

Introducción Actualmente está ampliamente aceptado que las enanas de secuencia principal (MS) con planetas gigantes gaseosos de corto periodo son, en promedio, más ricas en metales que las estrellas sin planetas detectados (ej. Fischer & Valenti 2005). Sin embargo, en el caso de las estrellas gigantes con planetas no hay resultados concluyentes. Los primeros estudios en este tipo de estrellas revelaron que, a diferencia de las enanas de MS, las gigantes con planetas no eran ricas en metales. Sin embargo el análisis se hizo sobre muestras pequeñas y/o inhomogéneas (ej. Sadakane et al. 2005; Pasquini et al. 2007). Por el contrario, Hekker & Meléndez (2007) encontraron un exceso de $[Fe/H]$ de ~ -0.13 dex estudiando 20 gigantes con planetas. Maldonado et al. (2013), investigando 43 gigantes con planetas, hallaron un exceso de $[Fe/H]$ en las gigantes con planetas con respecto a las sin planetas sólo para las estrellas de mayor masa ($M_* > 1.5 M_\odot$). Finalmente, Mortier et al. (2013) no reportaron ninguna diferencia entre estrellas con y sin planetas analizando 71 estrellas evolucionadas (gigantes y subgigantes). En vista de esta falta de consenso, en esta contribución presentamos parámetros estelares y abundancias químicas de 17 especies para una gran muestra de estrellas evolucionadas, incluyendo 86 estrellas con planetas. Esta muestra constituye, hasta la fecha, una de las de mayor tamaño analizadas de forma uniforme lo cual nos permite: i) Investigar diferencias químicas entre estrellas evolucionadas con y sin planetas; ii) Explorar potenciales diferencias entre las propiedades de los planetas alrededor de estrellas gigantes y subgigantes y además buscar posibles correlaciones entre estas propiedades y las abundancias químicas de sus estrellas huéspedes.

Muestra y Observaciones La muestra consta de 223 estrellas evolucionadas, incluyendo 86 que albergan planetas detectados por velocidad radial (VR). La muestra de control está formada por estrellas en las que se están buscando planetas por VR, pero para las cuales no se ha encontrado ninguno hasta la fecha. En la Fig. 1a se puede observar un diagrama H-R de las estrellas de la muestra, la cual incluye 56 gigantes con planetas (GWP); 101 gigantes sin planetas (GWOP); 30 subgigantes con planetas (SGWP) y 36 subgigantes sin planetas (SGWOP). Para todos los objetos se obtuvieron espectros echelle de alta resolución y relación señal-ruido con los espectrógrafos EBASIM (CASLEO), ELODIE (OHP), FEROS (ESO), HARPS (ESO) y SOPHIE (OHP).

Parámetros estelares, abundancias químicas y propiedades cinemáticas Los parámetros fundamentales, tales como temperatura efectiva (T_{eff}), gravedad superficial ($\log g$), metalicidad ($[Fe/H]$) y velocidad de microturbulencia (ξ), se derivaron de manera homogénea a partir de los anchos equivalentes de líneas de Fe I y Fe II usando el código FUNDPAR (Saffe 2011). Las abundancias químicas de 17 especies (Na, Mg, Al, Si, Ca, ScI, ScII, TiI, TiII, V, CrI, CrII, Mn, Co, Ni, Zn y BaII) se computaron a partir de los anchos equivalentes de varias líneas aisladas utilizando el programa MOOG (Snedden 1973). Además, con el objeto de establecer si las estrellas de nuestra muestra pertenecen al disco fino, disco grueso o halo, calculamos las componentes de velocidad espacial UVW siguiendo el método de Johnson & Soderblom (1987). Para clasificar a las estrellas utilizamos el criterio de Reddy et al. (2006) y encontramos que 93% de las estrellas pertenecen al disco fino, 2% son estrellas del disco grueso y 4% son estrellas de transición. No detectamos ninguna diferencia entre estrellas con y sin planetas. La Fig. 1b muestra el diagrama de Toomre correspondiente a la muestra total.

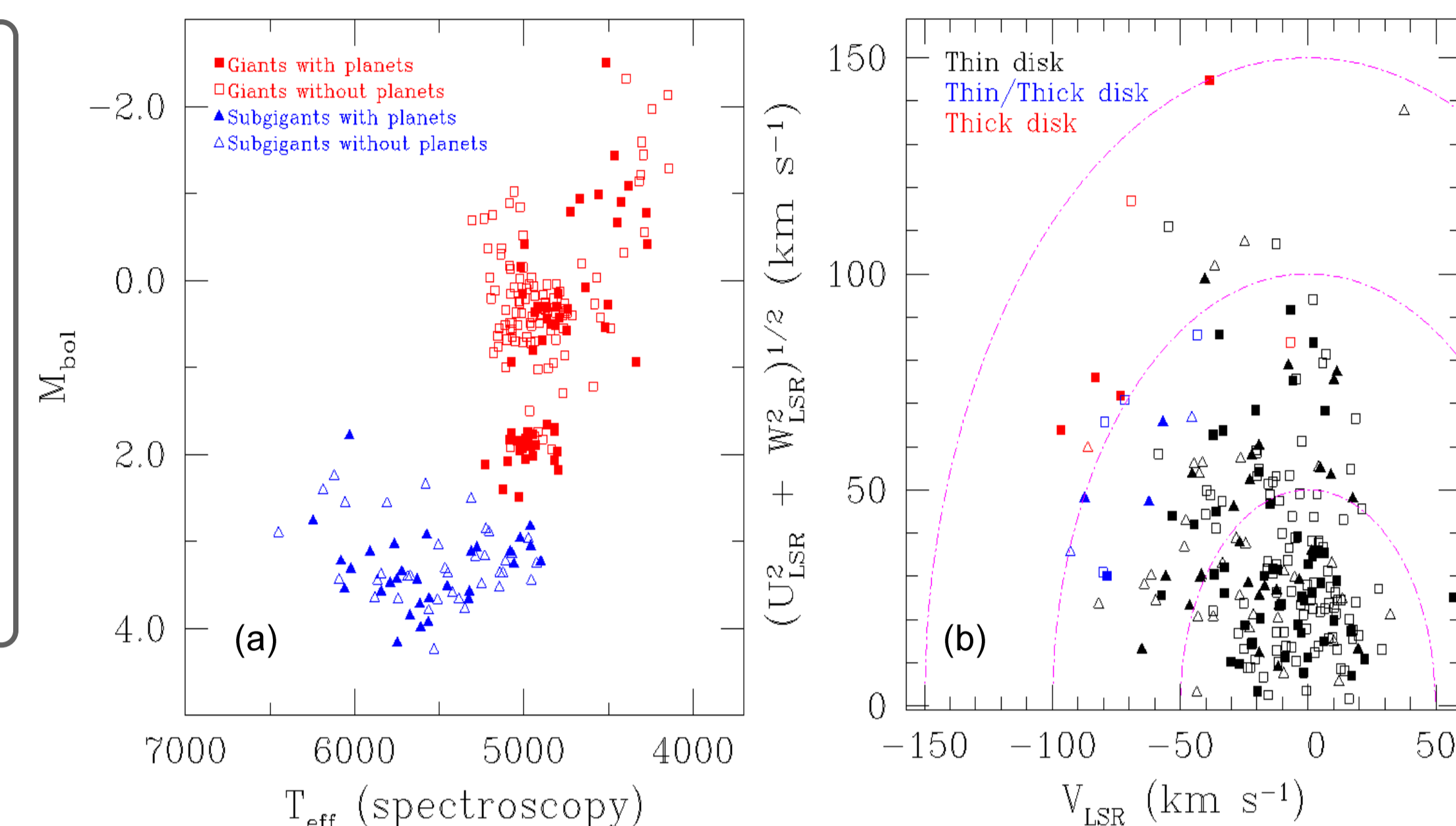


Fig. 1: (a) Ubicación de las estrellas de la muestra en el diagrama H-R. (b) Diagrama de Toomre. Las estrellas gigantes están indicadas con cuadrados y las subgigantes con triángulos. Símbolos llenos corresponden a estrellas con planetas.

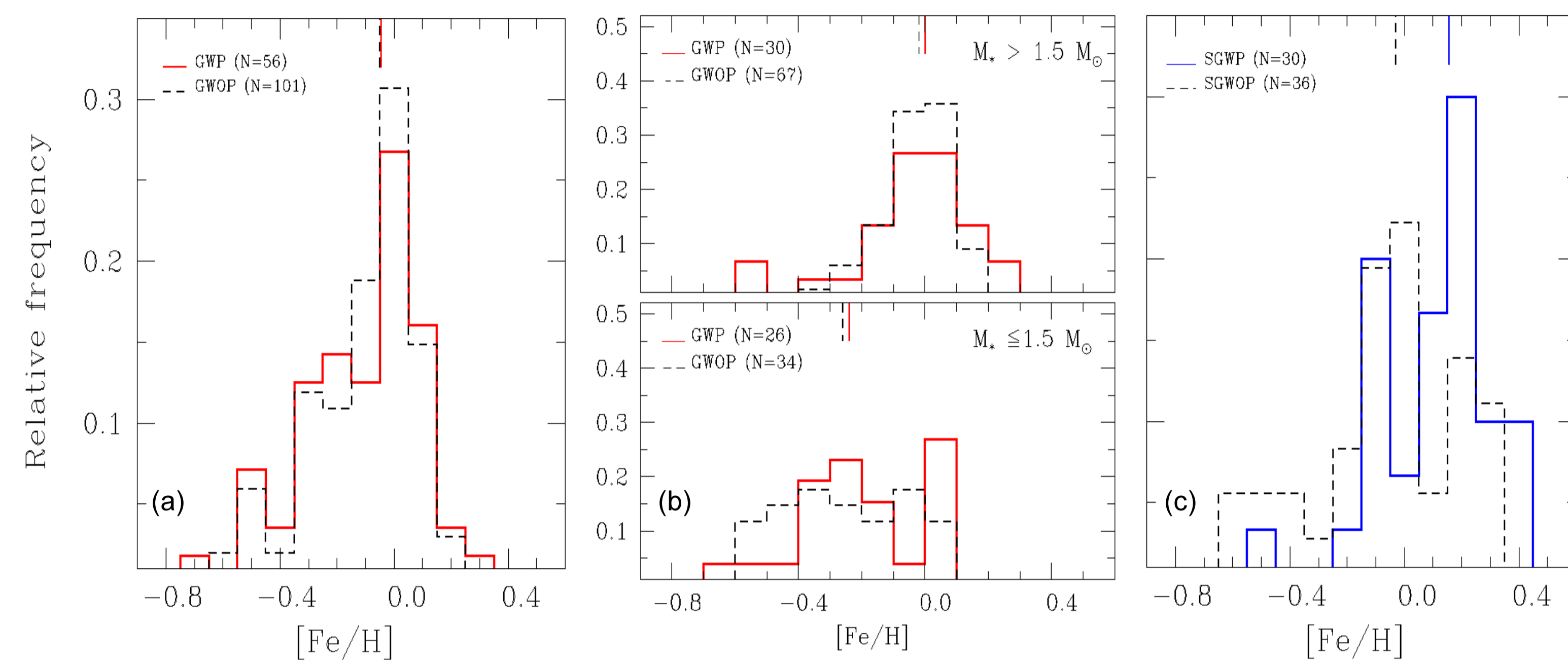


Fig. 2: (a) Distribuciones de $[Fe/H]$ para gigantes con y sin planetas. (b) Distribuciones de $[Fe/H]$ para gigantes con $M_* > 1.5 M_\odot$ (panel superior) y gigantes con $M_* \leq 1.5 M_\odot$ (panel inferior). (c) Distribuciones de $[Fe/H]$ para subgigantes con y sin planetas. En todos los casos estrellas con planetas están indicadas por líneas continuas, mientras que las sin planetas están representadas por líneas a trazos.

Distribuciones de Metalicidad

Gigantes La Fig. 2a muestra la distribución de metalicidad para las GWP en comparación con las GWOP. Ambas distribuciones son similares y están centradas en valores subsolares con medianas de -0.05 dex. El test de Kolmogorov-Smirnov (KS) da una probabilidad de $\sim 85\%$ de que ambas muestras sean idénticas. Así, las GWP siguen una tendencia opuesta a las enanas de secuencia principal con planetas gigantes. En la Fig. 2b mostramos las distribuciones de $[Fe/H]$ para gigantes, con y sin planetas, con masas $M_* > 1.5 M_\odot$ (panel superior) y $M_* \leq 1.5 M_\odot$ (panel inferior). Gigantes con $M_* > 1.5 M_\odot$ son, en promedio, más ricas en metales que las gigantes de $M_* \leq 1.5 M_\odot$. Sin embargo, a diferencia de Maldonado et al. (2013), no encontramos diferencias significativas entre la metalicidad de gigantes con y sin planetas en ninguno de los dos rangos de masa.

Subgigantes En la Fig. 2c mostramos las distribuciones de $[Fe/H]$ correspondientes a las SGWP y las SGWOP. Las SGWP están claramente desplazadas hacia metalicidades mayores con respecto a la muestra de control por ~ 0.18 dex. La muestra de SGWP tiene una mediana de 0.15 dex mientras que la de las SGWOP es de -0.03 dex. El test KS da una probabilidad de $\sim 2\%$ de que ambas muestras sean idénticas. Este exceso de metalicidad de las SGWP es muy similar al encontrado en las estrellas de secuencia principal con planetas.

Diferencias en otros elementos químicos

En las Figs. 3a y 3b mostramos las distribuciones acumulativas de $[X/Fe]$ (con $X = Na, Mg, Al, Si, Ca, ScI, ScII, TiI, TiII, V, CrI, CrII, Mn, Co, Ni, Zn, BaII$) para subgigantes y gigantes respectivamente. Las SGWP y GWP están representadas por líneas continuas azules y rojas respectivamente, mientras que las muestras de control están representadas por líneas a trazos.

Subgigantes en este caso no hay diferencia entre estrellas con y sin planetas para la mayoría de los elementos, siendo las probabilidades KS superiores al 10% en todos los casos.

Gigantes en este caso existen diferencias entre estrellas con y sin planetas para Ba, Na, Ca, V, Co y Mn. Las GWP tienen, en promedio, menor abundancia de Ba con respecto a las GWOP por ~ 0.11 dex. El test KS muestra, con un alto nivel de confianza, que ambas distribuciones son diferentes. Un comportamiento similar se observa para Na y Ca, aunque menos evidente. Para V y Co se encuentra la tendencia opuesta: GWP tienen, en promedio, mayor abundancia en comparación con las GWOP por ~ 0.09 dex. En ambos casos el test KS da una probabilidad nula de que ambas distribuciones sean idénticas. Mn muestra una tendencia similar, aunque en un menor grado.

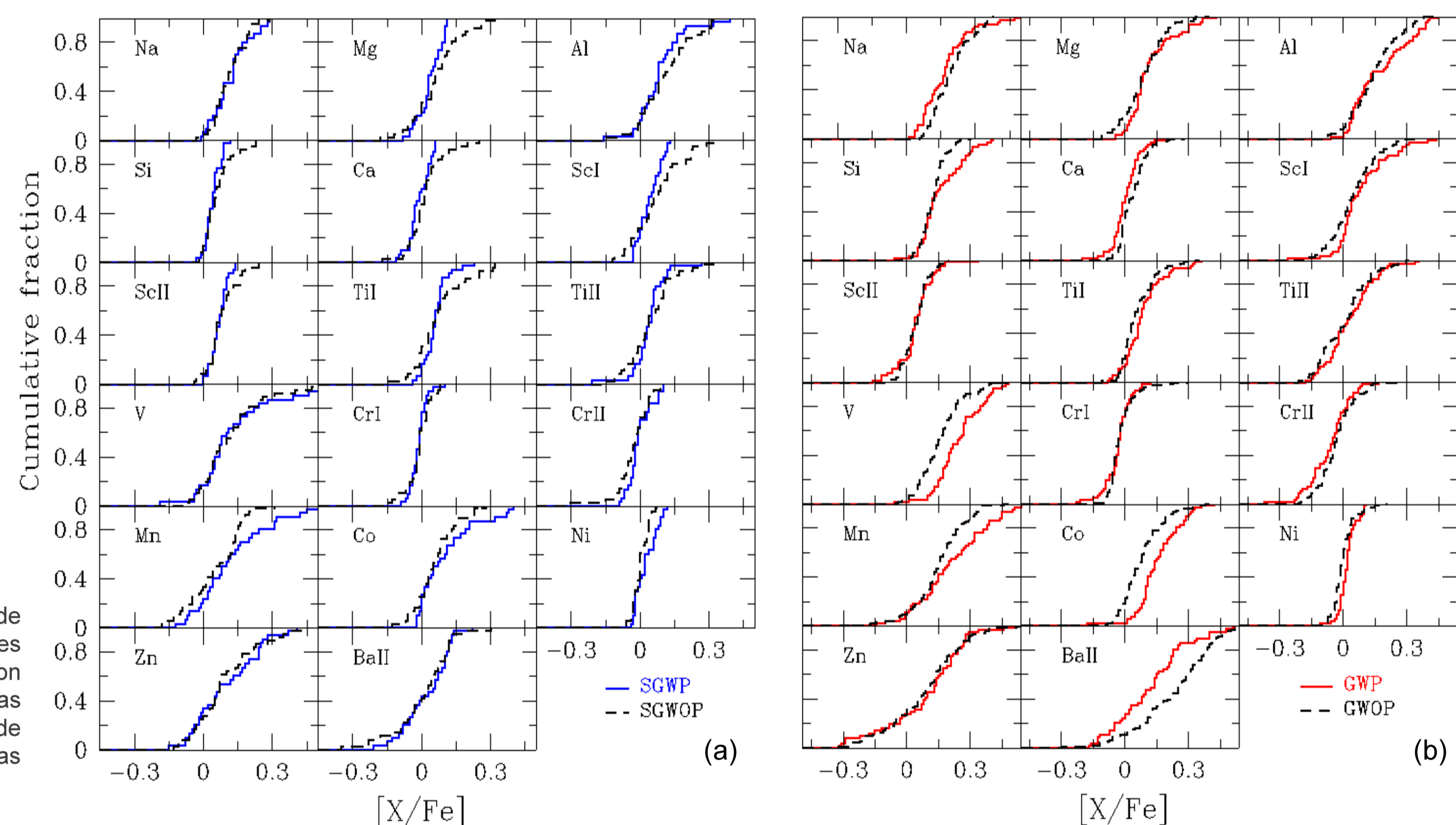


Fig. 3: Distribuciones acumulativas de $[X/Fe]$ para subgigantes (a) y gigantes (b) respectivamente. Estrellas con planetas están indicadas por líneas continuas, mientras que las muestras de control sin planetas están representadas por líneas a trazos.

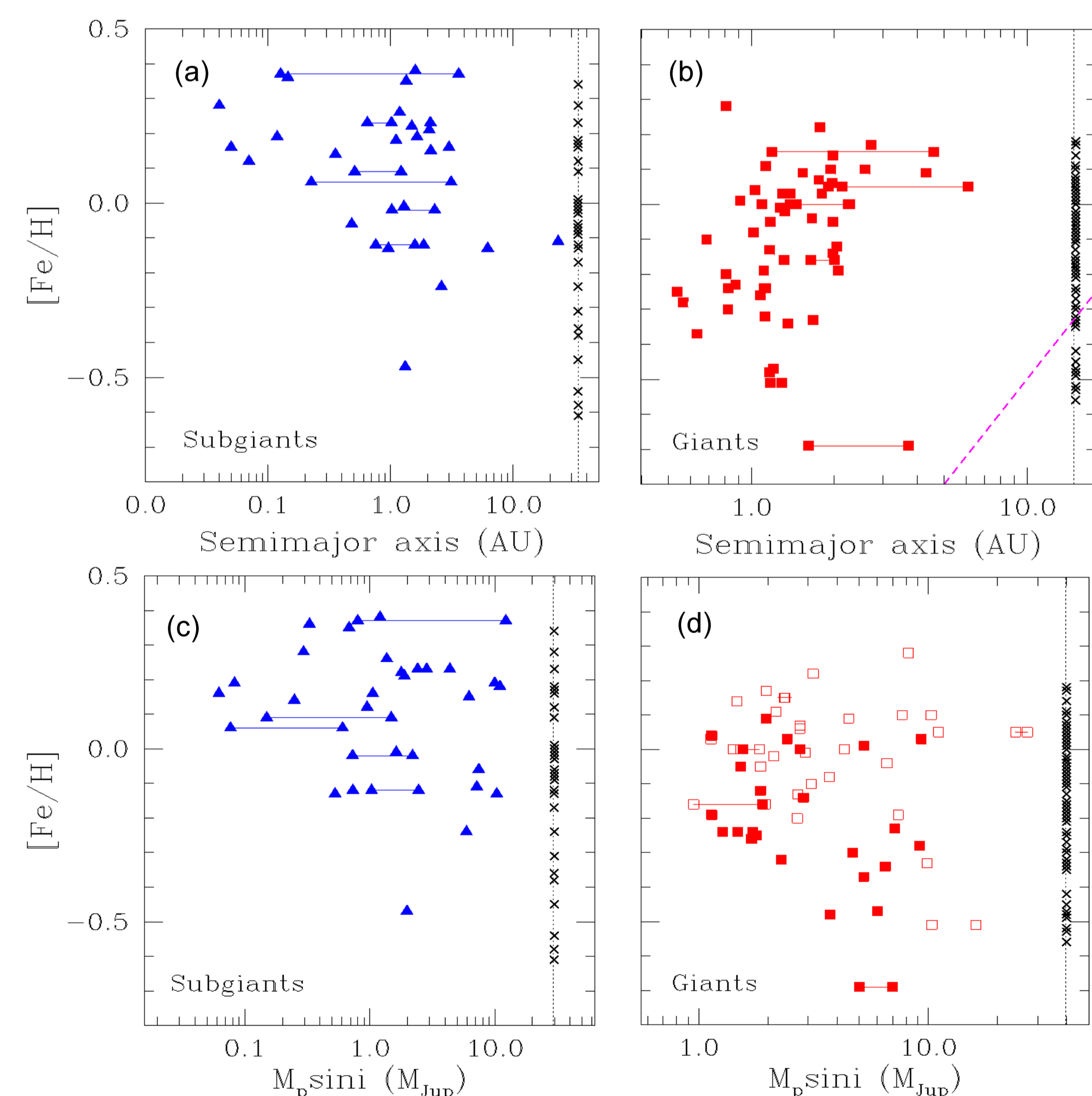


Fig. 4: $[Fe/H]$ vs. Semieje mayor de planetas alrededor de subgigantes (a) y gigantes (b). $[Fe/H]$ en función de la $M_{p, \text{min}}$ de planetas alrededor de subgigantes (c) y gigantes (d). En este último caso las gigantes con $M_* \leq 1.5 M_\odot$ están marcadas con símbolos vacíos, mientras que aquellas con $M_* > 1.5 M_\odot$ están indicadas con símbolos llenos. En todos los casos las estrellas de control están indicadas con cruces negras. Las líneas continuas conectan sistemas multiplanetarios.

Correlación con las propiedades planetarias Finalmente, comparamos las propiedades de los planetas alrededor de gigantes y subgigantes y buscamos correlaciones entre estas propiedades planetarias y las abundancias químicas de sus estrellas huéspedes. Aunque la muestra no es muy grande como para hacer un análisis estadístico exhaustivo, encontramos algunas tendencias emergentes interesantes:

Multiplicidad Estrellas evolucionadas, tanto gigantes como subgigantes, con más de un planeta, muestran un ligero exceso de metalicidad con respecto a estrellas con un solo planeta detectado. Este resultado sigue la tendencia encontrada en estrellas de MS que albergan más de un planeta.

Distancia orbital En las Figs. 4a y 4b mostramos la metalicidad estelar de subgigantes y gigantes en función del semieje mayor a . Las subgigantes que albergan planetas a distancias orbitales $a \geq 0.5$ UA tienen un amplio rango de metalicidades, pero aquellos planetas con menores distancias orbitales sólo se encuentran alrededor de subgigantes con $[Fe/H] > 0$. En el caso de las gigantes, un hecho interesante es que no hay planetas detectados con distancias orbitales menores que ~ 0.5 UA. Además, planetas con $a \leq 1$ UA orbitan gigantes de metalicidad subsolar, mientras que planetas con órbitas más grandes también se encuentran alrededor de gigantes con $[Fe/H] > 0$. Tanto para planetas alrededor de subgigantes como gigantes no encontramos ninguna correlación entre $[X/Fe]$ y la distancia orbital.

Masa mínima La distribución de masa mínima ($M_{p, \text{min}}$) de planetas alrededor de subgigantes incluye planetas gigantes masivos pero también planetas del tipo de Neptuno. Sin embargo, alrededor de estrellas gigantes sólo se han detectado planetas con $M_{p, \text{min}} \geq 0.95 M_{\text{Jup}}$. Considerando que esto es probablemente un sesgo observacional de la técnica de VR, si sólo tomamos en cuenta aquellos planetas alrededor de subgigantes con este límite de masa, no hay diferencias significativas en la distribución de masa de planetas alrededor de gigantes y subgigantes. En las Figs. 4c y 4d graficamos la metalicidad estelar en función de la $M_{p, \text{min}}$ para planetas alrededor de subgigantes y gigantes respectivamente. Subgigantes con planetas de $M_{p, \text{min}} \leq 0.11 M_{\text{Jup}}$ tienen $[Fe/H] \leq 0.20$ dex, mientras que aquellas con planetas más masivos tienen mayor dispersión de metalicidades incluyendo estrellas con $[Fe/H] > 0.20$ dex, lo cual sigue la tendencia observada en estrellas de MS. Por otro lado, $[Fe/H]$ parece disminuir con la masa planetaria creciente para aquellas gigantes con $M_* \leq 1.5 M_\odot$ (cuadrados rojos vacíos). Analizando $[X/Fe]$ vs. $M_{p, \text{min}}$ para las estrellas gigantes encontramos que las abundancias de Na, Si y Mg tienden a aumentar con la masa del planeta.

Excentricidad Planetas alrededor de gigantes muestran, en promedio, menores excentricidades orbitales que aquellos planetas orbitando subgigantes y estrellas de MS. El test KS da una probabilidad de $\sim 1\%$ de que las distribuciones de excentricidades de planetas alrededor de gigantes y subgigantes sean idénticas. Se ha propuesto que las órbitas de planetas alrededor de gigantes podrían experimentar una circularización más eficiente por interacciones con sus estrellas huéspedes como resultado de sus radios más grandes. Por otro lado, proponemos también que la falta de planetas de alta excentricidad alrededor de gigantes podría ser otra señal de la acreción de planetas de corto periodo. Finalmente, no encontramos ninguna correlación entre $[X/Fe]$ y la excentricidad orbital, tanto para planetas alrededor de subgigantes como aquellos alrededor de gigantes.