

PROYECTO JOVEN INVESTIGADOR

ANALIZANDO LOS ESPECTROS DE LSOM Y SDSS PARA ENTENDER LAS POBLACIONES ESTELARES DE LA GALAXIA.

El estudio de un conjunto de estrellas químicamente peculiares

Alexander González Troncoso

Estudiante del pregrado de Astronomía

Tutores:

Lauren M. Flor Torres;

Danilo González Díaz;

Juan C. Muñoz Cuartas.



Grupo de Física y Astrofísica Computacional

Instituto de Física - Universidad de Antioquia



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

INTRODUCCIÓN

1

Composición química de las estrellas

Diferentes eventos dejaron su huella en la composición química de las estrellas en nuestra Galaxia. encontrando poblaciones de gigantes con patrones químicos característicos de estrellas de segunda generación.

(Kruijssen et al., 2020)

2

Abundancias inusuales en Cúmulos Globulares (CG)

Dichas abundancias inusuales marcan una *huella química* que se han encontrado en estrellas de segunda generación de CG en diferentes zonas de la Vía Láctea.

(Fernández-Trincado et al. 2016a)

3

Estrellas de campo

Se ha sugerido que $\sim 3\%$ de las estrellas de campo en la Galaxia muestran patrones atípicos y su origen aún no está definido. Una hipótesis es mediante transferencias de materia en un sistema binario.

4

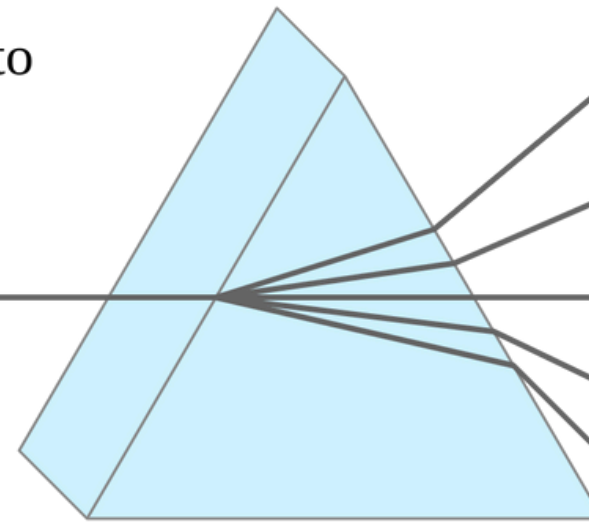
En este trabajo

Se evalúa la posibilidad de que las anomalías químicas observadas en ciertas estrellas de campo pueden explicarse por la presencia de un sistema binario. A partir del análisis de la velocidad radial (VR).

OBJETOS DE ESTUDIO

NOMBRE	ID TYC
K-rich 1	TYC22-591-1
K-rich 2	TYC26-777-1
Na-rich	TYC6908-1643-1
N-rich 1	TYC4686-2039-1
N-rich 2	TYC8517-1671-1
N-rich 3	TYC244-273-1
N-rich 4	TYC250-1352-1
N-rich 5	TYC269-474-1
N-rich 6	TYC7408-694-1
N-rich 7	TYC5256-183-1
N-rich 8	TYC8525-512-1
Si-rich	TYC5805-233-1
s-rich	TYC6524-876-1

Tipos de
Enriquecimiento
Estelar



Enriquecidas en Potasio (K-rich)



$[K/Fe] > + 0.6$
 $[Mg/Fe] < - 0.5$



Enriquecidas en Sodio (Na-rich)



$[Na/Fe] = +1.09$



Enriquecidas en Nitrógeno (N-rich)



$[N/Fe] \geq + 0.5$
 $[C/Fe] < + 0.15$



Enriquecidas en Silicio (Si-rich)



$[Si/Fe] \geq +0.5$



Enriquecidas en procesos (s-rich)



$[Na/Fe] = +0.83$
 $[Al/Fe] = +0.76$

Tabla 1: Datos principales de los objetos de estudio en esta investigación, la tabla contiene el nombre con el que será reconocida la estrella en este trabajo y el identificador (ID TYC)

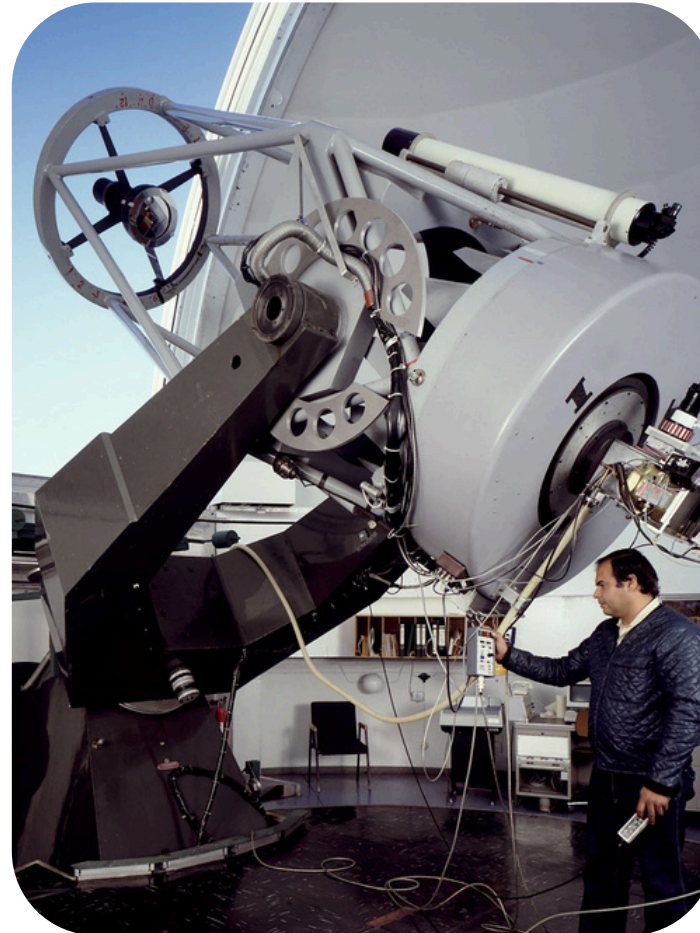
INSTRUMENTOS Y DATOS

FIDEOS

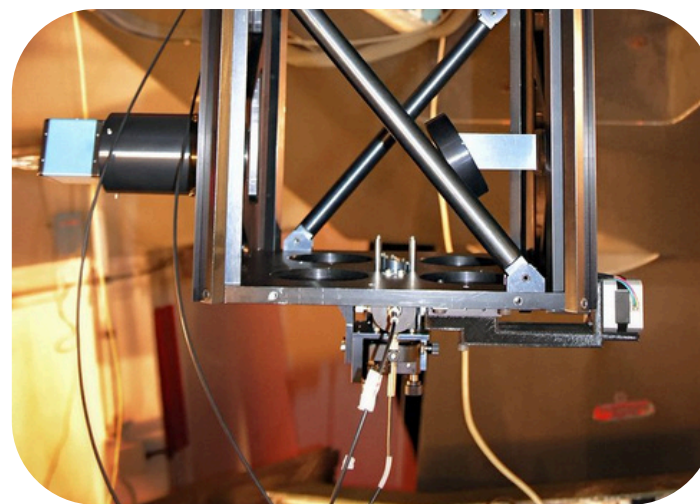
El espectrógrafo *Fiber Dual Echelle Optical Spectrograph* (FIDEOS), con una resolución de $R \sim 43000$ en el rango espectral visible, en el telescopio de **ESO-1m** que se encuentra en el observatorio de la Silla en Chile –*Large Scale Optical Monitor* (LSOM)–.

Detecta fluctuaciones de VR menores a **30 m/s** y utiliza la configuración clásica ECHELLE. (4600 a 7500 Å)

Los datos fueron adquiridos entre las fechas del 28/01/2022 al 22/12/2022. En total se obtuvieron **101** espectros de alta resolución para este trabajo.



Créditos: ESO



Créditos: Equipo de FIDEOS

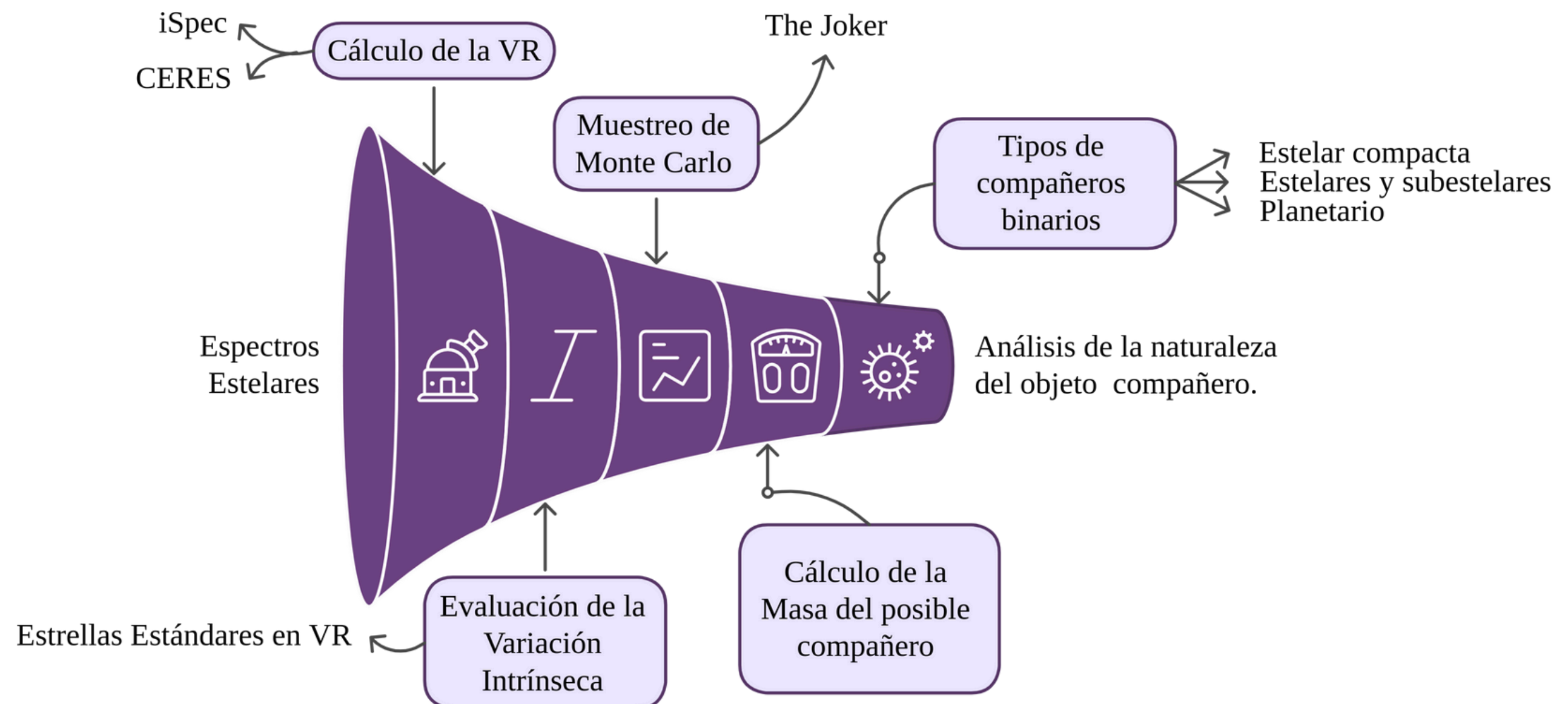
NOMBRE	V	T. EXP [s]	N° DE OBS	R. S/N
Krich-1	10,950	1800	3	17
Krich-2	9,760	1800	4	27 – 44
Na-rich	10,400	1800	4	31 – 54
Nrich-1	11,204	1800	4	14 – 27
Nrich-2	10,701	1800	5	24 – 34
Nrich-3	10,650	1800	6	19 – 39
Nrich-4	11,410	1800	3	17 – 29
Nrich-5	10,730	1800	6	20 – 36
Nrich-6	11,040	1800	3	31 – 39
Nrich-7	10,689	1800	8	22 – 29
Nrich-8	11,400	1800	3	15 – 24
Si-rich	10,620	1800	19	24 – 48
s-rich	8,400	1400	8	63 – 114

Tabla 2: Nombre de las estrellas, el ID de los objetos, su magnitud en el visible, el tiempo de exposición, el número de observaciones hechas con FIDEOS y el rango de S/N.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



Enlaces de interés:
iSpec, CERES, The Joker



ESTRELLAS VARIABLES

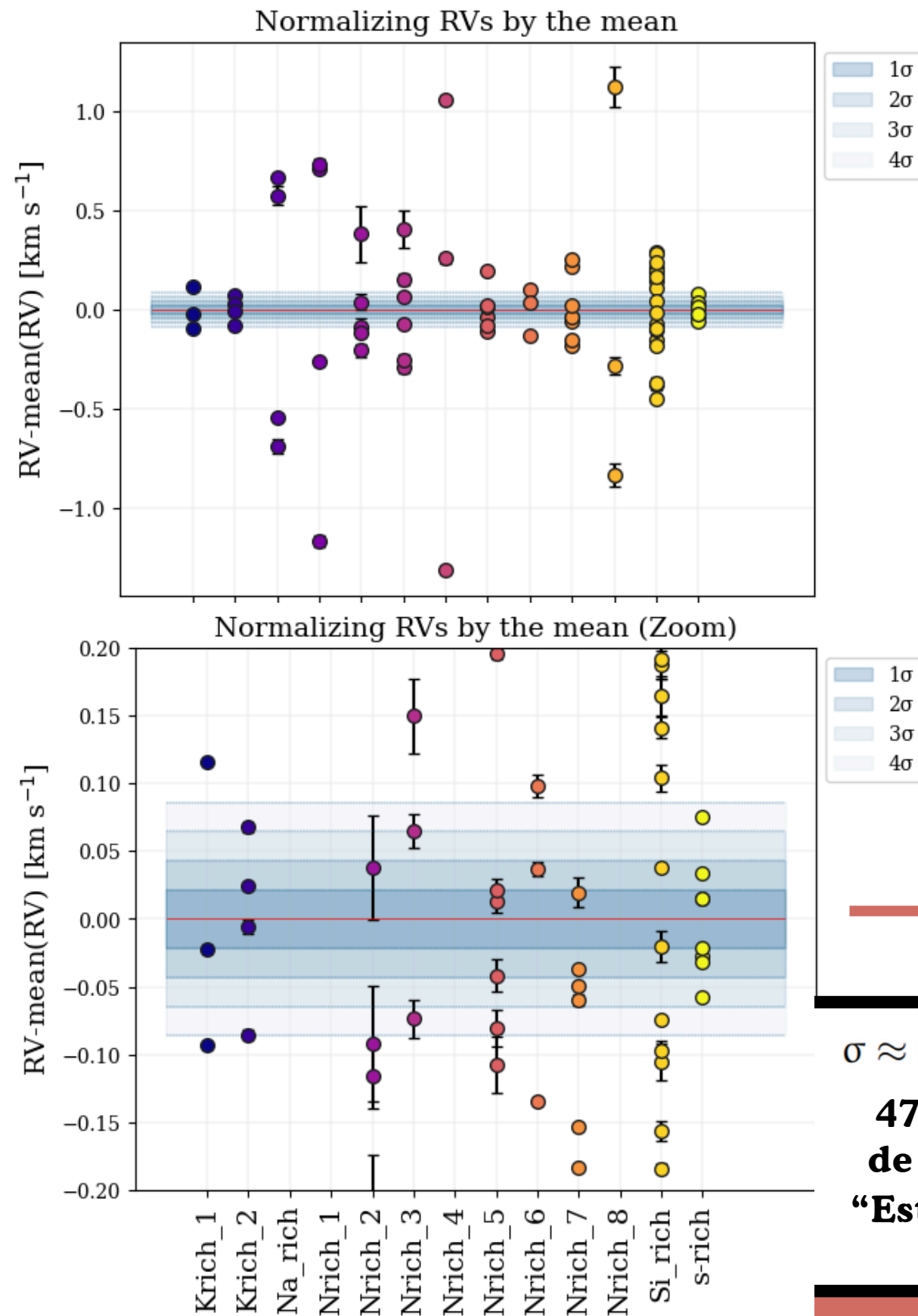


Figura 1: Variación intrínseca del instrumento FIDEOS durante las observaciones, en contraste con las variaciones de VR de cada estrella.

ESTRELLA	NÚMERO DE DATOS			ETIQUETA
	$> 0,2$ km s^{-1}	$0,1 - 0,2$ km s^{-1}	$< 0,1$ km s^{-1}	
Krich-1	0	2	1	Probable
Krich-2	0	0	4	Desconocido
Na-rich	4	0	0	Variable
Nrich-1	4	0	0	Variable
Nrich-2	2	2	1	Variable
Nrich-3	3	1	2	Variable
Nrich-4	3	0	0	Variable
Nrich-5	0	2	4	Probable
Nrich-6	0	2	1	Probable
Nrich-7	2	2	4	Variable
Nrich-8	3	0	0	Variable
Si-rich	7	9	3	Variable
s-rich	0	0	8	Desconocido

Tabla 3: Clasificación de las estrellas teniendo en cuenta las estrellas "Estándares de VR", teniendo en cuenta la cantidad de datos en cada sector establecidos.

1. POSIBLE COMPAÑERA ESTELAR COMPACTA

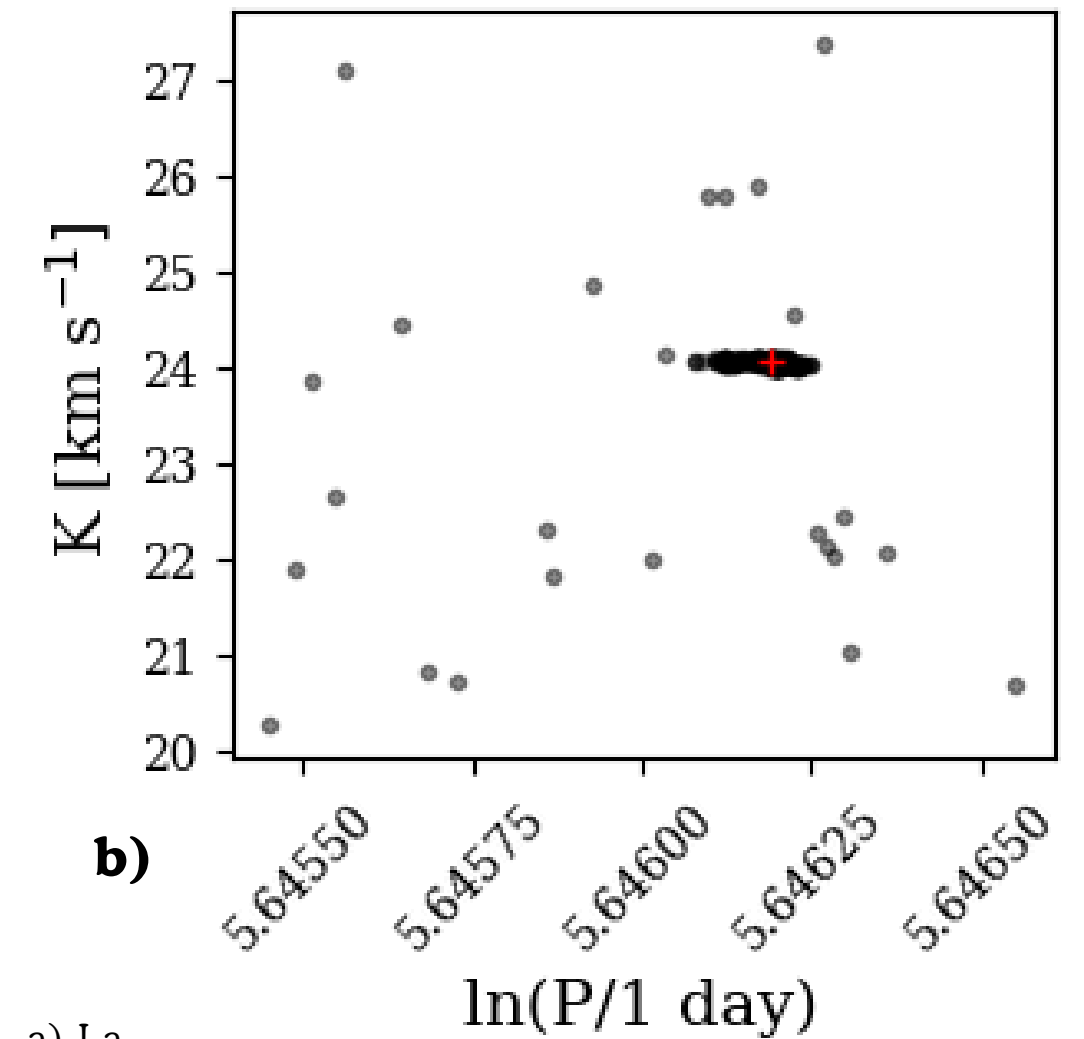
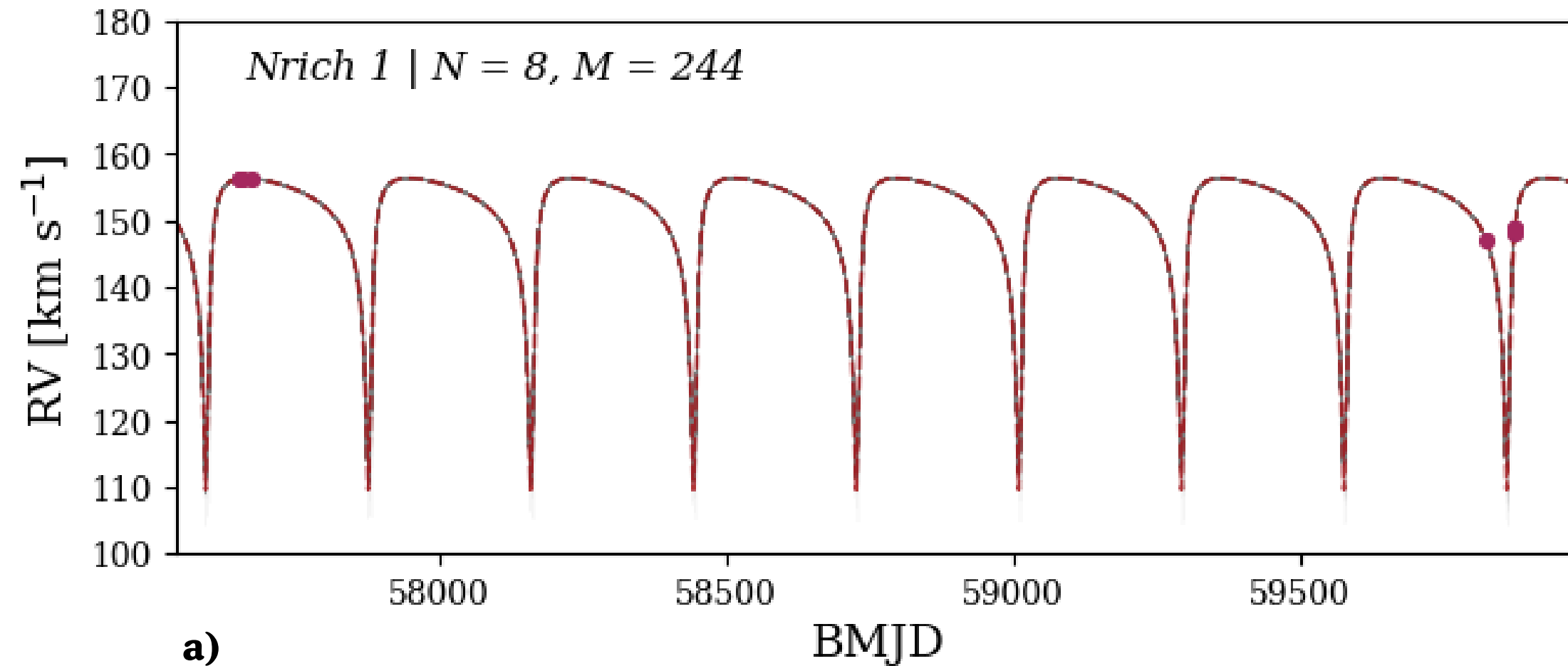
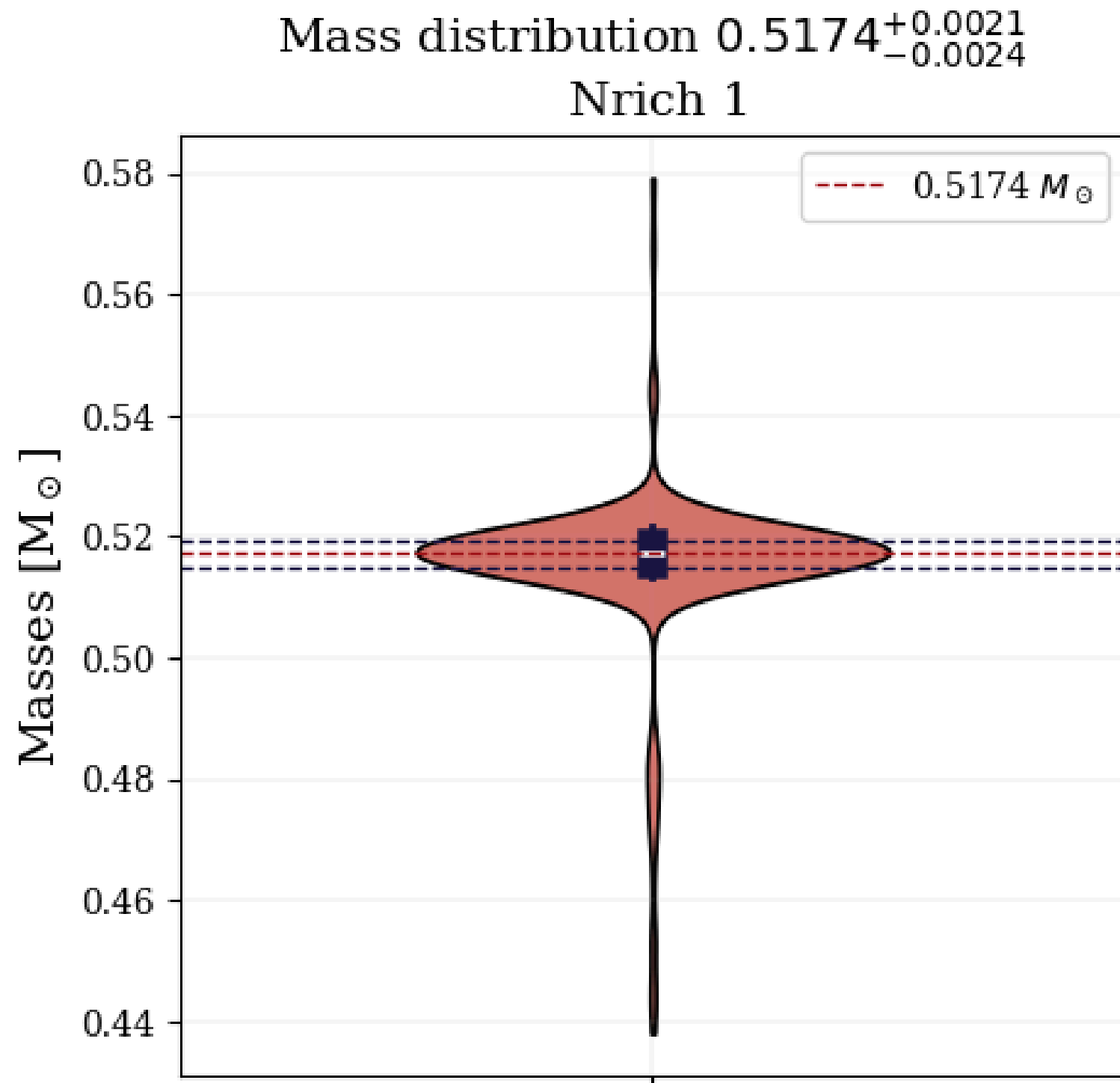


Figura 2: Muestra de las órbitas encontradas luego de realizar las simulaciones Monte Carlo para la estrella N-rich 1. a) La línea roja representa la órbita con los parámetros con mayor densidad de probabilidad. b) Parámetros relevantes Periodo y Semiamplitud de la velocidad, marcando el punto con mayor densidad de probabilidad.

1. POSIBLE COMPAÑERA ESTELAR COMPACTA



ESTRELLA	P	K	MASA
	[day]	[km s^{-1}]	[M_{\odot}]
Nrich-1	$283,216^{+0,003}_{-0,023}$	$24,04^{+0,04}_{-0,03}$	$0,5174^{+0,0021}_{-0,0024}$

Tabla 4: Periodo, Semiamplitud de la velocidad y masa estimada para la posible compañera de la estrella Nrich 1.

Las enanas blancas, tienen masas que oscilan entre 0,17 y 1,33 M_{\odot}

Fernández-Trincado et al. (2019)

Figura 3: Distribución de masas para la posible componente binaria, estableciendo el valor de mayor densidad en la distribución y la estimación de los percentiles 16 y 84.

2. POSIBLES COMPAÑERAS ESTELARES O SUBESTELARES

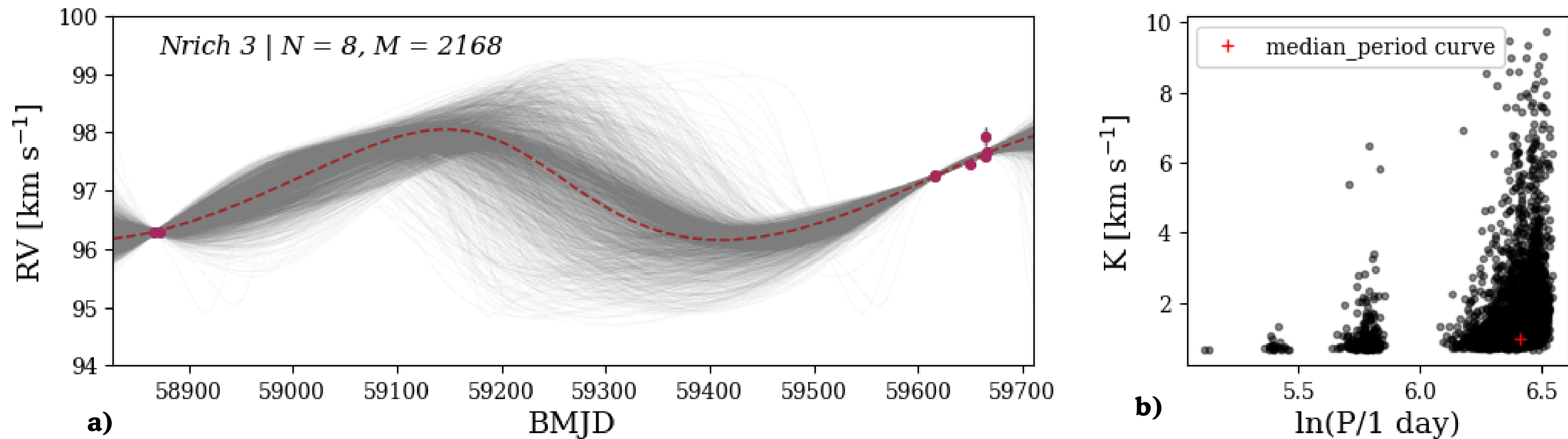


Figura 4: Muestra de las órbitas encontradas luego de realizar las simulaciones Monte Carlo para la estrella N-rich 3. a) Representa las diferentes posibilidades de órbitas. b) Vemos los armónicos del periodo más representativo.

2. POSIBLES COMPAÑERAS ESTELARES O SUBESTELARES

ESTRELLA	P [day]	K [km s ⁻¹]	MASA [M _⊙]
Na-rich	5,02 ^{+0,12} _{-0,01}	0,85 ^{+4,73} _{-0,20}	0,03 ^{+0,12} _{-0,02}
Nrich-3	638,82 ^{+5,44} _{-83,45}	0,86 ^{+0,41} _{-0,03}	0,030 ^{+0,013} _{-0,002}
Nrich-8	15,65 ^{+2,64} _{-0,08}	1,43 ^{+0,63} _{-0,20}	0,016 ^{+0,005} _{-0,003}
Nrich-4	349,70 ^{+0,69} _{-4,53}	4,17 ^{+6,16} _{-1,51}	0,082 ^{+0,317} _{-0,036}
Si-rich	544,24 ^{+11,79} _{-142,17}	3,17 ^{+3,14} _{-0,09}	0,12 ^{+0,13} _{-0,02}

Las enanas marrones, tienen masas que oscilan entre 0,013 y 0,072 M_⊙

Las enanas rojas tienen masas en un rango que va desde 0,08 hasta 0,5 M_⊙

Karjalainen et al. (2022)

Tabla 5: Objetos con posibles compañeros estelares y subestelares, presentando el periodo, la semiamplitud de la velocidad y la masa correspondiente.

3. POSIBLES COMPAÑEROS PLANETARIOS

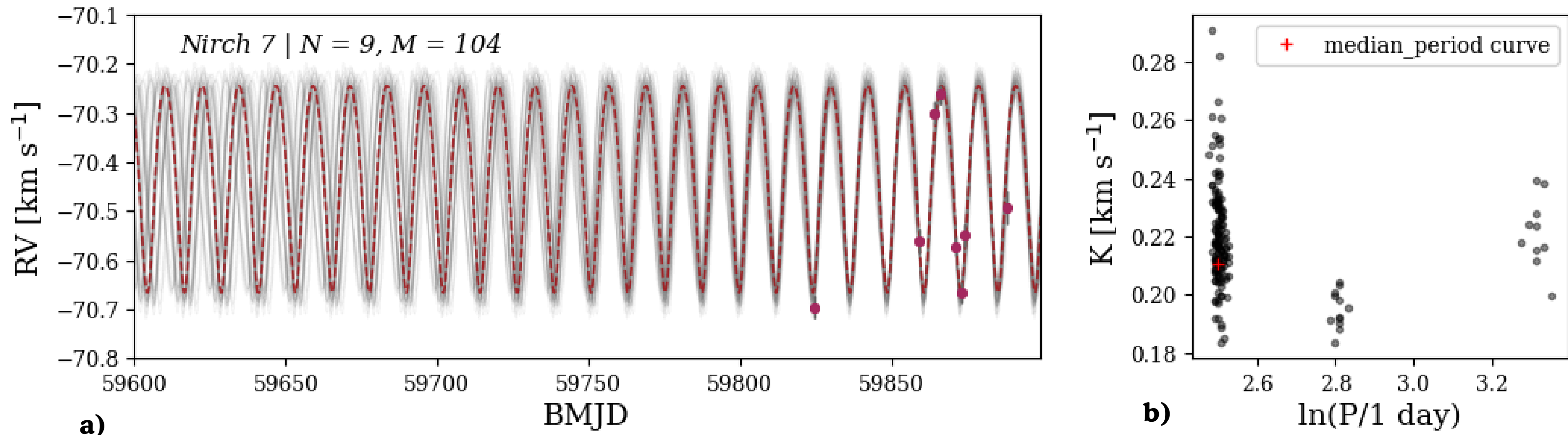


Figura 5: Muestra de las órbitas encontradas luego de realizar las simulaciones Monte Carlo para la estrella N-rich 7. a) Variación de VR, b) Comparación de Periodo y semiamplitud de la velocidad.

ESTRELLA	P [day]	K [km s ⁻¹]	MASA [M _⊙]
Nrich-2	42,77 ^{+0,02} _{-0,42}	0,65 ^{+0,16} _{-0,15}	0,0078 ^{+0,0034} _{-0,0009}
Nrich-7	12,21 ^{+0,11} _{-0,11}	0,216 ^{+0,015} _{-0,008}	0,00197 ^{+0,00014} _{-0,00005}

Tabla 6: Objetos con posibles compañeros planetarios

Podemos estar hablando de objetos jovianos entre 2 a 8 M_J

Adamów, M et al. (2012)

CONCLUSIONES

1. Del conjunto de muestras iniciales, 8 presentan una variación de la VR que supera los 8σ .
2. Se encontraron resultados consistentes con los siguientes escenarios:

- **Posible compañera estelar compacta:**

Nrich 1.

- **Posibles compañeras estelares o subestelares:**

Nrich 4, Si-rich, Na-rich, Nrich 3 y Nrich 8.

- **Posibles compañeros planetarios:**

Nrich 2 - Nrich 7.

VISIONES FUTURAS

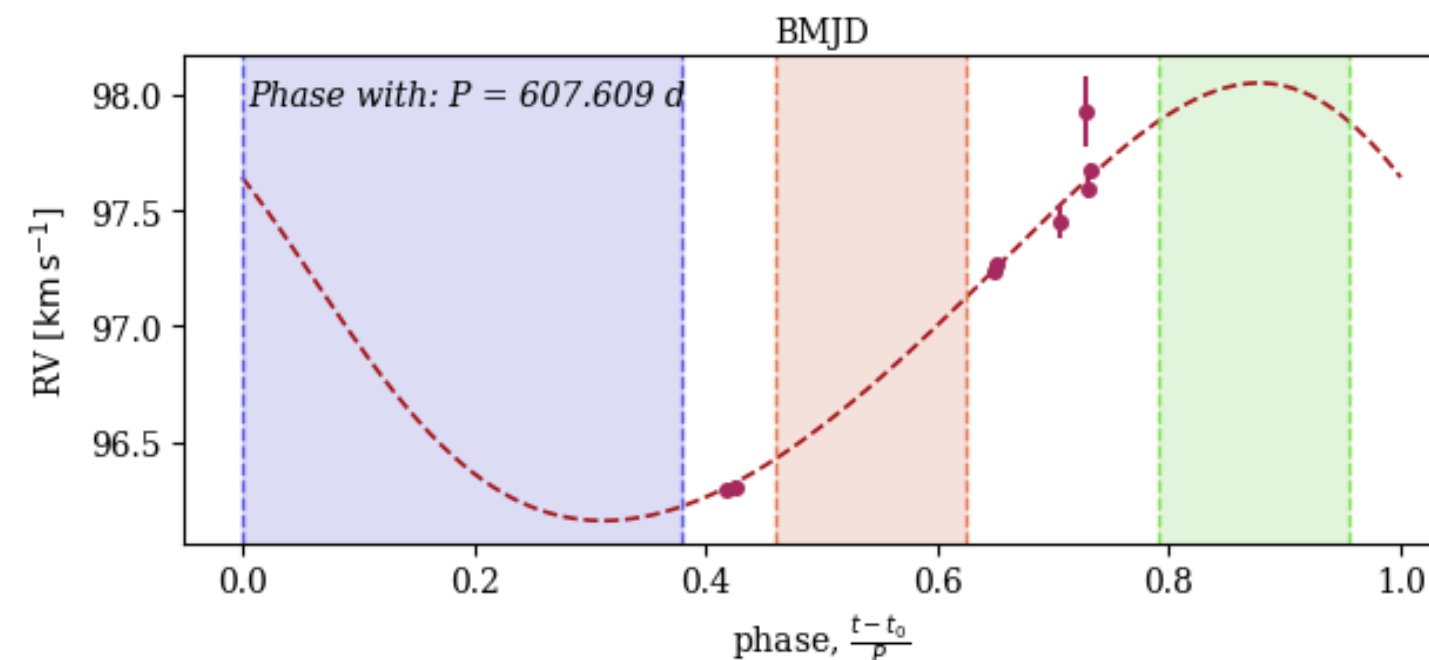


Figura 5: Órbita en fase de Nrich 3.

RELEVANCIA

*Importante reconocer que se están realizando colaboraciones internacionales desde el grupo de FACom, permitiendo la **construcción** de lazos fuertes en el área de la observación y la investigación astronómica en Colombia.*

Muchas Gracias

Email:

alexander.gonzalez@udea.edu.co



**Grupo de
Física y Astrofísica
Computacional**

Instituto de Física - Universidad de Antioquia



HERMES
Mensajeros de la ciencia



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL NORTE**

REFERENCIAS

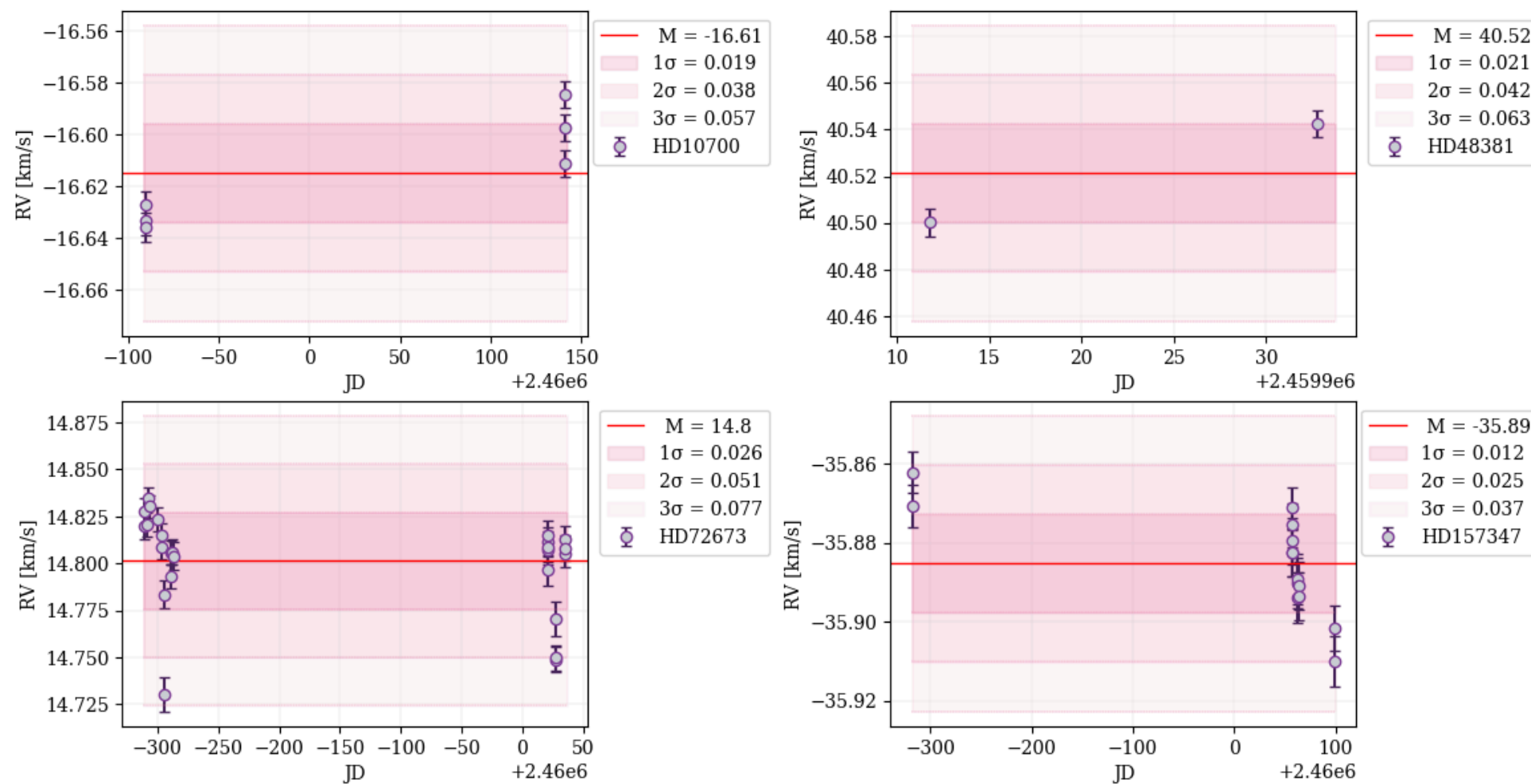
- [1].** Rafael Brahm, Andrés Jordán, and Néstor Espinoza. “CERES: A Set of Automated Routines for Echelle Spectra.” In: 129.973 (Mar. 2017), p. 034002. doi: 10.1088/1538-3873/aa5455. arXiv: 1609.02279 [astro-ph.IM]
- [2].** José G. Fernández-Trincado et al. “Galactic ArchaeoLogIcaL ExcavatiOns (GALILEO). I. An updated census of APOGEE N-rich giants across the Milky Way.” In: 663, A126 (July 2022), A126. doi: 10.1051/0004-6361/202243195. arXiv: 2204.09702 [astro-ph.GA].
- [3].** C. B. Pereira, N. A. Drake, and F. Roig. “The s-process enriched star HD 55496: origin from a globular cluster or from the tidal disruption of a dwarf galaxy?” In: 488.1 (Sept. 2019), pp. 482–494. doi: 10.1093/mnras/stz1411. arXiv: 1905.08141 [astro-ph.SR].
- [4].** Adrian M. Price-Whelan, David W. Hogg, Daniel Foreman-Mackey, and Hans-Walter Rix. “The Joker: A Custom Monte Carlo Sampler for Binary-star and Exoplanet Radial Velocity Data.” In: 837.1, 20 (Mar. 2017), p. 20. doi: 10.3847/1538-4357/aa5e50. arXiv: 1610.07602 [astro-ph.SR].
- [5].** Aldo Serenelli et al. “Weighing stars from birth to death: mass determination methods across the HRD.” In: 29.1, 4 (Dec. 2021), p. 4. doi: 10.1007/s00159-021-00132-9. arXiv: 2006.10868 [astro-ph.SR].
- [6].** Hailong Yuan et al. “Discovery of One Neutron Star Candidate from Radial-velocity Monitoring.” In: 940.2, 165 (Dec. 2022), p. 165. doi: 10.3847/1538-4357/ac9c62. arXiv: 2210.09987 [astro-ph.HE].

ANEXOS

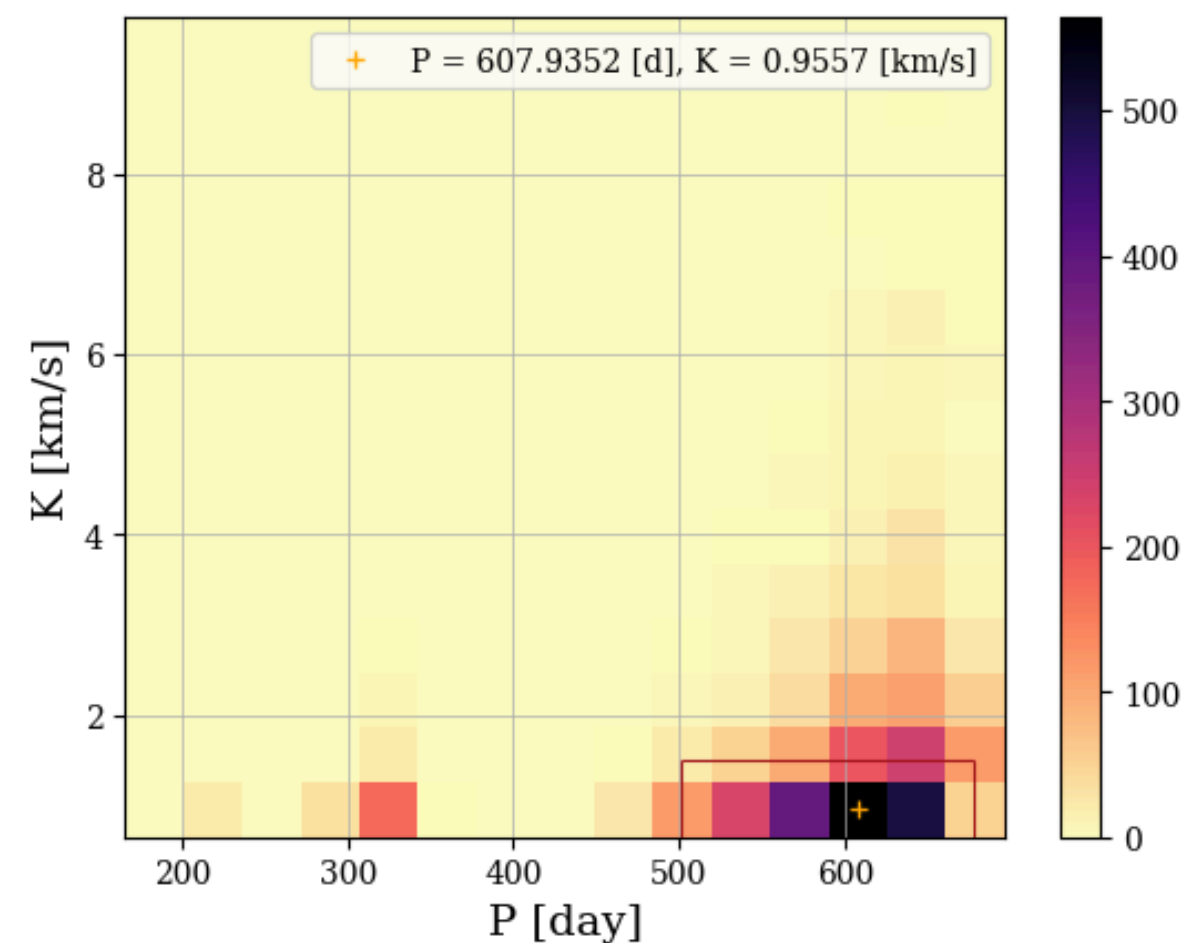
Anexo 1: Ecuación de función de masa para un sistema binario

$$f(M) = \frac{M_2 \sin^3 i}{(1 + q)^2} = \frac{PK^3(1 - e^2)^{3/2}}{2\pi G}$$

$q = M_1/M_2$
 $M_1 = 0,8 M_\odot$
 $i = 90^\circ$



Anexo 2: Estrellas estándares de VR para la variación intrínseca de FIDEOS



Anexo 3: Estrellas Correlación de los parámetros Periodo y Semiamplitud de la velocidad para la estrella Nrich 3.