

Fotometría diferencial y absoluta

Fotometría: es la medida del brillo de un objeto.

- Fotometría de síntesis de apertura
- Fotometría de síntesis de perfil
- Fotometría diferencial
- Fotometría absoluta

Fits format

A Primer on the FITS Data Format

Data Units

The data unit, if present, immediately follows the last 2880-byte block in the header unit. Note that the data unit is not required, so some HDUs only contain the header unit. The image pixels in a primary array or an image extension may have one of 5 supported data types:

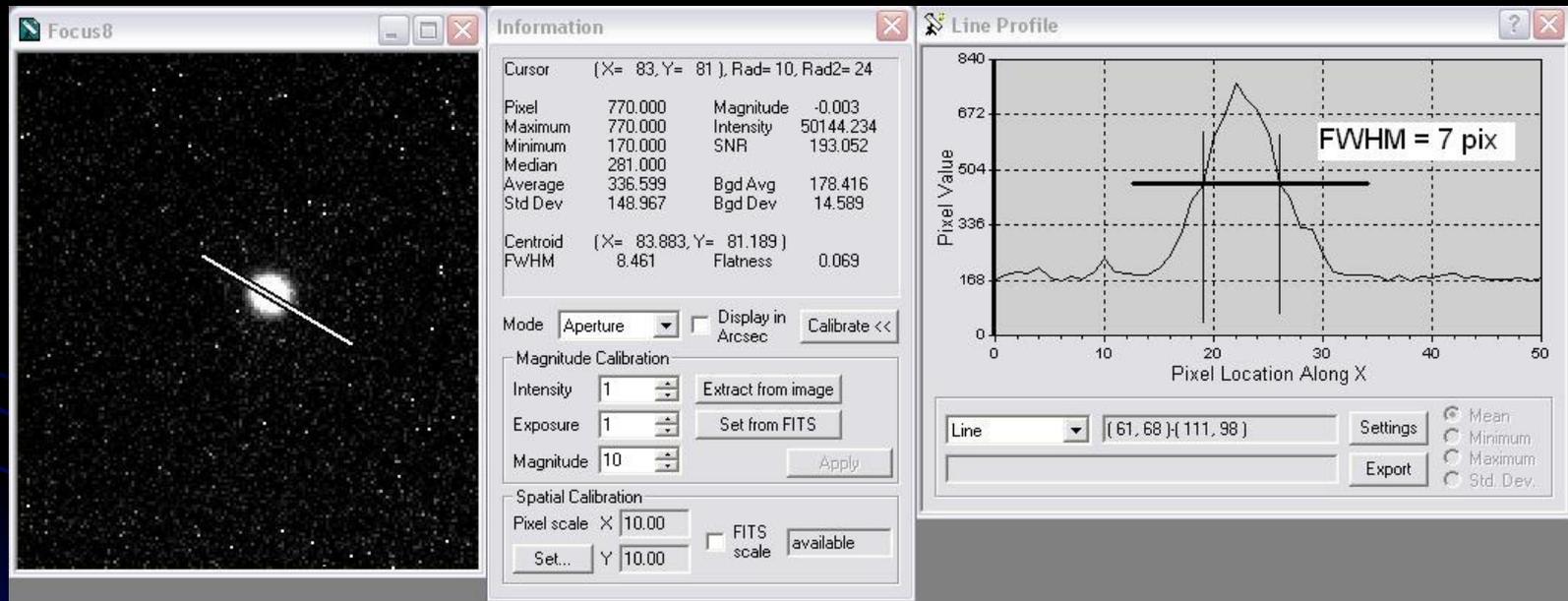
- 8-bit (unsigned) integer bytes
- 16-bit (signed) integers
- 32-bit (signed) integers
- 32-bit single precision floating point real numbers
- 64-bit double precision floating point real numbers

Operaciones con imágenes

- Chequear como se hacen las operaciones con imágenes en el software que se utiliza.
- Preferentemente hacer las operaciones en reales.
- Si no lo permite el soft, y si se usan números enteros positivos,
 - chequear que al hacer una operación no se obtienen valores negativos, que se traducen en 0.
 - chequear que al hacer una división y operación se usan valores > 1 .

Medida del seeing

Seeing se mide como el Ancho total a mitad del máximo - Full Width at Half Maximum (FWHM)



Altura máxima = 770, Nivel del fondo = 178, Altura relativa = 592
Mitad de altura = $592/2 + 178 = 474$, FWHM = 7 pix

Brillo y magnitud

$$m = C - 2.5 \log F$$

donde m – magnitud

F – Flujo de energía luminosa de la estrella (“brillo”)

C – constante (tal que la estrella Vega fuera de mag. 0)

- Dos astros de densidades de flujo F_1 y F_2 tendrán magnitudes m_1 y m_2 dadas por

$$m_2 - m_1 = - 2.5 \log (F_2 / F_1)$$

Razón Señal Ruido SNR vs Precisión Fotométrica

$$\delta m = m_2 - m_1 = -2.5 \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = -2.5 \log\left(\frac{I_1 + \delta I}{I_1}\right) = -2.5 \log\left(1 + \frac{\delta I}{I_1}\right)$$

$$\frac{\delta I}{I_1} = 10^{-0.4 \delta m} - 1$$

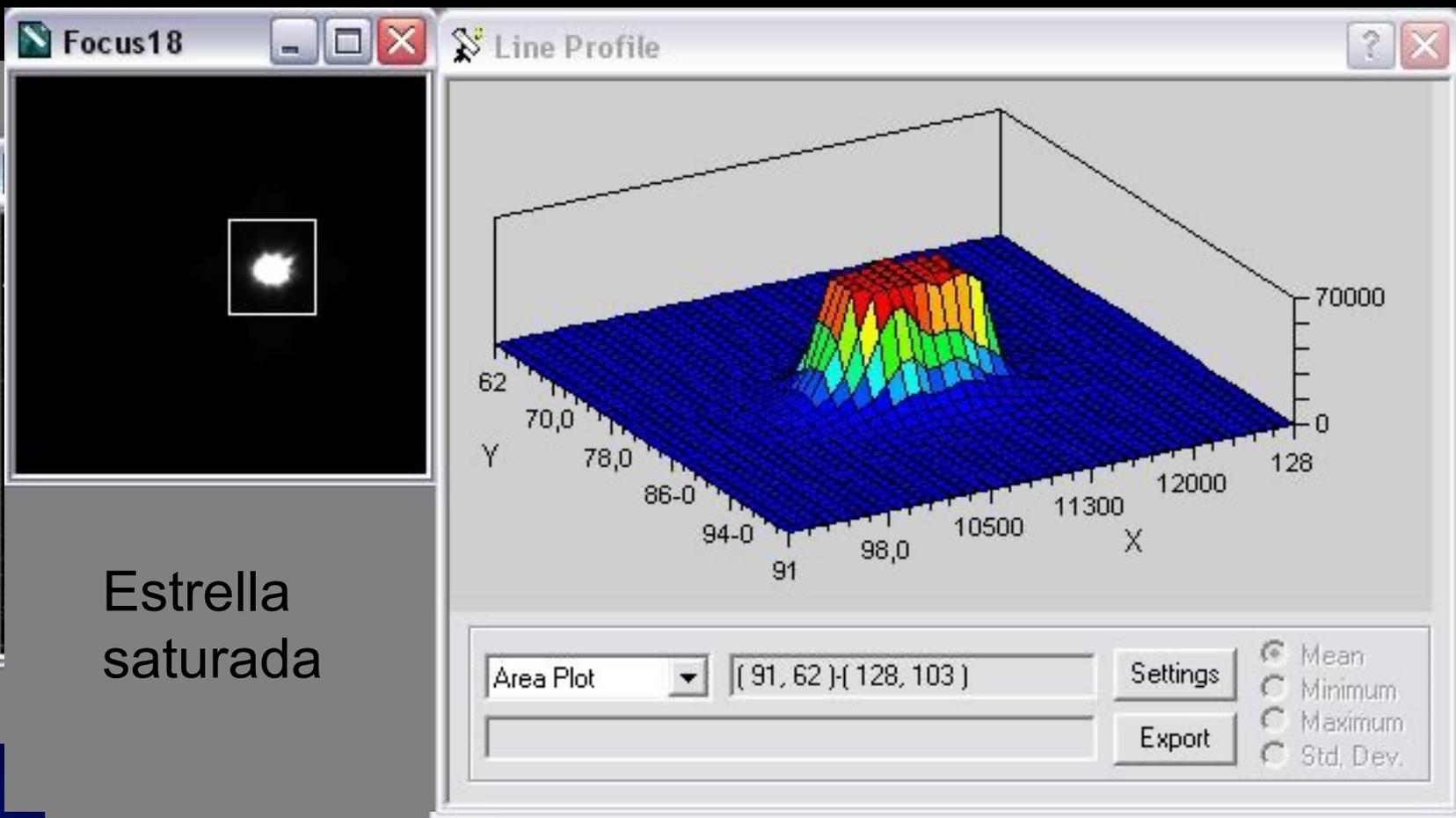
$$\delta I = N$$

$$I = S$$

$$\frac{N}{S} = 10^{-0.4 \delta m} - 1 \approx 1 + \delta m 0.4 \ln 10 - 1 = 0.92 \delta m$$

$$\frac{N}{S} = \frac{1}{SNR} \approx \delta m$$

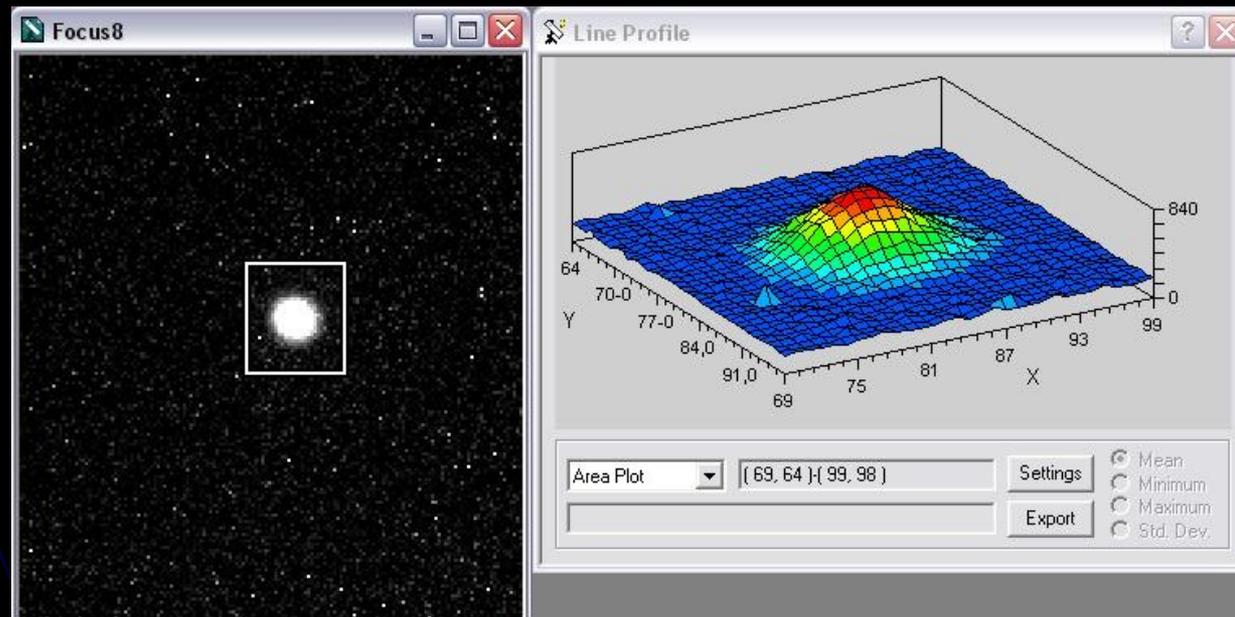
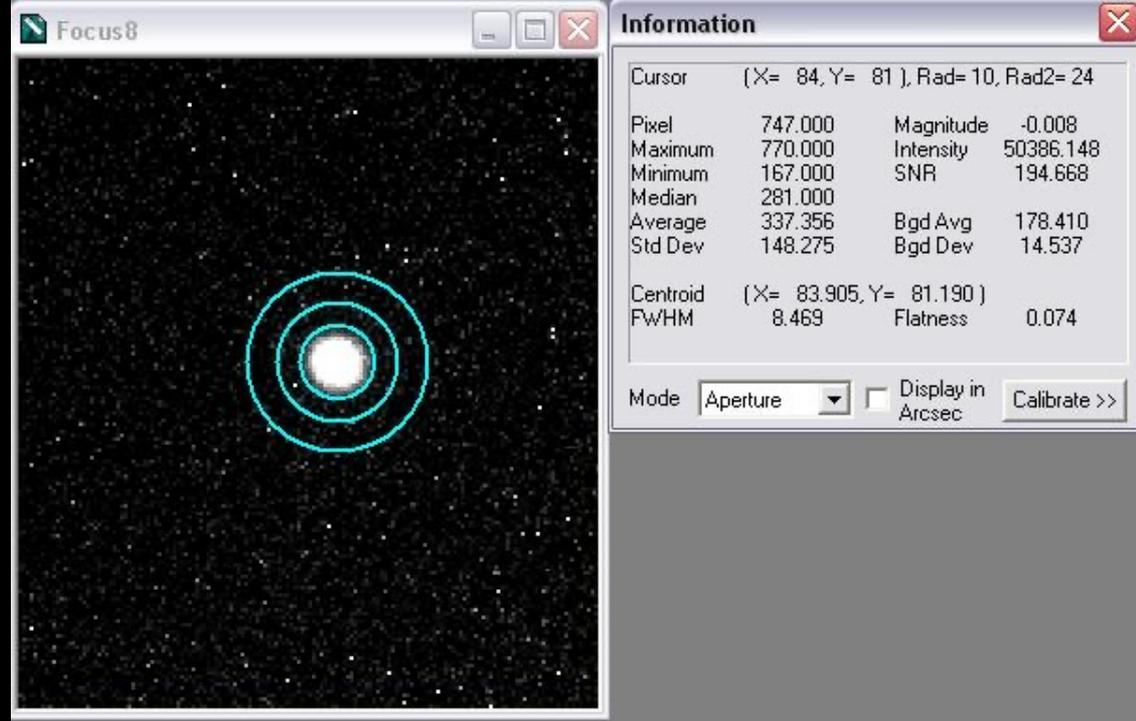
Problemas en las imágenes



Estrella
saturada

Fotometría de apertura o de apertura sintética

Es el análogo digital a lo que se realizaba con un fotómetro. Se mide la contribución de luz en la región donde está el objeto y se le resta la contribución del cielo de fondo.



Fotometría de Apertura

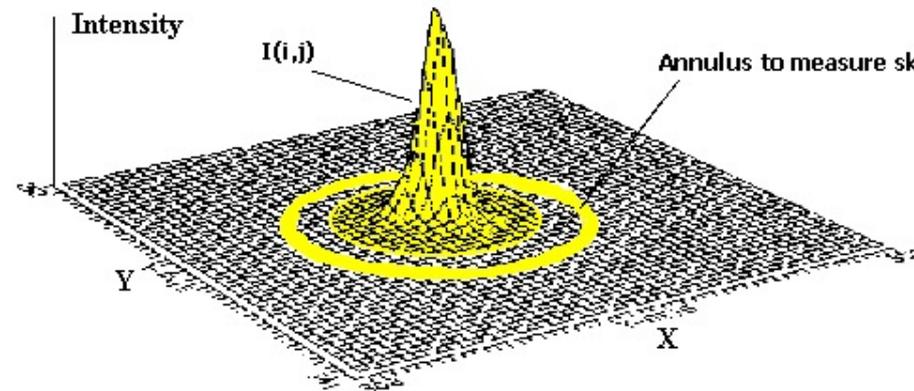
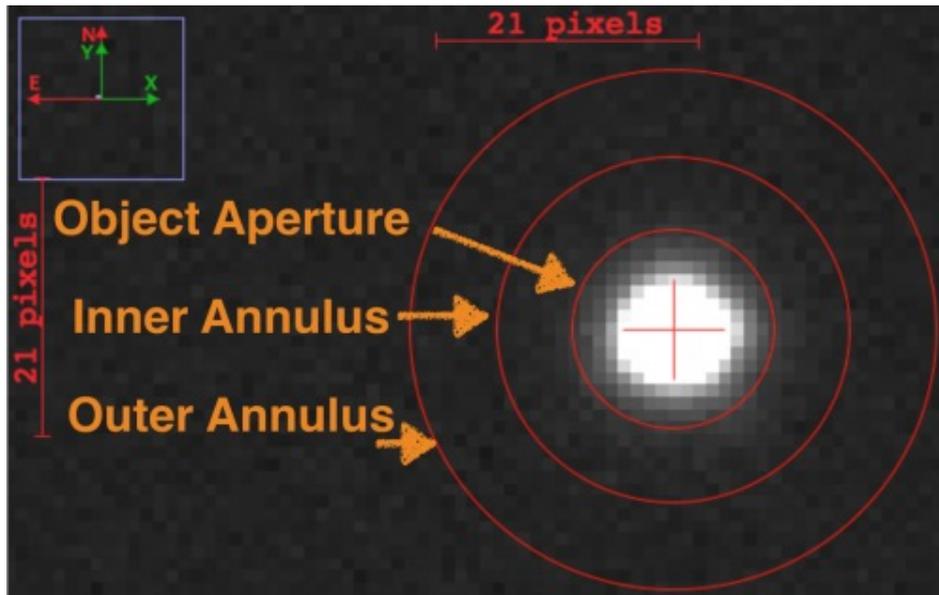
$$m_{\star} = -2.5 \log F_{\star} + C$$

- Se calcula el flujo de la estrella integrando en una apertura centrada en el centroide de cada estrella:

$$F_{\star} = (F_{\text{apertura}} - F_{\text{cielo}}) / t_{\text{exp}}$$

- F_{apertura} = el flujo sumado dentro de la apertura centrada en la estrella

- F_{cielo} = es la contribución del fondo del cielo en la apertura



Fotometría de apertura o de apertura sintética

3 Fases:

- Determinación del centroide
- Estimación del fondo de cielo
- Cálculo de la totalidad del brillo de la estrella

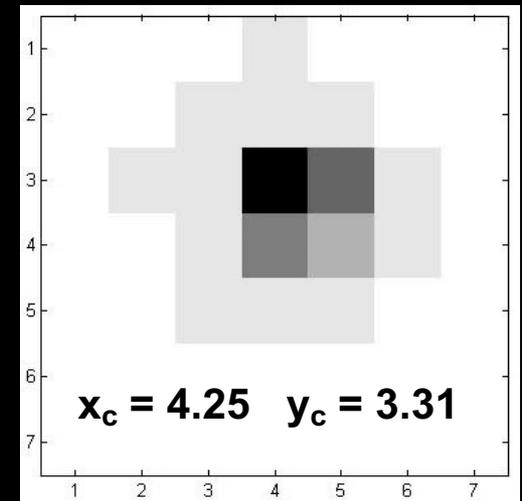


Determinación del centroide

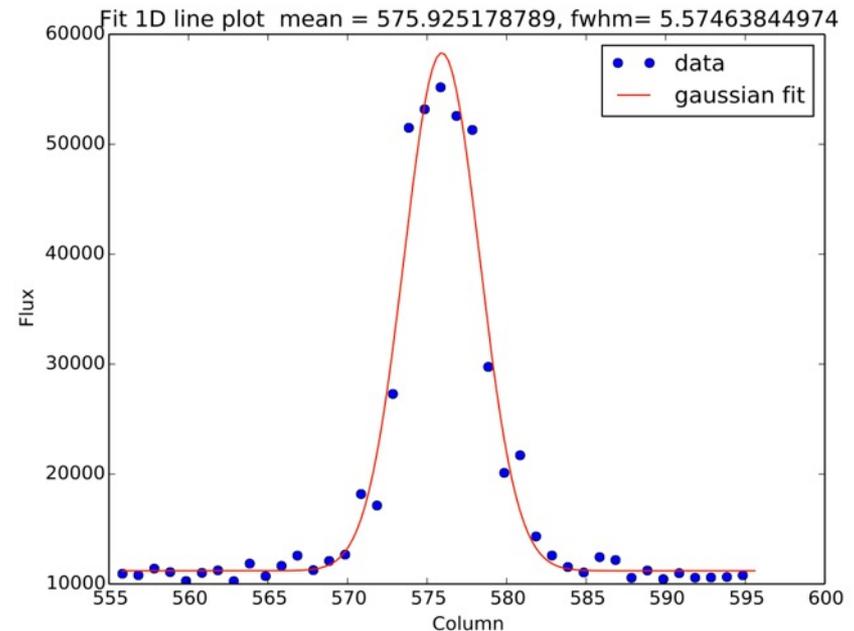
- Método de sumas marginales
Cálculo del centro de masas

$$x_c = \frac{\sum_i x_i \left(\sum_j I_{ij} \right)}{\sum_i \sum_j I_{ij}}$$

$$y_c = \frac{\sum_j y_j \left(\sum_i I_{ij} \right)}{\sum_i \sum_j I_{ij}}$$



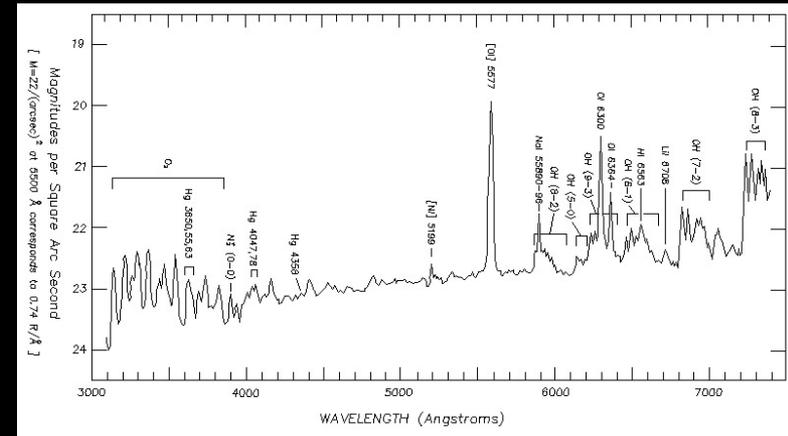
- Ajustes gaussianos de perfil en x,y



Determinación del fondo de cielo

Fuentes:

- Emisión del cielo nocturno
- Luz zodiacal
- Luz dispersada por aerosoles
- Luz dispersada en interior de CCD
- Corriente oscura
- Estrellas y galaxias de fondo



Determinación del fondo de cielo

Estimación:

Anillo centrado en la estrella de radio interior $>5FWHM$
y que contenga cientos de pixeles

Si histograma de la distribución de brillo entre los
pixeles fuera gaussiana

promedio = mediana = moda

Contribución de estrellas débiles, alas de estrellas
brillantes y rayos cósmicos producen un sesgo +

Moda mejor que mediana mejor que promedio

Si mediana $<$ promedio : moda = 3 mediana - 2 promedio

Sino, usar promedio

Se puede aplicar recorte iterativo, sacando pixeles que
se alejan del promedio más de $X\sigma$ ($X=2.5,3$)

Fotometría de apertura sintética

$$m = C - 2.5 \log \left(\frac{\sum_i \sum_j I_{ij} - n_{\text{pix}} I_{\text{cielo}}}{t} \right)$$

I_{ij} – Brillo de los pixeles (i,j) de la estrella.

n_{pix} – número de pixeles del área de la estrella

I_{cielo} – Brillo del fondo de cielo por pixel.

t – tiempo de exposición

m – magnitud instrumental

Problema de pequeñas aperturas y pixeles grandes

Uso de pixeles parciales.

Soluciones:

- División de pixeles
 - Dividir pixeles en el límite en cuartos con intensidad $I_{ij}/4$
 - Incluir solo los subpixeles que caen a $d < R$
- Contribución pesada (solución de DAOPHOT)
 - r_{ij} – distancia de pixel (x_i, y_j)
 - Si $r_{ij} < R - 0.5$ – incluir todo I_{ij}
 - Si $r_{ij} \geq R + 0.5$ – excluir I_{ij}
 - Si $R - 0.5 \leq r_{ij} < R + 0.5$ – Incluir $I_{ij}(R + 0.5 - r_{ij})$

Ajuste matematico de perfiles

- Aproximamos la superficie de la imagen estelar (perfil fotométrico) por una función, generalmente, gaussiana

$$I(r) = I(0) \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)$$

r - distancia a centro de estrella

σ - dispersión de imagen estelar

$I(0)$ - Brillo central

- Señal dentro círculo de radio (r)

$$E(r) = 2\pi\sigma^2(I(0) - I(r)) = 2\pi\sigma^2I(0) \left(1 - \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)\right)$$

Señal total

$$N = 2\pi\sigma^2I(0)$$

$$FWHM = 2\sigma\sqrt{2\ln 2}$$

I_* vs d

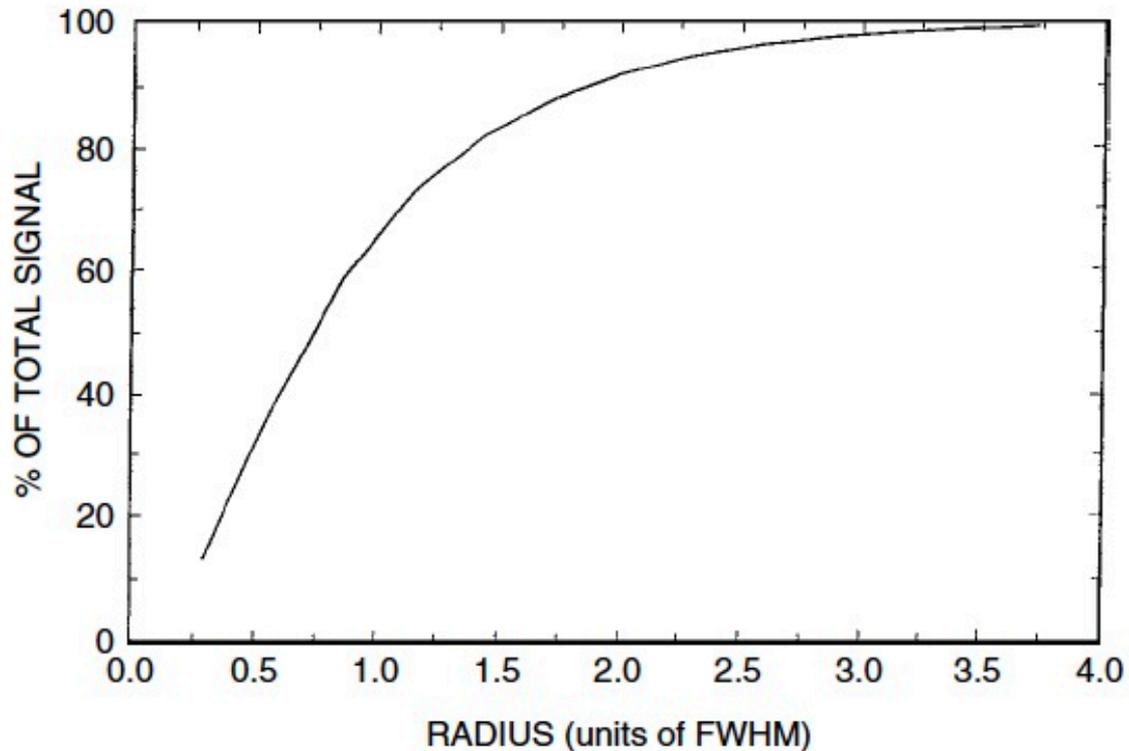
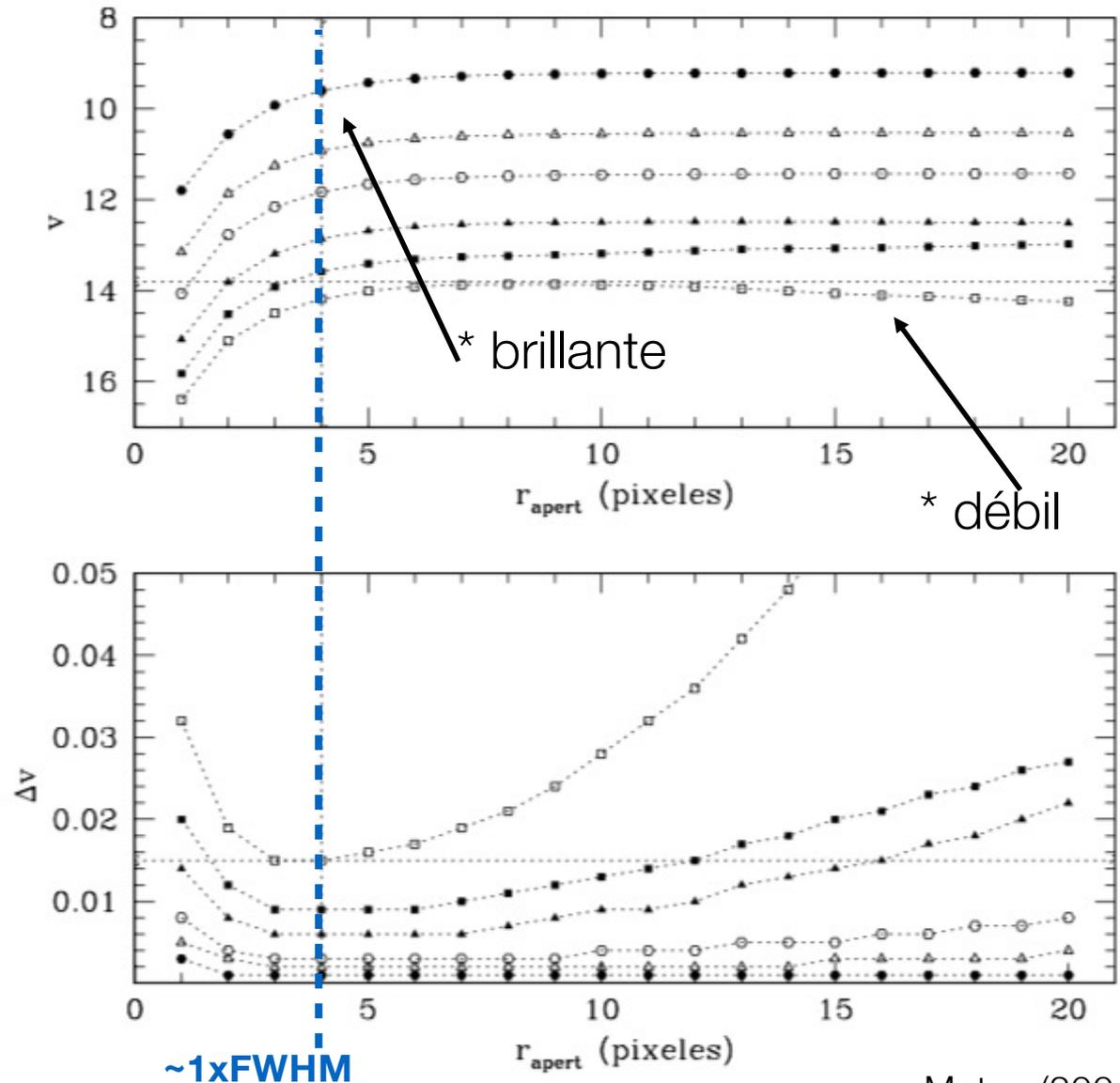


Fig. 5.6. For any reasonable PSF approximation, the figure above shows the run of the total encircled signal with radius of the PSF in FWHM units. Note that within a radius of 3·FWHM essentially 100% of the signal is included.

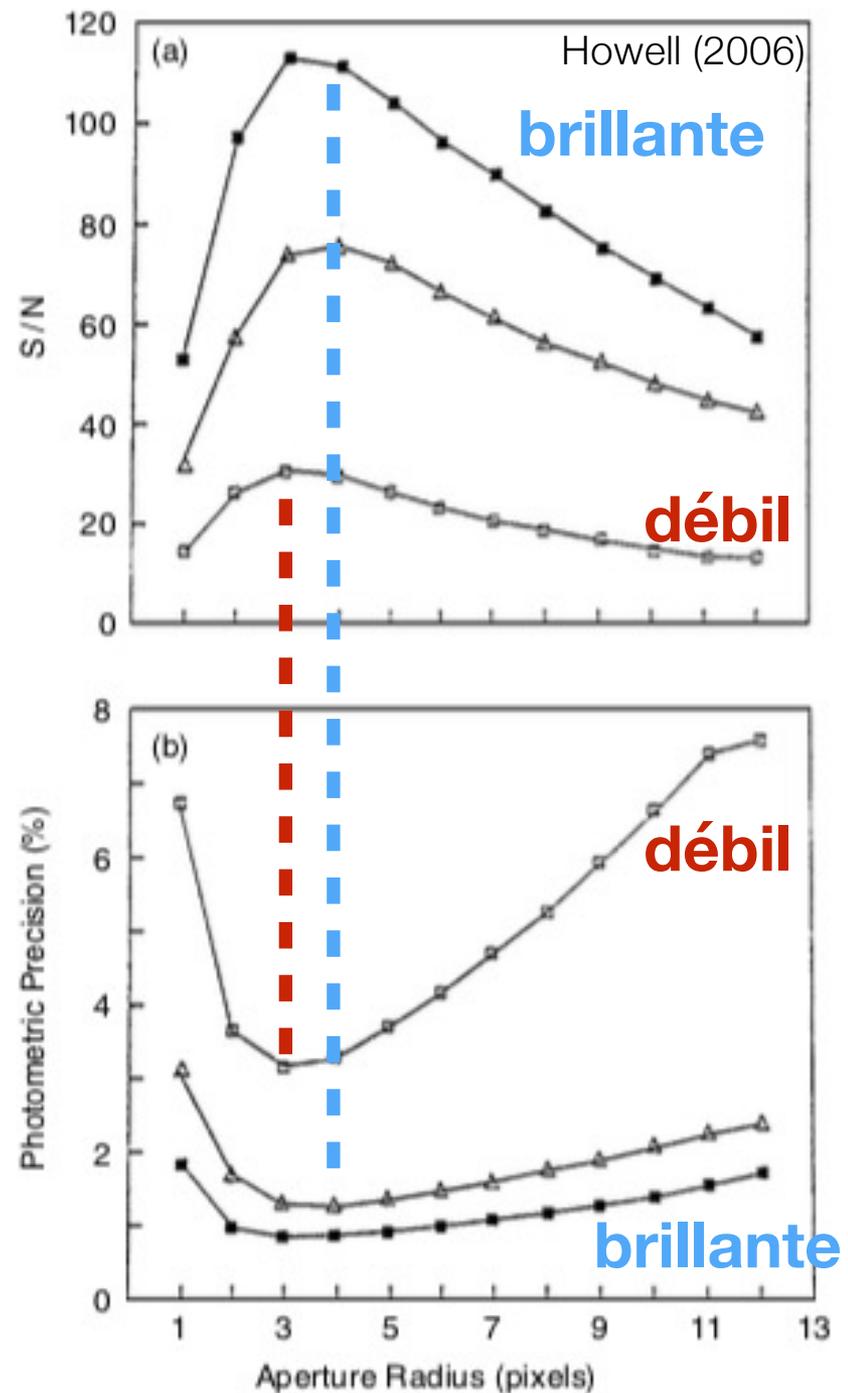
¿Cómo determinar el tamaño de la apertura?

- Curvas de crecimiento (magnitude growth curves):
 - se selecciona un puñado de estrellas en la imagen
 - se mide su magnitud (instrumental) para diferentes valores del radio de apertura
 - se grafica la magnitud y error vs el radio de apertura (r_{apert})



Curvas de Crecimiento

- Para estrellas brillantes:
 - la principal fuente de ruido es el ruido fotónico *de la propia estrella*
 - mejor SNR usando aperturas grandes
- Para estrellas débiles:
 - la principal fuente de ruido es el ruido fotónico *del fondo de cielo*
 - mejor SNR usando aperturas pequeñas



Elección de R

R tal que contenga toda la luz de la estrella

R – apertura en pixeles

I_* - Número de electrones registrados de la estrella

D – Ganancia (e-/ADUs)

A_* – Brillo en ADUs de la estrella: $I_* = DA_*$

σ_{RON} - Ruido de lectura

n_{pix} - Número de pixeles de la apertura

Error fotométrico debido a error fotónico y error de lectura

$$m \pm \delta m_1 = C - 2.5 \log(I_* \pm \sigma(I_*))$$

$$\delta m_1 = -2.5 \log(1 \pm \sigma(I_*)/I_*) \approx 1.09 \sigma(I_*)/I_*$$

$$\delta m_1 \approx 1.09 \frac{\sqrt{A_* D + \sigma_{RON}^2 n_{pix}}}{A_* D}$$

Si σ_{RON} pequeño, $\lim_{R \uparrow} \delta m_1 \rightarrow 0$, ya que $I_* \uparrow$

Pero para $R \rightarrow \infty$ ya no es válido

Error fotométrico debido a cielo

a_{sky} - Brillo del fondo de cielo por pixel (ADUs/pix)

$$\delta m_2 \approx \frac{1.09}{A_*} \sqrt{\frac{n_{pix} a_{sky}}{D}}$$

Si, $\lim_{R \uparrow} \delta m_2 \uparrow$

Sumando ambos efectos

$$\delta m \approx \frac{1.09}{A_* D} \sqrt{\underbrace{A_* D}_1 + \underbrace{n_{pix} (\sigma_{RON}^2 + D a_{sky})}_2}$$

Casos límites:

- Estrella brillante: $1 \gg 2 \rightarrow$ Usar aperturas grandes
- Estrella débil: $1 \lesssim 2 \rightarrow$ Usar aperturas pequeñas

Notar que A_* y $a_{sky} \propto t_{exp}$ y σ_{RON} fijo

Integración de larga duración mejor q suma de cortas, pero problema con los rayos cósmicos

Corrección de apertura

- Si se hace la fotometría de todas las estrellas con **la misma** apertura:
 - la fracción del flujo que queda fuera es la misma para todas las estrellas, como es un factor multiplicativo en el flujo => se traduce en un factor aditivo en la magnitud => se absorbe en el punto cero C
 - **una sola apertura -> no es necesario hacer ninguna corrección**
- Si se usan aperturas **diferentes** según el brillo de cada objeto:
 - **se hace una corrección de apertura**
 - la corrección se estima a partir de curvas de crecimiento para estrellas brillantes --> se calcula Δm = diferencia en magnitud para aperturas diferentes

Corrección de apertura

- Asumo misma PSF para todas las estrellas de la imagen. La fracción de energía dentro de apertura (encircle energy) es la misma.
- TECNICA:
 - Medir brillo de estrellas débiles en pequeñas aperturas $m_d(R_1)$
 - Medir brillantes con aperturas pequeñas $m_b(R_1)$ y grandes $m_b(R_2)$.

$$m_d = m_d(R_1) - (m_b(R_1) - m_b(R_2))$$

$$R_2 \sim 4-5 \text{ FWHM}$$

Curvas de crecimiento

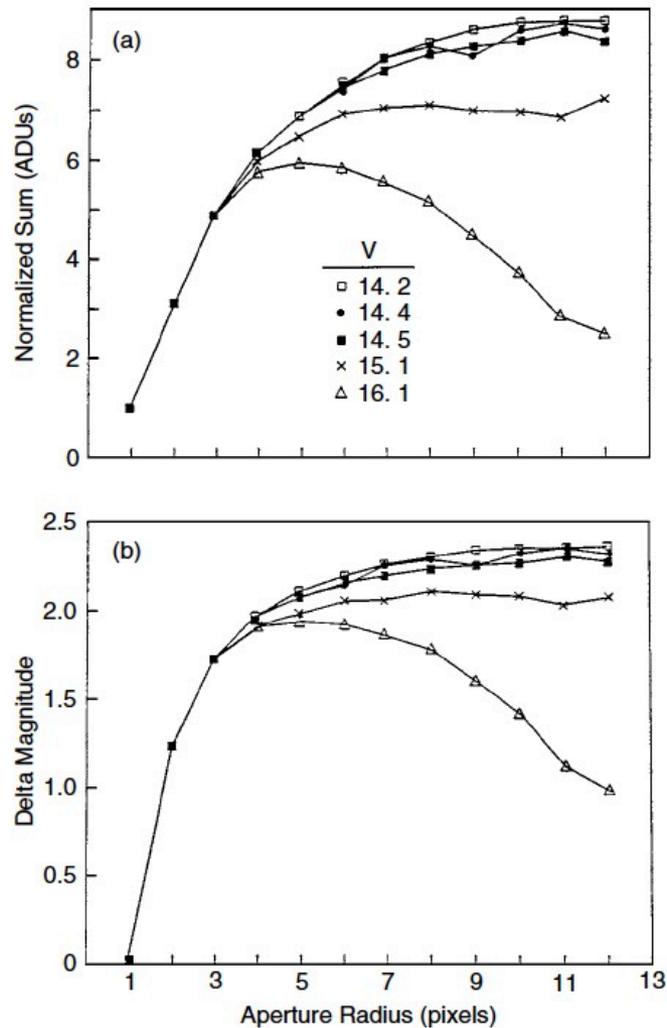


Fig. 5.8. Growth curves for five stars on a single CCD frame. The three brightest stars follow the same curve, which is very similar to the theoretical expectation as shown in Figure 5.6. The two faint stars start out in a similar manner, but eventually the background level is sufficient to overtake their PSF in the wings and they deviate strongly from the other three. Corrections, based on the bright stars, can be applied to these curves to obtain good estimates of their true brightnesses. The top panel presents growth curves as a function of normalized aperture sums while the bottom panel shows the curves as a function of magnitude differences within each successive aperture. The relative magnitudes of the point sources are given in the top panel and the image scale is the same as in Figure 5.6. From Howell (1989).

Curvas de crecimiento

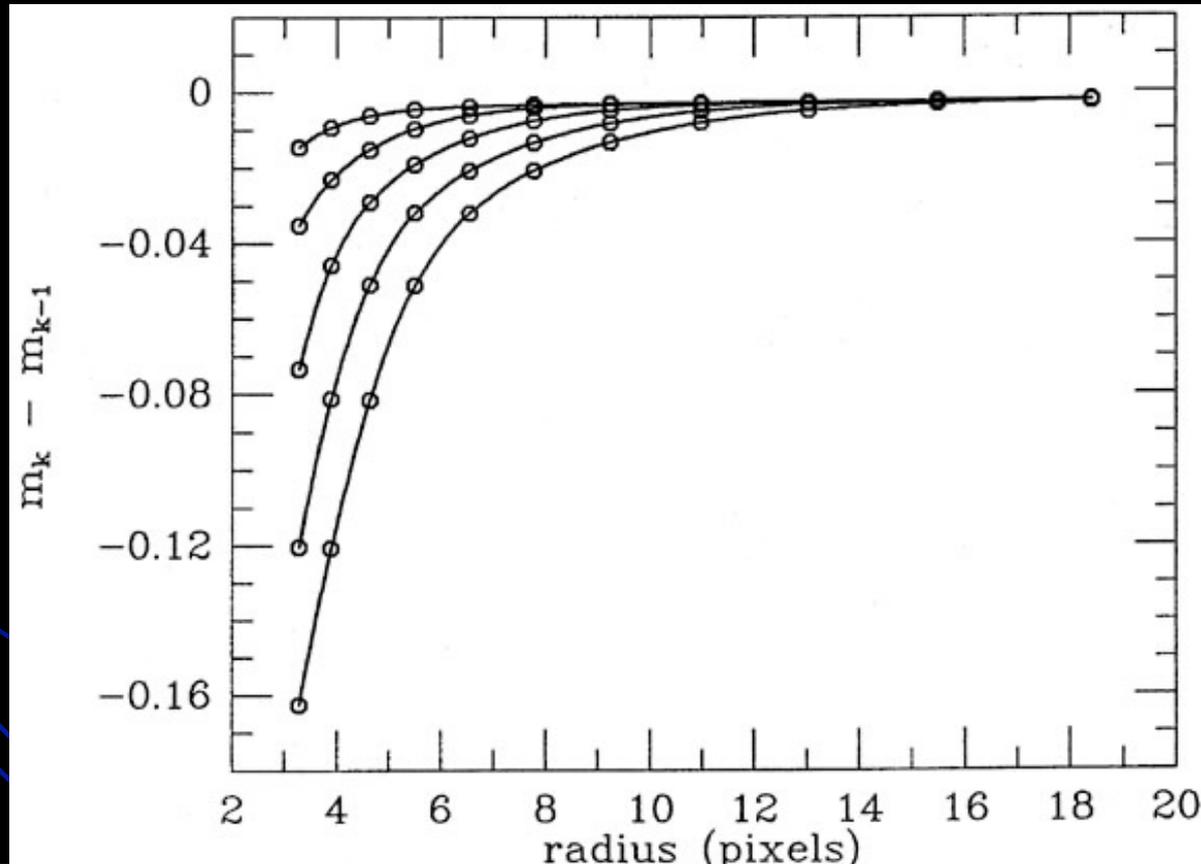


FIG. 1—Five selected analytic model growth curves from an observing run in 1988 at the prime focus of the Cerro Tololo 4-m telescope. Shown are the model curves for the individual frames with the best and poorest seeing of the entire three-night run and curves for three intermediate seeing values. The points represent the model-predicted magnitude differences for aperture magnitudes from consecutive concentric apertures, plotted as a function of the mean radius of the two apertures. Solid lines connect the magnitude differences corresponding to each individual growth curve.

Objetos Extendidos

Fotometría de Objetos extendidos: aperturas no circulares

Aperture Photometry Tool, v. 2.5.0

Open Image FITS Header Thumbnail About & Help Exit

Lower bound of stretch (DN): +708.66 Upper bound of stretch (DN): +900.00

Stretch to Bounds 1%/99% Image Histogram

Adjust stretch min. (percentile of set range): Adjust stretch max. (percentile of set range):

Linear Stretch Dynamic range (x100): Stretch-Type Toggle

Click on Big Button on Right to Change Aperture Attributes & Photometry Radii:

Aperture Slice Source Scatter Sky Scatter Hide Aperture

Curve of Growth Radial Profile Sky Histogram Color-Table Toggle

VALUES UNDER CURSOR

Pixel (X, Y) = 587, 2843
(R.A., Dec.) = 133.814391, +30.173138 degrees
Pixel value = +962.31 DN

APERTURE MEASUREMENTS

Aperture (X, Y) = 587, 2,843 Snap

Centroid (X, Y) = 586.93, 2842.50
Centroid (R.A., Dec.) = 133.814367, +30.173279 degrees
Counts in aperture = +415280 DN

APERTURE-PHOTOMETRY RESULTS

Photometry data units: DN

Sky background (model) = +752.50 (B)

Sky scale, sigma = +19.326, +18.726

Source intensity (sky subtracted) = +14017

Source uncertainty = +683.48

Magnitude (dimensionless) = -10.3666

Mag. uncertainty (dimensionless) = +0.0529

More Settings Recompute Photometry

Save Results List Results Plot Results

Blink Refresh 1 Refresh 2

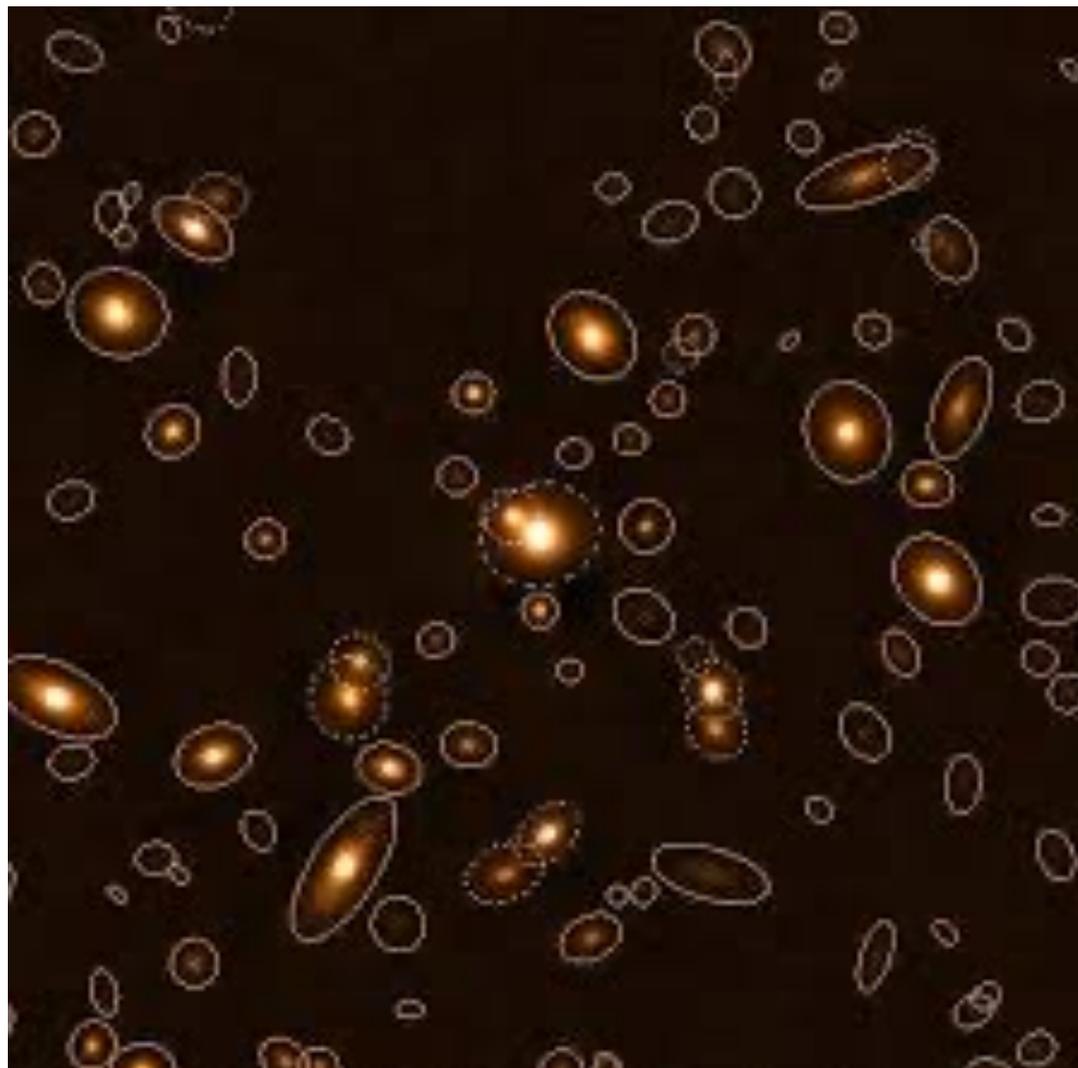
Source List Pick/Zap Screenshot

Magnify Image [1] 5x 10x 20x

Magnify: 1x 5x 10x 20x Find Aperture

Image: [1] PTF_200903011447_l_p_scie_t032825_u008649095_f02_p000590_c09.fits [1:1] (primary image)

Fotometría de Objetos extendidos: aperturas no circulares



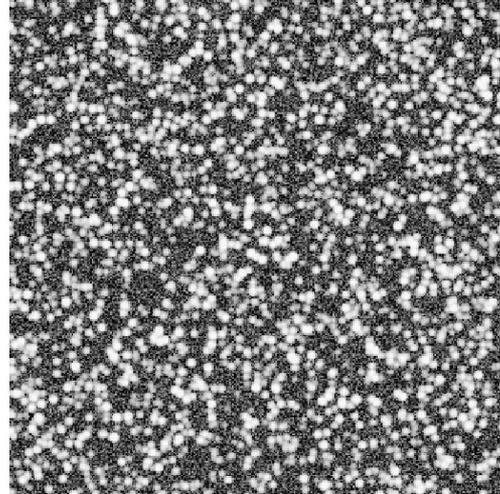
Fotometría PSF

Fotometría de Apertura vs PSF

- Fotometría de apertura:

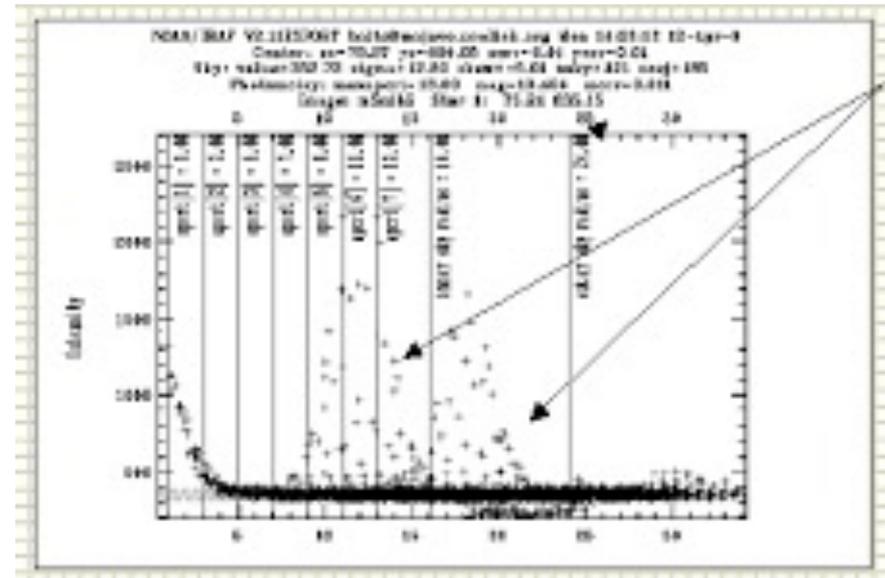
- **ventajas:** rápida y sencilla

- **limitaciones:** no se puede hacer en campos muy densos (crowding) o en campos con fondos nebulosos



- e.g. cúmulos globulares, disco galáctico, bulbo

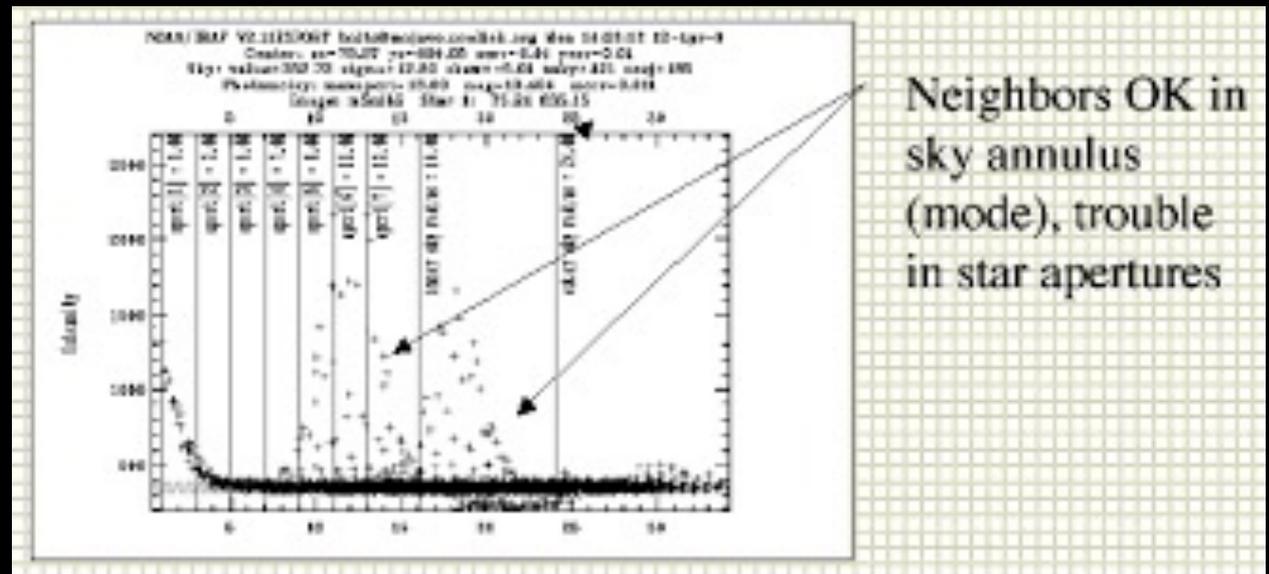
- en esos casos, se hace fotometría de ajuste de perfiles:



Fotometría PSF

Fotometría PSF

- Se construye un modelo de la PSF
- Se ajusta "simultáneamente" a todas las estrellas detectadas en la imagen
- El brillo de cada estrella se mide integrando el perfil ajustado, menos las alas de las estrellas vecinas
- Así, para cada estrella se ha quitado la contribución tanto del fondo de cielo, como de las alas de estrellas vecinas



AJUSTE ITERATIVO DE OBJETOS CON ALLSTAR

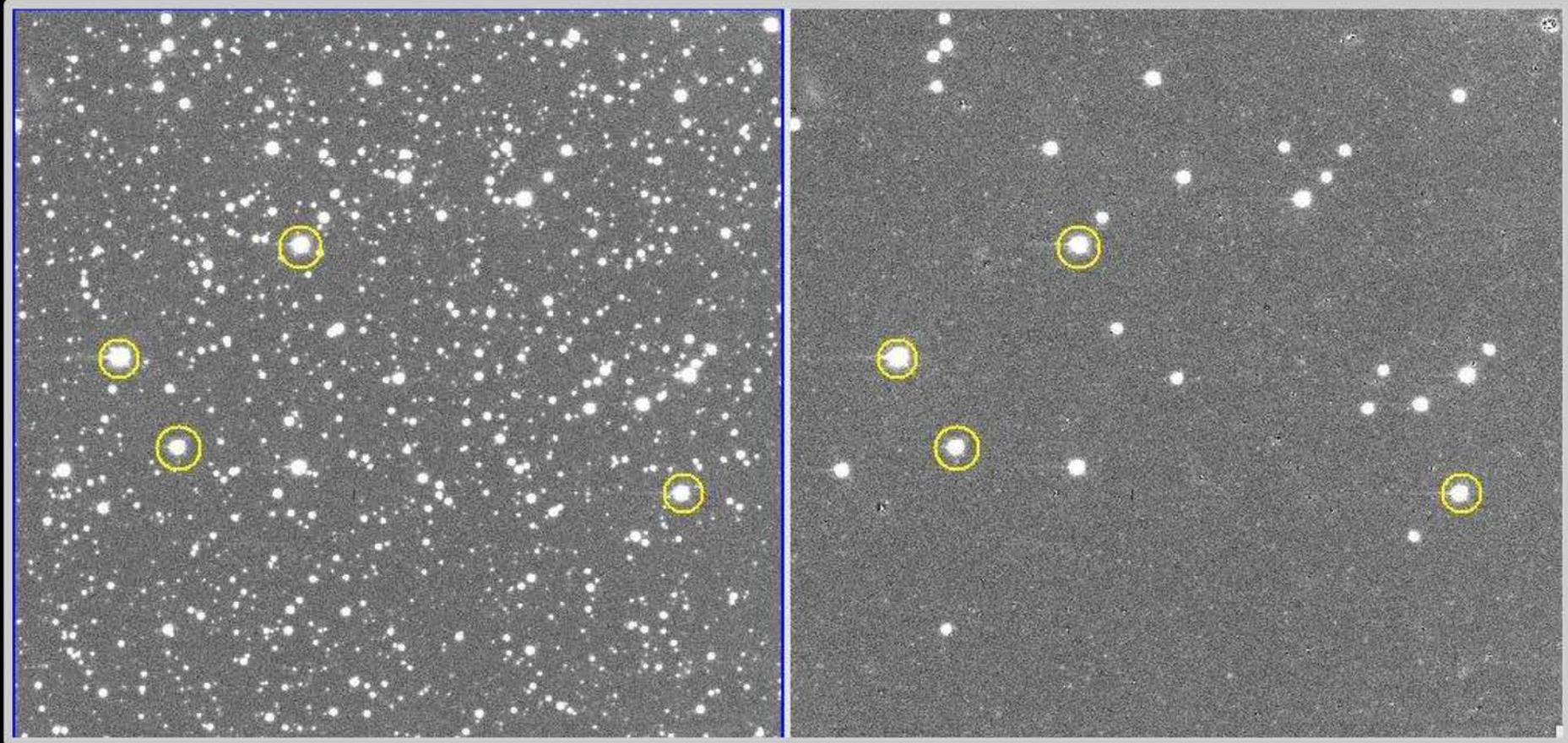
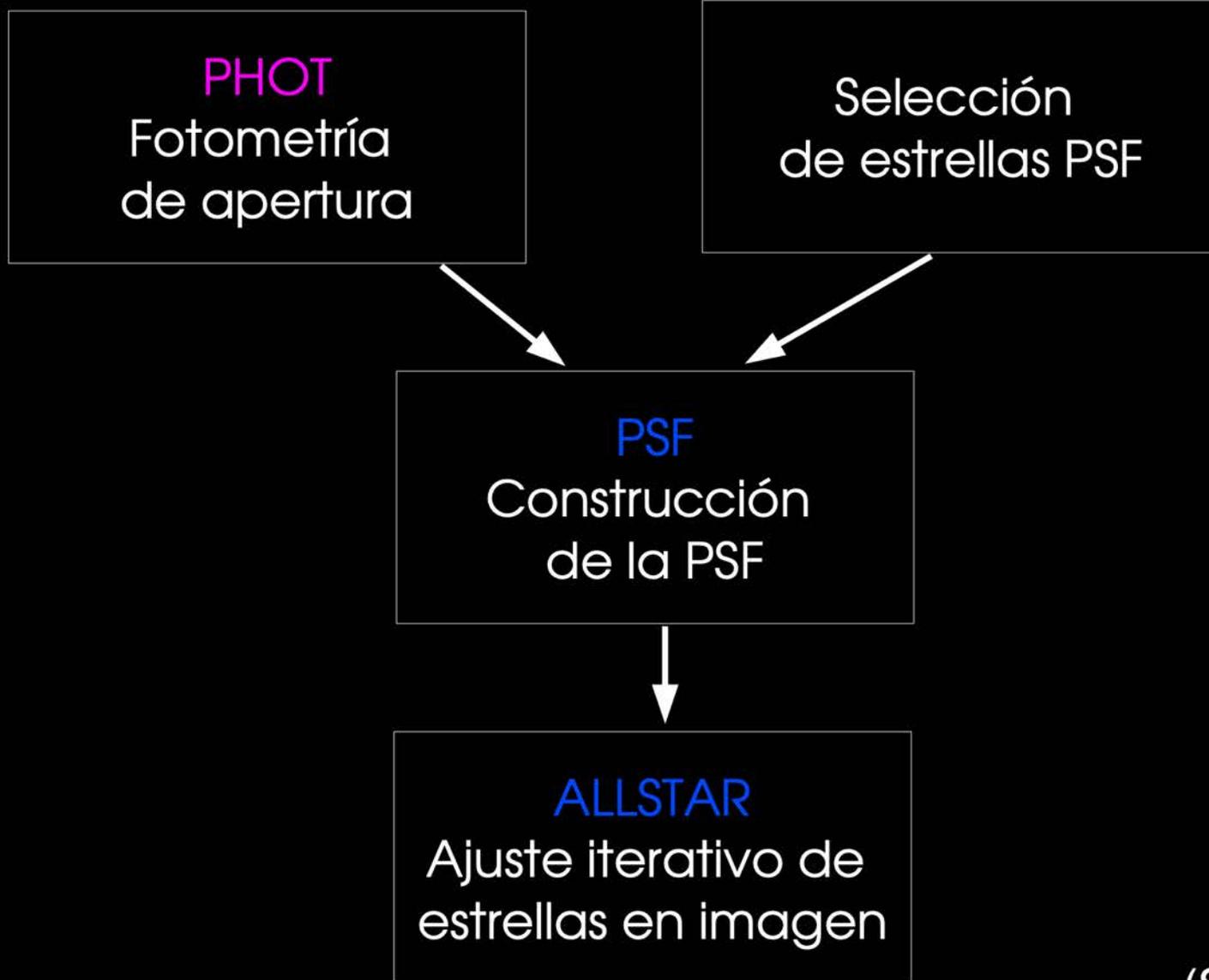


Imagen Original

Imagen Sustraída

FOTOMETRÍA PSF CON IRAF DAOPHOT



(Stetson 1992)

FOTOMETRÍA PSF CON IRAF DAOPHOT

Fotometría de Apertura
PHOT



Determinación inicial de las magnitudes y del fondo de cielo

Selección de estrellas PSF



Estrellas “aisladas”, no saturadas
relativamente brillantes (buena S/R)



Interactivamente
tarea PSF

Batch mode

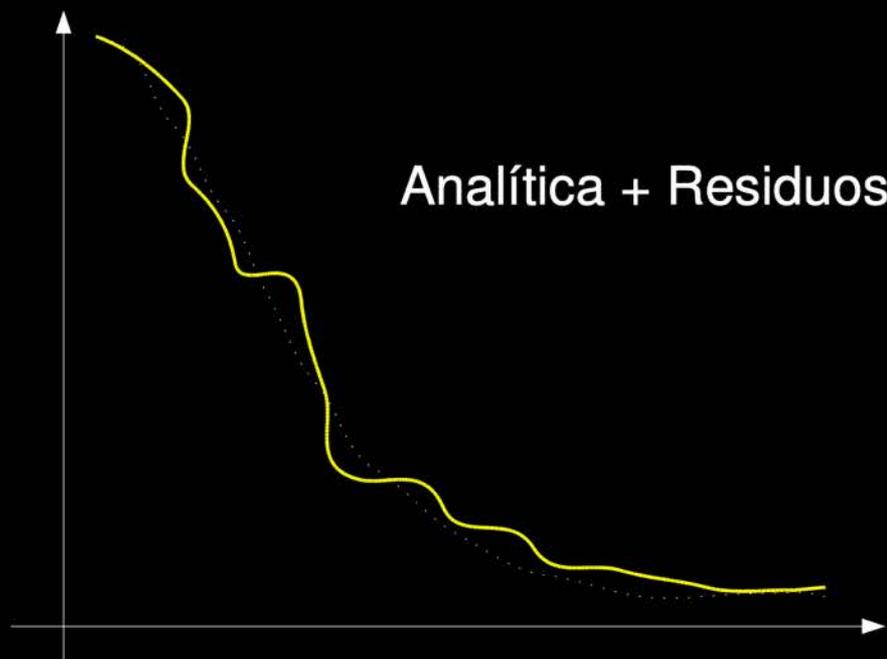
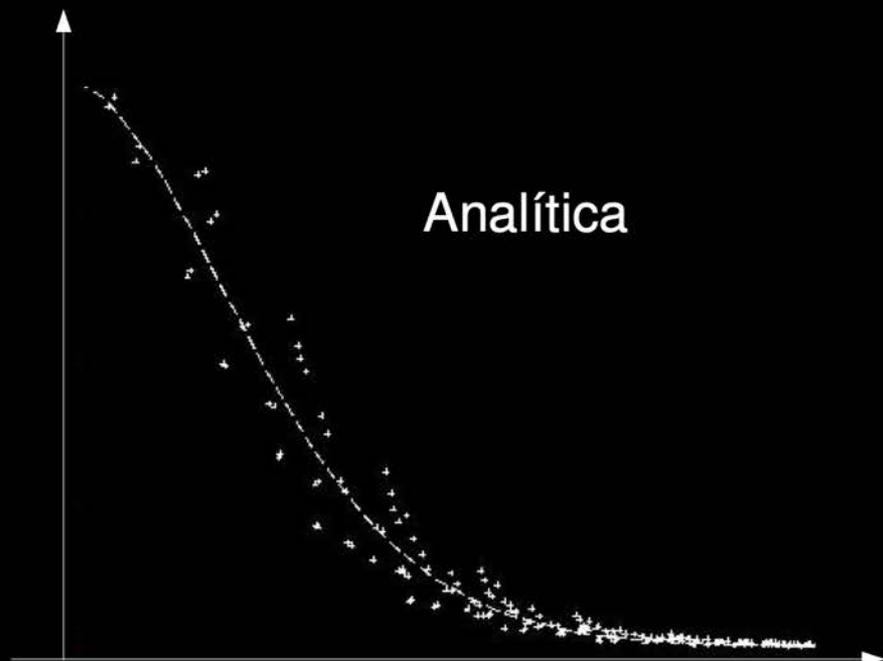


Construir la psf
PSF

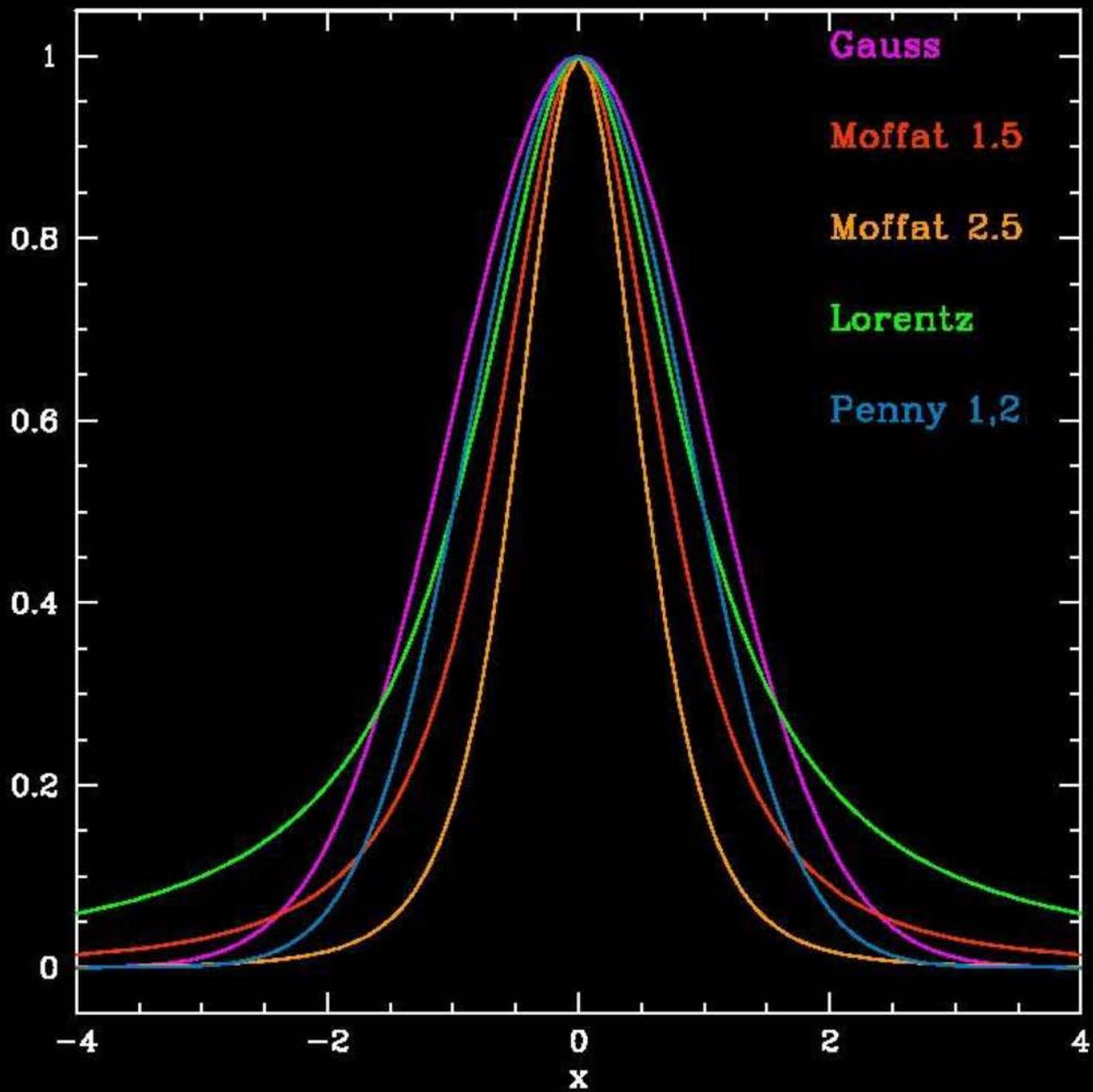
CONSTRUCCIÓN DE LA PSF

La PSF modelo tiene una componente analítica más un número de “look-up” tables que contienen:

- Los residuos del ajuste de la parte analítica (Varorder=0)
- Las derivadas de la PSF respecto a X,Y en el ccd (Varorder=1)
- Las derivadas segundas respecto a X,Y (Varorder=2)

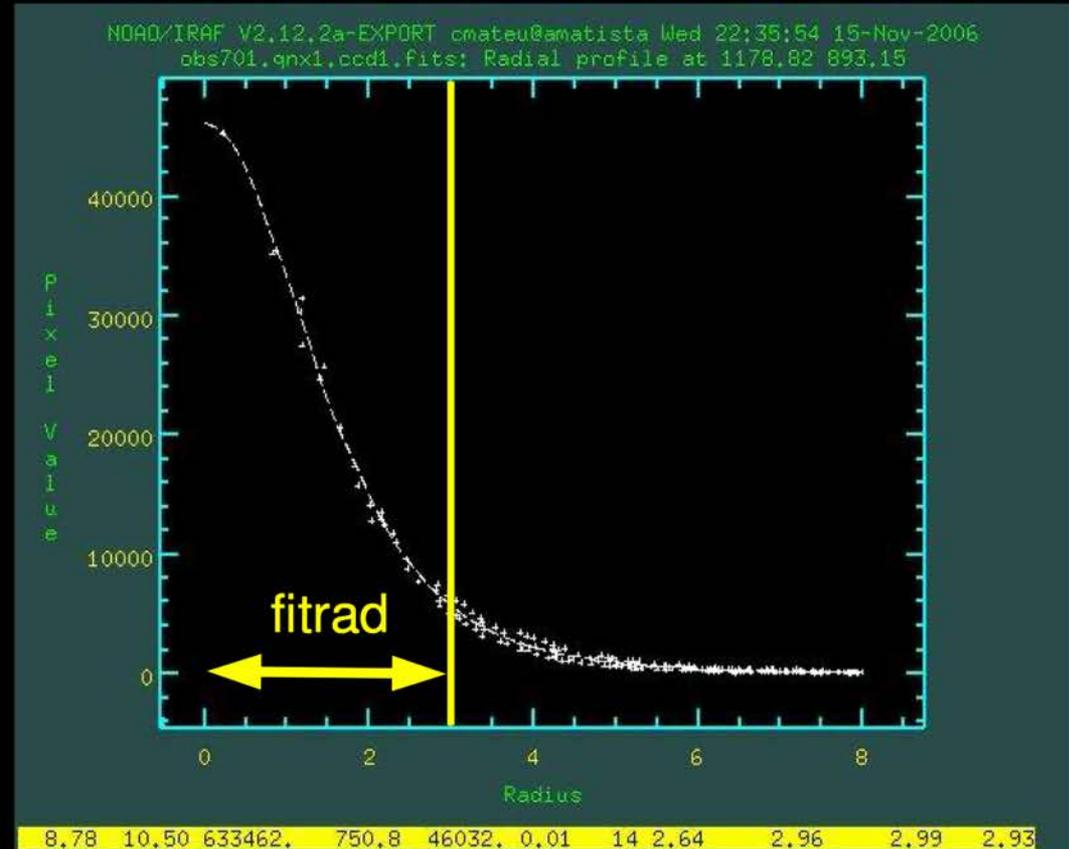
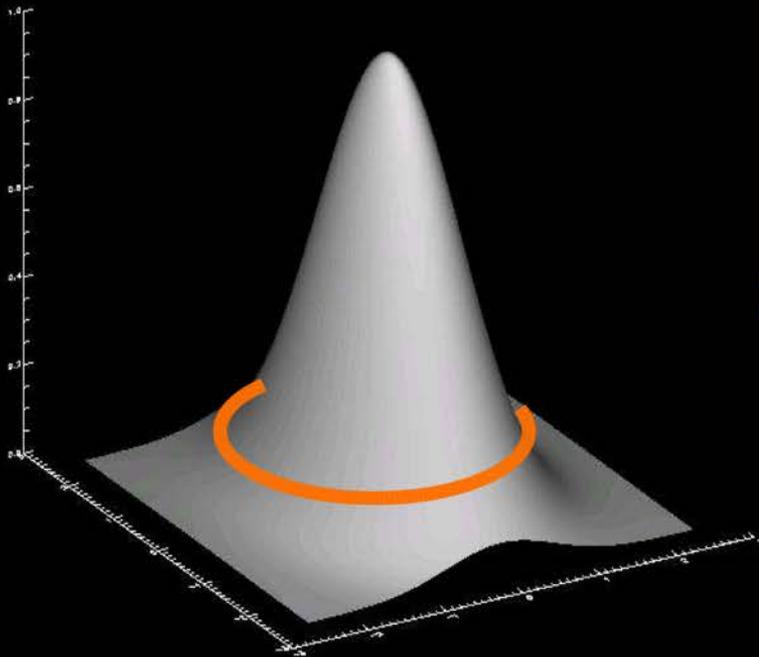


Funciones analíticas para PSF



PARÁMETROS DE LA FOTOMETRÍA PSF

- **fitradius**: Radio de ajuste de la psf (\sim fwhm)
- **psfradius**: Radio del modelo de la PSF



- **datamin**: MÍN. cuentas por píxel
- **datamax**: MÁX. cuentas por píxel

CONSTRUCCIÓN DE LA PSF CON IRAF DAOPHOT-PSF

Archivo de estrellas psf
(.pst)



DAOPHOT PSF
Identificación de vecinas
de cada estrella psf
(.psg)



Ajuste de la parte analítica de la PSF
y determinación de los residuos y derivadas
para cada estrella PSF + vecinas



Modelo PSF final
(.psf.fits)

AJUSTE ITERATIVO DE OBJETOS CON ALLSTAR

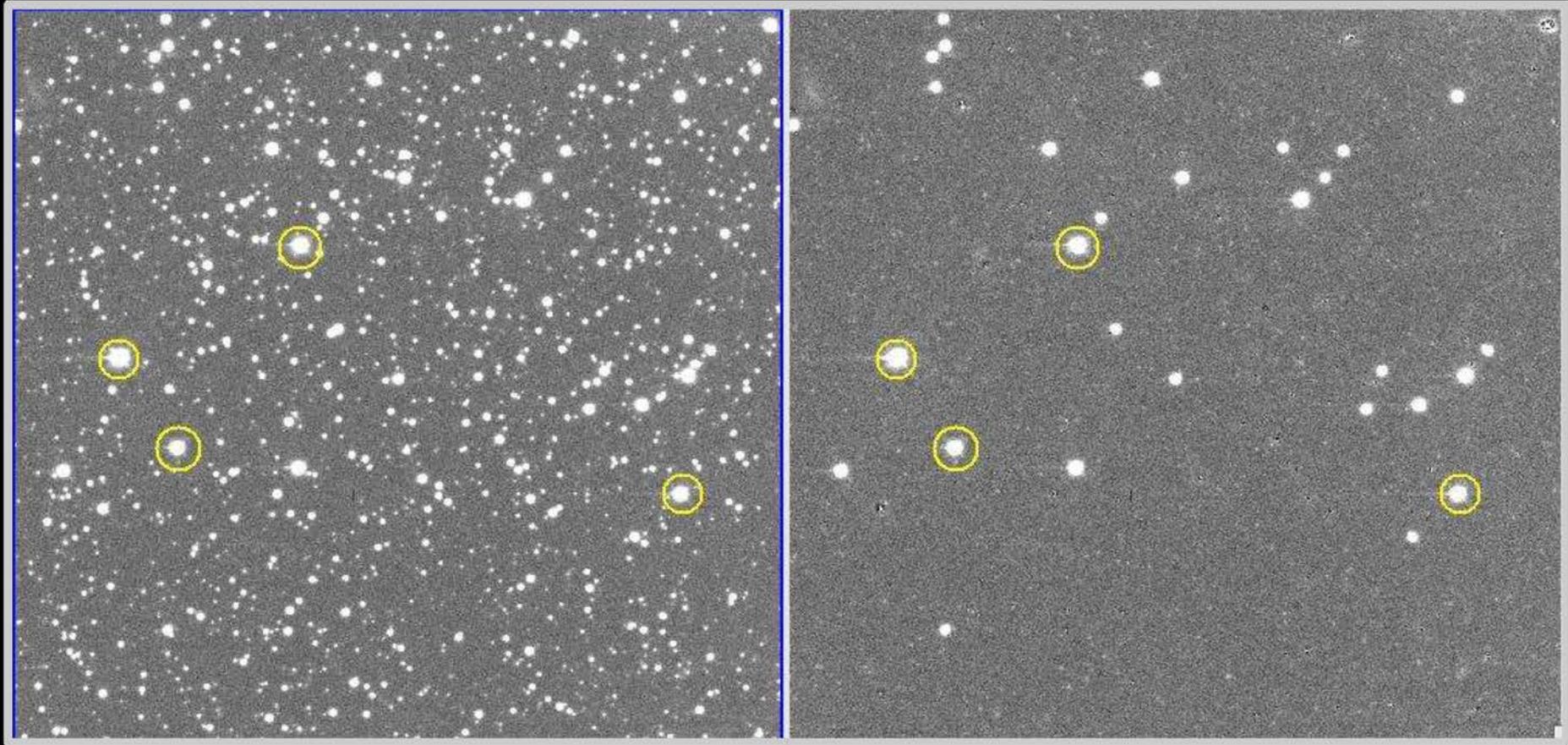
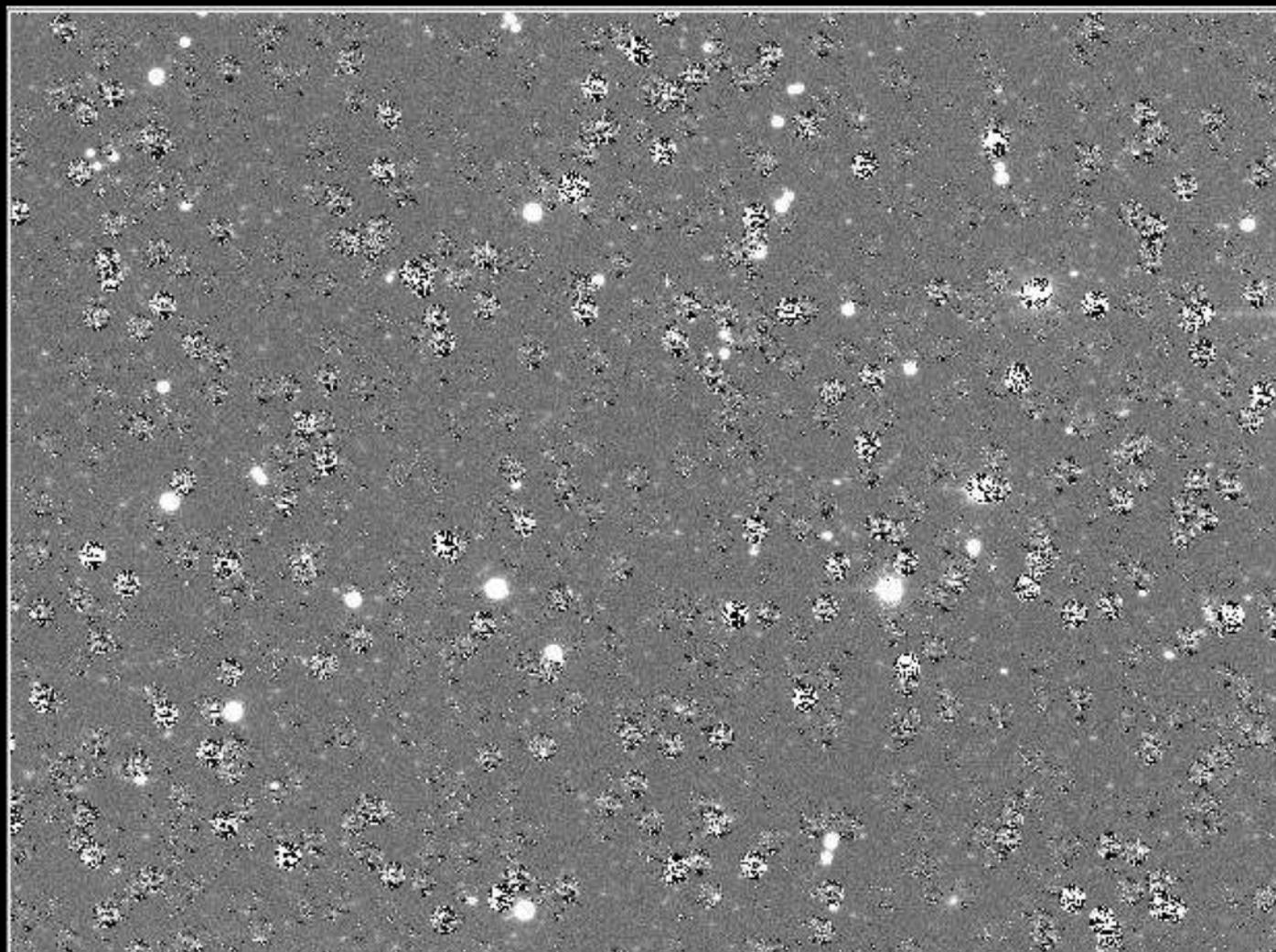


Imagen Original

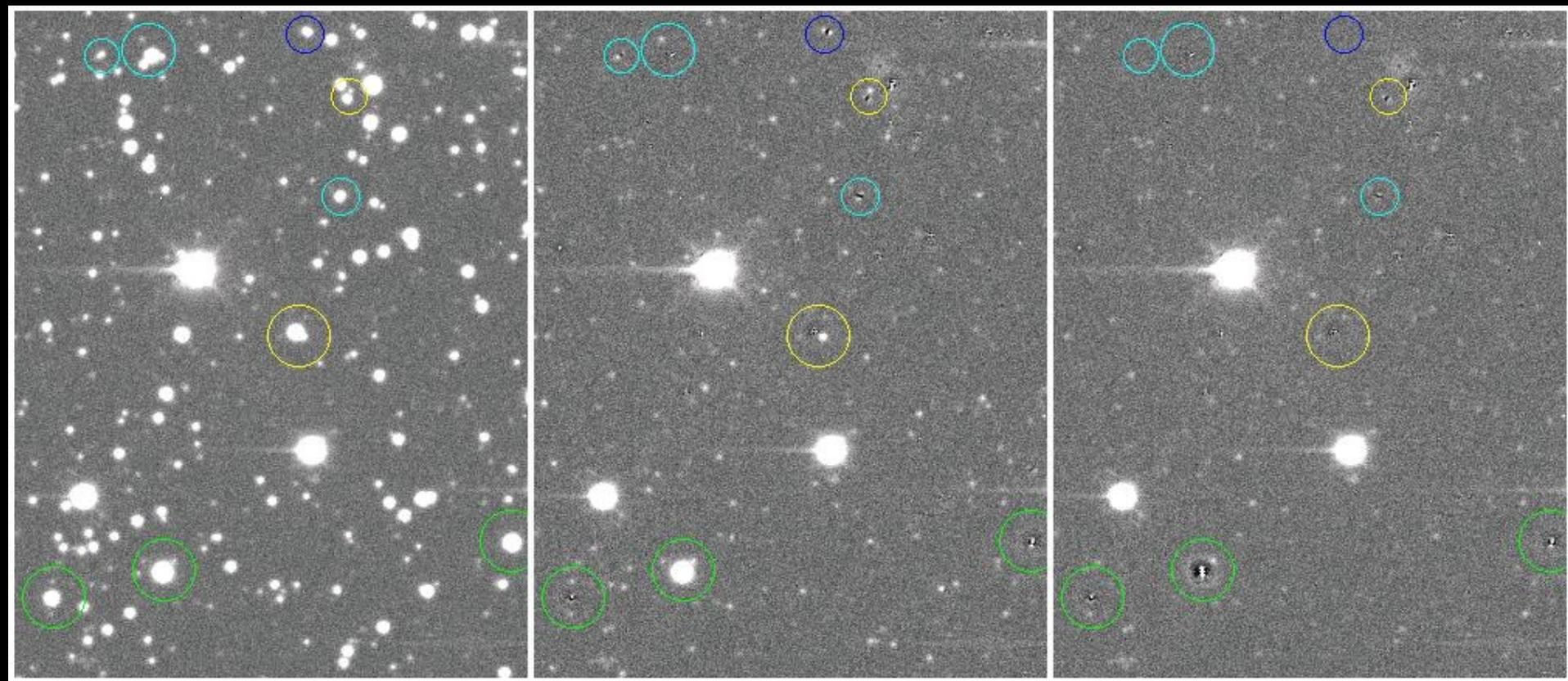
Imagen Sustraída

POSIBLES PROBLEMAS

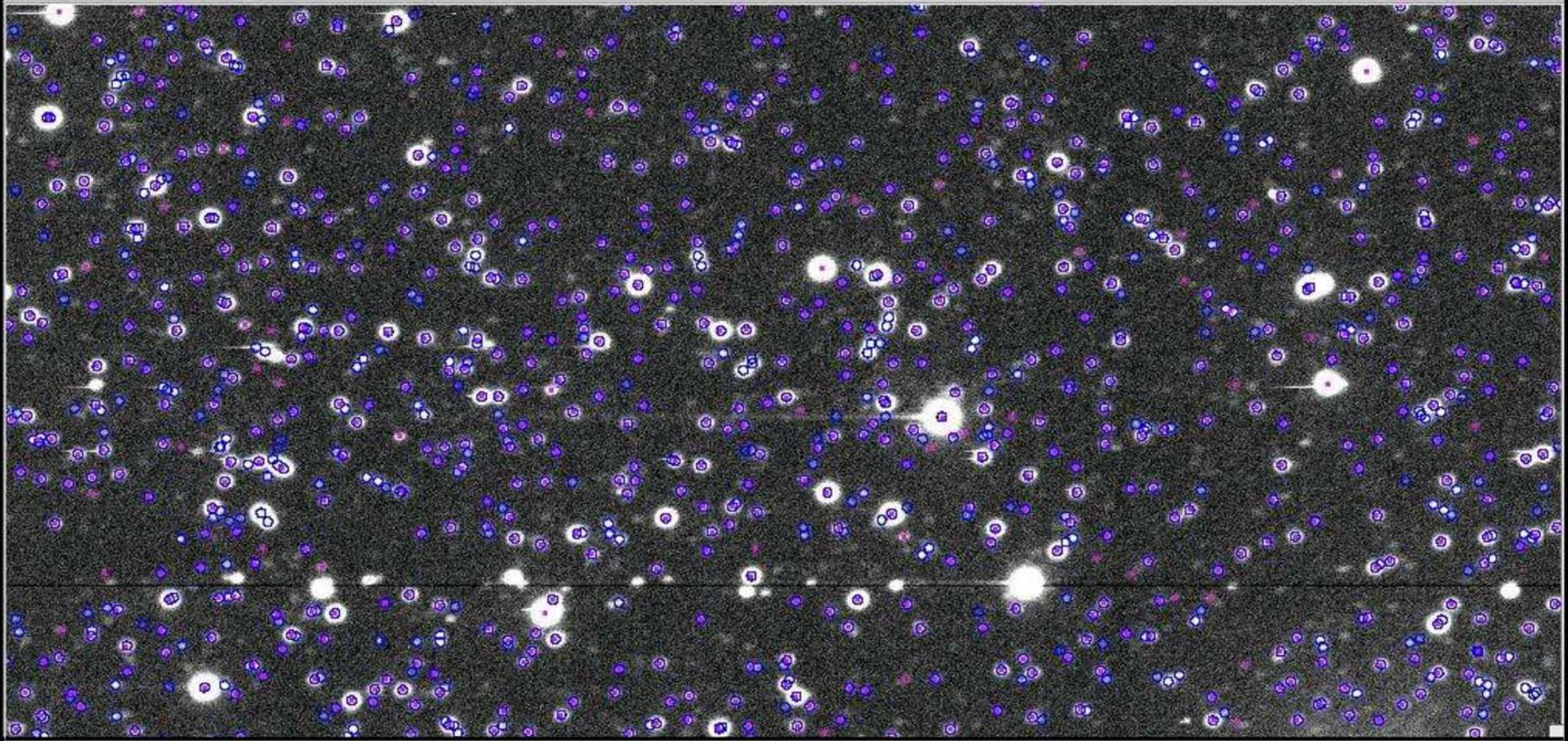


RESULTADOS DE LA FOTOMETRÍA PSF

Imágenes sustraídas



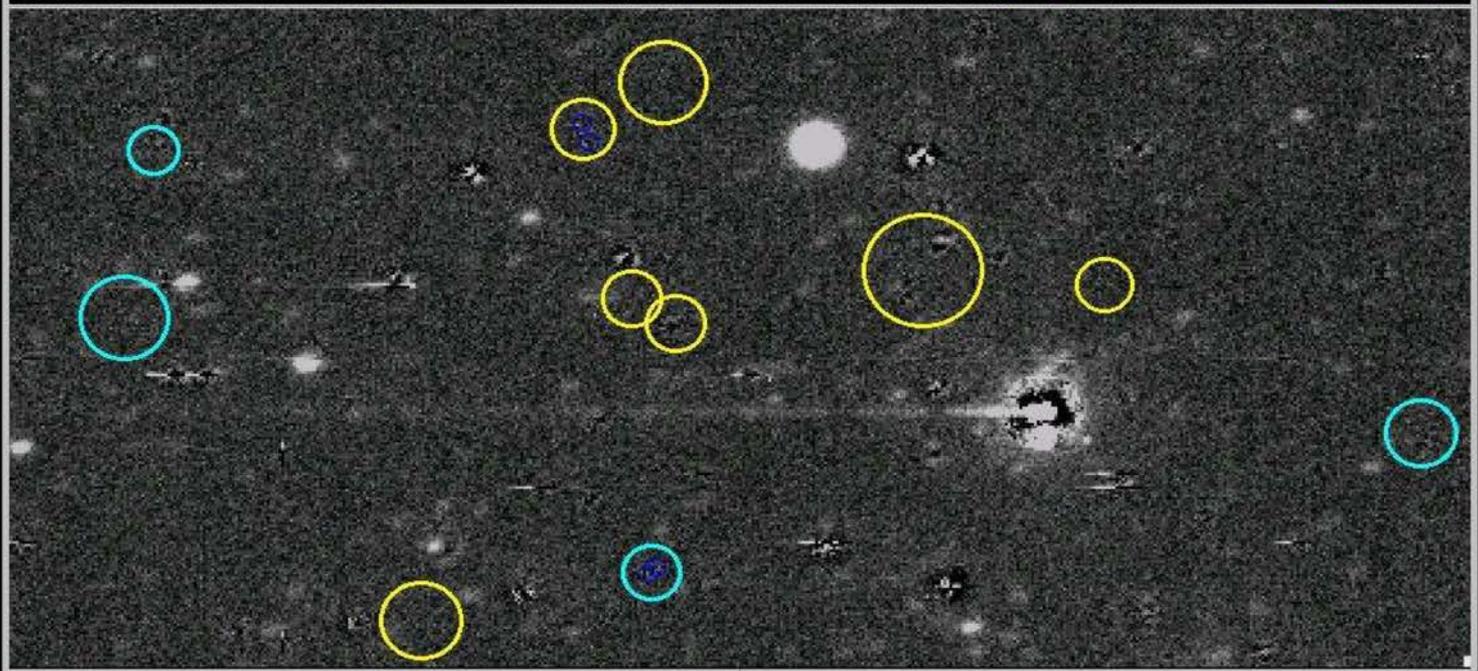
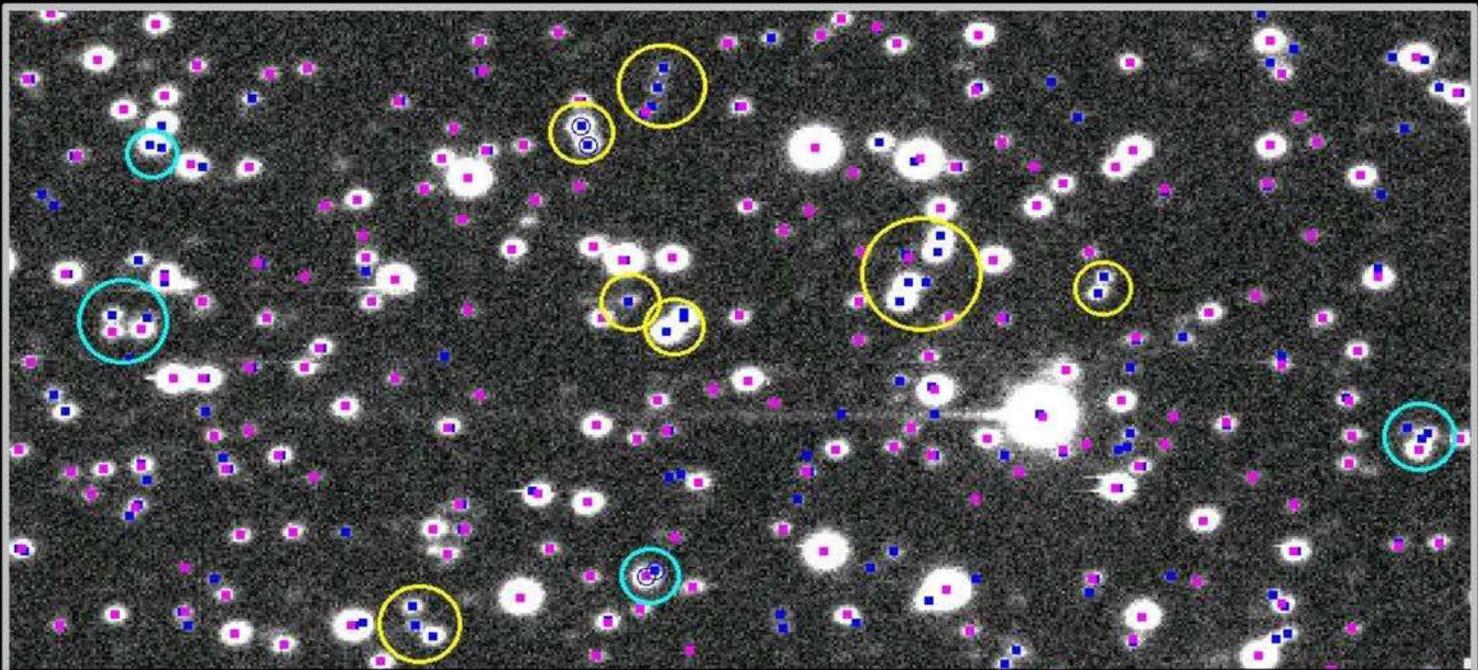
OBJETOS DETECTADOS: FOTOMETRÍA PSF VS APERTURA



○ Fotometría PSF

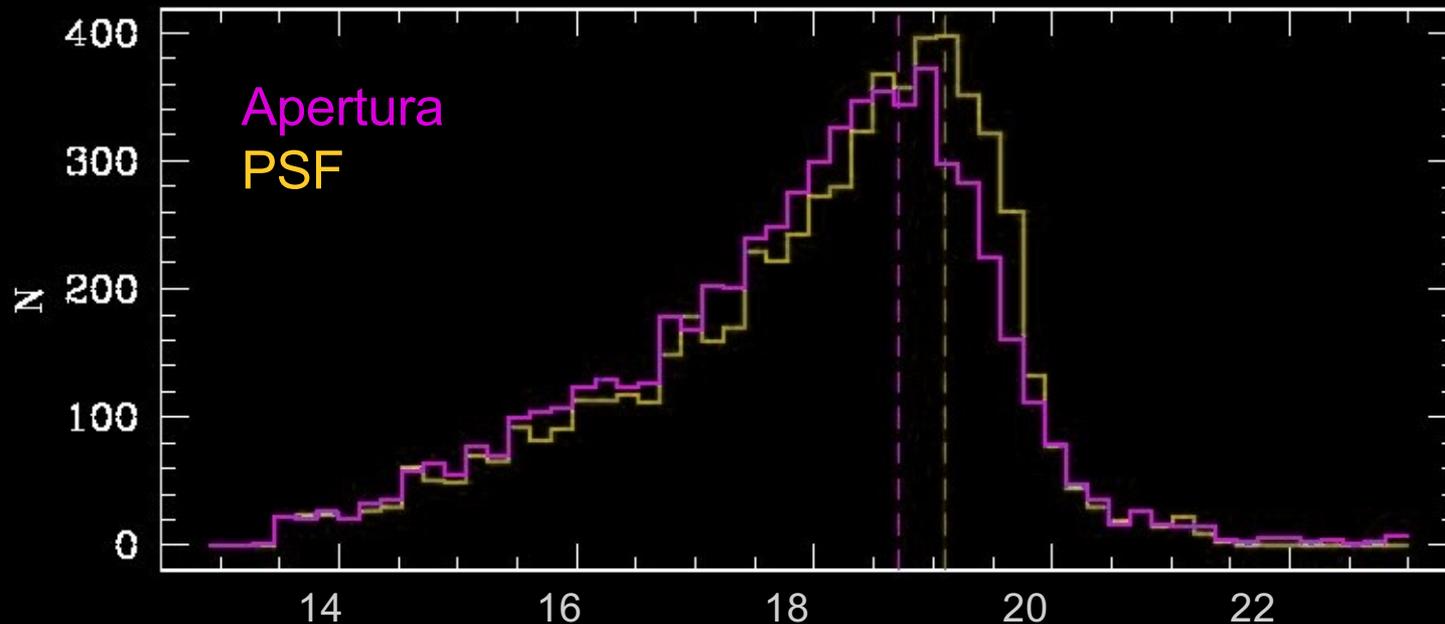
■ Fotometría de Apertura

20-30% más detecciones con fotometría PSF



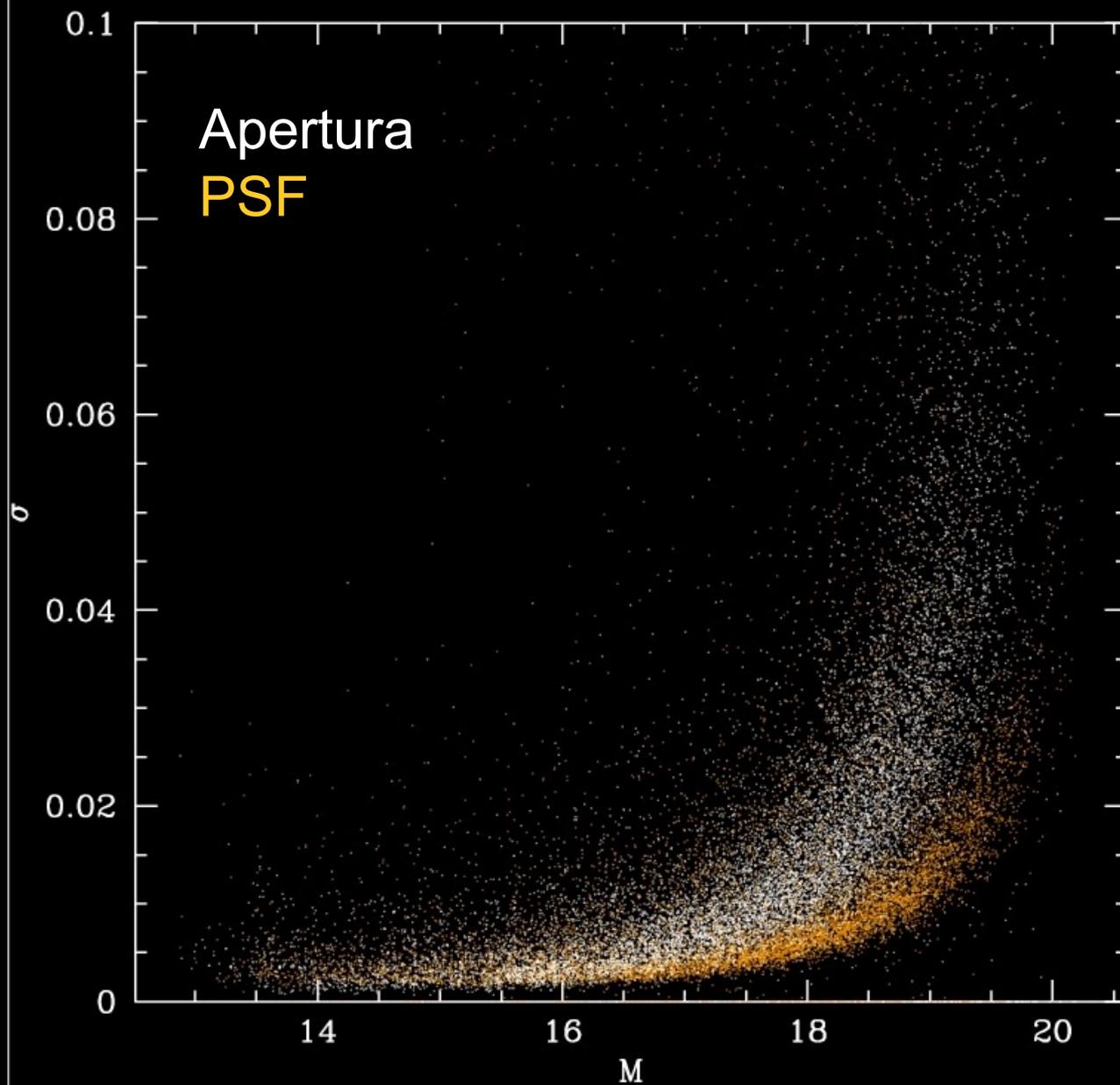
RESULTADOS DE LA FOTOMETRÍA PSF

Histogramas de magnitud



Al hacer fotometría PSF, la magnitud de completitud aumenta en ~ 0.5

RESULTADOS DE LA FOTOMETRÍA PSF



CONCLUSIONES

Ventajas y Desventajas de la fotometría PSF frente a la de apertura:

- + Aumenta el nro. de objetos
- + Aumenta la magnitud de completitud
- + Permite hallar las magnitudes con mayor exactitud y precisión, para objetos en campos muy poblados
- + El promedio de los errores fotométricos disminuye
- + Permite hacer fotometría de objetos con vecinas muy cercanas
- El tiempo de procesamiento es aproximadamente el doble
- Es mucho más sensible a los parámetros que la fot. de apertura