

Estudio espectrofotométrico para determinar la etapa evolutiva de una muestra de estrellas de la presecuencia principal

Spectrophotometric study to determine the evolutionary stage of a sample of pre-main sequence stars

Oscar Alberto Restrepo^{a*}, Giovanni Pinzón Estrada^b, Germán Chaparro Molano^a.

^a *Departamento de Ciencias Básicas, Universidad ECCI*

^b *Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional de Colombia*

Aceptado Diciembre 2014; Publicado en línea Marzo de 2015

ISSN 2256-3830

Resumen

Realizamos un estudio espectro-fotométrico de una muestra de estrellas jóvenes de baja masa (entre 0.5 hasta 3 masas Solares), con tipos espectrales G-K y algunas M, en asociaciones cercanas al Sol (20-200pc). Medimos el exceso presente en el ultravioleta (365nm) y el ancho equivalente de la línea H α y vemos que para estrellas de tipo espectral temprano M y tardías K, este aumenta notablemente. Con el objetivo de explicar este exceso se presentan dos posibles escenarios 1) Actividad cromosférica, debido a que antes de la secuencia principal, en el centro de las estrellas comienza a desarrollarse una delgada capa en la interfase entre el núcleo radiativo rotante y la zona convectiva, la cual facilita la producción continua de campo magnético y por lo tanto incrementa el nivel de actividad magnética en la cromósfera, responsable del exceso observado y 2) a los procesos de acreción presente en las estrellas TTauri que presentan un disco de gas y polvo que es acretado hacia ellas por medio de las líneas de campo magnético. Debido a la ambigüedad presente en los indicadores de estos dos efectos ya que estos afectan las mismas líneas de emisión, es difícil distinguir cuál de estos procesos está dominando y determinar la etapa evolutiva en la que se encuentran estas estrellas. Nosotros encontramos que los excesos en la magnitud U (MgU) dependen del tipo espectral siendo mayores para las estrellas tempranas M y establecimos que los mayores excesos se encuentran en las estrellas con índice de color B-V > 0.8. Este resultado se muestra acorde con índice B-V para el cual ocurre la transición de absorción a emisión en la línea H α . Proponemos que las estrellas de nuestra muestra que presentan un exceso mayor de 0.22 MgU, son estrellas que están en la fase TTauri (<10 millones de años) y que aquellas que presentan un exceso menor a 0.22 MgU están en la etapa Post-TTauri (>10 millones de años) así distinguimos la etapa evolutiva de la muestra.

Palabras claves: Estrellas TTauri, Presecuencia principal, Exceso magnitud U, Acreción, estrellas jóvenes.

Abstract

We conducted a spectro-photometric study of a sample of young low-mass (G-K and some M) star associations, with each star having between 0.5 to 3 solar masses, near the vicinity of the Sun (20-200 pc). We measure this excess in the UV (365nm) and the equivalent width (EW) of the H α line, and see that for stars of spectral type M early and late K, this EW increases markedly. The presence of the H alpha line is explained via two possible scenarios: 1) it is generated in the stellar chromosphere due to increased magnetic activity at the thin layer at the interface between the rotating radiative core and the convective zone, and 2) gas accretion processes present in the TTauri star by means of magnetic field lines. Due to this ambiguity, it is difficult to distinguish which of these processes is dominating and determining the evolutionary stage of young stars. We

* orestrepog@ecc.edu.co

found that U excesses depend on the spectral type, with M having the highest excesses. We also found that the highest excesses are found in stars with color indices $B-V > 0.8$. This agrees with the value of $B-V$ for which the transition between absorption and emission in the H alpha line. We propose that the stars of our sample having a larger excess of 0.22 magnitudes in U, are stars that are in phase TTauri (<10million years) and those having an excess lower than 0.22 magnitudes in U are in the Post-TTauri stage (> 10 million years), thus classifying the evolutionary stage of the sampled associations.

Keywords: TTauri Star, Pre-main-sequence, excess magnitud U, Accretion, young stars

1. Introducción

Hasta hace aproximadamente una década, sólo se conocían algunas estrellas de baja masa en asociaciones (aproximadamente una masa Solar) de nuestro vecindario estelar (de 100 a 650 años luz de la tierra) y edades menores a 3 millones de años y mayores a 30 millones de años. Por lo tanto, nuestro conocimiento acerca de la evolución estelar en la etapa pre-secuencia principal (fase TTauri y post-TTauri) comprendida entre los 3 y 30 millones de años era muy limitado. Nuestra comprensión depende en gran medida de la interpretación de los datos obtenidos para los grupos bien estudiados con edades menores a 5 Millones de años, como la nebulosa de Orión (ONC), IC 348, y NGC 2264, y grupos con edades comprendidas entre 30~100 millones de años, como por ejemplo las Pléyades y IC 2391, las cuales dan cuenta de la fase edad cero de la Secuencia principal (ZAMS). En los últimos 15 años, no obstante, varias asociaciones estelares cercanas y jóvenes se han descubierto, y muchas de ellas pueden proporcionar las muestras objetivo para estudiar las propiedades estelares y protoplanetarias en este rango de edad crítico. La mayoría de los objetos en estas asociaciones se extienden por grandes áreas del cielo, y se han fijado basándose principalmente en datos de satélite de todo el cielo como ROSAT, IRAS, o Hipparcos [1] [2] [3].

En los últimos años se ha identificado asociaciones como: Eta Chamaeleontis (Eta Cha; edad 6 Millones de años), TW Hydra (TWA; 8 Millones de años), Beta Pictoris moving group (BPMG; 12 Millones de años), y Tucana-Horologium (TH; 30 Millones de años) [4]. Estas asociaciones se encuentran aproximadamente a 300 años luz del Sol, y en todas ellas hay una importante población de estrellas de baja masa que son ideales para sondear la evolución estelar de la fase T Tauri a la fase de la secuencia principal. Dos propiedades estelares que se creen que sufrirán cambios importantes en este rango de edades son la actividad magnética y la rotación estelar, las cuales serán de importancia para el desarrollo de este trabajo.

La actividad magnética es una consecuencia de la interacción entre la convección y la rotación (dínamo estelar). Los campos magnéticos que se generan en los interiores estelares y que emergen en forma de arcos toroidales de flujo magnético, influyen en la estructura de la atmósfera estelar, dando lugar manifestaciones magnéticas en las distintas capas como manchas, plagas, fulguraciones, etc. La actividad coronal se observa principalmente mediante observaciones en rayos X. Mientras que la actividad cromosférica es analizada por medio de las líneas espectrales del Ca II H (3968.47 Å) y K (3933.66Å). De acuerdo con nuestra actual comprensión, si nos situamos en la secuencia principal, las estrellas similares al Sol, generan campos magnéticos a gran escala por medio del dinamo, que actúa en la capa de transición entre la zona convectiva y el núcleo radiativo [5]. Este tipo de dinamo es impulsado por la rotación de la estrella, y por lo tanto se observa una fuerte correlación entre rotación y actividad cromosférica para las estrellas de tipo solar con edades mayores a 100 Millones de años, inicialmente encontrado por Skumanich [6] y posteriormente confirmada por numerosos estudios [7] [8]

Las estrellas jóvenes tipo T Tauri sin embargo, son totalmente convectivas y por tanto no pueden albergar ningún tipo de dinamo solar, por lo cual la correlación entre la rotación y la actividad cromosférica estelar no se presenta. A medida que las estrellas evolucionan hacia la secuencia principal y se contraen, sus velocidades de rotación aumentan como consecuencia de la conservación de momento angular. En los primeros millones de años de su evolución, se cree que las estrellas pierden una significativa cantidad momento angular debido a la interacción magnética con sus entornos circunestelares, ya sea por acoplamiento magnético entre la estrella y el disco, conocido como "disk locking" o por acreción impulsada por viento Solar.

Una vez que el disco se ha consumido y la acreción se ha detenido, la pérdida de momento angular es controlada principalmente por los vientos estelares generados por la actividad magnética. En la secuencia principal, el frenado de rotación por los vientos conduce a una disminución de la rotación y potencialmente de la actividad magnética [6] [8]. En resumen, los estudios observacionales de la actividad magnética, la rotación y su interrelación pueden sondear los cambios fundamentales en la física estelar que ocurre entre 1 - 100 millones de años.

Abordamos el problema antes mencionado realizando estudios tanto de fotometría como de espectroscopia de asociaciones jóvenes de estrellas (pre-secuencia principal) comprendidas en edades 3-30 millones de años. Con los datos adquiridos, y luego de un análisis tanto fotométrico como espectroscópico se propone un modelo que puede describir el comportamiento de estrellas de baja masa entre 3 y 30 millones de años de nuestra muestra, que da cuenta tanto de los fenómenos de acreción, como de los cromosféricos y de la relación entre ellos, que en últimas permite dar evidencia de la evolución de dichas estrellas, de la formación de discos protoplanetarios y por ende de la evolución de sistemas solares necesarios para la formación de la vida.

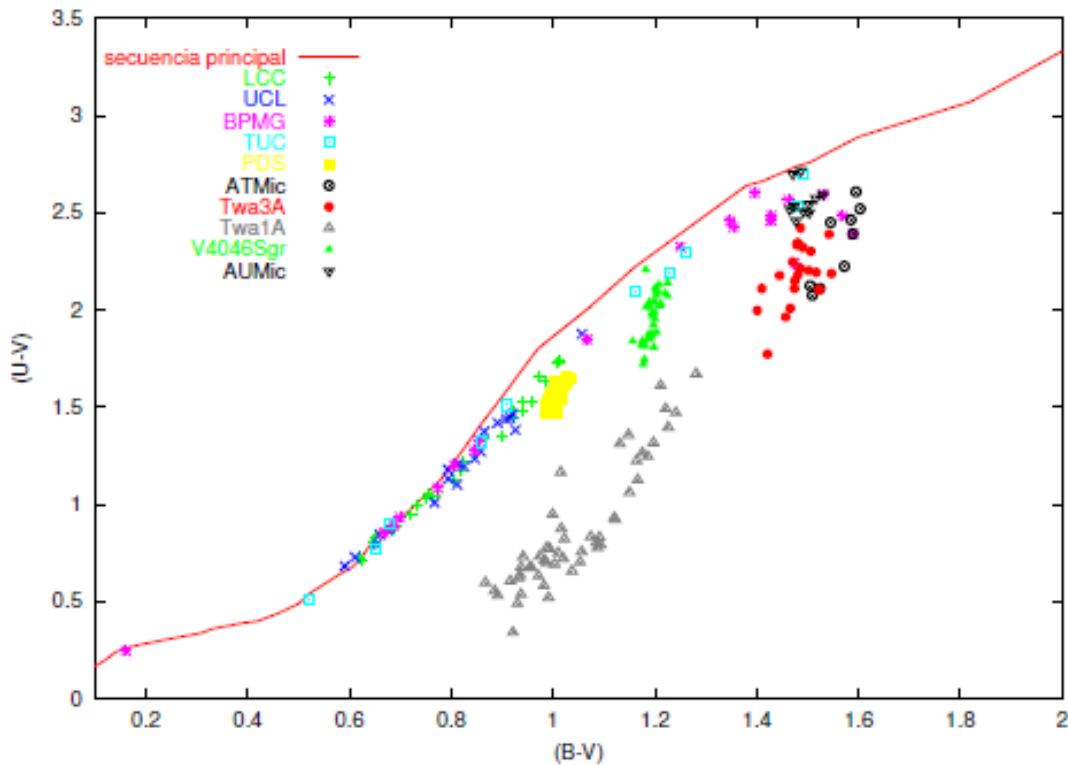


Fig. 1: Gráfica índice de color (U-V) Vs (B-V), se observa que para estrellas con índice de color > 0.8 presentan exceso en la magnitud U

2. Estudio Espectro-Fotométrico

En el espectro electromagnético de las estrellas de la presecuencia principal se evidencia un exceso en el continuo respecto a las estrellas de la secuencia principal, este exceso es atribuido a dos posibles procesos: 1) según el modelo de acreción magnetosférica a los procesos de acreción presentes en las estrellas T Tauri debido al material que cae desde el disco circumestelar hacia la estrella por las líneas de campo magnético, este

material alcanza las velocidades de caída libre generando una región de choque, en consecuencia puntos calientes en la fotosfera estelar que son los responsables de generar una luminosidad extra y por lo tanto producir el exceso en el continuo 2) Actividad cromosférica presente en las estrellas que ya están en la etapa post TTauri, debido a que estas estrellas presentan núcleo radiativo y convectivo dando lugar a la actividad magnética lo que genera este exceso presente en el continuo. Como este exceso es más prominente en las regiones corridas al azul (Longitudes cortas del espectro electromagnético), es más notorio en la magnitud U [9]

Se midió la contribución al continuo, tomando una muestra de estrellas de la secuencia principal (esta muestra es tomada de un estudio exhaustivo observacional realizado por Kenyon y Hartmann en el 1995 (KH95) de estrellas pertenecientes a la secuencia principal donde calcularon entre otras magnitudes físicas la corrección Bolométrica, temperatura efectiva, índices de colores etc; Con los datos fotométricos, realizamos una comparación con los obtenidos de nuestra muestra de estrellas. Una vez obtenida la fotometría UBVIR para las estrellas jóvenes de nuestra muestra, se midieron las magnitudes absolutas en los diferentes filtros. Las distancias a las estrellas se calcularon a partir de los paralajes trigonométricos reportados en SIMBAD, y en algunos casos distancias reportadas en la literatura. Como las asociaciones bajo estudio son muy cercanas al Sol, podemos despreciar los efectos por extinción. Construimos la gráfica de (U-V) Vs (B-V) Fig.1 y notamos que a partir del índice de color (B-V)=0.8 las estrellas de nuestra muestra comienzan a separarse de la secuencia principal, lo que nos permitió pensar que desde ese índice de color las estrellas muestran exceso en la magnitud U. Esto se debe a que las estrellas de la presecuencia principal a partir de este valor son más brillantes que las estrellas de la secuencia principal, dando origen a los procesos anteriormente mencionados.

Nosotros proponemos que estrellas que muestren un exceso mayor a 0.2 Magnitudes en la banda U para nuestra muestra Fig.2, tienen presente los dos procesos: Acreción y Actividad cromosférica, y estrellas que estén por debajo de este valor solo presentan el proceso de actividad cromosférica ya que el de acreción tiene sus finales en edades muy tempranas ± 10 Millones de años. Siguiendo este criterio encontramos en nuestra muestra 4 estrellas que presentan un exceso mayor a 0.2 Magnitudes en la banda U [10], estas estrellas son: Twa1A, Twa3A, V4046Sgr y PDS66, siendo las estrellas TTauri en nuestro estudio acorde a los reportes en la literatura.

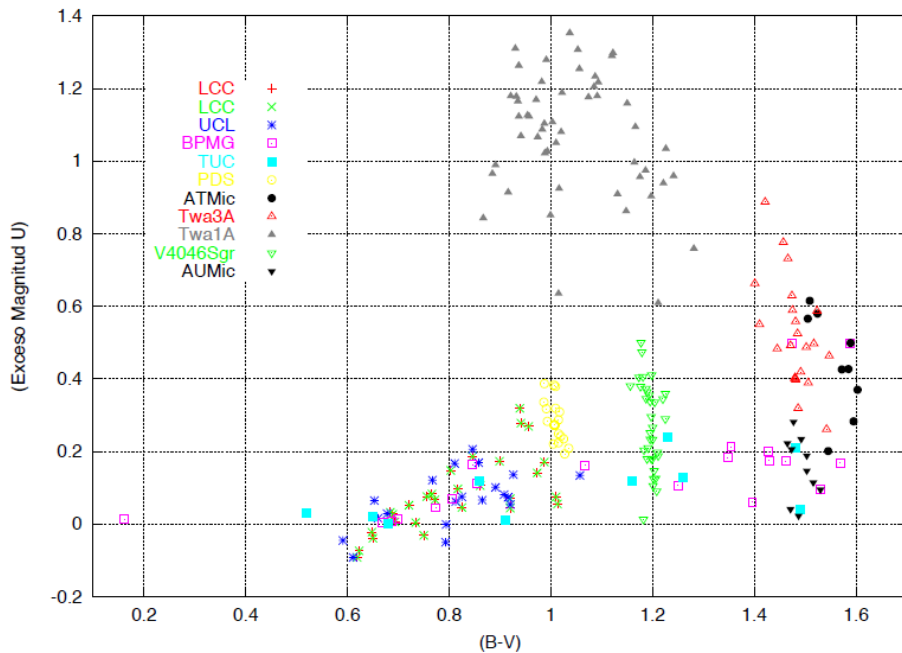


Fig. 2: Gráfica Exc (U) Vs índice de color (B-V), tenemos que estrellas jóvenes como Twa1A, Twa3A, ATMic, V404Sgr y PDS66 presentan un exceso menor a medida que la edad va aumentando, lo que sugiere que los procesos de acreción se van atenuando al punto de desaparecer conforme la estrella evoluciona en el tiempo y acorde a las predicciones del tiempo de vida de los discos alrededor de las estrellas TTauri.

Los procesos de acreción se van atenuando al punto de desaparecer conforme la estrella evoluciona en el tiempo y acorde a las predicciones del tiempo de vida de los discos alrededor de las estrellas TTauri. Siguiendo con el estudio de la evolución estelar en estrellas jóvenes en edades comprendidas entre los 3-30 millones de años por medio del análisis de los espectros de nuestra muestra, tenemos que las asociaciones Upper Centaurus Lupus (UCL) y Luppus Centaurus Crux (LCC) que se encuentran en un rango intermedio de edad (15-17 millones de años) nos proporciona información de la etapa TTauri y el comienzo de la post-TTauri y observamos que estas asociaciones se encuentran por encima del valor esperado de Ancho equivalente (EW) de la línea H α (cruces rojas Fig.3) que nos indica que estas estrellas como se encuentran en la fase donde la mayor parte del disco de acreción se ha acretado (finales de la etapa TTauri y comienzos de la PostTTauri) entran en un proceso de aceleración angular, lo que disminuye sus periodos de rotación y eleva su actividad cromosférica elevando los niveles EW(H α) Fig.3.

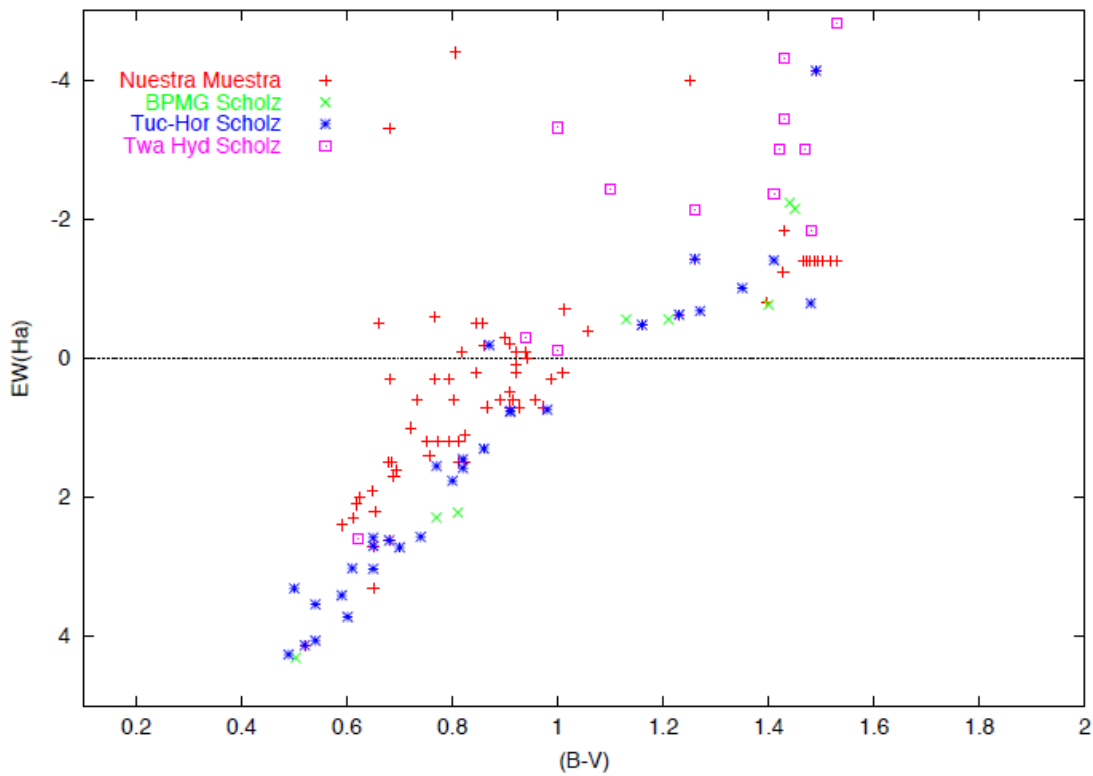


Fig. 3: Gráfica EW(H α) Vs índice de color (B-V), el rango de EW(H α) está gráficoado entre (4,-4) debido que en este intervalo se encuentran las estrellas que están en la transición de TTauri a PostTTauri, donde se evidencia solapamiento del proceso de acreción y la actividad cromosférica.

Aplicamos el método de regresión lineal para encontrar un modelo ec (1) que de cuenta de la correlación existente entre EW(H α) y el exceso en la magnitud U. Encontramos que este modelo tiene una correlación del 89%.

$$U = (-0,027 \pm 0,0047)EW(\alpha) + (0,118 \pm 0,0095) \quad (1)$$

3. Conclusiones

1. A pesar que la fotometría y la espectroscopía no se tomaron simultáneamente para relizar los estudios, los resultados alcanzados están acordes a los reportados en la literatura.
2. Aunque se asumieron los valores de fotometría, corrección bolometrica, temperatura efectiva, del trabajo de Kenyon y Hartmann de 1995 para estrellas de la secuencia principal, los resultados de las medidas muestran una adecuada tendencia a lo reportado en la literatura
3. Teniendo en cuenta la gran incertidumbre en la determinación indirecta de la edad de los cúmulos, nosotros proponemos para un futuro trabajo desarrollar un criterio estadístico para identificar las poblaciones de estrellas jóvenes que emiten la línea H α por acreción o por actividad cromosférica. Este criterio puede ayudar a reducir la incertidumbre en la determinación del camino evolutivo de estas estrellas.

4. Agradecimientos

Agradecemos la visita al Complejo Astronomico El Leoncito (CASLEO), operated under agreement between the Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas de la Republica Argentina and the National Universities of La Plata, Cordoba and San Juan. donde se obtuvieron algunos de los espectros que se utilizaron para determinar el EW de la línea H α

5. Referencias

- [1] B. Zuckerman and R. A. Webb, "Identification of a nearby stellar association in the hipparcos catalog: Implications for recent, local star formation," *The Astrophysical Journal*, vol. 535, No. 2, p. 959, 2000.
- [2] C. A. O. Torres, L. da Silva, G. R. Quast, R. de la Reza, and E. Jilinski, "A new association of post-t tauri stars near the sun," *The Astronomical Journal*, vol. 120, No. 3, p. 1410, 2000.
- [3] B. Zuckerman, I. Song, M. Bessell, and R. Webb, "The β pictoris moving group," *Astrophysical Journal, Letters*, vol. 562, pp. L87-L90, Nov. 2001.
- [4] B. Zuckerman and I. Song, "Dusty debris disks as signposts of planets: Implications for spitzer space telescope" *The Astrophysical Journal*, vol. 603, no. 2, p. 738, 2004.
- [5] (Schrijver y Zwaan 2000)
- [6] A. Skumanich, "Time Scales for CA II Emission Decay, Rotational Braking, and Lithium Depletion", *The Astrophysical Journal*, vol. 171, p.565, 1972.
- [7] D. Terndrup, M. and Stauffer, J.R. and Pinsonneault, M.H. and Sills, A. Yuan, Y. Jones, B.F. Fischer, D. Krishnamurthi, A. "Rotational Velocities of Low-Mass Stars in the Pleiades and Hyades", vol.119, pp.1303-1316, 2000.
- [8] Barnes, s.A. "An Assessment of the Rotation Rates of the Host Stars of Extrasolar Planets", vol.561, pp.1095-1106, 2001.
- [9] C. C. Batalha, G. R. Quast, C. A. O. Torres, P. C. R. Pereira, M. A. O. Terra, F. Jablonski, R. P. Schiavon, J. R. de La Reza, and M. J. Sartori, "Photometric variability of southern T Tauri stars," *Astronomy & Astrophysics, Supplement*, vol. 128, pp. 561-571, Mar. 1998.
- [10] Restrepo, O.A. "Photometric study to understand the ambiguity between accretion and chromospheric activity present in low-mass stars", *RevMexAA, Serie Conferencias*, Vol. 43, pp 81-82, 2014