



Reducción de imágenes del CFHT

I.H. Bustos Fierro¹, J.H. Calderón^{1,2} & J.A. Ahumada¹

¹ *Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*

² *CONICET, Argentina*

Contacto/ IHBF: ivanbf@oac.uncor.edu

Resumen / Presentamos resultados preliminares de las reducciones astrométrica y fotométrica de imágenes obtenidas con la Cámara MegaCam del CFHT (Mauna Kea, Hawaii). El objetivo final es confeccionar un catálogo profundo de la zona alrededor de la eclíptica por su particular interés para el estudio de objetos del Sistema Solar. Dicho catálogo contendrá posiciones astrométricas de alta precisión y fotometría multibanda. Los resultados muestran que los procedimientos desarrollados son apropiados para la construcción de un catálogo de estas características.

Abstract / We present preliminary results of astrometric and photometric reductions of images taken with the MegaCam at CFHT (Mauna Kea, Hawaii). The final purpose of the work is to build a deep catalog of the ecliptical zone, which will be particularly useful for studies of the Solar System. This catalog will provide high precision astrometry and multiband photometry. The results show that the adopted criteria and procedures are suitable for this purpose.

Keywords / astrometry – techniques: photometric – catalogs

1. Introducción

El objetivo de este proyecto es lograr un catálogo con información astrométrica y fotométrica de objetos celestes en una franja en torno a la eclíptica, más profundo y preciso que otros catálogos existentes (e.g. 2MASS, UCAC4 y USNO-B) e incluso más profundo que el catálogo final de la misión astrométrica GAIA, cuya versión definitiva se espera para el año 2022. La región alrededor de la eclíptica es particularmente relevante porque contiene todos los planetas y una gran proporción de los asteroides. El catálogo contendrá también la clasificación estrella/galaxia, si bien este aspecto no se discute en el presente trabajo. Este proyecto contempla específicamente la franja de $\pm 2^\circ$ a lo largo de la eclíptica, exceptuando las regiones de cruce con el Plano Galáctico. Las imágenes de dicha zona pertenecen a la colección del *CFHT Legacy Survey Very Wide*. Cada imagen consiste en un mosaico de 36 cuadros individuales de 2048×4612 píxeles cuadrados que cubre en el cielo un campo de aproximadamente $1^\circ \times 1^\circ$ con una resolución espacial de $0,187''/\text{píxel}$. El *seeing* típico en Mauna Kea es $0,7''$. Las imágenes se obtienen del *Canadian Astronomical Data Center* en formato comprimido multiextensión y tienen un tamaño de unos 690 Mb cuando son descomprimidas. Han sido tomadas en los filtros g' , r' e i' , (487 nm, 625 nm y 770 nm respectivamente), del sistema AB (Oke & Gunn 1983), con exposiciones típicas de entre 2 y 3 minutos según el filtro. Para este proyecto se utilizan sólo las imágenes obtenidas en condiciones fotométricas, que ya vienen calibradas en el sistema del SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*, Fukugita et al. 1996), y en algunos casos cuentan también con una calibración astrométrica preliminar.

2. Detección de fuentes y reducción astrométrica

Detección: Se realizó mediante el programa SEXTRACTOR (versión 2.5) que produce un catálogo de detecciones que contiene coordenadas x, y en píxeles, magnitudes instrumentales, dimensiones y parámetros de forma en píxeles, y sus respectivos errores, entre otros datos de las posibles fuentes identificadas (Bertin & Arnouts 1996). Los parámetros de configuración del programa utilizados fueron elegidos para lograr una mayor eficiencia de detección y centrado (Calderón & Bustos Fierro 2014; Bustos Fierro & Calderón 2014).

Con posterioridad a la identificación se realizó una depuración preliminar para eliminar detecciones espurias, fuentes afectadas por defectos o limitaciones de los CCD, como así también estrellas saturadas, poniendo especial atención sobre todo a aquellas que puedan llegar a emplearse como referencia en las reducciones posteriores.

Procedimiento: La detección de las fuentes astronómicas que fueron empleadas en la reducción astrométrica se hizo con el umbral de detección $S/N > 7$ por lo expuesto en los trabajos de Calderón y Bustos Fierro citados. La elección del catálogo de referencia se decidió a partir del análisis de la densidad, profundidad y precisión astrométrica de los posibles candidatos, principalmente UCAC4 (Zacharias et al. 2013) y 2MASS (Skrutskie et al. 2006), optándose finalmente por este último. Además se ponderó positivamente el intervalo de magnitudes de mayor precisión de este catálogo.

La reducción astrométrica se realizó individualmente para cada uno de los 36 cuadros del mosaico. Las coordenadas x, y medidas en cada cuadro individual se transformaron a ξ, η en el plano tangente mediante poli-

nomios completos de segundo orden cuyos coeficientes fueron ajustados por cuadrados mínimos. Empleando estos polinomios, las posiciones x, y de todas las detecciones se convirtieron en coordenadas ξ, η y éstas en α, δ mediante la deproyección gnomónica. De este modo se construyó un catálogo con las posiciones celestes de todas las fuentes detectadas. Mediante un proceso iterativo se buscaron nuevas coincidencias con el catálogo de referencia. Este proceso se detiene cuando el número de estrellas de referencia no cambia. Se realizó este procedimiento en todas las imágenes disponibles del mismo campo, sean éstas tomadas con diferentes filtros o no. En cada cuadro del mosaico se hizo un último ajuste empleando como estrellas de referencia sólo las comunes a todos los mosaicos, para que de este modo los distintos catálogos obtenidos sean compatibles. Por último, se promediaron las posiciones en todos los catálogos individuales en un mismo filtro en lo que constituye el catálogo unificado de ese filtro.

Resultados: Se aplicó el procedimiento descrito a 8 imágenes (4 con filtro g' y 4 con el r') centradas en $\alpha = 16^{\text{h}} 38^{\text{m}} 13,22^{\text{s}}$, $\delta = -21^{\circ} 13' 21,5''$ (J2000), obtenidas entre el 28/07/2007 y el 11/08/2007: 931130, 931408, 931423, 931438, 934668, 934970, 935275 y 935292.

Se evaluó la precisión interna de los catálogos unificados en cada filtro mediante las diferencias entre sus posiciones y las de los catálogos individuales que se muestran en las Tablas 1 y 2 para los filtros r' y g' respectivamente. En la Figura 1, a modo de ejemplo, pueden verse graficadas las mencionadas diferencias para las imágenes del filtro r' . Las dispersiones obtenidas están entre 10 y 15 mas, valores mucho menores que los errores de las posiciones de referencia de 2MASS, que oscilan entre 70 y 80 mas. Adviértase que en la Tabla 2, en la imagen 935275 las dispersiones son notablemente mayores que en las restantes del mismo filtro, pero no se observaron cambios significativos en las dispersiones excluyendo los datos de ésta.

La Tabla 3 muestra las diferencias entre las posiciones en los catálogos individuales del filtro g' y el catálogo 2MASS. Puede observarse que todos los valores medios son nulos, como cabe esperar, y que las dispersiones están también por debajo de los errores de 2MASS.

Tabla 1: Diferencias entre las posiciones en los catálogos individuales y el catálogo unificado del filtro r' .

Imagen	$\Delta\alpha$ [mas]	$\Delta\delta$ [mas]
931130	-4 ± 11	$+5 \pm 11$
931408	$+5 \pm 12$	-2 ± 10
931423	$+0 \pm 12$	$+0 \pm 10$
931438	-1 ± 10	-3 ± 10

Tabla 2: Diferencias entre las posiciones en los catálogos individuales y el catálogo unificado del filtro g' .

Imagen	$\Delta\alpha$ [mas]	$\Delta\delta$ [mas]
934668	$+5 \pm 13$	$+0 \pm 11$
934970	-2 ± 12	-2 ± 11
935275	-6 ± 22	$+2 \pm 21$
935292	$+3 \pm 13$	$+0 \pm 13$

Tabla 3: Diferencias entre las posiciones en los catálogos individuales del filtro g' y el catálogo 2MASS.

Imagen	$\Delta\alpha$ [mas]	$\Delta\delta$ [mas]
931130	$+0 \pm 8$	$+0 \pm 6$
931408	$+0 \pm 13$	$+0 \pm 6$
931423	$+0 \pm 11$	$+0 \pm 6$
931438	$+0 \pm 8$	$+0 \pm 6$

3. Reducción fotométrica

Procedimiento: Como se dijo más arriba, las imágenes fueron tomadas con fines fotométricos. La primera calibración fue realizada por el equipo del CFHT, que utilizó campos de estrellas estándar de Landolt (1992) para derivar los coeficientes de transformación de cada mosaico. Conviene señalar que, como el detector está constituido por 36 CCD independientes, hay un problema con el punto cero que es corregido con un *superflat* que se aplica a toda la imagen; así, el punto cero es uniforme sobre el campo completo del mosaico. Las ecuaciones de transformación al sistema Sloan son de la forma:

$$\begin{aligned} \text{mag}(\text{instr}[\text{FILTER}]) = & -2,5 \times \log(\text{DN}) + \\ & 2,5 \times \log(\text{EXPTIME}) + \text{PHOT_C} + \\ & \text{PHOT_K} \times (\text{AIRMASS} - 1), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mag}(\text{SDSS}[\text{FILTER}]) = & \text{mag}(\text{instr}[\text{FILTER}]) + \\ & \text{PHOT_X} \times \{ \text{mag}(\text{SDSS}[\text{PHOT_C1}]) - \\ & \text{mag}(\text{SDSS}[\text{PHOT_C2}]) \}, \end{aligned}$$

donde $\text{mag}(\text{instr}[\text{FILTER}])$ y $\text{mag}(\text{SDSS}[\text{FILTER}])$ son las magnitudes instrumentales y Sloan, respectivamente en un dado filtro (FILTER), DN es el número de cuentas (ADU) medidas en la fotometría, y EXPTIME es el tiempo de exposición en segundos. Las otras “palabras

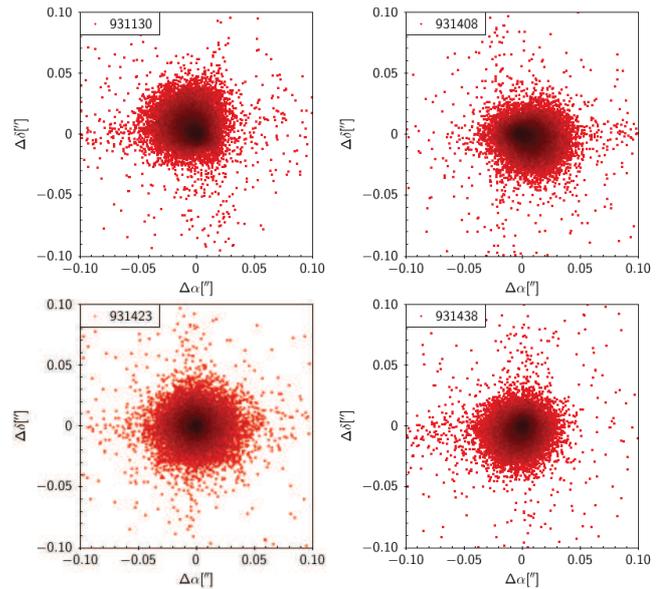


Fig. 1: Diferencias entre las posiciones en los catálogos individuales y el catálogo unificado del filtro r' .

clave” son los coeficientes de la transformación, que se toman directamente de los encabezados de las imágenes.

Realizamos fotometría de apertura, ya que la ganancia en precisión obtenida con el ajuste de la PSF no justifica la alta inversión de tiempo requerida. Medimos las magnitudes con aperturas de radios de 1 FWHM y calculamos las correcciones por apertura hasta un radio de 4 FWHM; procedimientos y criterios similares para imágenes como éstas tienen como antecedente a, por ejemplo, Regnault et al. (2009) y Cuillandre et al. (2012).

El procedimiento diseñado es el siguiente: 1) En cada imagen del mosaico, SEXTRACTOR hace la fotometría de apertura de las estrellas presentes en la lista depurada correspondiente, utilizando en todas las imágenes que componen el mosaico la misma apertura de 1 FWHM. 2) En un subconjunto de ocho imágenes del mosaico, SEXTRACTOR realiza además la fotometría de estrellas aisladas, brillantes y no saturadas en 14 aperturas diferentes para el cálculo de la corrección por apertura hasta 4 FWHM. 3) Se aplica esta corrección a todas las magnitudes obtenidas con la apertura pequeña. 4) Una vez logrados los catálogos de magnitudes instrumentales en cada filtro y en cada imagen del mosaico, se construye un catálogo final en el que, a cada objeto identificado —por su número de imagen y coordenadas— le son asignadas las tres magnitudes instrumentales y sus correspondientes errores. 5) Se hace la transformación al sistema Sloan.

Resultados: Se aplicó el procedimiento descrito a los mosaicos 827162/3/4. En la Figura 2 se ilustran las diferencias entre nuestras magnitudes en r' , i' y g' y las correspondientes del SDSS (*Release 8*) para 1939 objetos con magnitudes r' entre 16.5 y 21.0 esparcidos en el área del mosaico. Las diferencias medias están en la Tabla 4. Objetos más brillantes que $r' \sim 16,5$ aparecen saturados en nuestras imágenes, en tanto que aquellos más débiles que $r' \sim 21$ no son detectados. De hecho, entre $r' \sim 16,5$ y 20 el número de objetos Sloan recuperados supera el 90 %, decayendo rápidamente a un 50 % entre 20 y 21, siendo ya prácticamente nulo en 21.

Tabla 4: Diferencias medias entre magnitudes medidas y magnitudes Sloan en los mosaicos 827162/3/4.

Filtro	$m_{\text{med}} - m_{\text{SDSS}}$
r'	$+0,04 \pm 0,07$
i'	$-0,03 \pm 0,08$
g'	$-0,03 \pm 0,12$

4. Conclusiones

Astrometría: El procedimiento diseñado para la reducción astrométrica es adecuado para obtener posiciones de calidad “astrométrica”, sólo limitada por la precisión de las posiciones de referencia, ya que las dispersiones de los errores internos medidos están muy por debajo de aquellas.

Fotometría: El método desarrollado para realizar la fotometría estelar y la calibración fotométrica suministrada por el CFHT producen resultados totalmente compatibles con los datos de Sloan. De esta manera se espera obtener un catálogo de magnitudes y colores confiable, dentro del sistema del SDSS.

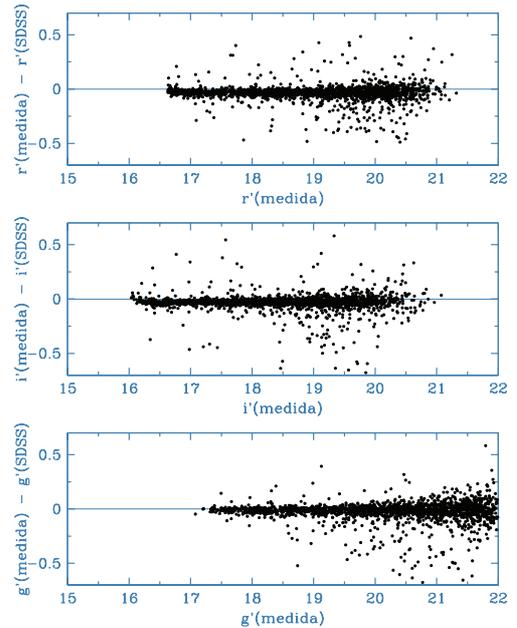


Fig. 2: Diferencias entre nuestras magnitudes y las de Sloan.

Agradecimientos: This publication makes use of data products from the Two Micron All Sky Survey, which is a joint project of the University of Massachusetts and the Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology, funded by the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation. This research has made use of the VizieR catalogue access tool, CDS, Strasbourg, France (Ochsenbein et al., 2000). Based on observations obtained with MegaPrime/MegaCam, a joint project of CFHT and CEA/DAPNIA, at the Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) which is operated by the National Research Council (NRC) of Canada, the Institut National des Sciences de l’Univers of the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) of France, and the University of Hawaii. This work is based in part on data products produced at TERAPIX and the Canadian Astronomy Data Centre as part of the Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey, a collaborative project of NRC and CNRS. Los autores desean agradecer al Dr. Jean Souchay por su gentil invitación a integrar el proyecto MEGACLIP.

Referencias

- Bertin E., Arnouts S., 1996, A&AS, 117, 393
 Bustos Fierro I. H., Calderón J. H., 2014, in RMxAA Conf. Series Vol. 43, Measurement of CFHT Images II. Astrometric Reduction. pp 47–50
 Calderón J. H., Bustos Fierro I. H., 2014, in RMxAA Conf. Series Vol. 43, Measurement of CFHT Images I. Identification, Photometry and Classification. pp 43–46
 Cuillandre J.-C. J., et al., 2012, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 8448, Introduction to the CFHT Legacy Survey final release (CFHTLS T0007)
 Fukugita M., et al., 1996, AJ, 111, 1748
 Landolt A. U., 1992, AJ, 104, 340
 Ochsenbein F., Bauer P., Marcout J., 2000, A&AS, 143, 23
 Oke J. B., Gunn J. E., 1983, ApJ, 266, 713
 Regnault N., et al., 2009, A&A, 506, 999
 Skrutskie M. F., et al., 2006, AJ, 131, 1163
 Zacharias N., et al., 2013, AJ, 145, 44