

DEPARTAMENTO DE ASTROFISICA

Universidad de La Laguna

**Formación, evolución y multiplicidad  
de enanas marrones  
y exoplanetas gigantes**

Memoria que presenta  
José Antonio Caballero Hernández  
para optar al grado de  
Doctor en Ciencias Físicas

INSTITUTO D ASTROFISICA D CANARIAS  
febrero de 2006



## Resumen

Las enanas marrones son el puente entre las estrellas menos masivas y los planetas gigantes. Más de diez años después de su descubrimiento, los mecanismos de formación de las enanas marrones aún no están completamente entendidos. Podrían formarse siguiendo el mismo proceso que origina las estrellas, pero también se han postulado otros alternativos. La función inicial de masa en cúmulos estelares, la presencia de enanas marrones alrededor de estrellas, su multiplicidad y sus discos de acreción son observables que pueden permitir restringir los modelos de formación.

En este contexto, hemos pretendido realizar una determinación precisa de la función de masa en un cúmulo estelar muy joven idóneo por su distancia y baja extinción,  $\sigma$  Orionis, para explorar un rango de masas hasta el dominio planetario. Hemos estudiado las poblaciones estelar y subestelar del cúmulo, incluyendo la presencia de discos de acreción. Además, se ha investigado la presencia de objetos subestelares como compañeros de estrellas jóvenes del vecindario solar con sensibilidad para detectar planetas, como complemento a las búsquedas Doppler de exoplanetas.

Hemos realizado un intenso esfuerzo observacional, utilizando un amplio abanico de instrumentos y telescopios, así como distintas metodologías observacionales, como imagen profunda de campo ancho en el rango óptico con seguimiento en el infrarrojo cercano, óptica adaptativa en el infrarrojo cercano, coronografía con el Hubble Space Telescope, espectroscopia multifibra de campo ancho y fotometría diferencial.

Entre los resultados más importantes de nuestros estudios en el cúmulo  $\sigma$  Orionis, se ha determinado la función de masa ( $\Delta N/\Delta M \propto M^{-\alpha}$ ) en el intervalo entre  $\sim 0.5$  y  $\sim 0.006 M_{\odot}$ , siendo creciente con un índice  $\alpha = +0.4 \pm 0.2$ , y se han detectado cinco nuevos objetos aislados de masa planetaria ( $13\text{--}6 M_{\text{Jup}}$ ). Las poblaciones estelar y subestelar poseen la misma distribución radial, lo que indica que durante las primeras etapas evolutivas comparten una región de origen y una distribución de velocidades comunes. Hemos medido una alta frecuencia de estrellas con discos de acreción, a partir de emisión  $H\alpha$ , exceso de flujo en el infrarrojo cercano y/o emisión en rayos X. También hemos encontrado discos de acreción en enanas marrones, como es el caso del análogo T Tauri subestelar S Ori J053825.4–024241. Aproximadamente el 2% de las estrellas del cúmulo tienen enanas marrones como compañeras a grandes separaciones ( $\rho \gtrsim 1000$  AU). A esas mismas distancias no hemos descubierto ningún compañero subestelar nuevo en nuestra búsqueda alrededor de una amplia muestra de estrellas jóvenes cercanas, por lo que la frecuencia de sistemas estrella-objeto subestelar en el campo parece ser inferior al 2%. En muchos de ellos hemos podido explorar separaciones más pequeñas, de hasta 50 AU, con un resultado también negativo. A separaciones menores ( $\lesssim 5$  AU), las búsquedas de velocidad de radial muestran que las enanas marrones también son muy poco frecuentes ( $\sim 0.5\%$ ), al contrario que los planetas ( $\sim 7.6\%$ ). Frente a esta escasez, las enanas marrones aisladas en cúmulos como  $\sigma$  Orionis son muy frecuentes, y posiblemente representan una extensión natural del mecanismo de formación estelar. Los planetas aislados en cúmulos podrían continuar esta extensión o bien formarse en discos y ser expulsados de su sistema durante sus primeros cientos de miles de años mediante un mecanismo muy eficiente.

**Palabras clave.** stars: low-mass, brown dwarfs – planetary systems: protoplanetary discs – stars: variables: other – accretion, accretion discs – galactic: open clusters and associations: individual:  $\sigma$  Orionis – astrobiology – techniques: photometric

**Universidad:** Universidad de La Laguna

**Doctorando:** José Antonio Caballero Hernández

**Directores:** Rafael Rebolo López & Víctor Javier Sánchez Béjar

**Árbitro interno:** Eduardo Lorenzo Martín Guerrero de Escalante

# Índice

|       |                                                                                                        |           |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| I     | INTRODUCCIÓN                                                                                           | 1         |
| 1     | <b>Enanas marrones y objetos más allá del límite de combustión de deuterio</b>                         | <b>3</b>  |
| 1.1   | Propiedades físicas de los objetos subestelares . . . . .                                              | 4         |
| 1.1.1 | Evolución temporal de los parámetros físicos . . . . .                                                 | 6         |
| 1.1.2 | Atmósferas (realmente) frías . . . . .                                                                 | 8         |
| 1.1.3 | Test de litio . . . . .                                                                                | 10        |
| 1.1.4 | Una nueva aproximación a las enanas uLTrafrías . . . . .                                               | 11        |
| 1.1.5 | Variabilidad: una herramienta para el estudio de la meteorología en enanas L y T . . . . .             | 15        |
| 1.2   | Una perspectiva histórica de las búsquedas de objetos subestelares . . . . .                           | 19        |
| 1.3   | Formación de objetos subestelares y sistemas planetarios . . . . .                                     | 22        |
| 1.4   | Cúmulos estelares y la función inicial de masa subestelar . . . . .                                    | 26        |
| 1.4.1 | Búsquedas fotométricas en cúmulos abiertos . . . . .                                                   | 26        |
| 1.4.2 | La función inicial de masa . . . . .                                                                   | 27        |
| 1.4.3 | Metodología de para calcular IMF subestelares en cúmulos . . . . .                                     | 30        |
| 1.5   | Compañeros ultrafríos de estrellas, multiplicidad de enanas L y T y discos circumsustelares . . . . .  | 32        |
| 1.5.1 | Compañeros ultrafríos de estrellas . . . . .                                                           | 32        |
| 1.5.2 | Multiplicidad de enanas L y T . . . . .                                                                | 34        |
| 1.5.3 | Discos circumsustelares . . . . .                                                                      | 36        |
| 1.6   | Objetivos de esta Tesis . . . . .                                                                      | 38        |
| II    | POBLACIÓN DE OBJETOS SUBESTELARES EN EL CÚMULO $\sigma$ ORIONIS Y SU RELACIÓN CON LA POBLACIÓN ESTELAR | 41        |
| 2     | <b>El cúmulo <math>\sigma</math> Orionis</b>                                                           | <b>43</b> |
| 2.1   | La cuarta estrella del Cinturón de Orión y su cúmulo . . . . .                                         | 44        |
| 2.1.1 | Región central . . . . .                                                                               | 45        |
| 2.1.2 | Distancia . . . . .                                                                                    | 46        |
| 2.1.3 | Edad . . . . .                                                                                         | 46        |
| 2.1.4 | Movimiento propio y velocidad radial . . . . .                                                         | 47        |
| 2.1.5 | Tamaño . . . . .                                                                                       | 48        |

|          |                                                                                                                                  |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.6    | Masa total y función de masa . . . . .                                                                                           | 49         |
| 2.1.7    | Extinción . . . . .                                                                                                              | 50         |
| 2.1.8    | Excesos infrarrojos, discos y chorros . . . . .                                                                                  | 50         |
| 2.1.9    | Emisión de rayos X . . . . .                                                                                                     | 51         |
| 2.1.10   | Emisión H $\alpha$ . . . . .                                                                                                     | 52         |
| 2.1.11   | Metalicidad . . . . .                                                                                                            | 53         |
| 2.1.12   | Variabilidad fotométrica . . . . .                                                                                               | 53         |
| 2.2      | Nuestros estudios . . . . .                                                                                                      | 54         |
| 2.3      | Una recopilación de miembros confirmados espectroscópicamente . . . . .                                                          | 59         |
| <b>3</b> | <b>Espectroscopia multiobjeto en el cúmulo <math>\sigma</math> Orionis: un puente entre las poblaciones estelar y subestelar</b> | <b>63</b>  |
| 3.1      | Búsqueda óptico-infrarroja . . . . .                                                                                             | 63         |
| 3.1.1    | Observaciones y análisis . . . . .                                                                                               | 63         |
| 3.1.2    | Selección de candidatos . . . . .                                                                                                | 65         |
| 3.2      | Espectroscopia multiobjeto . . . . .                                                                                             | 68         |
| 3.2.1    | Prolegómenos . . . . .                                                                                                           | 68         |
| 3.2.2    | Observaciones . . . . .                                                                                                          | 71         |
| 3.2.3    | Reducción . . . . .                                                                                                              | 71         |
| 3.2.4    | Estándares . . . . .                                                                                                             | 74         |
| 3.3      | Resultados y discusiones . . . . .                                                                                               | 74         |
| 3.3.1    | Recuento de espectros en Orión . . . . .                                                                                         | 76         |
| 3.3.2    | Miembros del cúmulo . . . . .                                                                                                    | 77         |
| 3.3.3    | Determinación de tipos espectrales . . . . .                                                                                     | 83         |
| 3.3.4    | Absorción de Li I . . . . .                                                                                                      | 86         |
| 3.3.5    | Emisores H $\alpha$ y acretores . . . . .                                                                                        | 89         |
| 3.3.6    | Excesos infrarrojos y su relación con rasgos espectrales . . . . .                                                               | 93         |
| 3.3.7    | Ensanchamiento de líneas fotosféricas . . . . .                                                                                  | 95         |
| 3.3.8    | Longitudes de onda y velocidades radiales . . . . .                                                                              | 97         |
| 3.3.9    | Metalicidades . . . . .                                                                                                          | 101        |
| 3.3.10   | Más notas sobre miembros del cúmulo . . . . .                                                                                    | 103        |
| 3.4      | La conexión estelar-subestelar . . . . .                                                                                         | 106        |
| 3.5      | Sumario . . . . .                                                                                                                | 118        |
| 3.6      | Apéndice: tablas y espectros . . . . .                                                                                           | 119        |
| 3.6.1    | Tabla 3.18 . . . . .                                                                                                             | 119        |
| 3.6.2    | Tabla 3.19 . . . . .                                                                                                             | 120        |
| 3.6.3    | Tabla 3.20 . . . . .                                                                                                             | 121        |
| 3.6.4    | Tabla 3.21 . . . . .                                                                                                             | 121        |
| 3.6.5    | Figuras 3.30 a 3.33 . . . . .                                                                                                    | 121        |
| 3.6.6    | Tabla 3.22 . . . . .                                                                                                             | 121        |
| <b>4</b> | <b>Una nueva minibúsqueda en el centro del cúmulo <math>\sigma</math> Orionis</b>                                                | <b>131</b> |
| 4.1      | Antecedentes . . . . .                                                                                                           | 131        |
| 4.2      | Observaciones y análisis . . . . .                                                                                               | 131        |
| 4.2.1    | Imagen $IJHK_s$ . . . . .                                                                                                        | 131        |

---

|          |                                                                                                 |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.2    | Selección . . . . .                                                                             | 137        |
| 4.3      | Resultados y discusión . . . . .                                                                | 146        |
| 4.3.1    | Notas sobre algunos objetos . . . . .                                                           | 146        |
| 4.3.2    | Distribución espectral de energía: <i>Spitzer</i> y discos . . . . .                            | 149        |
| 4.3.3    | Distribución espacial de estrellas y objetos subestelares . . . . .                             | 150        |
| 4.3.4    | Sistemas múltiples . . . . .                                                                    | 151        |
| 4.4      | Sumario . . . . .                                                                               | 151        |
| <b>5</b> | <b>Multiplicidad en <math>\sigma</math> Orionis: óptica adaptativa en el infrarrojo cercano</b> | <b>153</b> |
| 5.1      | Antecedentes . . . . .                                                                          | 153        |
| 5.2      | Observaciones . . . . .                                                                         | 154        |
| 5.3      | Resultados . . . . .                                                                            | 157        |
| 5.3.1    | $\sigma$ Orionis AB . . . . .                                                                   | 158        |
| 5.3.2    | HD 294271 . . . . .                                                                             | 163        |
| 5.3.3    | HD 37525 . . . . .                                                                              | 164        |
| 5.3.4    | HD 37686 . . . . .                                                                              | 166        |
| 5.3.5    | HD 37333 . . . . .                                                                              | 168        |
| 5.3.6    | 4771–899 . . . . .                                                                              | 169        |
| 5.4      | Sumario y discusión . . . . .                                                                   | 170        |
| <b>6</b> | <b>La función de masa hasta el dominio planetario: la búsqueda Anaga</b>                        | <b>175</b> |
| 6.1      | Observaciones y análisis . . . . .                                                              | 175        |
| 6.1.1    | Imagen $I$ con WFC . . . . .                                                                    | 177        |
| 6.1.2    | Imagen $J$ con ISAAC . . . . .                                                                  | 180        |
| 6.1.3    | Imagen $HK_s$ con $\Omega 2K$ . . . . .                                                         | 182        |
| 6.1.4    | Imagen $HK$ con CFHT-IR . . . . .                                                               | 184        |
| 6.1.5    | Observaciones auxiliares en el infrarrojo cercano . . . . .                                     | 184        |
| 6.2      | Selección de candidatos a miembros subestelares del cúmulo . . . . .                            | 186        |
| 6.2.1    | Correlación $IJ$ . . . . .                                                                      | 186        |
| 6.2.2    | Diagrama $I$ vs. $I - J$ . . . . .                                                              | 187        |
| 6.2.3    | Fuentes infrarrojas sin contrapartida óptica . . . . .                                          | 188        |
| 6.2.4    | Candidatos subestelares no seleccionados . . . . .                                              | 193        |
| 6.3      | Resultados . . . . .                                                                            | 195        |
| 6.3.1    | Diagramas color-magnitud y color-color . . . . .                                                | 195        |
| 6.3.2    | Miembros conocidos, comparativa fotométrica y espectroscopia . . . . .                          | 199        |
| 6.3.3    | Notas sobre algunos objetos . . . . .                                                           | 202        |
| 6.4      | Discusión . . . . .                                                                             | 205        |
| 6.4.1    | Complejidad y función de luminosidad . . . . .                                                  | 205        |
| 6.4.2    | Contaminación . . . . .                                                                         | 207        |
| 6.4.3    | Masa de objetos subestelares . . . . .                                                          | 209        |
| 6.4.4    | La función de masa estelar-subestelar . . . . .                                                 | 211        |
| 6.4.5    | ¿Objetos de tipo T en $\sigma$ Orionis? . . . . .                                               | 215        |
| 6.5      | Sumario . . . . .                                                                               | 217        |
| 6.6      | Apéndice: tablas . . . . .                                                                      | 218        |
| 6.6.1    | Tabla 6.15 . . . . .                                                                            | 218        |

|                                                                            |                                                                                               |            |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.6.2                                                                      | Tabla 6.16 . . . . .                                                                          | 218        |
| 6.6.3                                                                      | Tabla 6.17 . . . . .                                                                          | 219        |
| 6.6.4                                                                      | Tabla 6.18 . . . . .                                                                          | 219        |
| III ACTIVIDAD Y METEOROLOGÍA EN OBJETOS ULTRAFRÍOS:<br>DISCOS Y ATMÓSFERAS |                                                                                               | 225        |
| <b>7</b>                                                                   | <b>Variabilidad fotométrica de enanas marrones jóvenes en <math>\sigma</math> Orionis</b>     | <b>227</b> |
| 7.1                                                                        | Introducción . . . . .                                                                        | 227        |
| 7.2                                                                        | Observaciones y análisis . . . . .                                                            | 228        |
| 7.2.1                                                                      | Fotometría diferencial . . . . .                                                              | 229        |
| 7.3                                                                        | Candidatos subestelares . . . . .                                                             | 231        |
| 7.4                                                                        | Criterios de variabilidad . . . . .                                                           | 232        |
| 7.4.1                                                                      | Escalas temporales cortas . . . . .                                                           | 236        |
| 7.4.2                                                                      | Escalas temporales intermedias y largas . . . . .                                             | 238        |
| 7.5                                                                        | Discusión . . . . .                                                                           | 239        |
| 7.5.1                                                                      | Enanas marrones variables en escalas temporales largas . . . . .                              | 239        |
| 7.5.2                                                                      | Enanas marrones variables en escalas intermedias . . . . .                                    | 241        |
| 7.5.3                                                                      | Enanas marrones variables en escalas temporales cortas . . . . .                              | 241        |
| 7.5.4                                                                      | Una búsqueda de periodicidades . . . . .                                                      | 242        |
| 7.5.5                                                                      | Últimos comentarios . . . . .                                                                 | 244        |
| 7.6                                                                        | Conclusiones y resumen . . . . .                                                              | 246        |
| 7.7                                                                        | Addendum . . . . .                                                                            | 248        |
| <b>8</b>                                                                   | <b>S Ori J053825.4–024241:<br/>un objeto pseudo-T Tauri Clásico en la frontera subestelar</b> | <b>251</b> |
| 8.1                                                                        | Introducción . . . . .                                                                        | 251        |
| 8.2                                                                        | Observaciones y análisis . . . . .                                                            | 253        |
| 8.2.1                                                                      | Espectroscopia óptica . . . . .                                                               | 253        |
| 8.2.2                                                                      | Fotometría . . . . .                                                                          | 258        |
| 8.2.3                                                                      | Fotometría en el infrarrojo cercano . . . . .                                                 | 262        |
| 8.3                                                                        | Discusión . . . . .                                                                           | 263        |
| 8.3.1                                                                      | Estimación de masa . . . . .                                                                  | 263        |
| 8.3.2                                                                      | Emisión H $\alpha$ . . . . .                                                                  | 264        |
| 8.3.3                                                                      | Otras líneas de emisión y velocidad radial . . . . .                                          | 266        |
| 8.3.4                                                                      | Litio y velado óptico . . . . .                                                               | 266        |
| 8.3.5                                                                      | Variabilidad fotométrica y el escenario CTT . . . . .                                         | 270        |
| 8.3.6                                                                      | Miscelánea . . . . .                                                                          | 272        |
| 8.4                                                                        | Sumario y conclusiones . . . . .                                                              | 273        |
| 8.5                                                                        | Addendum . . . . .                                                                            | 274        |

---

IV COMPAÑEROS DE MUY BAJA MASA EN TORNO A ESTRELLAS JÓVENES Y ENANAS ULTRAFRÍAS DE LA VECINDAD SOLAR 275

**9 Búsqueda de objetos de muy baja masa en torno a estrellas jóvenes cercanas 277**

|       |                                                       |     |
|-------|-------------------------------------------------------|-----|
| 9.1   | Introducción . . . . .                                | 277 |
| 9.2   | Sistemas estelares observados . . . . .               | 280 |
| 9.3   | Búsqueda con Hubble Space Telescope . . . . .         | 285 |
| 9.3.1 | Observaciones y análisis . . . . .                    | 285 |
| 9.3.2 | Resultados . . . . .                                  | 287 |
| 9.4   | Búsquedas con sistemas de Óptica Adaptativa . . . . . | 292 |
| 9.4.1 | Observaciones . . . . .                               | 292 |
| 9.4.2 | Análisis . . . . .                                    | 293 |
| 9.4.3 | Observaciones de apoyo: campo ancho . . . . .         | 296 |
| 9.4.4 | Resultados . . . . .                                  | 297 |
| 9.5   | Sumario y discusión . . . . .                         | 303 |
| 9.6   | Tablas . . . . .                                      | 306 |

**10 Multiplicidad de enanas L: binariedad y exoplanetas habitables 315**

|        |                                                                      |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1   | Introducción . . . . .                                               | 315 |
| 10.2   | Tránsitos: monitorización en el infrarrojo cercano . . . . .         | 316 |
| 10.2.1 | Observaciones y resultados . . . . .                                 | 320 |
| 10.2.2 | Variabilidad de enanas L de campo en el infrarrojo cercano . . . . . | 323 |
| 10.2.3 | Compañeros de baja masa a grandes separaciones . . . . .             | 324 |
| 10.3   | Planetas terrestres en zonas habitables . . . . .                    | 324 |
| 10.3.1 | Zonas habitables: temperaturas efectiva y superficial . . . . .      | 324 |
| 10.3.2 | Zonas habitables alrededor de enanas ultrafrías . . . . .            | 328 |
| 10.3.3 | Un modelo sencillo . . . . .                                         | 329 |
| 10.4   | Velocidad radial: exoplanetas habitables y NAHUAL . . . . .          | 334 |

## V CONCLUSIONES, APÉNDICES Y BIBLIOGRAFÍA 339

**11 Formación, evolución y multiplicidad de enanas marrones y exoplanetas gigantes: conclusiones 341**
**A Apéndice:  $\sigma$  Orionis 345**

|       |                                                                                                         |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A.1   | Designación de miembros del cúmulo . . . . .                                                            | 345 |
| A.2   | Información en forma de tablas y figuras . . . . .                                                      | 346 |
| A.2.1 | Una recopilación de miembros confirmados espectroscópicamente . . . . .                                 | 346 |
| A.2.2 | Espectros WYFFOS+AF2 . . . . .                                                                          | 346 |
| A.2.3 | Cartas de búsqueda de los miembros y candidatos a miembros de menor masa de la búsqueda Anaga . . . . . | 346 |

|          |                                                      |            |
|----------|------------------------------------------------------|------------|
| <b>B</b> | <b>Apéndice: sistemas estelares jóvenes cercanos</b> | <b>359</b> |
| B.1      | HD 166 . . . . .                                     | 360        |
| B.2      | V344 And . . . . .                                   | 361        |
| B.3      | LN Peg ABC . . . . .                                 | 363        |
| B.4      | PW And . . . . .                                     | 364        |
| B.5      | QT And . . . . .                                     | 365        |
| B.6      | G 132-50. . . . .                                    | 367        |
| B.7      | HD 10008 . . . . .                                   | 368        |
| B.8      | BD+17 232 AB . . . . .                               | 369        |
| B.9      | $\chi$ Cet Bab . . . . .                             | 369        |
| B.10     | AG Tri AB . . . . .                                  | 371        |
| B.11     | BD+05 378 . . . . .                                  | 372        |
| B.12     | EP Eri . . . . .                                     | 372        |
| B.13     | DF Tau AB . . . . .                                  | 375        |
| B.14     | V1005 Ori . . . . .                                  | 376        |
| B.15     | AB Dor ABabC . . . . .                               | 376        |
| B.16     | HD 48189 AB . . . . .                                | 377        |
| B.17     | DX Leo A . . . . .                                   | 377        |
| B.18     | G 196-3AB . . . . .                                  | 378        |
| B.19     | HD 96064 ABC . . . . .                               | 380        |
| B.20     | $\delta$ Crv B . . . . .                             | 382        |
| B.21     | GJ 488.2AB . . . . .                                 | 382        |
| B.22     | BF CVn AB . . . . .                                  | 383        |
| B.23     | EQ Vir . . . . .                                     | 384        |
| B.24     | $\theta$ Boo B . . . . .                             | 384        |
| B.25     | OT Ser . . . . .                                     | 385        |
| B.26     | HD 139477 A . . . . .                                | 387        |
| B.27     | CR Dra AB . . . . .                                  | 388        |
| B.28     | SAO 8520 . . . . .                                   | 389        |
| B.29     | V1054 Oph AB . . . . .                               | 391        |
| B.30     | HD 155674 AB . . . . .                               | 392        |
| B.31     | V647 Her y V639 Her . . . . .                        | 393        |
| B.32     | HD 160934 A y B . . . . .                            | 394        |
| B.33     | LP Dra AB . . . . .                                  | 396        |
| B.34     | SAO 9067 y SAO 9069 . . . . .                        | 398        |
| B.35     | BY Dra ABC . . . . .                                 | 399        |
| B.36     | V1285 Aql AB . . . . .                               | 401        |
| B.37     | V511 Lyr AabB . . . . .                              | 403        |
| B.38     | HD 189087 . . . . .                                  | 404        |
| B.39     | V1396 Cyg AabB . . . . .                             | 407        |
| B.40     | LO Peg . . . . .                                     | 407        |
| B.41     | HN Peg . . . . .                                     | 409        |
| B.42     | StKM 1-1960 . . . . .                                | 410        |
| B.43     | V383 Lac . . . . .                                   | 412        |
| B.44     | GJ 856AB (WOR 11) . . . . .                          | 413        |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| B.45 EUVE J2223+25.3 . . . . .                                    | 414        |
| B.46 HIP 112073 . . . . .                                         | 417        |
| B.47 SAO 108142 AabB . . . . .                                    | 418        |
| B.48 GT Peg . . . . .                                             | 420        |
| B.49 TYC 2244 1123 1 . . . . .                                    | 421        |
| B.50 HD 220182 . . . . .                                          | 423        |
| <b>C Telescopios e instrumentos</b>                               | <b>425</b> |
| C.1 8.2 m Very Large Telescope UT1 Antu . . . . .                 | 425        |
| C.1.1 ISAAC . . . . .                                             | 426        |
| C.2 4.2 m William Herschel Telescope . . . . .                    | 426        |
| C.2.1 NAOMI+INGRID . . . . .                                      | 426        |
| C.2.2 WYFFOS+AF2 . . . . .                                        | 426        |
| C.2.3 LIRIS . . . . .                                             | 427        |
| C.2.4 INGRID . . . . .                                            | 427        |
| C.3 3.58 m Canada France Hawai'i Telescope . . . . .              | 428        |
| C.3.1 CFHT-IR . . . . .                                           | 428        |
| C.4 3.58 m Telescopio Nazionale Galileo . . . . .                 | 428        |
| C.4.1 NICS y AMICI+NICS . . . . .                                 | 428        |
| C.4.2 AdOpt@TNG+NICS . . . . .                                    | 429        |
| C.4.3 ARNICA . . . . .                                            | 429        |
| C.4.4 OIG . . . . .                                               | 429        |
| C.5 3.50 m Calar Alto Teleskop . . . . .                          | 429        |
| C.5.1 $\Omega$ -CASS . . . . .                                    | 429        |
| C.5.2 ALFA+ $\Omega$ -CASS . . . . .                              | 430        |
| C.5.3 $\Omega$ -2000 . . . . .                                    | 430        |
| C.6 2.56 m Nordic Optical Telescope . . . . .                     | 430        |
| C.6.1 ALFOSC . . . . .                                            | 431        |
| C.7 2.54 m Isaac Newton Telescope . . . . .                       | 431        |
| C.7.1 WFC . . . . .                                               | 431        |
| C.8 2.4 m Hubble Space Telescope . . . . .                        | 431        |
| C.8.1 NICMOS Coronagraph . . . . .                                | 432        |
| C.9 2.2 m Calar Alto Teleskop . . . . .                           | 432        |
| C.9.1 MAGIC . . . . .                                             | 433        |
| C.10 1.52 m Telescopio Carlos Sánchez . . . . .                   | 433        |
| C.10.1 CAIN-II . . . . .                                          | 433        |
| C.11 1.0 m Jacobus Kaptein Telescope . . . . .                    | 433        |
| C.12 1.0 m European Space Agency Orbital Ground Station . . . . . | 433        |
| C.12.1 ESACCD . . . . .                                           | 434        |
| C.13 0.82 m Telescopio IAC-80 . . . . .                           | 434        |
| C.13.1 CCD . . . . .                                              | 434        |
| C.14 Miscelánea . . . . .                                         | 435        |
| <b>D Bibliografía</b>                                             | <b>437</b> |

