

Universidad Técnica Federico Santa María

AST-205 - COMPUTATIONAL ASTRONOMY

DRA. LIC. ODETTE TOLOZA CASTILLO

Report of aperture photometry

Autor

Javiera Espinoza Morales¹

June 15, 2022

¹Rol: 201941036-9

Contents

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Point Object | 1 |
| 1.2 | extended object: Name of the galaxy | 1 |
| 2 | Results | 4 |
| 2.1 | Reduction and aperture photometry with APT | 4 |
| 2.1.1 | Aperture and annulus: Estrella | 4 |
| 2.1.2 | Aperture and annulus: Galaxia | 7 |
| 2.1.3 | Curve of growth: Estrella | 12 |
| 2.1.4 | Curve of growth: Galaxia | 13 |
| 2.1.5 | Signal to noise: Estrella | 15 |
| 3 | Analysis and conclusions | 16 |

Chapter 1

Introducción

1.1 Point Object

En el siguiente trabajo se buscará comprobar mediante el programa *Aperture Photometry Tool* la magnitud de una estrella y una galaxia elíptica cualquiera elegida con la página Sky Server, con el fin de comprobar la magnitud que este programa indica. Para esto, se utilizarán los Fits que provee la página, que para este caso particular, serán los que poseen el filtro "g".

Además, se espera aplicar conocimientos aprendidos en la asignatura tales como intensidad, pixeles en una toma, ADUS, conversiones, gráficas, etc. Y poder en base a estos conocimientos buscar soluciones y/o explicaciones a los fenómenos que se analizarán.

1.2 extended object: Name of the galaxy

Se utilizarán los siguientes objetos celestes, los cuales poseen fotometría estable y nombre:

- **Estrella SDSS J115906.26-003932.4**

Esta estrella posee las siguientes características:

Posición: 179.776086199, -0.659010408

Velocidad: 191,4 [$\frac{Km}{s}$]

← que unidades?

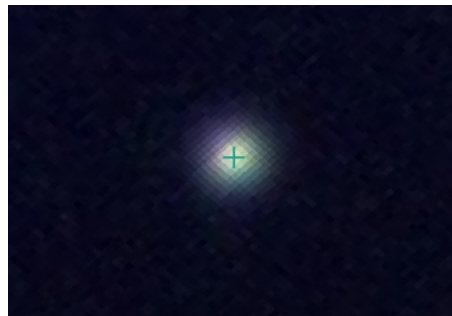


Figure 1.1: Estrella SDSS J115906.26-003932.4

Para poder encontrar su magnitud, primero se descargan los Fits con filtro 'g' desde la página *Sky Server*. Luego, se procede a cargar los archivos en el programa *Aperture Photometry Tool* ya configurado anteriormente, con lo cual se puede ver algo así:

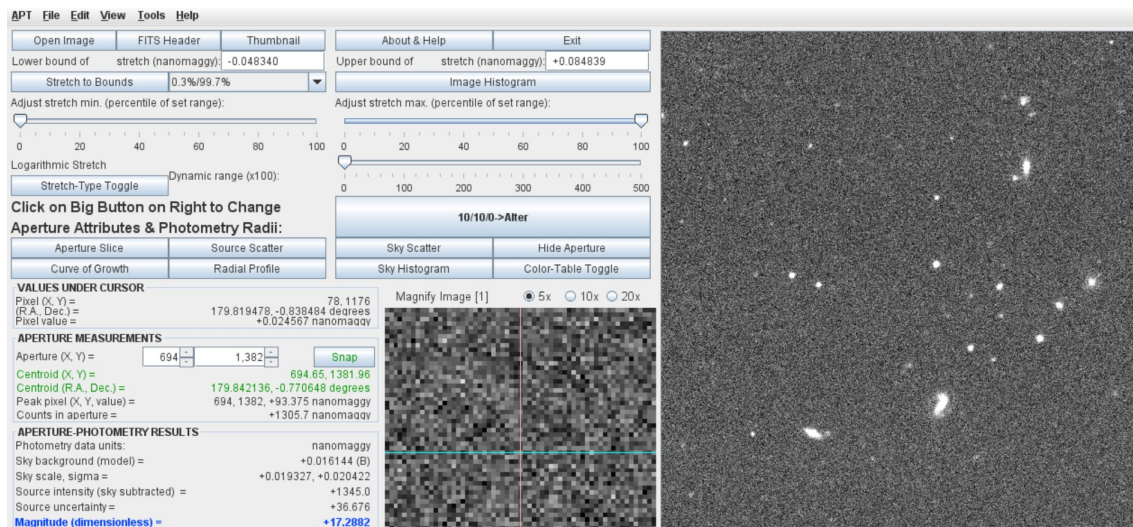


Figure 1.2: Vista inicial del programa Aperture Photometry Tool.

Procedemos a buscar dentro de la imagen visualizada a la derecha los puntos luminosos más parecidos a lo que nos indique SIMBAD, que para nuestros casos particulares se ve así:

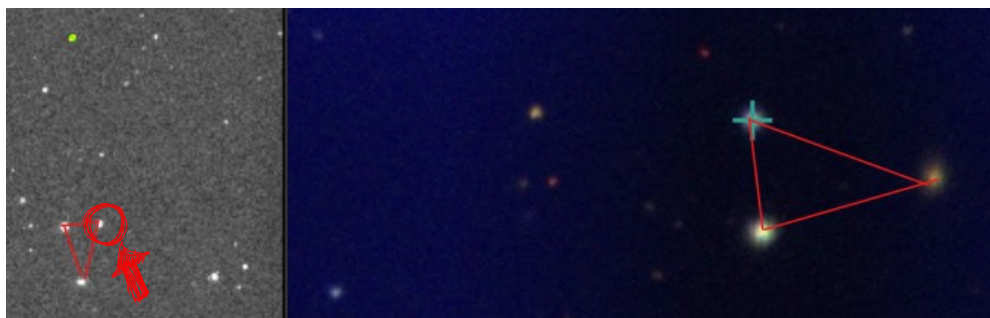


Figure 1.3: Localización de la estrella en Aperture Photometry Tool(izquierda) basado en SIMBAD (derecha).

- **Galaxia elíptica 6dFGS gJ113953.5-033106**

Esta galaxia posee las siguientes características:

Posición: 6dFGS gJ113953.5-033106

Velocidad: 18930 [$\frac{Km}{s}$]



Figure 1.4: Galaxia 6dFGS gJ113953.5-033106

Se realiza el mismo procedimiento que con la estrella para cargar los Fits con el filtro 'g' en *Aperture Photometry Tool*. Buscamos con ayuda de SIMBAD nuestra galaxia en los Fits y vemos algo así:

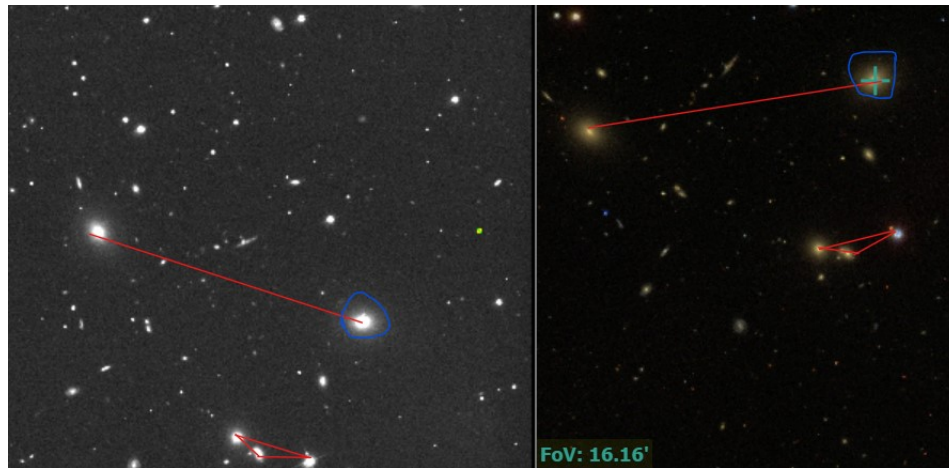


Figure 1.5: Localización de la galaxia en Aperture Photometry Tool(izquierda) basado en SIMBAD (derecha).

Chapter 2

Results

2.1 Reduction and aperture photometry with APT

2.1.1 Aperture and annulus: Estrella

Los fits de la estrella poseen los siguientes parámetros:

- **Filtro:** 'g'
- **Tiempo de exposición:** 53.907456 [s]
- **Factor de conversión de nanomaggies a ADUS:** 0.00457018 [nMgy per count]
- **Columna en la cámara de imágenes:** 2

Caso 1

Luego de localizar la estrella, se elije la apertura y su annulus, asegurando que la apertura se encuentre centrada y cubra toda la luz proveniente de la estrella, y que dentro del annulus no quede estela alguna de esta luz (1a).

Donde,

- Radio de apertura: 9 [pix]
- Radio menor annulus: 14 [pix]
- Radio mayor annulus: 19 [pix]

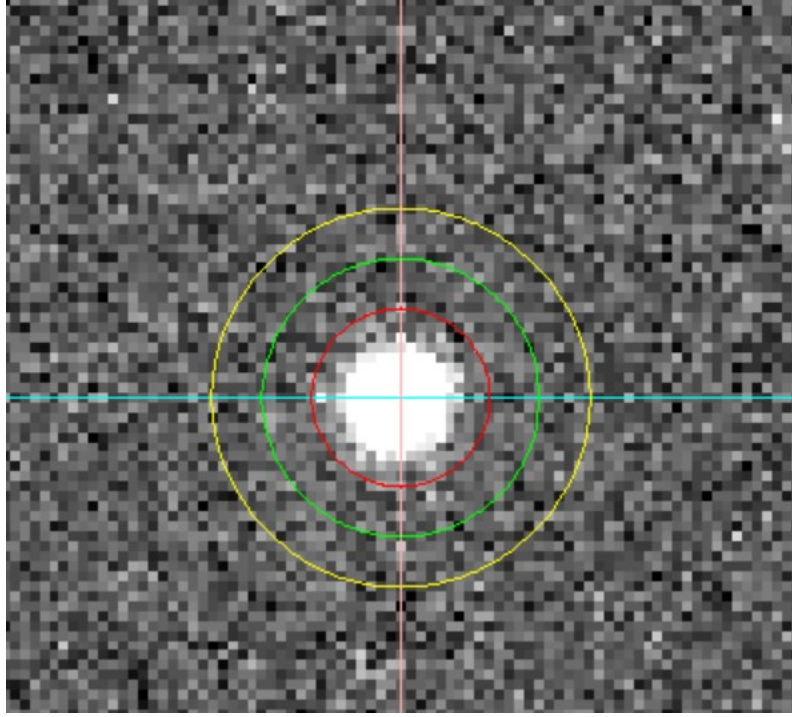


Figure 2.1: Centrado de la estrella.

Se comprueba el centrado mediante la Aperture Slice, la cual muestra la siguiente gráfica:

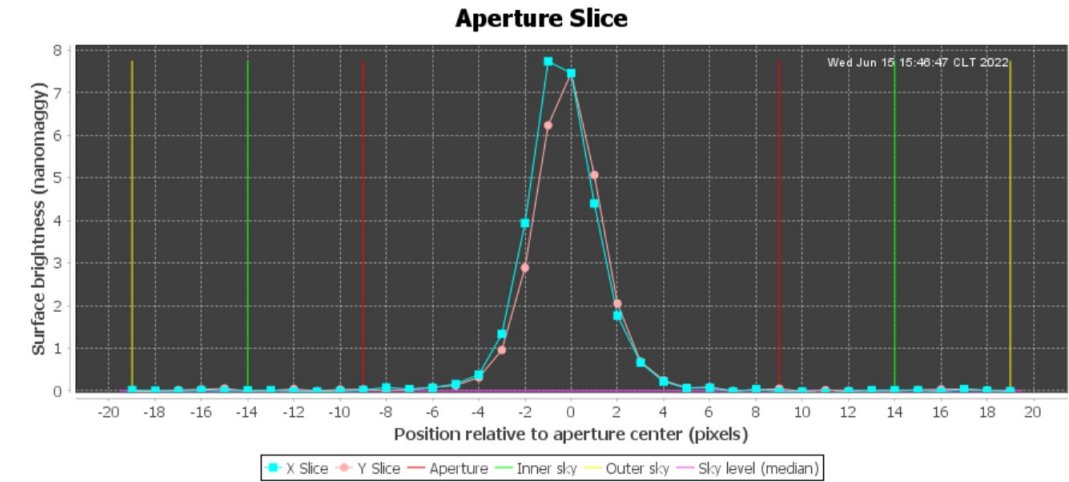


Figure 2.2: Aperture Slice.

Con lo cual se concluye que está óptimamente centrado. Las diferencias entre la curva X e Y se debe a error en el ojo humano y una diferencia en la saturación entre los puntos de la estrella, pues si se refleja su mitad y se compara con la mitad no reflejada, se encuentra una pequeña variación (1b).

Se puede obtener el número de pixeles correspondiente a la apertura y el background en la lista

de resultados. Revisando esta, se obtiene:

- **Píxeles en la apertura: 255.88 [pix]**
- **Píxeles en el background: 520 [pix]**

Por otro lado, se puede obtener la magnitud de la estrella para el filtro elegido, la cual puede ser comparada con la magnitud indicada en Sky Server. Desde la lista de resultados se tiene:

- 17.44160 (Magnitud medida)
- 17.42082 (Magnitud Sky Server)

Con ello se obtiene un error de:

$$\%error = \frac{17.42082 - 17.44160}{17.42082} \cdot 100\% \approx 0.12\% \quad \checkmark \quad (2.1)$$

Por lo cual se concluye que el procedimiento realizado es válido.

Caso 2

Se mantiene la apertura que se eligió en caso 1, pero se varía el annulus de modo que una estrella cercana se encuentre dentro de él. Visualmente esto se puede ver en la siguiente imagen. Donde,

- Radio de apertura: 9 [pix]
- Radio menor annulus: 55 [pix]
- Radio mayor annulus: 80 [pix]

Se comprueba el centrado mediante la Aperture Slice, la cual muestra la siguiente gráfica:

Se puede notar que respecto al caso 1, la gráfica sólo se estrecha debido a el aumento de los radios del annulus, los cuales se ven representados por la línea amarilla y verde.

Se concluye que está óptimamente centrado y que las pequeñas variaciones entre las curvas X e Y se deben al error humano en el centrado y a pequeñas variaciones en la luminosidad de la estrella en sus diversos puntos.

Se puede obtener el número de píxeles correspondiente a la apertura y el background en la lista de resultados. Revisando esta, se obtiene:

- **Píxeles en la apertura: 255.88 [pix]**
- **Píxeles en el background: 10579 [pix]**

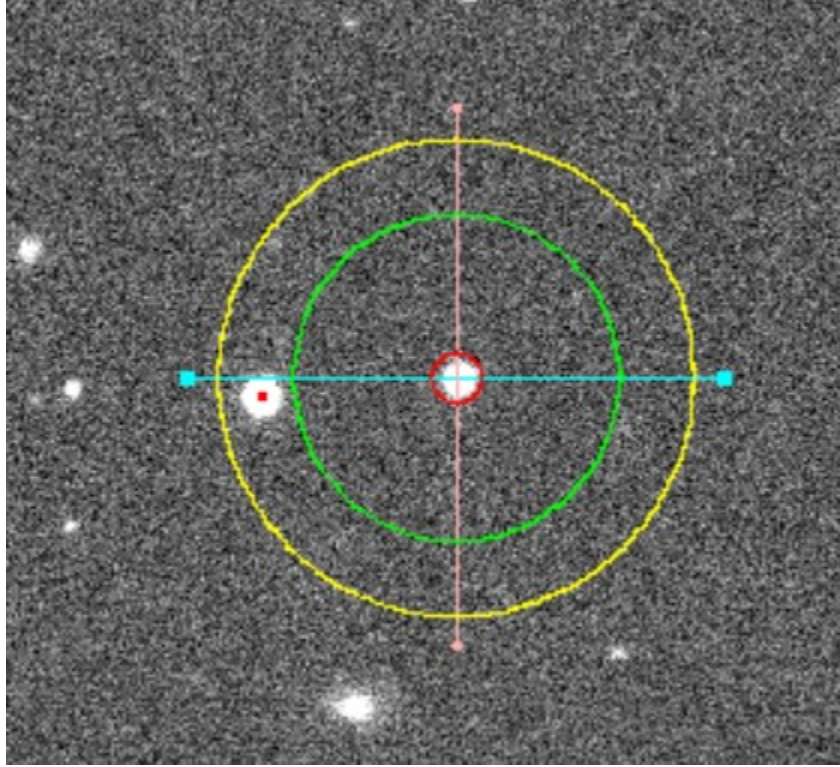


Figure 2.3: Centrado estrella caso 2.

El aumento de pixeles en el background se debe a el aumento en el área de este, realizado para que dentro de el se encuentre la estrella más próxima.

Por otro lado, se puede obtener la magnitud de la estrella para el filtro elegido, la cual puede ser comparada con la magnitud indicada en la Sky Server. Desde la lista de resultados se tiene:

- 17.44160 (Magnitud medida)
- 17.42082 (Magnitud Sky Server)

Con ello se obtiene un error de:

$$\%error = \frac{17.42082 - 17.44160}{17.42082} \cdot 100\% \approx 0.12\% \quad (2.2)$$

Con lo cual se concluye que la disminucion en la magnitud causada por la estrella dentro del annulus es despreciable. ¿ Cual crees que es la razón ?

2.1.2 Aperture and annulus: Galaxia

Los fits de la estrella poseen los siguientes parametros:

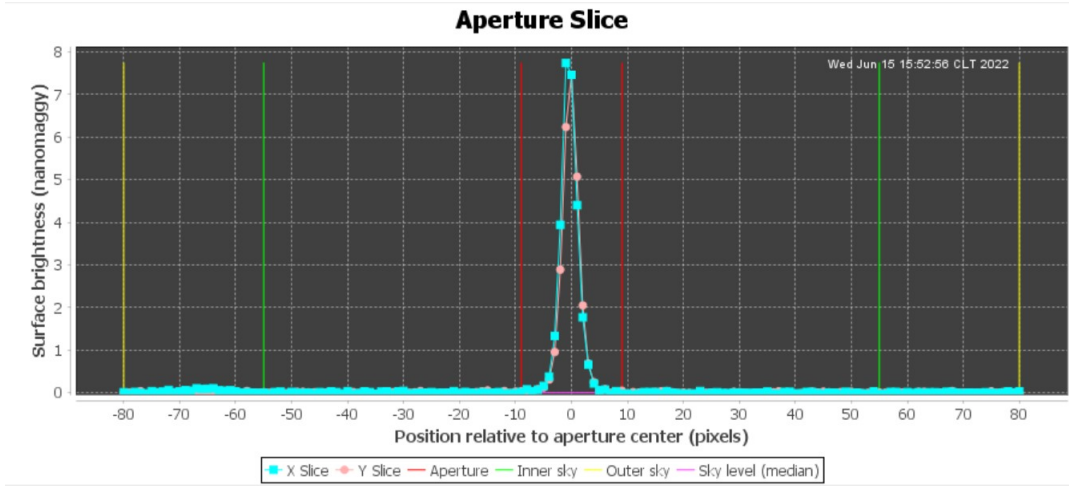


Figure 2.4: Aperture Slice caso 2.

- **Filtro:** 'g'
- **Tiempo de exposición:** 53.907456 [s]
- **Factor de conversión de nanomaggies a ADUS:** 0.00418542 [nMgy per count]
- **Columna en la cámara de las imágenes:** 2

Caso 1

Luego de localizar la galaxia en los Fits, se elige la apertura y su annulus, asegurando que la apertura se encuentre centrada y cubra toda la luz proveniente de la galaxia, y que dentro del annulus no quede estela alguna de luz (1a).

Donde,

- Radio de apertura menor: 21 [pix]
- Radio de apertura mayor: 22 [pix]
- Radio menor annulus: 27 [pix]
- Radio mayor annulus: 32 [pix]

Se comprueba el centrado mediante la Aperture Slice, la cual muestra la siguiente gráfica: La gráfica indica que la galaxia está óptimamente centrada ~~centrada~~. Las variaciones se deben a la irregularidad de sus bordes, pues a pesar de que idealmente sería una elipse, su brillo se ve difuso

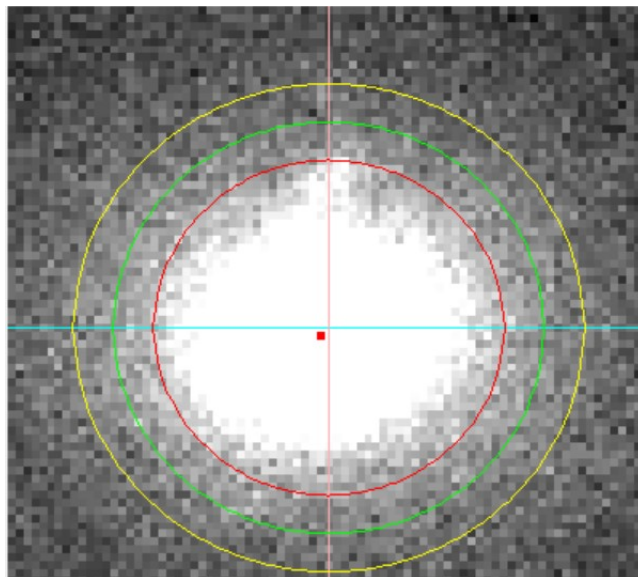


Figure 2.5: Centrado de la galaxia.

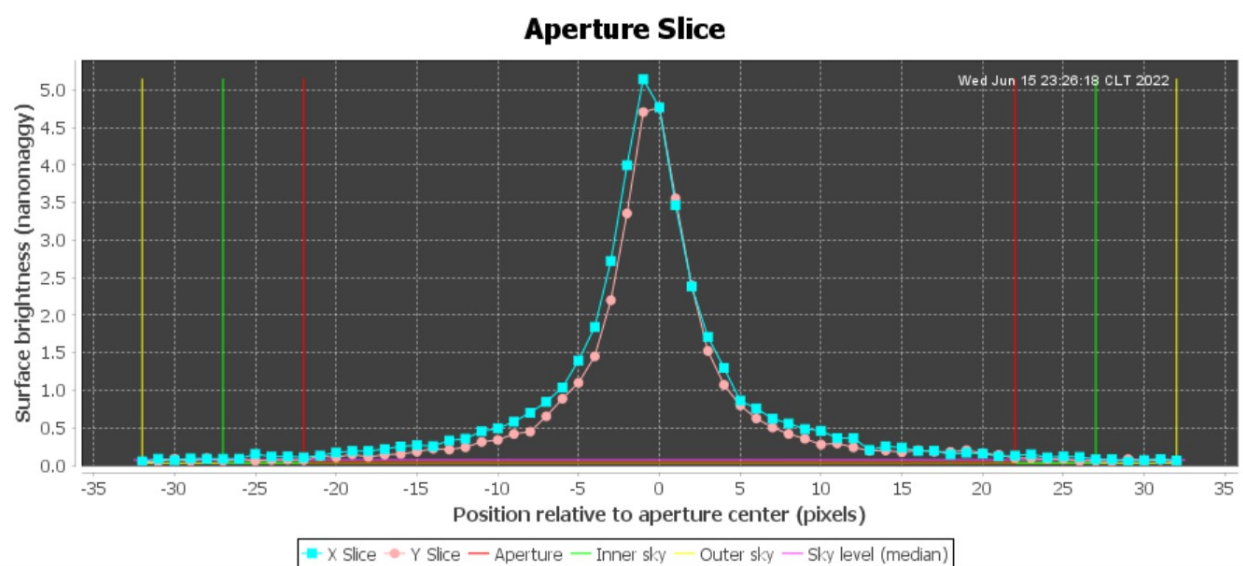


Figure 2.6: Aperture Slice.

en los bordes. Se prosigue teniendo en cuenta esta información.

Luego, se puede obtener el número de pixeles correspondientes a la apertura y el background en la lista de resultados. Revisando esta se obtiene:

- **Pixeles en la apertura:** 1455.52 [pix]
- **Pixeles en el background:** 889 [pix]

Por otro lado, se puede obtener la magnitud de la galaxia para el filtro elegido, la cual puede ser comparada con la magnitud indicada en Sky Server. Desde la lista de resultados se tiene:

- 15.95300 (Magnitud medida)
- 14.90983 (Magnitud Sky Server)

Con ello se obtiene un error de:

$$\%error = \frac{15.95300 - 14.90983}{14.90983} \cdot 100\% \approx 6.99\% \quad (2.3)$$

Lo cual es un error excesivamente alto. Se cree que para poder una magnitud correcta se debe ampliar considerablemente la apertura, pues la galaxia al no ser un objeto redondo no esparce su luz homogéneamente, por lo que existe más luz en una dirección que en otra, aún cuando esta se note levemente al alejarse de la apertura. En este trabajo se considerará óptima esta aproximación, pues existe desconocimiento sobre cómo corregir este error. Se concluye que el procedimiento realizado es incierto. *→ además el cálculo de magnitud para galaxias es diferente.*

Caso 2

Se mantiene la apertura que se eligió en el caso 1, pero se varía el annulus de modo que una estrella u objeto celeste cercano se encuentre dentro de él. Visualmente esto se puede ver en la siguiente imagen:

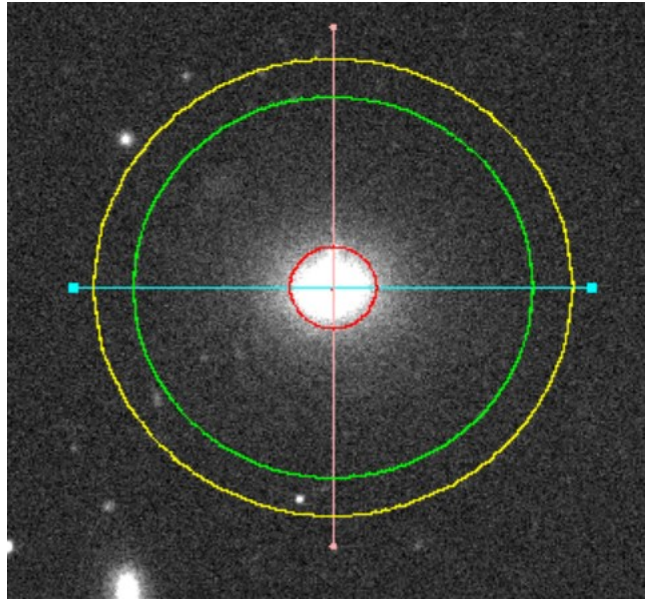


Figure 2.7: Centrado galaxia (caso 2).

Donde,

- Radio menor de apertura: 21 [pix]
- Radio mayor de apertura: 22 [pix]
- Radio menor annulus: 100 [pix]

- Radio mayor annulus: 120 [pix]

Se comprueba el centrado mediante la Aperture Slice, la cual muestra la siguiente gráfica:

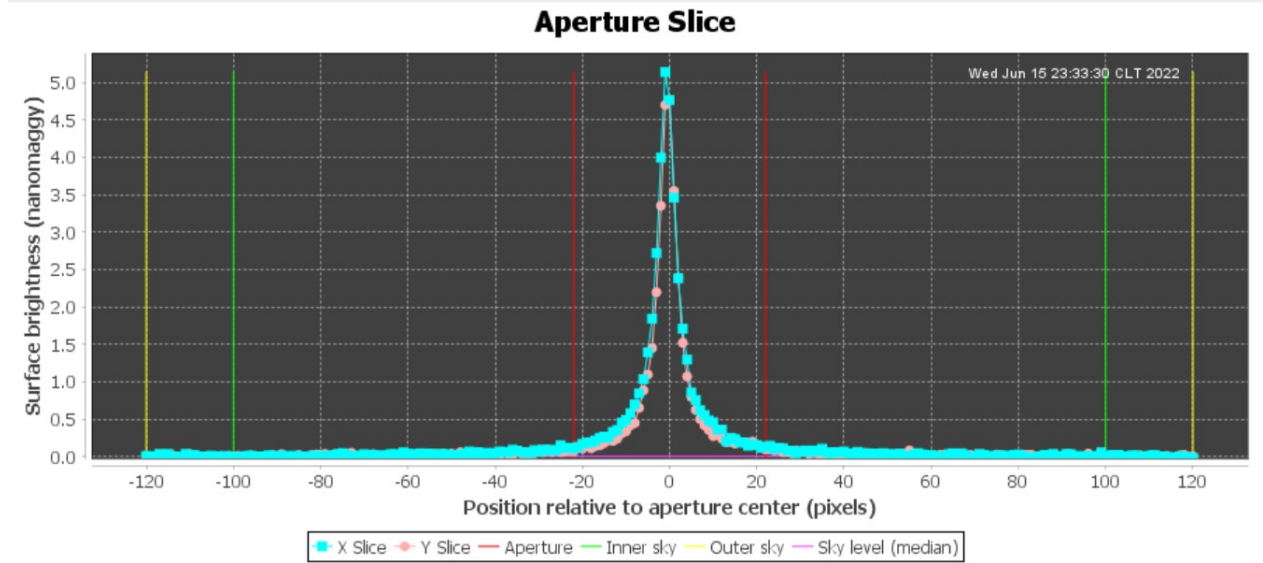


Figure 2.8: Aperture Slice.

Se puede notar que respecto al caso 1, la gráfica sólo se estrecha debido a el aumento en los radios del annulus, los cuales se ven representados en la línea amarilla y verde.

Se puede obtener el número de pixeles correspondiente a la apertura y el background en la lista de resultados. Revisando esta, se obtiene:

- **Pixeles en la apertura:** 1455.52 [pix]
- **Pixeles en el background:** 13109 [pix]

El aumento de pixeles en el background se debe a el aumento en el área de este, realizado para que dentro de el se encuentre el cuerpo celeste más próximo.

Por otro lado, se puede obtener la magnitud de la galaxia para el filtro elegido, la cual puede ser comparada con la magnitud indicada en Sky Server. Desde la lista de resultados se tiene:

- 15.72520 (Magnitud medida)
- 14.90983 (Magnitud Sky Server)

Con ello se obtiene un error de:

$$\%error = \frac{15.72520 - 14.90983}{14.90983} \cdot 100\% \approx 5.47\% \quad (2.4)$$

2.1.3 Curve of growth: Estrella

Caso 1

Para el caso 1, en el cual el annulus es coherente, se obtiene la siguiente gráfica en la curva de crecimiento:

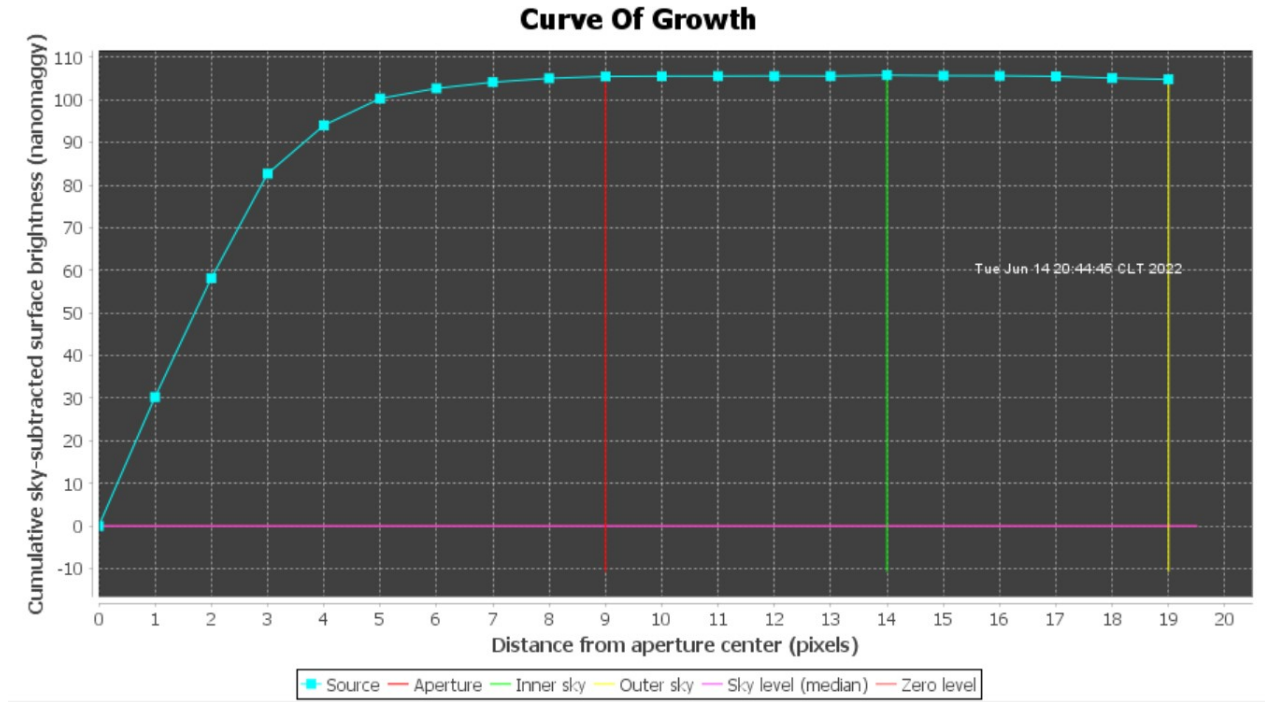


Figure 2.9: Gráfica curva de crecimiento (caso 1).

Caso 2

Se puede notar que, al igual que en el caso 1, la línea roja que representa el tamaño de la apertura se encuentra en el punto en que la curva se estabiliza. A diferencia del caso 1 ahora se tiene una estrella dentro del annulus, lo cual se puede ver claramente reflejado en el tramo existente entre el radio menor de este y el radio mayor, el el cual existe un salto. Este salto es causado por la luminosidad que agrega la estrella en el background a las mediciones tomadas.

✓ muy bien!

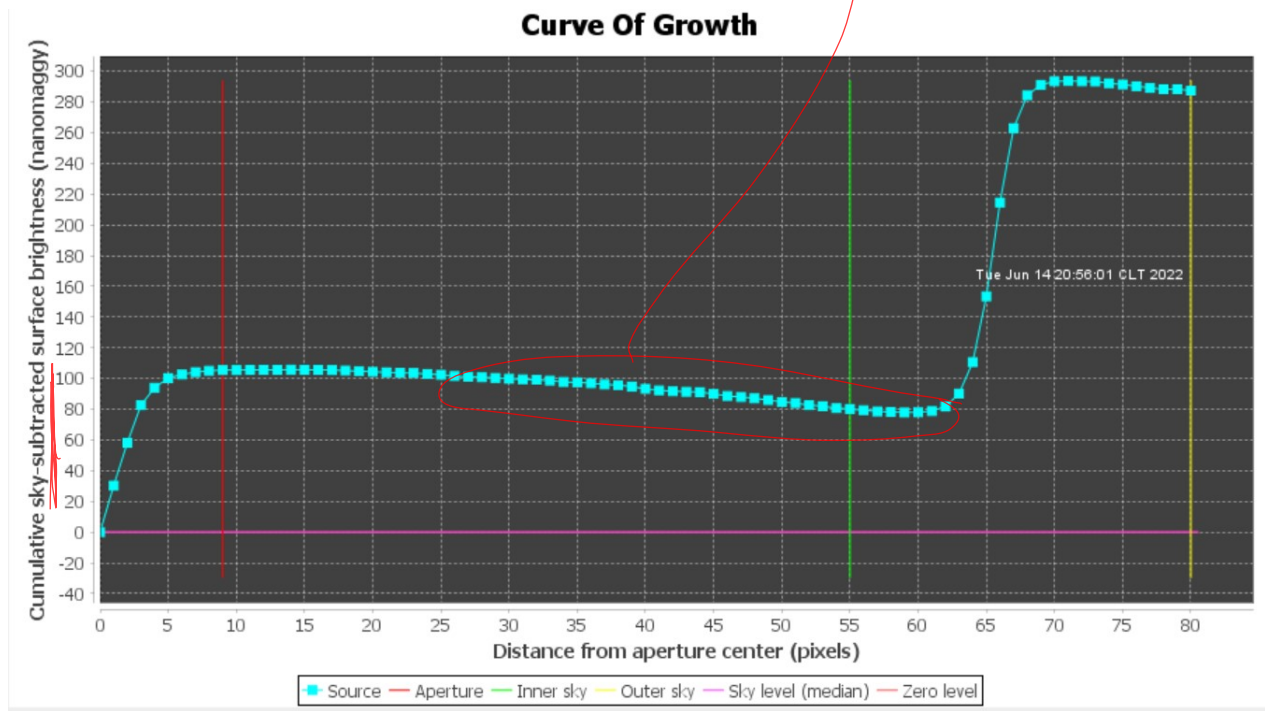


Figure 2.10: Curva de crecimiento (caso 2).

2.1.4 Curve of growth: Galaxia

Caso 1

Para el caso 1, en el cual el annulus es incierto, se obtiene la siguiente curva de gráfica de crecimiento:

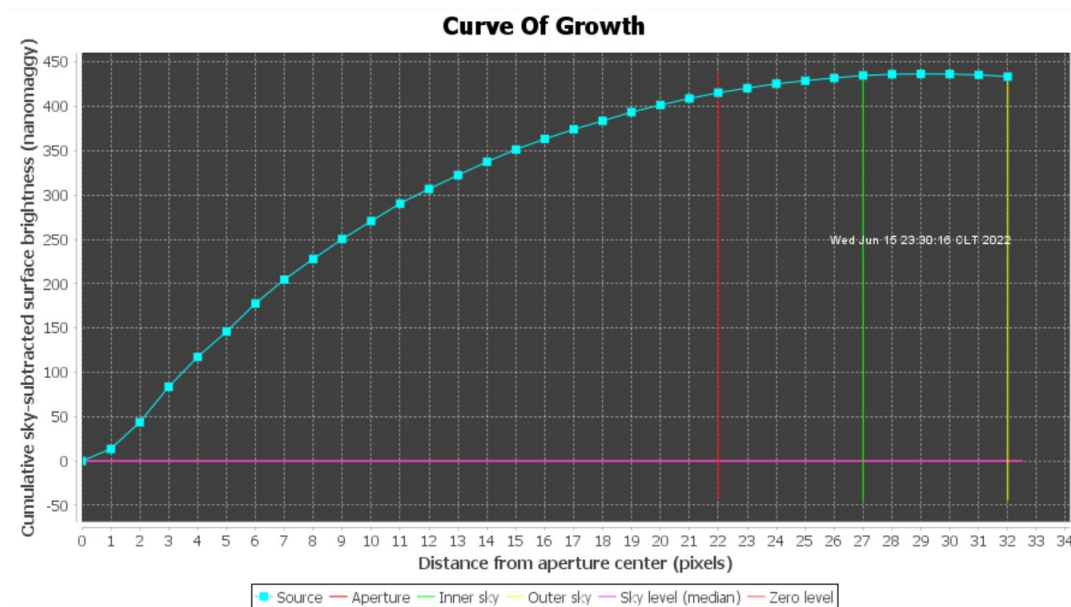
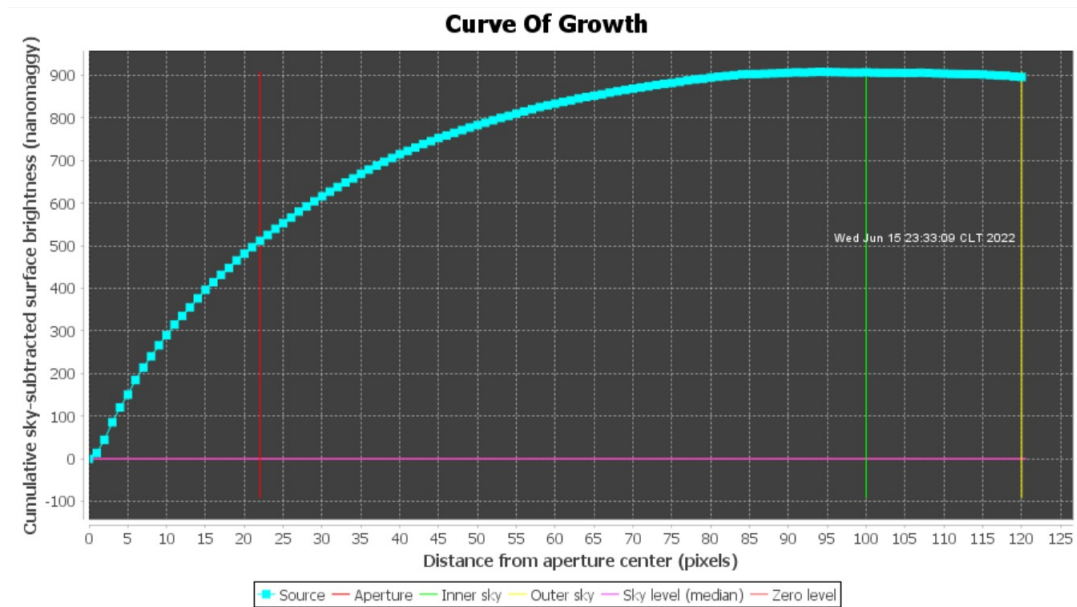


Figure 2.11: Gráfica curva de crecimiento (caso 1).

Caso 2

Se puede notar que, al igual que en el caso 1, la línea roja que representa el tamaño de la apertura se encuentra en un punto cercano al cual la curva se estabiliza (paralela al eje x). A diferencia del caso 1, ahora se tiene dos objetos celestes dentro del annulus, lo cual se puede ver claramente reflejado en el tramo existente entre el radio menor de este y el radio mayor, en el cual existe un salto. Este salto es causado por la luminosidad que agrega la estrella en el background a las mediciones tomadas.



no veo ese salto en la figura.

Figure 2.12: Curva de crecimiento para la galaxia (caso 2).

2.1.5 Signal to noise: Estrella

El ruido en la ~~SSD~~ será de: $5 \left[\frac{e^-}{pixel} \right]$

La ganancia para la columna (2) y el filtro utilizado ('g') será: $3.855 \left[\frac{e}{ADU} \right]$

El dark current para la columna (2) y el filtro utilizado ('g') será: $1.44 [e]$

Finalmente, la signal to noise se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\frac{S}{N} = \frac{N*}{\sqrt{N* + n_{pix}(1 + \frac{n_{pix}}{n_B})(N_s + N_D + N_R^2 + G^2\sigma_f^2)}} \quad (2.5)$$

Donde,

N_D = error por fotones térmicos (Darks).

$G^2\sigma_f^2$ = error por convertidor A/D.

N_R = read out noise.

N_s = fotones por pixel provenientes del background.

n_{pix} = número de pixeles donde se mide.

n_B = área en pixeles del cielo observado.

$N*$ = total de fotones recolectados del objeto.

Reemplazando los valores tenemos:

$$N* = 105.527[nMgy] \cdot \frac{1}{0.00457018} \left[\frac{NmGY}{ADU} \right] \cdot 3.855 \left[\frac{e}{ADU} \right] \quad G^2\sigma_f^2 = \text{se considera despreciable.} \quad \leftarrow \text{¿Por qué?}$$

$$N_R = 5 \left[\frac{e}{pixel} \right] \quad \leftarrow \text{¿cómo sacaste este valor?}$$

$$N_s = \frac{0.016188}{0.00457018} [ADU] \cdot 3.855 \left[\frac{e}{ADU} \right] \quad n_{pix} = 255.88[pix]$$

$$n_B = 520[pix]$$

$$N_D = 1.44[e] \cdot 53.907456[s]$$

Así, reemplazando en la fórmula:

$$\frac{S}{N} = \frac{89013.252[e]}{\sqrt{89013.252[e] + 255.88[pix](1 + \frac{255.88[pix]}{520[pix]})(3.542[e] + 77.627[\frac{e}{s}] + 25[\frac{e}{pixel}]}} \quad (2.6)$$

Con lo que se obtiene un signal to noise de:

$$\frac{S}{N} \approx 400.37[-] \quad \leftarrow \text{me dio } 243.70 \quad (2.7)$$

Chapter 3

Analysis and conclusions

- **Estrella:**

La elección del centrado es importante para poder obtener resultados coherentes. Es por ello que se busca que la apertura tenga un tamaño adecuado, analizando la curva de crecimiento y el perfil radial. Para el caso de la estrella se tienen las siguientes gráficas:

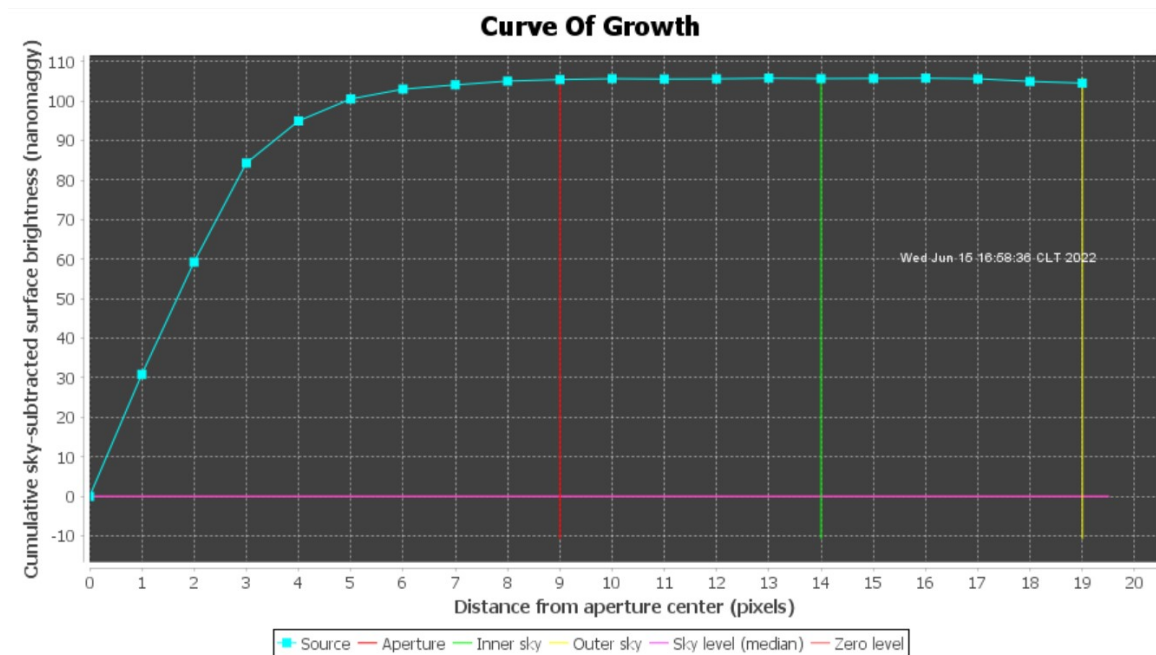


Figure 3.1: Curva de crecimiento estrella caso 1.

Desde la gráfica de curva de crecimiento se puede ver que el radio de apertura es el correcto, pues este intersecta la curva en un punto en el cual esta se vuelve paralela al eje x. El motivo por el que se busca que la línea roja de la apertura intersecte en esta zona es que la curva de crecimiento es una función cumulativa, la cual suma la intensidad desde el centro de la apertura hasta el fin de el annulus. Cuando esta función sobrepasa el círculo de la apertura, ya no existen pixeles que aporten en la función cumulativa, pues fuera de esta zona se encuentra el background, es decir, no existe intensidad en ella. ✓

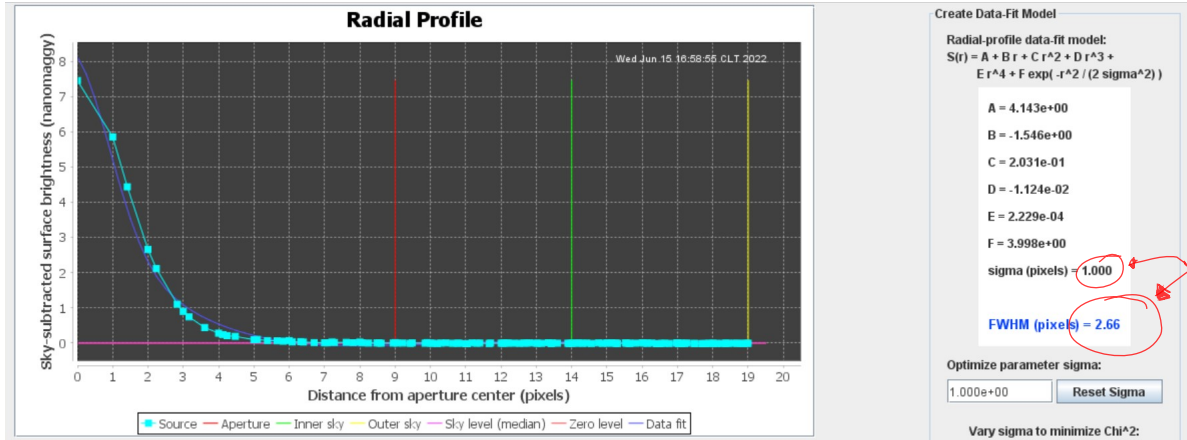


Figure 3.2: Perfil radial estrella caso 1.

Por otro lado, desde la curva del perfil radial se puede ver una curva que parece una asíntota decreciente. En esta gráfica lo que se busca es obtener un FWHM cercano a 3, pues existen estudios que indican que cuando el FWHM es un tercio del radio de la apertura se está considerando la señal en su totalidad. En base a eso tenemos:

$$\frac{9[pix]}{2.66} \approx 3.38[pix] \approx 3[pix] \quad (3.1)$$

El error que se desprende de esta operación es:

$$\frac{3.38[pix] - 3[pix]}{3[pix]} \cdot 100\% \approx 12.6\% \quad (3.2)$$

Por lo cual se considera que se realizó una elección válida.

Respecto del read out noise, se puede decir que es un valor razonable. Desde la definición de Signal-to-noise ratio, la cual indica que

"Comparación del nivel de una señal deseada con el ruido de fondo que esta posee"

Por lo que podemos interpretar que en nuestro caso la señal es 400 veces mayor que el ruido de fondo que esta posee, lo cual suponemos un valor considerablemente correcto.

• Galaxia

Nuevamente se analiza que la apertura tenga un tamaño adecuado analizando la curva de crecimiento. En este caso, a diferencia de la estrella que es un objeto casi redondo, la curva de crecimiento seguirá aumentando aún después de sobrepasar el radio de apertura. Esto es causado por las irregularidades en los límites de esta, obteniendo un objeto que además de elíptico posee ciertos peaks de luminosidad en sus bordes.

Se ve la curva de apertura de la galaxia:

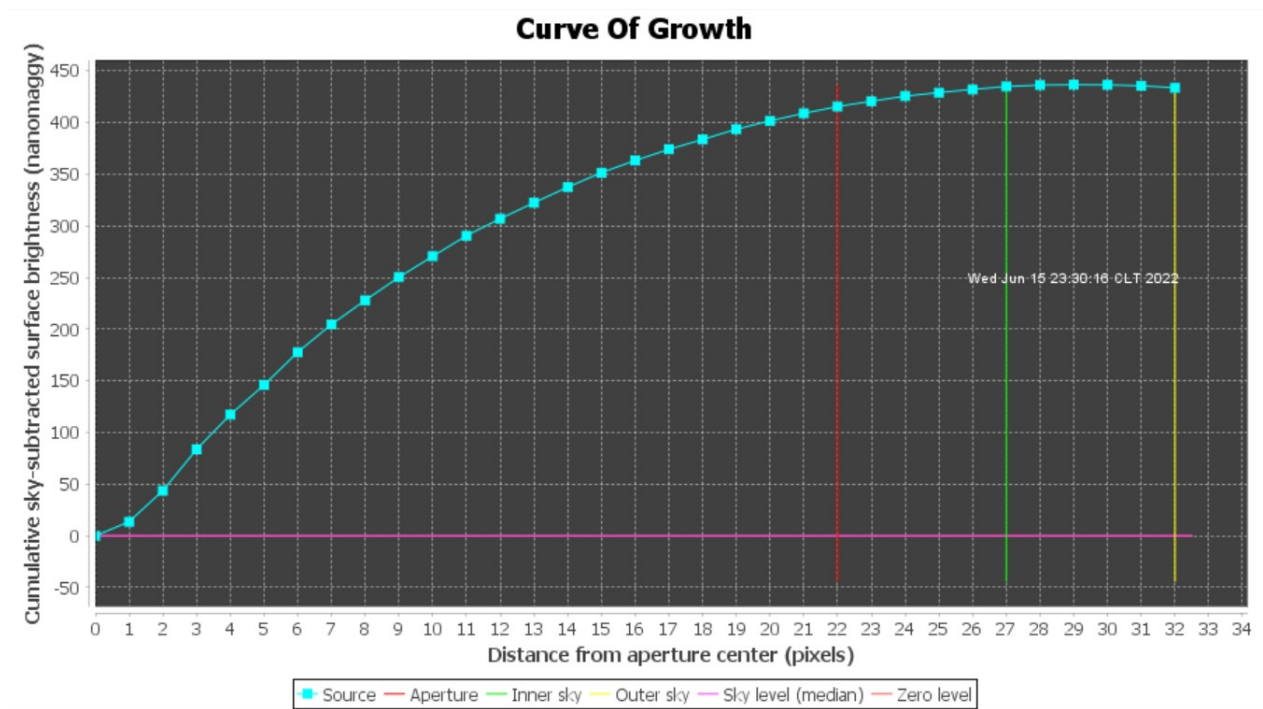


Figure 3.3: Curva de crecimiento de la galaxia.

Se recomienda buscar una forma de filtrar la fotometría de la estrella antes de realizar este procedimiento para obtener resultados más precisos.

Bajo este mismo análisis se revisa el perfil radial:

Se puede ver que la línea de apertura se encuentra casi en el punto donde la curva de

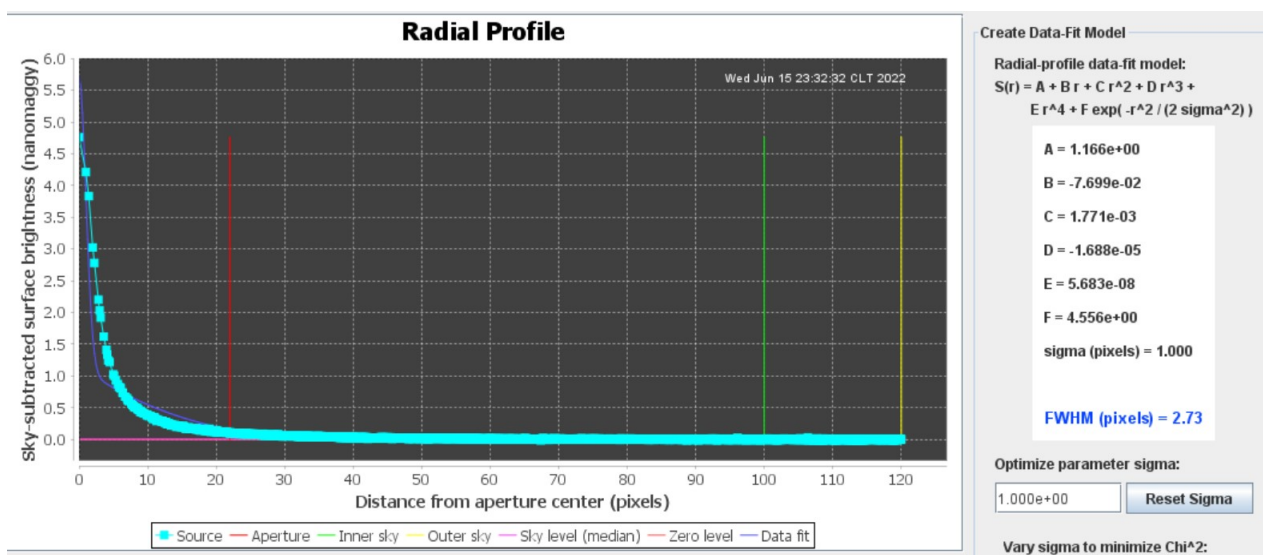


Figure 3.4: Perfil radial de la galaxia.

estabiliza (paralela al eje x), lo cual es coherente con la teoría. Respetto al FWHM, se puede

notar a simple vista que está lejos de lo recomendado, pues el radio menor de la apertura es más de 7 veces el FWHM. Se recomienda repetir los cálculos, analizando si es correcto utilizar la misma *magnitud zero point* en estrellas y galaxias. ✓

Se concluye que la metodología utilizada en la herramienta *Aperture Photometry Tool* es útil y lo suficientemente exacta para trabajar con estrellas poco brillantes (que no saturen la ~~SSD~~), más no para trabajar con galaxias elípticas. Para estas últimas, se recomienda buscar otra herramienta y/o metodología de trabajo, pues a simple vista aparenta poseer errores muy altos.

En este curso se ha aprendido que la exactitud en mediciones astronómicas es sumamente importante. En este trabajo en específico ~~se~~ pudo notar que con pequeñas variaciones en el radio de apertura las mediciones asociadas a el se veían ampliamente afectadas. Es por ello que es necesario estudiar y comprender en primera instancia las herramientas a utilizar, pues se ha comprendido que no sólo basta con el conocimiento astronómico de los cuerpos celestes.

Finalmente, el aprendizaje más importante que se obtiene de este trabajo es la utilidad de la fotometría. A pesar que en un comienzo se puede pensar que esta sólo sirve para analizar la magnitud de las estrellas, esta rama de la astronomía ha demostrado servir para diversas utilidades, tales como el análisis de cuerpos celestes cercanos y su intensidad.

Bibliography

Bibliography

- [1] Michael Barton Heine Jr "What Is Signal-to-Noise Ratio and Why Does It Matter?". Open Mind Lifewire. Recuperado de <https://www.lifewire.com/signal-to-noise-ratio-3134701>, April 2022.
- [2] Luisa Rebull "NITARP Tutorial: APT overview". Open Mind Youtube. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=5lXAwfBW_NQ, April 2022.