



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Estudio Infrarrojo de Objetos  
BL Lacerta**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**F I S I C O**  
P R E S E N T A :  
**JUAN ANDRES DIAZ CELAYA**



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM

DIRECTOR DE TESIS: DR. RENE CARRILLO MORENO

2004



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:  
"Estudio Infrarrojo de Objetos BL Lacerta"

realizado por Díaz Celaya Juan Andrés

con número de cuenta 9850150-4 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

Propietario Dr. René Carrillo Moreno

Propietario Dr. Roberto Alejandro Ruelas Mayorga

Propietario Fís. Juan Carlos Pineda Santamaría

Suplente I. en C. Liliana Hernández Cervantes

Suplente Dr. José Antonio García Barreto

Consejo Departamental de Física

  
M. EN C. ALICIA ZARZOSA PÉREZ  
Coordinadora de Licenciatura

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

*“Soñaré tanto como pueda*

*cuidando que cada sueño sea perfecto,*

*cada sueño será un anhelo*

*y cada anhelo lo haré realidad..”*

Juan Andrés Díaz Celaya

Dedicatoria:

A mis Papitos.

A mis Hermanas.

A mi Novia

A mis Amigos y Amigas.

A mis Dos Directores de Tesis.

A mi Asesor.

Gracias por brindarme todo su apoyo.

## **Agradecimientos.**

Gracias Trenecito por haberme aceptado como tu pupilo durante mi realización de tesis, aprendí mucho de tí; gracias a tus consejos, observaciones y por despedazar mi tesis, tantas que ya no me acuerdo, he culminado un peldaño más en mi vida. A y se me olvidaba gracias por tu paciencia.

Gracias Luisito, siempre hemos dicho que tienes un corazón más grande que tu cuerpo, gracias por hacerla como mi segundo director de tesis.

A Alex, que siempre tuviste un consejo que darme en los momentos que lo necesité, gracias por ser mi asesor.

A mis amigos del cubículo del Terror.

A mis amigos de la H. H. Facultad de Ciencias y a los que no son de la Facultad, la amistad que me han brindado ha sido parte del motor que me impulsa.

Gracias a mis Papitos, gracias por darme la chispa de la vida, la educación, por su confianza, apoyo y sabios consejos, por no haberme dejado nunca desamparado, agracias a los dos he logrado un triunfo más en mi vida el cual no será el último, sino el primer eslabón de una larga cadena. Gracias mis Viejos lindos.

A mis Hermanitas, por apoyarme en todos los momentos y por compartir conmigo todos sus triunfos.

A la toda la Familia, agradezco su apoyo, en especial a mi Tia Toña, a mi Abuela Oliva, mi abuelo Inocencio.

A Adriana, tu que me haz soportado en las buenas, en las malas y en las peores, gracias mi amor.

Gracias a tí Señor, que aunque nunca pude demostrar tu existencia, tampoco pude negarla.

“La ausencia de la evidencia, no es evidencia de la ausencia”

Gracias a todos los que me han brindado un aliento, una esperanza, un cariño o un amor. Quiero compartir con ustedes este Galardón.

La lista de agradecimientos no acaba aún, a todos los llevo en mi corazón.           !Gracias!

## Resumen

La astronomía moderna a tendido un grande avance en sus distintos campos de estudio, uno de ellos es el área observacional debido al desarrollo de nueva tecnología: instrumentos de observación, técnicas de observación, etc., particularmente, el estudio de Nucleos Activos de Galaxias (NAGs), se ha visto favorecido con este desarrollo.

Con el estudio en multifrecuencias de los NAGs, se ha podido conocer mejor la distribución espectral de brillo, con lo que se tiene información sobre los mecanismos de generación de energía que están actuando en ellos.

El presente trabajo se enfoca a completar el trabajo en multifrecuencias, particularmente en el cercano infrarrojo, de un sub-grupo de NAGs que son los Objetos BL Lacerta, los que se caracterizan por tener las propiedades más extremas de los NAGs.

Para lo cual analé los datos de una muestra de Objetos BL Lacerta, observados en el Observatorio Astronómico Nacional, de San Pedro Martir, Baja California, con un detector bidimensional NICMOS 3 de HgCdTe de 256x256 pixeles, en los filtros J, H y K' de Johnson.

El trabajo consistió en la fotometría de apertura, fotometría superficial y análisis de morfológico de la muestra mencionada; los resultados obtenidos se compararon con los de la literatura, en el caso de los que ya existian y en uno de los casos, nuestros resultados en el cercano infrarrojo, son los primeros que se obtienen. Para realizar la fotometría de apertura, superficial y análisis, se usaron diferentes programas: IRAF, Reducebp, Hazcom, etc.

La distribución de la tesos consistió en mostrar las propiedades de los NAGs; describir los sistemas fotométricos, fotometría de apertura y superficial, así como de la cámara infrarroja que se usó, las observaciones y los programas para la reduccion de los datos; la descripción de los datos de cada objeto, los resultados de la fotometría de apertura y superficial para cada objeto, el análisis de estos resultados; pára finalmente mostrar las conclusiones de este trabajo y posibles líneas de trabajo a futuro.

# Índice general

Pensamiento.....	<i>i</i>
Dedicatoria.....	<i>ii</i>
Agradecimientos.....	<i>iii</i>
Resumen.....	<i>iv</i>
Índice General.....	<i>v</i>
<b>1. Galaxias Activas.....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Núcleos Activos de Galaxias.....	2
1.2.1. Características de los NAGs.....	2
1.2.2. Clasificación de NAGs.....	3
1.2.3. Modelo para los NAGs.....	7
1.3. Objetos BL Lacerta.....	8
<b>2. Fotometría.....</b>	<b>12</b>
2.1. Sistema fotométrico.....	12
2.2. Descripción de la cámara infrarroja.....	15
2.3. Observaciones.....	16
2.4. Reducción de imágenes y fotometría de datos.....	16
2.4.1. Fotometría de Apertura.....	19
2.4.2. Fotometría de Superficie.....	20
2.4.3. Calibración de Magnitudes.....	21
2.4.4. Extinción y corrimiento al rojo.....	22
<b>3. Obtención y análisis de resultados.....</b>	<b>24</b>
3.1. Datos de la literatura para cada galaxia estudiada.....	25
3.1.1. Galaxia MRK501.....	25

3.1.2. Galaxia 3C382.....	26
3.1.3. Galaxia NGC3665.....	28
3.1.4. Galaxia ON325.....	29
3.1.5. Galaxia AP Libra.....	31
3.2. Fotometría de apertura.....	32
3.3. Fotometría superficial.....	47
3.4. Análisis de resultados fotométricos (apertura) de las galaxias observadas.....	61
3.4.1. Magnitudes, flujos y colores.....	61
3.4.2. Índices espectrales.....	64
3.5. Resumen de resultados de la fotometría de apertura.....	65
3.6 Análisis de resultados fotométricos (superficial) de las galaxias observadas.....	67
3.7. Resumen de resultados de la fotometría superficial.....	69
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>70</b>
Índice de figuras.....	73
Índice de tablas.....	75
Referencias.....	77

# Capítulo 1

## Galaxias Activas.

### 1.1. Generalidades.

En la década de los cincuenta del siglo pasado, los radioastrónomos encontraron muchos objetos en el cielo que emitían grandes cantidades de energía en radiofrecuencias, sin embargo, debido al problema de la resolución de los radiotelescopios, los astrónomos no sabían a que clase de objeto visible correspondía dicha radiofuente; posteriormente fueron identificadas estas radiofuentes con galaxias, las llamadas ahora radiogalaxias.

A principios de los años sesenta, los astrónomos descubrieron algunos objetos en el cielo con una característica especial, un corrimiento al rojo con valores extraordinariamente grandes, lo cual implicaba de acuerdo a la ley de Hubble, que estos objetos se hallaran en los confines del universo conocido hasta ese entonces, estos objetos puntuales parecidos a estrellas fueron bautizados con el nombre de objetos cuasiestelares o mejor conocidos como cuasares, los cuales para poder ser observados a esas enormes distancias, deberían tener luminosidades extremadamente grandes, emitiendo la energía de cientos o miles de veces la de una galaxia normal, lo cual los convirtió en los objetos más luminosos del universo.

El estudio de los cuasares y objetos muy parecidos a estos, había comenzado desde la década de los cuarenta, cuando Carl Seyfert realizó un estudio de algunas galaxias con núcleos muy brillantes, notando que las líneas de emisión de hidrógeno estaban considerablemente anchas, lo cual correspondía a velocidades con valores típicos de cientos a varios miles de  $km\ s^{-1}$ . Sin embargo esta observación no fue tomada en cuenta sino hasta varios años después cuando Burbidge et al. (1963) establece como fenómenos comunes a los cuasares, a las galaxias estudiadas por Seyfert y a algunos otros objetos como las radiogalaxias y mas adelante los objetos BL Lacerta.

## 1.2. Núcleos Activos de Galaxias.

### 1.2.1. Características de los NAGs.

Debido al estudio en cuasares y otros tipos de objetos, que describiremos mas adelante, se conoce que en el ámbito de las galaxias existen un bajo porcentaje de estas (10 -20 %) que muestran características similares, los cuales se catalogan genéricamente como núcleos activos de galaxias (NAGs o AGN por sus siglas en Inglés), debido a que la actividad se genera principalmente en las regiones centrales de estas galaxias. Con el desarrollo de nuevas técnicas observacionales, aunado a nuevos instrumentos instalados en telescopios más grandes, o sistemas interferométricos en radio frecuencias, así como en satélites astronómicos, que observan en diferentes frecuencias, el estudio de la actividad en galaxias, a diferentes tamaños espaciales, se ha visto favorecido.

De toda la población de NAGs, un alto porcentaje se ha podido estudiar en multifrecuencias, desde ondas de radio a rayos  $\gamma$ , lo que ha permitido conocer más de los procesos físicos relevantes en estas fuentes. Encontrándose que la actividad de las galaxias está asociada esencialmente al núcleo (unos pocos de cientos de pc de la región central) y dicha actividad se entiende como actividad energética, la cual es cuantitativamente y cualitativamente anormal, esto es, no asociada necesariamente con la evolución de estrellas normales y puede ser asociada directamente o indirectamente con el núcleo de la galaxia.

Una de las características de estos objetos es la alta emisión en todo el espectro electromagnético. La energía liberada es mucho mayor que la que presentan las galaxias normales (p. ej. para la Vía Láctea es de  $L_G \sim 10^{38} \text{ ergs } s^{-1}$ , mientras que en los NAGs es de  $L_{AGN} \sim 10^{44-47} \text{ ergs } s^{-1}$ . Sus principales propiedades son:

- Emisión de continuo no térmico (i.e que no se puede aproximar por una ley de cuerpo negro), caracterizada por un continuo de ley de potencias (sincrotónico y auto Compton, en altas energías), con excesos en el UV, IR, radio, rayos X y rayos  $\gamma$ .
- Presencia de emisión extendida y colimada, hasta Mpc, observada preferentemente en radio frecuencias (jets, lóbulos, etc.). Aunque también se ha observado en el óptico, y pocos casos observado en rayos-X.
- Presencia de líneas de emisión con anchos a media intensidad de miles de  $\text{km } s^{-1}$  y otras líneas con anchos a media intensidad de cientos de  $\text{km } s^{-1}$  (*líneas de emisión anchas y líneas de emisión delgadas, repectivamente*), y de baja y alta ionización.
- Alto grado de variabilidad, en el continuo y en las líneas de emisión, en diferentes escalas de tiempo, y en multifrecuencias.

### 1.2.2. Clasificación de NAGs.

Las clasificaciones propuestas para los NAGs es “un poco” confusa debido a que dependen en gran medida a los diferentes intervalos de frecuencias en los que se ha observado, con lo que reflejan más la sensibilidad de los instrumentos usados en las observaciones, por lo que en general estas clasificaciones dependen poco de los procesos físicos. Una clasificación energética de mayor a menor luminosidad es la siguiente:

- Cuasares
- Objetos BL Lacerta
- Radiogalaxias
- Galaxias *Seyfert*
- Y posiblemente los LINERs (o al menos los que presentan líneas de hidrógeno anchas)

Una breve descripción de estos objetos es:

**Cuasares** (Objetos Cuasi Estelares).

Son los objetos con núcleo activo con mayor corrimiento al rojo conocidos. Este hecho, implica que si interpretamos el corrimiento al rojo debido al efecto Doppler, por lo que de acuerdo con la ley de Hubble, los haría los objetos con núcleo activo más lejanos conocidos y a la vez serían los objetos más luminosos del universo ( $-23 \leq M_v \leq -30$ , donde  $M_v$  es la magnitud absoluta en el visible). Los cuasares con mayor corrimiento al rojo que se han encontrado tienen  $z \sim 10$ .

Otras características de estos objetos son:

1. Apariencia estelar; i.e. fuentes puntuales. En algunos casos están asociados con fuentes de radio, lo cual permite clasificarlos en dos tipos: Cuasares radio-callados (QSOs) y Cuasares radio-ruidosos (QSRs), de acuerdo con intensidad de la actividad en las radiofrecuencias. Aunque los cuasares fueron originalmente descubiertos por la asociación con una fuente radio, ahora se sabe que los QSRs son los menos numerosos ( $\sim 10\text{-}15\%$ ).
2. Variabilidad temporal del flujo de energía en todas las longitudes de onda.
3. Presentan grandes excesos en el Ultravioleta (UV) e Infrarrojo (IR). Su espectro óptico de emisión muestra líneas en emisión permitidas muy anchas ( $10^3 \rightarrow 10^4 \text{ km s}^{-1}$ ), así como líneas delgadas prohibidas ( $10^2 \text{ km s}^{-1}$ ) y en algunos casos líneas en absorción

anchas ( $\sim 10^4 \text{ km s}^{-1}$ ), que no necesariamente están asociadas a los cuasares radiocallados, se llaman LAA o BAL ( por sus siglas en inglés, Líneas de Absorción Anchas, Cuasares con líneas en absorción anchas).

Algunos Cuasares ( $\sim 10\%$ ) son altamente variables en el óptico (conocidos en inglés “OVV” *Optical Very Variability*, cuasares violentamente variables en el óptico) y algunos otros exhiben alta polarización (conocidos en inglés “HPQ” *High Polarized Quasars*, Cuasares con alta polarización en el óptico), ambos tipos de cuasares parecen estar más asociados con los objetos BL Lacerta y se les ha llegado a referir como Blazares.

### Objetos BL Lacerta.

Estos objetos presentan casi todas las propiedades de los cuasares salvo la ausencia de líneas en emisión, aunque los valores de sus propiedades son más extremos, por ejemplo son los NAGs con mayor grado de polarización (hasta el 30%), son los únicos objetos, hasta este momento, en el que la emisión sincrotónica (sincrotón-Compton inverso) llega a valores energéticos de TeV ( $10^{12}$  eV), pero sus propiedades más detalladamente las discutiremos en la siguiente sección, debido que son parte fundamental de esta tesis.

### Radiogalaxias.

Se caracterizan por la intensa emisión en radio, la cual se manifiesta en uno o dos radiolóbulos, situados simétricamente respecto a la fuente central la cual coincide con una galaxia elíptica y en pocos casos con galaxias SO, y se conectan los lóbulos con la fuente central a través de jets, los cuales son estructuras filamentosarias y aunque se han detectado principalmente en radio, se han llegado a encontrar en el óptico y pocos casos en rayos-X. Los radio lóbulos se llegan a encontrar a distancias desde radios galácticos ( $\sim 10^2$  parsecs), hasta  $\sim 10^6$  parsecs. Otras características:

1. Las cantidades de energía asociados con estas estructuras son de  $10^{60}$  ergs, en radiofrecuencias, como límite inferior.
2. Estos objetos se asocian desde galaxias elípticas gigantes (cD), en cúmulos de galaxias, hasta galaxias elípticas de campo, pero no parecen estar en galaxias elípticas enanas.
3. Muestran un espectro continuo no térmico, desde radio hasta rayos-X (sincrotón-Compton inverso).
4. El espectro óptico se caracterizan por líneas en emisión del tipo de las galaxias *Seyfert*, ya que se han encontrado fuentes con líneas en emisión permitidas anchas (con anchos incluso del orden de  $10^3 - 10^4 \text{ km s}^{-1}$ , y líneas prohibidas angostas (con anchos de 400

hasta  $800 \text{ km s}^{-1}$ , llamadas BLRG (*Broad line radio galaxies*), también en las que las líneas permitidas y prohibidas en emisión son angostas, conocidos en inglés NLRG (*Narrow line radio galaxies*).

### Galaxias *Seyfert*.

Dentro de los NAGs, estas galaxias son las más cercanas, sus características generales son:

1. Las galaxias tipo *Seyfert* están asociadas a galaxias espirales normales o con barra.
2. Su núcleo es extremadamente brillante en comparación con el resto de la galaxia.
3. El núcleo presenta un intenso continuo de energía no estelar con excesos en el azul o ultravioleta.
4. El espectro muestra líneas intensas con anchos a media intensidad desde algunos cientos de  $\text{km s}^{-1}$ , hasta miles de  $\text{km s}^{-1}$ .
5. Presentan un exceso de flujo superpuesto al continuo no estelar, que es básicamente emisión sincrotónica.

Las galaxias *Seyfert*, se llega a dividir en función de los anchos de las líneas en emisión permitidas (Khachikian y Weedman, 1971), esta clasificación es en tipo 1 y en tipo 2:

#### Galaxias *Seyfert* 1.

Poseen un espectro óptico de líneas prohibidas delgadas y de líneas permitidas anchas, donde las líneas más conspicuas son: [O III]  $\lambda\lambda$  5007, 4959, [N II]  $\lambda\lambda$  6548,6583; [O I]  $\lambda\lambda$  6300, 6364; [S II]  $\lambda\lambda$  6716, 6731; [Fe VII]  $\lambda$  6087. Estas líneas de emisión tienen anchos que oscilan alrededor de unos  $500 \text{ km s}^{-1}$ . Como también presentan líneas de emisión permitidas H I, He I, He II, Fe II, principalmente; los anchos típicos de estas líneas son de  $3,000 \text{ km s}^{-1}$  a  $5,000 \text{ km s}^{-1}$ .

#### Galaxias *Seyfert* 2.

Presentan tanto líneas permitidas como prohibidas delgadas ( $300\text{-}500 \text{ km s}^{-1}$ , se ha postulado que estas galaxias pueden ser tipo *Seyfert* 1 con una componente ópticamente gruesa que oculta las regiones donde se producen las líneas anchas, lo cual es la razón de que estas líneas no sean observadas (Antonucci & Miller, 1983; Antonucci, 1993), aunque en la actualidad sigue siendo un tema de discusión.

Con el tiempo se han hecho subdivisiones más finas y así tenemos las galaxias *Seyfert* 1.5, 1.8 y 1.9, las cuales se han dividido usando criterios de anchos de líneas y cocientes de intensidades.

**LINERs** (Regiones Nucleares con Emisión de Baja Ionización, conocidos en inglés *Low Ionization Narrow Emission Regions*).

Estas fuentes son de las que más controversias han causado ya que bien podrían o no clasificarse como NAGs.

Los LINERs fueron definidos por Heckman (1980), y se caracterizan por sus propiedades espectroscópicas en las que se realzan regiones H II “normales” y de NAG. Su principal característica es el realce de las líneas de baja ionización principalmente la línea [O I]  $\lambda$  6300 comparada con [O III]  $\lambda\lambda$  5007, 4959, de ahí su nombre (Regiones Nucleares con líneas en emisión de baja Ionización). Estos núcleos muestran moderadas luminosidades comparables con regiones H II Gigantes. En algunas de ellas, una fuente de radio nuclear compacta se ha detectado, comparable a los NAGs, y muestran líneas anchas de hidrógeno. Además, Heckman notó que se podría considerar una secuencia entre LINERs y NAGs, en la cual los LINERs están en la “cola” de actividad. Sin embargo, mientras que los NAGs son reconocidos como regiones ionizadas por un continuo de la ley de potencias, los LINERs han sido mejor explicados en el contexto de ionización por choques y fotoionización por estrellas post-AGB (estrellas que han dejado la secuencia principal y se encuentra en la región de la brecha o región asintótica de las estrellas gigantes), aunque podrían contener un núcleo activo.

Normalmente los LINERs presentan emisión de polvo a longitudes de onda mayores de  $10\mu\text{m}$ , mientras que para la mayoría de los núcleos *Seyfert*, a estas longitudes de onda domina la emisión de población estelar. En general, los colores en el cercano infrarrojo ( $1.25 - 3.5 \mu\text{m}$ ) de los LINERs no presentan diferencias respecto a los de las galaxias espirales normales.

Como resumen de las propiedades de los NAGs, mostramos en la tabla 1.1 la secuencia de luminosidades de los diferentes grupos de NAGs que hemos descrito previamente y la comparación con las luminosidades de una galaxia normal (la Vía Láctea).

Tabla 1.1: Luminosidades típicas de los NAGs, en  $\text{erg s}^{-1}$ , en escala logarítmica.

Objeto	Radio	Infrarrojo	Óptico	Rayos X
Espiral Normal	38	42	43	39
Galaxia Seyfert	40-45	46	43	42-44
Radiogalaxia	42-45	42	44	41
BL Lacerta	42-46	47	45	42-45
Cuasares	44-46	47	46-47	46

Existen otras fuentes “activas” reportadas en la literatura, por ejemplo las galaxias con fuertes brotes de formación estelar. Estos brotes son eventos en los que se forman muchas

estrellas, particularmente estrellas masivas (en un tiempo mucho menor que la edad de la galaxia huésped), en las regiones nucleares de las galaxias. Estos brotes nucleares y los núcleos activos propiamente dichos tienen muchas similitudes aparentes: ambos muestran un núcleo ópticamente brillante, líneas de emisión intensas en el visible y el ultravioleta, aunque no tan anchas, grandes excesos en el continuo de rayos X, UV e IR, y emisión no térmica en radio, aunque con menor potencia que la que muestran los NAGs.

Los procesos físicos que dan origen a estos fenómenos son muy diferentes en ambos casos. En las galaxias de brote de formación estelar se considera que la mayor parte de la energía la proporcionan las estrellas masivas, y que la emisión observada proviene de las regiones H II asociadas, polvo caliente y remanentes de supernovas. En el caso de los NAGs, se piensa que la acreción de gas a un hoyo negro supermasivo podría ser la fuente principal de energía, y que el espectro de emisión observado es por la fotoionización de un continuo no térmico, aunque la posibilidad de tener fuertes brotes de formación estelar en los NAGs no se excluye.

### 1.2.3. Modelo para los NAGs.

A partir de las propiedades de los NAGs, así como de las diversas clasificaciones, se han planteado varios modelos energéticos, el modelo estándar considera que la actividad nuclear se puede explicar básicamente por dos parámetros: una máquina central masiva (posiblemente un hoyo negro) y la tasa de acreción central. Existen otros dos puntos relevantes además de estas propiedades:

1. Hay reprocesamiento de la radiación primaria del NAG a bajas y altas energías. A bajas energías ocurre radiación térmica por polvo (cuerpo negro), y a altas energías, la dispersión Compton inverso de la radiación sincrotrónica (auto-Compton inverso).
2. Hay emisión anisotrópica en los NAGs. Esta se da por la emisión de un haz relativista de la fuente compacta de radio y/o por el obscurecimiento por gas y polvo de un toroide ópticamente grueso.

Este cuadro es el que se ha considerado como la explicación clásica para los NAGs. Sin embargo, se han planteado otros escenarios, por mencionar alguno está el modelo llamado de "warners" (muchas explosiones de supernova en un medio sumamente denso y pequeño), en el que la actividad nuclear se debe a brotes intensos de formación estelar y el continuo es formado por cúmulos de estrellas OB y posiblemente estrellas Wolf Rayet (WR, estrellas muy inestables que pierden mucha masa), que son ricas en metales, que definen un cuerpo negro "muy caliente". Así como las líneas anchas de emisión son producidas por remanentes de supernovas compactas en un medio circumestelar de alta densidad. La variabilidad en este modelo es explicado por las explosiones de supernovas.

En este escenario no es necesario tomar en cuenta un hoyo negro para producir el continuo observado. Aunque hay algunas propiedades de los NAGs que no se han podido reproducir, por ejemplo los radio jets, la variabilidad en rayos X “duros” y rayos  $\gamma$ . Aunque hay algunos autores que plantean la posibilidad de que pueden ser complementarios ambos escenarios (p. ej. Dultzin-Hacyan 1995).

El estudio de los NAGs no solo se ha centrado en la máquina central, sino que a partir de los trabajos en la emisión extendida en radio frecuencias (jets, lóbulos, halos), se ha estudiado las estructuras extendidas en el óptico que parecen mostrar que hubo interacción entre el jet y el medio interestelar de la galaxia anfitriona, además se ha extendido el estudio a la galaxia anfitriona y al entorno de esta.

La tendencia actual pareciera ser que una gran cantidad de mecanismos se dan en los núcleos de estas galaxias, y se cree que intensos brotes de formación estelar, como una fuente central masiva pueden estar presentes, lo cual parece cada vez ser más aceptada, aunque el grado de esta actividad estelar presente en la galaxia anfitriona continua en estudio.

### 1.3. Objetos BL Lacerta.

En las últimas décadas se dedicó un esfuerzo considerable para comprender los mecanismos de generación de energía responsable de la emisión de continuo de los núcleos activos. Los procesos de emisión, como se mencionó antes, pueden ser de origen térmico o no-térmico, y dependiendo de cual sea el tipo predominante, los NAGs pueden separarse en dos amplias categorías (e. g., Bregman et al. 1990): los objetos con emisión importante de procesos térmicos, tienen baja emisión en ondas de radio. (p. ej. Galaxias *Seyfert*), mientras que aquellos con prevalectante emisión no térmica son fuertes emisores en radio (p. ej. radiogalaxias y radio cuasares).

Dentro de los fuertes emisores no térmicos con propiedades más extremas se encuentran los objetos BL Lacerta y algunas clases de cuasares: cuasares con fuerte variabilidad óptica (OVV) y cuasares con alta polarización (HPQ), a estos tipos de NAGs se les llegó a referir como blazares, estos muestran un espectro de multifrecuencias complejo, con pendiente (índice espectral) plana en radio, que se inclina precipitadamente a altas frecuencias. La mayor parte de la potencia es emitida alrededor de  $10^{13}$ - $10^{14}$ Hz, en la región del cercano infrarrojo al óptico; además la contribución estelar de la galaxia que hospeda al núcleo activo es máxima en el rango de  $5 \times 10^{13}$ - $2 \times 10^{14}$ Hz. Esto permite determinar de manera precisa la contribución relativa de luz estelar y emisión no térmica.

Los objetos BL Lacerta no presentan líneas en emisión. Por lo que se han identificado pocos objetos en el visible, el 95 % de los objetos BL Lacerta que se conocen fueron descubiertos en observaciones en radio y/o en rayos X, donde son más fácilmente reconocerlos, ya

que otra propiedad es que presentan espectros planos en radio y una distribución en multifrecuencias bien conocidas además de alta variabilidad (Stein, O'Dell & Strittmatter 1976). Los objetos BL Lacerta son intrínsecamente raros y constituyen solo un pequeño porcentaje de la población conocida de los NAGs.

Desde los trabajos sistemáticos de Glass (1981) y de Allen (1982), un número de programas de fotometría del cercano IR de BL Lacerta se ha llevado a cabo ya sea como parte de observaciones multifrecuencias o al estudiar la variabilidad del flujo en frecuencias IR con las propiedades de polarización y/o el comportamiento de la variabilidad en otras bandas.

Todos los objetos BL Lacerta también tienen alta polarización óptica,  $P_{opt} > 30\%$ . Objetos BL Lacerta con  $z < 0.2$ , al menos, se identifican en galaxias elípticas y pueden presentarse en grupos ó pequeños cúmulos de galaxias.

Las propiedades inusuales de los BL Lacerta que se han mencionado (Stein, O'Dell, & Strittmatter 1976), particularmente la gran variación en radio y óptico y la alta polarización en el óptico, los hacen parecer totalmente a los cuasares, salvo la ausencia de líneas en emisión.

Uno de los modelos más aceptados para poder explicar la ausencia o las débiles líneas en emisión, es que esta ausencia es debido a que son casi totalmente disminuidas o "apantalladas" por un continuo sincrotónico, debido a un haz relativista (originalmente sugerida por Blandford & Rees 1978) que se encuentra casi en dirección del observador (+/- 20 grados), este escenario geométrico parece ser aceptado por el número de objetos BL Lacerta vs. radio cuasares que se han detectado en catálogos de diferentes frecuencias.

Otro de los modelos usados, consideran que los objetos BL Lacerta son debido a la amplificación del continuo por microlentes gravitacionales. Ostriker & Vietri (1985, 1990) propusieron que los objetos BL Lacerta son cuasares altamente variables (OVV) distantes ( $z \geq 1$ ), afectados por microlentes gravitacionales producidas por galaxias elípticas cercanas ( $z \leq 0.2$ ), las que aparecen como sus galaxias anfitrionas. En contraste, Nottale (1986, 1988) sugirió que la fuerte variabilidad y las líneas débiles en emisión de los objetos BL Lacerta son causadas por microlentes gravitacionales de cuasares no variables distantes ( $z \geq 1$ ) (ver Schneider & Weiss 1987); las galaxias son en primer plano responsables por las lentes gravitacionales, en general no han sido vistas en imágenes directas, pero en algunos de los objetos se pueden manifestar así mismos a través de sistemas intermedios de líneas en absorción.

Los dos escenarios de lentes gravitacionales para objetos BL Lacerta son de gran importancia, puesto que los modelos físicos difieren considerablemente en cualquiera de los dos casos.

Aunque la mayoría de los BL Lacerta conocidos, fueron descubiertos durante la identificación de fuentes de radio (RBL, radio BL Lacerta) con sus contrapartes ópticas, realmente conforman un conjunto de objetos inhomogéneos el cual no permite un estudio estadístico

apropiado de la emisión de haz relativista de lentes gravitacionales.

Sin embargo, a partir del uso de satélites en rayos X, se han detectado un gran número de objetos BL Lacerta en alta energías (XBL, BL Lacerta de rayos X), los cuales se caracterizan por tener luminosidades en rayos X que son comparables a los que tienen emisión en radio, además parecen mostrar una variabilidad más intensa en el óptico y en radio, y mayor polarización óptica (Maraschi et al. 1986; Ledden & O'Dell 1985; Jannuzi, Smith & Elston 1991). En algún momento se pensó que los XBL mostraban los extremos de una distribución de propiedades energéticas, en los que ambos tipos posiblemente comparten el mismo mecanismo físico fundamental y defieren un poco con respecto a alguna propiedad secundaria también como el ángulo de emisión del haz, el factor de Lorentz del movimiento relativista, o la contribución relativa de diferentes bandas de longitudes de onda. Pero ahora, es aceptado que reflejan más efectos de selección del muestreo realizado en cada intervalo de frecuencias. En el caso de otros intervalos de frecuencias, en particular el infrarrojo (IR) se encontró en los primeros trabajos que una sencilla ley de potencia ( $f_\nu \propto \nu^{-\alpha}$ ) era una buena aproximación para representar la distribución de flujo espectral de la región del cercano IR. Después se propusieron formas más complejas, incluso con curvaturas negativas ( $\frac{d^2(\log F_\nu)}{d(\log \nu)^2} < 0$ ) para representar de una mejor manera la emisión observada, ya sea en el rango del cercano IR o en el óptico. Sin embargo, la búsqueda por la correlación de las propiedades espectrales observadas con las propiedades de la clase supuesta produjeron resultados elusivos. Lo cual se atribuye a las condiciones físicas intrínsecamente complejas o dependientes del tiempo, o a un pobre patrón del intervalo de tiempo utilizado en las observaciones.

En el caso de la galaxia anfitriona detectada con mayor corrimiento al rojo de un objeto BL Lacerta es de  $z = 0.664$ . Como se mencionó antes, las galaxias anfitrionas detectadas son elípticas luminosas con magnitud absoluta de  $M_R \sim -23.7 \pm 0.6$  mag comparable con los cúmulos de galaxias más brillantes. La morfología de las galaxias generalmente no presentan variaciones ni alteraciones, con elipticidades pequeñas o despreciables ( $\epsilon \leq 0.2$ ), y en general los objetos BL Lacerta parecen existir en galaxias elípticas aparentemente “normales”, lo cual se muestra en la no-correlación entre la galaxia anfitriona y la magnitud nuclear observada o la potencia del radio jet.

Las galaxias anfitrionas de los XBL y RBL son comparables tanto en morfología como en luminosidad.

Finalmente, como ya se mencionó, el trabajo fuerte en los objetos BL Lacerta se ha concentrado en radio y en rayos X, sin embargo, ¿Qué ocurre en otros intervalos de frecuencias?, en particular en el infrarrojo. Este trabajo trata de abordar este problema, en particular mediante observaciones en el cercano IR (NIR). Como se mostró se ha discutido mucho sobre la forma del continuo en el NIR, la forma de la ley de potencias, la existencia de cortes, o cambios de pendiente, la existencia de potencias inversas, la existencia de

correlaciones con las potencias del NIR con las del óptico, radio o rayos X, etc., por lo que en el Segundo capítulo de esta tesis mostraremos las observaciones que se hicieron a una muestra de objetos BL Lacerta, en el Tercer capítulo mostraremos los resultados, así como discutiremos algunos de estos resultados y finalmente en el Cuarto capítulo haremos una revisión final y mostraremos las conclusiones a este trabajo , las cuales serán referencia para trabajos futuros.

## Capítulo 2

# Fotometría.

Debido a que los datos observacionales con los que trabajamos son fundamentalmente fotometría de apertura y fotometría superficial, comenzaremos por detallar brevemente que es la fotometría, sistemas fotométricos, y finalmente mostraremos en este capítulo las observaciones así como el proceso de reducción de los datos.

### 2.1. Sistema fotométrico.

La fotometría comienza hace 2000 años, con Hiparco de Nicea el cual catalogó  $\sim 1000$  estrellas ordenándolas por su brillo en magnitudes: 1<sup>a</sup> hasta la 6<sup>a</sup>, de la más brillante a la más débil, esta manera de ordenar las estrellas es muy subjetiva, pues depende de que tan aguda sea la vista de la persona; fue hasta el siglo XIX cuando se determina que el ojo humano tiene una respuesta logarítmica a la cantidad de energía que le llega:

$$m = -k \log(F) \quad (2.1)$$

donde  $m$  es la magnitud aparente o asociada por el ojo,  $k = 2.5$  y  $F$  se define como la energía total  $E$  que atraviesa una cierta área  $A$ , en un intervalo de tiempo  $t$ :

$$F = \frac{E}{At} \quad (2.2)$$

En el siglo XIX Nolan R. Pogson, se da cuenta que una diferencia de 5 magnitudes (desde la 1 hasta la 6) es casi igual a 100 veces el flujo de la luz, él la forzó a que fuera exactamente

igual a 100, por lo que la ecuación 2.1 se puede reescribir de la forma:

$$(m_1 - m_2) = -2.5 \log \frac{F_1}{F_2} \quad (2.3)$$

Esta es la manera más usual de definir el brillo de una estrella vista desde la Tierra. Sin embargo, esta magnitud no nos indica cual es el brillo intrínseco del objeto, recordando que sólo son diferencias entre magnitudes aparentes, pues aunque el objeto sea aparentemente muy brillante puede deberse sólo al efecto de la distancia a la que se encuentra. Para esto se define la magnitud absoluta (representada por  $M$ ), como "la magnitud que tendría una estrella si fuera colocada a una distancia de 10 parsecs". En general, si  $F$  es el flujo que un observador recibe de una fuente que se encuentra a una distancia  $D$ , y si el observador cambia de posición a una distancia  $d$  recibirá un flujo  $f$  el cual cambia con el cuadrado de la distancia, *i.e.*:

$$f = \left(\frac{D}{d}\right)^2 F \quad (2.4)$$

De esta manera, para convertir de magnitud aparente a magnitud absoluta utilizamos la ecuación 2.4 la cual la sustituimos en la ecuación 2.3, y obtenemos la siguiente ecuación:

$$(m - M) = -2.5 \log \frac{f}{F} = 5 \log \frac{d}{D} \quad (2.5)$$

ahora si definimos la distancia  $D$  (de manera arbitraria) como 10 pc, tenemos:

$$(m - M) = 5 \log d - 5 \quad (2.6)$$

donde  $d$  debe de estar dada en parsecs. La ecuación 2.6 se conoce como el módulo de distancia.

Antes de poder conocer realmente la magnitud absoluta, aun hay mucho por hacer con las magnitudes aparentes: el flujo que se observa depende de la cantidad de energía que emite la estrella, lo cual puede expresarse como el producto de dos funciones:  $a_1^2 I_1$ , donde  $a_1$  es el diámetro aparente de la estrella 1 e  $I_1$  la irradiancia de la misma (en unidades de energía por unidad de tiempo, área, frecuencia y ángulo sólido). Además, el flujo radiado por la estrella puede ser en parte absorbido en el camino por el medio interestelar. Si denotamos por  $T_i$  a la transparencia de este medio, entonces el flujo visto por un observador colocado fuera de la atmósfera será:

$$f_\lambda^0 = a_1^2 I_1 T_i \quad (2.7)$$

donde el subíndice  $\lambda$  indica que el flujo observado es función de la longitud de onda, pues la transparencia del medio interestelar depende de esta.

Una vez que esta energía llega a la tierra, debemos tomar en cuenta que existen varios filtros. El primer filtro es la atmósfera, sea  $T_a$  la transmisión atmosférica,  $T_f$  la transmisión del sistema óptico, el cual también depende de varios factores, como por ejemplo la calidad del telescopio, el tipo de filtros, entre varios más; y por último, la respuesta del detector,  $r$ . Entonces el flujo observado desde un observatorio situado en la tierra se puede representar como:

$$f_{\lambda}^{spm} = a_1^2 I_1 T_i T_a T_f r \quad (2.8)$$

donde el superíndice *spm* corresponde a el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir, B. C., que es el lugar donde se obtuvieron los datos de los objetos que se presentan en este trabajo. La ecuación (2.3) se escribe de la siguiente manera:

$$(m - M) = 2,5 \log \left( \frac{\int_{\lambda_a}^{\lambda_b} a_1^2 I_1 T_i T_a T_f r d\lambda}{\int_{\lambda_a}^{\lambda_b} a_2^2 I_2 T_i T_a T_f r d\lambda} \right) \quad (2.9)$$

Con esta ecuación se define un sistema fotométrico como un conjunto de filtros, detectores y telescopios, ubicados en algún lugar geográfico con ciertas características atmosféricas, los cuales tienen en promedio cierta respuesta a diferentes longitudes de onda:

$$S(\lambda) = T_i(\lambda) T_f(\lambda) r(\lambda) \quad (2.10)$$

La densidad de flujo de energía  $S(\lambda)$  debe ser, en principio, estable en el tiempo, es por esto que aún cuando podamos definir en términos generales la magnitud de una estrella, debemos siempre hacer referencia al sistema fotométrico que se utiliza. Una vez que hemos sido capaces de determinar la magnitud de una estrella para un cierto filtro, es importante definir el índice de color ( $C_{ab}$ ):

$$C_{ab} = (m_a - m_b) = -2.5 \log \left( \frac{F_{*a}}{F_{*b}} \right) \quad (2.11)$$

donde  $F_{*a}$  es el flujo de energía de un objeto con un filtro *a*, y  $F_{*b}$  es el flujo del mismo objeto con otro filtro *b*, el índice de color (ec. 2.11) es precisamente la cantidad que nos permite hablar de una distribución espectral de energía (DEE o SED por sus siglas en inglés).

De acuerdo con la ecuación (2.3),  $m_1$  o  $m_2$  pueden tener un valor arbitrario, por lo que es necesario definir un cero a partir del cual midamos las magnitudes. Este valor puede diferir para cada filtro y objeto, por lo que suele definirse un cero para un tipo espectral de estrella,

para cada sistema fotométrico.

Así mismo en la ecuación (2.8), es claro que necesitamos caracterizar la transparencia atmosférica (Mihalas y Binney, 1981). Sabemos que la transmisión de ondas electromagnéticas a través de la atmósfera tiene un comportamiento exponencial, es decir, es de la forma  $T \sim e^{-a}$ :  $a$  es masa de aire, es decir, es la cantidad de atmósfera que se interpone entre la estrella y el observador. Suponiendo la atmósfera plano paralela (lo cual funciona muy bien como primera aproximación), tendremos que la magnitud de una estrella depende del ángulo cenital  $\theta$ , de acuerdo con la ecuación:

$$a(\theta) = m_a(0) + k_a \sec(\theta) \quad (2.12)$$

donde  $K_a$  es una constante, denominada coeficiente de extinción, y  $m_a(0)$ , la masa de aire a ángulo cenital igual a cero.

Es evidente que estos valores cambian entre diferentes filtros y lugares geográficos, por lo que deben definirse para cada sistema fotométrico. En particular, para San Pedro Mártir se tienen los siguientes coeficientes de extinción  $\langle E \rangle$  (Carrasco *et al.* 1991):

$$\langle E_j \rangle = 0.0918 \pm 0.0048 \frac{mag}{masa - aire} \quad (2.13)$$

$$\langle E_h \rangle = 0.0315 \pm 0.0045 \frac{mag}{masa - aire} \quad (2.14)$$

$$\langle E_k \rangle = 0.0499 \pm 0.0045 \frac{mag}{masa - aire} \quad (2.15)$$

Estos valores los usaremos más adelante, cuando sean transformadas la magnitudes instrumentales a magnitudes reales.

## 2.2. Descripción de la cámara infrarroja.

La Cámara Infrarroja "CAMILA" fue construida en el IAUNAM para observaciones en el infrarrojo cercano. El sistema "CAMILA" está centrado en un detector NICMOS 3 de 256 x 256 pixels sensible en el intervalo de longitud de onda de 1 a 2.5  $\mu\text{m}$ . Cuenta con un carrusel de 12 filtros motorizados por un diafragma frío que reduce la radiación de fondo. El sistema cuenta con dos cámaras  $f/13.5$  y  $f/4.5$ . En el telescopio de 2.1 metros la escala de placa y el campo de cada cámara son los siguiente:  $f/4.5$ , 0.85" /pixel, 3.63' x 3.63'; y  $f/13.5$ , 0.3" /pixel, 1.28' x 1.28'. Además, de los 3 filtros en banda ancha: J, H y K', se cuenta con filtros para interferencia para las líneas de He I, H I (Pa $\gamma$  y Br $\gamma$ ), [FeII], H<sub>2</sub> ( $v = 2-1$  s(1) y  $v = 1-0$  s(1)), CO y cK' (continuo en K'). La magnitud límite ( $5\sigma$ ) del sistema es K' = 16,

H = 17 y J = 17.6, en un minuto de integración.

En nuestras observaciones, usamos el secundario f/13.5 en su forma de imagen directa, y con una escala de placa de 3.63 x 3.63 min. de arco y usamos los filtros : J (1.2  $\mu\text{m}$ ), H (1.8  $\mu\text{m}$ ) y K' (2.2  $\mu\text{m}$ ). Los datos del detector usado en camila se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Características del detector NICMOS 3 de HgCdTe.

Detector NICMOS 3	
Respuesta espectral	1-2.5 $\mu\text{m}$
Formato	256 x 256 pixels, dividido en 4 cuadrantes
Tamaño de pixel	40 $\mu\text{m}$
Eficiencia cuántica	>70 % a $\lambda$ máximo
Tipo de detector	HgCdTe, fotovoltaico
Temperatura de operación	60-80 °K
Capacidad máxima de carga	$3 \times 10^5 e^-$
Linealidad	90 % (0.1 % al 80 % de saturación)
Corriente oscura	<800 $e^-$ a 77 °K; <2 $e^-$ a 55 °K

## 2.3. Observaciones.

Las observaciones se realizaron en la temporada del 7 al 11 de marzo de 1999, en su modo de imagen directa, en el OAN/SPM (Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir, B. C.), realizados por el Dr. René Carrillo Moreno. De las cuales en esta tesis sólo trabajamos las observaciones del 9 al 11 de marzo de 1999, ya que son durante estas noches fue cuando se observaron los objetos BL Lacerta: MRK 501, 3C382, NGC 3665, AP Libra y ON 325.

Los valores promedio del "seeing" para cada filtro usado durante la noche del 9 al 10 de marzo de 1999 son: "seeing" promedio para el filtro H es 1.17, "seeing" promedio para el filtro J es 1.13, el "seeing" promedio para el filtro K' es 1.13. Los valores promedio del "seeing" para cada filtro usado durante la noche del 10 al 11 de marzo de 1999 son: "seeing" promedio para el filtro H es 1.61, "seeing" promedio para el filtro J es 1.72, el "seeing" promedio para el filtro K' es 1.63.

## 2.4. Reducción de imágenes y fotometría de datos.

Debido a que las imágenes que se obtienen del telescopio llevan una cantidad importante de información que consideramos como espuria : ej. ruido del equipo electrónico, el ruido de

fondo, etc., hace que nos apoyemos en varias herramientas de computo para "limpiar" estas impurezas.

Para la reducción de datos de los objetos problema, usamos dos programas: hazcom y reducebp, los cuales son de uso privado, y generados por personal del IAUNAM, además de estos dos programas usamos para la parte de fotometría y análisis de los datos varias rutinas dentro de IRAF. La manera en que usamos estos programas fué:

Hazcom, nos permitió generar un archivo (en ASCII), el cual contiene información importante para el proceso de "limpiado" de la imagen, ya que debido a que el cielo Infrarrojo cambia de segundo a segundo es importante poder mapear y contar los valores del cielo y qué tanto ha cambiado de segundo a segundo, para ello las imágenes que se toman tiene que poder tener esta información, es por ello que a diferencia de las imágenes ópticas, en el IR se tienen que tomar una serie de imágenes que puedan ir mapeando el cielo.

La secuencia de imágenes que usamos fueron básicamente dos: la serie de forma de cuadro, que usamos para las estrellas estándares y que consiste en colocar a la estrella en uno de los cuadrantes de la imagen, y hacer que el telescopio se mueva de tal manera que la estrella, en cada imagen de la secuencia, viaje a cada uno de los cuadrantes de tal forma que cada secuencia es una serie de cinco imágenes, uno por cada cuadrante y una quinta en la que regresa al cuadrante en el que se inició; la segunda secuencia que se usó fue de cruz, y la aplicamos para los objetos problemas, en este caso la fuente problema se coloca en una parte cercana al centro de la imagen y se hizo que el telescopio se moviera de tal forma que en cada imagen se tomó al objeto, luego el cielo al sur del objeto, luego regresó al objeto, luego al norte del objeto, de regreso al objeto, luego al cielo al oeste del objeto, de regreso al objeto, al cielo al este del objeto, y finalmente de regreso al objeto, de tal manera que se tuvo una serie de nueve imágenes para cada secuencia de cruz. Esta información es la que aparece en el archivo ASCII que se generó con Hazcom, contiene: el número de cada imagen, así como los cielos que les corresponde en cada serie, y el nombre de los flats para cada filtro que se usó en cada serie.

Una vez que se tienen los archivos ASCII, se usó el programa Reducebp para ejecutar cada uno de los archivos, este programa lo que hace es combinar las cinco imágenes con los cielos, estos cielos son los que se usaron para conocer el ruido de fondo, mas el ruido electrónico (BIAS), así como conocer cuanto ha sido afectado la respuesta de pixel a pixel (FLATS), de tal manera que a la salida se obtiene una imagen que contiene estas correcciones, este programa sería algo equivalente a lo que haría el programa CCDPROC de IRAF, por lo que se tiene una imagen "limpia", de tal manera que lo que continua es el obtener la fotometría de apertura y superficial, de cada imagen.

Antes de continuar con la parte de fotometría, mencionaremos la manera en que obtuvimos los campos planos (flats) infrarrojos. Éstos como en el óptico se toman en el momento

en que se tiene poca luminosidad, lo que se consigue en el atardecer o en el amanecer, pero a diferencia del óptico, aquí se tienen que tomar dos series de flats o campos planos, una primera serie es de alta luminosidad y otra serie de baja luminosidad, tratando que entre ambas la diferencia sea de al menos 2000 cuentas, y para cada filtro que se usó a lo largo de la noche. La razón de ambas series es que, mientras los CCDs ópticos podemos confiar en su linealidad, en el IR no podemos saber si estamos en la parte lineal de su respuesta o ya se encuentra en la parte saturada, por lo que el tener ambas series podemos saber en que parte estamos. Y como en el óptico, las imágenes de los flats, se toman en una región libre de estrellas para la cantidad de luminosidad en el momento de la observación, que en su mayoría fue en el atardecer.

Como en el caso de las estrellas estándares y de los objetos observados, también en el caso de los flats se crearon a partir de una serie de flats, un único flat para cada filtro para cada noche, la creación de este único flat fue muy similar a la que se creó con las estrellas, en el archivo generado por hazcom; usamos valores de los flats de alta "pesados" por los de baja, de tal manera que es el que usamos al momento de correr con Reducebp las estrellas y los objetos. A continuación mostramos un resumen de como construimos los mosaicos de los flats, estrella y objetos a estudiar.

1. Con el programa hazcom se construye un archivo ASCII para ser leído por Reducebp. Al ejecutar el programa nos pide el tipo de secuencia en el que fueron tomados los datos de las imágenes, secuencia cruz o cuadro, el prefijo de los nombres de los archivos de las imágenes, la localización del objeto sobre el campo (damos las coordenadas en pixels), y el tamaño de la caja (también en pixels) la cual es el intervalo de error en la colocación del objeto sobre la imagen resultante.
2. Se corre Reducebp, primero para los archivos de flats, en este caso Reducebp sólo pregunta por el nombre del archivo de los flats, el cual se generó con hazcom.
3. Se corre Reducebp para los objetos observados, en este caso estrellas estándares y objetos BL Lacerta. Reducebp en este caso pide el nombre del archivo del objeto a procesar y el nombre del archivo del flat ya procesado, estas imágenes ya están listas para realizarles la fotometría.

Como se mencionó al usar Reducebp, hemos "limpiado" a las imágenes de todos los defectos, los cuales además de los flats, bias, etc.; también las limpiamos de los rayos cósmicos, por lo que lo siguiente es usar los paquetes dentro de IRAF, y reducir las imágenes de forma estándar como se hace en el óptico.

### 2.4.1. Fotometría de Apertura.

Para la obtención de la fotometría de apertura se usaron varias rutinas dentro de noao/digiphot/apphot/ (dentro de IRAF), fundamentalmente se usó qphot. Para realizar la fotometría de apertura necesitamos darle varios parámetros: *annulus*, el cual es el primer radio a partir del centro del objeto hasta la franja anular de la placa donde se debe encontrar cielo, y un segundo radio llamado *dannulus*, el cual delimita esta franja, ésta franja es de la cual se calcula el promedio del cielo y este valor es el que se restará a los valores de las estrellas estándares u objetos observados.

Para encontrar estos parámetros desplegamos las imágenes y ejecutamos la rutina *imezam*, también en el paquete IRAF, el cursor lo posicionamos en el centro o máximo de cada objeto, y ejecutamos *imezam*, con el cual obtuvimos el ancho máximo a media altura para cada uno, este valor multiplicado por 3 es el parámetro *annulus* el cual es el radio a partir del centro o máximo del objeto que cubre hasta la franja anular de la placa donde se encuentra parte del cielo. Si al parámetro del *annulus* le sumamos 5 (es en realidad 5 pixels) obtenemos el *dannulus*, que es el anillo externo que delimita la franja de cielo. Entre los parámetros de ajuste le debemos de decir a *qphot* el tipo de filtro usado para cada imagen (*FILTER*), masa de aire de cada imagen (*MASS*) y tiempo de exposición de la imagen (*EXPTIME*), estos parámetros los toma del encabezado de cada imagen (ver imagen 2.1). Estos son los parámetros que ajustamos en la rutina *qphot*, ya que se configuran estos parámetros se ejecuta *qphot*, los valores que nos arroja son las magnitudes instrumentales para cada objeto, las cuales posteriormente serán calibradas con los ceros fotométricos mediante ecuaciones de transformación lo cual nos dará la magnitud del objeto.

Figura 2.1: Ejemplo de la información del encabezado de las imágenes.

```
mngc3665411.imh[256,256][real]:
cl> imheader mngc3665411.imh l+
mngc3665411.imh[256,256][real]:
No bad pixels, min=unknown, max=unknown
Line storage mode, physdim [256,256], length of user area 1135 s.u.
Created Fri 15:06:08 25-Jun-2004, Last modified Fri 15:06:08 25-Jun-2004
Pixel file "HDR$mngc3665411.pix" [ok]
INSTRUME= 'Camila camara IR ' /
ORIGIN = 'San Pedro Martir ' /
OBJETO = 'ngc3665 ' /
TIME = 'Thu Mar 11 04:13:49 GMT 1999
IMAGETY = 'imagen datos linearizada
BUNIT = 'counts/sec ' / Units
EXPTIME = 250. / tiempo total en fuente (seg)
NOBS = 5 / numero de exposiciones en fuente
FILTER = 5 / filtro no.
ADDUPS = 10 / num de addups
NLECT = 2 / lecturas/addup
TLECT = 4.53999996185303 / tiempo entre lects
TMU = 0. / tiempo pre-exp
TFRAME = 0.46000000834465 / tiempo de cuadro
SAT = 17000 / nivel de saturacion
GAIN = 0 / 0=>normal, 1=>alta
C1 = 1. / coef lin
C2 = -6.0000002122251E-6 / coef lin
C3 = 5.4999998999605E-10 / coef lin
I01 = 2000 / ofset cuad 1
I02 = 3500 / ofset cuad 2
I03 = 3000 / ofset cuad 3
I04 = 2000 / ofset cuad 4
OFAR = 0. / offset AR
OFDEC = 0. / offset DEC
AR = 11.3590002059937 / AR
DEC = 38.7675018310547 / DEC
AMASS = 1.37000000476837 / masa de aire
```

#### 2.4.2. Fotometría de Superficie.

A las imágenes tomadas con el CCD también podemos conocer como es la distribución de brillo de la fuente cuando nos alejamos de su centro hacia la parte externa, a esto se le llama fotometría de superficie.

En la fotometría de superficie se utilizaron las siguientes rutinas de *stsdas/analysis/isophote/ellipse*, dentro del paquete IRAF. El programa *ellipse* ajusta elipses a las isofotas elípticas de una galaxia y genera una tabla que contiene los parámetros de las elipses ajustadas, estas tablas tiene extensión .tab; al programa *ellipse* tenemos que especificarle también varios parámetros, estos parámetros se ajustan en un programa que se llama *geompar*. Los parámetros que se especifican en *geompar* son los siguientes:

**(x0,y0):** Son los valores de la coordenada del centro del objeto (en pixels) sobre el campo de la imagen.

**ellip0:** Es el valor de la elipticidad inicial, el cual se obtiene con *imezam*.

**pa0:** Es el valor del ángulo de posición inicial, también lo obtenemos con *imezam*.

**sma0:** Es el valor del semieje mayor (en pixels) con el que se empezará el ajuste de las elipses. Este valor no deberá de ser pequeño, pues en el centro de la galaxia la formación geométrica está distorsionada, y se estima a partir del valor del “seeing” de cada noche.

**minsma,maxsma:** Son los valores mínimos y máximos, respectivamente, del semieje mayor en el ajuste.

**step:** Es el valor del paso (en pixels) entre elipse y elipse.

Como la tabla generada por *ellipse* no se encuentra en código ASCII, tenemos que desplegar estas tablas con un programa que se llama *isoplot*, la gráfica que se despliega nos da información sobre la morfología de la galaxia, si es elíptica, si tiene dos núcleos o más, contribución de polvo (bandas), etc.

### 2.4.3. Calibración de Magnitudes.

Las magnitudes de los objetos que obtenemos con *qphot* están dadas en cuentas de electrones, como lo ve el detector, por lo que sólo tenemos la magnitud instrumental; dada la magnitud instrumental para cada objeto problema y cada estrella estándar, tenemos que traducir las magnitudes instrumentales a magnitudes “reales”, debido a que la magnitud instrumental depende de diversos factores, tales como la respuesta del detector (obviamente la magnitud instrumental depende de cada detector), el flujo del objeto (la magnitud absoluta), la respuesta del filtro, por lo que de alguna forma tenemos que traducir esta información a magnitud real o calibrada. Entre los factores que atenúan a nuestro objeto está la masa de aire del lugar donde se observe (el coeficiente de extinción), el corrimiento al rojo, el ángulo cenital con que se observe el objeto, la extinción de nuestra galaxia, etc.

Al observar objetos astronómicos la medición es la convolución de cuatro elementos:

- La respuesta del detector.
- La respuesta del filtro.
- La respuesta del telescopio.
- La distribución espectral del flujo de energía del objeto observado.

No es fácil determinar exactamente la respuesta del sistema (ec. 2.10), sin embargo, dado que la observación depende directamente de la distribución espectral del continuo del flujo de energía del objeto podemos incluir el índice de color (ec. 2.11) como una representación a primer orden de esta distribución. Considerando estos factores se puede plantear un polinomio de grado dos para describir la magnitud medida por el detector (Henden y Kaitchuck. 1982):

$$m = M + \alpha_1 + \alpha_2 mass + \alpha_3 ic + \alpha_4 (mass)(ic) \quad (2.16)$$

donde  $m$  = magnitud instrumental obtenida,  $M$  = magnitud calibrada,  $mass$  = masa de aire,  $ic$  = índice de color,  $\alpha_i$  = son las constantes de proporcionalidad ( $i = 1, 2, 3, 4$ ).

Nosotros hicimos el ajuste usando la siguiente ecuación de transformación:

$$m = M + r_1 + r_2 mass \quad (2.17)$$

donde  $m$  es la magnitud instrumental (obtenida por *qphot*),  $M$  es la magnitud calibrada,  $r_1$  es el punto cero (el cual es un parámetro a determinar) y  $r_2$  es el coeficiente de extinción en unidades de magnitud por masa de aire, hacemos especial énfasis que  $mass$  es la masa de aire particular para cada imagen, el proceso de tomar una sola ecuación de transformación implica que el ajuste sea menos exacto, es decir la incertidumbre es mayor. No trabajamos con los índices de color y por lo tanto con sistemas de ecuaciones, debido a que lo que buscamos es la distribución espectral de energía y no necesariamente sus colores.

#### 2.4.4. Extinción y corrimiento al rojo.

Dentro de los parámetros físicos que debemos tomar en cuenta para la corrección de la magnitud calibrada, para que nos dé la magnitud real del objeto, es tomar en cuenta la extinción de nuestra galaxia y el corrimiento al rojo, que tienen valores levemente mayores que los valores correspondientes a la incertidumbre en la fotometría. Usando el método de la "curva de enrojecimiento", se tiene la curva de Savage y Mathis (1979), donde  $A_V = 3.1$ ,  $E_{B-V} = 1$  y por lo tanto  $A_{B1} = 4.1$ . Los datos de extinción para los filtros son tomados del NED (National Extragalactic Database), obteniendo entonces para cada objeto la corrección necesaria:

$$A_i = A_{i1} \times A_B / 4.1 \quad (2.18)$$

donde  $A_i$  es la extinción que deseamos encontrar para el filtro  $i$ ,  $A_{i1}$  es la extinción dada por la curva de Savage y Mathis (1979) (la cual está normalizada de manera que  $E_{B-V} = 1$ ),  $A_B$  es la extinción dada por NED y  $A_{B1} = 4.1$  es la extinción en el filtro B dada por la curva

de Savage y Mathis (1979) normalizada. Entonces para los tres filtros que usamos tenemos:

$$A_J = 0.87 \times A_B / 4.1 \quad (2.19)$$

$$A_H = 0.66 \times A_B / 4.1 \quad (2.20)$$

$$A_{K'} = 0.38 \times A_B / 4.1 \quad (2.21)$$

Los valores de los coeficientes de extinción para San Pedro Mártir, que usamos, son  $\langle E \rangle$  (Carrasco *et al.* 1991):

$$\langle E_j \rangle = 0.0918 \pm 0.0048 \frac{mag}{masa - aire} \quad (2.22)$$

$$\langle E_h \rangle = 0.0315 \pm 0.0045 \frac{mag}{masa - aire} \quad (2.23)$$

$$\langle E_k \rangle = 0.0499 \pm 0.0045 \frac{mag}{masa - aire} \quad (2.24)$$

Para los corrimientos al rojo tenemos que la corrección K (Persson, 1979) es:

$$K_{corr} = 3.3 z \quad (2.25)$$

En nuestro caso tenemos:

$$(H - K)_{corr} = -3.5 z \quad (2.26)$$

$$(J - H)_{corr} = -0.5 z \quad (2.27)$$

siendo  $z$  el corrimiento al rojo, que está dado por:

$$z = \frac{v}{c} \quad (2.28)$$

Estos parámetros los usaremos en el siguiente capítulo para obtener la magnitud real de cada objeto que se observó.

## Capítulo 3

# Obtención y análisis de resultados.

Se llevó a cabo el estudio de las siguientes galaxias:

- MRK 501
- 3C382
- NGC3665
- ON325
- AP Libra

Estos objetos ya han sido estudiados en diferentes longitudes de onda (p. ej. Bersanelli, M. *et al.* 1992, Falomo, R. *et al.* 1993). En algunos casos como MRK 501 ha sido estudiado ampliamente; en otros como ON 325 casi no hay datos publicados. Los datos que nosotros obtenemos en este estudio los compararemos con datos tomados de la literatura (NED) lo que permitirá mostrar que tan buen método es el que usamos para la reducción y análisis de nuestros datos observacionales y por lo tanto mostrar nuevos datos. Además de los datos de NED obtuvimos las imágenes, las cuales mostramos para identificar el tipo de galaxia, así como el tipo de distribución espectral que se esperaba en multifrecuencias.

### 3.1. Datos de la literatura para cada galaxia estudiada.

#### 3.1.1. Galaxia MRK501.

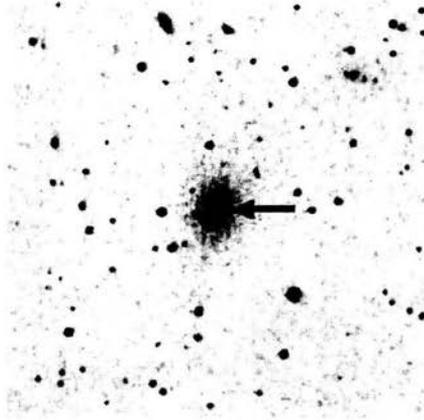
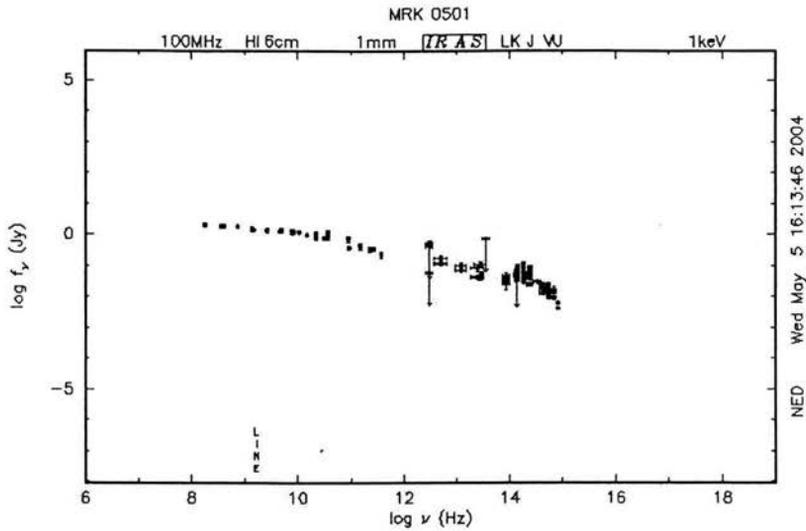


Figura 3.1: Galaxia MRK501 en el visual, tomada de NED.

Tabla 3.1: Datos generales de la galaxia MRK 501 obtenidos de NED.

Ascensión Recta (AR)	16h 53m 52.2 s
Declinación (DEC)	39d 45m 37s
Magnitud en el filtro H (Johnson)	10.72 $\pm$ 0.05 mag
Magnitud en el filtro J (1.25 $\mu$ m)	11.37 $\pm$ 0.07 mag
Magnitud en el filtro K (Johnson)	10.29 $\pm$ 0.03 mag
Densidad de flujo para el filtro H (Jonson)	5.54 $\times 10^{-2}$ Jy
Densidad de flujo para el filtro J (1.25 $\mu$ m)	4.25 $\times 10^{-2}$ Jy
Densidad en el filtro K (Johnson)	5.11 $\times 10^{-2}$ Jy
Diámetro	1.2 x 1.0 arcmin
Tipo morfológico	G
Corrimiento al rojo z	0.034
Velocidad	10092 $km s^{-1}$
Descripción	E? BL Lacerta

Figura 3.2: Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia MRK501.



### 3.1.2. Galaxia 3C382.

Figura 3.3: Galaxia 3C382 en el visual, tomada del NED.

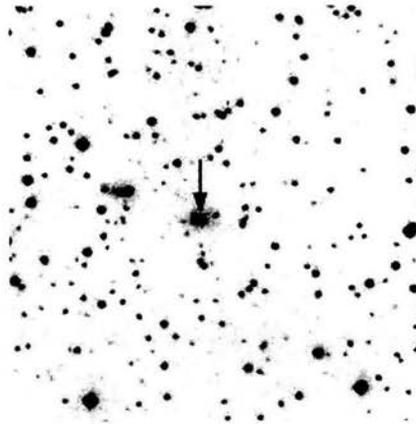
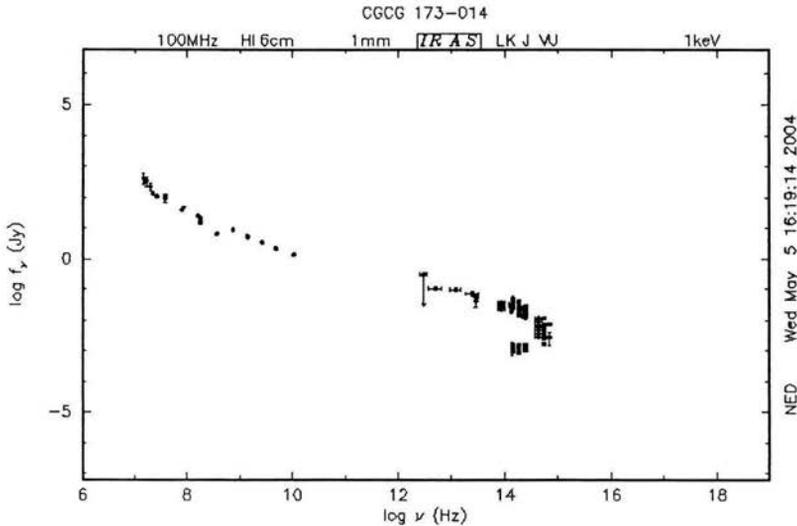


Tabla 3.2: Datos generales de la galaxia 3C382 obtenidos de NED.

Ascensión Recta (AR)	18h 35m 02.1 s
Declinación (DEC)	+39d 45m 37s
Magnitud en el filtro H_total (2MASS) (1.64 $\mu\text{m}$ )	11.041 $\pm$ 0.034 mag
Magnitud en el filtro J_total (2MASS) (1.25 $\mu\text{m}$ )	11.874 $\pm$ 0.032 mag
Magnitud en el filtro K_total (2MASS) (2.17 $\mu\text{m}$ )	10.320 $\pm$ 0.033 mag
Densidad de flujo para el filtro H_total (2MASS) (1.64 $\mu\text{m}$ )	3.92x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo para el filtro J_total (2MASS) (1.25 $\mu\text{m}$ )	2.83x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo para el filtro K_total (2MASS) (2.17 $\mu\text{m}$ )	4.97x10 <sup>-2</sup> Jy
Diámetro	0.6 x 0.4 arcmin
Tipo morfológico	G
Corrimiento al rojo z	0.058
Velocidad	17349 km s <sup>-1</sup>
Descripción	BLRG

Figura 3.4: Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia 3C382.



### 3.1.3. Galaxia NGC3665.

Figura 3.5: Galaxia NGC3665 en el visual, tomada de NED.

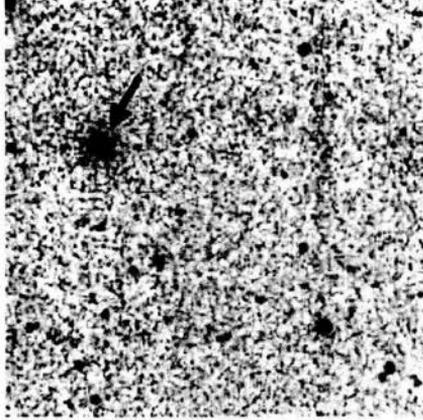
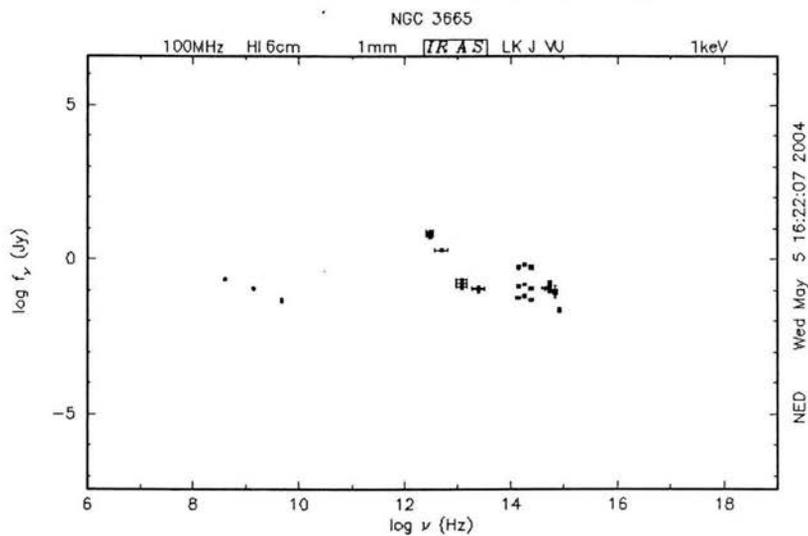


Tabla 3.4: Datos generales de la galaxia NGC3665 obtenidos de NED.

Ascensión Recta (AR)	11h 24m 43.6 s
Declinación (DEC)	+38d 45m 46s
Magnitud en el filtro H_total (2MASS) (1.64 $\mu\text{m}$ )	7.926 $\pm$ 0.011 mag
Magnitud en el filtro J_total (2MASS) (1.25 $\mu\text{m}$ )	8.621 $\pm$ 0.009 mag
Magnitud en el filtro K_s_total (2MASS) (2.17 $\mu\text{m}$ )	7.682 $\pm$ 0.014 mag
Densidad de flujo para el filtro H_total (2MASS) (1.64 $\mu\text{m}$ )	6.92 $\times 10^{-1}$ Jy
Densidad de flujo para el filtro J_total (2MASS) (1.25 $\mu\text{m}$ )	5.67 $\times 10^{-1}$ Jy
Densidad de flujo para el filtro-K_s_total (2MASS) (2.17 $\mu\text{m}$ )	5.64 $\times 10^{-1}$ Jy
Diámetro	2.5 x 2.0 arcmin
Tipo morfológico	G
Corrimiento al rojo z	0.007
Velocidad	2080 $\text{km s}^{-1}$
Descripción	SA (s)

Figura 3.6: Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia NGC3665.



### 3.1.4. Galaxia ON325.

Figura 3.7: Galaxia ON325 en el visual, tomada de NED.

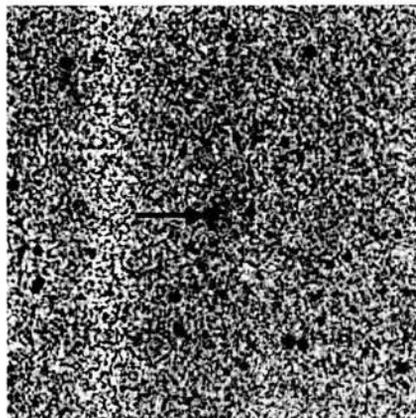
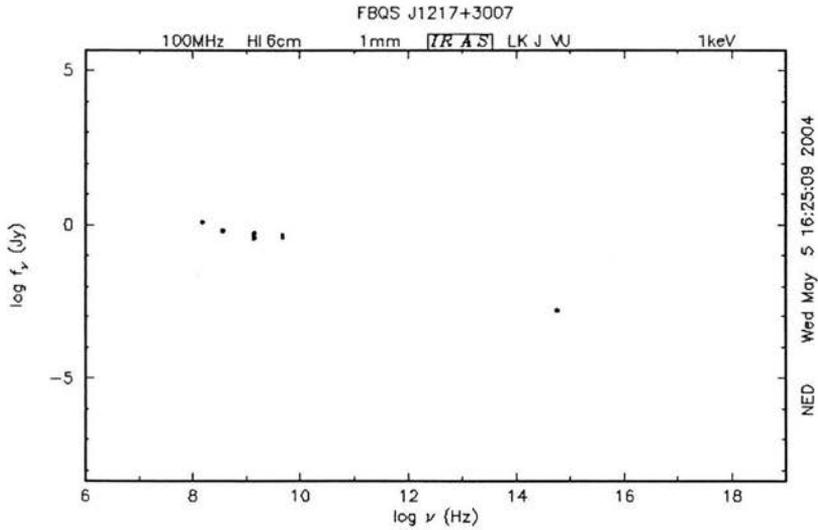


Tabla 3.6: Datos generales de la galaxia ON325 obtenidos de NED.

Ascensión Recta (AR)	12h 57m 52.1s
Declinación (DEC)	+30d 07m 01s
Magnitud en el filtro H(Johnson) ( $1.6 \mu\text{m}$ )	sin referencia
Magnitud en el filtro J(Johnson) ( $1.2 \mu\text{m}$ )	sin referencia
Magnitud en el filtro K(Johnson) ( $2.2 \mu\text{m}$ )	sin referencia
Densidad de flujo para los filtro H, J y K de Johnson	sin referencia
Diámetro	sin referencia
Tipo morfológico	QSO
Corrimiento al rojo $z$	0.130
Velocidad	$>30000 \text{ km s}^{-1}$
Descripción	Opt. Var. BL Lacerta

Figura 3.8: Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia ON325.



### 3.1.5. Galaxia AP Libra.

Figura 3.9: Galaxia AP LIBRA en el visual, tomada de NED.

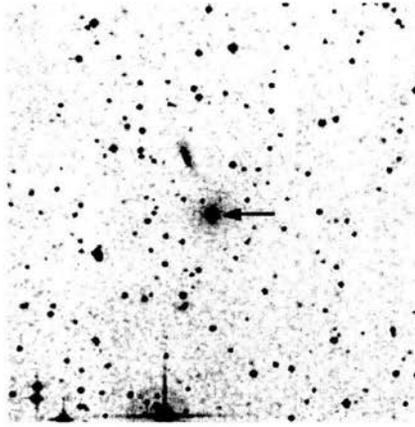
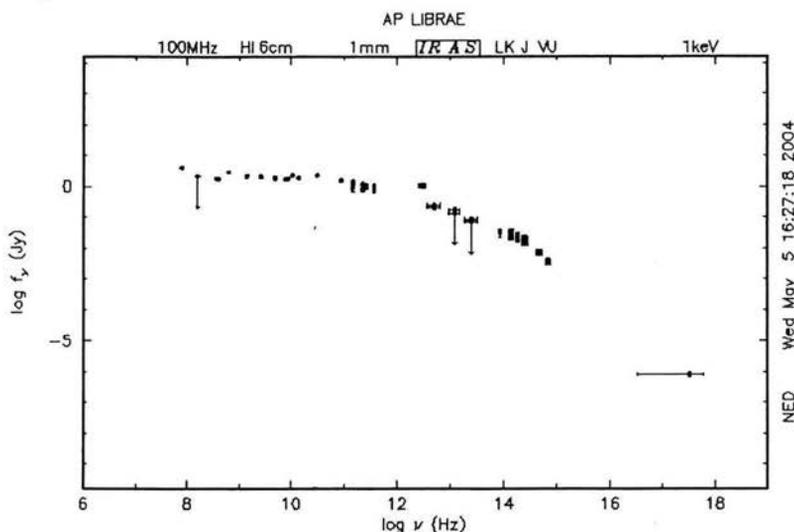


Tabla 3.8: Datos generales de la galaxia AP LIBRA obtenidos de NED.

Ascensión Recta (AR)	15h 17m 41.8s
Declinación (DEC)	-24d 22m 19s
Magnitud en el filtro H_total (2MASS) (1.64 $\mu\text{m}$ )	11.449 $\pm$ 0.056 mag
Magnitud en el filtro J_total (2MASS) (1.25 $\mu\text{m}$ )	12.037 $\pm$ 0.043 mag
Magnitud en el filtro K_s_total (2MASS) (2.17 $\mu\text{m}$ )	10.772 $\pm$ 0.055 mag
Densidad de flujo para el filtro H_total (2MASS) (1.64 $\mu\text{m}$ )	2.70x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo para el filtro J_total (2MASS) (1.25 $\mu\text{m}$ )	2.44x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo para el filtro K_total (2MASS) (2.17 $\mu\text{m}$ )	3.27x10 <sup>-2</sup> Jy
Diámetro	0.5 x 0.4 arcmin
Tipo morfológico	G
Corrimiento al rojo z	0.049
Velocidad	14570 $\text{km s}^{-1}$
Descripción	N galaxia BL Lacerta

Figura 3.10: Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia AP LIBRA.



### 3.2. Fotometría de apertura

Apartir de los datos que mostramos en las tablas anteriores, los usaremos como fuentes de referencia (“template”), es decir, apartir de estos datos, veremos que tan bueno es el método de reducción de datos que usamos para analizar nuestro datos observacionales. Igualmente, haremos incapie en los casos en los que estamos aportando nuevos datos en el cercano IR, para esta muestra de objetos BL Lacerta.

Que es lo que se hace, una vez que se tienen los datos de la muestra usada: MRK 501, 3C382, AP Libra, NGC 3665 y ON 325.

Los pasos que se realizaron son:

- Una vez que se tiene las observaciones, tomadas en el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, Ensenada Baja California Norte (OAN-SPM) en los filtros: J ( $1.2 \mu\text{m}$ ), H ( $1.6 \mu\text{m}$ ) y K' ( $2.2 \mu\text{m}$ ), de Johnson, se realizó la fotometría de apertura de banda ancha y en segundo término, fotometría superficial.
- El siguiente paso fue la reducción y el análisis de estas imágenes, esto debido a que las imágenes que se obtienen del telescopio, son imágenes con ruido, en otras palabras, tenemos que tomar en cuenta la contribución del cielo, rayos cósmicos, bias, flats, etc.; además que las magnitudes que obtenemos son instrumentales y lo que hacemos es un

proceso de reducción que nos permita quitar toda la señal del ruido, para poder pasar fácilmente de magnitudes instrumentales a magnitudes reales, con lo que podremos conocer varias propiedades de los objetos problema (Capítulo 2).

- Para poder llevar a cabo el análisis de las imágenes, es necesario que estén limpias de ruido, rayos cósmicos, etc., este proceso lo realicé como menciono en el capítulo anterior, usando el software *reducebp* y rutinas del paquete IRAF (Paquete de análisis astronómico *Image Reduction and Analysis Facility*).
- Una vez que tuvimos las imágenes limpias el siguiente paso fue desplegarlas en el visor “ds9” (Sao Image) para localizar las coordenadas del punto máximo de brillo del objeto y también tomar el anillo el cual contenga a toda la galaxia, procurando que ningún otro objeto se encuentre dentro o parte de él afecte la galaxia. Esto se realiza tanto para la galaxia como para las estrellas estándares, en los filtros J, H y K’; las estrellas estándares que se tomaron durante estas noches para calibrar posteriormente las observaciones son: fs13, as26 y a21.
- Para obtener la fotometría de apertura se saca un promedio de los radios tanto internos como externos (annulus y dannulus, respectivamente) que se tenga, donde esté contenida toda la galaxia, siendo el annulus la apertura a la que estemos trabajando.
- Después se usó *imexam* para generar una tabla de salida, la cual contiene entre otros parámetros: R (radio a partir del centro de la galaxia), mag (magnitud), flux (flujo), sky (cielo), e (excentricidad), pa (ángulo de posición), entre otros. Sin embargo se toma el valor de la magnitud que da *imexam*, puesto que esta no se halla corregida por el cielo, y como se requiere mayor exactitud en el cálculo se usa *qphot*.
- Para poder correr *qphot* es necesario tener las imágenes limpias, esto lo hacemos con *reducebp* como mencionamos antes (Capítulo 2); finalmente se corre *qphot* para obtener la magnitud “limpia” de toda la contaminación electrónica, cielo, etc., *qphot* al igual que *imexam* genera una tabla al finalizar el proceso. De esta tabla obtenemos los valores de magnitudes aparentes instrumentales, estos valores los mostramos en las siguientes tablas (tabla 3.10 para la noche 3 –9 al 10 de marzo de 1999– y tabla 3.11 para la noche 4 –10 al 11 de marzo de 1999–).

Tabla 3.10: Magnitudes instrumentales obtenidas con *qphot* (IRAF) -noche 3-

Objeto	Filtro H	Filtro J	Filtro K'
MRK 501	23.90	23.61	23.54
3C382	24.70	24.74	s/obs.
as13-0	23.812	23.225	23.681
as13-1	26.104	25.595	25.716
as13-2	26.673	25.823	25.627
as13-3	26.983	25.934	26.499
as26-0	24.104	25.133	25.394
as26-1	25.650	25.252	25.361
a21	22.950	21.849	22.485

Tabla 3.11: Magnitudes instrumentales obtenidas con *qphot* (IRAF) -noche 4-

Objeto	Filtro H	Filtro J	Filtro K'
AP Libra	24.546	25.636	23.863
NGC 3665	20.917	22.066	20.758
ON 325	s/obs.	27.401	s/obs.
as13-0	22.888	23.662	22.798
as13-1	24.475	25.378	24.328
as13-2	24.815	25.706	24.680
as13-3	25.725	26.493	25.518
as26-0	24.907	26.211	24.834
as26-1	25.032	26.350	25.106

- Para obtener la magnitud real a partir de las magnitudes instrumentales obtenidas con *qphot*, mostradas en las tablas anteriores, se sustituyen en la ecuación 2.17 del Capítulo 2, sección 2.3.4, los diversos valores obtenidos de las magnitudes instrumentales obtenidas. Dado que en la ecuación 2.17 tiene los parámetros  $r_1$  y  $r_2$ , donde  $r_2$  es el coeficiente de extinción para el filtro usado y  $r_1$  es el cero fotométrico para ese mismo filtro, son dos parámetros que se tiene que calcular, en nuestro caso  $r_2$  son valores ya conocidos para el Observatorio Astronómico Nacional SPM, por lo que solo tenemos que calcular el parámetro  $r_1$  para cada filtro, para lo cual usamos las estrellas estándares, con lo cual encontramos el cero fotométrico para cada filtro en cada noche de observación, este valor es que se sustituye en la ecuación 2.17 junto con el resto de datos de las galaxias ( $r_2$  coeficiente de extinción 2.13, 2.14, 2.15 para cada filtro,  $m$  es la magnitud instrumental obtenida por *qphot* y  $mass$  es la masa de aire para cada observación, lo cual lo tomamos del encabezado de cada imagen) para obtener

la magnitud “real”. Los valores empleados y obtenidos se muestran en las siguientes tablas (3.12, 3.13, 3.14 y 3.15)

Tabla 3.12: Datos de las estrellas estándares -noche 3-

Objeto	Mag real	mass	$r_2 \frac{mag}{masa-aire}$	$r_1$ calculado (mag)
as13-0 <sub>H</sub>	10.189	1.21	0.0315	-8.56±0.66
as13-1 <sub>H</sub>	11.781	1.21	0.0315	-8.56±0.66
as13-2 <sub>H</sub>	12.101	1.21	0.0315	-8.56±0.66
as13-3 <sub>H</sub>	12.964	1.21	0.0315	-8.56±0.66
as26-0 <sub>H</sub>	12.455	1.23	0.0315	-8.56±0.66
as26-1 <sub>H</sub>	11.527	1.23	0.0315	-8.56±0.66
a21 <sub>H</sub>	9.043	1.29	0.0315	-8.56±0.66
as13-0 <sub>J</sub>	10.517	1.22	0.0918	-13.06±0.44
as13-1 <sub>J</sub>	12.201	1.22	0.0918	-13.06±0.44
as13-2 <sub>J</sub>	12.521	1.22	0.0918	-13.06±0.44
as13-3 <sub>J</sub>	13.345	1.22	0.0918	-13.06±0.44
as26-0 <sub>J</sub>	13.000	1.26	0.0918	-13.06±0.44
as26-1 <sub>J</sub>	12.120	1.26	0.0918	-13.06±0.44
a21 <sub>J</sub>	9.061	1.29	0.0918	-13.06±0.44
as13-0 <sub>K'</sub>	10.137	1.20	0.0499	-12.71±0.62
as13-1 <sub>K'</sub>	11.648	1.20	0.0499	-12.71±0.62
as13-2 <sub>K'</sub>	11.970	1.20	0.0499	-12.71±0.62
as13-3 <sub>K'</sub>	12.812	1.20	0.0499	-12.71±0.62
as26-0 <sub>K'</sub>	12.379	1.20	0.0499	-12.71±0.62
as26-1 <sub>K'</sub>	11.428	1.20	0.0499	-12.71±0.62
a21 <sub>K'</sub>	9.031	1.25	0.0499	-12.71±0.62

Tabla 3.13: Datos de las estrellas estándares -noche 4-

Objeto	Mag real	mass	$r_2 \frac{mag}{masa-aire}$	$r_1$ calculado (mag)
as13-0 <sub>H</sub>	10.189	1.26	0.0315	-10.34±0.87
as13-1 <sub>H</sub>	11.781	1.26	0.0315	-10.34±0.87
as13-2 <sub>H</sub>	12.101	1.26	0.0315	-10.34±0.87
as13-3 <sub>H</sub>	12.964	1.26	0.0315	-10.34±0.87
as26-0 <sub>H</sub>	12.455	1.23	0.0315	-10.34±0.87
as26-1 <sub>H</sub>	11.527	1.23	0.0315	-10.34±0.78
as13-0 <sub>J</sub>	10.517	1.21	0.0918	-9.4±0.96
as13-1 <sub>J</sub>	12.201	1.21	0.0918	-9.4±0.96
as13-2 <sub>J</sub>	12.521	1.21	0.0918	-9.4±0.96
as13-3 <sub>J</sub>	13.345	1.21	0.0918	-9.4±0.96
as26-0 <sub>J</sub>	13.000	1.25	0.0918	-9.4±0.96
as26-1 <sub>J</sub>	12.120	1.25	0.0918	-9.4±0.96
as13-0 <sub>K'</sub>	10.137	1.26	0.0499	-10.27±0.78
as13-1 <sub>K'</sub>	11.648	1.26	0.0499	-10.27±0.78
as13-2 <sub>K'</sub>	11.970	1.26	0.0499	-10.27±0.78
as13-3 <sub>K'</sub>	12.812	1.26	0.0499	-10.27±0.78
as26-0 <sub>K'</sub>	12.379	1.20	0.0499	-10.27±0.78
as26-1 <sub>K'</sub>	11.428	1.20	0.0499	-10.27±0.78

Tabla 3.14: Datos de las galaxias MRK 501 y 3C382.

Objeto	mass	$r_2 \frac{mag}{masa-aire}$	$r_1$	Mag real calculada
MRK 501 <sub>H</sub>	1.47	0.0315	-8.56	10.60±1.41 mag
MRK 501 <sub>J</sub>	1.07	0.0918	-9.4	10.63±0.95 mag
MRK 501 <sub>K'</sub>	1.18	0.0499	-12.71	10.19±1.37 mag
3C382 <sub>H</sub>	1.11	0.0315	-8.56	11.23±1.45 mag
3C382 <sub>J</sub>	1.16	0.0918	-13.06	11.95±1.00 mag

Tabla 3.15: Datos de las galaxias NGC 3665, AP LIBRA y ON 325.

Objeto	mass	$r_2 \frac{mag}{masa-aire}$	$r_1$	Magnitud real calculada
NGC 3665 <sub>H</sub>	1.32	0.0315	-10.34	8.53±1.72 mag
NGC 3665 <sub>J</sub>	1.09	0.0918	-9.4	9.24±1.86 mag
NGC 3665 <sub>K'</sub>	1.18	0.0499	-10.27	8.26±1.41 mag
AP Libra <sub>H</sub>	1.76	0.0315	-10.34	11.81±1.9 mag
AP Libra <sub>J</sub>	1.77	0.0918	-9.4	12.28±2.03 mag
AP Libra <sub>K'</sub>	1.40	0.0499	-10.27	11.06±1.54 mag
ON 325 <sub>J</sub>	1.06	0.0918	-9.4	13.72 ±2.16 mag

Con los valores de la tabla 3.12 y 3.13 obtuvimos las magnitudes reales de las galaxias

mostradas en las tablas 3.14 y 3.15, en la tabla 3.16 comparamos las magnitudes reales calculadas con las magnitudes reales de la literatura.

Tabla 3.16: Comparación de las magnitudes “reales” calculadas contra magnitudes “reales” de la literatura, para los filtros J, H y K’ de Johnson, para los objetos MRK501, 3C382, NGC3665, AP LIBRA y ON325.

Objeto	Mag calculada	Mag reportada	error
MRK 501 <sub>H</sub>	10.60 mag	10.72 mag	-0.011 mag
MRK 501 <sub>J</sub>	10.63 mag	11.37 mag	-0.065 mag
MRK 501 <sub>K'</sub>	10.19 mag	10.29 mag	-0.009 mag
3C382 <sub>H</sub>	11.23 mag	11.041 mag	+0.017 mag
3C382 <sub>J</sub>	11.95 mag	11.874 mag	+0.008 mag
NGC 3665 <sub>H</sub>	8.53 mag	7.926 mag	+0.076 mag
NGC 3665 <sub>J</sub>	9.24 mag	8.621 mag	+0.071 mag
NGC 3665 <sub>K'</sub>	8.26 mag	7.682 mag	+0.075 mag
AP Libra <sub>H</sub>	11.81 mag	11.449 mag	+0.031 mag
AP Libra <sub>J</sub>	12.28 mag	12.037 mag	+0.020 mag
AP Libra <sub>K'</sub>	11.06 mag	10.772 mag	+0.026 mag
ON 325 <sub>J</sub>	13.72 mag	sin referencia	---

Los signos indican que el valor calculado está por debajo ( - ) o por arriba ( + ) de los valores reportados.

De los valores de las magnitudes reales calculadas de la tabla 3.16, hemos calculado los índices de color para cada galaxia, los cuales son (tabla 3.17)

Tabla 3.17: Índice de color para las galaxia MRK501, 3C382, NGC3665, AP LIBRA y ON325.

Objeto	H-K'	J-H
MRK 501	0.41 mag	0.03 mag
3C382	sin referencia	0.71 mag
NGC 3665	0.26 mag	0.71 mag
AP Libra	0.75 mag	0.48 mag
ON 325	sin referencia	sin referencia

De los parámetros fundamentales que podemos calcular, con los datos obtenidos hasta este momento, son: el flujo del objeto, la luminosidad del objeto y la distancia a la que se encuentra ese objeto.

Para calcular el flujo de energía usamos la ecuación:

$$\text{Log}S(\text{filtro}) = -0,4(\text{mag}) + \text{log}S_0 \quad (3.1)$$

donde  $S_0 = 6.61 \times 10^9 \text{ erg cm}^{-2} \text{ Amstrong}^{-1}$  que es el valor que se a tomado por convención para todos los sistemas fotométricos (secc. 2.1), este valor se obtiene a partir de estrellas del tipo A0 (como Vega). Con la ecuación 3.1 calculamos los flujos para los filtros H(1.6  $\mu\text{m}$ ), J(1.2  $\mu\text{m}$ ) y K' (2.2  $\mu\text{m}$ ) de Johnson.

Para encontrar la densidad de flujo, debemos tener en cuenta la longitud de onda que estamos trabajando, los resultados de la densidad de flujo son mostrados en la tabla 3.18:

Tabla 3.18: Densidades y flujos de energía de las galaxias MRK501, 3C382, NGC3665, AP LIBRA, ON325.

Objeto	Densidad de flujo de energía	Flujo de energía
MRK 501 <sub>H</sub>	0.032 Jy	$6.070 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
MRK 501 <sub>J</sub>	0.018 Jy	$4.423 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
MRK 501 <sub>K'</sub>	0.089 Jy	$1.224 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
3C382 <sub>H</sub>	0.018 Jy	$3.394 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
3c382 <sub>J</sub>	0.005 Jy	$1.319 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
NGC 3665 <sub>H</sub>	0.220 Jy	$4.109 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
NGC 3665 <sub>J</sub>	0.067 Jy	$1.604 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
NGC 3665 <sub>K'</sub>	0.522 Jy	$7.198 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
AP Libra <sub>H</sub>	0.011 Jy	$2.003 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
AP Libra <sub>J</sub>	0.004 Jy	$9.690 \times 10^{-12} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
AP Libra <sub>K'</sub>	0.040 Jy	$5.478 \times 10^{-11} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$
ON 325 <sub>J</sub>	0.001 Jy	$2.589 \times 10^{-12} (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$

La Luminosidad la calculamos con la siguiente ecuación:

$$L = 4\pi S_{\text{filtro}} d^2 \quad (3.2)$$

donde  $d$  es la distancia que se obtiene de la ley de Hubble, la cual es expresada de la manera siguiente:

$$d = z \left( \frac{c}{H} \right) \quad (3.3)$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz ( $300,000 \text{ km s}^{-1}$ ),  $z$  el corrimiento al rojo (del objeto en cuestión) y  $H$  la constante de Hubble (tomamos el valor de  $H = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ , Perman *et al.* 1996), los corrimientos al rojo de los objetos los obtuvimos de NED, entonces tenemos que los valores para las distancias son: (tabla 3.19)

Tabla 3.19: Valores de las distancias de los objetos MRK501, 3C382, AP LIBRA, NGC3665 y ON325

Objeto	$z$	$d$ (Mpc)	$d$ (cm)
MRK 501	0.034	134.652 Mpc	$4.15 \times 10^{26}$ cm
3C382	0.058	231.480 Mpc	$7.14 \times 10^{26}$ cm
NGC 3665	0.007	27.753 Mpc	$8.56 \times 10^{26}$ cm
AP Libra	0.049	194.400 Mpc	$6.00 \times 10^{26}$ cm
ON 325	0.130	520.000 Mpc	$1.60 \times 10^{27}$ cm

entonces tenemos que los valores para la luminosidad se muestran en la tabla 3.20:

Tabla 3.20: Luminosidades de las galaxias en los diferentes filtros en los que fueron observadas.

Objeto	Luminosidad $\text{erg s}^{-1}$
MRK 501 <sub>H</sub>	$1.314 \times 10^{44} \text{erg s}^{-1}$
MRK 501 <sub>J</sub>	$9.573 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
MRK 501 <sub>K'</sub>	$2.648 \times 10^{44} \text{erg s}^{-1}$
3C382 <sub>H</sub>	$2.180 \times 10^{44} \text{erg s}^{-1}$
3c382 <sub>J</sub>	$8.476 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
NGC 3665 <sub>H</sub>	$3.863 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
NGC 3665 <sub>J</sub>	$1.508 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
NGC 3665 <sub>K'</sub>	$6.768 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
AP Libra <sub>H</sub>	$9.062 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
AP Libra <sub>J</sub>	$4.384 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$
AP Libra <sub>K'</sub>	$2.478 \times 10^{44} \text{erg s}^{-1}$
ON 325 <sub>J</sub>	$8.329 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$

Con los datos obtenidos en las tablas 3.14 , 3.15 y 3.18, que son los que calculamos en este trabajo de tesis, podemos construir la Distribución Espectral de Energía. En las figuras 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14, presentamos la distribución Espectral de Energía (DEE) para cada una de las galaxias observadas.

Figura 3.11: Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia MRK 501.

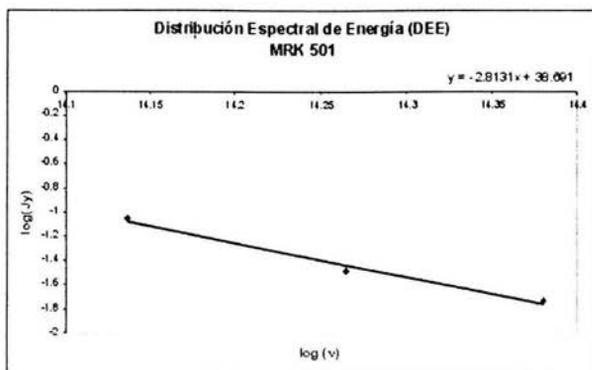


Figura 3.12: Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia 3C382.

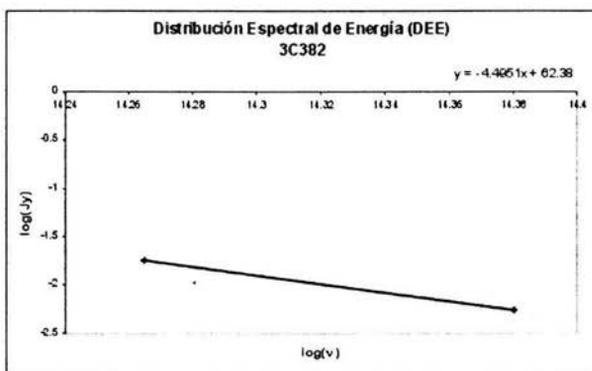


Figura 3.13: Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia NGC 3665.

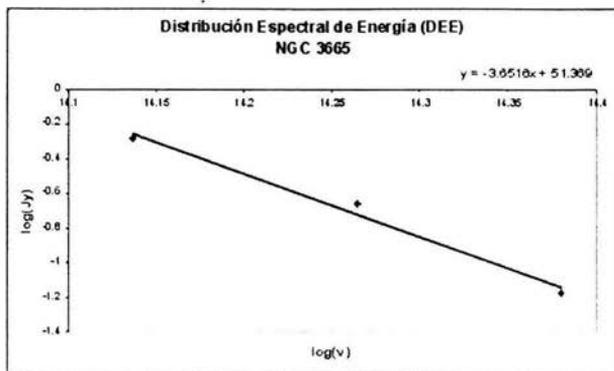
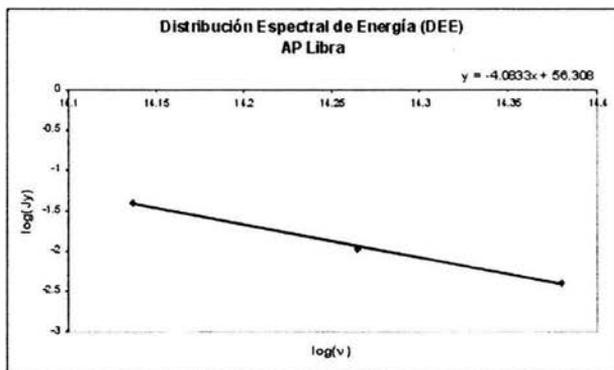


Figura 3.14: Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia AP Libra.



Para la imagen ON 325 no pudimos construir la DEE, solo contamos con un dato en el filtro  $J$ .

Las rectas ajustadas, que se muestran en cada grafica, corresponden al ajuste de los índices espectrales, las pendientes, estos los calculamos debido a que nos dan información sobre el tipo de proceso que predomina en la generación de energía en cada galaxia.

Las pendientes o índice espectral, debido a la contribución en el cercano infrarrojo (NIR), los mostramos en la tabla 3.21.

Tabla 3.21: Índices espectrales para el *NIR*.

$\alpha_{MRK\ 501}$	-2.813
$\alpha_{3C382}$	-4.495
$\alpha_{NGC\ 3665}$	-3.652
$\alpha_{AP\ Libra}$	-4.083

Las imágenes en el cercano infrarrojo, en los filtros J, H y K', que obtuvimos se muestran en las figuras 3.2.1 hasta la 3.2.12.

Imágenes de la galaxia MRK 501, en los distintos filtros.

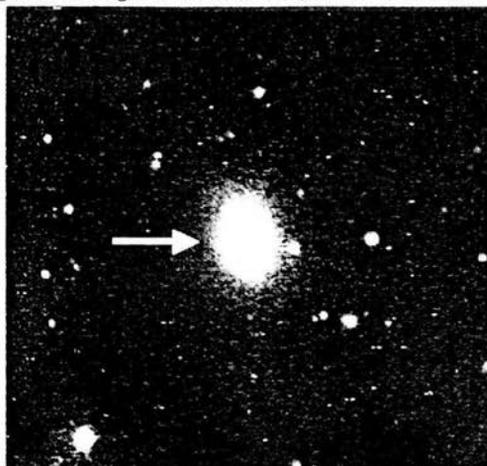


Figura 3.2.1 MRK 501, filtro J.

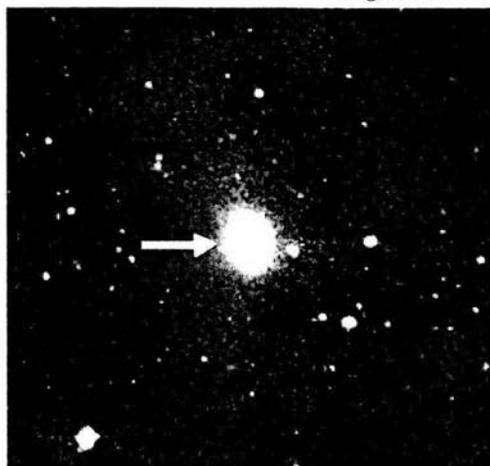


Figura 3.2.2 MRK 501, filtro H.



Figura 3.2.3 MRK 501, filtro K'.

Imágenes de la galaxia 3C382, en los distintos filtros.

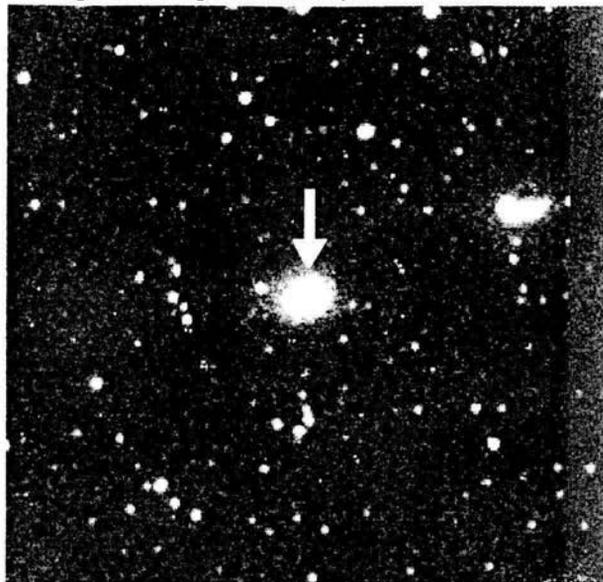


Figura 3.2.4 3C382, filtro J.

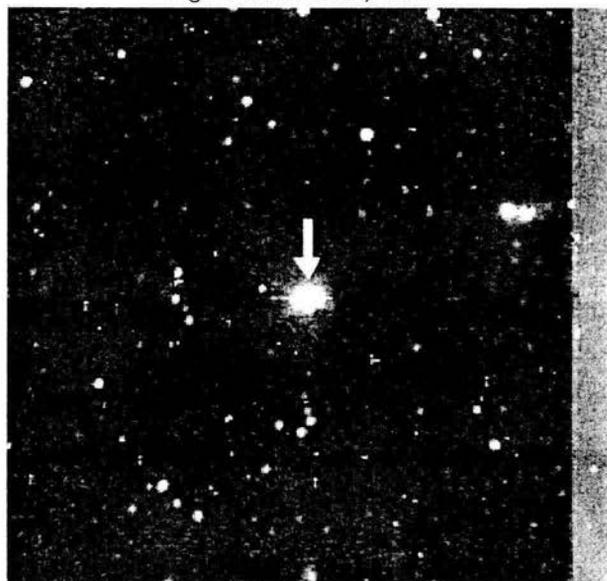


Figura 3.2.5 3C382, filtro H.

Imágenes de la galaxia NGC 3665, en los distintos filtros.

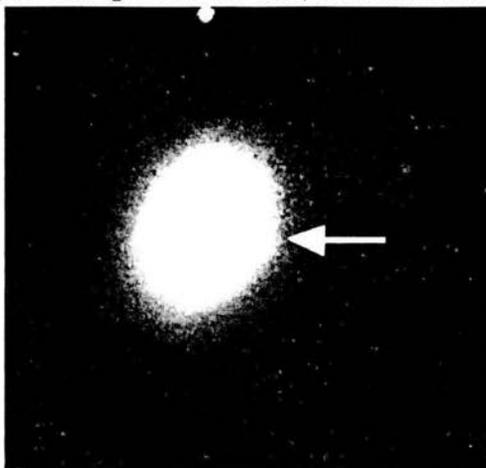


Figura 3.2.6 NGC 3665, filtro J.

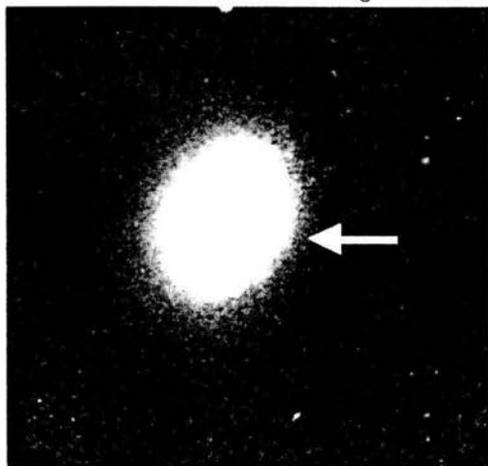


Figura 3.2.7 NGC 3665, filtro H.

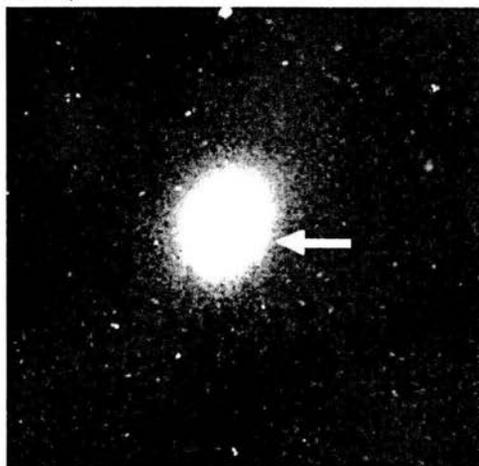


Figura 3.2.8 NGC 3665, filtro K'.

Imágenes de la galaxia AP Libra, en los distintos filtros.

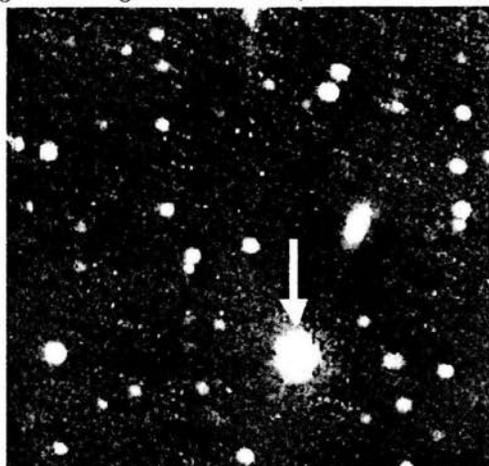


Figura 3.2.9 AP Libra, filtro J.



Figura 3.2.10 AP Libra, filtro H.

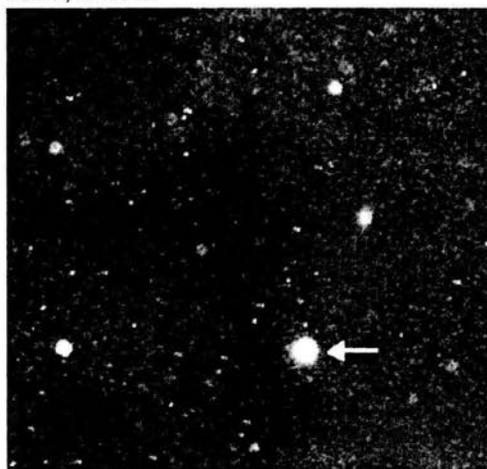


Figura 3.2.11 AP Libra, filtro K'.

Imágen de la galaxia ON 325.

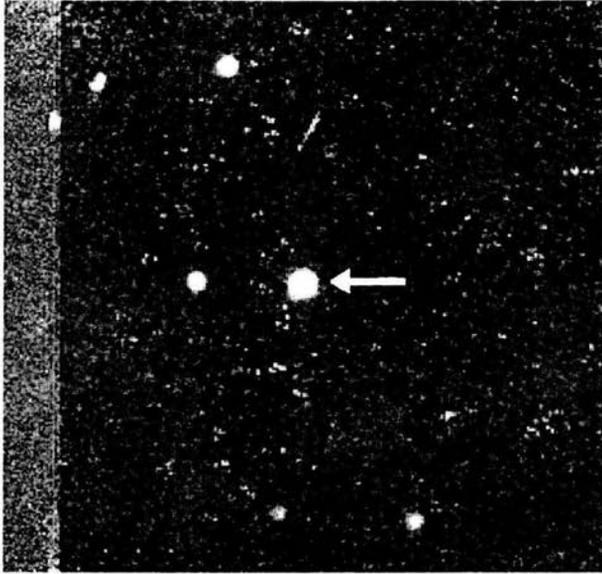


Figura 3.2.11 ON 325, filtro J.

### 3.3. Fotometría superficial.

En la sección 3.6 se reportó la fotometría de apertura de las galaxias *MRK 501*, *3C382*, *NGC 3665*, *AP Libra* y *ON 325*, de las cuales *MRK 501* y *NGC 3665* son objetos extendidos, y como contamos con imágenes bidimensionales, podemos realizar un estudio más detallado de estos dos objetos por medio de la fotometría de multiapertura, también llamada fotometría de superficie, la cual nos permite conocer la distribución de brillo superficial de una fuente extendida por medio de anillos concéntricos los cuales barren toda la superficie del objeto en estudio (ver secc. 2.4.2). En nuestro caso no serán anillos concéntricos, sino mas bien elipses concéntricas.

En el Capítulo 2, describimos el método usado para calcular la fotometría superficial por lo que en las siguientes tablas (3.22 a la 3.27) mostramos los resultados numéricos obtenidos del análisis fotométrico realizado con la rutina *ellipse* dentro de *stdas* de IRAF.

La distribución de las columnas en cada tabla es de la siguiente manera: en la columna uno se encuentra la posición sobre el semieje mayor, medido en segundos de arco (arcsec) (SMA); en la columna dos se tiene la Intensidad instrumental (INTENS); en la columna tres se encuentra el error asociado a la Intensidad instrumental (IINT\_ERR); en la columna cuatro se encuentra la elipticidad (ELLIP); en la columna cinco se tiene el error asociado a

la elipticidad (ELLIP\_ERR); en la columna seis se tiene el ángulo de posición medido en grados (PA) medido del norte hacia la izquierda (Este); en la columna siete se tiene el error asociado al ángulo de posición medido en grados (PA\_ERR); en la columna ocho se tiene la posición sobre el semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$  (RSMA) las unidades están en segundos de arco a la  $\frac{1}{4}$  (arcsec a la potencia  $\frac{1}{4}$ ); en la columna nueve se tiene la magnitud instrumental del objeto a diferente radios (MAG) y en la columna diez se tiene el error asociado a la magnitud instrumental del objeto (MAG\_ERR).

Tabla 3.22: Resultados de MRK 501 obtenidos por *ellipse* para el filtro H.

SMA (arcsec)	INTENS	INT_ERR	ELLIP	ELLIP_ERR	PA (grados)	PA_ERR (grados)	RSMA (arcsec <sup>1/4</sup> )	MAG	MAG_ERR
2.40	1.378	0.0180	0.127	0.0195	13.58	4.819	1.24	-0.348	0.0143
2.64	1.134	0.0188	0.123	0.0229	13.58	5.812	1.27	-0.136	0.0182
2.90	0.937	0.0128	0.139	0.0185	11.48	4.092	1.31	0.071	0.0147
3.19	0.771	0.0081	0.148	0.0143	9.42	3.031	1.34	0.282	0.0115
3.51	0.642	0.0042	0.166	0.0092	8.23	1.742	1.37	0.482	0.0071
3.87	0.542	0.0034	0.182	0.0080	8.34	1.392	1.40	0.686	0.0067
4.25	0.451	0.0024	0.198	0.0095	8.63	1.056	1.44	0.885	0.0057
4.68	0.366	0.0020	0.199	0.0089	10.99	1.120	1.47	1.092	0.0080
5.14	0.303	0.0018	0.209	0.0098	12.99	1.029	1.51	1.297	0.0053
5.66	0.243	0.0020	0.213	0.0085	12.36	1.273	1.54	1.534	0.0089
6.22	0.190	0.0017	0.215	0.0089	12.57	1.332	1.58	1.801	0.0099
6.85	0.146	0.0019	0.216	0.0146	13.58	2.194	1.62	2.087	0.0144
7.53	0.122	0.0028	0.242	0.0178	12.69	2.397	1.66	2.282	0.0248
8.29	0.079	0.0028	0.185	0.0199	10.77	3.375	1.70	2.758	0.0394
9.11	0.053	0.0024	0.198	0.0172	13.48	2.781	1.74	3.185	0.0505
10.03	0.025	0.0043	0.199	0.0734	13.71	11.918	1.78	4.009	0.2063
11.03	0.015	0.0028	0.168	0.0773	35.68	12.486	1.82	4.562	0.2232

Tabla 3.23: Resultados de MRK 501 obtenidos por *ellipse* para el filtro J.

SMA (arcsec)	INTENS	INT_ERR	ELLIP	ELLIP_E RR	PA (grados)	PA_ERR (grados)	RSMA (arcsec**(1/4))	MAG	MAG_ERR
2.40	1.554	0.0096	0.130	0.0093	14.30	2.243176	1.24	-0.478	0.0087
2.64	1.292	0.0081	0.136	0.0093	14.32	2.098581	1.27	-0.278	0.0088
2.90	1.074	0.0059	0.143	0.0080	13.68	1.732354	1.31	-0.077	0.0090
3.19	0.998	0.0038	0.144	0.0095	14.39	1.416641	1.34	0.132	0.0047
3.51	0.756	0.0044	0.166	0.0089	14.12	1.086442	1.37	0.303	0.0083
3.87	0.649	0.0048	0.183	0.0109	12.97	1.895122	1.40	-0.470	0.0080
4.25	0.565	0.0052	0.199	0.0141	13.30	2.281942	1.44	0.640	0.0103
4.68	0.483	0.0041	0.223	0.0124	15.21	1.81703	1.47	0.790	0.0092
5.14	0.424	0.0042	0.240	0.0130	15.34	1.712715	1.51	0.933	0.0107
5.66	0.343	0.0044	0.224	0.0165	12.73	2.25316	1.54	1.163	0.0139
6.22	0.281	0.0034	0.229	0.0137	13.37	1.938978	1.58	1.377	0.0133
6.85	0.224	0.0025	0.224	0.0140	13.62	2.010036	1.62	1.625	0.0124
7.53	0.190	0.0022	0.247	0.0112	14.02	1.483273	1.66	1.804	0.0124
8.29	0.148	0.0018	0.247	0.0141	17.61	1.961137	1.70	2.074	0.0131
9.11	0.121	0.0028	0.234	0.0214	14.99	2.965134	1.74	2.291	0.0258
10.03	0.101	0.0016	0.268	0.0128	11.32	1.589322	1.78	2.486	0.0171
11.03	0.079	0.0018	0.289	0.0159	12.97	1.849581	1.82	2.757	0.0244
12.13	0.065	0.0016	0.257	0.0200	12.97	2.563367	1.87	3.148	0.0319
13.34	0.037	0.0023	0.257	0.0588	12.97	7.547009	1.91	3.596	0.0677

Tabla 3.24: Resultados de MRK 501 obtenidos por *ellipse* para el filtro K'.

SMA (arcsec)	INTENS	INT_ERR	ELLIP	ELLIP_E RR	PA (grados)	PA_ERR (grados)	RSMA (arcsec**(1/4))	MAG	MAG_ERR
2.40	1.699	0.0061	0.120	0.0053	13.48	1.363	1.24	-0.575	0.0039
2.64	1.420	0.0069	0.136	0.0071	11.57	1.603	1.27	-0.381	0.0053
2.90	1.186	0.0058	0.148	0.0074	10.06	1.544	1.31	-0.185	0.0053
3.19	0.993	0.0045	0.156	0.0067	9.51	1.360	1.34	0.008	0.0050
3.51	0.830	0.0038	0.162	0.0062	9.28	1.194	1.37	0.203	0.0040
3.87	0.685	0.0040	0.168	0.0064	10.66	1.572	1.40	0.410	0.0064
4.25	0.578	0.0046	0.183	0.0124	13.25	2.139	1.44	0.595	0.0088
4.68	0.501	0.0062	0.205	0.0208	14.38	3.214	1.47	0.750	0.0135
5.14	0.449	0.0067	0.238	0.0187	15.81	2.600	1.51	0.869	0.0163
5.66	0.366	0.0042	0.225	0.0149	13.29	2.148	1.54	1.090	0.0124
6.22	0.299	0.0039	0.215	0.0160	8.70	2.404	1.58	1.312	0.0148
6.85	0.248	0.0041	0.223	0.0164	15.24	2.246	1.62	1.513	0.0179
7.53	0.184	0.0039	0.209	0.0256	15.24	3.603	1.66	1.838	0.0234
8.29	0.158	0.0036	0.249	0.0291	15.82	3.833	1.70	2.006	0.0253
9.11	0.115	0.0035	0.166	0.0323	15.62	6.054	1.74	2.351	0.0339
10.03	0.089	0.0032	0.166	0.0291	15.82	5.457	1.78	2.629	0.0363
11.03	0.080	0.0030	0.237	0.0398	22.65	4.658	1.82	2.743	0.0421
12.13	0.053	0.0028	0.213	0.0626	22.65	9.451	1.87	3.193	0.0800

Tabla 3.25: Resultados de NGC 3665 obtenidos por *ellipse* para el filtro H.

SMA (arcsec)	INTENS	INT_ERR	ELLIP	ELLIP_ERR	PA (grados)	PA_ERR (grados)	RSMA (arcsec**1/4)	MAG	MAG_ERR
2.40	18.848	0.0596	0.231	0.0068	-25.62	0.960	1.24	-3.188	0.0034
2.64	16.772	0.0604	0.238	0.0078	-25.96	1.068	1.27	-3.061	0.0039
2.90	14.922	0.0551	0.226	0.0077	-25.77	1.135	1.31	-2.935	0.0040
3.19	13.237	0.0504	0.221	0.0080	-26.16	1.173	1.34	-2.804	0.0041
3.51	11.709	0.0433	0.215	0.0077	-26.39	1.172	1.37	-2.671	0.0040
3.87	10.367	0.0361	0.210	0.0071	-26.88	1.100	1.40	-2.530	0.0038
4.25	9.148	0.0271	0.204	0.0060	-26.97	0.956	1.44	-2.403	0.0032
4.68	8.074	0.0211	0.200	0.0054	-27.17	0.870	1.47	-2.268	0.0028
5.14	7.157	0.0178	0.199	0.0051	-27.20	0.815	1.51	-2.137	0.0027
5.66	6.348	0.0144	0.201	0.0046	-26.91	0.713	1.54	-2.007	0.0025
6.22	5.617	0.0094	0.204	0.0033	-26.63	0.514	1.58	-1.874	0.0018
6.85	4.966	0.0065	0.213	0.0032	-26.97	0.461	1.62	-1.747	0.0019
7.53	4.415	0.0115	0.217	0.0050	-27.20	0.745	1.66	-1.612	0.0028
8.29	3.895	0.0063	0.217	0.0030	-26.56	0.437	1.70	-1.476	0.0018
9.11	3.419	0.0036	0.219	0.0020	-26.12	0.268	1.74	-1.335	0.0011
10.03	3.006	0.0030	0.221	0.0018	-25.59	0.264	1.78	-1.196	0.0011
11.03	2.637	0.0036	0.218	0.0025	-27.07	0.360	1.82	-1.053	0.0015
12.13	2.312	0.0030	0.215	0.0027	-26.42	0.408	1.87	-0.910	0.0014
13.34	2.052	0.0035	0.215	0.0033	-26.69	0.462	1.91	-0.760	0.0019
14.68	1.822	0.0028	0.217	0.0032	-27.95	0.472	1.95	-0.651	0.0017
16.15	1.622	0.0028	0.211	0.0040	-28.28	0.612	2.00	-0.525	0.0019
17.76	1.469	0.0026	0.216	0.0037	-28.22	0.553	2.05	-0.418	0.0019
19.54	1.314	0.0026	0.215	0.0046	-29.44	0.680	2.10	-0.256	0.0022
21.46	1.195	0.0023	0.223	0.0041	-31.36	0.597	2.15	-0.164	0.0021
23.64	1.068	0.0025	0.216	0.0072	-30.60	1.075	2.21	-0.072	0.0025

Tabla 3.26: Resultados de NGC 3665 obtenidos por *ellipse* para el filtro J.

SMA (arcsec)	INTENS	INT_ERR	ELLIP	ELLIP_E RR	PA (grados)	PA_ERR (grados)	RSMA (arcsec**1/4)	MAG	MAG_ERR
2.40	4.462	0.0203	0.266	0.0066	-19.86	1.206	1.24	-1.631	0.0040
2.64	4.024	0.0202	0.266	0.0101	-19.71	1.289	1.27	-1.512	0.0055
2.90	3.562	0.0160	0.259	0.0060	-20.62	1.173	1.31	-1.379	0.0046
3.19	3.146	0.0175	0.246	0.0113	-21.61	1.465	1.34	-1.244	0.0060
3.51	2.747	0.0188	0.226	0.0146	-22.30	2.089	1.37	-1.097	0.0074
3.87	2.410	0.0167	0.204	0.0148	-22.57	2.248	1.40	-0.965	0.0075
4.25	2.118	0.0117	0.192	0.0114	-22.46	1.893	1.44	-0.815	0.0060
4.68	1.856	0.0093	0.179	0.0102	-21.68	1.791	1.47	-0.672	0.0055
5.14	1.626	0.0062	0.172	0.0078	-23.00	1.419	1.51	-0.526	0.0042
5.66	1.441	0.0051	0.178	0.0068	-24.06	1.208	1.54	-0.397	0.0036
6.22	1.280	0.0043	0.191	0.0082	-23.66	1.038	1.58	-0.266	0.0036
6.85	1.123	0.0037	0.166	0.0058	-23.79	0.946	1.62	-0.126	0.0036
7.53	0.979	0.0032	0.160	0.0058	-23.36	0.931	1.66	0.023	0.0036
8.29	0.863	0.0024	0.213	0.0046	-22.74	0.675	1.70	0.160	0.0030
9.11	0.740	0.0012	0.211	0.0024	-23.36	0.372	1.74	0.327	0.0018
10.03	0.624	0.0013	0.206	0.0032	-24.40	0.464	1.78	0.513	0.0023
11.03	0.534	0.0014	0.207	0.0041	-25.32	0.639	1.82	0.681	0.0029
12.13	0.459	0.0013	0.213	0.0044	-25.17	0.658	1.87	0.846	0.0030
13.34	0.395	0.0010	0.217	0.0040	-26.03	0.563	1.91	1.008	0.0027
14.68	0.339	0.0008	0.215	0.0037	-26.03	0.559	1.96	1.173	0.0026
16.15	0.291	0.0008	0.216	0.0041	-24.21	0.610	2.00	1.341	0.0029
17.76	0.248	0.0007	0.212	0.0044	-25.46	0.675	2.05	1.512	0.0031
19.54	0.210	0.0006	0.205	0.0043	-25.66	0.665	2.10	1.694	0.0030
21.46	0.180	0.0006	0.209	0.0042	-27.46	0.650	2.15	1.859	0.0034
23.64	0.152	0.0006	0.216	0.0061	-28.05	0.906	2.21	2.046	0.0044

Tabla 3.27: Resultados de NGC 3665 obtenidos por *ellipse* para el filtro K'.

SMA (arcsec)	INTENS	INT_ERR	ELLIP	ELLIP_E RR	PA (grados)	PA_ERR (grados)	RSMA (arcsec <sup>2</sup> /4)	MAG	MAG_ERR
2.40	16.171	0.0408	0.226	0.0046	-23.64	0.671	1.24	-3.148	0.0024
2.64	16.143	0.0348	0.229	0.0040	-24.52	0.589	1.27	-3.020	0.0023
2.90	14.184	0.0309	0.229	0.0041	-24.30	0.585	1.31	-2.879	0.0024
3.19	12.401	0.0279	0.225	0.0040	-24.95	0.606	1.34	-2.734	0.0024
3.51	10.828	0.0258	0.222	0.0044	-24.96	0.650	1.37	-2.586	0.0026
3.87	9.467	0.0234	0.220	0.0046	-25.80	0.669	1.40	-2.439	0.0027
4.25	8.277	0.0188	0.221	0.0040	-26.04	0.591	1.44	-2.295	0.0024
4.68	7.210	0.0160	0.220	0.0040	-26.16	0.585	1.47	-2.146	0.0024
5.14	6.254	0.0159	0.215	0.0044	-25.57	0.663	1.51	-1.990	0.0028
5.66	5.400	0.0141	0.210	0.0046	-26.15	0.714	1.54	-1.831	0.0028
6.22	4.727	0.0116	0.216	0.0043	-26.66	0.640	1.58	-1.687	0.0027
6.85	4.110	0.0120	0.218	0.0047	-26.21	0.701	1.62	-1.535	0.0032
7.53	3.531	0.0121	0.216	0.0056	-26.16	0.834	1.66	-1.370	0.0037
8.29	3.046	0.0086	0.219	0.0043	-26.64	0.629	1.70	-1.211	0.0031
9.11	2.586	0.0071	0.215	0.0040	-25.54	0.593	1.74	-1.031	0.0030
10.03	2.182	0.0072	0.214	0.0046	-24.62	0.661	1.78	-0.847	0.0036
11.03	1.816	0.0066	0.206	0.0076	-27.63	1.187	1.82	-0.648	0.0057
12.13	1.561	0.0058	0.224	0.0057	-29.27	0.831	1.87	-0.483	0.0040
13.34	1.320	0.0062	0.220	0.0066	-29.45	1.002	1.91	-0.301	0.0051
14.68	1.087	0.0060	0.203	0.0077	-27.64	1.209	1.96	-0.090	0.0060
16.15	0.863	0.0085	0.236	0.0124	-31.60	1.709	2.00	0.053	0.0068
17.76	0.787	0.0054	0.224	0.0100	-39.42	1.438	2.05	0.260	0.0075
19.54	0.646	0.0047	0.214	0.0086	-30.25	1.318	2.10	0.469	0.0078
21.40	0.565	0.0048	0.246	0.0066	-32.00	1.321	2.15	0.820	0.0094
23.64	0.488	0.0054	0.254	0.0114	-36.76	1.475	2.21	0.823	0.0126

con los datos de las tablas (3.22 a la 3.27) se generaron las siguientes gráficas (figuras 3.15 a la 3.26) que son la fotometría superficial que se obtuvo con la rutina *ellipse* de *stdas* dentro de IRAF, al graficar el radio desde el centro de la galaxia (en segundos de arco) contra la magnitud instrumental para cada filtro, podemos conocer las diferentes regiones de las galaxias MRK 501 y NGC 3665.

Figura 3.15: Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro H.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor.

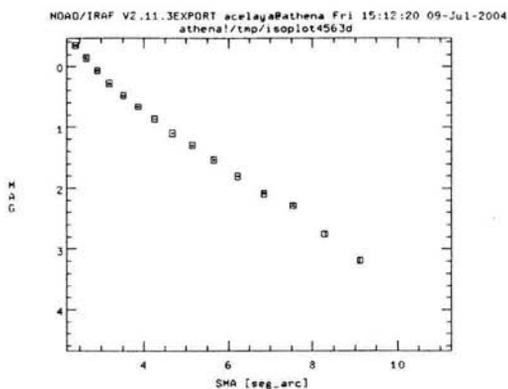


Figura 3.16: Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro H.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$ .

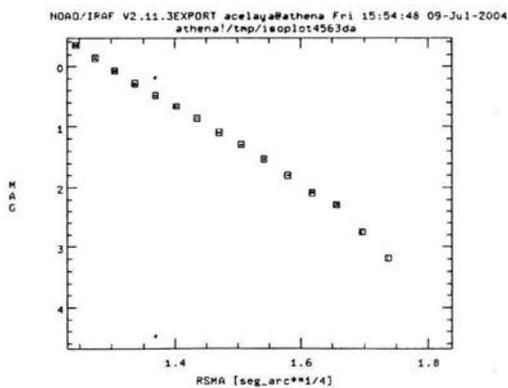


Figura 3.17: Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro J.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor.

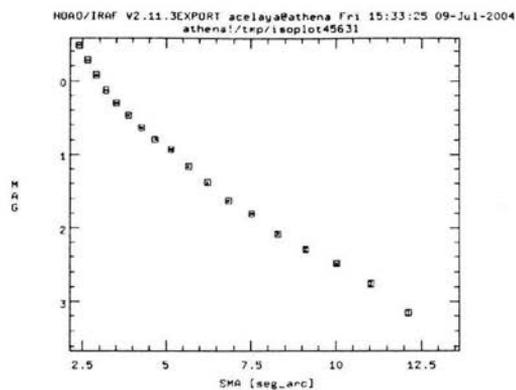


Figura 3.18: Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro J.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$ .

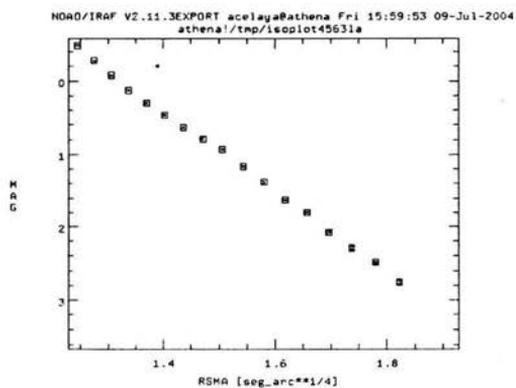


Figura 3.19: Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro K'.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor.

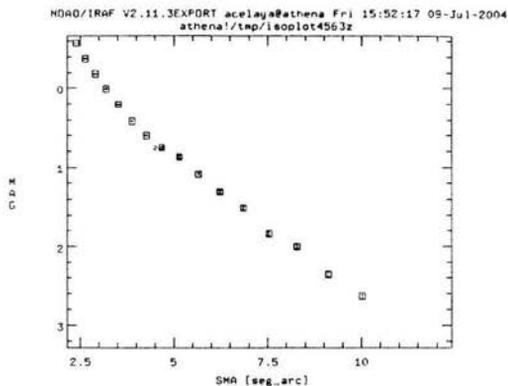


Figura 3.20: Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro K'.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$ .

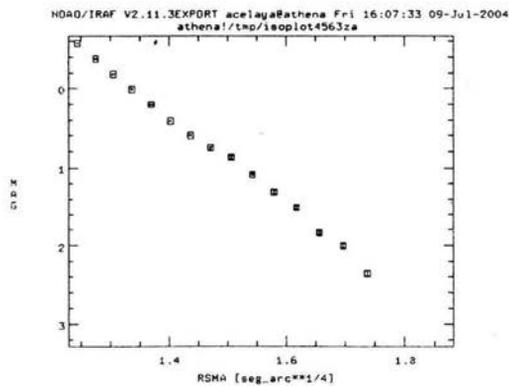


Figura 3.21: Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro H.

Magnitud instrumental vs. Semieje.

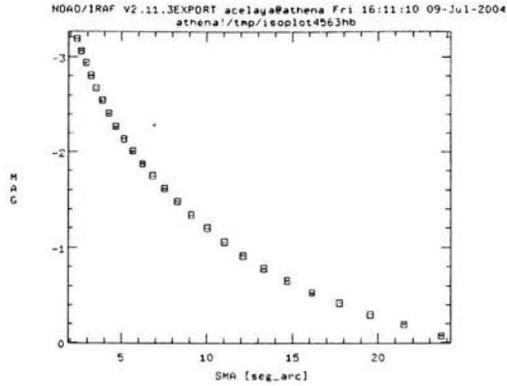


Figura 3.22: Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro H.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$ .

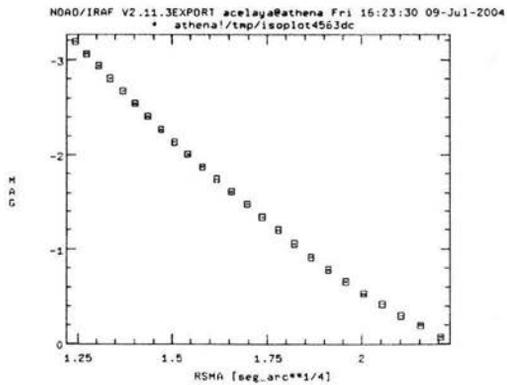


Figura 3.23: Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro J.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor.

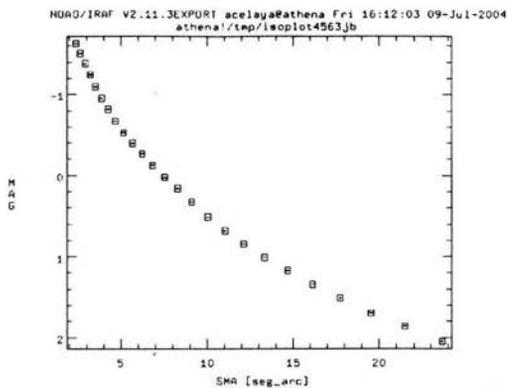


Figura 3.24: Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro J.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$ .

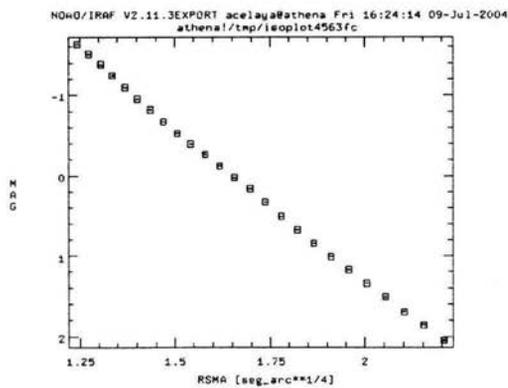


Figura 3.25: Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro K'.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor.

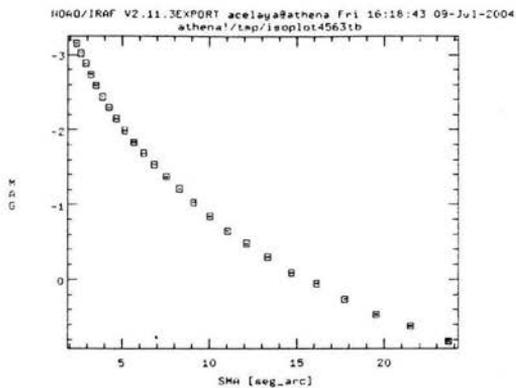
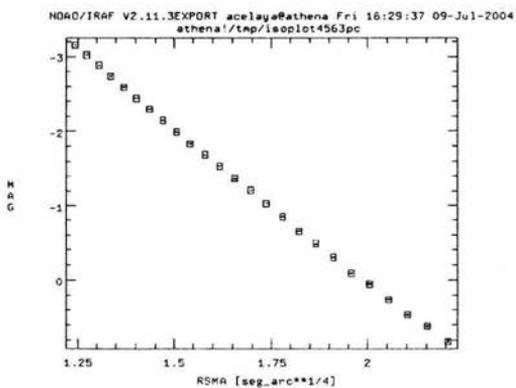


Figura 3.26: Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro K'.

Magnitud instrumental vs. Semieje mayor elevado a la potencia  $\frac{1}{4}$ .



Las gráficas fueron obtenidas con la rutina de *isoplot* de *stsdas* dentro de IRAF.

El análisis de estos resultados se muestran en la sección (3.6).

A continuación en las figuras 3.27 3.32 mostramos las elipses ajustadas y presentadas en

las tablas 3.22 a la 3.27 y graficadas en las figuras 3.15 a la 3.26.

Figura 3.27: Elipses ajustadas en la galaxia MRK 501, filtro J.

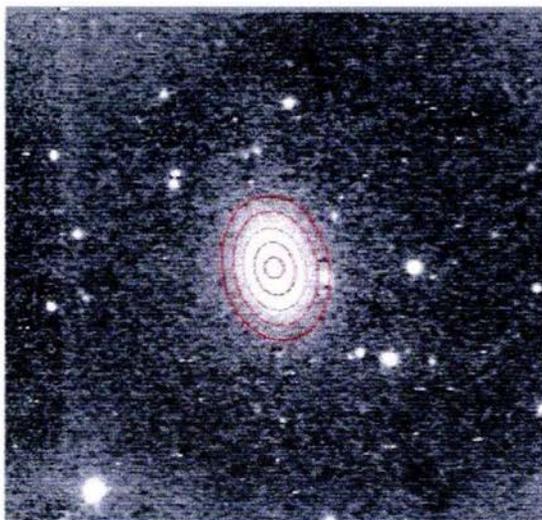


Figura 3.28: Elipses ajustadas en la galaxia MRK 501, filtro H.

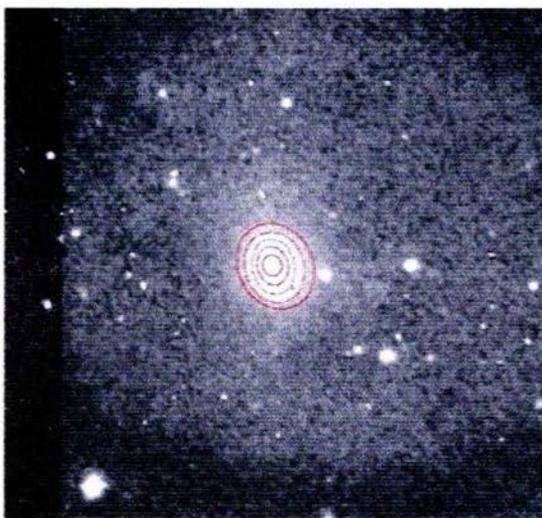


Figura 3.29: Elipses ajustadas en la galaxia MRK 501, filtro K'.



Figura 3.30: Elipses ajustadas en la galaxia NGC 3665, filtro J.

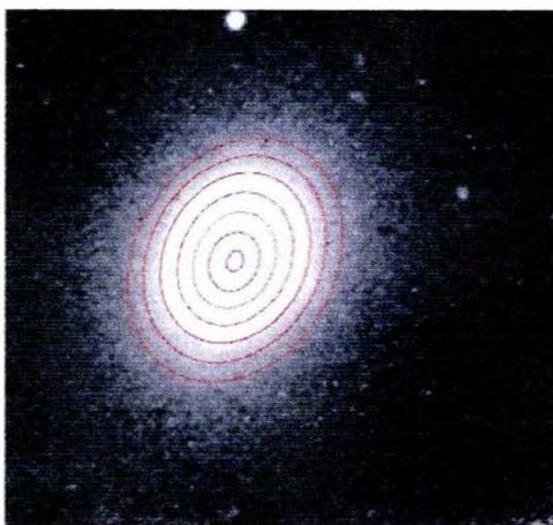


Figura 3.31: Elipses ajustadas en la galaxia NGC 3665, filtro H.

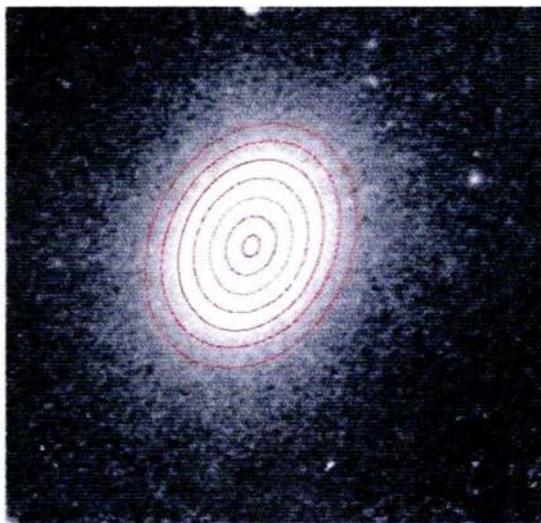
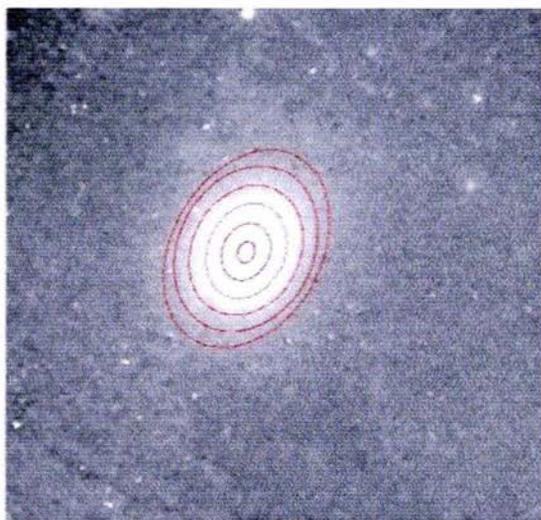


Figura 3.32: Elipses ajustadas en la galaxia NGC 3665, filtro K<sub>s</sub>



Las elipses ajustadas para la fotometría superficial se muestran en color rojo; sin embargo, sólo mostramos las más representativas, para no saturar la imagen con los anillos. Estas imágenes fueron generadas con *IRAF*, con la subrutina *isoimaps* que está dentro del paquete *isophote*. El análisis de estas imágenes, así como los datos, lo presento en la sección 3.6.

### 3.4. Análisis de resultados fotométricos (apertura) de las galaxias observadas.

#### 3.4.1. Magnitudes, flujos y colores.

A partir de los datos reportados de los objetos MRK 501, 3C382 NGC3665 y AP Libra, para los que existen muchas referencias podemos comparar los resultados que obtuvimos con los datos reportados por otras personas, para ver que tan buenos son nuestros valores, esto es con el fin de decir si los resultados obtenidos para el objeto ON 325, en el que no existen datos reportados en el cercano IR, son óptimos o no, y como referencia para futuros trabajos.

En las siguientes tablas comparamos los datos de la galaxia MRK 501 y 3C382, obtenidos de la literatura y los que obtuvimos. Estos dos objetos se observaron en la noche del 9 al 10 de marzo de 1999, tenemos que el *seeing* promedio de los filtros es 1.17, 1.13 y 1.13 para los filtro J, H y K', respectivamente, esto es que al nivel del *seeing* fue una buena noche.

- MKR 501

Tabla 3.28: Tabla comparativa de la galaxia MRK 501.

Parámetros	Nuestro Trabajo	Literatura
Magnitud en el filtro H	10.600±1.41 mag	10.72 ±0.05 mag
Magnitud en el filtro J	10.630±0.95 mag	11.37±0.07 mag
Magnitud en el filtro K'	10.190±1.37 mag	10.29±0.03 mag
Densidad de flujo en el filtro H	3.25x10 <sup>-2</sup> Jy	5.54x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro J	1.84x10 <sup>-2</sup> Jy	4.25x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro K'	8.86x10 <sup>-2</sup> Jy	5.11x10 <sup>-2</sup> Jy
(H-K')	0.41 mag	0.47 mag
(J-H)	0.03 mag	0.65 mag

Tenemos que el error de nuestros datos comparados con los datos reportados son del 1.12% para el filtro H, del 6.51% para el filtro J y del 0.97% para el filtro K', por lo que nuestros datos reportados tienen una estimación muy buena.

- 3C382

Tabla 3.29: Tabla comparativa de la galaxia 3C382.

Parámetros	Nuestro Trabajo	Literatura
Magnitud en el filtro H	11.230±1.45 mag	11.041±0.034 mag
Magnitud en el filtro J	11.950±1.00 mag	11.874±0.032 mag
Magnitud en el filtro K'	sin referencia	10.320±0.033 mag
Densidad de flujo en el filtro H	1.82x10 <sup>-2</sup> Jy	3.92x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro J	5.49x10 <sup>-3</sup> Jy	2.83x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro K'	sin referencia	4.97x10 <sup>-2</sup> Jy
(H-K')	Sin referencia	0.721 mag
(J-H)	0.72	0.833 mag

Para este objeto tenemos que el error existente entre los valores que encontramos contra los valores reportados son del 1.71 % sobre valuado con respecto al valor reportado en el filtro H y del 0.64 % sobre valuado con respecto al valor reportado en el filtro J, en el filtro K' no tenemos forma de comparar puesto que no se hicieron observaciones en el filtro K' para este objeto, por lo que para los filtro H y J tenemos que nuestras estimaciones son muy buenas.

Para los siguientes tres objetos: NGC 3665, AP Libra y ON 325, observados en la noche del 10 al 11 de marzo de 1999, tenemos que el *seeing* promedio de los filtro es: 1.61, 1.72 y 1.63 para los filtro H, J y K', respectivamente. Estos valores no fueron tan buenos como la noche anterior, por lo que podemos esperar un error mayor asociado a las mediciones, esto no implica que el procedimiento para realizar las observaciones esté mal si no que las condiciones atmosféricas no fueron tan buenas como en la noche anterior.

- NGC 3665

Tabla 3.30: Tabla comparativa de la galaxia NGC 3665.

Parámetros	Nuestro Trabajo	Literatura
Magnitud en el filtro H	8.530±1.72 mag	7.926 ±0.011 mag
Magnitud en el filtro J	9.240±1.86 mag	8.621±0.009 mag
Magnitud en el filtro K'	8.260±1.41 mag	7.682±0.014 mag
Densidad de flujo en el filtro H	2.20x10 <sup>-1</sup> Jy	6.92x10 <sup>-1</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro J	6.68x10 <sup>-2</sup> Jy	5.67x10 <sup>-1</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro K'	5.22x10 <sup>-1</sup> Jy	5.64x10 <sup>-1</sup> Jy
(H-K)	0.26 mag	0.244 mag
(J-H)	0.71 mag	0.695 mag

El error entre los datos obtenidos contra los datos reportados son del 7.62 % sobrevaluado con respecto al valor reportado en el filtro H, del 7.18 % sobrevaluado con respecto al valor reportado en el filtro J y del 7.52 % sobrevaluado con respecto al valor reportado en el filtro K', por lo que tenemos que nuestros resultados encontrados siguen estando dentro de un intervalo aceptable, aunque no tan buenos como los encontrados en los objetos observados en la noche anterior.

\*AP Libra

Tabla 3.31: Tabla comparativa de la galaxia AP Libra.

Parámetros	Nuestro Trabajo	Literatura
Magnitud en el filtro H	11.810±1.9 mag	11.449±0.056 mag
Magnitud en el filtro J	12.280±2.03 mag	12.037±0.043 mag
Magnitud en el filtro K'	11.060±1.54 mag	10.772±0.055 mag
Densidad de flujo en el filtro H	1.07x10 <sup>-2</sup> Jy	2.70x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro J	4.043x10 <sup>-3</sup> Jy	2.44x10 <sup>-2</sup> Jy
Densidad de flujo en el filtro K'	3.97x10 <sup>-2</sup> Jy	3.27x10 <sup>-2</sup> Jy
(H-K')	0.75 mag	0.677 mag
(J-H)	0.48 mag	0.588 mag

El error entre los valores encontrados y reportados son de 3.15 % sobrevaluado con respecto al valor reportado en el filtro H, de 2.02 % sobrevaluado con respecto al valor reportado en el filtro J y de 2.67 % sobrevaluado con respecto al valor en el filtro K', por lo que nuestro valores de la magnitud absoluta son una buena estimación, y reflejan de alguna manera el no tan buen *seeing*, comparado con la noche anterior.

- ON 325

Tabla 3.32: Tabla comparativa de la galaxia ON 325.

Parámetros	Nuestro Trabajo	Literatura
Magnitud en el filtro H	sin referencia	sin referencia
Magnitud en el filtro J	$13.720 \pm 2.16$ mag	sin referencia
Magnitud en el filtro K'	sin referencia	sin referencia
Densidad de flujo en el filtro H	sin referencia	sin referencia
Densidad de flujo en el filtro J	$1.07881 \times 10^{-3}$ Jy	sin referencia
Densidad de flujo en el filtro K'	sin referencia	sin referencia
(H-K')	sin referencia	sin referencia
(J-H)	sin referencia	sin referencia

El valor de la magnitud absoluta en el filtro J es un buen valor al cual se puede comparar en futuros trabajos en los que se realicen observaciones en el cercano infrarrojo.

Aludiendo a valor del *seeing* que se tuvo para esta noche del 10 al 11 de marzo, que son valores para una noche considerada típicamente regular, tenemos valores que son comparables a los valores que ya se han reportado por lo que el valor obtenido por nosotros es una estimación muy confiable, aunque no tan buenos como la noche anterior.

Hay que observar que una de las características principales de los objetos BL Lacerta es que son núcleos activos de galaxias variables, por lo que no sabemos si el valor de la magnitud calculada para la galaxia ON 325 pertenece a su mínima actividad o máxima, esta explicación es válida para los objetos anteriores, lo cuales muestran pequeñas discrepancias con respecto a los valores anteriormente reportados.

### 3.4.2. Índices espectrales.

De los valores obtenidos para los índices espectrales (Tabla 3.21), que son las pendientes de las rectas que se ajustaron a los puntos, encontramos que los objetos que son puntuales, tienen pendientes más empinadas con relación a las de los objetos extendidos, aunque siguen siendo muy empinados con respecto a otros NAGs, lo cual es típico en BL Lacerta, pero que se ha hecho poco incapié en el cercano infrarrojo.

En el caso de los objetos extendidos tenemos aún más información en comparación de los objetos puntuales, debido a que la contribución del núcleo puede estar contaminada por la contribución de la galaxia anfitriona; lo cual puede ser debido a la presencia de estrellas rojas de baja masa (K y M) ó polvo (polvo muy caliente  $\sim 2800$  K, calentado por estrellas rojas del tipo K y M, y/o probablemente gigantes rojas) ó por la re-radiación del polvo calentado

por la misma emisión sincrotrónica ó una combinación de estas posibilidades, esto es debido a la menor pendiente de los índices espectrales.

Los valores de los índices espectrales da pie a que podamos discutir sobre el tipo de mecanismo generador de la emisión en el cercano infrarrojo, estos valores nos sugieren que el principal generador de energía es sincrotrón, lo cual es típico de los objetos BL Lacerta, esto se a encontrado en radio y en el óptico, ahora nosotros lo reafirmamos en el cercano infrarrojo, como la fuente principal en los objetos puntuales y en los extendidos igualmente, aunque pueden estar afectados por estrellas ó polvo.

Estos resultados nos lleva a proponer una sub-catalogación de los objetos BL Lacerta en el cercano infrarrojo para los distintos valores de índices espectrales:

- Hiper-empinados en el cercano infrarrojo, para índices espectrales  $4 < \alpha$ .
- Ultra-empinados en el cercano infrarrojo, para índices espectrales  $3 \leq \alpha \leq 4$ .
- Muy-empinados en el cercano infrarrojo, para índices espectrales  $2 \leq \alpha < 3$ .

### 3.5. Resumen de resultados de la fotometría de apertura.

A partir del análisis de los datos reducidos se pudieron deducir algunas de las características físicas de las galaxias MRK 501, 3C382, NGC 3665, ON 325 y AP Libra; las cuales se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 3.33: Características físicas de MRK 501.

Parámetros	Medidas calculadas
Magnitud en el filtro J	$10.630 \pm 1.41$ mag
Magnitud en el filtro H	$10.600 \pm 0.95$ mag
Magnitud en el filtro K'	$10.190 \pm 1.41$ mag
(H-K')	0.41 mag
(J-H)	0.03 mag
Flujo en el filtro J'	$4.423 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro H	$6.070 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro K'	$1.224 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Luminosidad en el filtro J	$9.573 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro H	$1.314 \times 10^{44}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro K'	$2.648 \times 10^{44}$ erg $s^{-1}$
Indice espectral	-2.813

Tabla 3.34: Características físicas de 3C382.

Parámetros	Medidas calculadas
Magnitud en el filtro J	$11.230 \pm 1.45$ mag
Magnitud en el filtro H	$11.950 \pm 1.00$ mag
(J-H)	-0.71 mag
Flujo en el filtro J	$1.319 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro H	$3.394 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Luminosidad en el filtro J	$8.476 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro H	$2.180 \times 10^{44}$ erg $s^{-1}$
Indice espectral	-4.495

Tabla 3.35: Características físicas de NGC 3665.

Parámetros	Medidas calculadas
Magnitud en el filtro J	$9.240 \pm 1.86$ mag
Magnitud en el filtro H	$8.530 \pm 1.72$ mag
Magnitud en el filtro K'	$8.260 \pm 1.41$ mag
(H-K')	0.26 mag
(J-H)	0.71 mag
Flujo en el filtro J	$1.604 \times 10^{-10}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro H	$4.109 \times 10^{-10}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro K	$7.198 \times 10^{-10}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Luminosidad en el filtro J	$1.508 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro H	$3.863 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro K'	$6.768 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Indice espectral	-3.652

Tabla 3.36: Características físicas de AP Libra.

Parámetros	Medidas calculadas
Magnitud en el filtro J	$12.280 \pm 2.03$ mag
Magnitud en el filtro H	$11.810 \pm 1.90$ mag
Magnitud en el filtro K'	$11.060 \pm 1.54$ mag
(H-K')	0.75 mag
(J-H)	0.48 mag
Flujo en el filtro J	$9.690 \times 10^{-12}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro H	$2.003 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Flujo en el filtro K'	$5.478 \times 10^{-11}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Luminosidad en el filtro J	$4.384 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro H	$9.062 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$
Luminosidad en el filtro K'	$2.478 \times 10^{44}$ erg $s^{-1}$
Índice espectral	-4.083

Tabla 3.37: Características físicas de ON 325.

Parámetros	Medidas calculadas
Magnitud en el filtro J	$13.720 \pm 2.16$ mag
Flujo en el filtro J	$2.589 \times 10^{-12}$ (erg $cm^{-2}s^{-1}$ )
Luminosidad en el filtro J	$8.329 \times 10^{43}$ erg $s^{-1}$

Los objetos MRK 501, 3C382, NGC 3665 y AP Libra, son ampliamente conocidos, en este caso usamos las observaciones de estos objetos para ver que tan bueno es el método con que redujimos y analizamos los datos, dando un error promedio menor del 5 por ciento, lo que indica que nuestros resultados son muy buenos.

### 3.6. Análisis de resultados fotométricos (superficial) de las galaxias observadas.

A partir de los datos reportados, únicamente obtuvimos la fotometría superficial de MRK 501 y NGC 3665, las dos únicas fuentes extendidas de nuestra muestra. De las imágenes 3.27 a la 3.32 y las gráficas 3.15 a la 3.26, mostramos el ajuste de elipsoides concéntricas, de estas encontramos que siguen una ley de De Vaoucouleur, que es descrita por la ecuación:

$$\log \frac{I(r)}{I_r} = 3,33 \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right] \quad (3.4)$$

La ecuación 3.4 da un perfil de brillantez que es máximo en el centro. La distribución real de coeficientes axiales para elipses puede ser estadísticamente inferido a partir de las observaciones.

Donde:

$I(r)$  es la la intensidad total de la galaxia

$r$  es el semieje mayor

y las constantes  $I_e$  (intensidad media para galaxias elípticas) y  $r_e$  (radio medio para galaxias elípticas) han sido determinadas a partir de los perfiles de brillantez observados, los valores típicos para galaxias elípticas, bulbos de espirales normales y S0 están en los rangos:

$r_e = 1 - 10$  Kpc (dependiendo del tamaño de la galaxia).

$I_e = 20 - 23$  mag/arcseg<sup>2</sup>, lo cual se toma como la luminosidad total a un radio medio.

- MRK 501

De los gráficos 3.15 al 3.20 y figuras 3.27 a la 3.29, podemos obtener información sobre la morfología de la galaxia, las figuras 3.15, 3.17 y 3.19 se ajustan a una ley de De Vaoucouleur (ecuación 3.4), lo que corroboramos graficando magnitud vs semieje mayor a la potencia 1/4, lo que nos da las imágenes 3.16, 3.18 y 3.20, en las que encontramos que se les puede ajustar una recta, lo que nos dice que la galaxia observada es una galaxia temprana (es decir, una galaxia elíptica o en el caso extremo una S0).

Para poder decir con certeza la catalogación de la galaxia, E o S0, se tendría que hacer un tratamiento de los parámetros de ajuste a los polinomios que el programa *ellipse* usa para calcular los isocontornos, lo cual no es objetivo de esta tesis de licenciatura, pero se hará en un trabajo futuro.

A partir de estos gráficos, también podemos ver el tamaño de la galaxia, correspondiente al semieje mayor, en el cercano infrarrojo.

Encontramos que el tamaño de la galaxia, correspondiente al semieje mayor, ocupa un espacio de  $\sim 13$  segundos de arco, lo cual corresponde a 6.4 Kpc.

De la distribución de brillo superficial (gráficas 3.15 a la 3.20) nos sugiere que la contribución en la emisión debido a la galaxia (aparte de la contribución sincrotrónica) puede ser a estrellas K y M, y/o gigantes rojas, que es el tipo de población predominante en una galaxia temprana, además de la posible contribución debido al polvo.

- NGC 3665

A partir de los gráficos 3.21 al 3.26 y figuras 3.30 a la 3.32, obtenemos información sobre la morfología de la galaxia, como en el caso anterior la gráficas se ajustan muy bien a una ley de De Vaoucouleur (ecuación 3.4), también lo corroboramos observando que al graficar magnitud vs semieje mayor a la potencia 1/4, a las gráficas resultantes se les puede ajustar

una recta, lo que nos sugiere que esta galaxia es temprana, en este caso podemos considerar una E.

Encontramos que el tamaño de la galaxia, correspondiente al semieje mayor, ocupa un espacio de  $\sim 24$  segundos de arco, lo cual corresponde a 16.9 Kpc.

Como en el caso anterior de la distribución de brillo superficial (gráficas 3.21, 3.23 y 3.25) nos sugiere que la contribución en la emisión debido a la galaxia (aparte de la contribución sincrónica) es debido a estrellas K y M, y/o gigantes rojas o la posible contribución del polvo.

De estos resultados corroboramos que los objetos BL Lacerta se encuentran en galaxias tempranas, con la ventaja que lo estamos concluyendo con imágenes y datos en el cercano infrarrojo.

### 3.7. Resumen de resultados de la fotometría superficial.

A partir de los datos reducidos se pudieron deducir algunas de las características de las galaxias MRK 501 y NGC 3665; las cuales se presentan en la tabla (3.38):

Tabla 3.38: Características generales de MRK 501 y NGC 3665.

	MRK 501	NGC 3665
Tipo de galaxia	E/S0	E
Distribución	Ley de De Vaucouleur	Ley de De Vaucouleur
Tamaño en el cercano infrarrojo (proyectada)	$\sim 13$ secarc	$\sim 24$ secarc
Tamaño en el cercano infrarrojo	6.4 Kpc	16.9 Kpc

La galaxia anfitriona de MRK 501 ha sido ampliamente estudiada con fotometría superficial, no así NGC 3665 con lo cual nuestros datos aportan una nueva referencia para el estudio de su galaxia anfitriona en el cercano infrarrojo.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## Capítulo 4

# Conclusiones.

En este trabajo se mostró las propiedades físicas en el cercano infrarrojo, de una muestra de objetos BL Lacerta, la muestra consistió: MRK 501, 3C382, NGC 3665, On 325 y AP Libra, cuatro de los cuales han sido estudiados previamente, y para uno de ellos (ON 325) estamos aportando nuevos datos.

Las conclusiones que obtuvimos de nuestro estudio son:

1. Se llevó a cabo el análisis de fotometría de apertura y superficial, a partir de las observaciones en el cercano infrarrojo de los objetos antes mencionados, en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Martir, B. C., en la temporada del 7 al 11 de marzo de 1999. Estas observaciones fueron obtenidas en el telescopio de 2.1 m, usando un sistema de detección de datos conocido como CAMILA, en el cercano infrarrojo.
2. Obtuve la fotometría de apertura de objetos puntuales y extendidos, y fotometría superficial de objetos extendidos; para lo cual gran parte del esfuerzo de este trabajo se centró en familiarizarse con el sistema operativo UNIX y aprender a usar el programa IRAF y otros como el STSDAS además de algunos programas "personales", los cuales nos permitieron reducir y analizar las observaciones de la muestra estudiada.
3. A partir de la fotometría de apertura calculamos el flujo de energía y la densidad de flujo de energía, los cuales son parámetros físicos importantes.
4. A partir del cálculo de flujo de energía para cada filtro, construimos la Distribución Espectral de Energía, de ésta encontramos la pendiente que corresponde al índice espectral, la cual nos da información sobre el tipo de mecanismo responsable de la energía emitida.

5. Corroboramos que los índices espectrales de los objetos BL Lacerta en el óptico y radio “son muy empinados”), en este caso encontramos lo mismo pero en el cercano infrarrojo.
6. Los índices espectrales muestran que el mecanismo de producción de energía es sincrotón (lo cual es de esperarse en los objetos BL Lacerta), pero igualmente lo estamos encontrando en el cercano infrarrojo.
7. De los índices espectrales (tabla 3.21), notamos que los índices espectrales de las fuentes puntuales (3C382 y AP Libra) son más “empinados” en comparación a los índices espectrales de las fuentes extendidas (MRK 501 y NGC 3665); lo que nos dice que el mecanismo de producción de energía central es igualmente dominante en el cercano infrarrojo, en el caso de fuentes puntuales, es sincrotón y en el caso de fuentes extendidas aparte del sincrotón puede existir contaminación, es decir contribución importante de la componente galáctica, probablemente estrellas de baja masa y/o polvo muy caliente ( $\sim 2800$  K), debido al calentamiento por estrellas del tipo K, M y/o gigantes rojas ó por el calentamiento del polvo por el mismo sincrotón.
8. Apartir del resultado anterior proponemos una nueva catalogación de los objetos BL Lacerta en el cercano infrarrojo.
  - Hiper-empinados en el cercano infrarrojo, para índices espectrales  $4 < \alpha$ .
  - Ultra-empinados en en cercano infrarrojo, para índices espectrales  $3 \leq \alpha \leq 4$ .
  - Muy-empinados en en cercano infrarrojo, para índices espectrales  $2 \leq \alpha < 3$ .
9. A partir del análisis de los datos reducidos de fotometría superficial de los objetos extendidos, MRK 501 y NGC 3665, obtuvimos sus imágenes (3.27 a la 3.32) y gráficas (3.15 - 3.26), las cuales nos dan información sobre la morfología de la galaxias y la distribución de brillo superficial. De las gráficas de estas galaxias (3.15, 3.17, 3.19, 3.21, 3.23 y 3.25) vimos que la magnitud decae como  $r^{1/4}$ , es decir siguiendo una ley de De Voucouleur, y esto lo corroboramos con gráficos (3.16, 3.18, 3.20, 3.22 y 3.26) de *mag vs rms*, la curva resultante se puede aproximar por una recta, lo cual es típico en galaxias tempranas (elípticas ó en algunos casos pueden ser S0).
10. Encontramos en dos casos (extendidos) que los objetos BL Lacerta están efectivamente inmersos en galaxias tempranas, preferentemente elípticas ó S0. En NGC 3665 estamos aportando nueva información sobre su galaxia anfitriona, en el cercano infrarrojo.
11. Dentro de las aportaciones que hago en esta tesis, es haber calculado valores del flujo de energía, densidad de energía, para cada objeto problema, con lo cual se enriquece

la información que se tiene sobre estos objetos; por último, con la comparación de nuestros datos con los obtenidos de la literatura, llevada a cabo, podemos decir que los resultados para la galaxia ON 325, para la cual no ha habido reportes de observaciones en el cercano infrarrojo, son una muy buena cota para futuros trabajos que se lleguen a realizar.

# Índice de figuras

2.1. Ejemplo de la información del encabezado de las imágenes. . . . .	20
3.1. Galaxia MRK501 en el visual, tomada de NED. . . . .	25
3.2. Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia MRK501. . . . .	26
3.3. Galaxia 3C382 en el visual, tomada del NED. . . . .	26
3.4. Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia 3C382. . . . .	27
3.5. Galaxia NGC3665 en el visual, tomada de NED. . . . .	28
3.6. Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia NGC3665. . . . .	29
3.7. Galaxia ON325 en el visual, tomada de NED. . . . .	29
3.8. Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia ON325. . . . .	30
3.9. Galaxia AP LIBRA en el visual, tomada de NED. . . . .	31
3.10. Distribución espectral de energía (SED) de la galaxia AP LIBRA. . . . .	32
3.11. Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia MRK 501. . . . .	40
3.12. Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia 3C382. . . . .	40
3.13. Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia NGC 3665. . . . .	41
3.14. Gráfica de la distribución Espectral de Energía de la galaxia AP Libra. . . . .	41
3.15. Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro H. . . . .	52
3.16. Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro H. . . . .	52
3.17. Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro J. . . . .	53
3.18. Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro J. . . . .	53
3.19. Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro K'. . . . .	54
3.20. Fotometría de superficial para MRK 501 en el filtro K'. . . . .	54
3.21. Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro H. . . . .	55
3.22. Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro H. . . . .	55
3.23. Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro J. . . . .	56
3.24. Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro J. . . . .	56
3.25. Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro K'. . . . .	57
3.26. Fotometría de superficial para NGC 3665 en el filtro K'. . . . .	57

3.27. Elipses ajustadas en la galaxia MRK 501, filtro J. . . . .	58
3.28. Elipses ajustadas en la galaxia MRK 501, filtro H. . . . .	58
3.29. Elipses ajustadas en la galaxia MRK 501, filtro K'. . . . .	59
3.30. Elipses ajustadas en la galaxia NGC 3665, filtro J. . . . .	59
3.31. Elipses ajustadas en la galaxia NGC 3665, filtro H. . . . .	60
3.32. Elipses ajustadas en la galaxia NGC 3665, filtro K' . . . . .	60

# Índice de tablas

1.1. Luminosidades típicas de los NAGs, en $\text{erg s}^{-1}$ , en escala logarítmica. . . . .	6
2.1. Características del detector NICMOS 3 de HgCdTe. . . . .	16
3.1. Datos generales de la galaxia MRK 501 obtenidos de NED. . . . .	25
3.2. Datos generales de la galaxia 3C382 obtenidos de NED. . . . .	27
3.4. Datos generales de la galaxia NGC3665 obtenidos de NED. . . . .	28
3.6. Datos generales de la galaxia ON325 obtenidos de NED. . . . .	30
3.8. Datos generales de la galaxia AP LIBRA obtenidos de NED. . . . .	31
3.10. Magnitudes instrumentales obtenidas con <i>qphot</i> (IRAF) -noche 3- . . . . .	34
3.11. Magnitudes instrumentales obtenidas con <i>qphot</i> (IRAF) -noche 4- . . . . .	34
3.12. Datos de las estrellas estándares -noche 3- . . . . .	35
3.13. Datos de las estrellas estándares -noche 4- . . . . .	36
3.14. Datos de las galaxias MRK 501 y 3C382. . . . .	36
3.15. Datos de las galaxias NGC 3665, AP LIBRA y ON 325. . . . .	36
3.16. Comparación de las magnitudes “reales” calculadas contra magnitudes “reales” de la literatura, para los filtros J, H y K’ de Johnson, para los objetos MRK501, 3C382, NGC3665, AP LIBRA y ON325. . . . .	37
3.17. Índice de color para las galaxia MRK501, 3C382, NGC3665, AP LIBRA y ON325. . . . .	37
3.18. Densidades y flujos de energía de las galaxias MRK501, 3C382, NGC3665, AP LIBRA, ON325. . . . .	38
3.19. Valores de las distancias de los objetos MRK501, 3C382, AP LIBRA, NGC3665 y ON325 . . . . .	39
3.20. Luminosidades de las galaxias en los diferentes filtros en los que fueron observadas. . . . .	39
3.21. Índices espectrales para el <i>NIR</i> . . . . .	42
3.22. Resultados de MRK 501 obtenidos por <i>ellipse</i> para el filtro H. . . . .	48

3.23. Resultados de MRK 501 obtenidos por <i>ellipse</i> para el filtro J. . . . .	49
3.24. Resultados de MRK 501 obtenidos por <i>ellipse</i> para el filtro K'. . . . .	49
3.25. Resultados de NGC 3665 obtenidos por <i>ellipse</i> para el filtro H. . . . .	50
3.26. Resultados de NGC 3665 obtenidos por <i>ellipse</i> para el filtro J. . . . .	50
3.27. Resultados de NGC 3665 obtenidos por <i>ellipse</i> para el filtro K'. . . . .	51
3.28. Tabla comparativa de la galaxia MRK 501. . . . .	61
3.29. Tabla comparativa de la galaxia 3C382. . . . .	62
3.30. Tabla comparativa de la galaxia NGC 3665. . . . .	63
3.31. Tabla comparativa de la galaxia AP Libra. . . . .	63
3.32. Tabla comparativa de la galaxia ON 325. . . . .	64
3.33. Características físicas de MRK 501. . . . .	65
3.34. Características físicas de 3C382. . . . .	66
3.35. Características físicas de NGC 3665. . . . .	66
3.36. Características físicas de AP Libra. . . . .	67
3.37. Características físicas de ON 325. . . . .	67
3.38. Características generales de MRK 501 y NGC 3665. . . . .	69

# Referencias.

- Antonucci, R. R. 1993, *Ann. Rev. Ast.*, 31, 473.
- Antonucci, R. R. & Miller, J. 1983, *ApJ*, 297, 621.
- Bersanelli, M., Bouchet, P. Falomo, R. Tanzi, E. G., and Osservatorio Astrofisico di Catania \* Universitaria, Catania, Italy. 1992, *The Astronomical Journal*, 104, 28.
- Blandford, R., & Ress, M. J. 1978, in *Pittsburgh Conference on Bl Lac Objects*, ed. A. M. Wolfe (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press), P. 328.
- Bregman, J. N., et al. 1990, *ARA&A* 2, 125.
- Burbidge, E. M.; Burbidge, G.; Sandage, A. 1963. *Rev. Mod. Phys.* 35. 947.
- Carrasco, L., Recillas, E., García-Barreto, A., Cruz-González, I., Serrano, A. 1991, *Reporte Técnico 309*, Instituto de Astronomía, UNAM.
- Dultzin-Hacyan, D. 1995, para aparecer en las memorias de la 5ª Conferencia Mexico-Texana sobre "Nebulosas Gaseosas y Formación Estelar", *Rev. Mex. Astron. Ap.*
- Falomo, R., Bersanelli, M., Bouchet, P., Tanzi, E. G. 1993, *The Astronomical Journal*, 106, 11.
- Glass, I. S. 1981, *MNRAS*, 194, 795.
- Heckman, T. 1980. *Astron Ap*, 87, 142.
- Henden, A. A., Kaitchuck, T. 1982. *Astronomical Photometry*. Ed. Van Nostand Reinhold Company.
- Jannuzi, B.T., Smith, P. S., and Elston, T. 1991, *ApJ*, Submitted.
- Khachikian, E. Y. & Weedman, D. W. 1971, *Astrofizica*, 7, 389.
- Ledden, J. E., & O'Dell, S. L. 1985, *ApJ*, 298, 630.

- Maraschi, L., Ghisellini, G., Tanzi, E. G., & treves, A. 1986, ApJ, 310, 325.
- Mihalas, D; Binney, J. 1981. Galactic Astronomy. Structure and Kinematics, 2<sup>a</sup> ed. Freeman and Company.
- Nottale, L. 1986, A&A, 157, 383
- Nottale, L. 1988, in Dark Matter, ed. J. Audouze & J. Tran Thanh Van (Gif-sur-Yvette: Editions Frontières), p. 39.
- Ostriker, J. P., & Vietri, M. 1985, Nature, 318, 446.
- Ostriker, J. P., & Vietri, M. 1990, Nature, 344, 45.
- Perlman, E. S. and Stocke, J. T., Schachter, J. F. and Elvis, M., Ellingson, E., Urry, C. M., and Potter, M., Impey, C. D., and Kolchinsky, P. 1996, ApJ Sup. Series, 104, 252.
- Person, S. E., Frogel, J. A., Aaronson, M. 1979. Astrophysical Journal Supplement, 39, 61-87.
- Savage, B. D; Mathis, J. S. 1979. Ann Rev. Astron. Astrophys. 17. 73-111.
- Schneider, P., & Weiss, A. 1987, A&A, 171, 49.
- Stein, W. A., O'Dell, S. L., & Strittmatter, P. A. 1976, ARA&A, 14, 173.