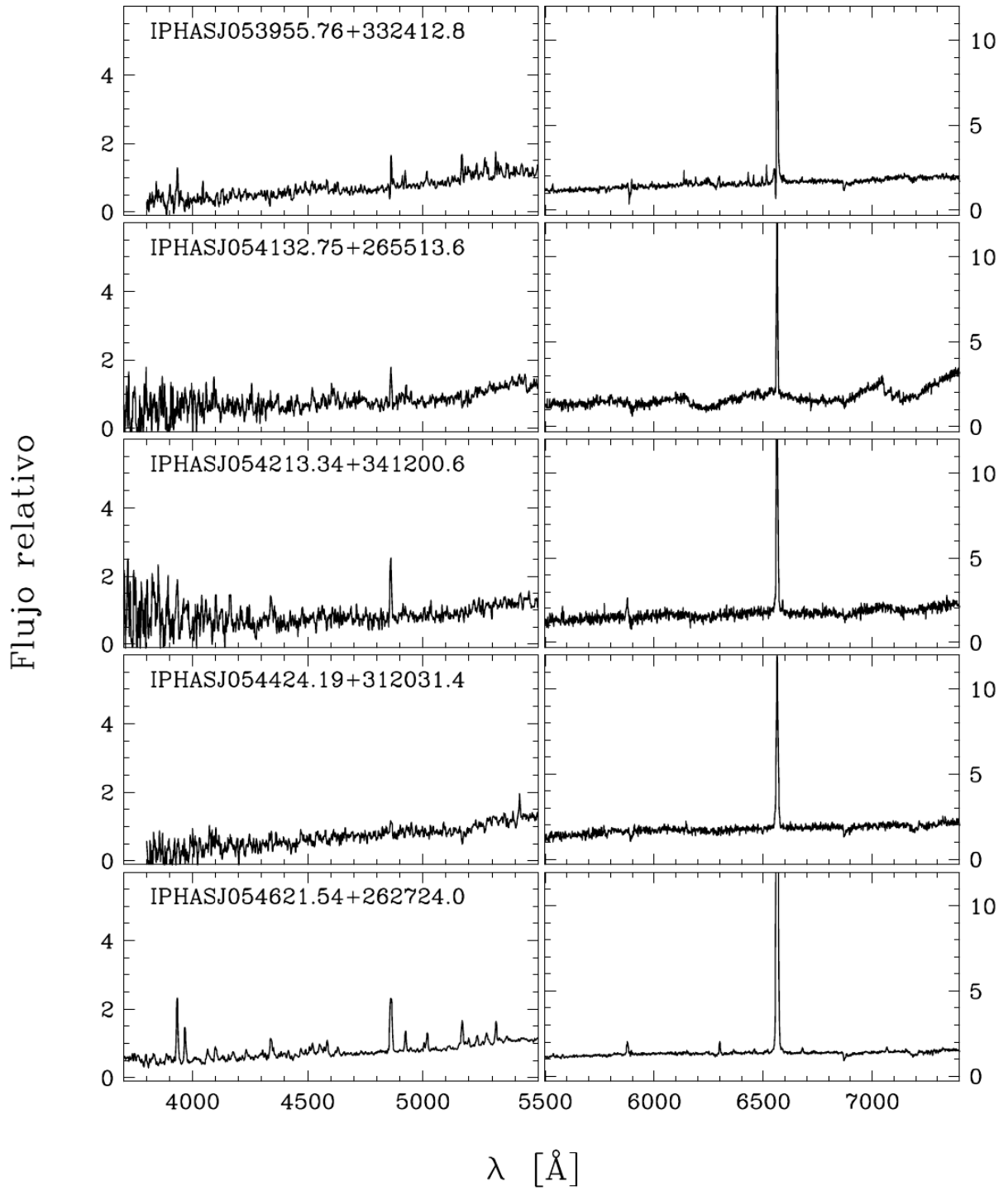


Figura B2 - Cont.

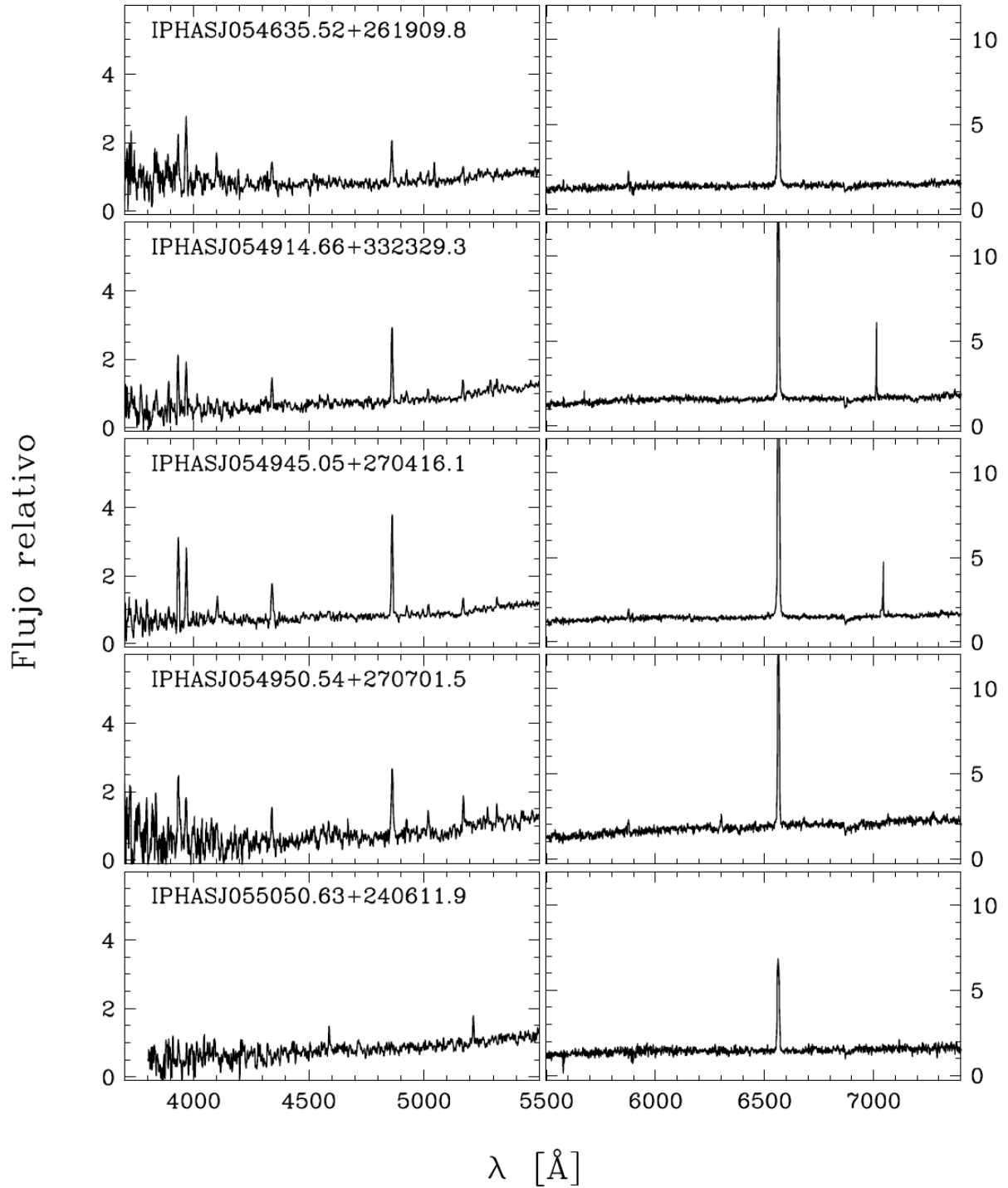


Figura B2 - Cont.

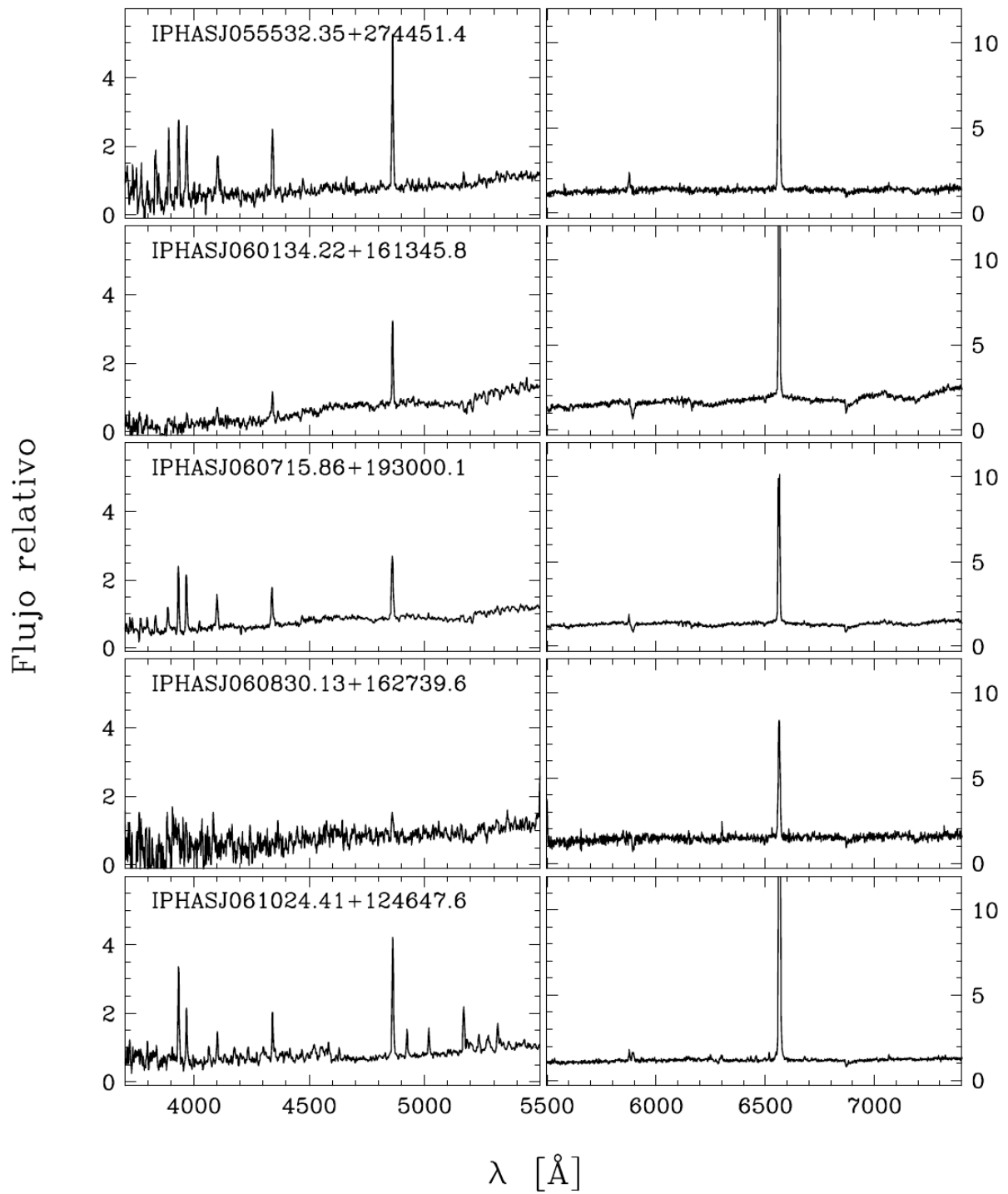


Figura B2 - Cont.

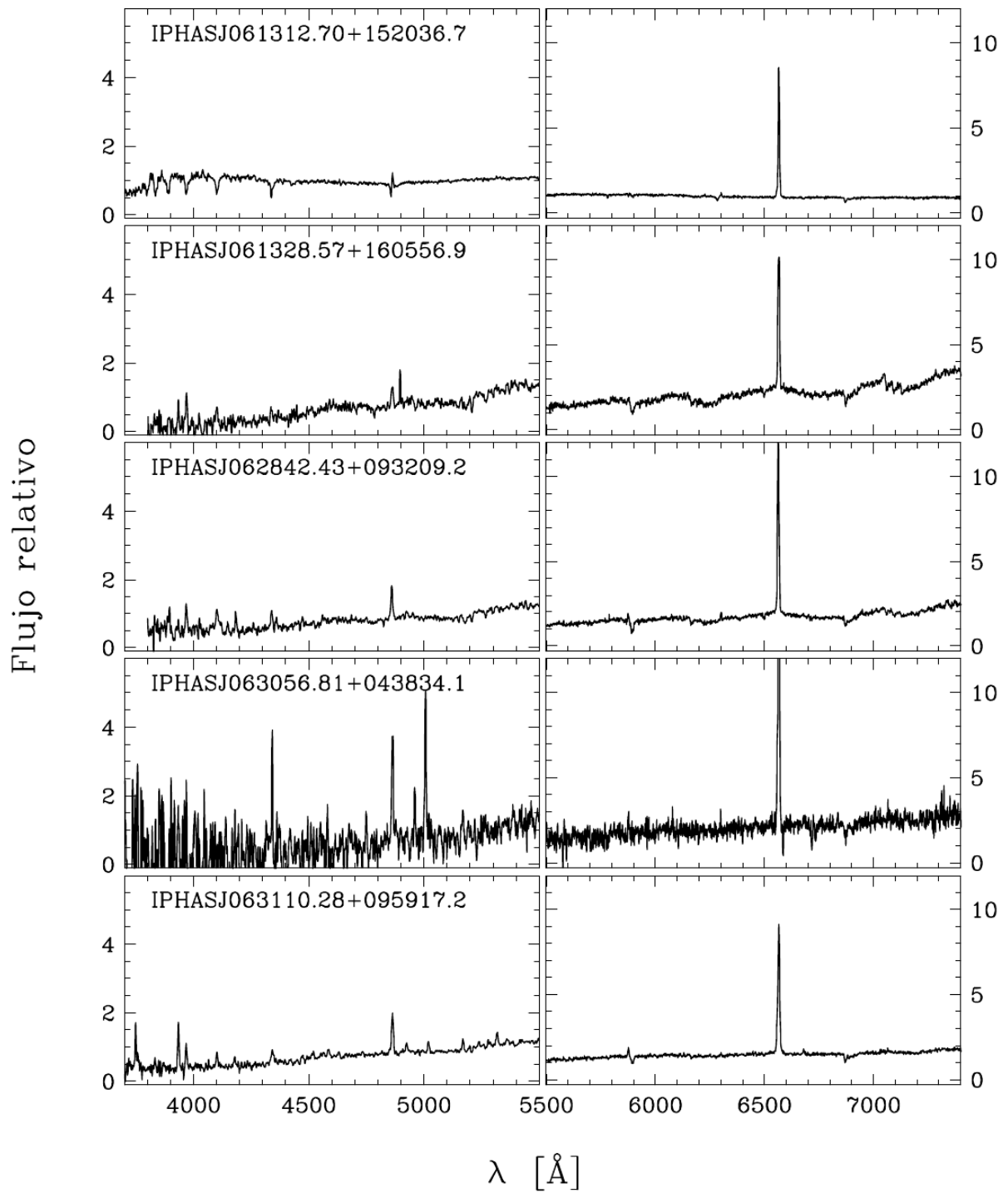


Figura B2 - Cont.

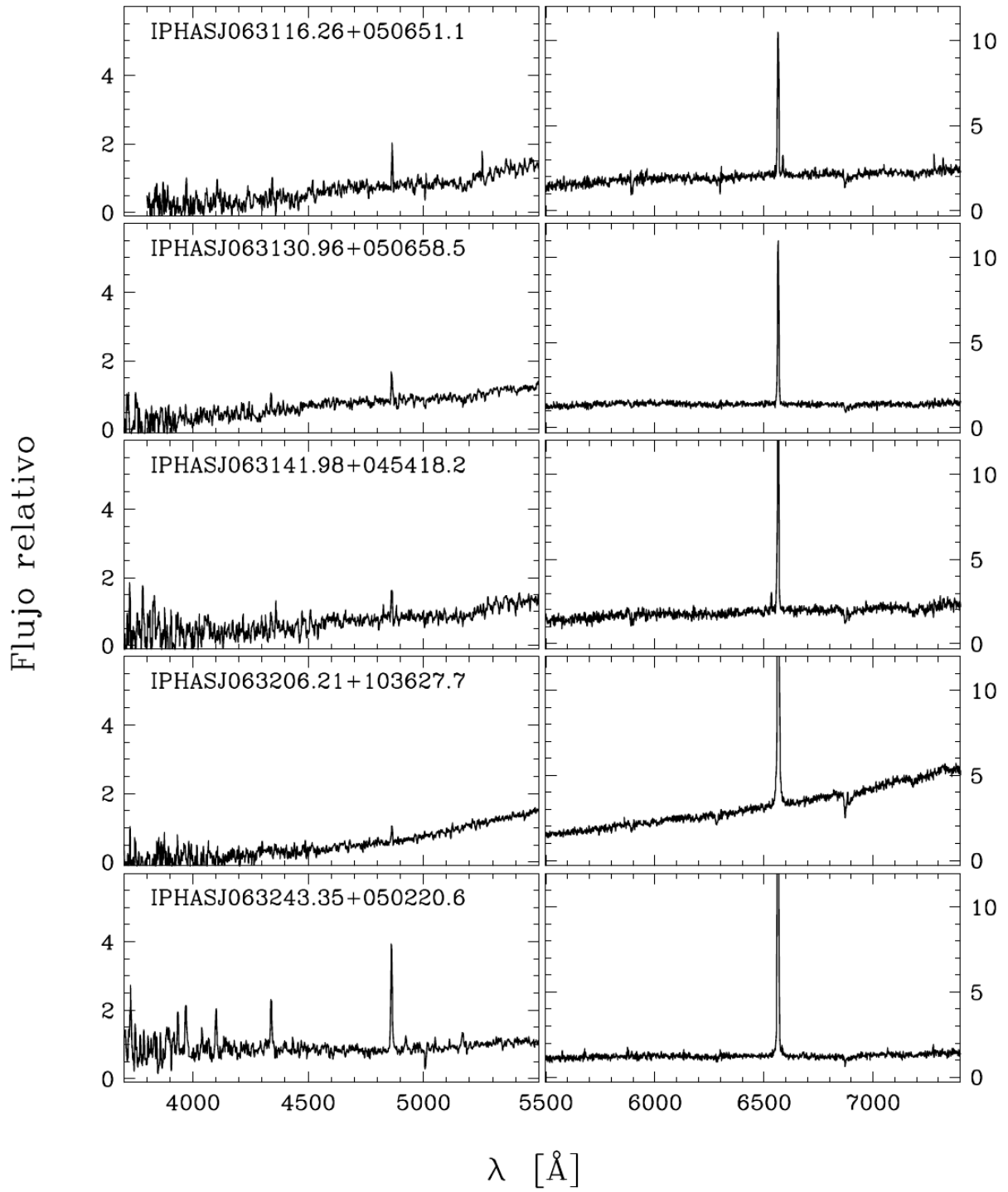


Figura B2 - Cont.

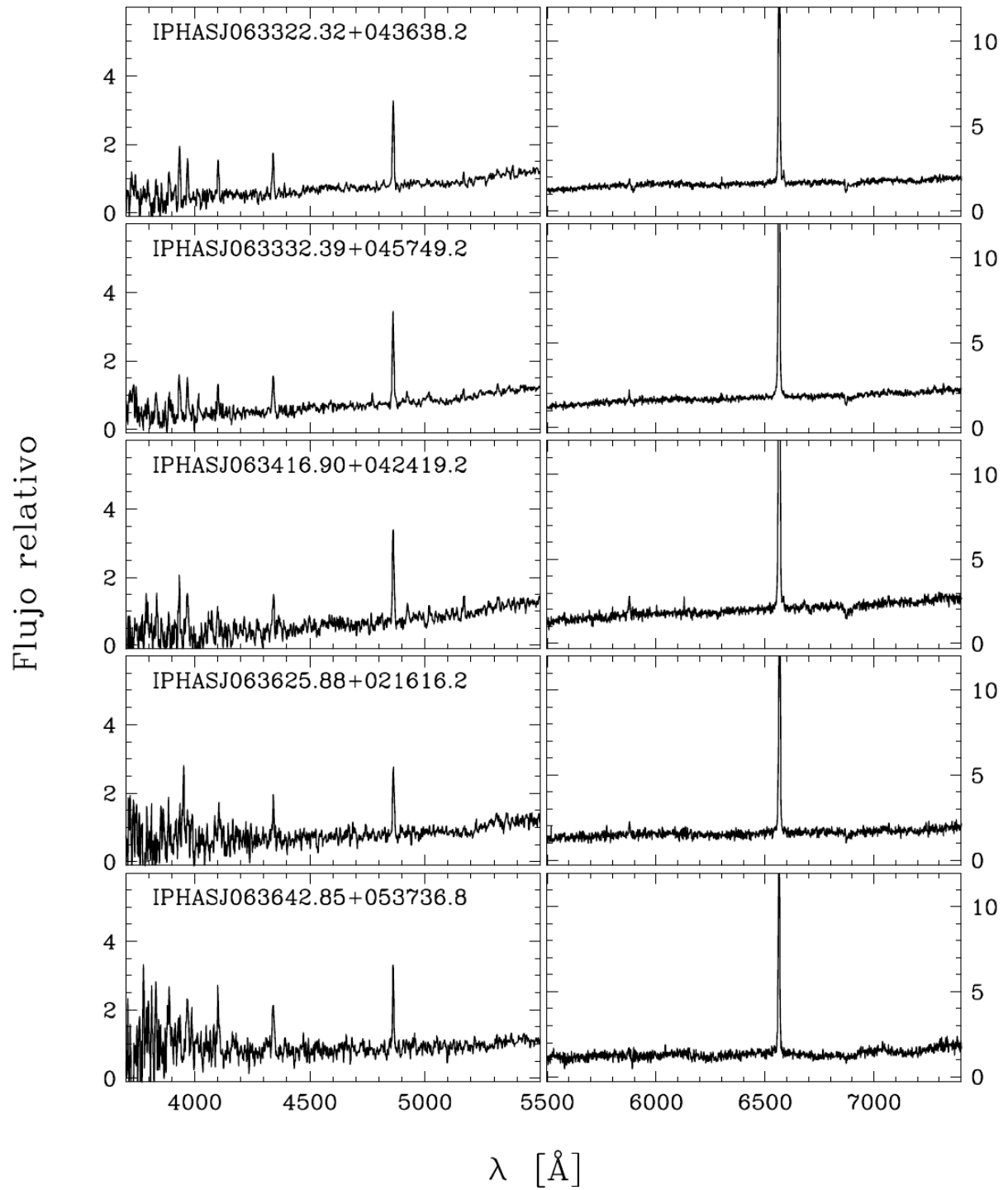


Figura B2 - Cont.

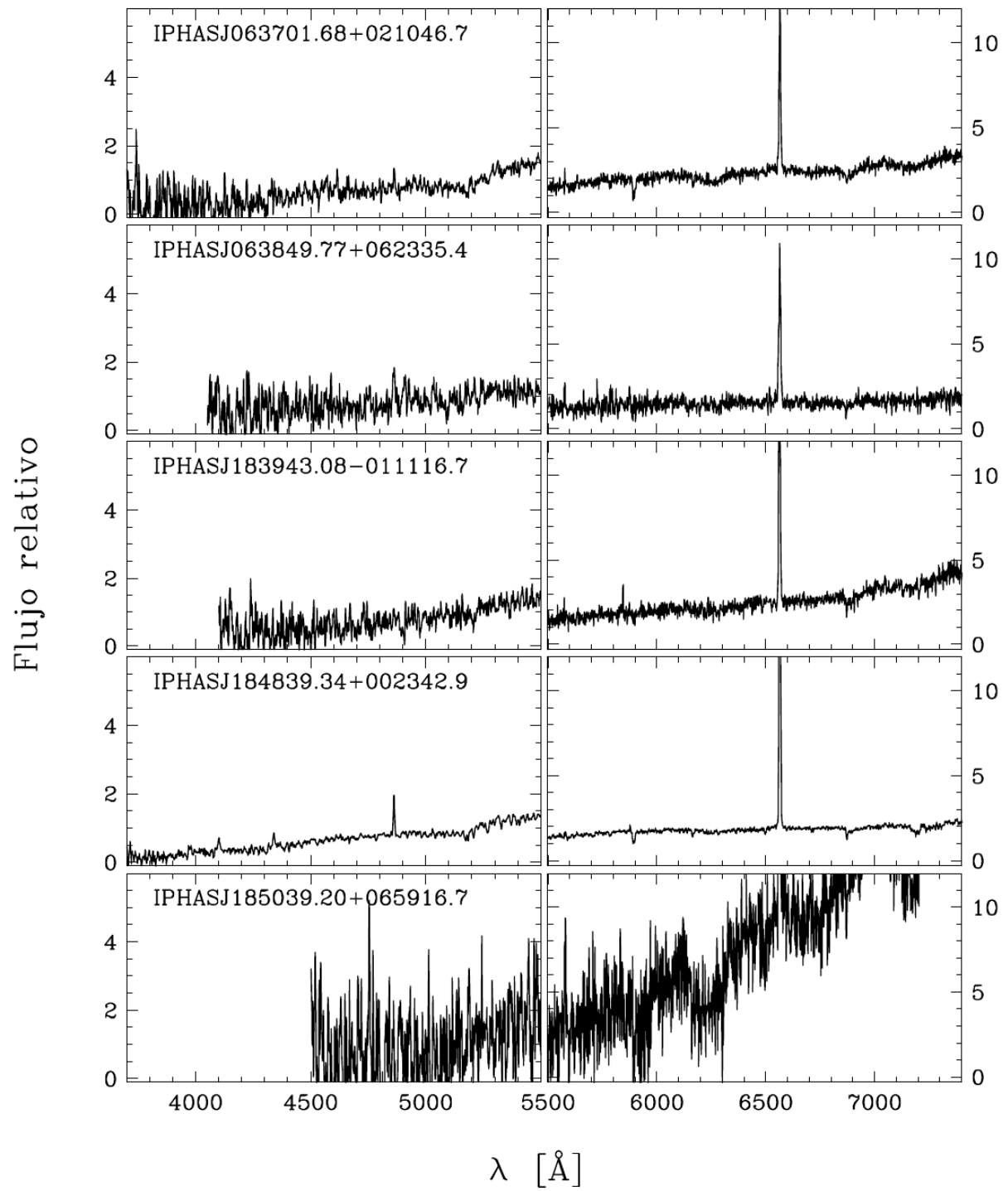


Figura B2 - Cont.

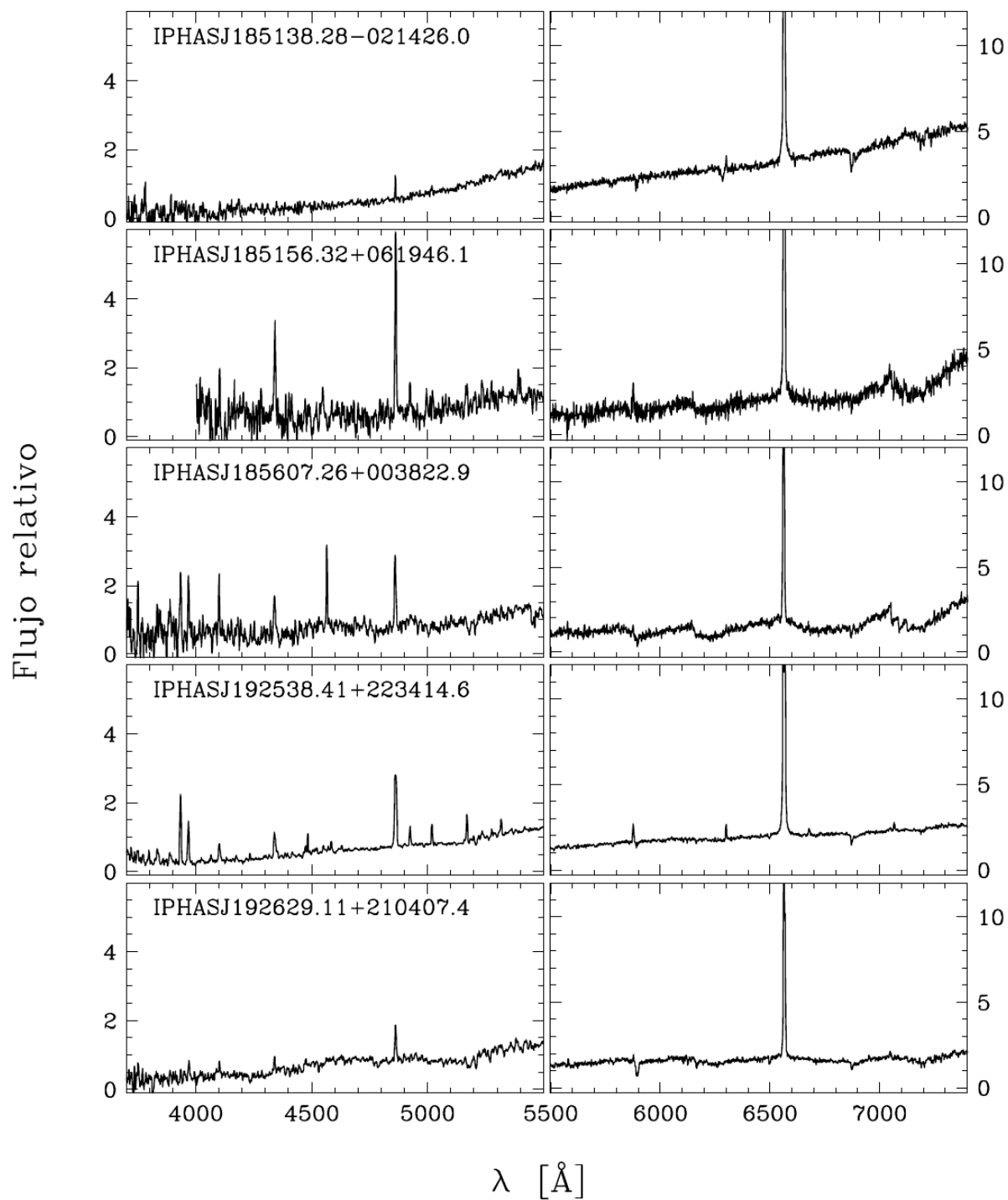


Figura B2 - Cont.

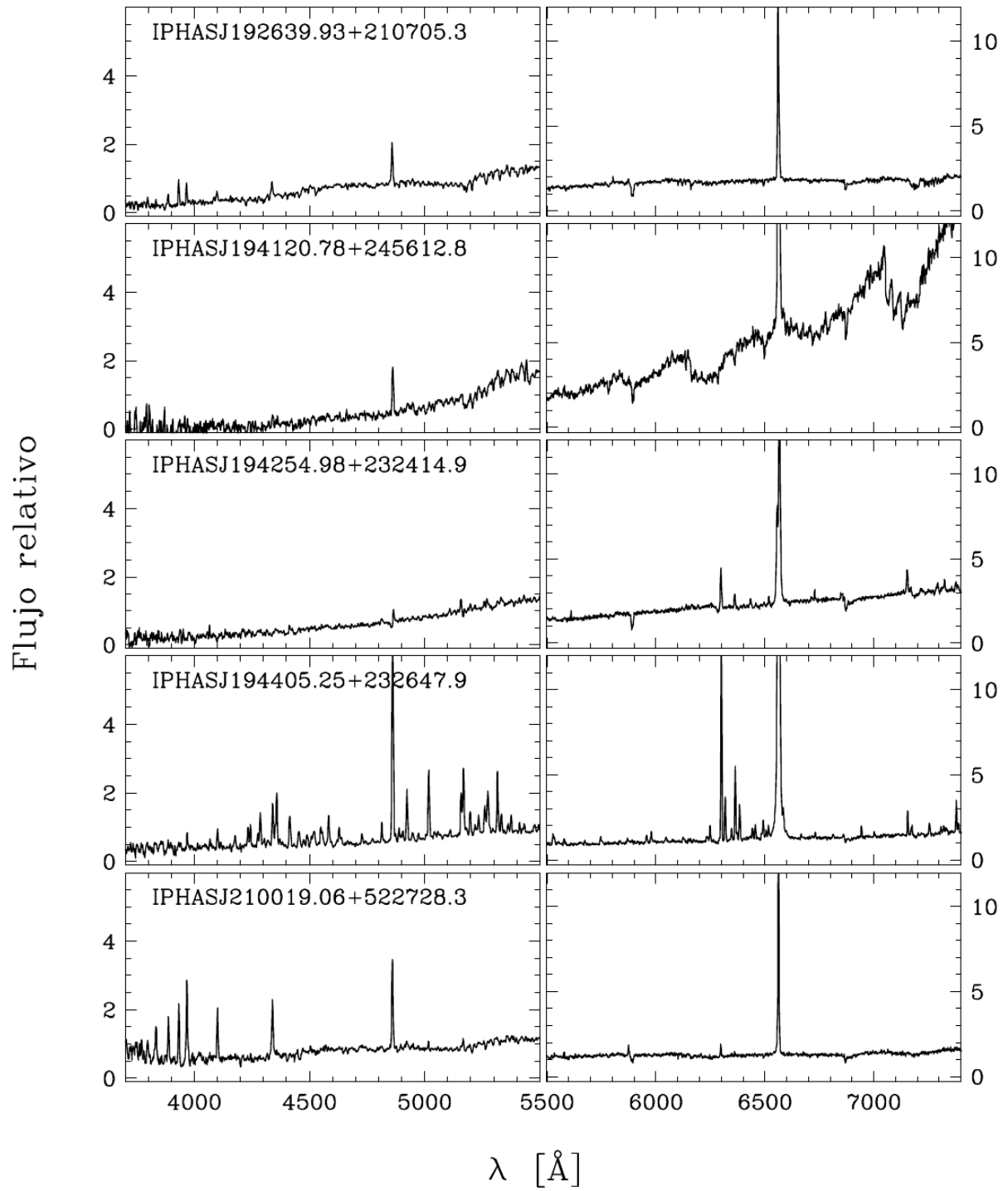


Figura B2 - Cont.

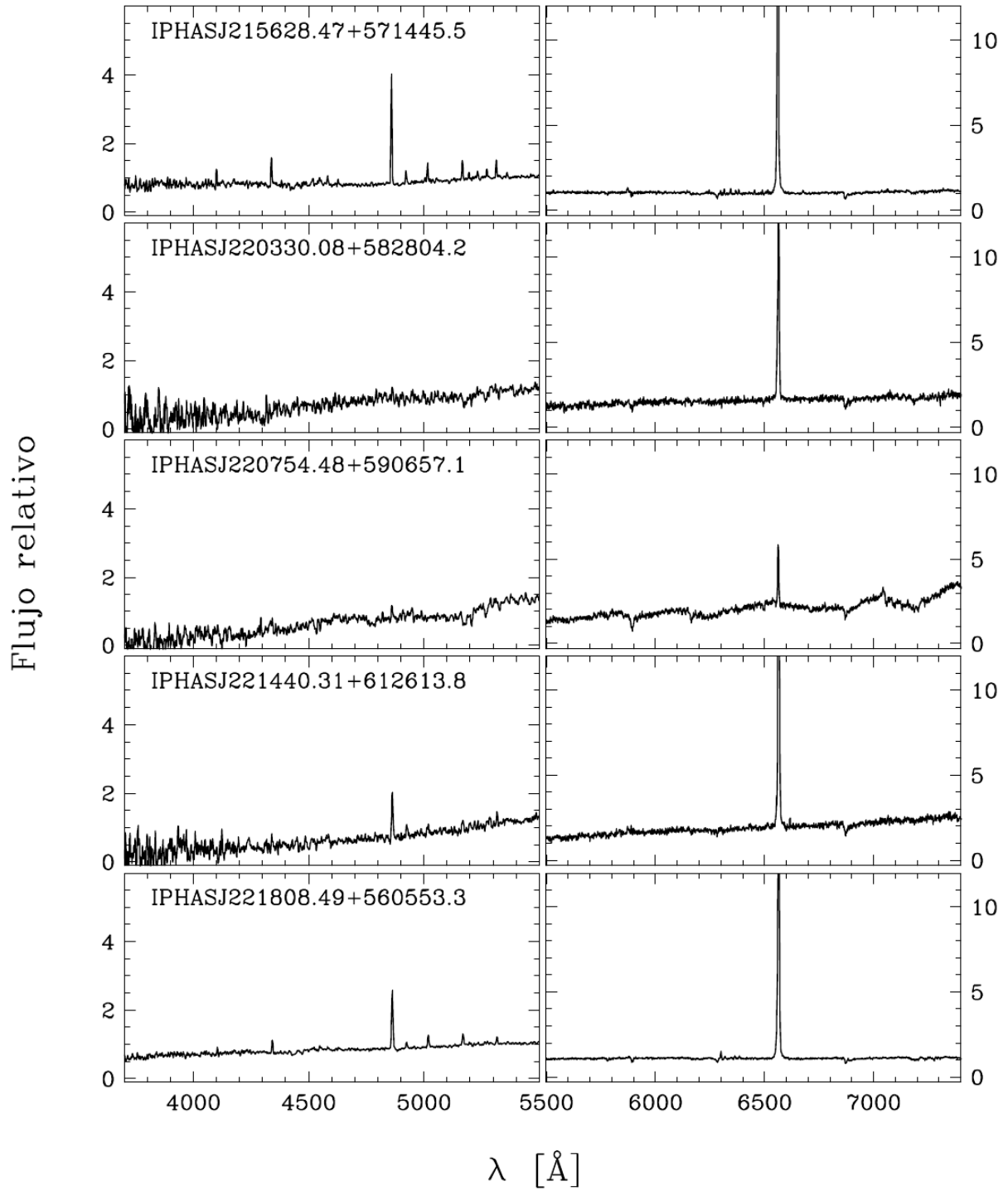


Figura B2 - Cont.

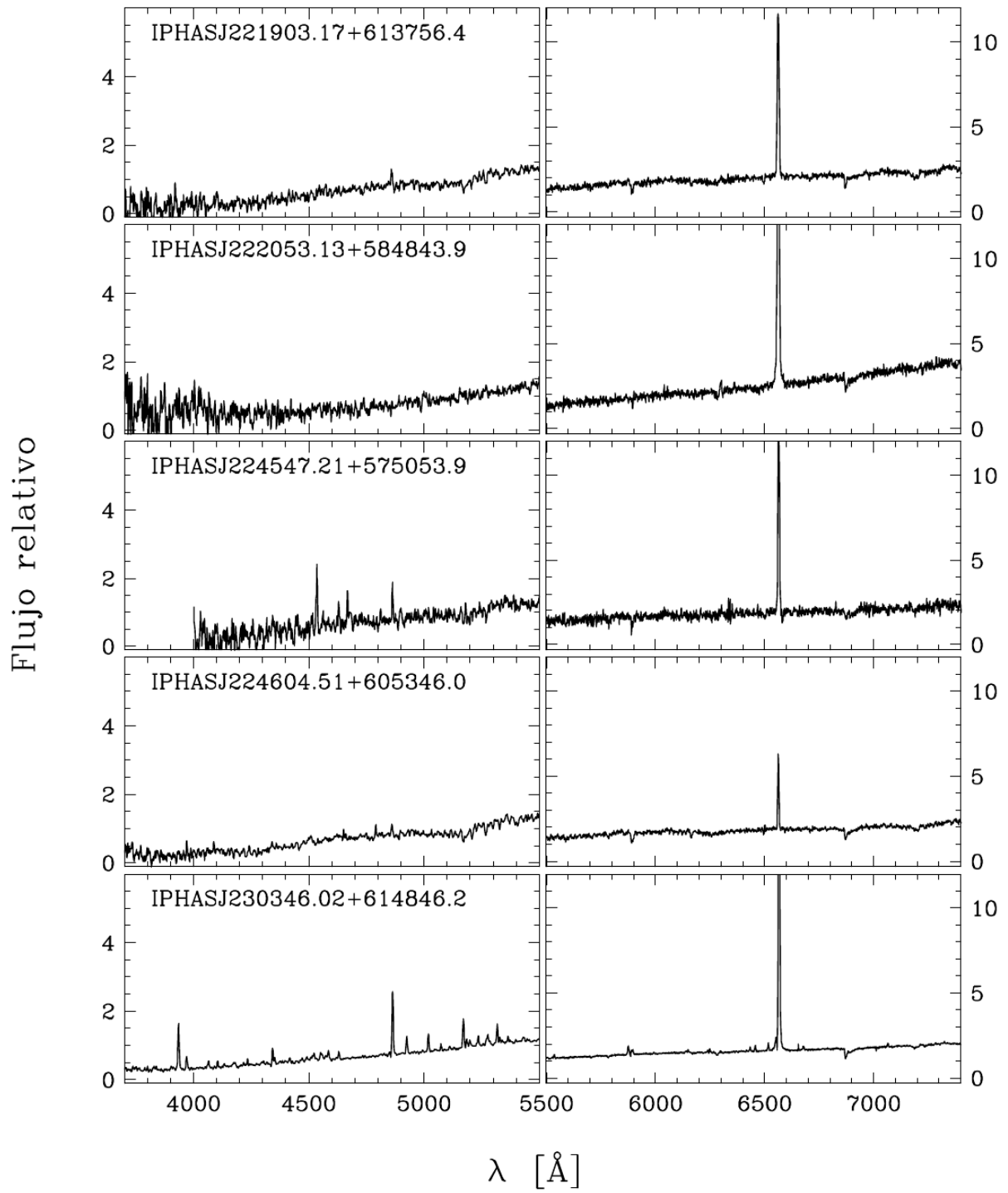


Figura B2 - Cont.

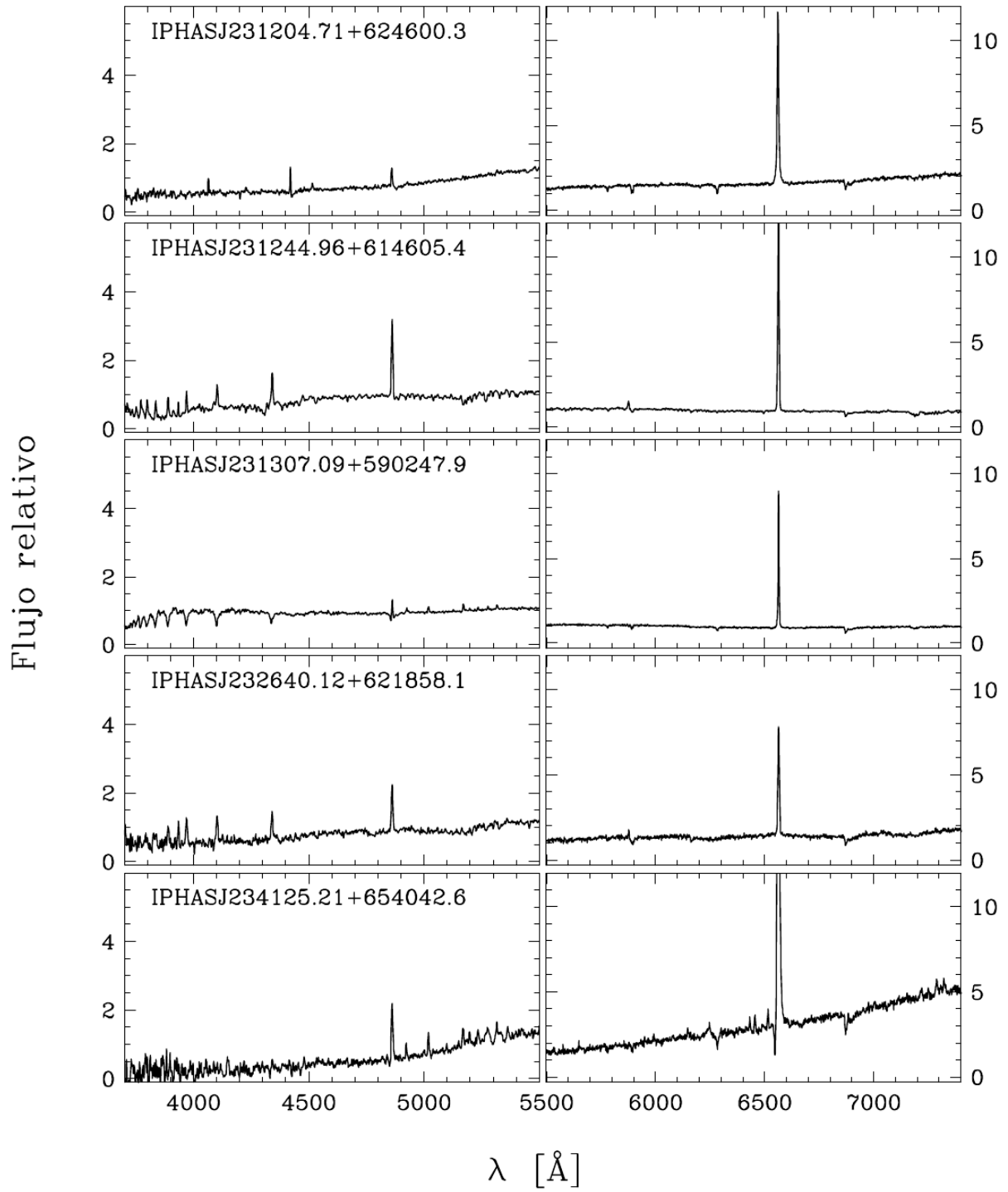
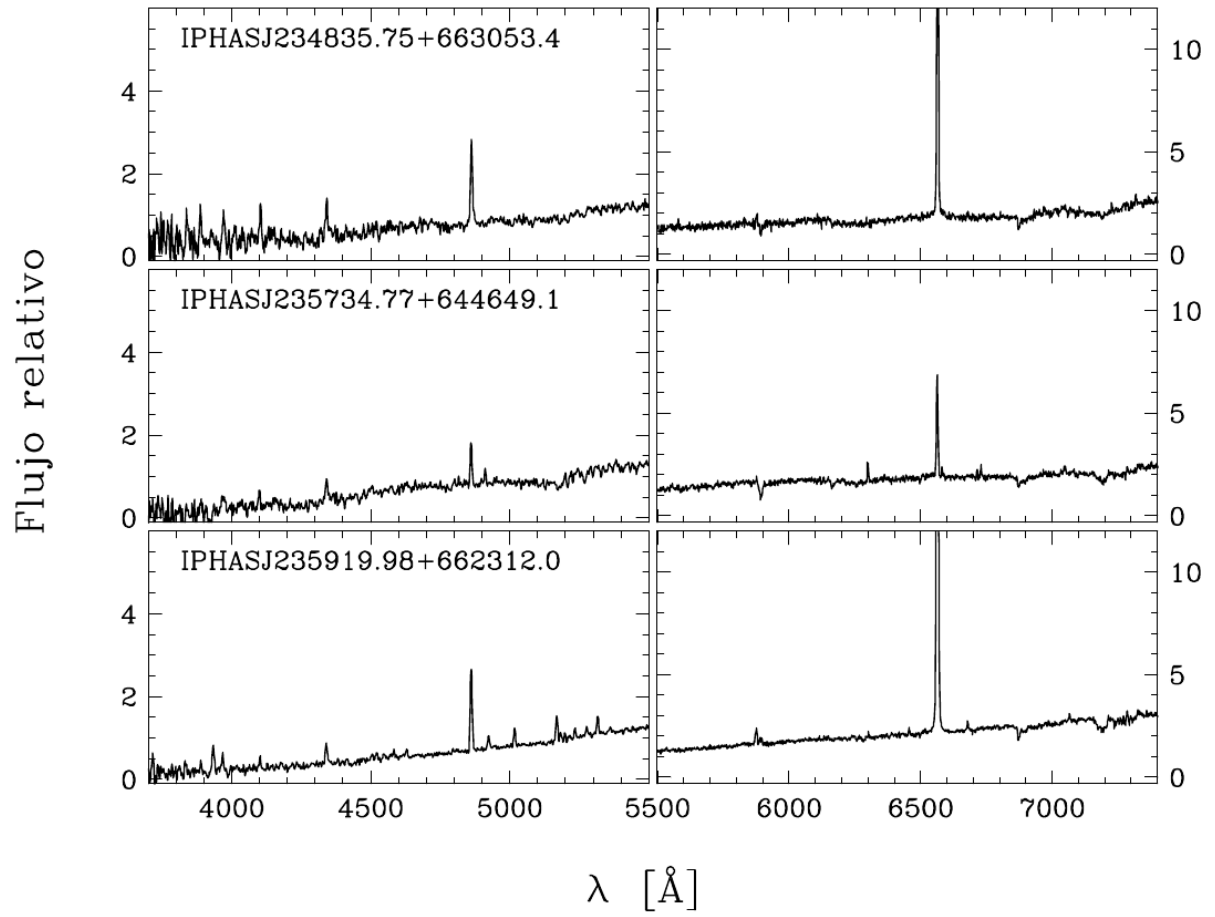


Figura B2 - Cont.



C

Principales características espectrales de los candidatos observados

Tabla C1 - Principales características espectrales de los 156 candidatos observados. S/E designa un continuo sin estructuras, neb* las líneas nebulares y dB la discontinuidad de Balmer. Para los rasgos espectrales hemos utilizado las denominaciones cualitativas de muy débil (md), débil (d), fuerte (f), complejo (c) y ancho (a). Las líneas de emisión con doble pico las hemos identificado con "2p" y la elevada presencia de rasgos de una especie química como "r". Los objetos no clasificados se identifican como "S/C" en la cuarta columna. El resto de la nomenclatura se explica en el texto.

Nombre (IPHASJ...)	Continuo: rasgos en absorción	Principales rasgos en emisión	Clasif.
000409.16+672237.6	S/E:LiI λ 6708	H α , H β	CTT?
000432.31+580854.0	S/E	HI, HeI, FeII, CaII H&K	S/C
000718.66+653642.1	TiO(d):LiI λ 6708	HI, CaII H&K, HeI	CTT
001033.27+584021.1	TiO	HI, CaII H&K, HeI, FeII	CTT
001036.41+585005.0	TiO	HI, HeI	CTT
003542.71+585919.4	TiO(md), LiI λ 6708	HI, HeI	CTT?
003814.97+630559.7	TiO:DIB6284(md)	HI, CaII H&K, HeI, [OI] λ 6300, FeII	CTT
005930.32+613854.8	TiO	HI, HeI, FeI	CTT
010316.60+613701.1	TiO(md)?, LiI λ 6708	HI, CaII H&K, HeI	CTT?
012544.66+613611.7	Insignificante	neb*, OI λ 8446, CaII IR	yPN*
014550.34+573403.1	S/E:DIB6284(md)	H α , H β (md), HeI5876 (md) [OI] λ 6300, 6364 (md)	Be/YSO
020039.48+603259.1	S/E:DIB6284, H β , H γ	H α , FeII	Be/YSO
022935.91+611556.8	S/E:HI, NaI D	H α , FeII	Be
023410.28+612440.4	S/E:DIB6284, HI (a), NaI D	H α , HeI	Be/HaeBe
024147.73+601109.1	S/E:DIB6284, NaI D	H α , H β (d)	Be/YSO
024326.34+590631.1	TiO(md)	H α , H β , FeII	CTT?
024439.54+605954.8	S/E	H α , H β , HeI	Be/YSO
024748.62+605750.5	Azul:HI, DIB5780, 6284	H α , dB, HeI, FeII	Be (B9?)
030105.21+603155.4	TiO(md)	HI, HeI, FeII	CTT?
031046.28+593003.7	Azul:DIBs, HI, HeI	H α , dB, FeII	Be
031704.34+601500.0	TiO	HI, FeII, CaII H&K	CTT
032036.40+601818.3	S/E:DIB6284?	HI	Be/YSO
032039.49+562358.2	S/E: DIB, NaI D	HI, FeII, OI, CaII IR	YSO
032536.56+560533.2	S/E:DIBs, NaI D	HI	Be/YSO
034513.73+543526.2	raro:H α	FeII	S/C

Tabla C1 - Cont.

Nombre (IPHASJ...)	Continuo: rasgos en absorción	Principales rasgos en emisión	Clasif.
034609.84+545551.1	S/E:DIB6284 (d)	H α , FeII	Be/YSO
035046.68+540109.6	S/E	HI, CaII H&K, HeI, [OI], FeII	Be/YSO?
035608.31+534526.0	S/E:DIB5780, 6284	H α , H β (md)	Be/YSO
035823.95+522312.6	S/E	HI, FeII, HeI	S/C
044338.64+410941.5	HI $\lambda\lambda$ 3970, 3888, ...	HI, H α (c), [OI], FeII	Be
045625.15+434931.8	S/E	H α	S/C
045638.58+450225.9	S/E	H α , H β	Be/YSO?
045717.56+402121.9	S/E	H α	S/C
050124.25+464847.7	DIB6284, HI, HeI (f)	H α y H β (PCyg), FeII	Be
050315.64+434143.5	Azul?:DIB6284, CaII H&K	H α y H β (2p)	YSO?
051827.42+300849.7	TiO	HI, CaII H&K	CTT
052808.59+342538.4	S/E	HI, 4363 (md), [NII] λ 6583, [OII] λ 3727 [OIII] λ 5007,	S/C
053018.12+313558.9	S/E: DIB	HI, HeI	Be/YSO
053113.16+382006.6	S/E: DIB+NaI	H α	Be/YSO
053258.05+255437.9	TiO	HI, HeI (d), FeII	CTT
053309.31+325030.6	TiO (d)	HI, CaII H&K, HeI, FeII, [OI]	CTT
053350.69+304254.2	S/E	H α , H β , HeI	Be/YSO
053440.77+254238.2	S/E: DIB	neb*, OI λ 8446, CaII H&K+IR	yPN*
053611.79+273436.1	S/E	HI, CaII H&K, HeI, FeII (c), [OI]	CTT?
053611.80+321438.2	S/E	HI, HeI (d)	Be/YSO
053712.44+274804.0	Muy débil:DIBs, LiI λ 6708	HI, CaII H&K, HeI, FeII, [OI] λ 6300	CTT?
053728.60+320001.8	S/E	HI, HeI, [OI] λ 6300 (md)	Be/YSO?
053817.88+313935.1	S/E:DIB6284, NaI D	HI, HeI, FeII, [FeII], [OI] λ 6300	Be/YSO
053844.30+261641.5	TiO	HI, CaII H&K, HeI (d)	CTT
053955.76+332412.8	S/E:DIBs, NaI D, HI	H α , HeI, FeII, [FeII], [OI] λ 6300	Be/YSO
054132.75+265513.7	TiO	H α , H β	dMe?
054213.34+341200.9	TiO (d)	H α , H β , HeI, FeII	CTT?
054424.19+312031.7	S/E	H α , H β (md)	Be/YSO
054621.55+262724.1	S/E	HI (2p), CaII H&K, HeI, FeII, [OI]	Be/YSO
054635.53+261909.9	S/E	HI, CaII H&K, HeI, FeII, [FeII]	Be/YSO
054914.66+332329.5	S/E:DIB6284 (d)	HI, CaII H&K, HeI, FeII	Be/YSO
054945.05+270416.2	S/E	HI, CaII H&K, HeI, FeII	Be/YSO
054950.54+270701.5	TiO (d)	HI, CaII H&K, FeII, HeI, [OI] λ 6300	CTT?
055050.64+240612.2	S/E	H α , H β (d)	S/C
055254.08+171424.7	TiO (md)	HI, dB, HI, HeI, FeII, CaII H&K+IR	CTT?

Tabla C1 - Cont.

Nombre (IPHASJ...)	Continuo: rasgos en absorción	Principales rasgos en emisión	Clasif.
055532.33+274451.6	S/E:DIB6284 (d)	HI, HeI, CaII H&K, FeII (d)	Be/YSO
060134.22+161345.8	TiO(d):LiI λ 6708	HI	CTT?
060515.15+204036.7	S/E	H α	S/C
060715.86+193000.1	TiO	HI, H α (2p), CaII H&K, FeII, HeI	CTT
060821.91+295255.7	TiO	HI, HeI, FeII, OI (md), CaII H&K+IR	CTT
060830.13+162739.6	S/E	H α , H β , [OI] λ 6300	S/C
061024.41+124647.6	S/E:DIB6284 (d)	HI, CaII H&K, HeI, FeII (r)	Be/YSO
061312.70+152036.7	Azul:HI, HeI	H α , dB, [OI]	Be
061328.57+160556.9	TiO	HI, CaII H&K	dMe?
062842.43+093209.2	TiO:LiI λ 6708	HI, HeI, [OI] λ 6300, FeII	CTT
063056.81+043834.2	Muy débil	HI, HeI	S/C
063110.28+095917.2	TiO(d):LiI λ 6708 (d)	HI, CaII H&K, HeI, [OI] λ 6300, FeII	CTT
063116.26+050651.1	S/E:DIB6284 (d)	HI, FeII	S/C
063130.96+050658.6	S/E	HI, H β , H γ	Be/YSO?
063141.98+045418.2	S/E	H α , H β (d), HeI, [NII] λ 6532	Be/YSO
063206.21+103627.7	S/E:DIB6284	H α , H β (md)	Be/YSO?
063243.35+050220.6	S/E:DIB6284 (d), [OIII]	HI, CaII H&K, [OI], HeI, FeII (md)	S/C
063322.32+043638.1	TiO(d)?, LiI λ 6708	HI, CaII H&K, FeII, [NII] λ 6583, HeI λ 5876, [OI] λ 6300	CTT
063332.39+045749.1	S/E	HI, CaII H&K, HeI, [OI] λ 6300 (d)	Be/YSO
063416.89+042419.2	S/E:LiI λ 6708 (d)	HI, CaII H&K, HeI, FeII	CTT?
063625.88+021616.5	S/E	HI, HeI, FeII	Be/YSO
063642.85+053736.8	TiO(d)	HI	CTT?
063701.67+021046.9	TiO(d):LiI λ 6708	H α , H β (d)	CTT?
063849.77+062335.3	S/E:	H α , H β , HeI	S/C
183748.03-001617.2	TiO(md)	HI, HeI (md)	CTT
183807.38+001113.6	TiO	HI, HeI, CaII H&K+IR	CTT
183814.63-012213.8	TiO	H α , H β , [OI], CaII H&K	CTT
183943.09-011116.8	S/E:DIB6284 (md)	H α	S/C
184222.67+025807.0	TiO(md), NaI (f)	H α	dMe
184431.46-001652.4	S/E:HeI λ 6678, NaI, DIB	HI, FeII, OI λ 8446, CaII IR	Be/YSO
184635.85+005521.4	LiI λ 6708, 6495, NaI, DIB	HI, FeII, HeI (md), OI, [SII], [OI], CaII H&K+IR	CTT
184839.35+002343.1	S/E:LiI λ 6708 (d)	HI, HeI λ 5876 (md)	CTT?
185005.71-004041.2	S/E:DIB	HI, FeII, [NII], [NiII] λ 6666, 7378, 7412, [FeII]	S/C
185039.21+065917.0	TiO	H α	S/C

Tabla C1 - Cont.

Nombre (IPHASJ...)	Continuo: rasgos en absorción	Principales rasgos en emisión	Clasif.
185138.28-021426.0	S/E:DIB6284	H α , H β , [OI] λ 6300	Be/YSO
185156.34+061946.2	TiO	HI, HeI, FeII (d)	CTT?
185349.55+052353.7	S/E	HI, HeI, FeII, CaII IR	YSO
185424.82+041905.0	TiO(d)	HI, CaII IR(f)	CTT
185448.29+005033.5	TiO	HI, HeI, [OI]	CTT
185607.27+003823.0	TiO	HI, CaII H&K	CTT
190015.86+000517.3	Creciente	C (r, f, a)	WC8
190021.58+052001.1	S/E	HI, FeII, [FeII], [OI], [OII], [NII], [SII]	Be/YSO
190229.97-022757.0	Muy débil	HI, HeI, FeII, [FeII], [OI], [OII], OI λ 8446	B[e]
190441.53-005957.2	TiO(f)	HI, FeII, HeI (md)	Sy?
190857.31+053620.6	S/E:DIB, NaI D	HI, [NII], OI λ 8446	Be/YSO
191017.43+065258.1	S/E:HeI λ 5876, DIB, Na ID	HI, HeI λ 6678 (Pcyg), [OI], OI λ 8446, CaII IR	YSO
192033.79+231040.3	TiO	HI	CTT?
192249.80+142236.3	S/E:DIB	H α , [OI]	Be/YSO
192400.05+230253.1	S/E	HI, CaII H&K (md)	S/C
192515.05+224720.3	TiO	HI, HeI, CaII H&K	CTT
192538.41+223414.6	TiO(d):LiI λ 6708 (d)	H α y H β (2p), CaII H&K, HeI, [OI] λ 6300, FeII	CTT
192629.11+210407.4	TiO(d):LiI λ 6708	HI, CaII H&K	CTT
192639.93+210705.3	Débil:LiI λ 6708 (d)	HI, CaII H&K, HeI λ 5876, FeII (d)	CTT?
192841.27+174819.9	S/E	HI, HeI, FeII, H α (c), OI8446, CaII IR (f)	YSO
193038.84+183909.8	S/E:DIB	HeI (f), HeII	WN8-9
193232.88+151711.5	HI, HeI, DIB (f), NaI	HI, FeII, OI λ 8446, CaII IR	Be/YSO
194120.78+245612.8	TiO	HI	CTT
194254.98+232414.9	S/E:DIB5780 (d), 6284	H α (2p), H β (Pcyg), [OI] λ 6300, FeII	Be/YSO?
194405.25+232647.9	Débil	HI, [OI], FeII, [FeII], [OII], SiII, [NII] λ 6583	B[e]
194609.56+225423.2	S/E:DIB, NaI D	H α , H β	Be/YSO
194907.23+211742.0	Muy débil	neb*	yPN*
195935.55+283830.3	S/E:DIB	HeI (f), HeII (f), HI, [NII], [NeIII], [OIII], [FeVII], [CaVII], [SIII], [ArIII], [ArIV], [ArV]	nebWR?
200514.59+322125.1	Insignificante	neb*, OI λ 8446	yPN*
201057.51+343732.4	S/E:DIB (f)	HI, FeII, OI λ 7772, 8446, CaII IR	YSO?
201152.98+281517.0	S/E	HI, OI λ 8446, CaII IR (f)	YSO?
201708.12+410727.0	S/E:DIB	HI, HeI y HeII (a, f)	WN8-9
201918.94+381448.5	S/E	HI, HeI, CaII H&K (md)	YSO
202834.25+355417.4	S/E:HeI λ 5876, NaID, DIBs	HI, [OI], OI λ 8446, CaII IR	YSO

Tabla C1 - Cont.

Nombre (IPHASJ...)	Continuo: rasgos en absorción	Principales rasgos en emisión	Clasif.
202947.93+355926.5	S/E:HeI (d)	HI, FeII, OI λ 8446, CaII IR	YSO+
203413.39+410157.9	S/E	H α , [OI], OI λ 8446	YSO
203545.40+400332.6	TiO	HI	CTT
204134.22+393239.0	TiO(md), LiI λ 6708	HI, HeI, FeII, [SII], CaII H&K+IR(f)	CTT
205544.33+463313.2	Muy débil	FeII (r), [FeII], HI, OI, HeI (md), [NiII], CaII IR	B[e]
210019.06+522728.3	TiO:LiI λ 6708	HI, CaII H&K, HeI λ 5876, [OI], FeII	CTT?
210404.87+535124.4	TiO	HI, HeI, OI λ 8446	CTT
215628.47+571445.5	S/E:DIB5780, 6284	HI, HeI, [OI] λ λ 6300, 6364, FeII, [FeII]	Be/YSO
220330.08+582804.2	S/E	H α , H β	S/C
220754.48+590657.1	TiO:LiI λ 6708?	HI	dMe
221440.31+612613.8	S/E	H α , H β , H γ (d), HeI (d), FeII (d)	Be/YSO?
221808.49+560553.3	TiO(d):DIB5780, 6284	HI, [OI] λ λ 6300, 6364, FeII	CTT?
221903.17+613756.4	S/E	H α , H β	S/C
222053.13+584843.9	S/E:DIB6284 (d)	H α , [OI] λ 6300, 6364	Be/YSO?
222628.63+612049.0	TiO	HI, HeI	CTT
224547.21+575053.9	S/E	H α , H β , FeII, [OI] λ 6300?	Be/YSO?
224604.51+605346.0	Muy débil:LiI λ 6708	H α , H β	CTT?
230342.17+611850.4	S/E	HI, FeII, CaII H&K, [SII], CaII IR(f), OI λ λ 7772, 8446	CTT
230346.02+614846.2	S/E:DIB5780, 6284	HI, CaII H&K, HeI, FeII, [OI] λ 6300, [NII] λ 6548?	Be/YSO
231204.71+624600.3	S/E:DIBs (c)	H α , H β	Be/YSO
231244.96+614605.4	Complejo:LiI λ 6708	HI, dB, CaII H&K, HeI	CTT?
231307.09+590247.9	Plano:DIBs, HI	H α , H β , FeII, [OI] λ 6300, HeI	Be
231334.92+620944.1	TiO, NaI D	HI	CTT
232640.12+621858.1	TiO(d):LiI λ 6708	HI, CaII H&K, HeI λ 5876	CTT?
234125.21+654042.6	S/E:DIB6284	H α y H β (PCyg), FeII (r)	Be/YSO?
234835.75+663053.4	TiO(d)	HI, HeI	CTT
235734.77+644649.1	TiO(d)	HI, [FeII], [OI], [NII] λ 6583, FeII (d)	CTT?
235919.98+662312.0	S/E:DIB6284 (d)	HI, CaII H&K, HeI, FeII (r)	Be/YSO

D

Candidatos a estrella simbiótica en S2/S2

Tabla D1 – Candidatos a estrella simbiótica que satisfacen la combinación S2/S2 (ver texto). Las dos primeras columnas son las coordenadas ecuatoriales de los candidatos y las restantes son los datos fotométricos IPHAS y 2MASS.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
00:07:15.98	+65:37:14.52	20.0	13.06	2.3	1.4	0.63	1.26
00:16:55.89	+65:47:32.68	18.8	11.99	2.2	1.6	0.51	1.14
00:21:40.60	+61:26:22.32	20.4	14.75	1.5	1.2	0.47	1.06
00:27:18.54	+64:44:31.21	19.5	13.72	1.6	1.3	0.52	1.07
00:30:31.27	+65:32:02.05	18.5	13.16	1.7	1.7	0.48	1.06
00:31:52.04	+65:28:08.16	18.4	13.34	1.4	1.2	0.48	1.14
00:34:24.83	+65:59:30.87	17.5	11.82	1.6	1.2	0.54	1.10
00:36:01.75	+62:32:35.53	18.5	12.91	1.4	1.2	0.61	1.24
00:38:48.74	+63:27:38.48	20.0	13.25	1.8	1.3	0.56	1.07
00:42:52.35	+61:10:39.27	18.2	12.58	1.6	1.3	0.41	1.05
01:06:51.60	+65:14:45.17	19.6	13.16	1.8	1.7	0.55	1.17
01:22:31.34	+61:51:07.84	20.0	12.48	2.6	1.5	0.55	1.23
01:25:39.27	+61:36:30.71	19.6	12.87	2.0	2.1	0.49	1.08
02:44:28.08	+61:07:03.40	19.4	13.83	1.5	1.2	0.48	1.37
02:50:37.82	+60:22:47.92	18.6	12.98	1.5	1.2	0.64	1.21
02:52:27.41	+60:29:09.02	20.4	15.18	1.5	1.2	0.33	1.12
02:58:50.06	+60:25:09.14	20.0	14.46	1.6	1.7	0.41	1.05
02:59:17.68	+60:34:11.07	19.2	13.98	1.5	1.3	0.47	1.07
03:11:47.10	+56:34:30.18	18.7	13.26	1.5	1.3	0.52	1.17
03:19:59.11	+59:04:15.40	20.3	14.34	2.0	1.4	0.42	1.06
03:26:47.39	+58:55:38.30	18.1	12.31	1.5	1.3	0.58	1.16
03:28:25.69	+55:09:58.29	20.4	13.76	1.6	1.4	0.75	1.48
03:30:47.21	+57:57:44.78	19.9	13.15	2.0	1.4	0.60	1.12
03:32:32.97	+60:08:25.21	18.9	13.32	1.7	1.3	0.47	1.04
03:33:50.86	+58:07:13.57	20.2	13.83	1.7	1.5	0.54	1.19
03:34:10.80	+58:07:16.18	20.5	14.09	1.7	2.2	0.54	1.09
03:40:14.31	+53:27:30.06	20.2	13.96	1.8	2.1	0.49	1.22
04:08:32.37	+50:32:10.22	19.9	13.57	1.7	1.5	0.65	1.28
04:26:04.17	+45:34:22.80	19.3	13.28	1.6	1.5	0.67	1.26
05:01:26.89	+46:48:41.57	20.0	14.21	1.5	1.4	0.59	1.14
05:01:47.45	+46:46:05.42	20.0	14.55	1.6	1.3	0.42	1.18

Tabla D1 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
05:11:37.69	+37:19:40.99	19.6	14.26	1.4	1.3	0.55	1.07
05:14:20.65	+32:45:22.68	19.8	13.94	1.9	1.4	0.36	1.13
05:22:54.15	+33:25:43.13	20.1	14.79	1.4	1.8	0.48	1.06
05:28:00.26	+34:46:08.29	19.7	14.61	1.4	1.6	0.59	1.15
05:33:25.83	+37:17:24.62	20.2	14.33	1.7	1.5	0.53	1.11
05:35:38.03	+27:58:33.93	19.5	14.05	1.7	1.3	0.40	1.05
05:37:14.04	+27:48:57.88	18.9	13.69	1.4	1.3	0.44	1.12
05:39:01.52	+34:57:51.77	19.4	13.74	1.5	1.3	0.48	1.23
05:40:08.51	+23:52:22.71	18.4	12.37	1.5	1.4	0.72	1.35
05:40:26.16	+22:59:30.26	18.6	13.31	1.6	1.6	0.47	1.04
05:41:12.50	+35:26:35.92	20.1	14.06	1.8	1.3	0.53	1.25
05:43:23.31	+22:44:25.13	19.9	14.56	1.5	1.8	0.41	1.06
05:47:06.77	+20:59:13.04	18.8	13.34	1.7	1.4	0.49	1.10
06:03:50.02	+30:31:29.72	19.6	13.56	1.9	1.6	0.51	1.12
06:04:19.89	+30:29:11.92	19.7	13.47	1.8	1.3	0.57	1.13
06:08:12.45	+21:31:10.03	20.4	15.30	1.4	1.7	0.27	1.05
06:10:53.51	+14:08:50.60	19.2	13.47	1.6	1.5	0.50	1.21
06:12:34.05	+17:54:58.72	19.2	13.07	1.7	1.3	0.55	1.17
06:12:56.86	+18:04:20.57	20.1	14.72	1.6	1.8	0.39	1.17
06:14:13.00	+22:53:09.77	20.2	14.23	2.0	1.5	0.31	1.05
06:14:28.19	+18:52:36.86	20.2	14.77	1.6	1.2	0.51	1.23
06:14:52.44	+19:01:17.21	20.3	14.10	1.6	1.4	0.87	1.62
06:19:21.53	+17:29:52.86	20.1	14.64	1.5	1.2	0.63	1.19
06:21:48.74	+22:32:47.78	19.9	15.22	1.5	1.2	0.32	1.08
06:22:06.52	+22:34:36.76	18.6	12.93	1.7	1.2	0.45	1.10
06:23:42.55	+23:13:35.12	19.8	14.51	1.4	2.0	0.43	1.08
06:32:20.28	+10:15:15.06	19.6	12.87	1.4	1.4	0.78	1.44
06:34:12.27	+04:24:08.95	19.5	13.90	1.5	1.3	0.49	1.04
06:34:13.28	+02:51:48.88	19.7	14.19	1.5	1.2	0.48	1.26
06:37:03.17	+02:10:13.92	18.5	12.58	1.4	1.3	0.63	1.19
06:37:20.14	+02:47:43.95	20.2	14.49	1.6	1.4	0.53	1.15
06:40:21.65	+09:48:22.44	19.0	13.49	1.8	1.4	0.48	1.08
06:46:32.30	+05:56:19.05	20.4	14.54	1.5	1.3	0.70	1.48
06:48:48.89	+03:34:41.85	20.4	15.20	1.5	1.3	0.37	1.06
18:41:44.00	-01:28:39.50	17.5	9.33	2.3	2.0	0.66	1.46
18:46:28.35	+00:25:54.46	18.3	12.46	1.5	1.3	0.62	1.23
18:52:00.44	-01:03:21.50	20.1	12.44	2.5	2.6	0.53	1.07
18:52:53.80	+08:23:47.52	19.1	13.66	1.5	1.2	0.52	1.08
19:03:35.14	-03:03:15.30	13.1	7.69	1.5	1.5	0.41	1.11
19:05:10.01	+11:11:38.63	20.3	14.14	1.9	2.2	0.48	1.26
19:07:28.49	-00:51:57.10	20.4	15.18	1.8	1.3	0.37	1.24
19:07:42.37	+00:02:50.95	14.7	9.35	1.7	1.4	0.38	1.07
19:09:28.05	+11:01:41.31	19.8	12.96	2.0	2.0	0.46	1.09
19:10:58.81	+04:03:52.11	20.4	13.22	1.8	1.8	0.57	1.23

Tabla D1 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
19:17:41.69	+19:09:59.05	19.7	13.52	2.1	1.5	0.48	1.06
19:21:09.77	+19:35:53.54	20.3	14.25	1.8	1.4	0.28	1.08
19:21:26.34	+10:53:40.21	18.5	10.95	2.4	1.8	0.56	1.09
19:22:04.54	+10:31:53.69	18.4	9.04	2.4	2.1	0.94	1.91
19:23:45.38	+08:19:52.17	20.3	14.91	2.0	1.3	0.68	1.66
19:25:44.56	+19:02:11.48	20.4	13.78	1.9	1.4	0.50	1.07
19:26:19.71	+24:16:22.41	19.6	14.54	1.8	1.3	0.51	1.45
19:26:35.81	+22:39:24.25	18.0	12.21	1.7	1.3	0.53	1.14
19:28:41.37	+17:55:13.57	20.5	13.63	1.7	2.1	0.67	1.42
19:29:45.87	+18:24:24.28	20.2	14.25	1.6	1.4	0.65	1.23
19:33:29.64	+15:57:27.35	15.6	5.68	3.3	1.7	0.58	1.24
19:37:26.86	+21:39:04.15	19.7	13.09	2.2	1.7	0.46	1.08
19:42:00.48	+25:12:00.89	19.8	11.23	2.4	1.6	0.56	1.51
19:43:03.11	+23:39:41.51	20.2	14.61	1.5	1.3	0.44	1.05
19:44:02.87	+26:01:06.18	20.1	12.70	2.1	2.1	0.50	1.24
19:46:22.78	+24:36:22.24	20.1	13.76	1.8	1.3	0.56	1.26
19:46:30.84	+24:37:38.55	20.0	14.49	1.5	1.4	0.43	1.04
19:47:35.92	+24:08:47.71	20.4	14.75	1.5	1.4	0.54	1.12
19:58:35.23	+26:24:23.10	20.3	14.10	1.8	2.0	0.49	1.13
20:01:53.99	+35:38:01.23	20.1	14.28	1.6	1.5	0.60	1.27
20:04:48.04	+28:56:33.74	19.7	13.66	1.6	1.5	0.49	1.10
20:04:58.21	+29:15:02.33	20.1	14.75	1.4	1.5	0.42	1.18
20:12:59.91	+31:14:59.50	20.3	12.77	2.0	1.3	0.74	1.40
20:16:47.16	+38:00:33.01	20.0	14.18	1.4	1.7	0.63	1.25
20:17:13.64	+40:30:31.15	18.6	12.96	1.4	1.2	0.60	1.14
20:19:50.62	+41:12:52.24	19.8	13.13	1.9	1.8	0.58	1.16
20:19:58.70	+41:04:24.68	18.6	12.70	1.8	1.4	0.55	1.09
20:20:25.74	+41:04:26.26	20.2	14.31	2.0	1.9	0.32	1.09
20:22:22.10	+38:57:28.61	20.0	14.18	1.6	1.5	0.50	1.20
20:23:49.02	+41:56:37.92	19.8	13.76	1.7	1.4	0.58	1.20
20:26:41.88	+38:53:30.27	20.2	14.37	1.7	1.3	0.58	1.15
20:27:08.50	+37:25:07.93	19.7	12.39	1.8	1.3	0.84	1.63
20:29:09.02	+39:31:40.78	19.4	13.93	1.6	1.3	0.31	1.04
20:38:45.49	+42:05:21.21	20.4	13.43	1.8	1.4	0.51	1.13
20:39:29.27	+44:36:46.24	20.3	12.02	2.3	1.6	0.98	1.80
20:41:15.19	+47:15:32.44	19.4	10.08	4.0	2.1	0.51	1.24
20:41:19.01	+34:44:52.27	13.6	7.95	1.9	1.4	0.36	1.08
20:46:48.45	+44:11:14.26	18.9	11.95	2.1	1.7	0.51	1.07
20:49:11.22	+43:50:48.25	20.0	11.79	2.2	1.4	0.72	1.55
20:52:00.17	+44:19:59.04	17.9	12.22	1.7	1.3	0.48	1.13
20:52:24.01	+44:31:55.38	19.8	12.79	2.1	1.4	0.66	1.25
20:53:35.44	+44:27:48.27	17.4	11.85	1.4	1.6	0.63	1.20
20:56:36.18	+43:21:32.70	18.1	12.81	1.5	1.9	0.54	1.04
20:59:14.00	+44:16:12.14	20.1	12.73	2.1	1.4	0.79	1.56

Tabla D1 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
21:14:10.54	+47:18:24.09	20.5	14.83	1.4	1.2	0.55	1.32
21:22:27.32	+52:35:55.66	19.2	13.25	1.5	1.4	0.65	1.28
21:38:22.79	+57:40:17.18	19.0	13.35	1.9	1.3	0.43	1.05
21:39:38.83	+57:54:51.36	19.7	13.03	1.7	2.2	0.59	1.14
21:47:17.92	+49:39:33.67	20.2	14.11	2.0	1.4	0.46	1.12
22:11:58.47	+58:25:31.26	19.5	14.66	1.4	1.2	0.30	1.07
22:22:00.37	+58:45:30.10	19.8	13.94	1.6	1.7	0.52	1.16
22:32:29.99	+58:22:05.48	20.4	14.42	1.6	1.4	0.76	1.44
22:47:25.84	+62:02:46.41	20.5	13.45	2.4	1.5	0.36	1.20
22:50:53.99	+62:29:41.37	19.3	13.14	2.0	1.6	0.49	1.22
22:51:12.35	+62:23:11.86	19.5	13.38	2.0	1.6	0.44	1.04
22:52:00.33	+61:46:03.78	20.1	14.26	2.0	1.8	0.40	1.24
22:52:59.28	+62:07:45.43	19.9	12.74	2.3	1.9	0.56	1.16
22:53:18.87	+62:29:26.88	17.3	11.48	1.5	1.4	0.62	1.21
22:53:18.99	+62:26:31.81	18.3	12.62	1.6	1.3	0.46	1.05
22:53:34.11	+62:38:20.04	19.9	12.55	2.3	1.5	0.50	1.12
22:55:00.97	+62:03:40.33	19.8	13.09	2.0	1.6	0.47	1.29
22:55:17.47	+62:33:34.34	18.7	12.02	2.2	1.4	0.56	1.17
22:55:54.46	+62:07:46.24	19.9	13.20	1.9	1.8	0.67	1.26
22:56:14.13	+62:43:43.50	18.7	12.97	1.7	1.6	0.44	1.06
22:56:30.95	+62:41:38.52	19.1	12.60	1.7	1.5	0.60	1.16
22:56:47.98	+62:38:40.05	20.0	13.46	2.0	1.6	0.58	1.09
22:56:48.79	+62:20:43.32	18.3	12.43	1.7	1.5	0.49	1.10
22:56:52.60	+62:46:56.08	19.6	13.57	2.0	1.3	0.52	1.04
22:57:02.71	+62:29:01.80	19.3	13.36	1.9	2.0	0.48	1.05
22:58:34.38	+61:38:38.45	18.6	12.31	1.8	1.4	0.58	1.18
22:58:40.44	+62:58:58.96	19.7	14.22	2.0	1.4	0.29	1.11
22:59:15.82	+63:52:24.17	18.9	12.99	1.7	1.2	0.54	1.15
23:00:35.58	+61:17:30.46	18.7	13.50	1.4	1.4	0.49	1.08
23:00:59.38	+61:50:37.43	20.2	13.20	2.3	1.9	0.50	1.19
23:02:10.14	+61:23:09.42	17.6	11.43	1.4	1.3	0.35	1.20
23:03:41.76	+61:47:36.13	19.1	12.07	2.0	1.5	0.77	1.46
23:05:31.14	+60:12:23.89	19.1	13.64	1.5	1.2	0.44	1.10
23:16:01.21	+64:19:08.86	20.3	14.11	2.2	1.9	0.34	1.11
23:16:19.14	+64:18:21.79	18.6	12.69	1.6	1.3	0.46	1.23
23:16:27.55	+63:03:38.12	19.2	13.63	1.4	1.8	0.39	1.13
23:17:43.69	+58:34:23.60	20.3	15.12	1.4	1.2	0.38	1.08
23:18:58.89	+58:00:51.31	20.4	14.88	1.4	1.3	0.46	1.20
23:46:18.70	+60:27:12.84	20.3	14.70	1.6	1.5	0.47	1.15
23:48:52.84	+59:24:52.71	20.0	15.08	1.5	1.3	0.38	1.05

E

Candidatos a estrella simbiótica en D/D2

Tabla E1 – Igual que la Tabla D1 para los candidatos a estrella simbiótica que satisfacen la combinación D/D2.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]
19:17:04.02	+14:27:49.67	19.4	11.41	1.1	3.0	1.34
19:39:43.36	+26:29:33.05	15.3	7.35	-0.2	2.9	2.09
22:48:34.32	+58:29:08.35	17.8	7.91	0.5	2.7	1.67

F

Candidatos a estrella simbiótica en S2/D2

Tabla F1 – Igual que la Tabla D1 para los candidatos a estrella simbiótica que satisfacen la combinación S2/D2.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
00:02:06.94	+67:11:27.26	19.6	12.18	1.9	1.3	1.05	1.59
00:03:18.15	+67:12:51.53	20.3	13.07	1.9	1.7	0.82	1.41
00:22:32.19	+60:50:19.05	20.3	13.37	1.5	1.3	0.91	1.40
00:27:14.49	+65:33:21.96	19.3	12.06	1.8	1.6	0.94	1.50
00:30:13.44	+65:28:12.52	18.8	11.69	1.4	1.3	1.19	1.74
00:38:18.68	+63:06:05.21	19.8	9.72	2.0	1.4	1.61	2.03
01:27:45.35	+62:02:21.25	20.2	12.47	1.8	1.4	1.10	1.52
03:05:12.62	+60:48:43.01	17.7	11.74	1.5	1.3	1.10	1.69
03:08:59.51	+56:43:58.07	20.3	12.83	2.0	1.5	0.91	1.41
03:35:40.01	+57:58:35.66	18.3	11.93	1.5	1.2	1.01	1.41
04:27:54.38	+48:10:08.75	19.5	11.94	1.4	1.6	1.61	1.96
04:40:11.19	+47:23:25.97	20.0	13.33	1.5	1.3	0.90	1.42
05:22:43.78	+33:25:25.76	16.5	9.42	1.5	1.3	1.35	1.61
05:27:51.73	+34:26:50.70	20.3	13.65	1.4	1.8	1.04	1.52
05:37:06.57	+27:47:24.21	19.4	12.81	1.6	1.4	1.06	1.54
05:38:44.89	+33:41:03.97	20.1	13.65	1.5	2.2	1.09	1.51
05:38:59.12	+36:02:08.65	20.4	13.79	1.6	1.5	0.94	1.42
05:40:11.54	+23:51:50.21	18.6	11.65	1.4	1.2	1.14	1.48
05:40:46.82	+35:46:52.45	20.1	13.29	1.6	1.3	0.94	1.43
05:40:59.93	+35:39:48.41	20.3	13.23	1.7	1.5	0.91	1.50
05:41:21.93	+35:51:54.29	20.0	12.18	1.7	1.5	0.94	1.41
05:47:01.46	+21:00:02.76	17.9	10.59	1.6	1.4	1.85	2.31
05:47:01.60	+21:00:06.77	19.1	11.53	1.9	1.4	1.13	1.67
05:50:38.54	+27:03:15.93	19.1	12.27	1.6	1.3	0.98	1.51
05:51:12.17	+25:46:03.34	18.4	11.75	1.6	1.5	1.02	1.40
06:06:54.84	+20:39:16.34	18.5	11.36	1.7	1.3	1.10	1.57
06:08:47.70	+20:29:05.44	20.0	12.06	2.1	1.8	1.11	1.54
06:08:55.44	+20:30:46.88	18.9	12.00	1.6	1.3	0.97	1.47
06:12:40.70	+15:26:33.93	20.3	13.30	1.6	1.3	0.89	1.41
06:13:42.22	+19:41:43.77	19.6	13.71	1.5	1.3	1.05	1.50
06:14:28.79	+13:48:37.58	19.8	11.50	1.9	1.5	1.32	1.61
06:17:20.83	+23:29:59.10	20.2	13.40	1.8	1.3	1.11	1.51

Tabla F1 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
06:18:07.62	+19:24:43.26	19.7	12.47	1.4	1.2	1.44	1.66
06:23:25.05	+22:57:10.88	20.0	12.66	1.8	1.5	1.08	1.47
06:31:02.57	+09:59:20.65	17.9	13.43	1.4	1.5	0.79	1.44
06:31:19.10	+10:22:46.51	19.1	11.91	1.5	1.2	0.90	1.56
06:31:21.82	+03:42:09.39	19.8	12.76	1.6	1.4	0.93	1.44
06:32:27.43	+10:34:32.15	19.9	11.75	2.2	1.5	0.88	1.48
06:32:38.33	+03:53:09.87	19.9	12.72	1.5	1.4	0.90	1.42
06:40:18.67	+09:37:00.72	18.5	11.51	1.8	1.3	0.83	1.40
06:40:48.61	+09:35:57.51	17.3	10.60	1.6	1.8	1.60	2.17
18:28:50.19	+00:09:49.71	19.6	10.30	2.1	1.6	1.03	1.68
18:45:05.23	+00:11:58.62	19.1	10.69	1.8	1.6	1.32	1.75
18:45:32.05	-00:50:29.40	18.9	8.54	2.5	1.6	1.45	1.91
18:46:01.26	-02:04:12.00	20.1	13.55	1.6	1.8	1.08	1.50
18:47:23.12	+00:00:26.62	20.2	12.49	2.0	2.0	1.38	1.66
18:52:31.43	+02:15:25.36	18.9	11.53	2.2	1.5	0.81	1.44
18:53:00.68	-00:21:23.10	19.2	9.17	2.7	1.6	1.39	1.72
18:55:06.03	+00:54:26.80	19.0	12.23	1.9	1.4	1.31	1.82
18:55:25.47	+01:09:52.74	20.1	10.59	2.4	1.7	1.19	1.62
18:55:33.05	+04:02:21.45	20.5	12.24	2.0	1.4	1.27	1.88
18:55:49.27	+02:43:20.17	20.2	8.34	2.7	1.7	1.78	2.42
19:03:30.81	+02:18:00.61	18.7	12.01	1.5	1.6	1.02	1.40
19:07:33.50	+05:29:30.24	20.1	12.79	1.7	1.4	1.08	1.39
19:19:52.70	+13:13:04.23	16.5	6.62	2.6	1.6	1.49	1.81
19:20:28.05	+15:19:25.38	19.4	11.06	2.0	1.5	1.38	1.65
19:22:14.52	+22:02:17.35	19.8	13.33	1.8	1.6	0.81	1.40
19:28:02.94	+17:16:43.26	19.3	10.88	1.9	1.8	1.69	1.59
19:29:18.42	+17:56:52.58	18.3	10.69	2.0	1.3	0.99	1.56
19:30:00.50	+18:21:23.07	19.1	12.50	1.7	1.2	0.87	1.50
19:30:24.45	+18:19:38.28	19.3	10.96	1.7	1.4	1.19	1.64
19:31:08.66	+16:49:50.52	19.3	10.70	2.3	1.5	1.07	1.43
19:31:35.57	+18:14:03.15	19.7	9.65	2.3	2.0	1.45	1.91
19:35:11.45	+20:03:22.50	17.2	8.67	1.7	2.2	1.38	1.82
19:38:30.62	+23:54:38.44	17.8	7.00	3.4	2.5	1.55	2.25
19:39:53.88	+23:13:14.42	20.1	9.83	2.8	1.9	1.40	1.86
19:42:24.39	+23:06:22.56	19.1	12.97	1.4	1.4	0.86	1.41
19:42:38.89	+22:53:24.03	18.9	11.79	1.8	1.4	1.02	1.48
19:48:38.92	+26:11:47.43	16.7	9.42	1.8	1.4	1.21	1.47
19:49:29.00	+26:45:15.61	19.3	11.76	1.5	1.2	1.14	1.58
19:54:05.86	+28:07:40.67	16.2	5.69	2.5	1.8	1.61	2.05
19:57:19.90	+26:44:53.22	19.5	12.82	1.8	1.4	1.01	1.55
20:13:58.70	+31:42:10.82	19.4	10.97	2.0	1.5	1.18	1.51
20:15:09.11	+37:10:38.71	19.7	10.55	1.9	1.3	1.33	1.62
20:15:50.95	+37:30:04.23	18.0	9.96	1.5	2.2	1.51	1.61
20:16:23.17	+37:37:04.55	19.3	11.48	1.9	1.6	1.18	1.41

Tabla F1 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
20:16:29.83	+29:22:04.11	19.2	11.56	1.9	1.4	0.93	1.39
20:17:22.17	+39:19:25.22	20.4	13.12	1.6	1.4	0.96	1.45
20:18:37.29	+36:43:45.88	19.5	11.10	1.5	1.8	1.77	1.72
20:20:13.49	+41:10:38.92	18.6	10.21	2.0	1.4	1.13	1.60
20:20:58.51	+38:09:49.85	16.0	8.87	1.5	1.6	1.52	1.50
20:21:17.62	+41:03:41.15	20.4	12.64	2.1	1.5	0.90	1.42
20:29:05.71	+40:31:09.66	20.0	11.06	1.8	1.5	1.39	1.95
20:31:24.76	+40:59:44.23	20.3	12.22	2.0	1.4	1.04	1.51
20:31:55.32	+40:22:16.60	20.0	12.43	2.1	1.4	0.79	1.44
20:33:01.11	+40:14:49.15	19.1	12.49	1.4	1.6	1.01	1.48
20:35:21.39	+39:36:00.51	19.2	10.82	2.2	1.4	1.13	1.57
20:36:40.84	+45:54:06.98	19.7	14.24	1.6	1.7	1.06	1.66
20:38:39.89	+42:01:17.83	19.8	11.81	2.0	1.5	0.95	1.46
20:41:21.02	+41:17:21.24	19.1	12.74	1.6	1.6	1.13	1.68
20:41:40.07	+41:12:27.88	17.4	10.46	1.7	1.4	0.97	1.39
20:48:59.78	+44:41:27.77	19.4	12.57	1.6	1.5	0.92	1.47
20:49:32.18	+44:17:03.14	18.0	11.36	1.5	1.5	1.01	1.48
20:51:02.12	+47:12:37.42	18.4	11.46	1.8	1.3	0.91	1.44
20:53:40.69	+44:38:47.87	20.3	11.54	2.5	1.5	0.95	1.64
21:02:23.85	+50:03:06.70	18.0	10.54	1.9	1.3	0.99	1.45
21:02:52.93	+50:14:00.09	18.6	10.70	1.9	1.4	0.94	1.63
21:16:37.59	+50:18:28.10	20.2	13.50	1.4	1.3	1.11	1.45
21:22:00.50	+46:54:32.69	15.7	8.59	1.4	1.2	1.20	1.42
21:23:50.18	+50:08:18.23	19.0	11.73	1.6	1.4	1.10	1.55
21:27:38.58	+50:30:40.19	18.5	10.89	1.7	1.5	1.30	1.46
21:32:12.02	+52:41:46.49	19.6	13.29	1.5	1.4	1.20	1.54
21:37:25.39	+58:02:52.66	19.9	14.18	1.5	1.6	0.90	1.40
21:40:42.80	+58:19:37.40	19.0	11.64	1.9	1.8	0.91	1.39
21:43:22.50	+47:20:40.55	20.0	12.58	1.5	1.6	1.38	2.13
21:57:23.76	+55:25:12.09	20.0	13.08	1.6	1.3	1.03	1.49
22:14:38.00	+61:28:06.13	19.6	11.63	1.9	1.5	1.03	1.56
22:19:11.19	+60:58:01.64	18.8	10.20	1.7	1.5	1.53	2.04
22:20:55.04	+58:30:00.45	20.1	12.52	1.7	1.3	1.52	2.59
22:47:14.25	+59:21:49.08	17.4	9.53	1.6	1.4	1.26	1.61
22:52:15.62	+62:16:52.13	19.7	12.05	1.9	1.3	0.96	1.43
22:53:16.69	+62:16:45.54	19.0	10.04	2.2	1.7	1.24	1.78
22:54:17.42	+62:36:22.11	19.9	11.95	1.5	1.5	0.89	1.45
22:56:30.90	+58:24:47.47	18.4	10.67	1.7	1.3	1.28	1.63
22:57:00.21	+62:39:09.17	19.6	11.76	1.7	1.7	0.91	1.54
23:00:34.76	+62:34:36.28	18.8	12.47	1.7	1.5	0.90	1.49
23:01:37.09	+61:26:13.34	18.1	10.99	1.5	1.3	1.02	1.49
23:03:54.15	+63:01:25.93	19.8	13.22	1.7	1.5	0.81	1.43
23:04:13.79	+59:57:08.25	20.3	13.27	1.5	1.5	0.96	1.64
23:05:13.87	+60:22:54.81	20.2	14.10	1.5	1.5	0.86	1.39

Tabla F1 – Cont.

α (J2000.0)	δ (J2000.0)	r' [mag]	Ks [mag]	$(r' - i')$ [mag]	$(r' - H\alpha)$ [mag]	(H-Ks) [mag]	(J-H) [mag]
23:12:03.03	+60:18:38.62	17.7	10.15	1.6	1.3	1.25	1.67
23:17:35.92	+63:45:06.40	16.1	9.40	1.5	1.8	1.32	1.48
23:29:07.02	+59:34:30.42	17.4	9.43	1.6	1.3	1.27	1.71
23:53:05.87	+60:21:12.67	19.3	12.03	1.7	1.3	0.98	1.39