

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN ESTELAR
EN REGIONES NUCLEARES DE GALAXIAS SEYFERT

Tesis presentada al

POSGRADO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

como requisito para la obtención del grado de

DOCTORADO EN CIENCIAS (ASTRONOMÍA)

por

JUAN PABLO TORRES PAPAQUI

asesorado por

DR. JUAN PABLO TORRES PAPAQUI

Guanajuato, Gto. - Septiembre 2013

RESUMEN

Esta tesis reporta el análisis espectroscópico de una muestra de 237 galaxias Seyfert 1, 2, e intermedias, cercanas ($z < 0.044$), cubriendo el rango en longitud de onda de 3500-5200Å. Los espectros fueron obtenidos por mí en el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH, INAOE, México), y en el NTT del European Southern Observatory (ESO, La Silla, Chile) durante varios períodos de observación. También se cuenta con observaciones tomadas por B.Joguet para su Tesis Doctoral en el telescopio de 1.5 m de La Silla. Casi la mitad de la muestra, 102 galaxias Seyfert de ambos tipos 1 y 2, presentan la serie alta de Balmer en absorción.

La primera aportación de este trabajo fue el descubrimiento de las primeras galaxias Seyfert 1 conteniendo formación estelar reciente importante en su núcleo, como lo evidencia la clara detección en sus espectros de líneas de absorción estelares, pertenecientes a la serie alta de Balmer del Hidrógeno. Este resultado sugiere una reformulación de los actuales modelos ya al detectar formación estelar reciente en los núcleos Seyfert de tipo 1 donde la luz emitida está totalmente dominada por una componente no resuelta espacialmente, podemos inferir que la formación estelar llega a zonas tan compactas como el mismo núcleo.

ABSTRACT

This thesis reports the spectroscopic analysis of a sample of 237 nearby ($z < 0.044$) galaxies Seyfert types 1, 2 and intermediate. The spectra covering the wavelength range of 3500-5200Å were obtained by me at the Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH, INAOE, México), and at the NTT of the European Southern Observatory (ESO, La Silla, Chile) during several periods of observation. The sample included observations taken by Benoit Joguet for his PhD Thesis obtained with the 1.5 m telescope at La Silla (ESO, La Silla, Chile).

One of the main contributions of this work is the discovery of Seyfert 1 galaxies containing important recent star formation in their nucleus, as demonstrated by a clear detection of the higher order hydrogen Balmer absorption lines. Almost half of the sample, 102 Seyfert galaxies of both types 1 and 2, present the upper Balmer series in absorption. This result requires a reformulation of present models considering that the light coming from Seyfert 1 nuclei is dominated by a spatially unresolved component. One has to infer that the starforming event, in order to be detected, has to occur in a region as compact as the nucleus itself.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|---|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 | MUESTRA Y OBSERVACIONES | 7 |
| | 2.1 Selección de la muestra | 7 |
| | 2.1.1 Observaciones | 8 |
| 3 | MÉTODOS Y ANÁLISIS | 13 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 19 |
| | 4.1 Efectos instrumentales o de selección | 19 |
| 5 | CONCLUSIONES | 23 |
| A | ANÁLISIS PANCRÓMATICO DE NGC 1068 | 25 |
| | A.1 Resumen | 25 |
| | A.2 Introducción | 25 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 29 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Portada del Time | 2 |
| Figura 2 | Espectro de la galaxia NGC 1068 | 4 |
| Figura 3 | Muestra de galaxias Seyfert 1, con la serie alta de las líneas de Balmer | 14 |
| Figura 4 | Muestra de galaxias Seyfert 2, con la serie alta de las líneas de Balmer | 15 |
| Figura 5 | Muestra de galaxias Seyfert 1 | 16 |
| Figura 6 | Muestra de galaxias Seyfert 2 | 17 |
| Figura 7 | Luminosidad contra redshift | 20 |
| Figura 8 | Flujo contra redshift | 21 |
| Figura 9 | Posición de la rendija en la observación del HST de NGC 1068 | 26 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|------------------------------------|----|
| Cuadro 1 | Bitácora de observaciones del OAGH | 11 |
|----------|------------------------------------|----|

ACRÓNIMOS

AGN Active Galactic Nuclei
BLR Broad Line Region
FBS First Byurakan Survey
NGC New General Catalogue
NLR Narrow Line Region
UV Ultra Violeta

INTRODUCCIÓN

En la década de los cincuenta los radioastrónomos descubrieron una multitud de objetos que emitían grandes cantidades de radiación en radiofrecuencias. Sin embargo, debido a la baja resolución angular de los radiotelescopios en aquella época, en la mayoría de los casos era imposible encontrar en el visible el objeto contra-parte que le correspondía. Las ondas de radio de muchos de estos objetos parecían provenir de objetos compactos, puntuales, como una estrella.

En agosto de 1962, por medio de ocultaciones de objetos por la luna que permiten una buena determinación de la posición, [Hazard, Mackey & Shimmins \(1963\)](#) identificaron la radiofuente 3C 273 del tercer catálogo de Cambridge, usando la antena de 210 pies de la estación Parkes en Australia. El objeto estelar que emitía las ondas de radio resultó ser en el visible el más brillante de la región; Maarten Schmidt ([1963](#)) obtuvo su espectro y se encontró con el mismo tipo de objeto extraño que uno de los candidatos de la fuente 3C 48.1.

Conforme fueron identificándose más radioestrellas el misterio se fue profundizando. El término radioestrella se cambió por el de radiofuente cuasi-estelar, que expresaba la idea de que se trataba de objetos distintos a las demás estrellas. Este nombre se abrevió para dar paso al término en inglés Quasar (en español quasar).

Tres meses después de obtener el espectro, [Schmidt \(1963\)](#) reconoció que las líneas de emisión presentes en el espectro óptico de los objetos cuasi-estelares correspondían a las líneas de la serie de Balmer del hidrógeno suponiendo que el quasar se alejase de nosotros a una velocidad de 47400 km/s, es decir, más de un décimo de la velocidad de la luz. Ninguna estrella de nuestra galaxia podría moverse a esa velocidad, pues habría escapado de la galaxia hace mucho tiempo (además de que ninguna estrella tiene un espectro de emisión similar al de los cuasares, ni emite una cantidad importante de energía en radiofrecuencias). Este descubrimiento causó un gran impacto en la sociedad al grado que Schmidt apareció en la portada de la revista Time en 1966 (ver figura 1).

Aunque los cuasares fueron descubiertos por su radioemisión, ésta resulta siempre de menor intensidad que la radiación óptica. Cuando los astrónomos se dieron cuenta de que los cuasares se identificaban ópticamente como objetos estelares con excesos

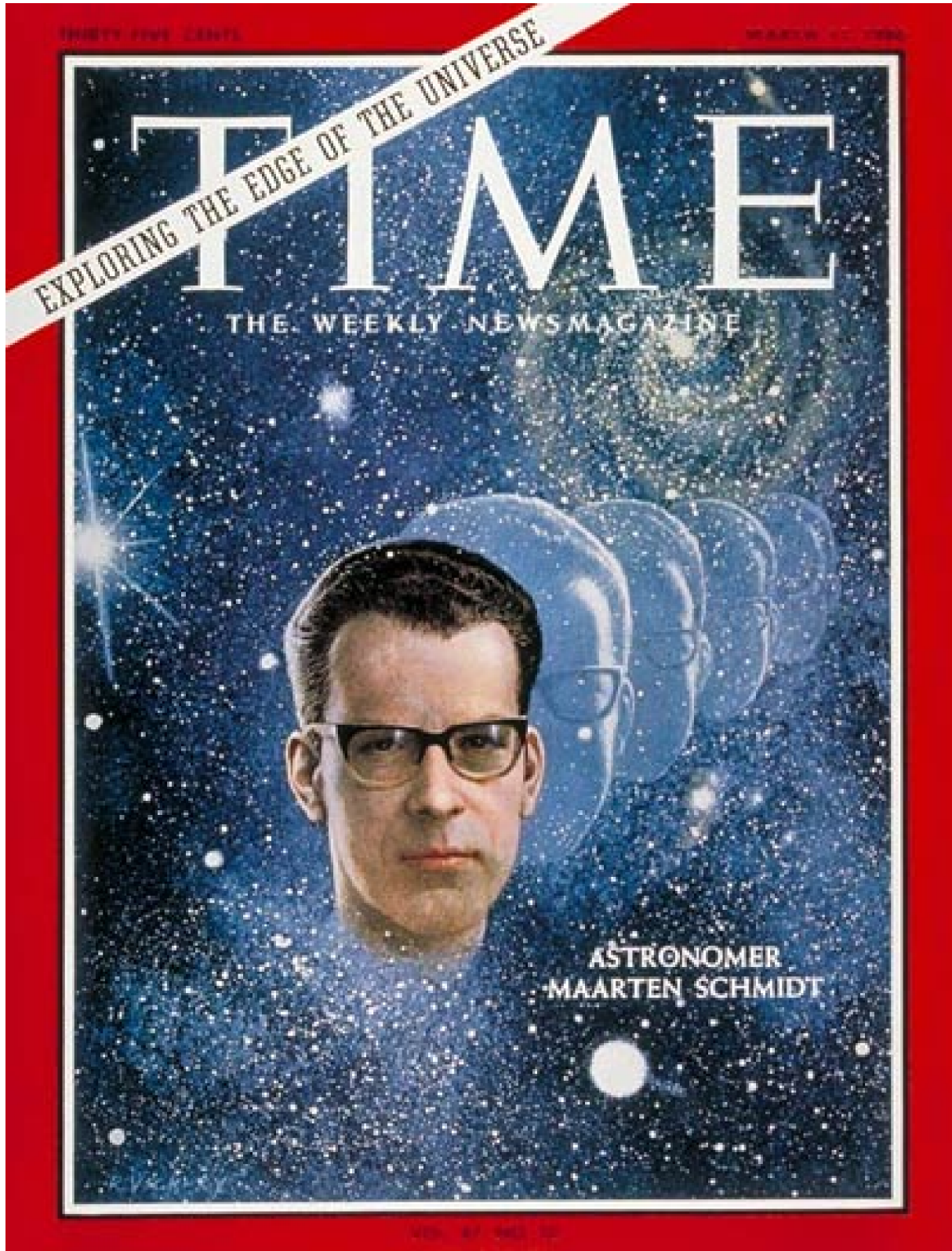


Figura 1: Portada de la revista Time del 11 de marzo de 1966.

de color azul y violeta, se dedicaron a buscarlos en los catálogos de estrellas azules.

Al mismo tiempo, trabajos independientes como el First Byurakan Survey (FBS), realizado por Markarian, Lipovetski & Stepanian de 1965 a 1980 en el observatorio Byurakan (Telescopio Schmidt), buscando galaxias con exceso ultra violeta (UV), descubrieron 1515 objetos. El FBS fue la primera búsqueda óptica sistemática de objetos con líneas de emisión con prisma objetivo. La técnica consiste en colocar delante del objetivo del telescopio un prisma delgado pero lo suficientemente grande como para cubrirlo, lo cual permite obtener un gran número de espectros al mismo tiempo.

Un espectro con líneas de emisión delata siempre la presencia de un gas de relativa baja densidad expuesto a una fuente de radiación ionizante. La característica más sorprendente de las líneas espectrales de los cuasares es que son muy anchas, mucho más que las producidas por las nubes de gas ordinarias en el espacio interestelar de nuestra galaxia o de otras. El espectro de emisión presenta una enorme variedad de grados de ionización de los elementos, lo que refleja una amplia gama de temperaturas del gas. Por ejemplo, se detectan en un mismo objeto líneas de hierro una vez, y quince veces ionizado. Esta particularidad fue primero observada por Fath (1908) en el observatorio de Lick mientras estudiaba los espectros de los núcleos de “espirales nebulares” con el reflector de 36 pulgadas. La mayoría de estas galaxias mostraban en sus espectros líneas de absorción de tipo estelar, mientras que la componente de radiación proveniente de las estrellas (que Fath llamó “cúmulo estelar”) estaba demasiado lejana para ser resuelta. Sin embargo, la galaxia Messier 77 (NGC 1068) tenía un espectro más notable: Fath reconoció seis prominentes líneas de emisión como se muestra en la figura 2, todas conocidas en gas nebuloso, que ahora se sabe son las líneas espectrales siguientes: [OII] $\lambda 3727$, [NeIII] $\lambda 3869$, [OIII] $\lambda 4363$, H β , [OIII] $\lambda \lambda 4959, 5007$.

Seyfert (1943), encontró 12 galaxias que “pertenecían probablemente a una clase inusual de objetos” (ahora conocidos como galaxias Seyfert): NGC 1068 (Messier 77), NGC 1275 (Perseus A), NGC 2782, NGC 3077 (en el grupo M81), NGC 3227, NGC 3516, NGC 4051, NGC 4151, NGC 4258 (M 106), NGC 5548, NGC 6814, y NGC 7469. Seyfert se concentró en seis de estos objetos: Messier 77, NGC 1275, NGC 3516, NGC 4051, NGC 4151, y NGC 7469 cuyas líneas de emisión provienen de átomos altamente ionizados, y observó que estos núcleos son muy luminosos y que sus líneas de emisión son más anchas que las líneas de absorción de las galaxias normales.

Khachikian & Weedman (1974) observan los candidatos de la lista del FBS y clasifican estos objetos en dos subclases, tipo 1 y 2. Las Seyfert 1 muestran amplias bases en las líneas permitidas del hidrógeno, supuestamente producidas en una región de líneas anchas (Broad Line Region, BLR) mientras que las Seyfert 2 carecen de ellas. Sus líneas de emisión son producidas en una región de líneas angostas (Narrow Line

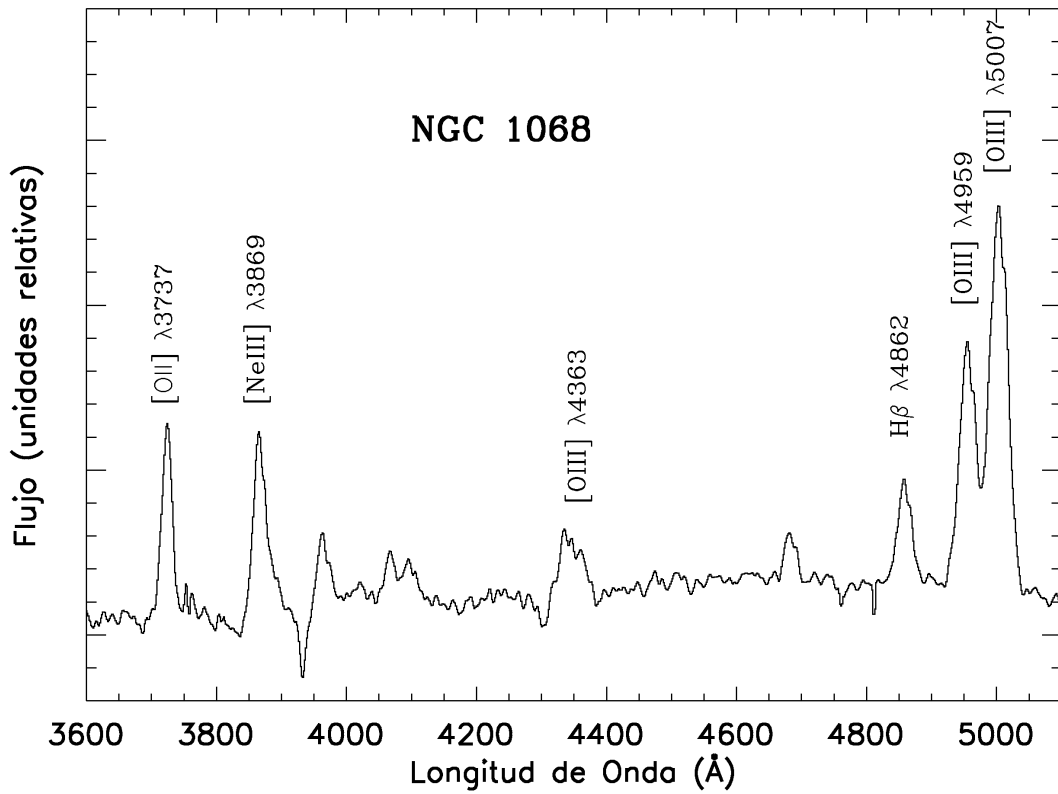


Figura 2: Espectro de la galaxia NGC 1068, obtenido de nuestra muestra.

Region, [NLR](#)). Las líneas prohibidas en los dos tipos de objetos pertenecen a la NLR.

La duda acerca de la fuente de energía de estos objetos estimuló la creatividad de los astrónomos. El primer concepto de radiogalaxia como una galaxia en colisión, generó la noción de núcleos galácticos como sitios de concentrada actividad violenta, posteriormente denominados núcleos activos de galaxias (Active Galactic Nuclei, [AGN](#)). A continuación enumero algunos de los modelos propuestos, sin ordenarlos de ninguna manera.

MUESTRA Y OBSERVACIONES

El objetivo principal de este trabajo de tesis es la caracterización de las poblaciones estelares contenidas en las regiones nucleares y núcleos de galaxias Seyfert. Para realizar el estudio se obtuvo una muestra de observaciones espectroscópicas en el rango de longitud de onda del cercano UV al visible lo más completa posible, con el fin de evitar posibles sesgos con respecto al tipo nuclear.

El rango de longitud de onda fue elegido para maximizar la información acerca de la presencia de formación estelar reciente en estos núcleos de galaxias, a partir de la observación de rasgos estelares como la serie alta de las líneas de Balmer en absorción (H_{12} $\lambda 3750\text{\AA}$, H_{11} $\lambda 3770\text{\AA}$, H_{10} $\lambda 3798\text{\AA}$, y H_9 $\lambda 3834\text{\AA}$) y las líneas H y K del CaII (H $\lambda 3968\text{\AA}$ y K $\lambda 3934\text{\AA}$). Como se mencionó en el capítulo 1 de introducción y se discutirá en más detalle en el capítulo 3 de métodos y análisis, esta región del espectro es muy importante para este tipo de estudios. Además, dicho rango de longitud de onda cubre también líneas de emisión intensas como $H\beta$ ($\lambda 4861\text{\AA}$), OII ($\lambda 3727\text{\AA}$) y OIII ($\lambda 4959\text{\AA}$, 5007\AA) además de varias líneas de emisión más débiles pero todas importantes para la determinación de las propiedades físicas del gas ionizado.

2.1 SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de galaxias fue seleccionada usando cinco referencias o catálogos de AGN de la literatura:

1. Fairall A. P. & Jones, A., Southern Redshift Catalogue and Plots, Publications of the Department of Astronomy, University of Cape Town, 5th version, 1991. [Fairall & Jones \(1991\)](#)
2. Lipovetsky, V.A. Neizvestny, S.I., & Neizvestnaya, O.M. Soobshcheniya Spetsialnoj Astrofizicheskoy Observatorii, Vol. 55, 1988, 5. [Lipovetsky et al. \(1988\)](#)
3. Nelson, C. H. & Whittle, M., 1995, ApJS, **99**, 67. [Nelson & Whittle \(1995\)](#)
4. Véron-Cetty, M. & Véron, P., 2001, European Southern Observatory Scientific Report 20, 1. [Véron-Cetty & Véron \(2001\)](#)
5. NED (Nasa/IPAC Extragalactic Database) <http://nedwww.ipac.caltech.edu>

Los criterios de selección de la muestra fueron los siguientes:

- que la galaxia haya sido clasificada como Seyfert (1, 2, o de tipo intermedio)
- que la galaxia tenga un rango de declinación apropiado para el observatorio en cuestión (-10° ; $+75^\circ$, para OAGH, -67° ; $+15^\circ$ para La Silla)
- que la galaxia tenga un valor de redshift para contener la región nuclear de las galaxias dentro de la rendija minimizando la contaminación por la población estelar vieja del bulbo (ver figura ??). El rango se estableció basándonos en el seeing promedio, el ancho de la rendija y permitiendo un radio máximo de 650 pc para la región observada del OAGH y ESO-NTT. El resultado es: de $z < 0.044$ para OAGH, de $z < 0.017$ para el ESO-1.5m, y de $z < 0.044$ para el ESO-NTT de La Silla.
- además, para el OAGH, se eligieron las galaxias más brillantes que 16.0 magnitudes en el rango visible

Desde la segunda temporada de observación en el OAGH y la del ESO-NTT se incluyeron en el plan de observaciones aquellas galaxias con la serie alta de las líneas de Balmer en absorción detectadas¹ para conseguir una mejor relación S/N.

Aplicando estos criterios se obtuvieron de estos catálogos un total de 739 candidatos. Un aspecto a remarcar es que mientras que los catálogos de [Fairall & Jones \(1991\)](#) y [Lipovetsky et al. \(1988\)](#) son resultados de búsquedas, el de [Véron-Cetty & Véron \(2001\)](#) es una compilación que periódicamente se actualiza y presenta una clasificación de AGN propia. Por otra parte [Nelson & Whittle \(1995\)](#) clasifican el tipo de actividad nuclear utilizando el probado método de diagramas de diagnóstico ([Baldwin, Phillips, & Terlevich 1981](#), y [Veilleux & Osterbrok 1987](#)). Por último el catálogo en la web del NED desarrollado por la NASA es también una recopilación de resultados publicados por diferentes autores. Como resultado, las clasificaciones son heterogéneas, basadas en diferentes criterios, algunas son de varios años atrás, algunas nuevas y otras son recopilaciones de clasificaciones, y por lo tanto la determinación del tipo de AGN de una galaxia resulta en muchos casos incierta.

2.1.1 Observaciones

La muestra se generó con tres grupos de observaciones:

¹ Para ello nos basamos en las observaciones previas del ESO-1.5m y de la primera temporada del OAGH

1. Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH, INAOE, México). Las observaciones se hicieron en el telescopio Ritchey-Chretien de 2.1 metros, usando el espectrógrafo Boller & Chivens, equipado con una cámara CCD de 1024×1024 pixeles con una resolución espacial de $0.46''$ por pixel. La rejilla usada tiene 300 líneas/mm con una dispersión de 1.6\AA por pixel con un ancho de $1.5''$.
2. ESO-New Technology Telescope (NTT; ESO, La Silla, Chile). Se trata de un telescopio tipo Cassegrain de 3.5 metros equipado con el ESO Multi-Mode Instrument (EMMI), que usamos únicamente en su modo "medium-resolution long-slit grating spectroscopy". Éste está equipado con una cámara CCD de 1024×1024 pixeles y con el grating #4 (González 2001) que da una dispersión de 1.8\AA por pixel. El ancho de rendija usado corresponde a $1.5''$.
3. ESO-1.5 metros (ESO, La Silla, Chile). Éste es un telescopio tipo Cassegrain de 1.5 metros equipado con un espectrógrafo Boller & Chivens (similar al del observatorio de Cananea) con una cámara CCD de 2024×2024 pixeles y una resolución espacial de $0.82''$ por pixel. Para estas observaciones se usó una rejilla de 1200 líneas/mm, con una dispersión de 0.98\AA por pixel y un ancho de rendija de $1.5''$.

Las observaciones del OAGH se realizaron en nueve temporadas, en octubre del 2001, abril y noviembre del 2002, mayo, septiembre y diciembre del 2003 y abril y octubre del 2004.

Las del telescopio ESO-NTT fueron obtenidas en septiembre del 2002.

Las del ESO-1.5m, fueron obtenidas por Benoit Joguet en cuatro temporadas, en mayo de 1998, septiembre de 1999 y marzo y agosto del 2000, y forman parte de su tesis doctoral (Joguet 2001).

Los grupos de observaciones 1 y 2 han sido de mi responsabilidad y he hecho las observaciones y reducción. El grupo 3 ya había sido observado y reducido al comenzar mi tesis.

El total de galaxias con espectros obtenidos fue 237, 150 en el OAGH, 76 en el ESO-1.5m y 11 en el ESO-NTT. De las 237, 102 muestran en sus espectros la serie alta de las líneas de Balmer en absorción, 225 pertenecen a algún tipo de AGN y 12 son galaxias normales.

Los espectros obtenidos cubren del cercano UV al visible (3500-5200Å) y podrían estar afectados por uno de los problemas asociados con las observaciones ópticas terrestres: la refracción diferencial de la radiación proveniente de los objetos celestes. Debido a que la refracción depende de la longitud de onda y su efecto es mayor en el UV, las imágenes en el plano focal resultan ser dispersadas en la dirección del cenith. Para evitar efectos sistemáticos, las observaciones se realizaron a bajas masas de aire o sea a distancias zenitales pequeñas y con la rendija orientada según el ángulo paraláctico.

En las instalaciones del OAGH, el guiado es llevado a cabo por medio de un Auto-guider, el cual utiliza estrellas de campo como guía. Para minimizar el tiempo perdido en buscar a ciegas estrellas guías, he caracterizado el sistema de guiado y creado un algoritmo que realiza esta búsqueda y guiado en aproximadamente 30 segundos. En el apéndice B se detalla esta caracterización.

En la tabla 1, se muestra la bitácora de observación de las galaxias Seyfert en las instalaciones del OAGH. La columna (1) es el nombre más común de la galaxia, sus coordenadas (2) ascensión recta (RA) y (3) declinación (DEC) para el equinoccio 2000.0, (4) redshift, (5) M_V , (6) tipo morfológico (el redshift, M_V , y tipo morfológico fueron obtenidos del NED), (7) tipo de AGN, (8) tiempo de exposición, (9) noche de observación y (10) escala de placa.

Cuadro 1: Bitácora de observaciones de las instalaciones del OAGH.

| Nombre | RA(J2000) hh-mm-ss | DEC(J2000) dd-mm-ss | z | M _v | Tipo morfológico | Tipo actividad | T _{exp} seg | Noche dd/mm/yy | pc// |
|--------------|-----------------------|------------------------|----------|----------------|---------------------|--|-------------------------|-------------------|-------|
| KUG 2358+33 | 00 00 58.1 | +33 20 38 | 0.043100 | 16.0 | Spiral | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 28/09/03 | 833.0 |
| MRK 0335 | 00 06 19.5 | +20 12 10 | 0.025780 | 13.7 | So/a | Sy1.2 ⁽¹⁾ | 3600 | 04/11/02 | 498.3 |
| MRK 0948 | 00 28 14.3 | +07 07 45 | 0.040100 | 15.7 | Spiral | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 29/09/03 | 775.0 |
| MRK 0341 | 00 36 52.3 | +23 59 06 | 0.015327 | 14.7 | SAB pec: | | 3600 | 02/11/02 | 296.2 |
| MRK 0348 | 00 48 47.1 | +31 57 25 | 0.015034 | 13.9 | SA(s)0/a | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 3600 | 21/10/01 | 290.6 |
| UGC 00524 | 00 51 35.0 | +29 24 05 | 0.035955 | 14.4 | (R')SB(s)b | Sy1 ⁽¹⁾ | 3600 | 22/12/03 | 694.9 |
| UGC 00615 | 00 59 40.1 | +15 19 51 | 0.018403 | 14.2 | SABab | | 3600 | 08/11/02 | 355.7 |
| MRK 0352 | 00 59 53.3 | +31 49 37 | 0.014864 | 14.8 | SA0 | Sy1 ⁽¹⁾ | 3600 | 26/09/03 | 287.3 |
| MRK 0565 | 01 16 03.6 | +04 17 39 | 0.018166 | 13.3 | (R)SAB0 | Sy? ⁽¹⁾ | 3600 | 28/09/03 | 351.1 |
| MRK 0001 | 01 16 07.2 | +33 05 22 | 0.015946 | 15.0 | S? | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 4800 | 20/10/01 | 308.2 |
| NGC 0513 | 01 24 26.8 | +33 47 58 | 0.019544 | 13.9 | Sb/c | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 4800 | 12/10/01 | 377.7 |
| MRK 0993 | 01 25 31.4 | +32 08 11 | 0.015537 | 14.4 | SAB0/a | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 02/11/02 | 300.3 |
| MRK 0359 | 01 27 32.5 | +19 10 44 | 0.017385 | 14.1 | SBoa | Sy1.5 ⁽¹⁾ | 3600 | 04/11/02 | 336.0 |
| MRK 1157 | 01 33 31.2 | +35 40 06 | 0.015167 | 13.9 | SBo/a | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 4800 | 21/10/01 | 293.1 |
| UGC 01204 | 01 43 11.9 | +04 16 43 | 0.018750 | 15.2 | Sbc | | 7200 | 01/06/03-29/09/03 | 362.4 |
| MRK 0573 | 01 43 57.8 | +02 21 00 | 0.017259 | 13.7 | SAB(rs)0 | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 5400 | 22/10/01 | 333.6 |
| MCG-01-05-31 | 01 45 25.4 | -03 49 38 | 0.018199 | 13.9 | SB(rs)bc | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 03/11/02 | 351.7 |
| UGC 01395 | 01 55 22.0 | +06 36 43 | 0.017372 | 14.1 | SA(rs)b | Sy1.9 ⁽¹⁾ | 3600 | 08/11/02 | 335.7 |
| NGC 0788 | 02 01 06.4 | -06 48 56 | 0.013603 | 13.0 | SA(s)0/a | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 3600 | 22/10/01 | 262.9 |
| MRK 0590 | 02 14 33.5 | -00 46 00 | 0.026385 | 13.8 | SA(s)a: | Sy1.2 ⁽¹⁾ | 3600 | 05/11/02 | 509.9 |
| ARK 079 | 02 17 23.0 | +38 24 50 | 0.017525 | 14.1 | S? | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 7200 | 12/10/01-25/09/03 | 338.7 |
| 3C 066B | 02 23 11.4 | +42 59 31 | 0.021258 | 15.0 | E | LERG ⁽¹⁾ | 3600 | 06/11/02 | 410.9 |
| UGC 02024 | 02 33 01.2 | +00 25 15 | 0.022464 | 14.3 | Sab | Sy2 ⁽¹⁾ | 7200 | 04/11/02-08/11/02 | 434.2 |
| NGC 1019 | 02 38 27.4 | +01 54 28 | 0.024187 | 14.3 | SB(rs)bc | Sy1 ⁽¹⁾ | 3600 | 26/09/03 | 467.5 |
| NGC 1050 | 02 42 35.6 | +34 45 49 | 0.013012 | 13.4 | (R')SB(s)a | HII ⁽¹⁾ | 3600 | 03/11/02 | 251.5 |
| MRK 1066 | 02 59 58.6 | +36 49 14 | 0.012025 | 13.6 | SB(s)0+ | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 8500 | 11/10/01-21/10/01 | 232.4 |
| NGC 1161 | 03 01 14.1 | +44 53 50 | 0.006518 | 12.0 | So | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 04/11/02 | 126.0 |
| MRK 1073 | 03 15 01.4 | +42 02 09 | 0.023343 | 13.7 | SB(s)b | Sy2 ⁽¹⁾ | 7200 | 20/10/01 | 451.2 |
| NGC 1275 | 03 19 48.1 | +41 30 42 | 0.017559 | 12.6 | cD;pec | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy1.5 ⁽²⁾ | 7200 | 11/10/01-25/09/03 | 339.4 |
| NGC 1320 | 03 24 48.7 | -03 02 33 | 0.009060 | 13.3 | Sa | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 8400 | 12/10/01-06/11/02 | 175.1 |
| MRK 0612 | 03 30 40.9 | -03 08 16 | 0.020321 | 15.1 | (R')SB(rs)0/a? | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 28/09/03 | 392.7 |
| NGC 1358 | 03 33 39.7 | -05 05 22 | 0.013436 | 13.3 | SAB(r)0/a | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 3600 | 22/10/01 | 259.7 |
| IIIZW 55N | 03 41 10.8 | -01 17 56 | 0.025324 | 15.4 | E pec: | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 3600 | 12/10/01 | 489.4 |
| 3C 120 | 04 33 11.1 | +05 21 16 | 0.033010 | 14.2 | So;LPQ;BLRG | Sy1 ⁽¹⁾ | 7200 | 04/06/03-25/09/03 | 638.0 |
| UGC 03134 | 04 41 48.2 | -01 18 07 | 0.028903 | 14.0 | SAB(s)c | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 04/11/02 | 558.6 |
| NGC 1667 | 04 48 37.1 | -06 19 12 | 0.015167 | 12.8 | SAB(r)c | Sy2 ⁽¹⁾ /Sy2 ⁽²⁾ | 3600 | 11/10/01 | 293.1 |
| MCG-01-13-25 | 04 51 41.5 | -03 48 34 | 0.015894 | 15.0 | SAB(s)0+ | Sy1.2 ⁽¹⁾ | 7200 | 03/11/02-07/11/02 | 307.2 |
| NGC 1685 | 04 52 34.2 | -02 56 58 | 0.015100 | 14.5 | SB(r)0/a | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 06/11/02 | 291.8 |
| UGC 03223 | 04 59 09.4 | +04 58 30 | 0.015621 | 13.8 | SBA | Sy1 ⁽¹⁾ | 3600 | 08/11/02 | 301.9 |
| ZW 468.002 | 05 08 19.7 | +17 21 48 | 0.017505 | 13.4 | | Sy2 ⁽¹⁾ | 3600 | 04/11/02 | 338.3 |

Referencias: (1) NED, (2) Nelson & Whittle (1995)

MÉTODOS Y ANÁLISIS

Para cumplir el principal objetivo de esta tesis que es el análisis de las propiedades de la población estelar en las regiones centrales de galaxias Seyfert nos encontramos con un problema importante y es que en los AGN la detección de líneas espectrales del hidrógeno en absorción es difícil, dado que líneas coinciden con las fuertes emisiones nucleares. En donde la intensidad de las líneas de emisión de hidrógeno va disminuyendo conforme a la relación reportada por [Osterbrock \(1989\)](#). Por lo que la serie alta de las líneas de Balmer se ve menos afectada por la contribución de emisión. Sin embargo en algunos casos se observa la presencia de la serie alta de las líneas de Balmer en absorción y las líneas H y K del CaII, que indican regiones de formación estelar. Las líneas de absorción de la serie alta de Balmer son intensas en las atmósferas de estrellas jóvenes masivas (menor a 10 millones de años). El hecho de que se observen estas líneas en algunos espectros de regiones nucleares de galaxias Seyfert indica la existencia de starbursts nucleares y permite a la vez la caracterización de dichas estrellas.

La existencia de formación estelar reciente en regiones nucleares de galaxias Seyfert ha sido reportada para las de tipo 2 ([Cid Fernandes et al. 1998](#), [Storchi-Bergmann et al. 1998](#), [2000](#), [Joguet et al. 2001](#), [González-Delgado et al. 2001](#), [Raimann 2003](#)). Por otra parte [Colina \(1997\)](#) encuentra que en subestructuras de la galaxia, como son los anillos internos, grandes regiones de formación estelar pueden encontrarse hasta 250 pc del centro de la galaxia o en la barra.

En este capítulo se explica la metodología desarrollada para la búsqueda y caracterización de las poblaciones estelares encontradas a partir de espectros UV-ópticos de regiones nucleares de las galaxias Seyfert. Recordemos que se cuenta principalmente con dos tipos de datos espectroscópicos, unos con una clara detección de la serie alta de las líneas de Balmer en absorción y otros en los que no se observan directamente.

Las figuras [3](#) y [4](#) muestran algunos de los espectros de Seyfert 1 y Seyfert 2 respectivamente, que muestran una clara detección de la serie alta de las líneas de Balmer en absorción, se observan claramente en ambos tipos las líneas H₉, H₁₀, H₁₁ y H₁₂, de la serie de Balmer, todas en absorción. Es interesante notar que esta es la primera vez que se detectan dichas líneas en espectros de varias galaxias Seyfert 1.

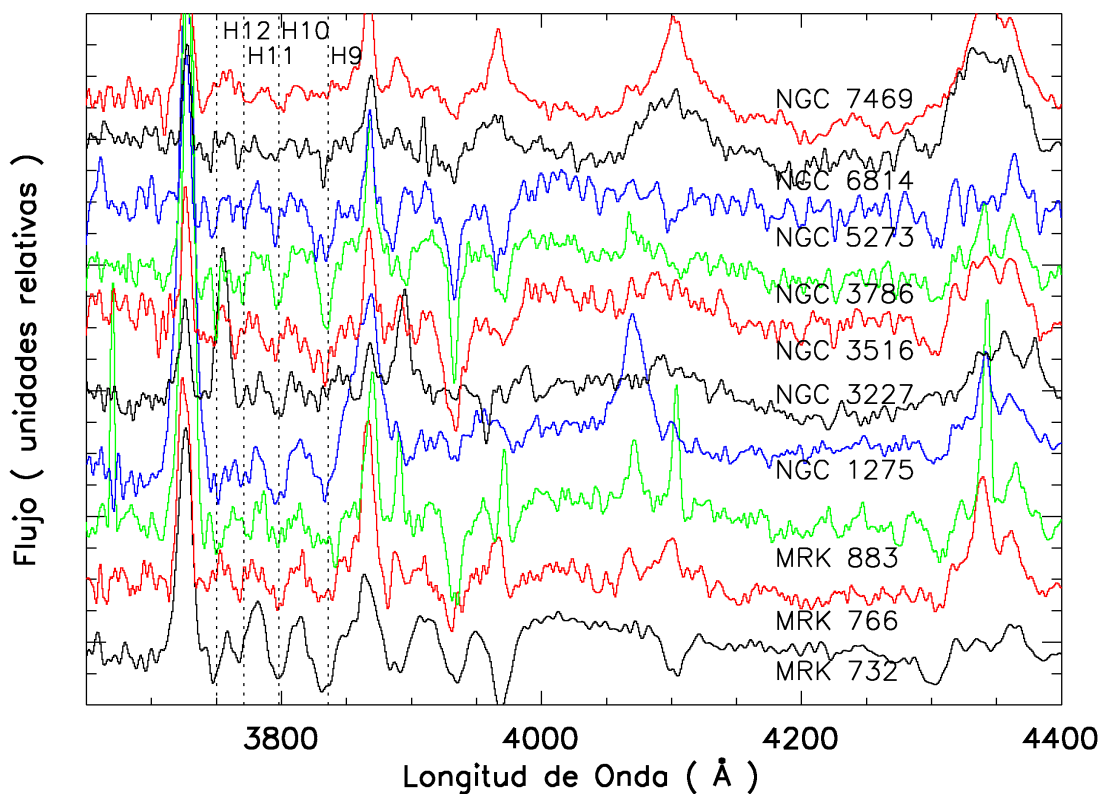


Figura 3: Muestra de espectros de galaxias Seyfert 1 con la serie alta de las líneas de Balmer en absorción.

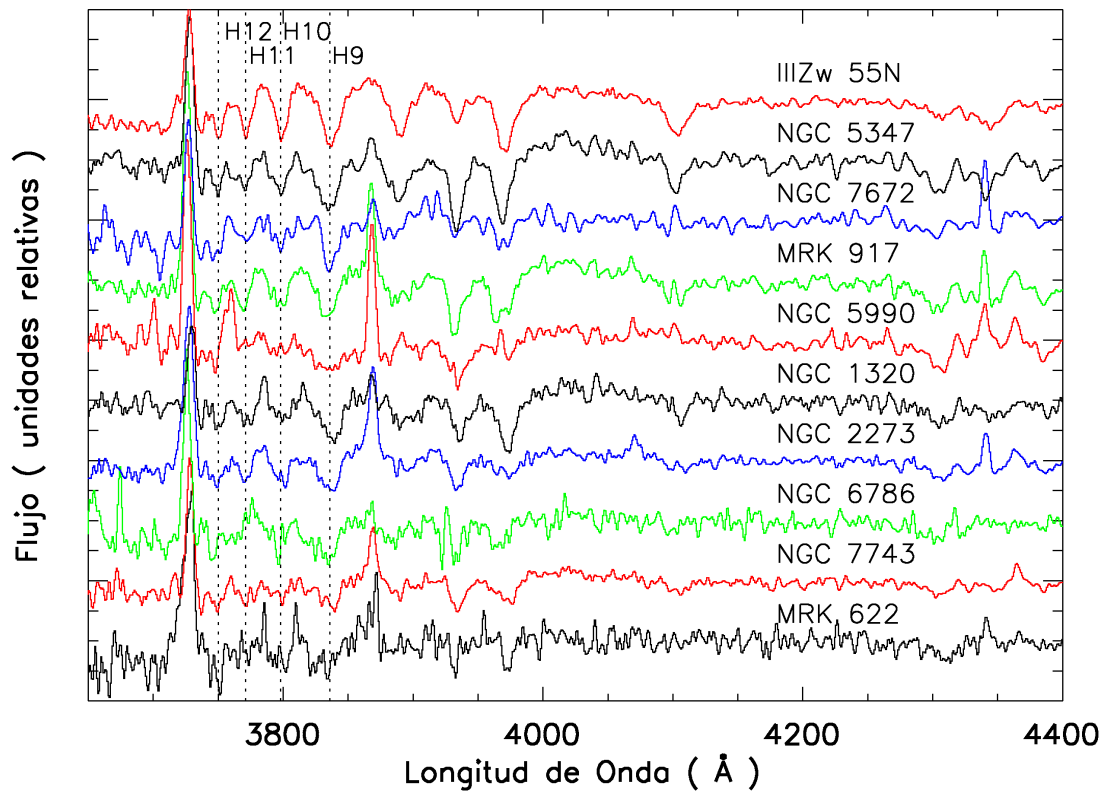


Figura 4: Muestra de espectros de galaxias Seyfert 2 con la serie alta de las líneas de Balmer en absorción.

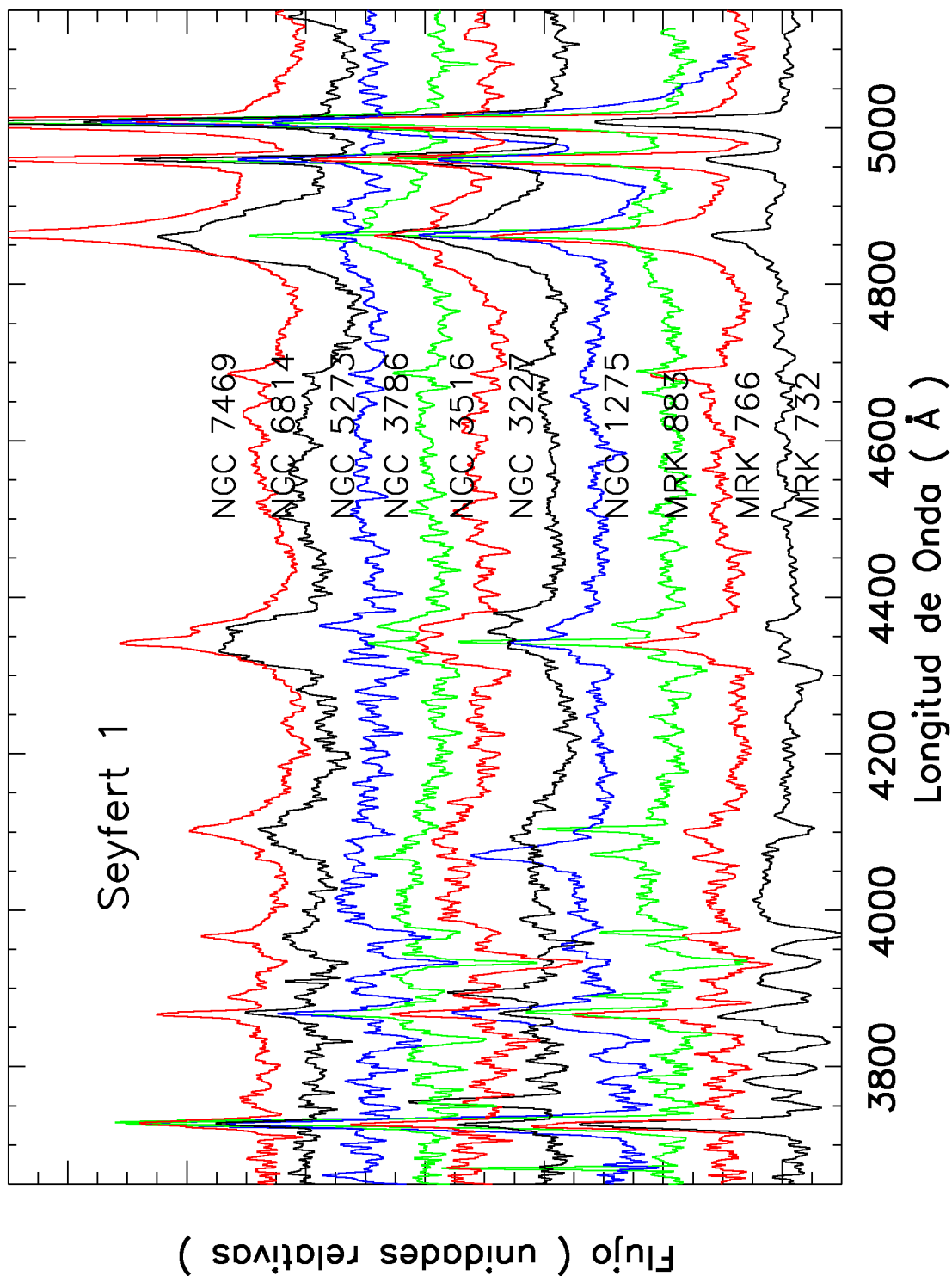


Figura 5: Muestra de espectros de galaxias Seyfert 1 obtenidas de nuestra muestra.

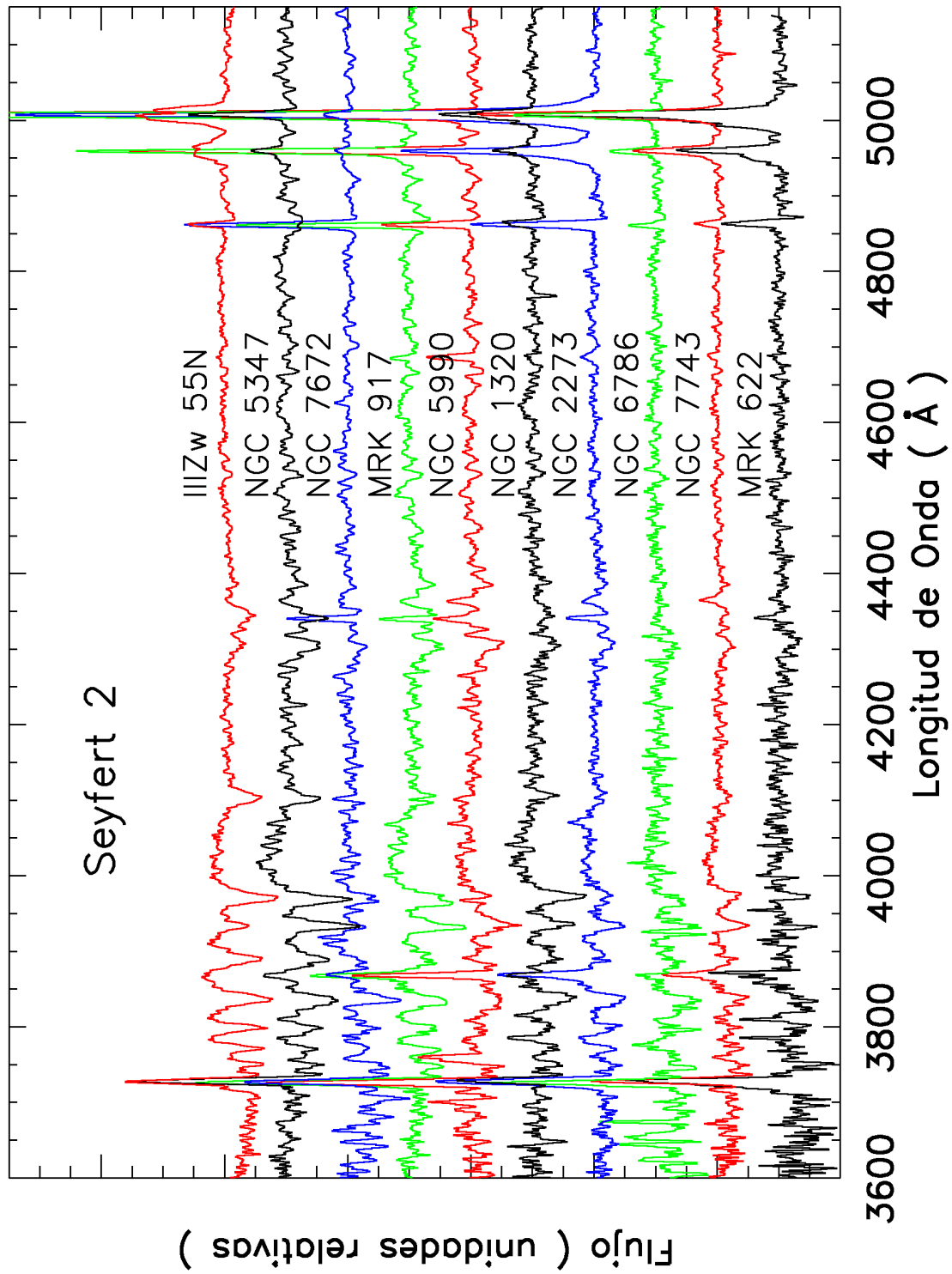


Figura 6: Muestra de espectros de galaxias Seyfert 2 obtenidas de nuestra muestra.

Las figuras 5 y 6 muestran algunos de los espectros de galaxias Seyfert 1 y Seyfert 2 obtenidos de nuestra muestra, en donde se denotan las líneas angostas de la serie de Balmer para las Seyfertt 2 y las líneas anchas para las Seyfert 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los capítulos anteriores se ha probado observacionalmente, para un porcentaje considerable de galaxias Seyfert la existencia de formación estelar reciente en sus regiones nucleares, por medio de la presencia de la serie alta de las líneas de Balmer en absorción. Dicha observación ha sido detectada tanto para galaxias Seyfert 2 como para Seyfert 1.

Si bien ya había reportes en la literatura de detección de rasgos de estrellas jóvenes en núcleos de Seyfert 2 ([Terlevich, Díaz & Terlevich 1990](#), [Oliva et al. 1995](#), [González-Delgado et al. 1998](#), [Joguet et al. 2001](#)), excepto por la detección de un starburst en el núcleo de la Seyfert tipo 1 NGC 3227 ([González-Delgado et al. 2001](#)), esta tesis representa el primer trabajo donde se demuestra y estudia la presencia de starbursts en los núcleos de galaxias Seyferts de tipo 1.

El hecho de que se encuentren regiones de formación estelar en las zonas nucleares de galaxias Seyfert 1, indica una posible reformulación de los modelos teóricos existentes, principalmente el modelo estándar o unificado, que es el más comúnmente utilizado para explicar este tipo de AGN. Los resultados obtenidos en los anteriores capítulos apoyan la idea de que la formación estelar no sólo es producida en subestructuras de las galaxias, como son los anillos internos o barras, sino también en la misma región nuclear.

En el caso de las Seyfert 2 se puede suponer la existencia de estos starbursts embebidos en las regiones del toroide de gas y polvo ([Cid Fernandes & Terlevich 1995](#)), y debido a la inclinación que nos presenta la galaxia, estamos observando directo al toroide. Pero a diferencia de lo que ocurre en las Seyfert 2 donde las imágenes muestran que las fuentes nucleares de luz son extendidas, en el caso de las Seyfert 1 la luz recibida está dominada en general por una fuente no resuelta, el núcleo, por lo que los Starburst detectados tienen que estar embebidos dentro del mismo núcleo.

4.1 EFECTOS INSTRUMENTALES O DE SELECCIÓN

Cuando uno compila una muestra o colección de objetos celestes se encuentra con una serie de posibles efectos de selección debido a la instrumentación utilizada o, como en nuestro caso, al observar galaxias a diferentes redshifts con un mismo ancho de

rendija, se introduce un efecto de apertura. Este efecto de apertura se produce porque a mayor redshift, la misma apertura recoge una mayor área de radiación y esto suele significar varios diferentes tipos de población. Si las extracciones sufren de este efecto, uno esperaría encontrar un incremento de la luminosidad con respecto al redshift si la luz recibida tiene una componente extendida considerable.

La figura 7 muestra la variación con respecto al redshift de la luminosidad de una banda del continuo entre 4000-4050Å para todas nuestras galaxias Seyfert. Usamos una constante de Hubble $H_0=75$ km/s/Mpc.

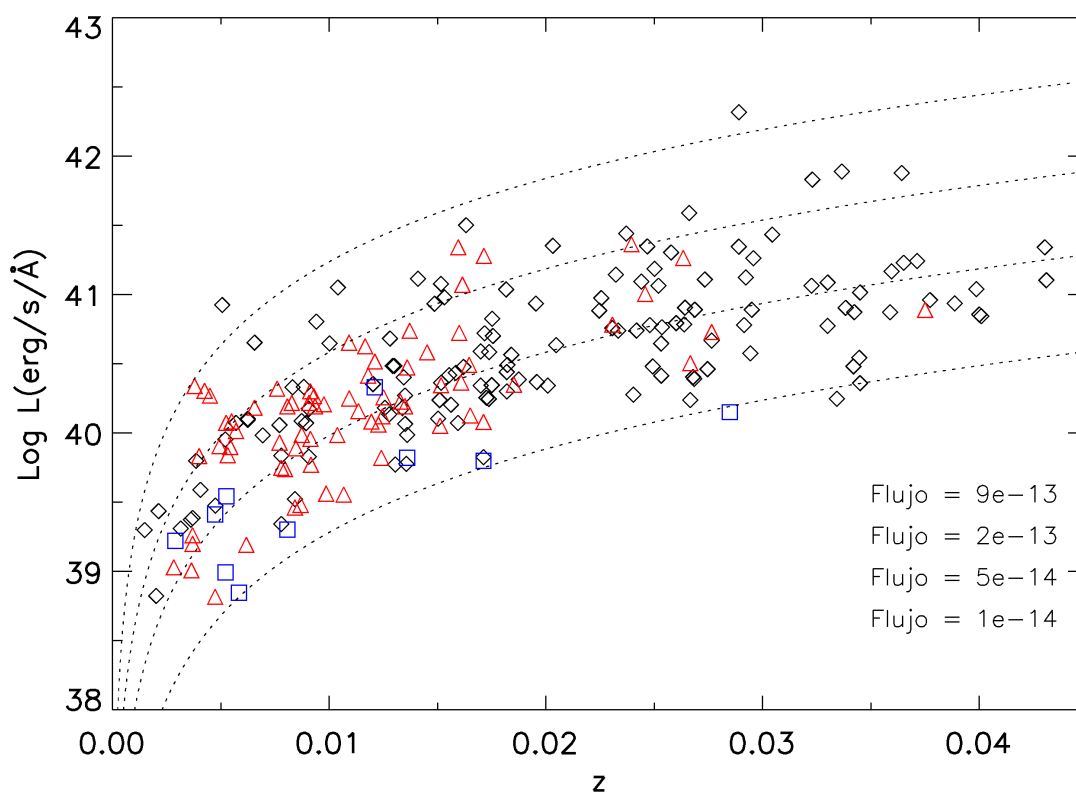


Figura 7: Luminosidad de una banda del continuo (4000-4050Å) contra redshift. Los símbolos cuadrados representan las observaciones con el ESO-NTT, los triángulos las del ESO-1.5 metros, y los rombos las del OAGH. Las líneas de puntos corresponden a los flujos indicados, y representan la variación de la luminosidad como función de la distancia (z).

Si bien de la figura 7 se observa claramente un aumento de la luminosidad con el redshift, el uso de estos parámetros en la búsqueda del efecto de Apertura no es ade-

cuado. Si tomamos un valor constante de flujo y calculamos su luminosidad a lo largo de todo el rango de redshift de la muestra, se obtiene el mismo efecto que la gráfica, como se observa en las líneas de puntos que corresponden a cuatro flujos constantes.

Si usamos el valor promedio del flujo de la banda del continuo de $4000\text{-}4050\text{\AA}$ y lo graficamos contra el redshift correspondiente a cada galaxia (figura 8) el efecto de la figura anterior no se aprecia notablemente. Sin embargo se nota una tendencia a la disminución del flujo con el redshift, como se observa en las líneas de ajuste de los flujos para los tres grupos de observaciones (ver figura 8).

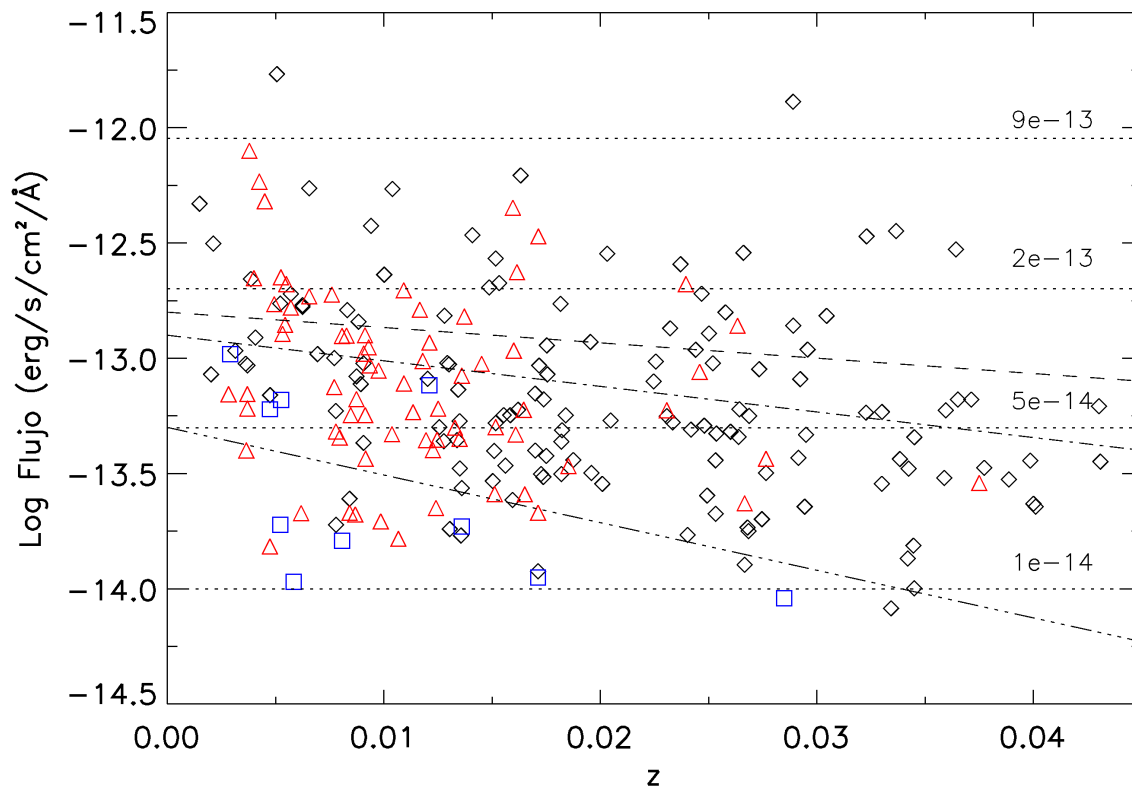


Figura 8: Valor promedio del flujo del continuo en $4000\text{-}4050\text{\AA}$ contra el redshift. Los símbolos cuadrados representan las observaciones con el ESO-NTT, los triángulos las del ESO-1.5 metros, y los rombos las del OAGH. Las líneas horizontales representan los cuatro flujos descritos en la anterior figura, la línea rayada representa el ajuste a primer orden de las observaciones del OAGH, la línea de raya y punto las del ESO-1.5 metros, y la línea de raya y dos puntos las del ESO-NTT.

CONCLUSIONES

El propósito de esta tesis es la caracterización de las poblaciones estelares contenidas en las zonas centrales de las galaxias Seyfert. Con este objetivo se obtuvo una muestra espectroscópica compuesta principalmente de galaxias Seyfert 1 y 2 e intermedias. La muestra contiene 237 galaxias cercanas ($z < 0.044$) y los espectros cubren desde el rango de longitud de onda de 3500-5200Å. El planeamiento y estrategia observacional, obtención de los espectros, reducción y análisis de los datos, incluyendo el desarrollo de un sistema automático de búsqueda de estrellas guía para el autoguiador del telescopio de 2.12m del Observatorio de Cananea, fueron mi responsabilidad. Los datos del telescopio de 1.5m de La Silla, ESO, fueron obtenidos por Benoit Joguet como parte de su Tesis doctoral, antes de que yo comenzara mi proyecto.

Quizás la aportación más importante de este trabajo ha sido el descubrimiento de que varias galaxias Seyfert de tipo 1 tienen regiones de formación estelar en la región nuclear. Los espectros que he obtenido contienen una clara detección de líneas de absorción estelares, pertenecientes a la serie alta de las líneas de Balmer, las cuales denotan la presencia de reciente formación estelar en estos objetos. Estas líneas de absorción características de formación estelar reciente también fueron detectadas en los espectros de un gran porcentaje de galaxias Seyfert 2 en nuestra muestra. Detectando un total de 87 galaxias Seyfert 2 y 15 galaxias Seyfert 1, lo que correspondería a un porcentaje de aproximadamente el 43 % de la muestra total. A partir de la muestra se reporta que de las 142 galaxias Seyfert 2 el 60 % tiene la serie alta de Balmer y de las 44 galaxias Seyfert 1 el 34 % tiene la serie alta de Balmer (como se discutió en el capítulo 2).

ANÁLISIS PANCROMÁTICO DE NGC 1068

A.1 RESUMEN

En este apéndice analizaremos observaciones del núcleo de NGC 1068 realizadas en un amplio rango de longitudes de onda. Esta galaxia se caracteriza por tener una gran actividad energética en su núcleo. Se analizan datos de alta calidad desde los rayos-X al lejano infrarrojo, para caracterizar su distribución de energía espectral (Spectral Energy Distribution, SED). Este estudio nos proporcionará información acerca de la fuente ionizante oculta en su núcleo. De nuestros resultados encontramos que en el rango de longitud de onda desde el óptico a los rayos-X suaves el SED puede ser explicado por la presencia de reciente formación estelar con una edad de alrededor de 5.2 millones de años. Sin embargo, encontramos que una segunda fuente no estelar es necesaria para la región de los rayos-X duros, consistente con la presencia de una segunda componente en el cercano infrarrojo. Esperamos publicar próximamente este análisis.

A.2 INTRODUCCIÓN

La galaxia NGC 1068 es una galaxia temprana, una espiral barrada a una distancia de 14.4 Mpc asumiendo una constante de Hubble de 75 km/s/Mpc. Esta galaxia se encuentra sobre el ecuador celeste haciendo posible su observación desde los dos hemisferios. Como es brillante ($m_v=9.6$) ha sido muy estudiada.

La galaxia NGC 1068 ha sido clasificada como una Seyfert 2 al ser observada en luz directa, descubriéndose un núcleo tipo Seyfert 1 en luz polarizada (Antonucci & Miller 1985) el cual no podemos observar directamente; sólo nos llega la radiación que es reflejada por electrones y/o polvo de las regiones circumnucleares. Este hecho ha llevado a formular un escenario en el cual se trata de unificar ambos tipos de Seyferts dentro de un mismo marco físico. Este se llama el modelo unificado que postula que las Seyfert se ven de tipo 1 o de tipo 2, según el ángulo de vista del observador. Una de sus mayores incertidumbres es qué tipo de fuente de luminosidad ionizante se encuentra oculta en su núcleo.

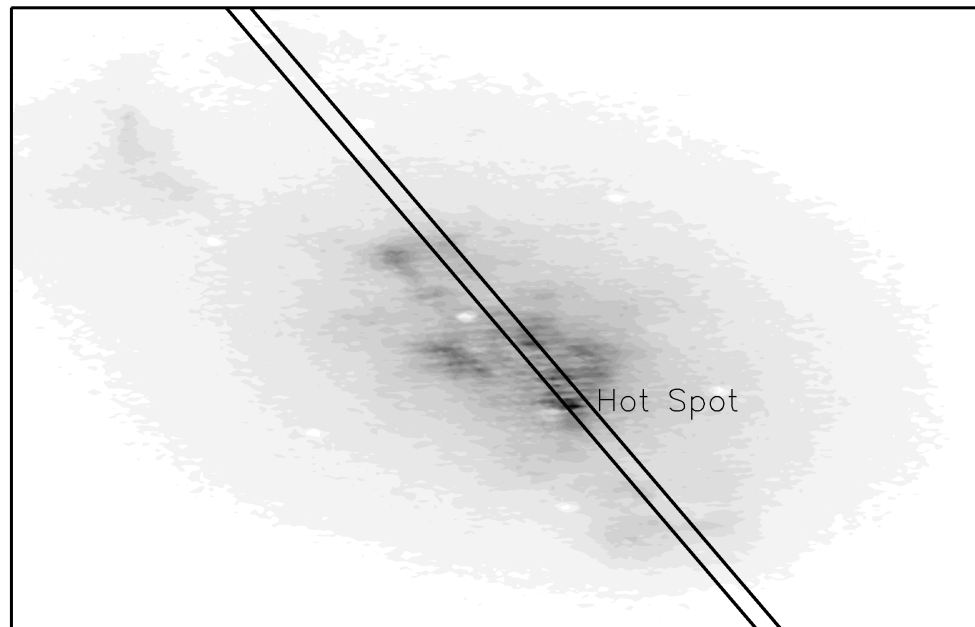


Figura 9: Posición de la rendija, sobrepuesta a una imagen de NGC 1068 en [OIII]. El norte está hacia arriba y el este hacia la izquierda.

En datos generales la galaxia NGC 1068, tiene un redshift $z=0.003798$, con una magnitud visual aparente de $m_v=9.6$, y sus coordenadas son RA $02^h42^m40.2^s$ y DEC $-00^{\circ}00'48''$ (Época 2000). Ubicada en la constelación de Cetus o la Ballena, con unas dimensiones de 7×6 arcmin y una clasificación morfológica (R)SAB(rs)ab, es decir que muestra un anillo externo, una barra, un anillo interno y brazos en forma de S.

Imágenes desde tierra en banda angosta de la región de líneas angostas (Narrow Line Region, NLR) de NGC 1068 revelan que las líneas de emisión forman una estructura bi-cónica, aproximadamente paralela al eje en radio, extendiéndose al noroeste y suroeste del núcleo (Pogge 1988). Observaciones con el Hubble Space Telescope (HST) revelan que el interior de la NLR contiene numerosos knots y filamentos de gas ionizado, también en una geometría bi-cónica (Evans et al. 1991).

BIBLIOGRAFÍA

- Baldwin J.A., Phillips M.M., & Terlevich R., 1981, *PASP*, **93**, 5.
- Cid Fernandes R., & Terlevich R., 1995, *MNRAS*, **272**, 423.
- Cid Fernandes R., Storchi-Bergmann T., & Schmitt H.R., 1998, *MNRAS*, **297**, 579.
- Colina et. al., 1997, *ApJ*, **484**, L41.
- Evans I.N., et al., 1991, *ApJ*, **369**, L27.
- Fairall, A. P. & Jones, A., 1991, Southern Redshift Catalogue and Plots, Publications of the Department of Astronomy, University of Cape Town, Cape Town: University, Department of Astronomy.
- González A., 2001, Technical Report on EMMI grating #4.
- González-Delgado R.M., et al., 1998, *ApJ*, **505**, 174.
- González-Delgado R.M., Heckman T.M., & Leitherer C., 2001, *ApJ*, **546**, 845.
- Hazard C., Mackey M. B., & Shimmins A. J., 1963, *Nature*, **197**, 1037.
- Joguet B., et al., 2001, *A&A*, **380**, 19.
- Khachikian E.Y., & Weedman D. W., 1974, *ApJ*, **192**, 581.
- Lipovetsky, V.A. Neizvestny, S.I., & Neizvestnaya, O.M., 1988, *Soobshcheniya Spetsialnoj Astrofizicheskoy Observatorii*, Vol. 55, 5.
- Nelson, C. H., & Whittle, M., 1995, *ApJS*, **99**, 67.
- Oliva E., et al., 1995, *A&A*, **301**, 55.
- Osterbrock D.E., 1989, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and AGN*, University Science Books, California.
- Pogge R.W., 1988, *ApJ*, **328**, 519.
- Raimann D., Storchi-Bergmann T., González-Delgado R.M., Cid Fernandes R., Heckman T., Leitherer C., & Schmitt H., 2003, *MNRAS*, **339**, 772.
- Seyfert C.K, 1943, *ApJ*, **97**, 28.

Schmidt M., 1963, *Nature*, **198**, 650.

Storchi-Bergmann T., Raimann D., Bica E., & Fraquelli H., 2000, *ApJ*, **544**, 747.

Storchi-Bergmann T., Cid Fernandes R., & Schmitt H.R., 1998, *ApJ*, **501**, 94.

Terlevich E., Díaz A.I., & Terlevich R., 1990, *MNRAS*, **242**, 271-284.

Veilleux S., & Osterbrock D.E., 1987, *ApJS*, **63**, 295.

Véron-Cetty M., & Véron P., 2001, *European Southern Observatory Scientific Report* 20, 1.