



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

AJUSTE MULTICOMPONENTE DE ESPECTROS
ESPACIALMENTE RESUELTOS Y ESTIMACIÓN
INDIRECTA DE MASAS DE AGUJEROS NEGROS DE
GALAXIAS DEL CATÁLOGO MANGA DEL SDSS-IV

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICO

P R E S E N T A :

ALEJANDRO MIGUEL MUNGUÍA CÓRDOVA

TUTOR

DRA. MARIANA CANO DÍAZ.



CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd. Mx., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos

A papá y mamá:

Por darme siempre todas las oportunidades y herramientas que he necesitado para desarrollarme en la vida, así como apoyarme incondicionalmente en todos mis objetivos y metas que me he propuesto. Sin ellos nada de lo que he logrado sería posible.

A Mariana Cano Díaz y Aldo Rodríguez Puebla:

Quienes fueron piedra angular en el desarrollo de esta tesis, por abrirme las puertas a su equipo de trabajo, por apoyarme y brindarme su tiempo y conocimientos cada que lo necesité, desde el momento en que esta tesis fué una simple idea, hasta ahora. Sin sus ideas, propuestas, correcciones, consejos y enseñanzas, este trabajo no hubiera visto la luz.

A los sinodales:

Omaira González, Alenka Negrete, Héctor Hernández y Mariana Vargas, por su tiempo y disponibilidad para la revisión de este trabajo, sobre todo en estos tiempos de contingencia.

A mis amigos:

Tanto por su apoyo, como por los grandes momentos que viví a lo largo de la carrera con ellos. Definitivamente esta etapa de la vida no hubiera sido la misma sin todos esos buenos momentos.

Finalmente:

Al Instituto de Astronomía de la UNAM, lugar que me inculcó la pasión por la Astronomía. A la Facultad de Ciencias de la UNAM, por darme la oportunidad de estudiar mi carrera universitaria y adentrarme en el mundo de la Física. Y al CECyT 9 "Juan de Dios Bátiz" del IPN, escuela que me inculcó la disciplina del estudio y a la cual le debo muchos de mis mas grandes logros. En particular a cada uno de los profesores que he tenido en todos los niveles educativos.

Resumen

Los hoyos negros supermasivos (SMBHs) son objetos oblicuos en los centros de las galaxias que se espera han jugado un papel importante en la regulación de los mecanismos de la formación de las galaxias. Entender cómo ha sido ese papel es una de las grandes preguntas de la astronomía actual. En particular, entender la relación $M_{BH} - M_*$ es de vital importancia para dilucidar lo anterior, por lo que un paso clave radica en la determinación precisa de las masas de los SMBHs. No obstante, su determinación ha sido un reto desafiante para la comunidad ya que en la actualidad se cuenta con alrededor de ~ 250 SMBHs con masas medidas directamente. Alternativamente, se han propuesto métodos, aunque físicamente motivados, son indirectos. Un caso notable es el uso de las líneas de emisión H_α y H_β propuesto por Greene y Ho (2005b). Mientras este nuevo método ha resultado bastante útil, existe una preocupación sobre el impacto que puedan tener los efectos de apertura sobre las inferencias de M_{BH} .

El objetivo principal de esta tesis es la de poner a prueba la metodología de inferencia indirecta de las masas de los SMBHs propuesta por Greene y Ho (2005b). Para esto proponemos comparar los resultados obtenidos con este método con aquellos que se obtienen con mediciones directas, los cuales son los más precisos hasta el momento. Como objetivo secundario estudiamos los posibles efectos de apertura que puedan introducir las observaciones.

Para cumplir con nuestro objetivo utilizamos datos del catastro “Mapping Nearby Galaxies at APO” (MaNGA) (Bundy *et al.*, 2015) de la colaboración internacional “Sloan Digital Sky Survey IV” (SDSS IV) (Blanton *et al.*, 2017), el cual utiliza la técnica de Espectroscopía de Campo Integral (IFS por sus siglas en Inglés). En particular usamos los espectros de gas ionizado, que obtuvimos a través de los productos de datos proporcionados por el programa de análisis Pipe3D al restar la componente estelar de los espectros totales (Sánchez *et al.*,

2016b,a). La muestra de cuatro galaxias que elegimos, se basó en seleccionar a aquellas que se encuentran dentro de este catastro pero que también cuentan también con mediciones dinámicas de M_{BH} reportadas en van den Bosch (2016).

Para cumplir con nuestro objetivo hicimos ajustes multi-componentes a las líneas de emisión de los espectros visibles de gas ionizado a diferentes aperturas de tres galaxias de nuestra muestra, que son aquellas para las cuales pudimos observar de forma preliminar las líneas de emisión de interés. A partir de estos ajustes hicimos las inferencias indirectas de las M_{BH} a distintas aperturas haciendo uso de las componentes anchas en las líneas de emisión de H_α y H_β ajustadas.

Para dos de las tres galaxias a las cuales les calculamos las M_{BH} pudimos concluir que las masas inferidas con los espectros de gas ionizado convergen a resultados que se encuentran subestimados hasta por 1.25 dex al compararlos con las masas estimadas por métodos directos. Como parte de nuestros resultados, encontramos que los espectros de gas derivados con Pipe3D presentan un efecto de sobre-sustracción de la componente estelar, la cual intentamos corregir introduciendo una componente extra al ajuste multi-componente de dichos espectros. Finalmente, encontramos que los efectos de apertura se minimizan para radios mayores o iguales al de PSF, impidiendo obtener resultados concluyentes sobre su impacto en la metodología de Greene y Ho (2005b).

Índice general

Agradecimientos	II
Resumen	III
1. Introducción	1
1.1. Núcleos Activos de Galaxias.	3
1.2. Métodos para estimar las masas de los SMBHs.	5
1.3. Objetivos.	7
2. Muestra de Datos	9
2.1. Espectroscopía de Campo Integral (IFS).	9
2.2. Muestra de SMBHs en MaNGA.	11
2.2.1. Sustracción de Componente Estelar (Pipe3D).	12
3. Metodología	14
3.1. Identificación de AGNs: Diagramas de Diagnóstico BPT.	15
3.2. Ajuste de las líneas de emisión a distintas aperturas.	17
3.2.1. Integración Espectral a Distintas Aperturas.	18
3.2.2. Algoritmo de Ajuste Multicomponente.	22
3.3. Incertidumbres.	26
4. Resultados	27
4.1. MaNGA-8553-1901. Mrk-290.	28
4.2. MaNGA-9000-1901. Arp-151.	34

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VI
4.3. MaNGA 9193-12701. NGC 1194.	39
5. Discusión	42
5.1. Efectos y Corrección de Sustracción de Componente Estelar.	43
5.2. Inferencias de M_{BH} y Efectos de Apertura.	45
6. Conclusiones	49
A. Ajustes Espectrales a Distintas Aperturas.	51
A.1. MaNGA-8553-1901.	51
A.2. MaNGA-9000-1901.	58
A.3. MaNGA-9193-12701.	64
B. Parámetros de Ajustes.	77
B.1. MaNGA-8553-1901.	77
B.2. MaNGA-9000-1901.	80
B.3. MaNGA-9193-12701.	82
C. Corrección de Ajustes Espectrales a Distintas Aperturas.	84
C.1. MaNGA-8553-1901.	84
C.2. MaNGA-9000-1901.	91
D. Parámetros de Ajustes Corregidos.	97
D.1. MaNGA-8553-1901.	97
D.2. MaNGA-9000-1901.	99

Capítulo 1

Introducción

Una galaxia es una región en el Universo con una estructura relativamente definida que va desde los cientos de pársecs hasta kilopársecs,^{*} la cual se encuentra compuesta principalmente de estrellas, gas, polvo, materia oscura y de un hoyo negro supermasivo central. Se estima que en el Universo existen cerca de 2×10^{12} de galaxias (Conselice *et al.*, 2016) y son objetos tan diversos que se requiere un gran número de parámetros para caracterizar a una galaxia. La mayoría de los estudios se han enfocado en describir sus propiedades globales físicas y químicas, su morfología, así como sus procesos de formación estelar (ver por ejemplo Mo *et al.*, 2010). Recientemente, gracias a la técnica de la espectroscopía de campo Integral, el estudio de las galaxias ha llegado a un nivel de detalle nunca antes visto en términos de resolución espacial (véase el artículo de revisión Sanchez, 2019). Esto ha permitido que el estudio y caracterización de las galaxias sea cada vez más preciso lo cual permitirá comprender mejor su origen y destino.

Actualmente, el rol de los hoyos negros se ha identificado como clave para entender la evolución de las galaxias. Las evidencias observacionales apuntan que los agujeros negros abarcan un continuo de masas; desde agujeros negros estelares ($\sim 10 - 40M_{\odot}$, Gies y Bolton, 1986; Greiner *et al.*, 2001; Orosz, 2003; Belczynski *et al.*, 2010; Abbott *et al.*, 2016); masa intermedia ($\sim 10^2 - 10^4M_{\odot}$, Miller *et al.*, 2003, 2004; Noyola *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2019); hasta agujeros negros supermasivos ($\sim 10^4 - 10^{10}M_{\odot}$, Lynden-Bell, 1969; Lynden-Bell y Rees, 1971; Kormendy y Ho, 2013; van den Bosch, 2016). Teóricamente, una galaxia se espera que

^{*}1 pc corresponde a $\sim 3.1 \times 10^{16}$ m.

albergue alrededor de $\sim 10^4 - 10^6$ agujeros negros estelares (Elbert *et al.*, 2018),** mientras que la evidencia empírica sugiere que albergan, al menos, un agujero negro supermasivo (SMBH). En efecto, evidencias observacionales apuntan a que los SMBH son objetos oblicuos a los centros de las galaxias (Richstone *et al.*, 1998; Ferrarese y Ford, 2005; Kormendy y Ho, 2013; Reines y Volonteri, 2015). Esta evidencia es particularmente convincente para nuestra propia galaxia, albergando un SMBH central con masa $M_{\text{BH}} \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$ (Ghez *et al.*, 2005). En esta tesis nos enfocaremos en la población de los SMBH.

Estimaciones directas de las masas de los SMBH (M_{BH}), mediante trazadores dinámicos, sugieren, cada vez y de manera más convincente, que los SMBH se encuentran estrechamente correlacionados con propiedades globales de las galaxias; principalmente con la dispersión de velocidades central de las estrellas, la masa estelar del bulbo y la masa estelar global de la galaxia (Magorrian *et al.*, 1998; Gebhardt *et al.*, 2000; Marconi y Hunt, 2003; Häring y Rix, 2004; Kormendy y Ho, 2013; McConnell y Ma, 2013; van den Bosch, 2016; Saglia *et al.*, 2016, y véase el artículo de revisión de Graham, 2016 para mayores referencias).***

Aproximadamente la masa de los SMBHs es de alrededor del $\sim 0.1 - 1\%$ la masa estelar del bulbo que los alberga con una dispersión del orden de ~ 0.3 dex (e.g., Kormendy y Ho, 2013). Estas correlaciones, sorprendentemente estrechas entre M_{BH} y las propiedades globales de las galaxias, sugieren, de manera indirecta, que la formación entre los SMBHs se encuentra estrechamente conectada a la formación de las galaxias, favoreciendo así un escenario de co-evolución. Es decir, los SMBHs podrían jugar un papel esencial en regular los mecanismos de la formación de las galaxias (Silk y Rees, 1998).

En efecto, métodos indirectos para inferir la demografía de los SMBHs a diferentes corrimientos al rojo (ver por ejemplo; Kelly y Merloni, 2012; Tucci y Volonteri, 2017) muestran evidencias de que la tasa de formación estelar cósmica y la tasa de crecimiento cósmica de los SMBHs evolucionan en paralelo; ambos muestran un pico máximo a $z \sim 2$ y decaen rápidamente a bajos corrimientos al rojo (Marconi *et al.*, 2004; Merloni *et al.*, 2004). Finalmente, en general los SMBHs se pueden dividir en dos familias, los inactivos y activos. En esta tesis nos enfocaremos en los últimos conocidos como núcleos activos de galaxias (AGNs).

**Es decir en el Universo se espera que existan $\sim 2 \times 10^{12} \times (10^4 - 10^6) = 2 \times 10^{16} - 10^{18}$ agujeros negros estelares.

***No obstante, estas correlaciones se basan en mediciones de apenas un par de centenas de galaxias.

1.1. Núcleos Activos de Galaxias.

Los núcleos activos de las galaxias son una población especial de galaxias que emiten una gran cantidad de energía dentro de una región central y puntual, sugiriendo que el responsable de esa emisión debe provenir de la actividad de un objeto compacto. Actualmente se encuentra bien establecido que los SMBHs son los responsables directos de esa emisión (Salpeter, 1964; Lynden-Bell, 1969) mediante la captura de material (típicamente gas frío en forma de hidrógeno y/o polvo), presentando características espectroscópicas únicas que se pueden identificar y caracterizar. Las galaxias que presentan este tipo de actividad son las idóneas para poder hacer estudios acerca de la co-evolución de los agujeros negros supermasivos centrales y sus galaxias anfitrionas (Volonteri, 2012; Schawinski, 2012; Kocevski *et al.*, 2017) con el fin de establecer un contexto global de las teorías modernas sobre formación y evolución de galaxias (Silk y Rees, 1998; Benson *et al.*, 2003; Hopkins *et al.*, 2008b,a).

Los AGNs se pueden clasificar en distintos tipos dependiendo de sus propiedades espectrales, sus luminosidades y el cociente entre la luminosidad nuclear y estelar (ver por ejemplo, Antonucci, 1993; Netzer, 2015). En particular las características del espectro óptico son útiles para identificar un tipo particular de AGN, los Seyfert. La figura 1.1 muestra ejemplos típicos de los espectros de AGNs conocidos como Seyfert, mostrando el contraste entre un AGN Tipo I y un AGN Tipo II, cuya principal diferencia espectroscópica es la presencia de una componente ancha de H_α y H_β , entre otras propiedades.

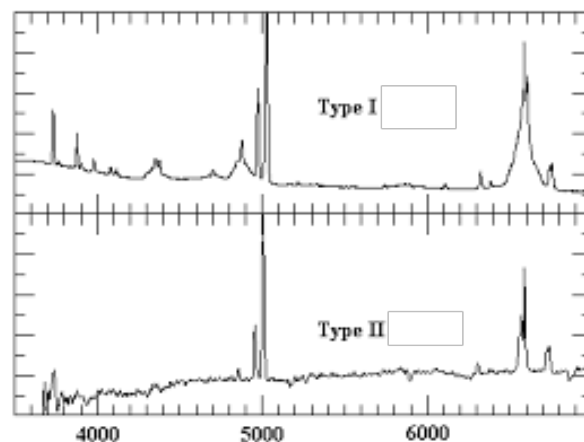


Figura 1.1: Ejemplo de Espectros de AGNs tipo I y II. Tomada de Mingozzi (2016)

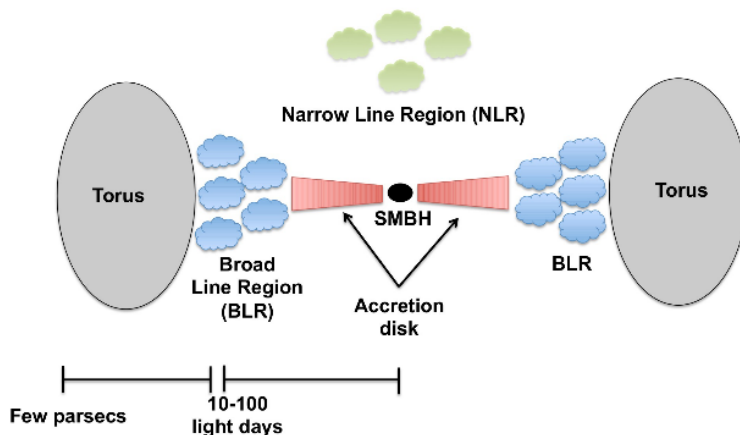


Figura 1.2: Estructura típica de un AGN (no a escala). Tomada de Mingozi (2016)

De acuerdo al modelo unificado de AGNs (Ver Figura 1.2), estos objetos astronómicos pueden explicarse por medio de las siguientes componentes (Antonucci, 1993; Netzer, 2015):

- Una fuente central y compacta con un tamaño de ordenes mas pequeños que el pársec, correspondiente a un disco de acreción alrededor del SMBH.
- Una región de emisión de líneas anchas (BLR), que corresponde a una nube de gas denso orbitando a altas velocidades Keplerianas, a una distancia de luminosidad entre 0.01 y $1pc$ del SMBH.
- Una estructura conformada mayormente de polvo, en forma de toroide que se extiende a distancias de luminosidad entre 0.1 y $10pc$ del SMBH.
- Una región de emisión de líneas delgadas (NLR) que corresponde a gas ionizado de baja densidad, que se mueve a bajas velocidades Keplerianas, y se extiende desde la zona exterior del toroide de polvo, hasta cientos o incluso miles de pársecs a lo largo de la dirección de apertura del toroide. Gran parte de este gas contiene polvo.
- Un disco molecular muy delgado, de tamaño similar al toroide.
- En ocasiones un jet central con emisión en radio.

En términos energéticos, los AGNs son fuentes extraordinariamente potentes de energía la cual podría tener un impacto importante en el medio intergaláctico, y por lo tanto en los

mecanismos de regulación de formación estelar, así como en la evolución de las galaxias (Silk y Rees, 1998; Benson *et al.*, 2003). Esto los hace objetos de particular interés si queremos alcanzar una comprensión más completa sobre la co-evolución entre los SMBHs y las galaxias.

1.2. Métodos para estimar las masas de los SMBHs.

Existen dos métodos principales para determinar directamente las masas de los SMBHs (M_{BH}):

- **Cinemática del las Estrellas** (Sargent *et al.*, 1978; Kormendy y Richstone, 1995): Conceptualmente esta técnica es sencilla ya que a partir de la cinemática estelar observada se pretenden resolver las ecuaciones de Jeans, las cuales relacionan el potencial gravitacional total con los momentos de las distribuciones de las velocidades.****
- **Mapeo de Reverberación** (Blandford y McKee, 1982): Nubes de gas de alta velocidad que comprenden la región de las líneas anchas pueden utilizarse para sondear el efecto gravitatorio del SMBH. Lo anterior utiliza el rezago en el tiempo entre la variación del brillo en el continuo y las líneas anchas de emisión para interpretarlo como el tiempo que le toma a luz viajar entre el SMBH y la región emisora. Esto proporciona una estimación del radio R de la región de línea ancha. La velocidad de las nubes de gas, V , puede medirse a partir de la anchura a media altura (FWHM) de las líneas de emisión. Así, si el SMBH controla los movimientos de las nubes en la región de línea anchas se puede medir su masa a partir del teorema del virial $M_{BH} \propto V^2 R$.

Debido a la alta complejidad de obtener conjuntos de observaciones que permitan obtener estimaciones directas de los SMBHs, la estimación de su masas ha sido un reto históricamente desafiante. Actualmente, para el universo local, $\lesssim 150$ Mpc, se cuentan con alrededor de ~ 200 SMBHs con masa estimadas a partir de métodos directos utilizando la cinemática del gas o las estrellas y ~ 50 SMBHs utilizando la técnica del mapeo de reverberación (para una compilación actual véase van den Bosch, 2016). A la par de las estimaciones directas,

**** También existen métodos que utilizan la cinemática del gas aunque movimientos no ordenados pueden introducir incertidumbres en la determinación de las masas de los SMBHs.

enfoques indirectos han surgido para la determinación de masas de SMBHs. Las inferencias indirectas son de gran interés, ya que el número de galaxias a las cuales se les puede inferir la masa del SMBH puede ser bastante mayor (ver por ejemplo Reines y Volonteri, 2015).

En el pasado, muchos grupos han optado por utilizar el gas ionizado de la región de líneas anchas, tales como el [SII] y [OII], como un proxy para estimar la dispersión de velocidades de las estrellas en el bulbo, σ_* . Esta idea parece bastante prometedora ya que al originarse dentro de la región de las líneas anchas podría utilizarse como proxy para estimar la masa de los SMBHs. No obstante esta técnica ha recibido fuertes críticas ya que mientras en promedio el ancho de las líneas [SII] y [OII] trazan la σ_* , la dispersión medida a partir de las estimaciones resulta mucho más amplia que la dispersión física de la σ_* (Greene y Ho, 2005a, y referencias en el mismo). Eso impide utilizar esas líneas de ionización como trazadores directos de σ_* (Greene y Ho, 2005a). Adicionalmente, los efectos del AGN sobre las líneas de ionización ha sido sistemáticamente reportados en previos trabajos. En particular, la línea de [OIII] regularmente tiene una ala azul ancha (De Robertis y Osterbrock, 1984; Wilson y Heckman, 1985) la cual se interpreta como un señal de que el AGN juega un papel importante en el origen de la cinemática para [OIII] (Greene y Ho, 2005a). Finalmente, las mismas propiedades globales de galaxias podrían llevar a las desviaciones entre la dispersión del gas ionizado y las estrellas, por ejemplo la cinemática del gas y las estrellas en las regiones centrales podrían depender del tipo morfológico.

Alternativamente, líneas de emisión en H_β (Kaspi *et al.*, 2000) y H_α (Greene y Ho, 2005b) se han planteado para determinar la velocidad V utilizada en la expresión virial en la técnica del mapeo de reverberación. Este método para estimar las masas de los SMBHs, aunque indirecto, es bastante atractivo ya que, entre otras propiedades, la luminosidad de la líneas anchas de H_α es relativamente simple de medir, además de que se espera que sea poco o nada afectada por las componentes del jet en fuentes tan energéticas como los blazares (Wang *et al.*, 2003). Aunque dicho enfoque resulta bastante atractivo, aún existen algunas preguntas que quedan abiertas sobre su utilización. Mientras que Greene y Ho (2005b) derivan la luminosidad de las líneas anchas en H_α y H_β , estas provienen dentro de los 3 segundos de arco de la fibra central del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Existe entonces una seria preocupación de que el uso de la fibra central se encuentre contaminada por componentes

cinemáticas del bulbo o del disco de las galaxias así como también de emisiones no asociadas a la región de las líneas anchas. Otra preocupación es que estas relaciones se han formulado de manera estadística para una muestra de espectros galácticos y es importante calibrarlas constantemente.

Una herramienta para obtener inferencias con mayor precisión por medio de esta metodología indirecta (Greene y Ho, 2005b) es aplicarla para espectros espacialmente resueltos, que se pueden obtener a través de herramientas como la Espectroscopía de Campo Integral (IFS por sus siglas en inglés). Esto abre un campo de oportunidad para discriminar las regiones espaciales de interés, pudiéndose así disminuir la contaminación espectral con origen en las zonas ajenas al núcleo galáctico, como son el bulbo o el disco galáctico. Es por ello la importancia de calibrar el método poniendo a prueba las inferencias obtenidas a distintas aperturas centradas en el núcleo contra mediciones directas. De este modo, se puede aplicar dicha metodología para inferir M_{BH} con mayor certidumbre y precisión para muestras mayores de galaxias que utilicen la técnica IFS. Un ejemplo es la muestra MaNGA, descrita en más detalle en el siguiente capítulo, la cual es un de las muestras más grandes observadas mediante la técnica del IFS y que utilizaremos en esta tesis.

1.3. Objetivos.

El objetivo de esta tesis es la de estimar M_{BH} mediante la técnica de Greene y Ho (2005b), para aquellas galaxias del catastro MaNGA que tengan mediciones directas de M_{BH} . Utilizar MaNGA y las ventajas que introducen el IFS nos permitirá:

- Estudiar los efectos de la apertura central del SDSS en la técnica propuesta en Greene y Ho (2005b); los cuales podrían estar contaminados por el bulbo y disco de las galaxias en donde se albergan los SMBHs.
- Cuantificar las diferencias sistemáticas a diferentes radios entre las mediciones directas e indirectas de las masas de los SMBHs.
- Proponer una calibración a las ecuaciones de Greene y Ho (2005b) para determinar correctamente las masas de los SMBHs.

Finalmente, esta tesis se encuentra organizada del siguiente modo. En la sección 2 describimos los datos y la muestra de SMBHs que tienen mediciones directas y se encuentran en MaNGA. En la sección 3 describimos la metodología empleada para determinar las masas de los SMBHs a partir de las líneas anchas de H_β y H_α en función del radio así como el análisis de los cubos de datos para nuestro conjunto de galaxias de MaNGA. Los resultados son presentados en la sección 4 y sus discusión se encuentra en la sección 5. Las conclusiones se presentan en la sección 6.

Para esta tesis adoptamos una cosmología Λ CDM con $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$ y $H_0 = 70$ km s^{-1} Mpc $^{-1}$.

Capítulo 2

Muestra de Datos

2.1. Espectroscopía de Campo Integral (IFS).

Recientemente se ha expandido el uso de la técnica observacional conocida como Espectroscopía de Campo Integral (IFS por sus siglas en inglés), la cual permite obtener simultáneamente imágenes y espectros de distintas regiones de objetos extendidos. Para esto se utiliza un detector bidimensional que obtiene una imagen fragmentada del plano focal, abarcando un intervalo amplio de longitud de onda. De esta forma, cuando el telescopio apunta a un objeto extendido, el haz de fibras (IFU) separa la imagen en una matriz de regiones del plano focal y obtiene un espectro de cada una de estas regiones (ver ilustración de un ejemplo de IFU en Figura 2.1). La información obtenida se guarda en formatos especiales llamados

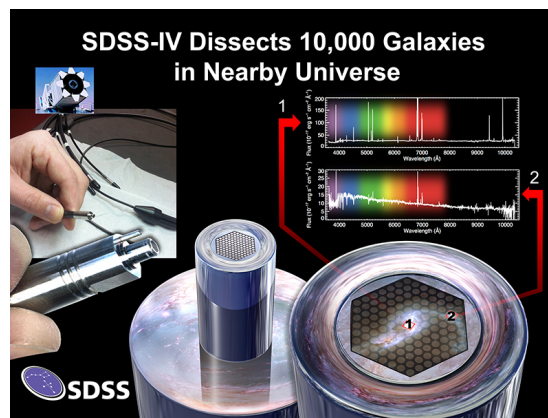


Figura 2.1: Imagen de uno de los IFUs del proyecto MaNGA, SDSS-IV. Fuente de la imagen: <https://www.sdss.org/surveys/manga/>



Figura 2.2: Ilustración de un cubo de datos. Imagen realizada por Marc White, RSAA-ANU. Tomada de: <https://www.linea.gov.br/2016/06/fapergs-recomenda-projeto-para-estudo-de-populacoes-estelares-em-galaxias-usando-dados-do-sdss-iv-manga/>

cubos de datos y en la Figura 2.2 se ilustra un esquema sobre la información espectral que contienen estos.

El IFS garantiza que el proceso de obtención de la información espectral espacialmente resuelta sea lo más preciso posible, minimizando errores de apuntado en las diferentes regiones de los objetos. Recientemente esta técnica se ha comenzado a utilizar en grandes catastró de galaxias como el "Cálar Alto Legacy Integral Field Area Survey (CALIFA)" (Sánchez *et al.*, 2012), el "Sydney-AAO Multi-object Integral field spectrograph (SAMi)" (Croom *et al.*, 2012), y el "Mapping Nearby Galaxies at APO (MaNGA)" (Bundy *et al.*, 2015).

En esta tesis utilizamos el catastro MaNGA de la colaboración SDSS-IV. Este consorcio hace uso principalmente del Telescopio de 2.5 m. ubicado en el "Apache Point Observatory" (APO). La principal fuente de financiamiento de dicho consorcio proviene de de las Universidades y grupos de investigación que lo conforman. Actualmente éste se encuentra en su cuarta fase (Blanton *et al.*, 2017), de la cual la UNAM es miembro completo, permitiendo que sus estudiantes e investigadores tengan acceso preferencial a los datos de cualquiera de sus principales proyectos, entre ellos el ya mencionado MaNGA. Para la realización de este catastro se han utilizado 17 unidades de campo integral (IFUs por sus siglas en inglés) hexagonales, cada una compuesta por arreglos de 19 a 127 fibras ópticas, con diámetros de 12 a 32 arcsec (ver Figura 2.1). Actualmente el proyecto tiene $\sim 10,000$ galaxias observadas.

MaNGA ID	Galaxia	A.R. ⁱ⁾	dec ⁱ⁾	$z(10^{-2})^i)$	$\log(\frac{M_{BH}}{M_{\odot}})^i)$	$R_{ef} ["]^{ii)}$	Clas. Morf. ⁱⁱⁱ⁾	Clas. (AGN) ⁱⁱ⁾	Método (M_{BH}) ⁱ⁾
8553-1901	MRK290	233.97	57.90	3.08±0.05	7.26±0.17	1.42	E1?	Seyfert 1.5	reverb
9000-1901	ARP151	171.40	54.38	2.10±0.05	6.65±0.16	3.25	S0	Seyfert 1	reverb
9028-6102	NGC6086	243.15	29.49	3.22±0.05	9.57±0.17	17.50	E	...	star
9193-12701	NGC1194	45.96	-1.10	1.32±0.07	7.85±0.05	19.03	SA0+	Seyfert 1.9	maser

Tabla 2.1: Galaxias en MaNGA con mediciones directas de sus SMBHs. Los parámetros de estas galaxias fueron obtenidos de: i) van den Bosch (2016), con z y corregida por velocidades peculiares en el marco de referencia del Grupo Local. ii) El radio R_{ef} es el semieje mayor del radio efectivo para banda r reportado en el NSA SDSS-IV (<https://www.sdss.org/dr13/manga/manga-target-selection/nsa/>). iii) Clasificaciones obtenidas de <https://ned.ipac.caltech.edu/>.

2.2. Muestra de SMBHs en MaNGA.

Como punto de partida utilizamos la compilación más reciente de masas de SMBHs derivadas a partir de mediciones directas, las cuales se encuentran reportadas en van den Bosch (2016). A partir de esta muestra inicial de ~ 250 SMBHs, buscamos aquellas galaxias que cuenten con observaciones dentro del catastro de MaNGA. El resultado de esta búsqueda nos arrojó 4 galaxias en común en las muestras de MaNGA y de la compilación de van den Bosch (2016). Estas galaxias son MRK290, ARP151, NGC6086 y NGC1194, cuyos identificadores dentro de MaNGA son 8553-1901, 9000-1901, 9028-6102 y 9193-12701 respectivamente. Un resumen con las principales características de estas galaxias se presenta en la tabla 2.1.

Para la realización de esta tesis se utilizaron los cubos de datos con la información espectral del gas ionizado, los cuales se obtienen tras un análisis de primer orden por el “pipeline” de reducción Pipe3D (Sánchez *et al.*, 2016b,a), el cual sustrae la contribución estelar en los espectros de los cubos de datos totales, y los cuales son de libre uso para los miembros de la Colaboración SDSS-IV. Los cubos cuentan con la información espectroscópica del rango visible (3622-10351 Å) con una resolución espectral de 1.5 Å, descompuesta espacialmente para distintas regiones de la galaxia. Los datos se encuentran almacenados en archivos FITS (Flexible Image Transport System), cuyo formato se encuentra detallado en https://fits.gsfc.nasa.gov/standard40/fits_standard40aa-1e.pdf. A continuación describimos la sustracción de la componente estelar con base en la reducción hecha por Pipe3D.

2.2.1. Sustracción de Componente Estelar (Pipe3D).

En esta tesis usamos la componente de gas ionizado inferida a partir de Pipe3D. Este código nació como una herramienta de análisis de cubos de datos, basado en el paquete de ajustes FIT3D (Sánchez *et al.*, 2016b,a). En un principio, estuvo enfocado en el análisis de los cubos de datos del catastro CALIFA (Sánchez *et al.*, 2012), sin embargo actualmente está siendo usado para analizar las bases de datos de otros grandes proyectos como MaNGA (Sánchez *et al.*, 2018).

Este código fue desarrollado con el objetivo de explorar las propiedades de las poblaciones estelares y del gas ionizado en datos de IFS. De esta forma, ofrece productos que incluyen las estimaciones de la masa estelar total de la galaxia (M_*), la dispersión de velocidades, el flujo de las principales líneas de emisión, la señal a ruido, etc. Los resultados puestos a disposición de los miembros de la colaboración y posteriormente para toda la comunidad astronómica internacional, consisten tanto en estimaciones globales de las propiedades antes mencionadas para las galaxias, así como resultados individuales, spaxel por spaxel, en forma de mapas espacialmente resueltos (Sánchez *et al.*, 2018).

Una parte fundamental del análisis con la que Pipe3D obtiene sus productos, consiste en aplicar un modelo de síntesis poblacional a los cubos de datos de MaNGA para así generar dos cubos individuales, uno que aporta información sobre las poblaciones estelares de las galaxias (cubo estelar) y otro que contiene la información referente a la componente del gas ionizado, el cual se obtiene al restar el cubo estelar al cubo de datos con los espectros totales (Sánchez *et al.*, 2016b,a).

El cubo de gas es utilizado para derivar las propiedades del gas ionizado a partir del análisis de cuatro grupos de líneas de emisión, considerando su acoplamiento cinemático:

1. [OII] $_{\lambda 3727}$, H_{β} ,
2. [OIII] $_{\lambda 4959,5007}$,
3. [NII] $_{\lambda 6548,6583}$, H_{α} ,
4. [SII] $_{\lambda 6717,6731}$.

Pipe3D realiza un ajuste a las líneas de emisión utilizando un intervalo angosto de velocidades sistémicas centradas en un valor inicial y limitando su anchura a la dispersión instrumental nominal. El resultado final de este análisis es un conjunto de mapas de cada línea en emisión para los siguientes parámetros:

1. Flujo de la línea: $[F] = 10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$,
2. Velocidad de la línea: $[v] = \text{km s}^{-1}$,
3. Dispersión de velocidades: $[\sigma] = \text{km s}^{-1}$,
4. Ancho equivalente: $[EW] = \text{Å}$,
5. Errores estimados para cada uno de los parámetros mencionados.

Para mayor información del funcionamiento de Pipe3D revisar los artículos: Sánchez *et al.* (2016a) y Sánchez *et al.* (2016b).

Capítulo 3

Metodología

Utilizando el catastro SDSS (York *et al.*, 2000), el cual provee de una gran muestra homogénea de galaxias; Greene y Ho (2005b) derivaron correlaciones directas entre la emisión ancha de las líneas de H_α y H_β con las masas de los SMBHs. Esto lo hicieron por medio de la velocidad del gas ionizado utilizada en la expresión virial en la técnica de mapeo de reverberación (véase la Introducción), siendo esta inferida a partir de las líneas anchas de H_β (Kaspi *et al.*, 2000) y H_α (Greene y Ho, 2005b) de los espectros de gas. Los autores obtuvieron las siguientes relaciones empíricas:

$$M_{BH} = (3.6 \pm 0.2) \cdot 10^6 \left(\frac{L_{H\beta}}{10^{42} \frac{erg}{s}} \right)^{0.56 \pm 0.02} \left(\frac{FWHM_{H\beta}}{10^3 \frac{km}{s}} \right)^2 M_\odot \quad (3.1)$$

$$M_{BH} = (2.0_{-0.3}^{+0.4}) \cdot 10^6 \left(\frac{L_{H\alpha}}{10^{42} \frac{erg}{s}} \right)^{0.55 \pm 0.02} \left(\frac{FWHM_{H\alpha}}{10^3 \frac{km}{s}} \right)^{2.06 \pm 0.06} M_\odot \quad (3.2)$$

Para poder inferir las masas de los SMBHs a partir del método de Greene y Ho (2005b), se deben realizar observaciones y análisis numéricos que ajusten a los espectros electromagnéticos del gas ionizado de las galaxias en la región del visible. Una vez identificadas y caracterizadas las líneas de emisión H_α , H_β , [NII], [SII] y [OIII] (y cuando es posible las de [OI], que generalmente son débiles), se puede determinar, por medio de sus flujos, si la radiación analizada efectivamente proviene de los procesos radiativos nucleares de un AGN tipo Seyfert (Kewley *et al.*, 2001, 2006; Kauffmann *et al.*, 2003; Schawinski *et al.*, 2007) o tienen otro origen, y así inferir su M_{BH} usando las componentes anchas de H_α y H_β .

3.1. Identificación de AGNs: Diagramas de Diagnóstico BPT.

Uno de los métodos más utilizados para diagnosticar el principal mecanismo de radiación de la emisión detectada del espectro electromagnético en una galaxia son los diagramas Baldwin-Phillips-Terlevich (BPT, Baldwin *et al.*, 1981; Veilleux *et al.*, 1995). Estos se basan en relaciones entre cocientes de flujos de líneas de emisión en el óptico asociadas a regiones de formación estelar, regiones emisoras de baja ionización (LINER), o a la presencia de un AGN tipo Seyfert (Kewley *et al.*, 2001). Las líneas de emisión que se utilizan son las componentes delgadas de H_α y H_β , así como $[\text{NII}]\lambda 6584$, $[\text{OIII}]\lambda 5007$ y $[\text{SII}]\lambda 6717, 6731$ (y $[\text{OI}]\lambda 6300$ cuando son detectables).

Los cocientes de flujo de las líneas $[\text{NII}]\lambda 6584/H_\alpha$, $[\text{SII}]\lambda 6717, 6731/H_\alpha$ y $[\text{OIII}]\lambda 5007/H_\beta$ son útiles para estos diagramas de diagnóstico (así como $[\text{OI}]\lambda 6300/H_\alpha$, sin embargo el diagrama que le corresponde no se incluirá en el análisis posterior debido a la dificultad que representa detectar y ajustar la línea de emisión $[\text{OI}]$). A primer orden, los distintos tipos de fuentes, se encuentran delimitadas dentro de secciones de los diagramas de diagnóstico BPT como se observa en la Figura 3.1, separadas por:

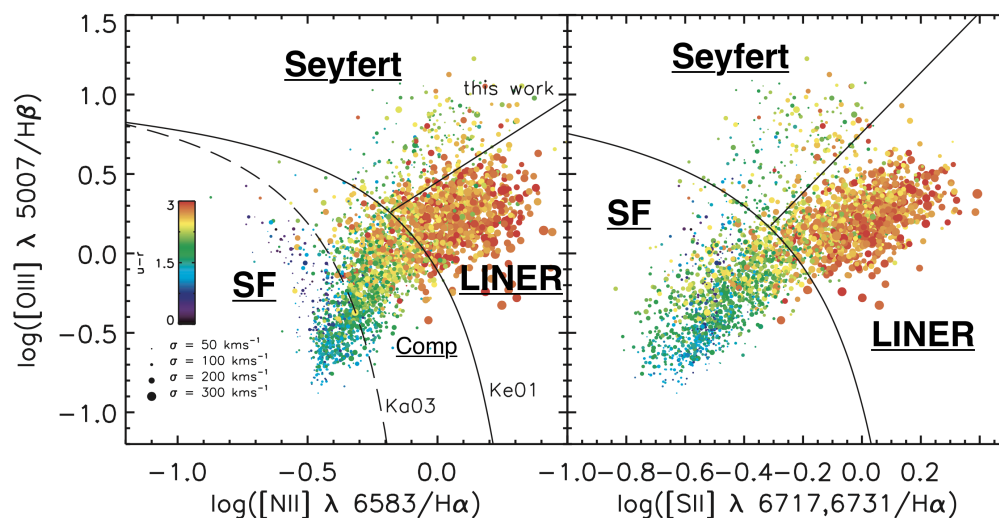


Figura 3.1: Ejemplo de una muestra de galaxias ubicadas en los diagramas BPT. Para nuestra metodología serán de interés las galaxias ubicadas en la región Seyfert. Figura tomada de Schawinski *et al.* (2007).

- Las curvas de Kewley *et al.* (2001) y Kauffmann *et al.* (2003) en el diagrama que utiliza la línea de [NII], las cuales corresponden a las ecuaciones 3.3 y 3.4 respectivamente. Y la curva de Kewley *et al.* (2001) en el diagrama que utiliza la línea de [SII] que corresponde a la ecuación 3.5. Dichas secciones discriminan los valores de flujo de las líneas correspondientes a procesos de formación estelar o de actividad nuclear.

$$\log \frac{[OIII]}{H_\beta} = \frac{0.61}{\log \frac{[NII]}{H_\alpha} - 0.47} + 1.19, \quad (3.3)$$

$$\log \frac{[OIII]}{H_\beta} = \frac{0.61}{\log \frac{[NII]}{H_\alpha} - 0.45} + 1.30, \quad (3.4)$$

$$\log \frac{[OIII]}{H_\beta} = \frac{0.72}{\log \frac{[SII]}{H_\alpha} - 0.32} + 1.30. \quad (3.5)$$

- El diagrama BPT que involucra a la línea [SII] suele ser utilizado para la separación de los AGNs tipos Seyfert y LINER. En Kewley *et al.* (2006) se propuso la siguiente ley de potencias (ver Figura 3.1):

$$1.89 \log \frac{[SII]}{H_\alpha} = \log \frac{[OIII]}{H_\beta} + 0.76. \quad (3.6)$$

- Las líneas de [SII] son muy débiles en algunas ocasiones, por lo que no siempre se encuentran disponibles para hacer la demarcación propuesta por Kewley *et al.* (2006). Debido a esto Schawinski *et al.* (2007), utilizaron la posición de los AGNs anteriormente clasificados, y definieron la siguiente función que separa ambos tipos de núcleos activos en el diagrama de [NII]:

$$1.05 \log \frac{[NII]}{H_\alpha} = \log \frac{[OIII]}{H_\beta} + 0.45. \quad (3.7)$$

3.2. Ajuste de las líneas de emisión a distintas aperturas.

Para ubicar los espectros de las galaxias dentro de una región en los diagramas BPT, así como determinar la masa de su SMBH, es necesario realizar un análisis espectral. En esta tesis utilizamos métodos numéricos para ajustar simultáneamente las líneas de emisión más prominentes, tales como H_α y H_β (considerando para ambas una componente delgada y cuando es posible una ancha), así como $[\text{NII}]\lambda 6550, 6584$, $[\text{SII}]\lambda 6717, 6731$, $[\text{OIII}]\lambda 4959, 5007$ y cuando es posible $[\text{OI}]\lambda 6300$, así como el continuo sobre el cual se encuentran ubicadas. Las anchuras de las componentes delgadas corresponden a velocidades menores de $1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, mientras que las anchas son mayores y pueden llegar hasta los $10,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ (Antonucci, 1993).

Para realizar el ajuste a las líneas de emisión utilizamos el código “Spectral Line Fitting for data Cubes” SpeLFiC, desarrollado originalmente por Mariana Cano Díaz con base a un código previamente desarrollado por Alessandro Marconi, Roberto Maiolino y Mariana Cano Díaz (cuyos resultados y metodología se describen en Cano-Díaz *et al.*, 2012), escrito en el lenguaje “Interactive Data Language”(IDL). Este lenguaje ha sido ampliamente usado por la comunidad astronómica, aunque en la actualidad ha comenzado a caer en desuso, principalmente debido al elevado costo de su licencia.

El objetivo principal del código SpeLFiC, es la de extraer espectros integrados en diferentes aperturas a partir de cubos de gas, producto de observaciones con IFUs de galaxias en el rango de la luz visible o en el cercano infrarrojo y proponer el mejor ajuste multicomponente a varias líneas de emisión. Posteriormente, el programa utiliza los parámetros ajustados a las líneas para replicarlo y realizar el mismo ajuste, spaxel por spaxel para todo el cubo de datos. Para lo anterior tradujimos y adaptamos al lenguaje de programación de libre uso Python 3, una sección del código SpeLFiC la cual realiza el ajuste de las líneas de emisión para espectros extraídos de cubos de datos a distintas aperturas. Para la rutina de ajuste incorporamos una metodología basada en el algoritmo Metrópolis-Hastings (Metropolis, 1985), hicimos uso de las librerías de herramientas matemáticas ‘numpy’, ‘scipy’, así como ‘astropy’ para el análisis de datos FITS, para definir la cosmología usada y obtener la distancia a las galaxias.

3.2.1. Integración Espectral a Distintas Aperturas.

Para realizar los ajustes y las inferencias de M_{BH} a distintas aperturas, es necesario comenzar integrando los espectros de los cubos de datos a distintas aperturas. Por ello adaptamos esta nueva versión del código SpeLFIc para integrar aperturas pseudo-circulares de los cubos de gas ionizado de la siguiente manera.

Estando la información espacial de los datos descompuesta en unidades de pixeles, definimos una apertura de radio r como el área comprendida por todos aquellos pixeles con coordenadas (x, y) , tales que $x^2 + y^2 \leq r^2$. Toda apertura se encuentra centrada en un pixel (i, j) , dicha posición está determinada por la ubicación del centro de cada galaxia dentro del cubo de datos. La información de la posición de los centros de las galaxias se encuentra disponible en los encabezados de los archivos FITS que contienen a los cubos de datos. La integración de los espectros se realiza desde el pixel central ($r = 1$), hasta un radio máximo (r_{max}) que puede abarcar todo el campo de visión de la galaxia observado por el IFU usado en MaNGA o bien áreas menores. Se pueden observar ejemplos de distintas aperturas en la Figura 3.2.

Las aperturas r que originalmente se encuentran en unidades de pixeles se convirtieron a unidades físicas $R(r)$ de kilopársecs, considerando la distancia D (en unidades de Mpc) reportada en van den Bosch (2016), y el ángulo que corresponde a una apertura de un pixel, que para esta muestra de MaNGA tiene un valor de $\theta_{pix} = 0.5$ arco segundos ($= 2.4241 \cdot 10^{-6}$ radianes) tanto para la ascensión recta como la declinación de acuerdo a la información de

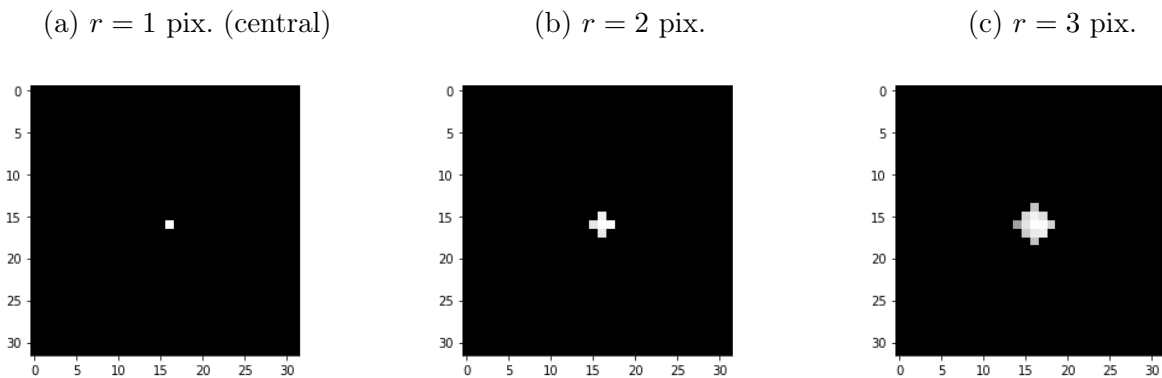


Figura 3.2: Distintas aperturas centrales del cubo datos de MaNGA-9000-1901.

los encabezados de los cubos de datos. Determinamos entonces que la apertura física $R(r)$, en unidades de kpcs, a una apertura de r pixeles está dada por:

$$R(r) = 1000 \times D(r - 0.5)\theta_{\text{pix}}, \quad (3.8)$$

donde θ_{pix} se encuentra en radianes.

En las Figuras 3.3, 3.4, 3.5, y 3.6 se muestra la imagen de cada galaxias de la muestra estudiada (obtenidas de <http://legacysurvey.org/viewer>), así como sus espectros totales y de gas ionizado, integrados para todo el campo de visión de la galaxia, del IFU usado en MaNGA.

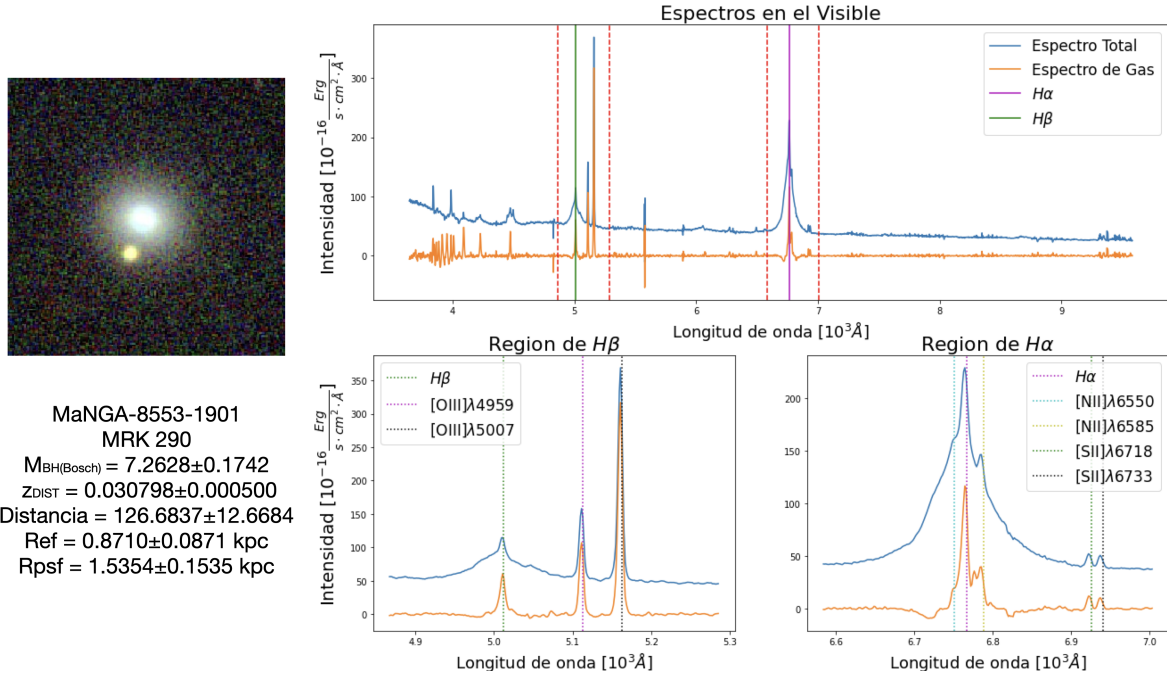


Figura 3.3: Espectros integrados de MaNGA-8553-1901 correspondientes a apertura física máxima $R_{max} = (5.067 \pm 0.507)kpc = 5.817R_{ef}$. En la parte inferior se muestra acercamiento a regiones H_α y H_β que analizamos con el método de ajuste multicomponente.

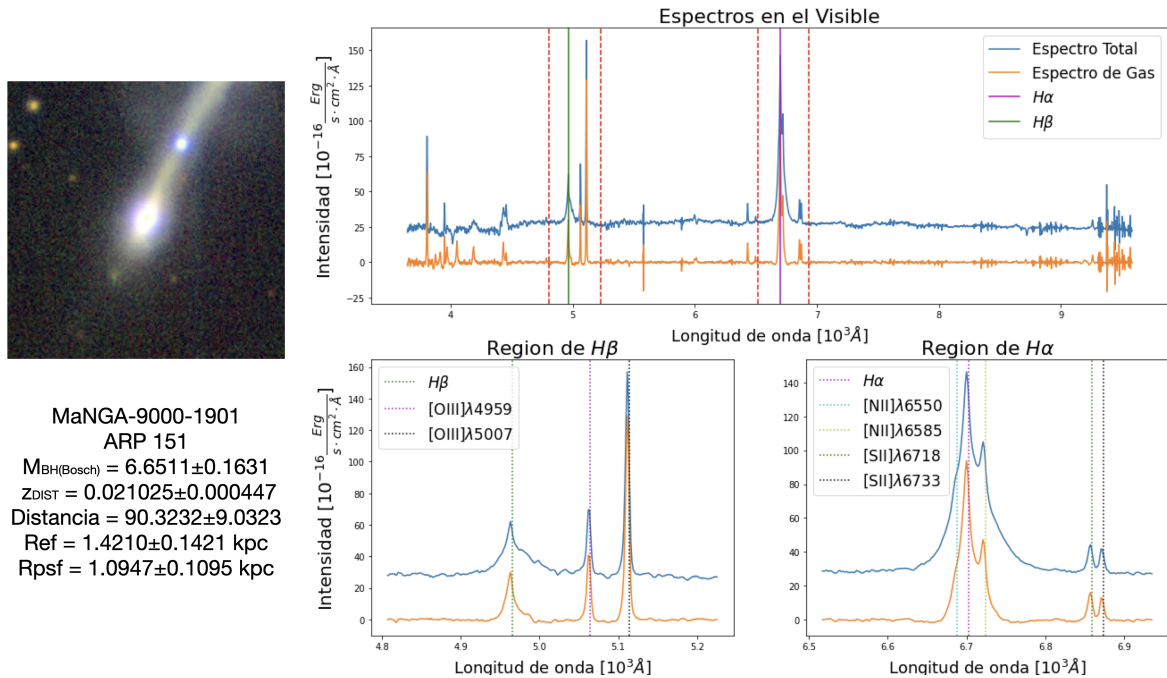


Figura 3.4: Espectros integrados de MaNGA-9000-1901 correspondientes a apertura física máxima $R_{max} = (3.394 \pm 0.339)kpc = 2.388R_{ef}$. En la parte inferior se muestra acercamiento a regiones H_α y H_β que analizamos con el método de ajuste multicomponente.

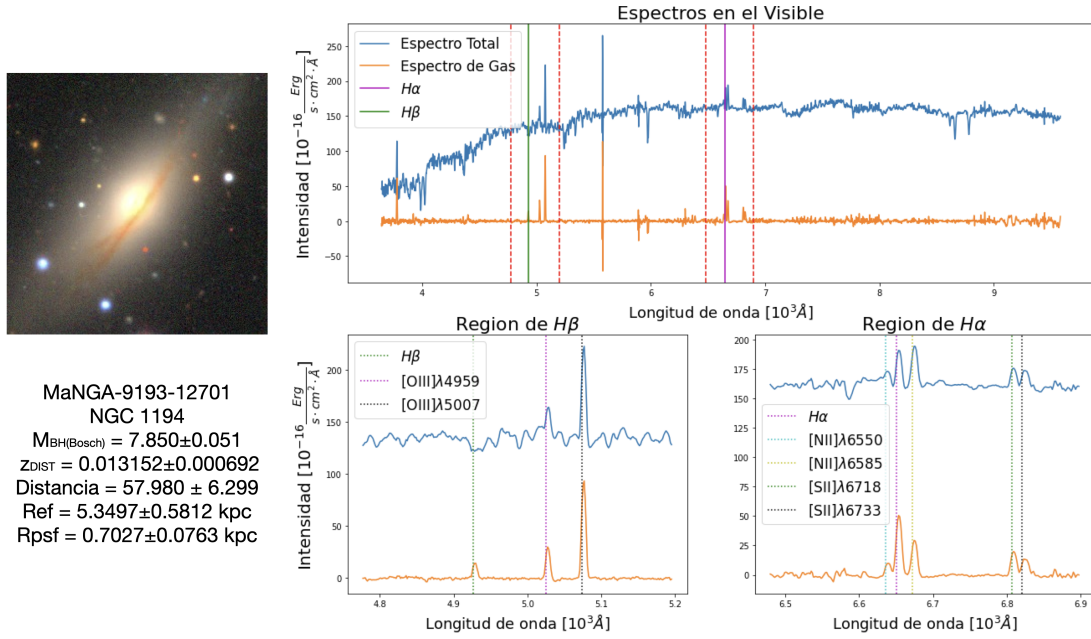


Figura 3.5: Espectros integrados de MaNGA-9193-12701 correspondientes a apertura física máxima $R_{max} = (5.130 \pm 0.557)kpc = 0.9589R_{ef}$. En parte inferior se muestra acercamiento a regiones H_{α} y H_{β} que analizamos con el método de ajuste multicomponente. Es difícil identificar componentes anchas del hidrógeno. El espectro total presenta absorción en H_{β} .

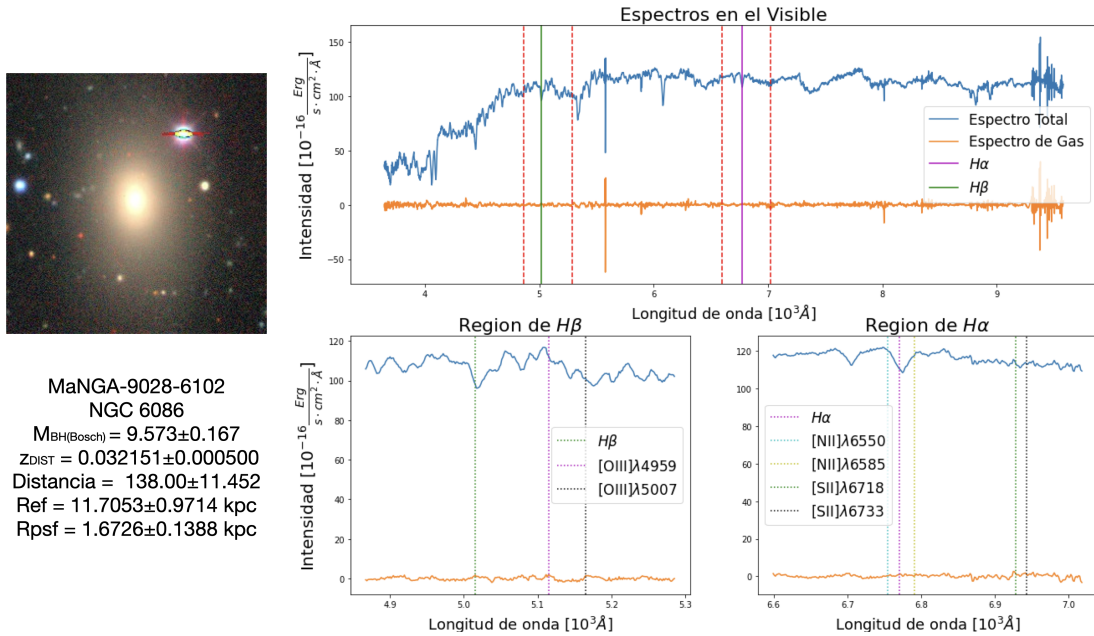


Figura 3.6: Espectros integrados de MaNGA-9028-6102 correspondientes a apertura física máxima $R_{max} = (8.865 \pm 0.736)kpc = 0.7573R_{ef}$. En la parte inferior se muestra acercamiento a regiones H_{α} y H_{β} en los cuales es imposible apreciar las líneas de emisión de interés, por lo que se omite de ajuste multicomponente.

3.2.2. Algoritmo de Ajuste Multicomponente.

Para poner a prueba y calibrar el método indirecto de inferencia de M_{BH} de Greene y Ho (2005b), es necesario conocer la luminosidad y la anchura a media altura (FWHM) de las líneas de emisión anchas de H_α y H_β . Para esto, tras integrar el espectro a distintas aperturas y tras hacer un primer análisis visual preliminar, aplicamos la rutina de ajuste de nuestra adaptación del código SpeLFIc, a tres galaxias de nuestra muestra: 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701. La galaxia 9028-6102 se omitió debido a la ausencia de las líneas de emisión de interés, observada al hacer la integración espectral.

Con esta metodología basada en el algoritmo Metrópolis-Hastings es posible obtener las distribuciones de probabilidad de los valores de cada parámetro que describe a las líneas de emisión así como el continuo de los espectros. En consecuencia así se puede determinar de forma simultánea los parámetros que ajustan con mayor probabilidad a los espectros con sus respectivas incertidumbres. Para el ajuste de los espectros se utiliza un polinomio de grado dos para ajustar el continuo, mientras que para las líneas de emisión se usaron funciones Gaussianas dependientes de tres parámetros. Cada Gaussiana queda entonces definida por la siguiente ecuación:

$$f(a, b, c; \lambda) = ae^{-\frac{(\lambda-b)^2}{2c^2}} \quad (3.9)$$

Para facilitar el análisis, los espectros se dividieron en dos secciones, cada una con un tamaño de 420\AA en las vecindades de H_α y H_β , y se realizó un ajuste multicomponente para cada región:

Para el segmento alrededor de H_α el ajuste multicomponente se hizo considerando la superposición de las Gaussianas correspondientes a las líneas de emisión de H_α , H_α (ancha), [NII] λ 6550, 6585 y [SII] λ 6718, 6733 junto con un continuo descrito por un polinomio grado dos. Para el segmento alrededor de H_β se ajustaron las líneas de H_β , H_β (ancha) y [OIII] λ 4959, 5007 junto con otro polinomio de grado 2 para el continuo.

Debido a que los ajustes multicomponentes se hacen de forma simultánea para todos los parámetros que describen a las componentes involucradas en cada región, quedan 12 parámetros libres para la región de H_β y 14 para la de H_α , después de considerar las restricciones descritas en Cano-Díaz *et al.* (2012), la cuales se deben a los mecanismos en común que ge-

neran a algunas de estas líneas, a las relaciones estadísticas que relacionan sus intensidades, así como a las relaciones entre las longitudes de onda en reposo. Las restricciones aplicadas a nuestros ajustes multicomponentes se enumeran a continuación:

- $a_{[OIII]\lambda 4959} = \frac{a_{[OIII]\lambda 5007}}{3}$
- $b_{[OIII]\lambda 4959} = b_{[OIII]\lambda 5007} \cdot \frac{\lambda_{[OIII]\lambda 4959_0}}{\lambda_{[OIII]\lambda 5007_0}}$
- $c_{[OIII]\lambda 4959} = c_{[OIII]\lambda 5007}$
- $a_{[NII]\lambda 6550} = \frac{a_{[NII]\lambda 6585}}{3}$
- $b_{[NII]\lambda 6550} = b_{H\alpha} \cdot \frac{\lambda_{[NII]\lambda 6550_0}}{\lambda_{H\alpha_0}}$
- $b_{[NII]\lambda 6585} = b_{H\alpha} \cdot \frac{\lambda_{[NII]\lambda 6585_0}}{\lambda_{H\alpha_0}}$
- $c_{[NII]\lambda 6585} = c_{[NII]\lambda 6550} = c_{H\alpha}$
- $b_{[SII]\lambda 6718} = b_{H\alpha} \cdot \frac{\lambda_{[SII]\lambda 6718_0}}{\lambda_{H\alpha_0}}$
- $b_{[SII]\lambda 6733} = b_{H\alpha} \cdot \frac{\lambda_{[SII]\lambda 6733_0}}{\lambda_{H\alpha_0}}$

Para esta adaptación del código SpeLFic, la rutina de ajuste se realizó por medio una metodología basada en el algoritmo Metrópolis-Hastings, el cual es un método Monte Carlo que usa Cadenas de Markov (MCMC Metropolis, 1985; Robert y Casella, 2004). La versión utilizada en esta tesis utiliza pasos aleatorios dentro de fronteras de aceptación para generar la distribución de probabilidades de los valores de cada parámetro, pudiéndose así inferir los valores que ajustan a las líneas de emisión con mayor probabilidad, incluyendo sus incertidumbres. A continuación describimos brevemente nuestro algoritmo MCMC.

Sea \vec{P}_i un vector de N dimensiones $\vec{P}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN})$, donde N es el número de parámetros libres en nuestro modelo. Con el fin de muestrear las cadenas MCMC: $(\vec{P}_0, \dots, \vec{P}_i, \dots, \vec{P}_M)$; las cuales representan las distribuciones de probabilidad de cada parámetro para una cadena de longitud M , se definen la funciones $\chi(\vec{P})$ y $\chi^*(\vec{P})$ como:

$$\chi(\vec{P}) = \sum_i \left(f_{\text{obs},i} - f_{\text{mod},i}(\vec{P}) \right)^2 \quad (3.10)$$

$$\chi^*(\vec{P}) = \sum_i \frac{(f_{\text{obs},i} - f_{\text{mod},i}(\vec{P}))^2}{\sigma_i^2} \quad (3.11)$$

Aquí $f_{\text{obs},i}$ es el espectro observado, $f_{\text{mod},i}$ es el espectro ajustado y σ_i es la incertidumbre asociada al espectro, la cual se considera de naturaleza gaussiana y por lo tanto igual a $\sqrt{f_{\text{obs},i}}$. La suma en i corre sobre los valores del espectro en función de la longitud de onda.

Para iniciar nuestra cadena, por medio de un pre-ajuste basado en el algoritmo "Trust Region Reflective" de reducción de cuadrados, provisto por la función 'curve fit' de la librería 'scipy' de Python, encontramos el conjunto de parámetros $\vec{P}_0 = (p_{01}, p_{02}, \dots, p_{0N})$ que minimizan la función $\chi(\vec{P}_0)$. Posteriormente el algoritmo da un paso aleatorio centrado en \vec{P}_0 de magnitud $\vec{\epsilon}_1$, obteniendo ahora los parámetros $\vec{P}_1 = \vec{P}_0 + \vec{\epsilon}_1$. Del mismo modo los pasos posteriores se generan para cualquier nuevo conjunto de parámetros. En general, el i -ésimo paso se hace para cada parámetro p_{ij} considerando fronteras de aceptación $[p_{ij_{\min}}, p_{ij_{\max}}]$ y sumando un valor dentro de una distribución aleatoria uniforme $[-\delta_{ij}, \delta_{ij}]$ siendo $\delta_{ij} = \frac{\rho_{ij}}{2}(p_{ij_{\max}} - p_{ij_{\min}})$ con $\rho_{ij} \in (0, 1]$ establecida para cada parámetro. Las fronteras de aceptación se pueden establecer con base a los resultados del pre-ajuste.

Para definir si el paso ϵ_{i+1} es aceptado utilizamos la función 'Likelihood' definida en esta tesis como:

$$\mathcal{L}(\vec{P}_i) \propto \exp\left(-\frac{\chi_i^{*2}}{2}\right). \quad (3.12)$$

Con base a la definición anterior, definimos ahora la función de aceptación para el elemento $i + 1$ dado por:

$$\mathcal{A}(P_{\text{new}}^{\rightarrow}) = \frac{\mathcal{L}(P_{i+1}^{\rightarrow})}{\mathcal{L}(\vec{P}_i)} = \exp\left(\frac{\chi_i^{*2} - \chi_{i+1}^{*2}}{2}\right). \quad (3.13)$$

Nótese que la normalización de la función \mathcal{L} no es necesaria ya que se elimina en el cociente definido por la función \mathcal{A} . Si la función de aceptación cumple la condición $\mathcal{A}(P_{\text{new}}^{\rightarrow}) > u$, donde u es un número aleatorio entre 0 y 1, los elementos de P_{new} se añaden a la cadena de soluciones (es decir $P_{i+1}^{\rightarrow} = P_{\text{new}}^{\rightarrow}$), en caso contrario se descartan. Este proceso de pasos aleatorios se ejecuta hasta alcanzar la longitud M establecida para la cadena MCMC. Así se puede ir construyendo la cadena para el conjunto de parámetros $\mathcal{P} = (\vec{P}_0, \dots, \vec{P}_i, \dots, \vec{P}_M)$ que representa a la distribución de probabilidades para cada parámetro.

Las distribuciones de probabilidad obtenidas para cada parámetro del tensor \mathcal{P} suelen

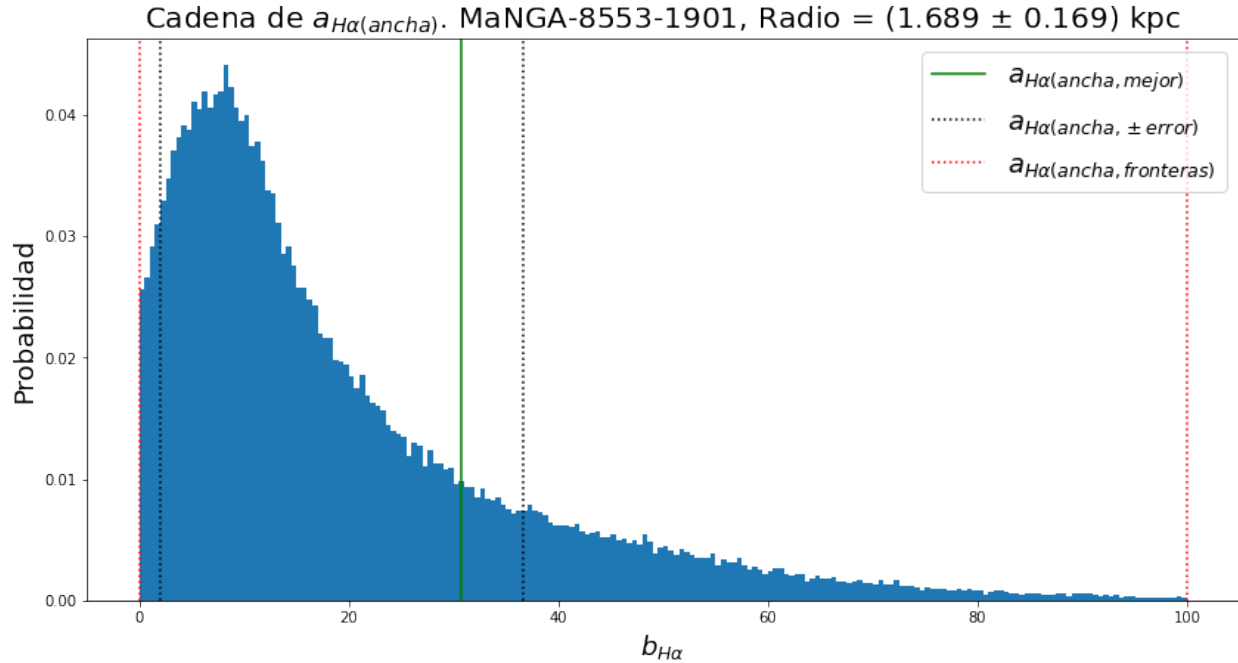


Figura 3.7: Ejemplo de distribución de probabilidad: Parámetro a de la componente ancha de H_{α} , para espectro de gas MaNGA-9000-1901 a apertura de $3''$. Aquí $a_{H\alpha(ancha,mejor)}$ es el valor del parámetro del mejor ajuste, y $a_{H\alpha(ancha,\pm error)}$ es el intervalo de aceptación del parámetro ajustado. Obtuvimos esta distribución de probabilidad considerando las fronteras de aceptación $a_{H\alpha(ancha,fronteras)}$, fuera de las cuales la probabilidad es cero.

presentar una distribución de forma aproximadamente Gaussiana alrededor de las soluciones en el caso que la covariancia entre los parámetros sea 0, y se puede considerar al centroide de dicha Gaussiana como la solución del ajuste, y σ_i^2 como la incertidumbre. En general, se considera como solución a los parámetros \vec{P}_{mejor} de la cadena que cumplen que $\chi_{min}^2 = \chi^2(\vec{P}_{mejor})$, es decir, aquellos parámetros que minimizan la función χ^2 . En este trabajo, tomamos la última definición para definir los mejores parámetros que ajustan las observaciones. En la figura 3.7 se ejemplifica la distribución de probabilidades del parámetro $a_{H\alpha(ancha)}$ que indica la intensidad máxima de la componente ancha de H_{α} del espectro de gas de la galaxia 9000-1901 integrado a la apertura central de $3''$.

Este método fácilmente puede automatizarse para un número arbitrario de galaxias, definiendo para cada una valores iniciales y fronteras de aceptación para cada línea de emisión que se necesite ajustar. Estos valores iniciales y de frontera se pueden estimar por medio de una inspección visual así como haciendo ajustes preliminares.

3.3. Incertidumbres.

Una vez que hemos determinado las luminosidades de las líneas anchas de H_α y H_β , determinamos la masa del SMBH, M_{BH} , utilizando las ecuaciones 3.1 y 3.2. Tomar en cuenta todas las posibles fuentes de incertidumbre en nuestra determinación es clave para entender la robustez de nuestra metodología. Nuestras determinaciones para las M_{BH} toman en cuenta las siguientes fuentes de incertidumbres:

- Incertidumbres en los espectros: debido a que la intensidad observada $f_{\text{obs},i}$ se puede interpretar como conteos de fotones, suponemos que este error tiene un origen poissoniano. El error asociado al espectros es $\sigma = \sqrt{|f_{\text{obs},i}|}$
- Incertidumbre por distancias: utilizamos los errores reportados por van den Bosch (2016).
- Incertidumbre por la metodología del cálculo de masas: usamos las incertidumbres reportadas en las ecuaciones 3.1 y 3.2 dadas por Greene y Ho (2005b).
- La incertidumbre por el método de ajuste: es la incertidumbre de cada parámetro resultante de nuestras cadenas MCMC al realizar el ajuste. 3.2.2

Capítulo 4

Resultados

En esta sección presentamos los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta a los espectros de gas ionizado obtenidos por Pipe3D. Inicialmente realizamos una primera inspección visual de los espectros integrados a diferentes aperturas, tras lo cual podemos hacer las siguientes primeras afirmaciones:

- El alto cociente S/N de las líneas de emisión nos permite obtener ajustes de buena calidad para los espectros de gas ionizado de las galaxias 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701, debido al alto cociente S/N de las líneas de emisión distintivas de los AGNs (ver Figuras 3.3, 3.4 y 3.5).
- Es posible obtener ajustes de buena calidad para los espectros totales de las galaxias 8553-1901 y 9000-1901 debido al alto cociente S/N de las líneas de emisión distintivas de los AGNs (ver Figuras 3.3 y 3.4), contrario al de 9193-12701, el cual presenta absorción donde en la ubicación de la línea H_β (ver Figura 3.5). Sin embargo se debe recordar que la metodología de inferencia que estamos poniendo a prueba es válida únicamente para los espectros de gas ionizado, por lo que no se reportan los resultados de los espectros totales, que incluyen la contribución estelar.
- Es posible identificar de forma preliminar en los espectros de gas ionizado de 8553-1901 y 9000-1901 la presencia de componentes anchas de H_α y H_β necesarias para el cálculo de M_{BH} (ver espectros de las Figuras 3.3 y 3.4). En el caso de 9193-12701 visualmente es más difícil identificar las componentes anchas de H_α y H_β (ver Figura 3.5).

- Los espectros de 9028-6102 en las regiones de H_α y H_β se encuentran mayormente dominados por ruido, siendo imperceptibles las líneas de emisión características de un AGN (ver Figura 3.6). Para esta galaxia se omitió el ajuste multicomponente y el análisis posterior, ya que a pesar de que los métodos numéricos utilizados puedan llegar a converger a soluciones, estas carecerán de algún significado físico.

Tras este primer análisis, realizamos el ajuste multicomponente los espectros de gas ionizado de tres galaxias de nuestra muestra: 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701, cuyos resultados utilizamos para ubicarlas en diagramas BPT y determinar si el origen de la radiación analizada de estos espectros proviene de la actividad nuclear del AGN. Finalmente realizamos las inferencias indirectas de M_{BH} usando la metodología de Greene y Ho (2005b).

De manera complementaria también reportamos los ajustes multicomponentes de la región de H_α considerando una corrección por la sobre-sustracción de la componente estelar detectada para 8553-1901 y 9000-1901, junto con los diagramas BPT y las inferencias de las M_{BH} correspondientes.

4.1. MaNGA-8553-1901. Mrk-290.

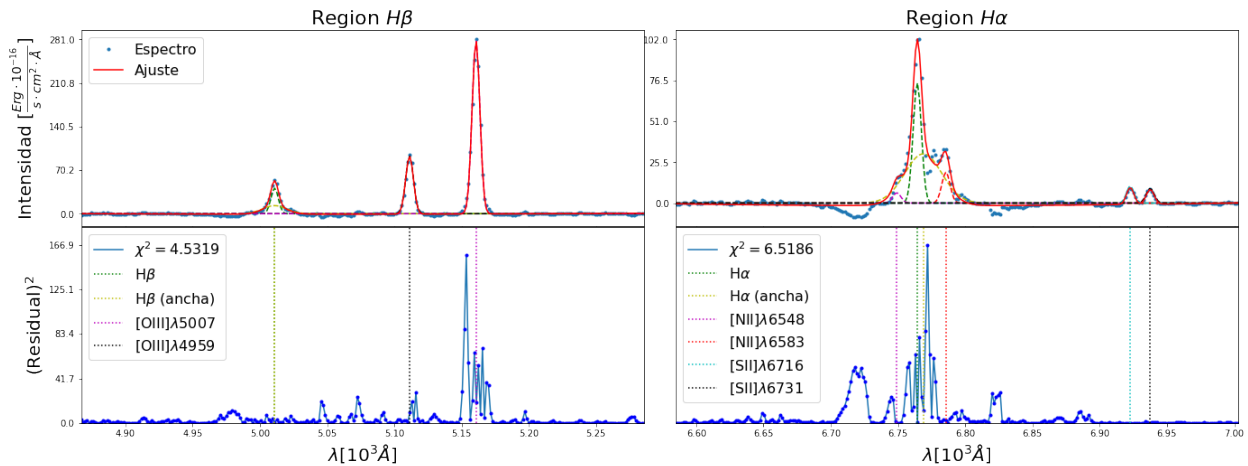


Figura 4.1: Ajuste del espectro de gas ionizado de MaNGA 8553-1901. Apertura de $3''$ correspondiente a $(1.689 \pm 0.169)kpc$, mayor que R_{psf} .

Ajustamos los parámetros que describen las líneas de emisión de interés en las regiones de H_α y H_β para los espectros de gas ionizado a todas las aperturas, modelando en todos los

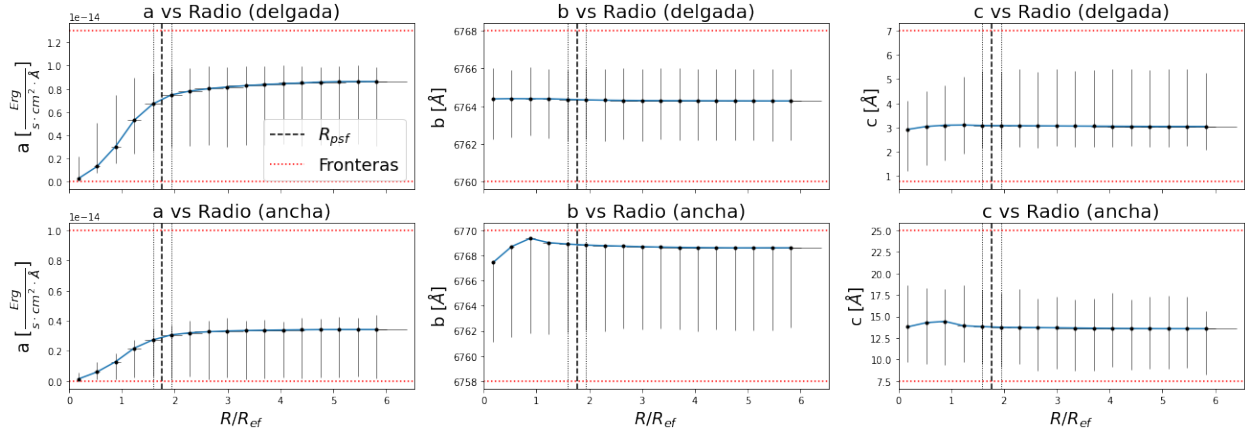


Figura 4.2: Parámetros de ajustes de líneas $H\alpha$ en función de la apertura, para espectro de gas de MaNGA-8553-1901. Se observa que las soluciones se mantienen estables en función del radio. Incertidumbres asociadas al error poissoniano del espectro y al método numérico. $R_{ef} = (0.8710 \pm 0.0871)kpc$.

casos una componente ancha para las líneas $H\alpha$ y $H\beta$, con intensidades de aproximadamente la mitad que las de sus respectivas componentes delgadas (ver ejemplo de ajuste en Figura 4.1). Identificamos en los ajustes y residuales una sobre-sustracción alrededor de la región de $H\alpha$.

El ejemplo de la Figura 4.1 corresponde a una apertura de $3''$, similar a la utilizada en la determinación de las ecuaciones de Greene y Ho (2005b), y mayor que el radio de la PSF (R_{psf}), determinado para todas las galaxias a partir de la apertura mínima de la banda-r de MaNGA, de $2.5''$, y a partir de la cual el efecto de PSF es mínimo*. Se puede ver el resto de los ajustes del espectro de gas de esta galaxia en el Apéndice A.1.

Obtuvimos en los espectros de gas que para todas las líneas de emisión ajustadas con gaussianas, sus intensidades máximas tienden a crecer en función de la apertura de forma suave, mientras que sus centroides y anchos se mantienen relativamente constantes, variando poco, aunque con incertidumbres relativamente grandes. Un ejemplo de esto se puede ver en la Figura 4.2, la cual muestra la evolución en función del radio de apertura para los parámetros de las líneas de $H\alpha$ (componentes ancha y delgada) para el espectro de gas. Figuras similares a esta, del resto de las líneas de emisión modeladas para esta galaxia, se encuentran en el Apéndice B.1.

*Función de Dispersión de Punto (PSF): se trata de una forma de valorar el 'seeing' o visibilidad astronómica, relacionada con la FWHM del brillo de una fuente puntual en el cielo.

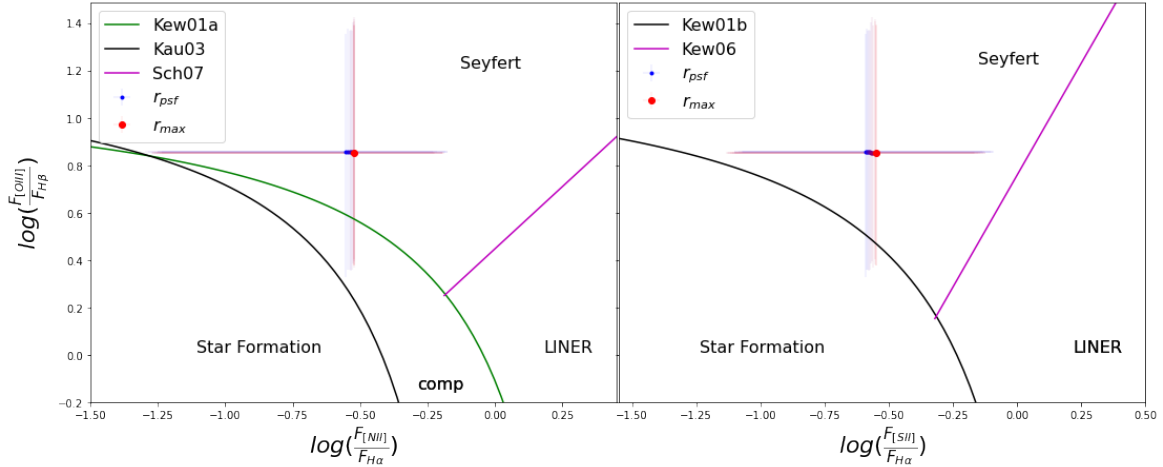


Figura 4.3: Diagramas BPT de MaNGA-8553-1901 a diferentes aperturas. En diagramas BPT-[NII] (izquierda) las regiones se encuentran separadas por las curvas Kau03, Kew01a y Sch07 correspondientes a Ecuaciones 3.4, 3.3 y 3.7, y en diagramas BPT-[SII] (derecha) se encuentran separadas por las curvas Kew01b y Kew06 correspondientes a Ecuaciones 3.5 y 3.6. La apertura mínima $r_{min} = r_{psf}$ se identifica con color azul, cambiando hacia rojo para aperturas mayores, hasta el espectro integrado r_{max} . Los espectros se ubican dentro de región Seyfert. Incertidumbres asociadas al error poissoniano del espectro y al método numérico.

Con los parámetros ajustados se pudo obtener el flujo de las líneas de emisión y ubicar a los espectros de la galaxia en los diagramas BPT. Al hacerlo observamos que al considerar únicamente el flujo de las componentes de emisión delgadas provenientes de la NLR, la galaxia se ubica dentro de la región de Seyfert para todas las aperturas. Este resultado se mantiene para todas las aperturas, sin embargo, debido al efecto de la PSF, reportamos únicamente los resultados para aperturas mayores a R_{psf} (ver Figura 4.3).

Dado que hemos clasificado a esta galaxia como Seyfert y que ajustamos con éxito componentes anchas para las líneas H_α y H_β para los espectros de gas ionizado, podemos entonces hacer inferencias de M_{BH} en función de la apertura, teniendo en consideración la sobre-sustracción observada alrededor de H_α y sus posibles efectos sobre estas. Los resultados obtenidos se presentan en función de la apertura en la Figura 4.4, comparados con la medición directa (van den Bosch, 2016). En esta gráfica podemos observar que obtenemos inferencias subestimadas sistemáticamente para todas las aperturas, las cuales se subestiman aún mas por debajo del radio de la PSF.

Para los espectros de gas ionizado es posible observar a través de los ajustes y residuales, la presencia de una evidente sobre-sustracción alrededor de la línea H_α , ausente en los espectros

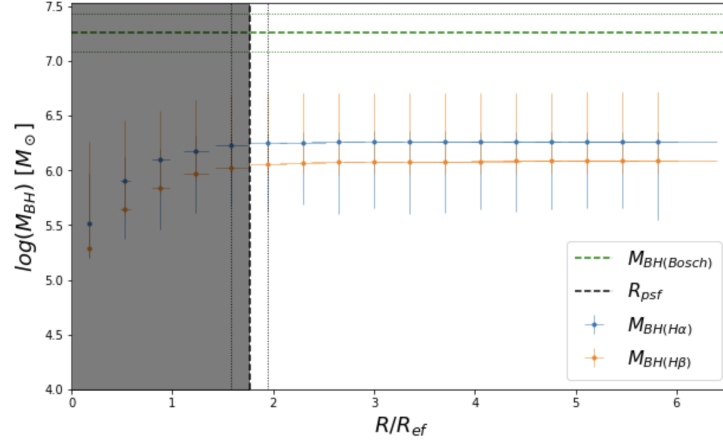


Figura 4.4: M_{BH} inferida en función de la apertura, para MaNGA-8553-1901. $M_{BH(H\beta)}$ (amarillo) y $M_{BH(H\alpha)}$ (azul) obtenidas con Ecuaciones 3.1 y 3.2. Inferencias subestimadas sistemáticamente. Incertidumbres asociadas al error poissoniano del espectro, al método numérico, la incertidumbre de la distancia y las incertidumbres de las Ecuaciones. $R_{ef} = (0.8710 \pm 0.0871) kpc$.

totales (antes de la sustracción del continuo estelar), que debe tener origen en el análisis hecho por Pipe3D, y la cual lleva a una subestimación de la luminosidad de la componente ancha de $H\alpha$ y en consecuencia de la inferencia de M_{BH} . Con el fin de mitigar el efecto anterior, hemos propuesto una componente negativa extra para la cual sus parámetros libres serán ajustados al repetir nuestra metodología. Después de experimentar con diversas funciones, encontramos que una componente Gaussiana era la que mejor ajustaba la sobre-sustracción descrita anteriormente. Notesé que esta componente Gaussiana añade 3 parámetros libres.

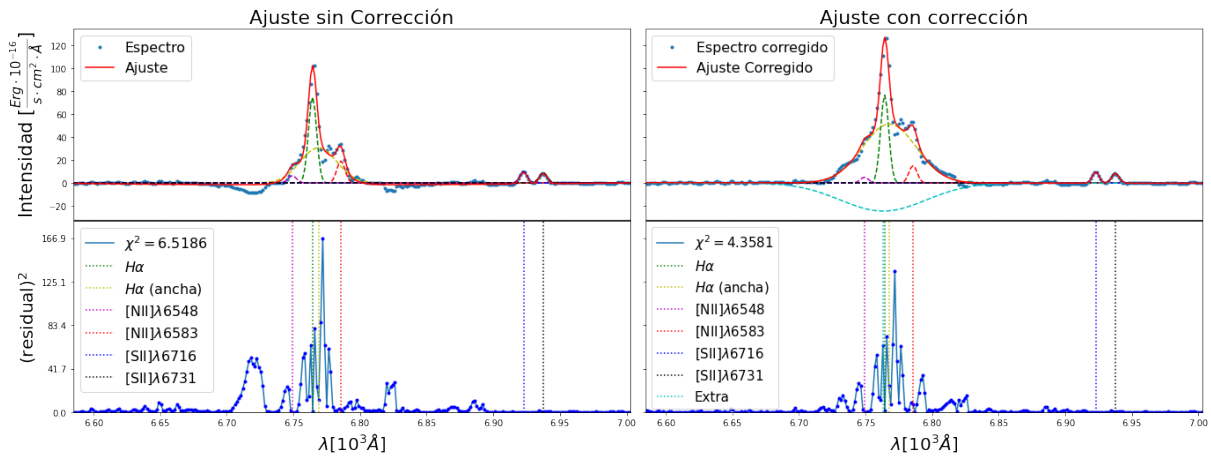


Figura 4.5: Ajuste de región $H\alpha$ del espectro de gas de MaNGA-8553-1901 antes (izquierda) y después (derecha) de corrección espectral. Apertura de $3''$ correspondiente a (1.689 ± 0.169) kpc, mayor que R_{psf} . Resulta una $\bar{\chi}^2$ menor en el ajuste corregido, para todas las aperturas.

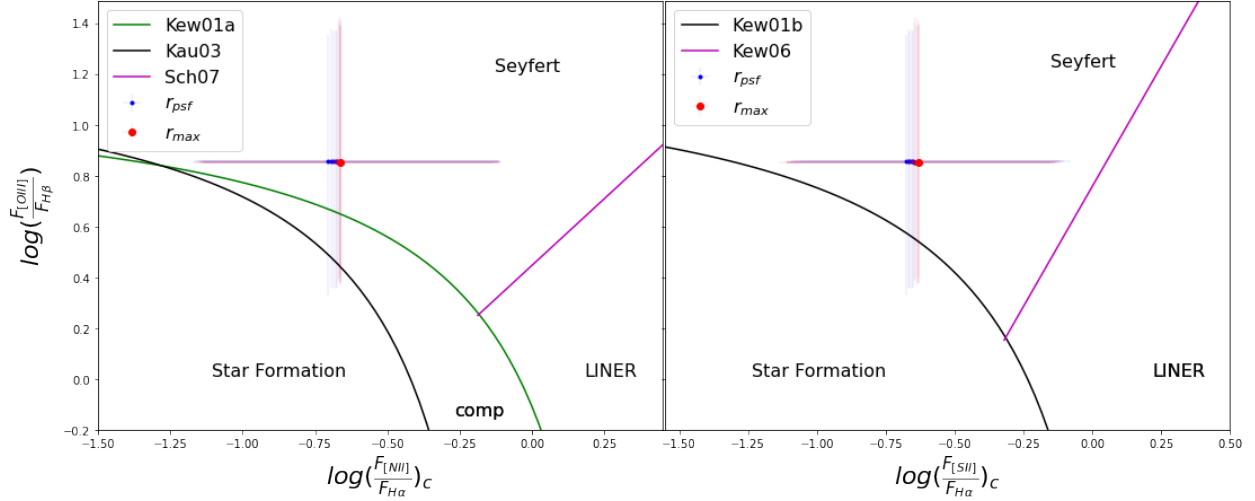


Figura 4.6: Diagramas BPT de MaNGA-8553-1901 a diferentes aperturas, considerando corrección en región de H_{α} . La apertura mínima $r_{min} = r_{psf}$ se identifica con color azul, cambiando hacia rojo para aperturas mayores, hasta el espectro integrado r_{max} . Todos los espectros se ubican dentro de región Seyfert.

De esta forma logramos ajustar la región espectral alrededor de H_{α} para sus distintas aperturas, con mayor precisión, obteniendo una χ^2 menor en todos los casos. La Figura 4.5 ejemplifica el ajuste en la vecindad de H_{α} antes y después de esta corrección, para una apertura de $3''$, correspondiente a $(1.689 \pm 0.169) kpc$, mayor que el radio de la PSF. Se puede ver el resto de los ajustes corregidos de esta galaxia en el Apéndice C.1.

Tras hacer esta corrección observamos que la evolución de los parámetros en función de la apertura sigue un comportamiento similar al presentado antes de aplicar esta corrección, manteniendo sus soluciones estables, como se muestra en las figuras del Apéndice D.1.

Con los nuevos parámetros corregidos de H_{α} , [NII] y [SII], podemos determinar que la galaxia continúa ubicándose dentro de la región Seyfert de los diagramas BPT para todas las aperturas, como se observa en la Figura 4.6. Finalmente realizamos la inferencia de la M_{BH} en función de la apertura, obteniendo para todas ellas resultados menos subestimados que los obtenidos con el espectro de gas antes de la corrección (ver Figura 4.7).

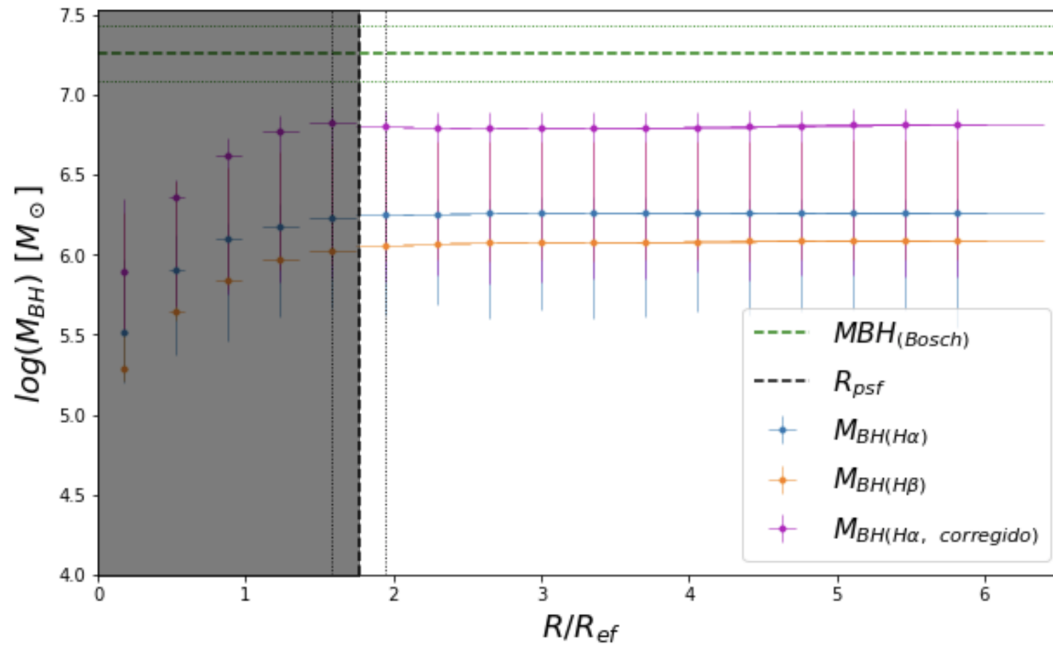


Figura 4.7: M_{BH} inferida en función de la apertura, para MaNGA-8553-1901, considerando la corrección espectral en el ajuste multicomponente de la vecindad de H_{α} (morado). Comparamos con inferencias antes de la corrección (amarillo y azul), encontrando que las corregidas también se encuentran subestimadas sistemáticamente respecto a la medición directa (verde), pero en menor magnitud. $R_{ef} = (0.8710 \pm 0.0871)kpc$.

4.2. MaNGA-9000-1901. Arp-151.

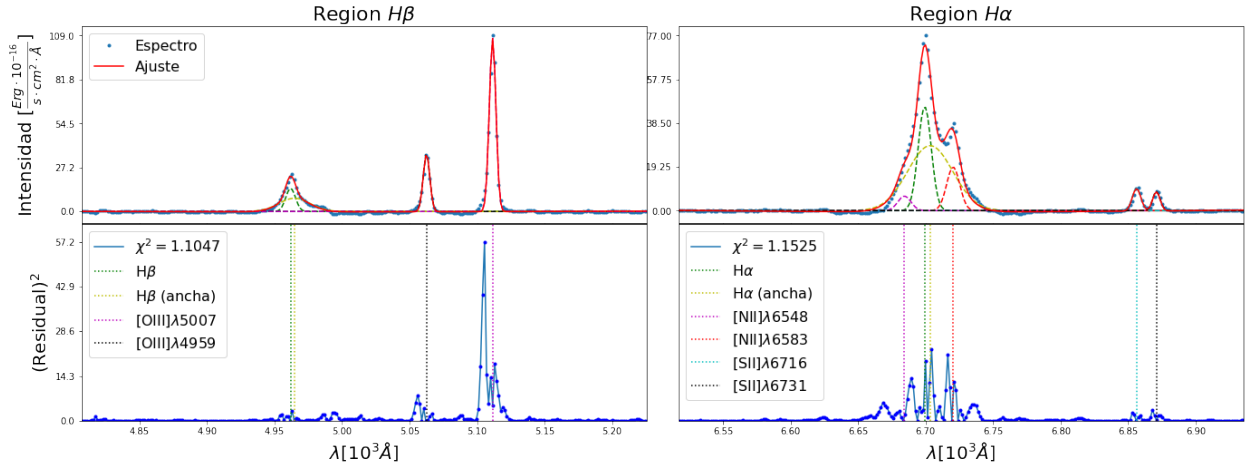


Figura 4.8: Ajuste al espectro de gas ionizado de MaNGA-9000-1901 para una apertura de $3''$ correspondiente a $(1.204 \pm 0.120)kpc$, mayor que el Radio de PSF.

Similar a 8553-1901, logramos ajustar los parámetros que describen a las líneas de emisión de interés para los espectros de gas ionizado para todas las aperturas, siendo posible modelar en todos los casos la componente ancha de las líneas de H_α y H_β con intensidades máximas comparables con las de sus componentes delgadas. En la Figura 4.8 se muestra un ejemplo de estos ajustes para una apertura de $3''$ correspondiente a $(1.204 \pm 0.120)kpc$, mayor que el radio PSF, y se puede ver el resto de los ajustes en el Apéndice A.2.

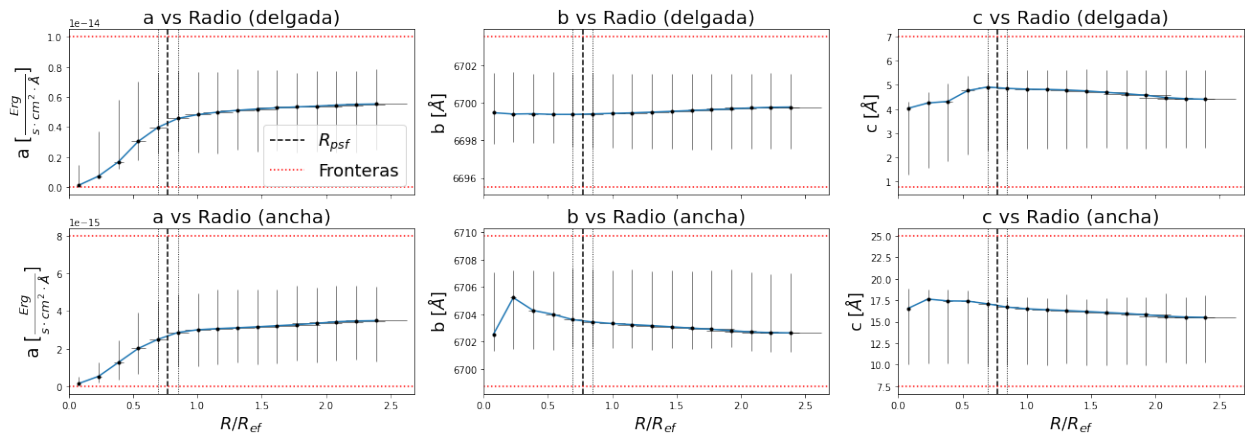


Figura 4.9: Parámetros de ajustes de líneas H_α en función de la apertura, para espectro de gas de MaNGA-9000-1901. Se observa que las soluciones se mantienen estables en función del radio. Recordar que $R_{ef} = (1.4210 \pm 0.1421)kpc$.

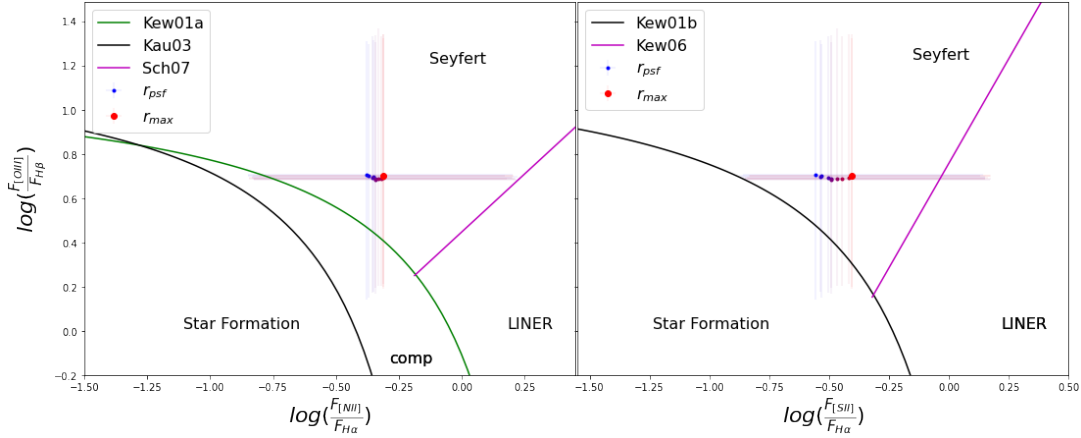


Figura 4.10: Diagramas BPT de MaNGA-9000-1901 a diferentes aperturas. La apertura mínima $r_{min} = r_{psf}$ se identifica con color azul, cambiando hacia rojo para aperturas mayores, hasta el espectro integrado r_{max} . Todos los espectros se ubican dentro de región Seyfert. Se observa que conforme el radio de apertura crece, el espectro se acerca a la región LINER.

Al graficar la evolución de los parámetros de las líneas de emisión ajustadas con gaussianas, es evidente que estos siguen el mismo comportamiento en función de la apertura que el descrito para 8553-1901. Ilustramos como ejemplo la evolución de los parámetros de las líneas de H_{α} para el espectro de gas en la Figura 4.9, y se puede ver el resto de la evolución de los parámetros en función de la apertura en el Apéndice B.2.

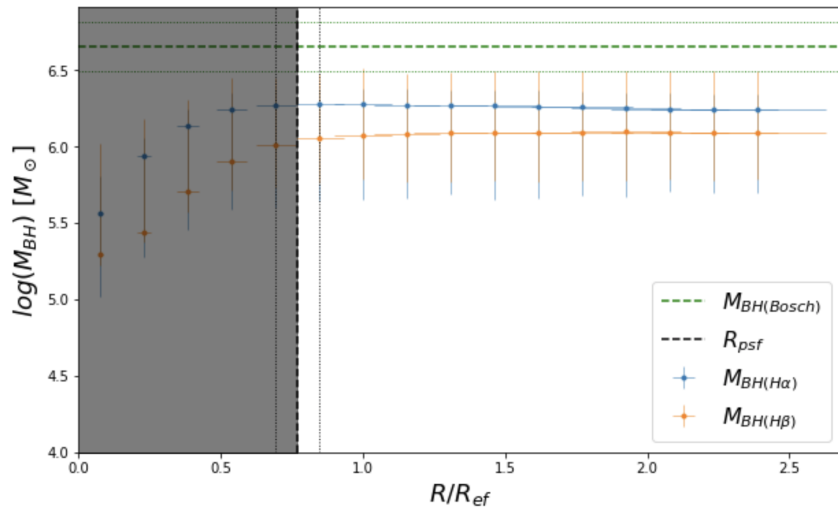


Figura 4.11: M_{BH} inferida en función de la apertura, para MaNGA-9000-1901. $M_{BH(H\beta)}$ (amarillo) y $M_{BH(H\alpha)}$ (azul) obtenidas con Ecuaciones 3.1 y 3.2. Inferencias subestimadas sistemáticamente.

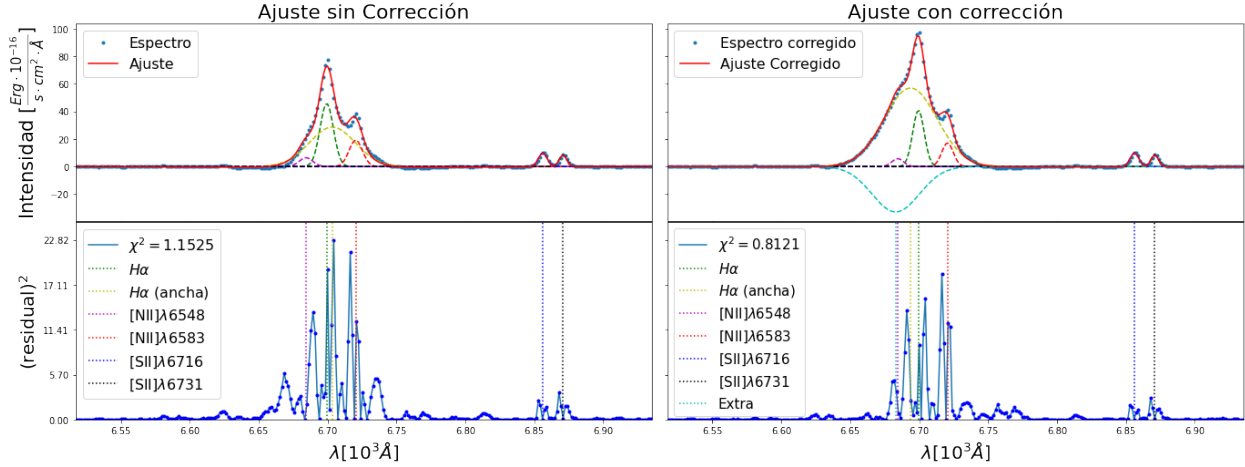


Figura 4.12: Ajuste región $H\alpha$ del espectro de gas de MaNGA-9000-1901 antes (izquierda) y después (derecha) de corrección espectral. Apertura de $3''$ correspondiente a (1.204 ± 0.120) kpc, mayor que R_{psf} . Resulta una $\bar{\chi}^2$ menor en el ajuste corregido, para todas las aperturas.

Al igual que para 8553-1901, con estos parámetros ubicamos a la galaxia dentro de la región Seyfert en los diagramas BPT para todas las aperturas centrales del espectro de gas ionizado, reportando únicamente las mayores al radio de la PSF (ver Figura 4.10). Con esto y tras haber ajustado con éxito las componentes anchas de las líneas $H\alpha$ y $H\beta$, pudimos inferir M_{BH} . Estos resultados se presentan en función de la apertura en la Figura 4.11, respectivamente, comparándolos con la medición directa de van den Bosch (2016): Para todas las aperturas del espectro de gas obtuvimos inferencias subestimadas con respecto de la estimación de van den Bosch (2016), que prácticamente convergen para aperturas mayores del radio de PSF, similar al caso de 8553-1901, pero con una subestimación menor.

En los residuales de estos ajustes es posible observar una sobre-sustracción en la vecindad de $H\alpha$ que aunque no es tan evidente en el espectro como en el caso de 8553-1901, tiene una geometría similar, por lo que no descartamos su presencia, asumiendo que también tiene su origen en la sustracción del continuo estelar, y que tiene consecuencias en la estimación de M_{BH} como una subestimación de menor magnitud que la de 8553-1901.

Entonces para esta galaxia también repetimos el ajuste multicomponente añadiendo una componente gaussiana negativa de forma similar a como se hizo para 8553-1901, logrando ajustar la vecindad de $H\alpha$ con mayor precisión para sus distintas aperturas, obteniendo una χ^2 menor en todos los casos. En la Figura 4.12 se ejemplifica el ajuste en la región

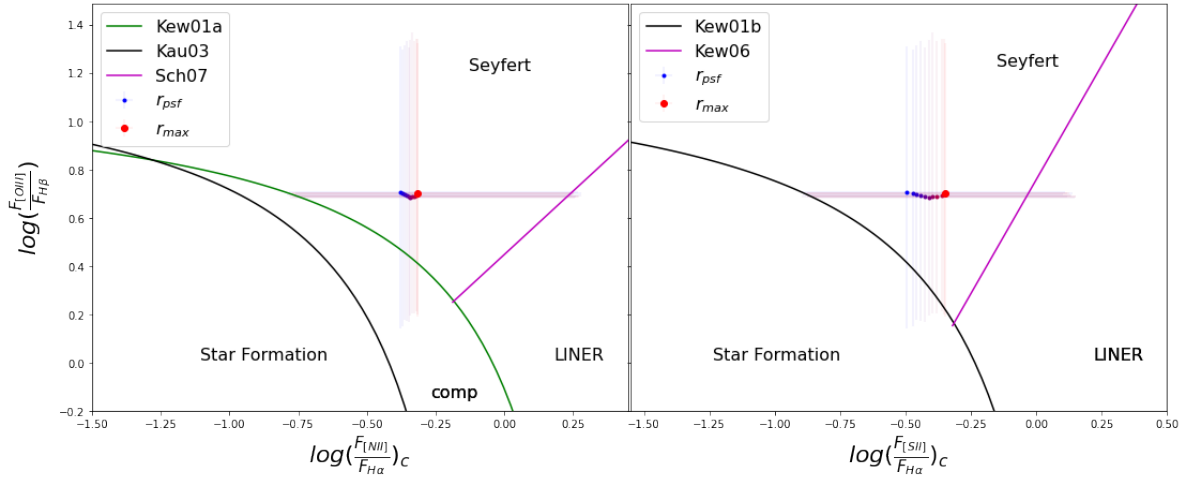


Figura 4.13: Diagramas BPT de espectros de MaNGA-9000-1901 a diferentes aperturas. La apertura del pixel central $r_{min} = r_{psf}$ se identifica con color azul, cambiando hacia el rojo conforme apertura aumenta hasta el espectro integrado r_{max} . Todos los espectros se ubican dentro de región Seyfert. Se observa que conforme el radio de apertura crece, el espectro se acerca a la región LINER.

H_{α} antes y después de hacer esta corrección, para una apertura de $3''$ correspondiente a $(1.204 \pm 0.120)kpc$, mayor al radio de la PSF. Se puede ver el resto de los ajustes corregidos en el Apéndice C.2.

Tras esta corrección observamos que la evolución de los parámetros del ajuste en función de la apertura también sigue un comportamiento similar al que obtuvimos antes de aplicar esta corrección. Se puede ver la evolución de los parámetros de las líneas de emisión para los ajustes corregidos en el Apéndice D.2.

Usando los nuevos parámetros corregidos de H_{α} , [NII] y [SII], observamos que para todas las aperturas mayores al radio de la PSF, la galaxia continua ubicándose dentro de la región Seyfert en los diagramas BPT (ver Figura 4.13). Finalmente usamos estos parámetros para realizar la inferencia de la M_{BH} en función de la apertura, al hacer esto obtenemos resultados que convergen a soluciones ubicadas dentro de los valores de aceptación reportados por van den Bosch (2016) (ver Figura 4.14).

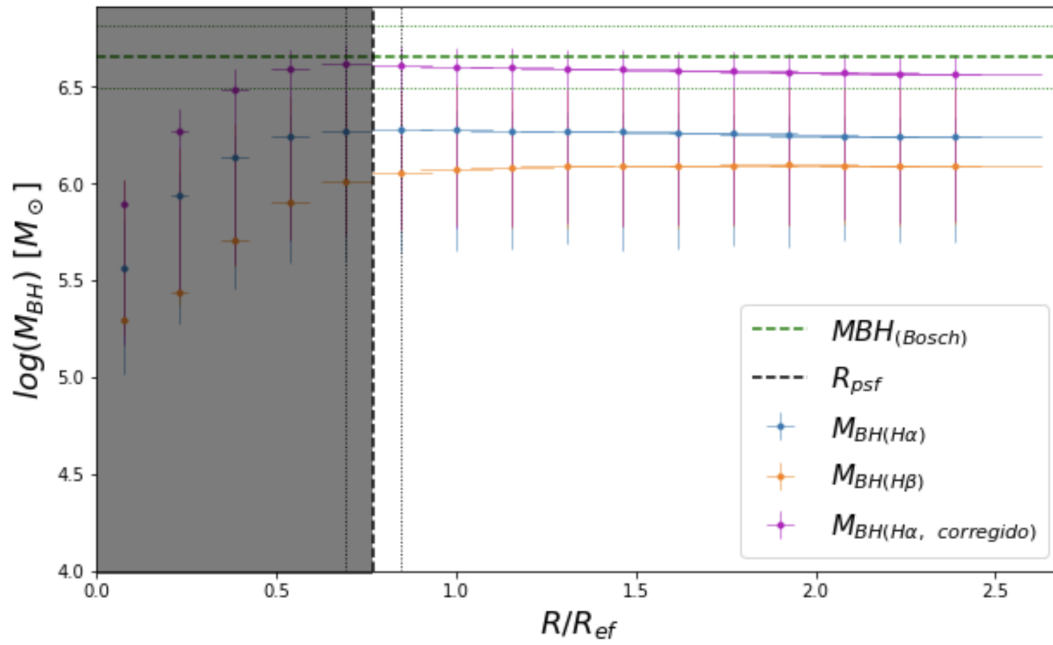


Figura 4.14: M_{BH} inferida en función de la apertura para MaNGA-9000-1901, considerando corrección la espectral en el ajuste multicomponente de la vecindad de H_α (morado). Encontramos que las inferencias corregidas convergen a una solución ubicada dentro de los valores de aceptación de la medición directa (verde). Comparamos con inferencias antes de la corrección (amarillo y azul). $R_{ef} = (1.4210 \pm 0.1421) kpc$.

4.3. MaNGA 9193-12701. NGC 1194.

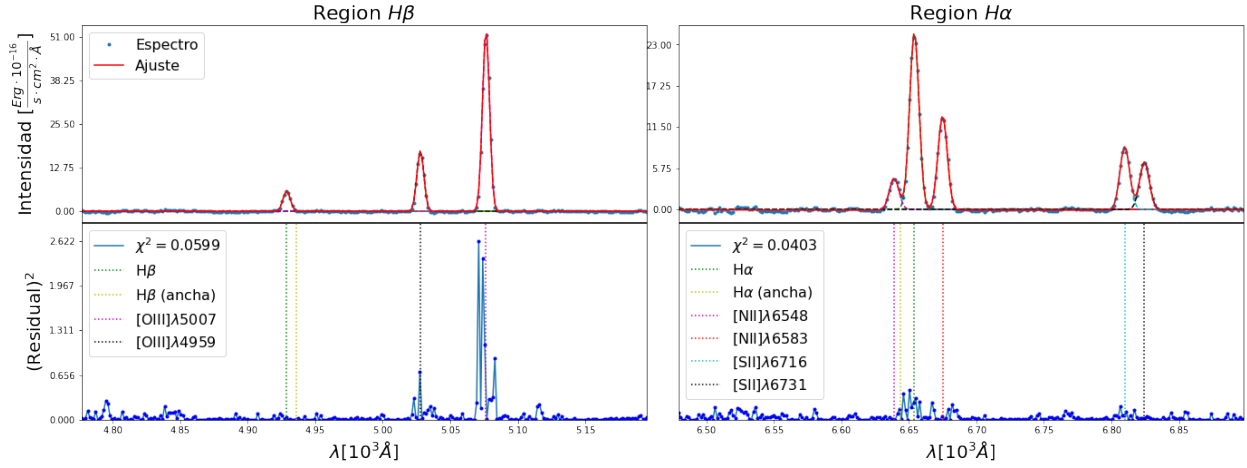


Figura 4.15: Ajuste al espectro de gas ionizado de MaNGA 9193-12701, para una apertura de $3''$ correspondiente a $(0.773 \pm 0.084)kpc$, mayor que el Radio de PSF.

Logramos ajustar los parámetros que describen a las secciones de H_{α} y H_{β} para los espectros de gas ionizado a todas las aperturas. Fue imposible encontrar soluciones significativas para las componentes anchas de H_{α} y H_{β} , debido a que los ajustes obtenidos de estas líneas tienen una baja S/N. Se puede ver un ejemplo de estos ajustes y sus residuales, para una apertura de $3''$ en la Figura 4.15, mientras que el resto de los ajustes se puede ver en el Apéndice A.3.

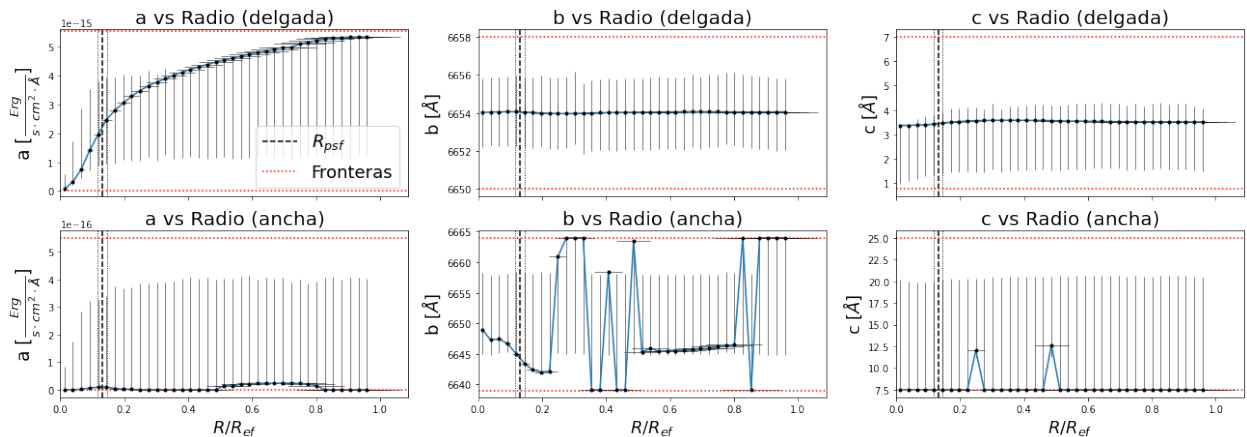


Figura 4.16: Parámetros de ajustes de líneas H_{α} en función de la apertura, para espectro de gas de MaNGA-9193-12701. Se observa que la componente ancha está ausente, ya que converge a soluciones ficticias. $R_{ef} = (5.3497 \pm 0.5812)kpc$.

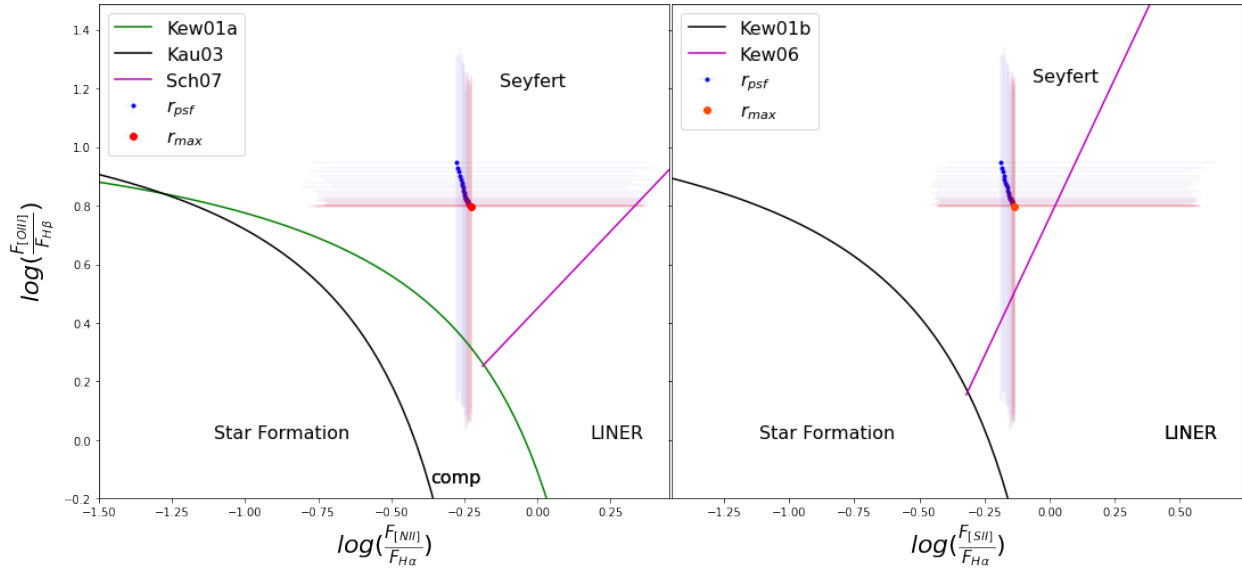


Figura 4.17: Diagramas BPT de MaNGA-9193-12701 a diferentes aperturas. La apertura mínima $r_{min} = r_{psf}$ se identifica con color azul, cambiando hacia rojo para aperturas mayores, hasta el espectro integrado r_{max} . Todos los espectros se ubican dentro de región Seyfert. Se observa que conforme el radio de apertura crece, el espectro se acerca a la región LINER.

Analizando la evolución de los parámetros de las líneas de emisión en función de la apertura, observamos que además de la baja intensidad de las componentes anchas de H_α y H_β , sus ubicaciones y anchos no convergen a soluciones estables, en particular la ubicación de la componente ancha de H_α que varía mucho para las distintas aperturas, indicio de que las soluciones son ficticias (ver Figura 4.16). Se puede ver la evolución de los parámetros ajustados en función de la apertura en el Apéndice B.3.

Usando los resultados de los ajustes multicomponentes de los espectros de gas ionizado para las aperturas mayores al radio de la PSF, podemos ubicar a esta galaxia dentro de la región Seyfert en los diagramas BPT. Encontramos que conforme la apertura crece, la ubicación de la galaxia con respecto al eje $\log(\frac{F_{[OIII]}}{F_{H\beta}})$ disminuye, mientras que se mueve hacia valores altos en los ejes $\log(\frac{F_{[NII]}}{F_{H\alpha}})$ y $\log(\frac{F_{[SII]}}{F_{H\alpha}})$, acercándose así hacia la región LINER (ver Figura 4.17).

Finalmente aplicamos el método de Greene y Ho (2005b), tomando en cuenta que los resultados derivados anteriormente corresponden a soluciones ficticias. En la Figura 4.18 podemos ver que las inferencias de M_{BH} se encuentran bastante subestimadas, comparadas con las mediciones directas reportadas por van den Bosch (2016). Además observamos que

sus intervalos de error son muy grandes para todas las aperturas, debido a la posible ausencia de las componentes anchas de H_α y H_β .

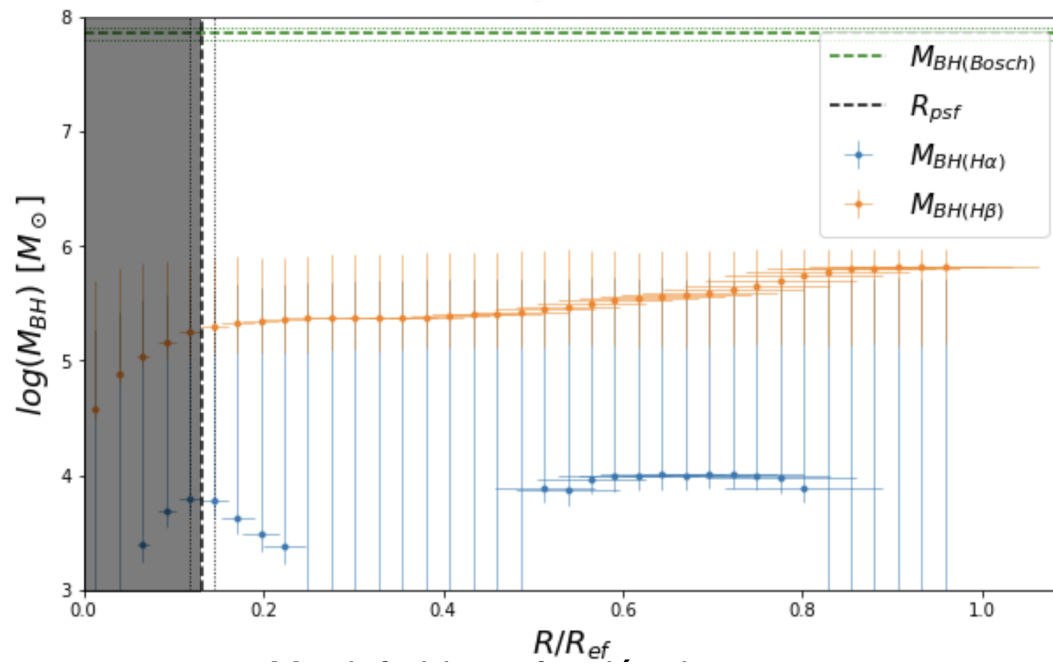


Figura 4.18: M_{BH} inferida en función de la apertura para MaNGA-9193-12701. $R_{ref} = (5.3497 \pm 0.5812)kpc$.

Capítulo 5

Discusión

En esta tesis analizamos los espectros electromagnéticos de una muestra de cuatro galaxias del catálogo MaNGA del SDSS: 8553-1901, 9000-1901, 9028-6102 y 9193-12701. Estas cuatro galaxias tienen en común que sus hoyos negros supermasivos han sido determinados utilizando métodos directos compilados en van den Bosch (2016). El objetivo principal de esta tesis fue la de comparar estimaciones de SMBHs obtenidos mediante métodos directos e indirectos. En particular nos enfocamos en el método indirecto de Greene y Ho (2005b), quienes derivaron correlaciones entre la emisión ancha de las líneas de H_α y H_β con la masa del SMBH, basándose en la expresión virial en la técnica de mapeo de reverberación. Los autores derivaron esta correlación usando una muestra de galaxias del SDSS y su fibra central de 3" para determinar la emisión ancha de las líneas de H_α y H_β . Por lo tanto, gracias a las observaciones en MaNGA obtenidas mediante en la técnica de IFS, en esta tesis hemos estudiado los efectos de apertura ignorados por el método indirecto de Greene y Ho (2005b). Para lo anterior, utilizamos los espectros correspondientes a la componente de gas ionizado, después de sustraer el continuo estelar de los espectros totales, obtenido por el pipeline Pipe3D (Sánchez *et al.*, 2016b).

Tras una primera inspección visual, encontramos que las únicas galaxias con espectros de calidad suficiente para obtener determinaciones indirectas confiables de sus SMBHs son: 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701. Después, utilizamos nuestra adaptación del código SpeL-FiC en los espectros de gas de estas galaxias, para obtener mediante técnicas Bayesianas los parámetros que mejor ajustan las líneas de emisión de interés; H_α , H_β , $[\text{NII}]\lambda 6550,6585$,

O[III] λ 4959,5007 y [SII] λ 6718,6733. Para este trabajo, suponemos que las líneas de emisión se modelan como una superposición de Gaussianas.

Los parámetros ajustados a nuestros modelos de líneas de emisión posteriormente fueron empleados para determinar el proceso que da origen a la ionización del gas de las galaxias con base a los diagramas de diagnóstico BPT. Una vez determinado que el origen de la emisión observada en las líneas H_α y H_β era consistente con la radiación producida por la presencia de un AGN, procedimos a determinar de manera indirecta las masas de los SMBHs usando la metodología de Greene y Ho (2005b) para las galaxias 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701, en función del radio desde el pixel central hasta el espectro integrado, tanto para los cubos de gas ionizados obtenidos por Pipe3D, como para los cubos totales.

En el caso de 9193-12701, la ausencia de las componentes anchas de las líneas del Hidrógeno en sus espectros impide obtener resultados robustos. Mientras que para 8553-1901 y 9000-1901 la técnica propuesta por Greene y Ho (2005b) tiende sistemáticamente a subestimar un aproximado entre 0.5 – 1.25*dex* los valores de las masas reportadas con técnicas directas para los espectros de gas.

5.1. Efectos y Corrección de Sustracción de Componente Estelar.

Identificamos que en los espectros de gas ionizado, existe una sobre-sustracción del continuo estelar alrededor de la línea de emisión H_α para las galaxias 8553-1901 y 9000-1901. Debido a que la masa del SMBHs es proporcional, a una potencia, tanto de la luminosidad como del FWHM de las líneas de emisión anchas de H_α y H_β , esto tendría un impacto directo en nuestras mediciones. En particular, el hecho de que exista una sobre-sustracción en el continuo estelar, explicaría por qué nuestras masas de SMBHs han sido sistemáticamente subestimadas. Con el objetivo de compensar este efecto, introducimos una componente extra con forma de Gaussiana pero con intensidad negativa. Al hacer esto obtuvimos ajustes de mejor calidad para toda la región espectral analizada.

Al realizar esta corrección, utilizamos los nuevos ajustes a las líneas de emisión para volver

a localizar a las galaxias dentro del diagrama BPT. Lo que obtuvimos fue que las galaxias se mantuvieron en la región de AGNs. Finalmente, hicimos una nueva inferencia de las M_{BH} y notamos que estas resultaron en un valor mayor a aquellos obtenidos previamente, incluso las inferencias de 9000-1901 convergieron a soluciones dentro de los valores de aceptación de las mediciones directas. A continuación, discutimos lo anterior con mayor detalle.

El nuevo tratamiento a nuestros espectros de gas introduce una Gaussiana con intensidad negativa. Una pregunta relevante es entonces si esta nueva función incrementa o reduce la bondad de nuestro ajuste. Para responder lo anterior, primeramente encontramos que se ajustaron con éxito las líneas de emisión y la zona sobre-sustraída para la región de H_α en los espectros de gas de las galaxias MaNGA-8553-1901 y MaNGA-9000-1901. Después, encontramos que todos los ajustes reportan un nuevo valor de χ^2 que disminuye al aplicar esta corrección, en promedio poco mas de 30%, Esto nos indica que el ajuste mejora de forma considerable. Esto se hizo únicamente para la región de H_α debido a que en dicha región es donde la sobre-sustracción es evidente.

Usando los nuevos parámetros ajustados para las líneas de emisión utilizadas en los diagramas de diagnóstico BPT, observamos que los espectros de estas galaxias continúan cayendo dentro de la región correspondiente a AGNs para todas las aperturas.

Tras esta corrección se obtiene también que la luminosidad y el FWHM de la componente ancha de H_α aumenta, y en consecuencia la inferencia de la M_{BH} (que se encontraba subestimada para estos espectros). Este aumento de la luminosidad se mantiene para todas las aperturas, obteniendo así inferencias más cercanas a las del valor reportado por van den Bosch (2016). En particular se observa que las soluciones de 9000-1901 convergen dentro del rango de incertidumbres de las mediciones dinámicas de van den Bosch (2016) a partir de la cuarta apertura, correspondiente a 2".

Observando que el análisis que hace Pipe3D puede introducir una sobre-sustracción del continuo estelar en galaxias con AGNs con líneas anchas, podemos afirmar que los ajustes a los espectros de gas serán pobres. Entonces sugerimos ya sea utilizar otra herramienta para obtener los espectros de gas de galaxias con este tipo de AGNs, si se tiene la intención de aplicar la metodología de Greene y Ho (2005b). O bien aplicar individualmente y de forma cuidadosa la herramienta Pipe3D para MaNGA-8553-1901 y MaNGA-9000-1901, para que

evite hacer esta sobre-sustracción del continuo estelar. De no ser posible ninguna de las dos opciones anteriores, en esta tesis proveemos de un método simple que puede ayudar a corregir este efecto, el cual es capaz de disminuir la χ^2 para todos los ajustes, mejorando así las inferencias de las M_{BH} . No obstante, planeamos atacar este problema en mayor detalle en un futuro cercano.

5.2. Inferencias de M_{BH} y Efectos de Apertura.

El método de Greene y Ho (2005b) provee de un conjunto de ecuaciones, (3.1 y 3.2), que fueron calculadas de forma empírica para una muestra de galaxias con determinadas características, considerando sus espectros de gas ionizado integrados, usando una sola fibra de 3 segundos de arco apuntada en sus centros (para más detalles ver: Greene y Ho (2005b)), por lo que es importante remarcar que no considera efectos de apertura. El uso de una sola fibra tiene como consecuencia que el área de las galaxias observada por dicha fibra puede contener información tanto de la región del AGN, como del bulbo y del disco, sin posibilidad de discernir entre ellas. Si bien, uno de los usos de la IFS es que en principio podemos hacer esa disección por las diferentes componentes de las galaxias, en el caso específico de MaNGA cada fibra tiene un tamaño de 2 segundos de arco (correspondiente a aperturas físicas del orden de la unidad de kpc para nuestra muestra de galaxias), es decir no son mucho más pequeñas que las utilizadas por Greene y Ho (2005b). Sin embargo, una de las posibilidades que nos dieron las observaciones de MaNGA es que pudimos extender nuestro estudio a diferentes aperturas y así comparar entre ellas. Por lo tanto, nuestra metodología contempla un análisis en función del radio de apertura.

Para una apertura dada, primero comenzamos por comprobar mediante los diagramas BPT si la fuente de la ionización del gas era consistente con un AGN, para las galaxias MaNGA 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701. Para todas las aperturas analizadas en este trabajo encontramos que siempre fueron consistentes con emisión del tipo AGN. Es importante resaltar que la clasificación de las galaxias como AGNs se mantiene también a pesar de las grandes incertidumbres asociadas a los cocientes de las líneas ajustadas. Considerando lo anterior, podemos tener la certeza de que la emisión del gas analizada en las galaxias

8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701 proviene principalmente del AGN a cualquier radio de apertura. Así mismo, la certidumbre de que las inferencias indirectas de la M_{BH} que hemos hecho usando la metodología de Greene y Ho (2005b) están realmente asociadas a un SMBH.

Determinamos las masas M_{BH} por medio del método indirecto de Greene y Ho (2005b) en función de la apertura para MaNGA 8553-1901 y 9000-1901, utilizando las luminosidades y el FWHM de las componentes anchas de las líneas H_α y H_β . Para la galaxia 9193-12701 también realizamos inferencias de M_{BH} en función de la apertura, sin embargo, debido a la ausencia de las componentes anchas del Hidrógeno, se puede concluir que las soluciones que se obtienen son ficticias, y en consecuencia la determinación de la M_{BH} no es robusta.

En dichas inferencias, la incertidumbre de M_{BH} está asociada a la propagación de las incertidumbres de las distancias reportadas en van den Bosch (2016), el error poissoniano de los espectros, los errores de las Ecuaciones 3.1 y 3.2 (Greene y Ho, 2005b), y al error numérico con origen en las distribuciones de probabilidad determinadas por las cadenas MCMC del algoritmo de ajuste multicomponente (ver Sección 3). Esto hace que la incertidumbre de las inferencias sea relativamente alta, comparada con la de mediciones dinámicas reportadas en van den Bosch (2016). Esto es esperado, debido a la mayor precisión que tienen estas últimas técnicas comparada con la simpleza del método adoptado en esta tesis.

Para las galaxias 8553-1901 y 9000-1901 se obtiene que las inferencias de M_{BH} incrementan en función del radio, teniendo que a partir de una apertura mayor que el radio de PSF, los valores e incertidumbres convergen a un valor aproximadamente constante. Esta convergencia es importante, porque nos brinda la oportunidad de discriminar espacialmente el espectro, identificando una región central del radio en la cual es posible aplicar el método de Greene y Ho (2005b) con cierta confianza. Para aperturas menores podría considerarse una calibración en función del radio, sin embargo es importante tener en cuenta que el efecto de la PSF puede ocasionar inferencias subestimadas y con alta incertidumbre, por lo cual los resultados no son robustos. Notamos que las inferencias de M_{BH} obtenidas para los espectros de gas ionizado de 8553-1901 y 9000-1901 están subestimadas para todas las aperturas, lo cual discutimos que se puede deber a la sobre sustracción ocasionada por Pipe3D y observada en ambos objetos.

Una adaptación de la metodología de Greene y Ho (2005b) que considere dichos efectos

de apertura puede mejorar significativamente las estimaciones de M_{BH} . Para hacer esto de forma empírica y estadísticamente significativa, es necesario aplicarla para una muestra mucho mayor de galaxias con AGN que muestren componentes anchas de H_α y/o H_β , que tengan reportadas mediciones de M_{BH} por medio de metodologías mas precisas (como son las estimaciones dinámicas) y que cuenten con espectros tomados mediante la técnica IFS. Esto permitiría en un futuro poder aplicar la combinación de estas técnicas a muestras mucho mayores de galaxias con AGN cuya M_{BH} sea desconocida, pudiendo obtener inferencias indirectas mas confiables y precisas de este parámetro.

En la figura 5.1 mostramos una comparación de las mejores M_{BH} estimadas en este trabajo con el método indirecto de Greene y Ho (2005b), para los espectros de gas ionizado, antes y después de la corrección por el efecto de la sobre-sustracción del continuo estelar. Para esta figura el valor que hemos elegido como la mejor medición de M_{BH} , se eligió considerando el que más se acerca al valor reportado por van den Bosch (2016) para aperturas mayores al radio de PSF. En el panel inferior de dicha figura mostramos las diferencias entre nuestro valor preferencial de las M_{BH} y el reportado en van den Bosch (2016) para las tres galaxias. Podemos notar fácilmente que para la galaxia 9193-12701 no tuvimos en inferir la masa del SMBH con el método adoptado, esto está directamente relacionado con el hecho de que no encontramos componentes anchas para las líneas de H_α y H_β . Además de esto, podemos destacar que para las otras dos galaxias, aquellas para las cuales pudimos aplicar el método con éxito, las inferencias subestimadas de M_{BH} se ven muy mejoradas cuando utilizamos ajuste del espectro de gas corregido por el efecto de la substracción del continuo estelar que cuando lo usamos sin la corrección, obteniendo incluso para 9000-1901 una estimación dentro de los valores de aceptación esperados.

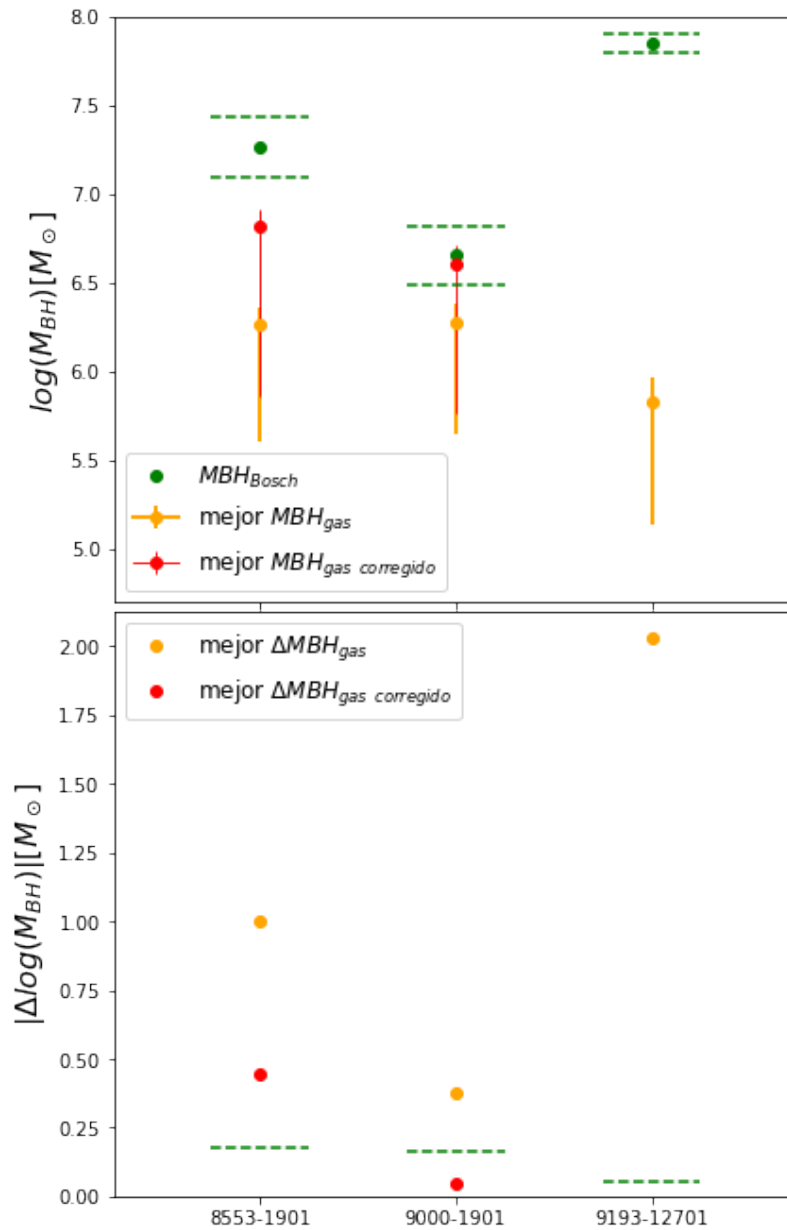


Figura 5.1: Panel superior: comparación de las M_{BH} para las tres galaxias analizadas de nuestra muestra. Panel inferior: comparación de las diferencias entre el valor de la M_{BH} inferido en esta tesis y el estimado por métodos dinámicos reportados en van den Bosch (2016), para las mismas tres galaxias

Capítulo 6

Conclusiones

Hicimos ajustes multicomponentes a los espectros para varias aperturas circulares de las galaxias 8553-1901, 9000-1901 y 9193-12701 centradas en el núcleo. Estas aperturas las extrajimos utilizando los espectros de gas ionizado obtenidos por Pipe3D. Detectamos componentes anchas de las líneas de H_α y H_β para las galaxias 8553-1901, 9000-1901. Usamos los resultados de los ajustes multicomponentes de las líneas para:

- i) Clasificar a tres galaxias en base al origen del proceso de ionización de su componente gaseosa, usando dos diagramas de diagnóstico BPT.
- ii) Calcular las M_{BH} de las tres galaxias por medio del método indirecto de Greene y Ho (2005b). En el caso de la galaxia 9193-12701 los resultados de la M_{BH} no son confiables debido a que no encontramos componente ancha en las líneas de H_α y H_β .

Durante nuestro análisis nos dimos cuenta de que los espectros de gas ionizado de las galaxias 8553-1901 y 9000-1901 presentan un efecto de sobre-sustracción del continuo estelar en la región de H_α . Decidimos corregir este efecto para lo cual ajustamos una función Gaussiana con intensidad negativa en la zona sobre-sustraída, simultáneamente al ajuste de las líneas de emisión. Notamos que hacer esta corrección mejoró notablemente el ajuste del espectro integrado a todas las aperturas usadas, y que la clasificación de las galaxias usando el diagrama BPT no se modificó. De esta manera podemos reportar que las tres galaxias analizadas las hemos podido clasificar certeramente como galaxias tipo Seyfert.

A partir de los ajustes multicomponentes que realizamos para varias aperturas, logramos inferir de manera indirecta las masas de los SMBHs centrales de 8553-1901, 9000-1901. Esto lo

hicimos con la metodología de Greene y Ho (2005b). Las observaciones del catastro MaNGA mediante IFS nos permitieron estudiar los posibles efectos de apertura que pueden existir al usar observaciones espectroscópicas. En particular encontramos, de acuerdo a lo esperado, que todas aquellas mediciones hechas con aperturas de un tamaño menor al radio de la PSF son muy poco confiables, ya que las M_{BH} que se obtienen varían y están muy subestimadas cuando se comparan con las mediciones dinámicas reportadas en van den Bosch (2016). Al contrario, cuando las mediciones se hicieron a radios más grandes, los valores de las M_{BH} que encontramos tienden a converger hacia valores mas cercanos a los reportados en el mismo trabajo.

Finalmente concluimos que no es posible proponer una recalibración a las ecuaciones de Greene y Ho (2005b) debido a lo pequeño de nuestra muestra final de galaxias, sin embargo pudimos cuantificar las diferencias sistemáticas a diferentes radios entre las mediciones directas e indirectas. De manera específica se encontraron valores subestimados para los espectros de gas entre $0.5 - 1.25dex$. Hemos discutido que esta subestimación puede tener su origen principalmente en el análisis con el cual se obtuvieron los espectros de gas ionizado, por medio de Pipe3D.

Como trabajo a futuro, proponemos hacer un análisis más cuidadoso del continuo estelar ya que hemos encontrado que la substracción inferida a partir de Pipe3D ha introducido una fuente extra de error. Además de esto, sería ideal buscar obtener observaciones de galaxias con IFUs con mayor resolución, como el instrumento MUSE, que se encuentren dentro del catálogo de van den Bosch (2016), para poder repetir este trabajo con mayor precisión y además ampliar la muestra. Otra opción para aumentar la muestra y poder buscar proponer una calibración a las ecuaciones de Greene y Ho (2005b) es buscar mas compilaciones actuales de galaxias para las cuales se tengan estimaciones de M_{BH} con métodos directos. Si bien la técnica adoptada no es tan precisa como la usada con métodos dinámicos, de cualquier manera se puede utilizar para comparar con otros métodos indirectos menos precisos aún. En este sentido se podría buscar obtener observaciones con IFS para galaxias que se encuentren dentro de la muestra que observará el proyecto Black Hole Mapper del SDSS fase V, en donde se harán múltiples observaciones a miles de galaxias para estimar las masas de sus agujeros negros usando esta técnica.

Apéndice A

Ajustes Espectrales a Distintas Aperturas.

A.1. MaNGA-8553-1901.

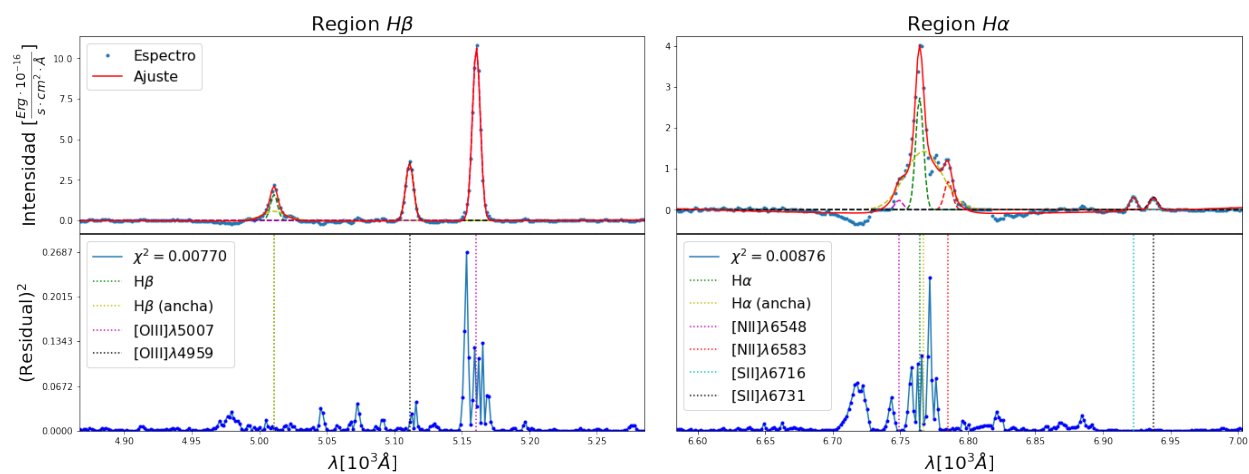


Figura A.1: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (0.154 ± 0.015) kpc

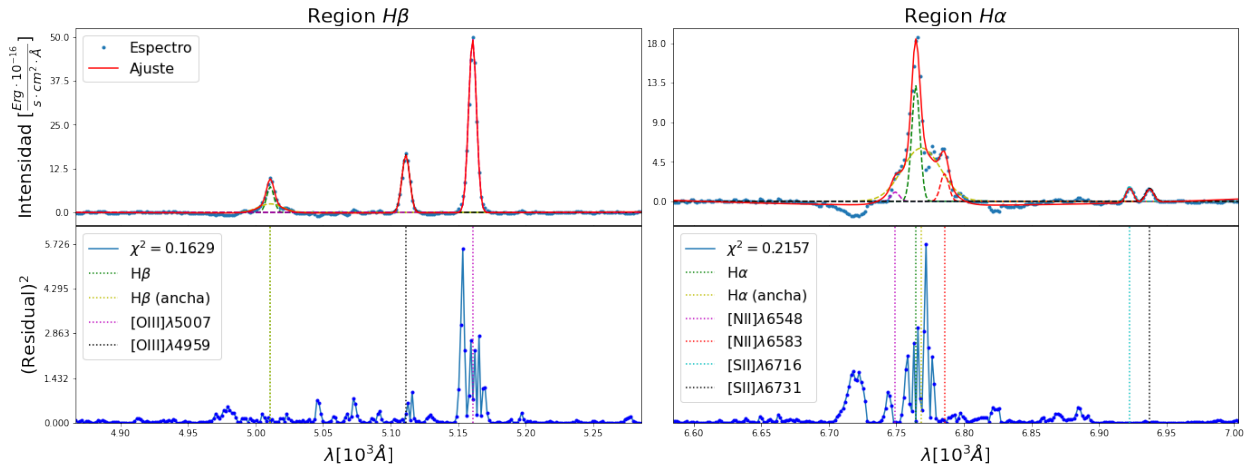


Figura A.2: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (0.461 ± 0.046) kpc

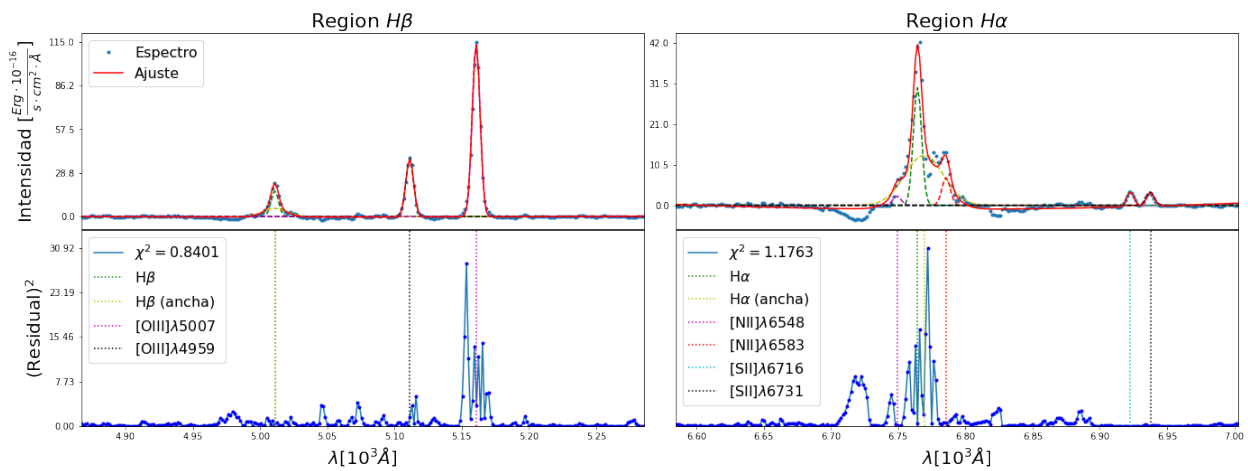


Figura A.3: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (0.768 ± 0.077) kpc

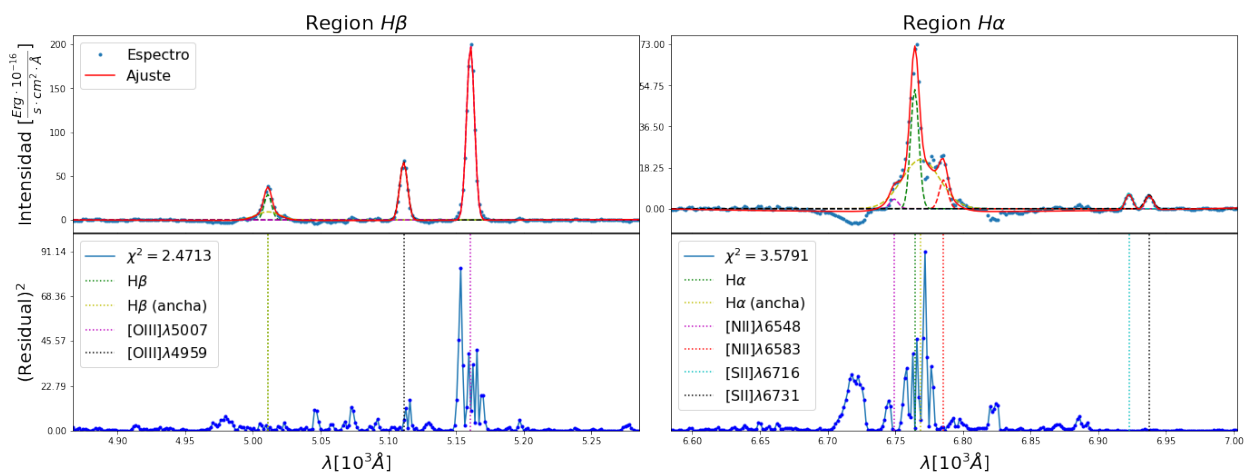


Figura A.4: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.075 ± 0.107) kpc

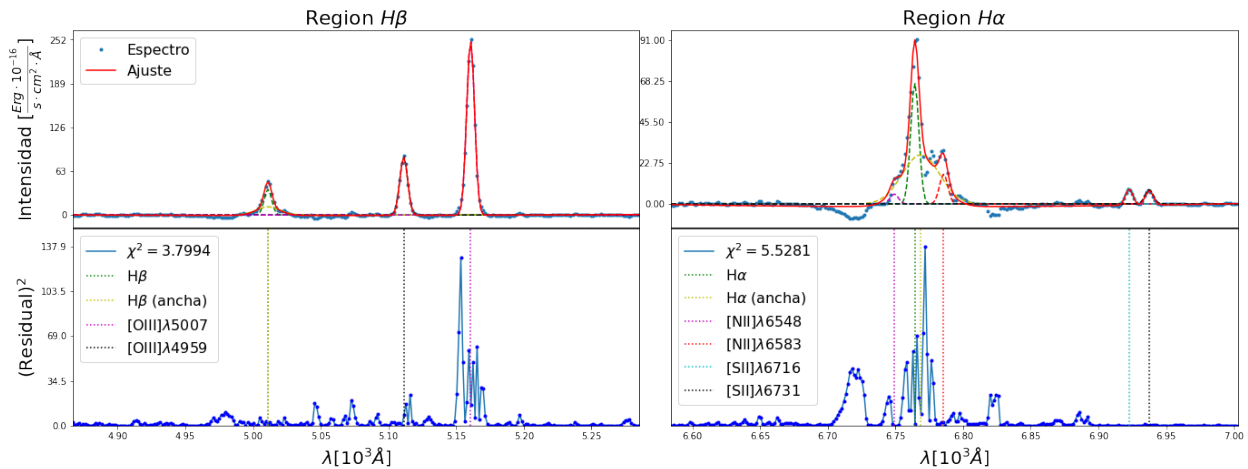


Figura A.5: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.382 ± 0.138) kpc

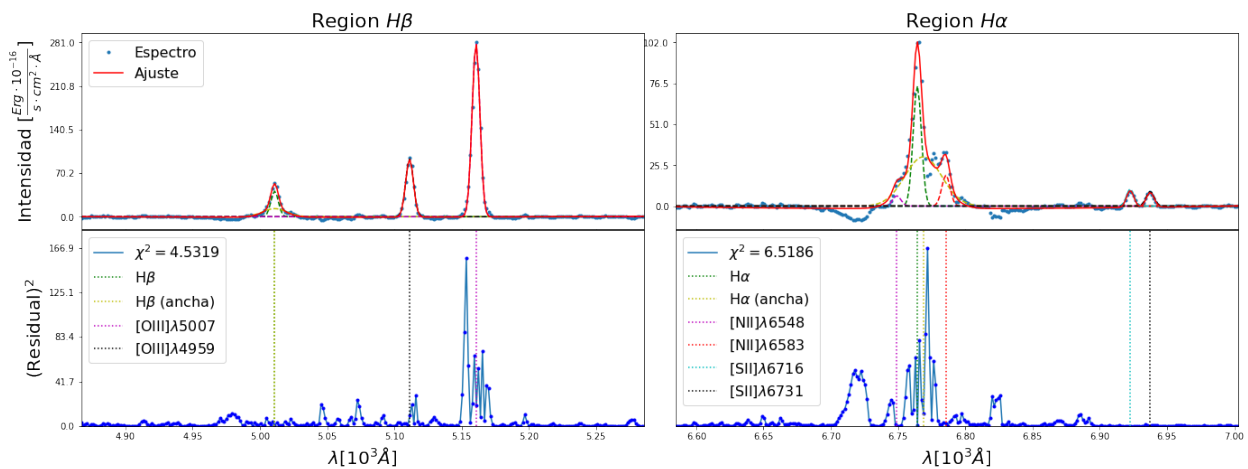


Figura A.6: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.689 ± 0.169) kpc

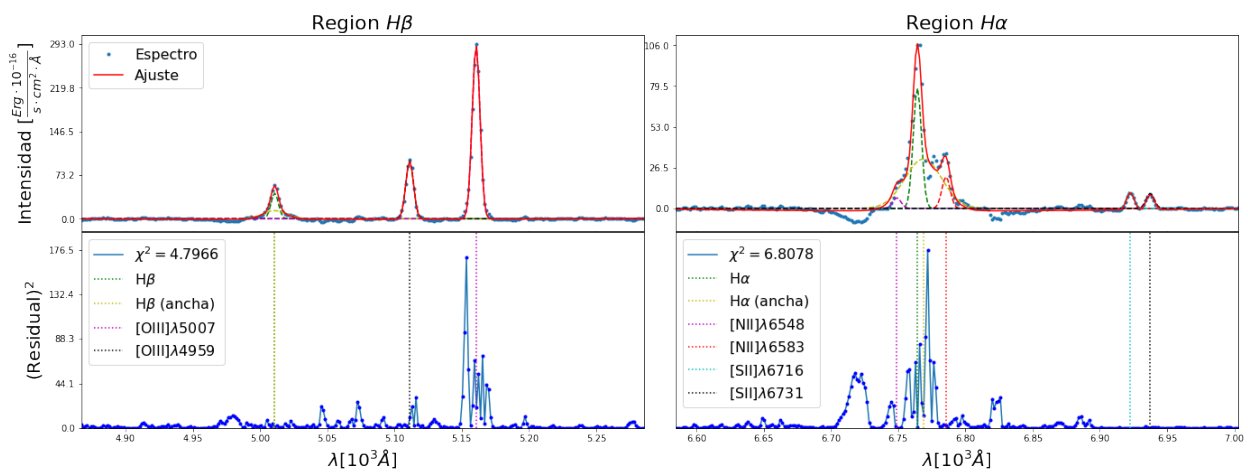


Figura A.7: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.996 ± 0.200) kpc

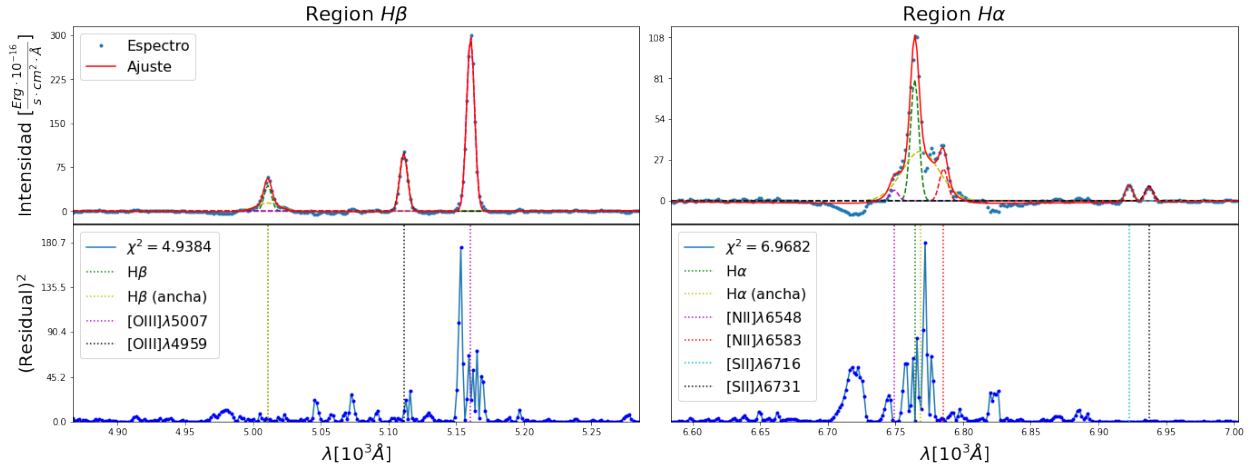


Figura A.8: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (2.303 ± 0.230) kpc

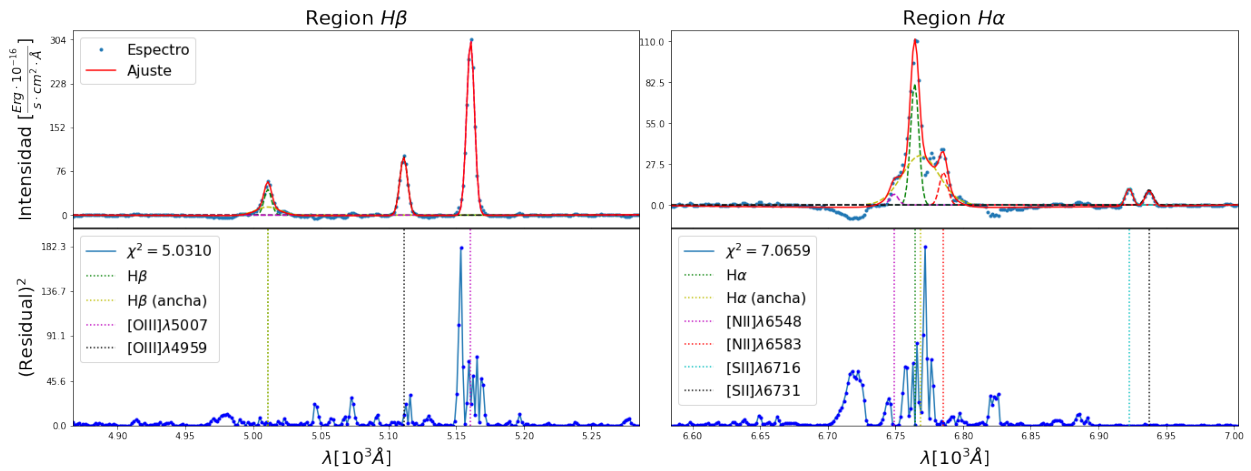


Figura A.9: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (2.610 ± 0.261) kpc

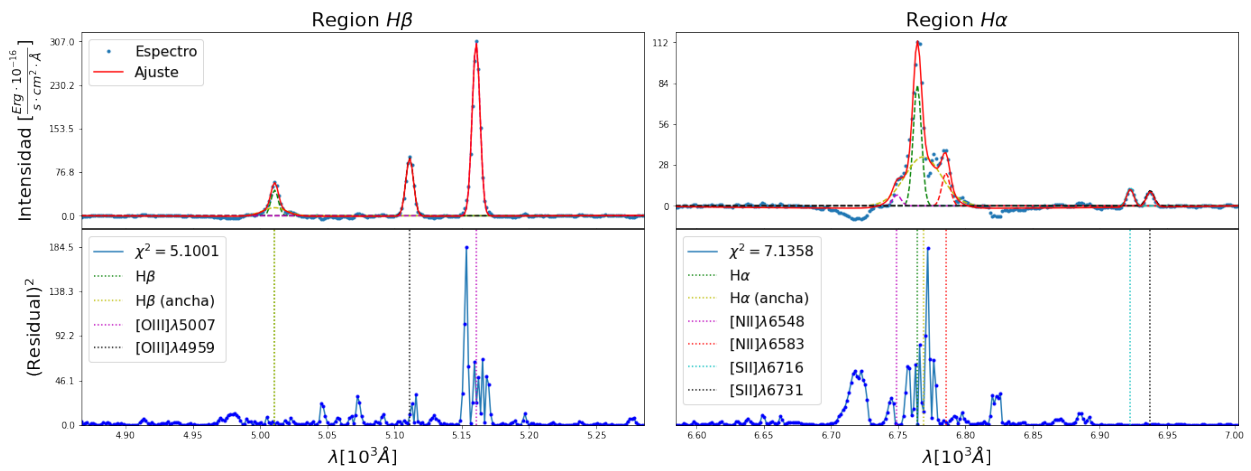


Figura A.10: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (2.917 ± 0.292) kpc

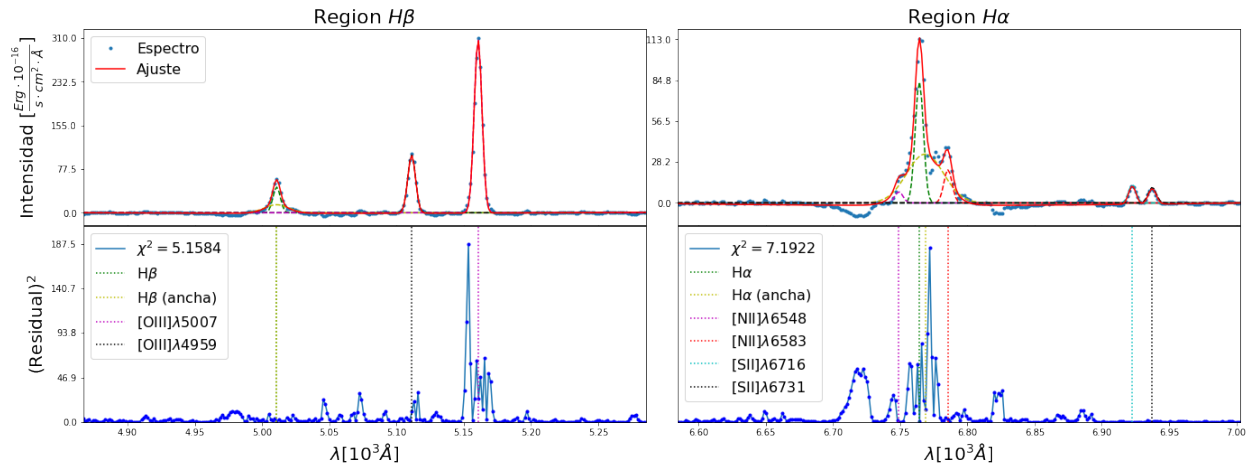


Figura A.11: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (3.224 ± 0.322) kpc

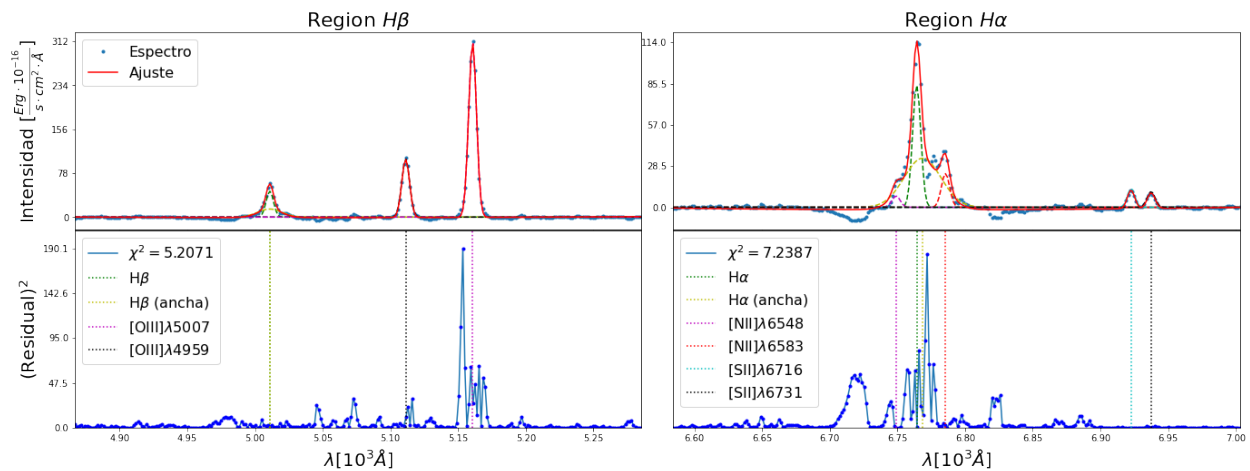


Figura A.12: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (3.532 ± 0.353) kpc

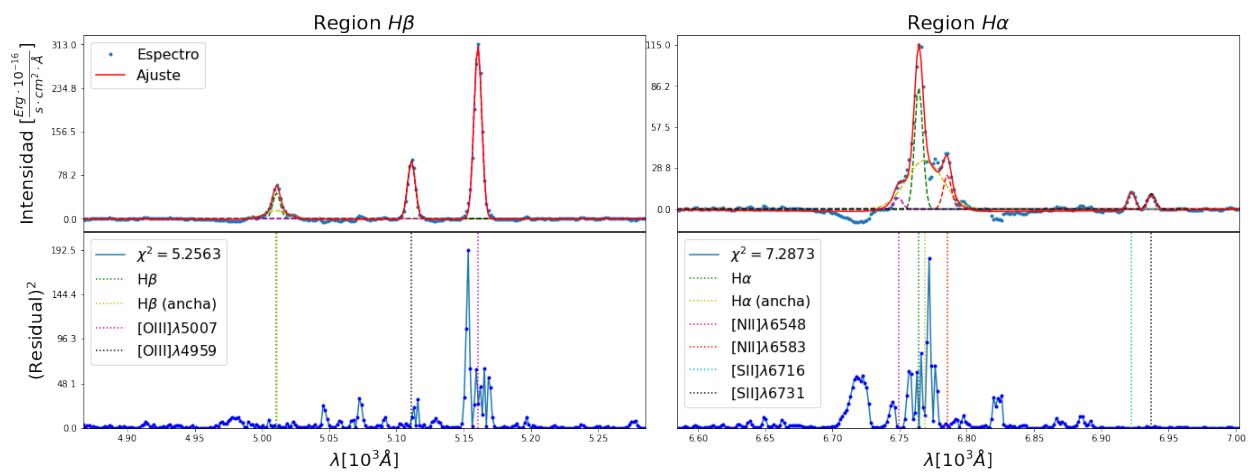


Figura A.13: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (3.839 ± 0.384) kpc

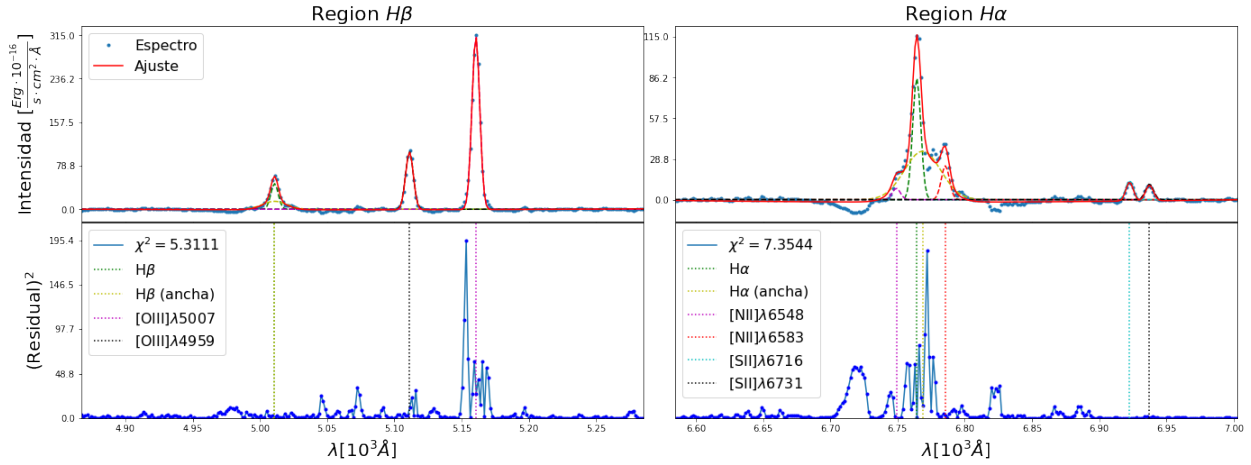


Figura A.14: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (4.146 ± 0.415) kpc

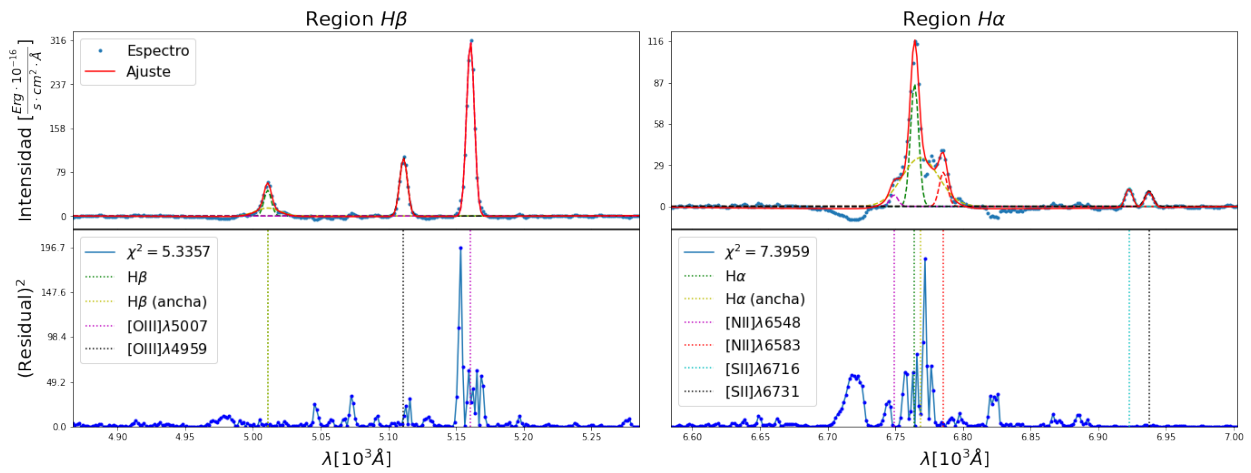


Figura A.15: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (4.453 ± 0.445) kpc

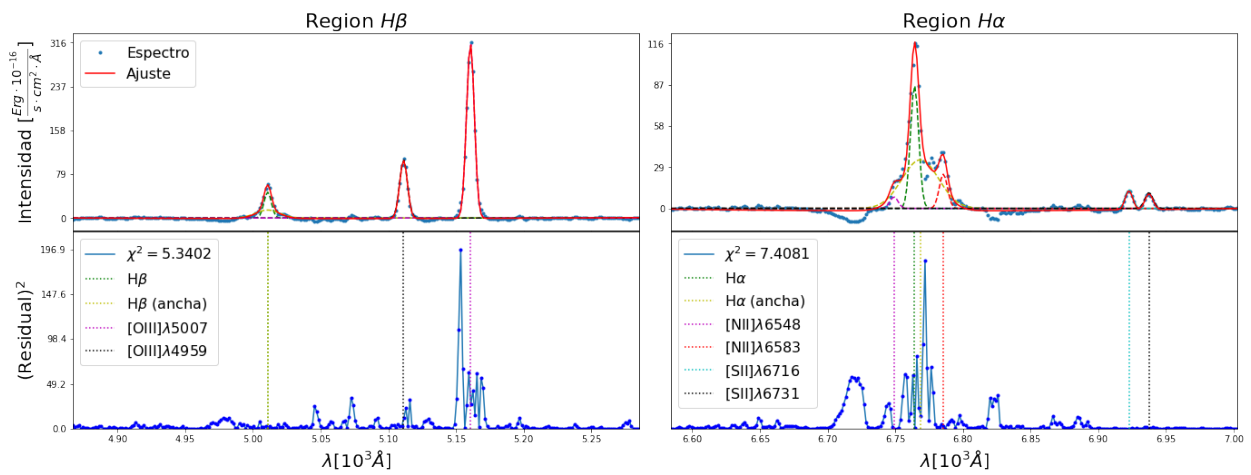


Figura A.16: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (4.760 ± 0.476) kpc

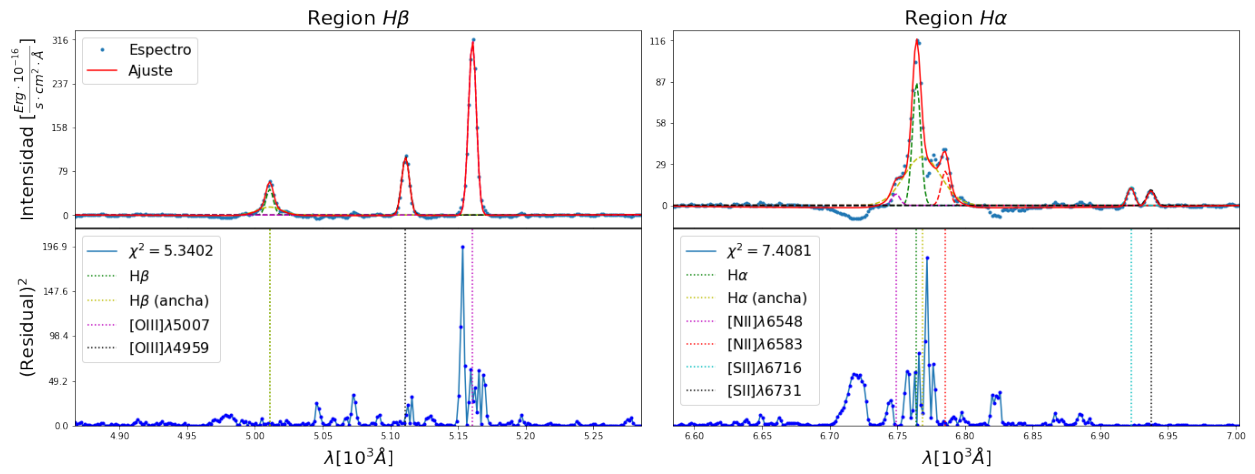


Figura A.17: Ajuste de Espectro de MaNGA-8553-1901 a apertura (5.067 ± 0.507) kpc

A.2. MaNGA-9000-1901.

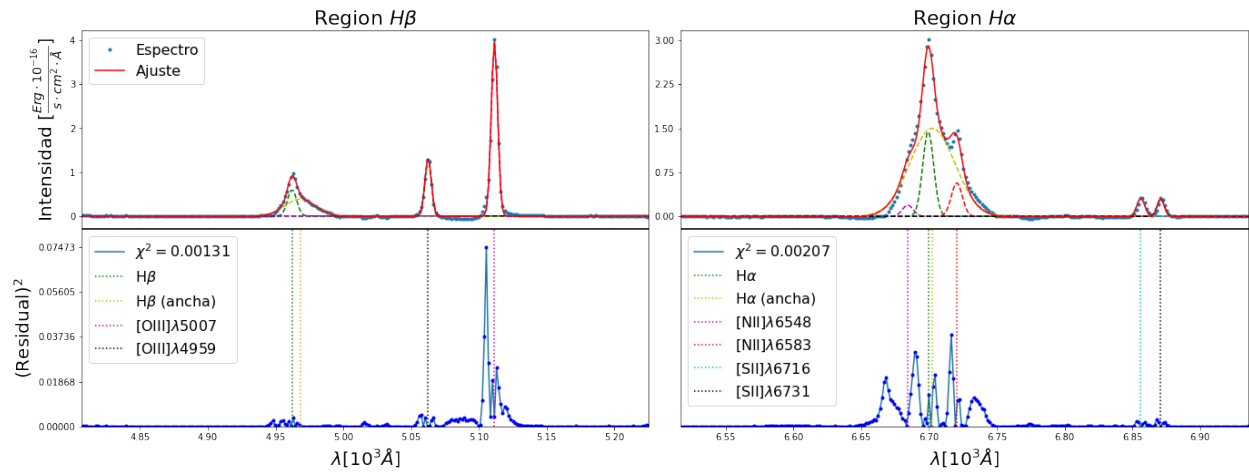


Figura A.18: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.109 ± 0.011) kpc

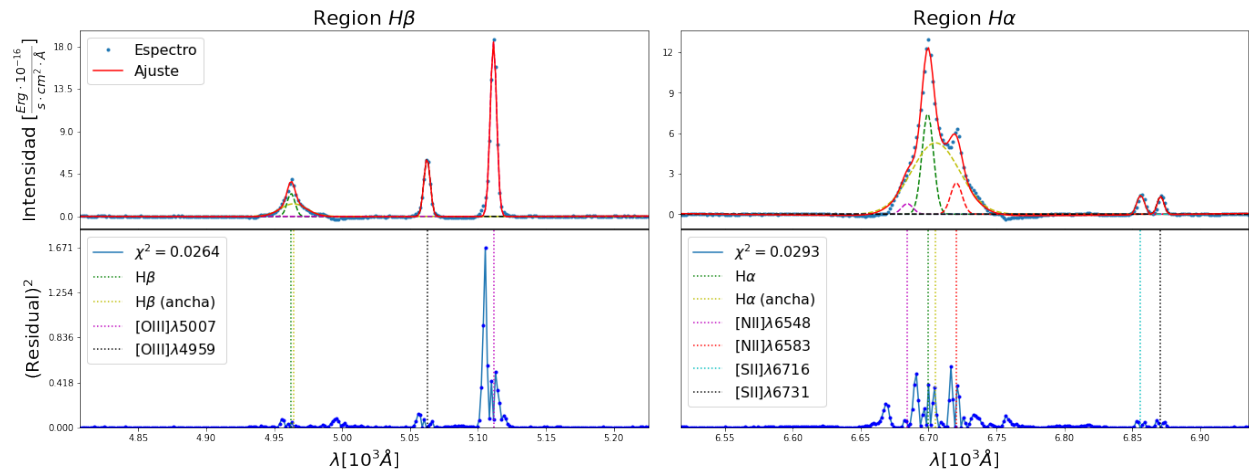


Figura A.19: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.328 ± 0.033) kpc

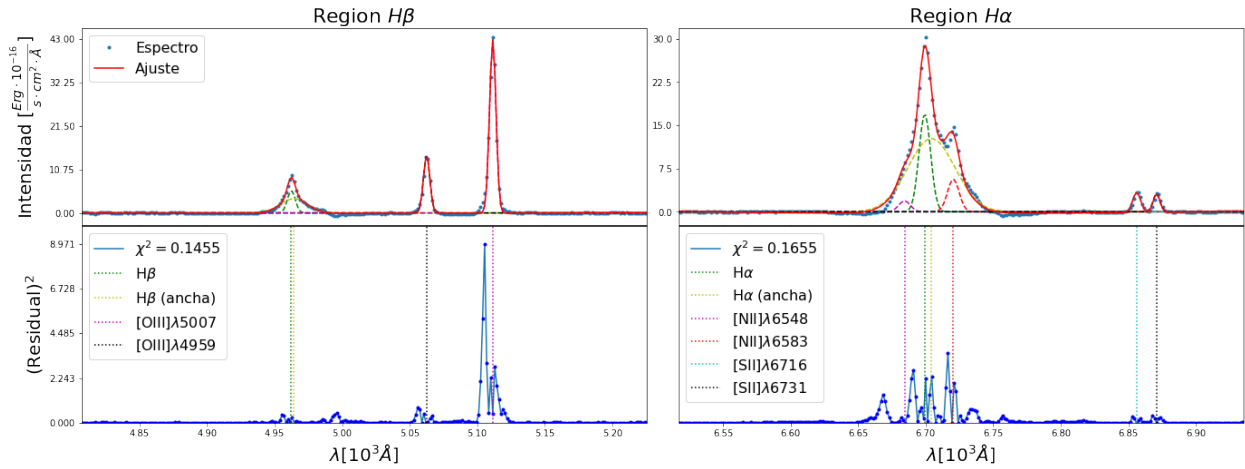


Figura A.20: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.547 ± 0.055) kpc

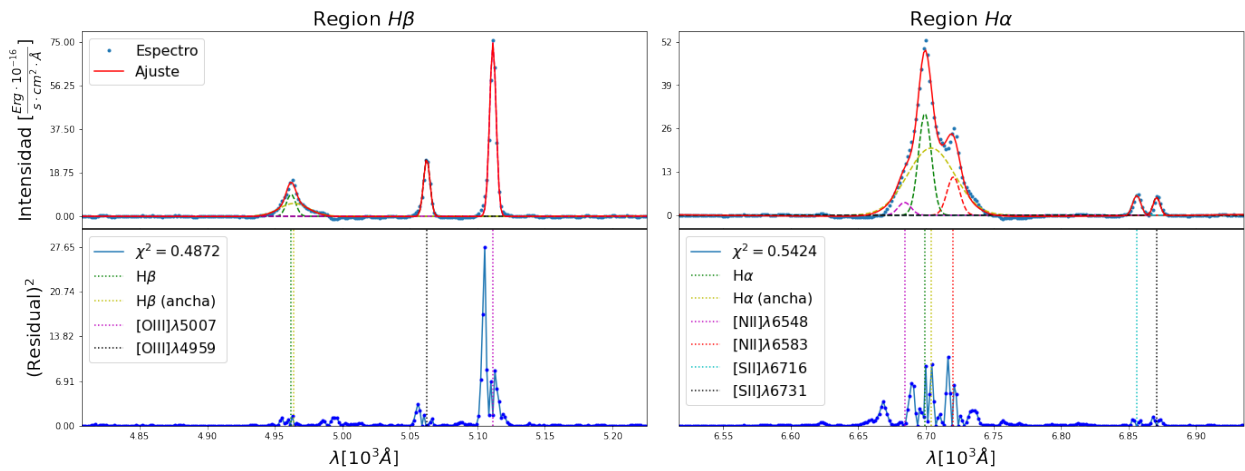


Figura A.21: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.766 ± 0.077) kpc

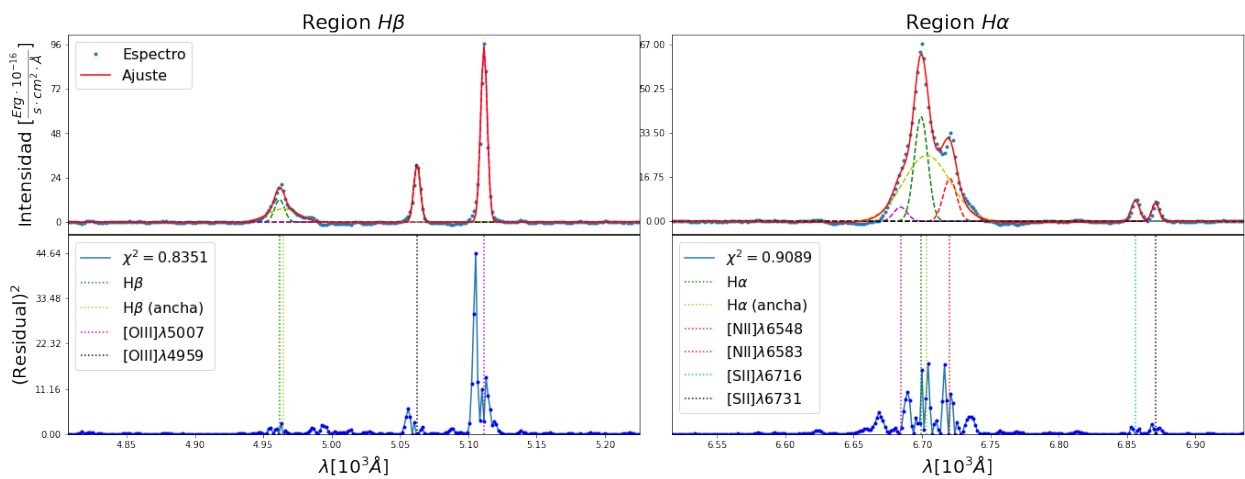


Figura A.22: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.985 ± 0.099) kpc

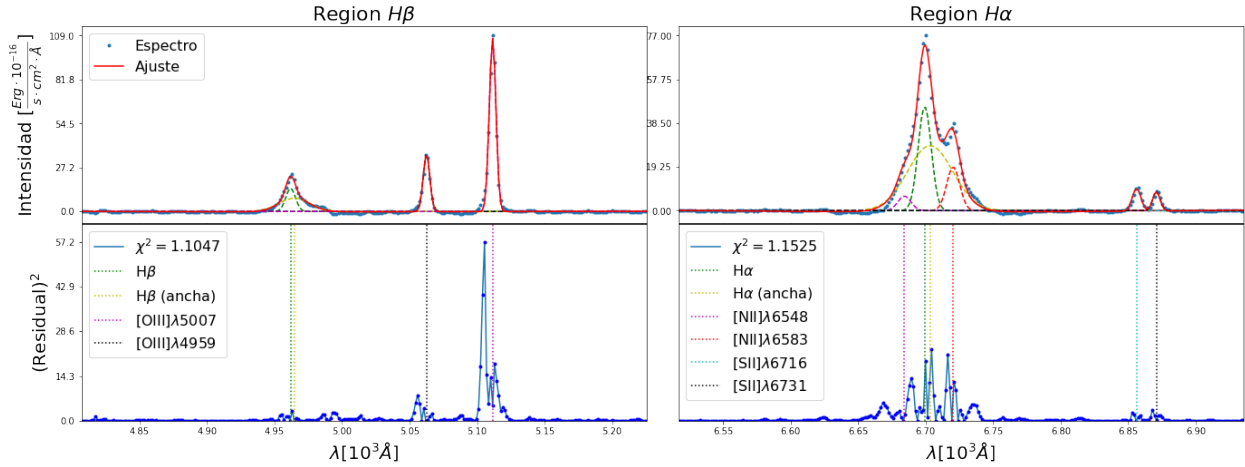


Figura A.23: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.204 ± 0.120) kpc

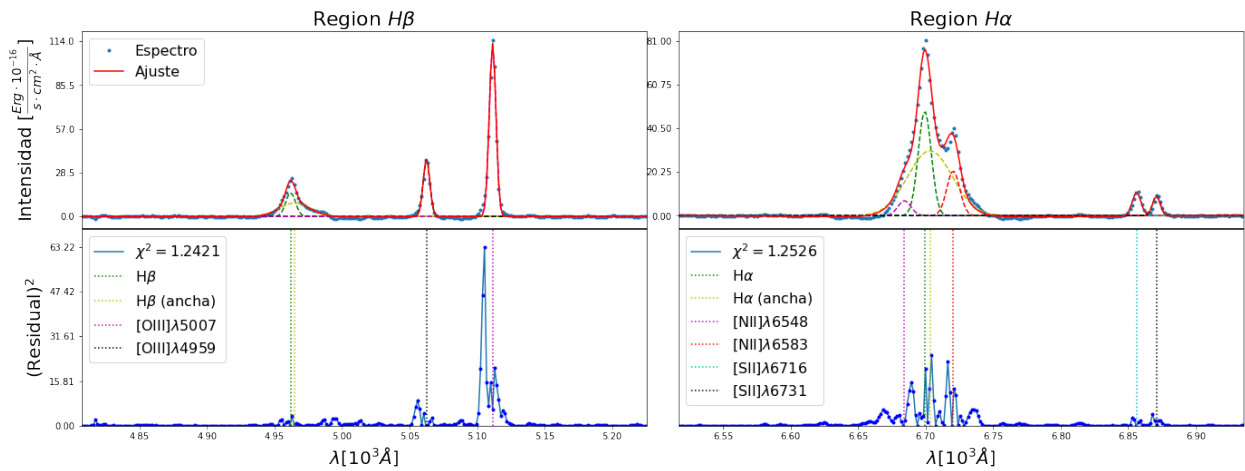


Figura A.24: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.423 ± 0.142) kpc

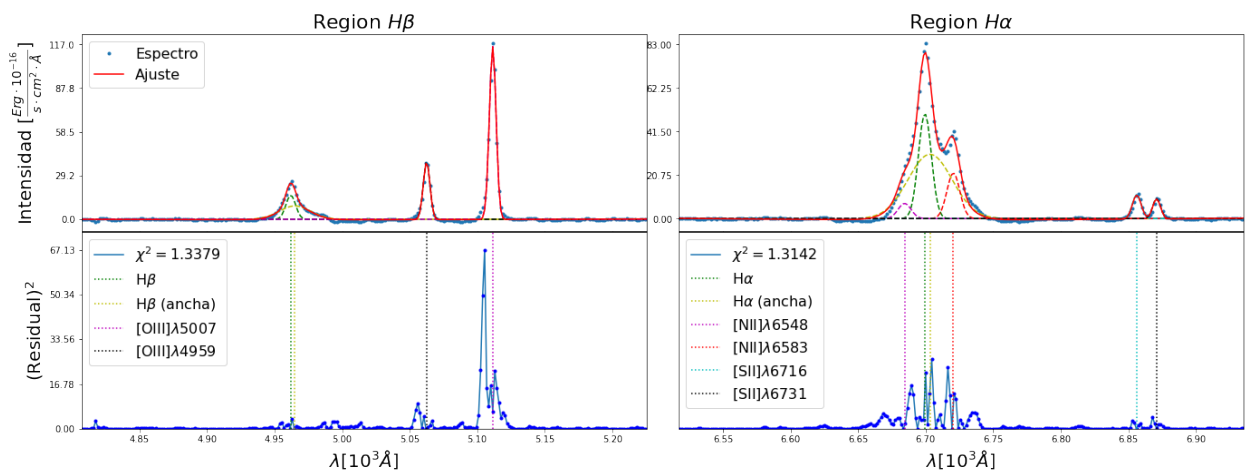


Figura A.25: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.642 ± 0.164) kpc

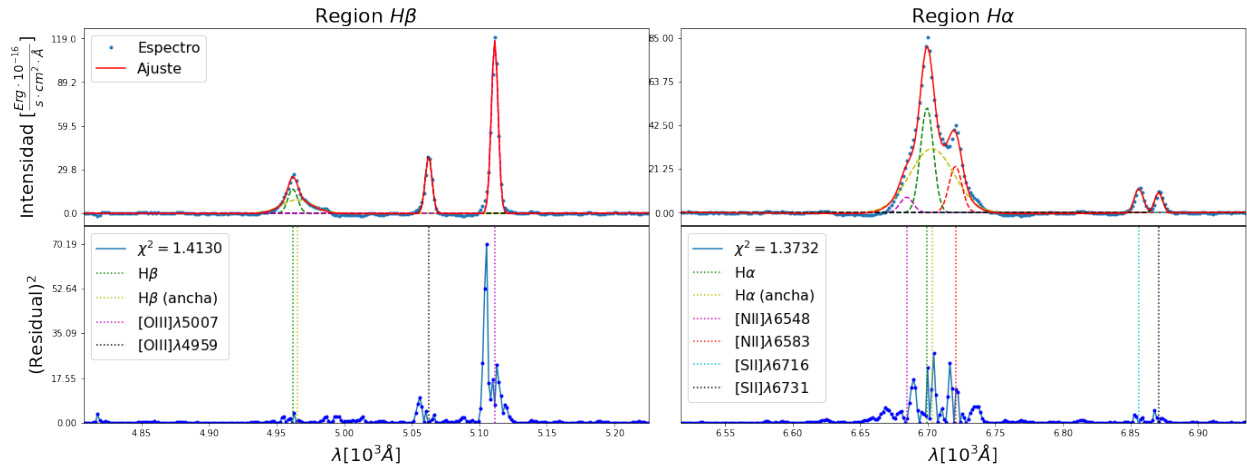


Figura A.26: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.861 ± 0.186) kpc

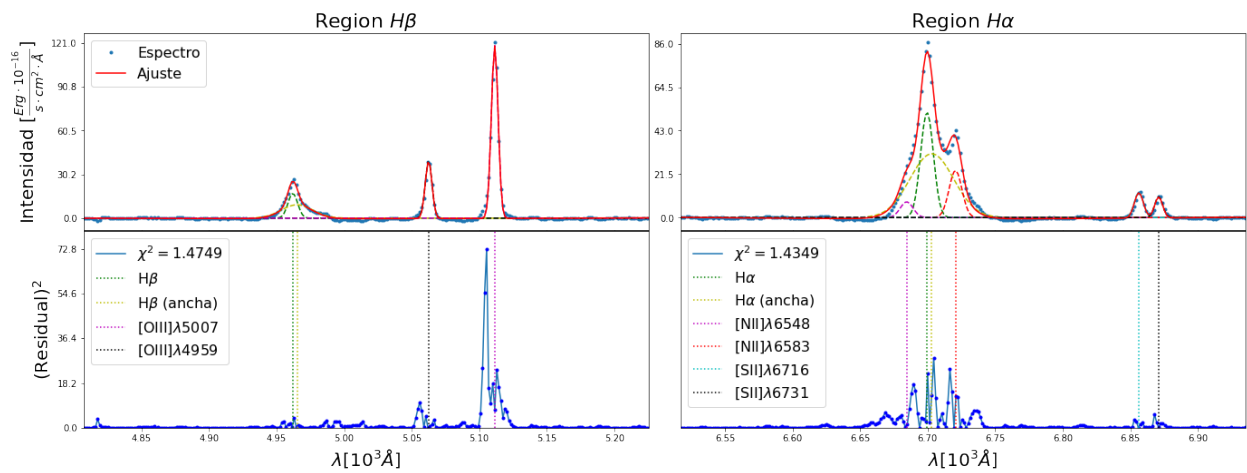


Figura A.27: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.080 ± 0.208) kpc

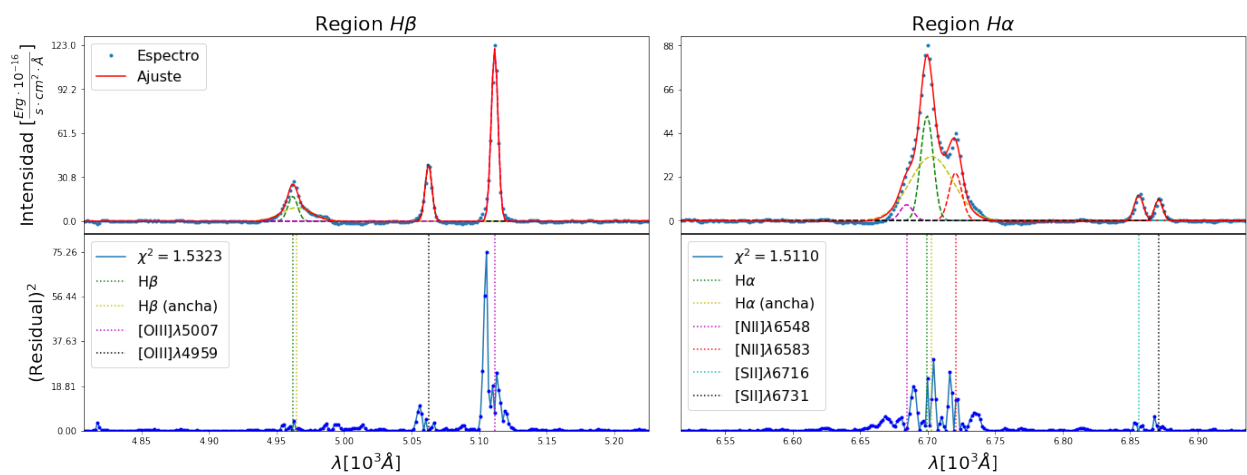


Figura A.28: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.299 ± 0.230) kpc

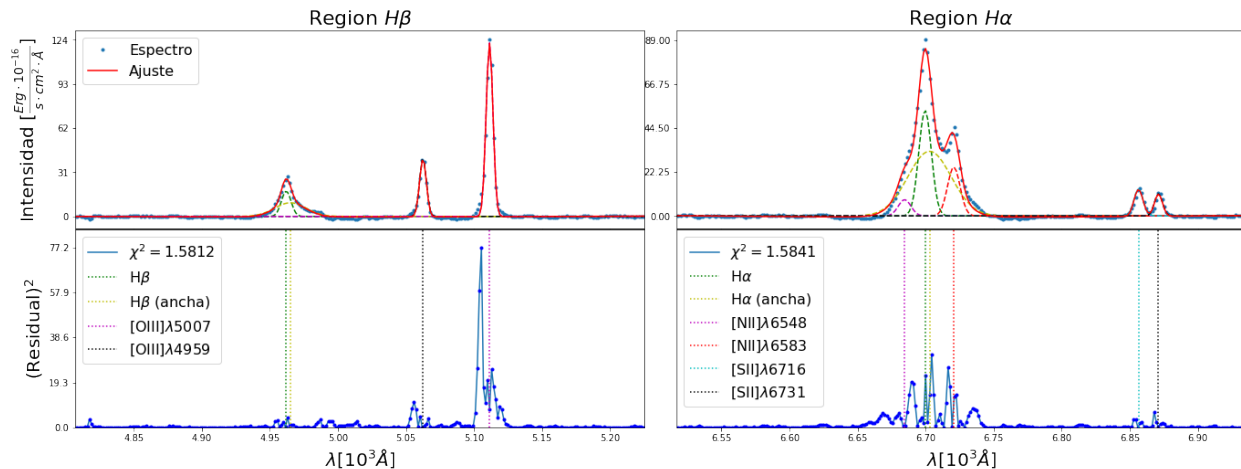


Figura A.29: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.518 ± 0.252) kpc

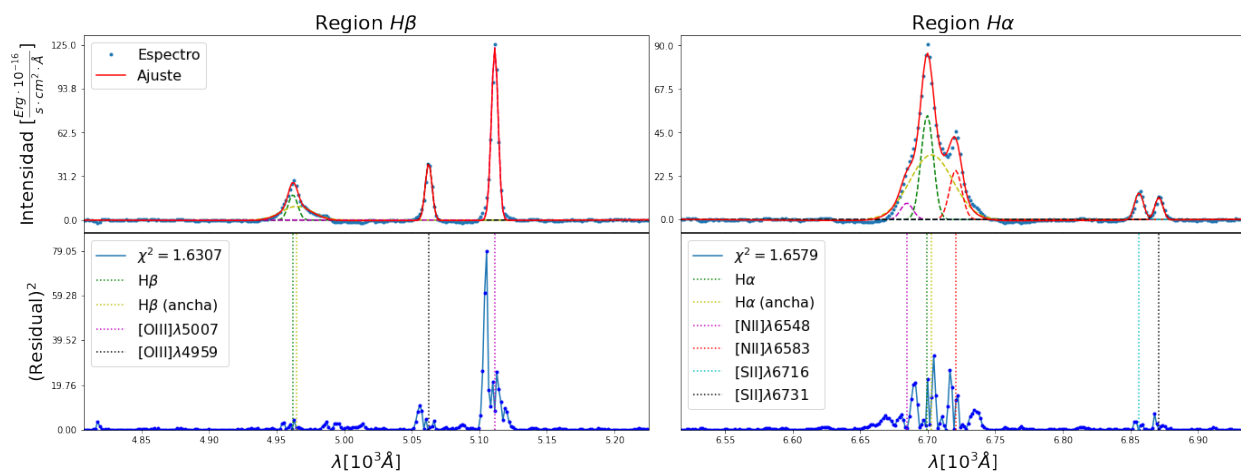


Figura A.30: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.737 ± 0.274) kpc

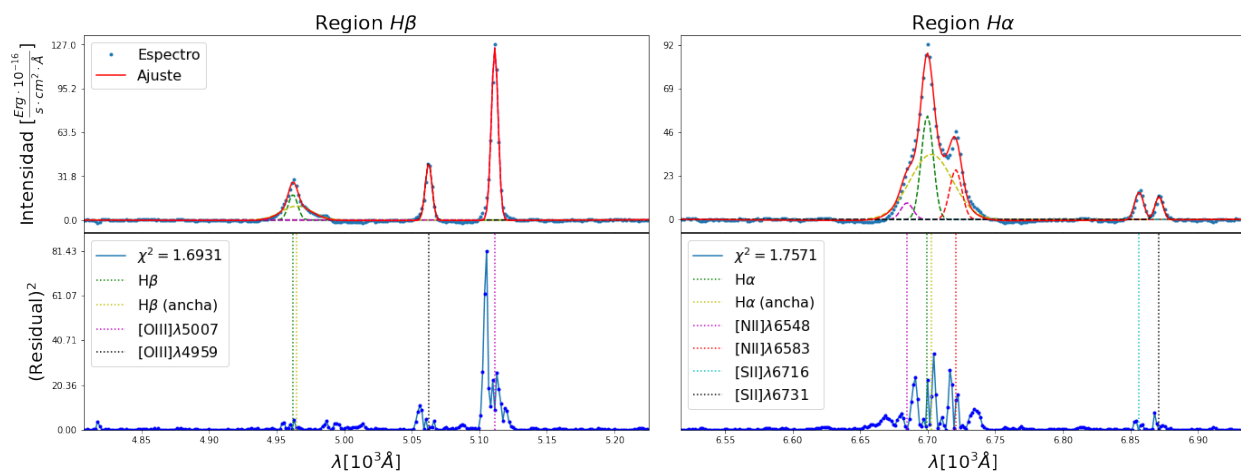


Figura A.31: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.956 ± 0.296) kpc

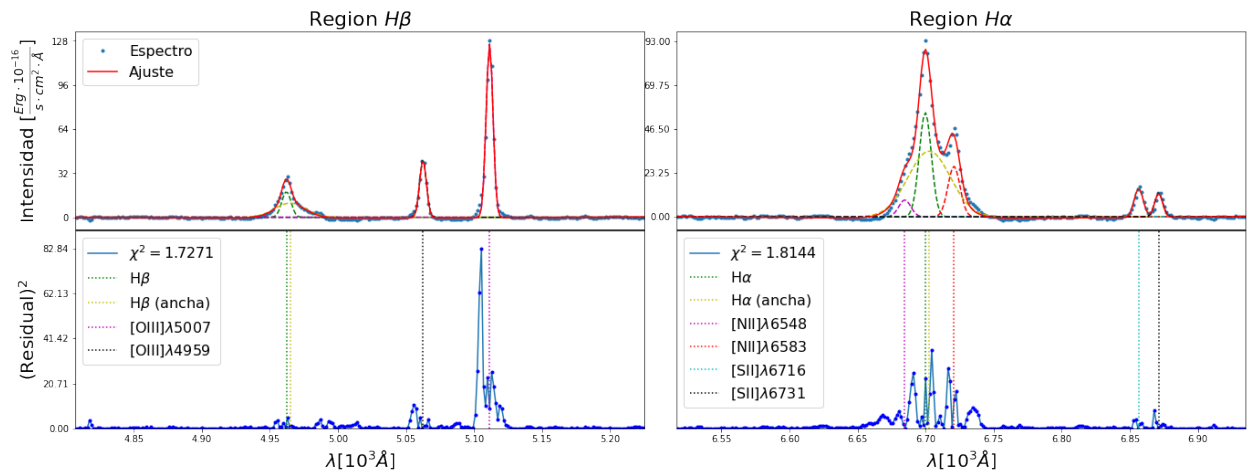


Figura A.32: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (3.175 ± 0.317) kpc

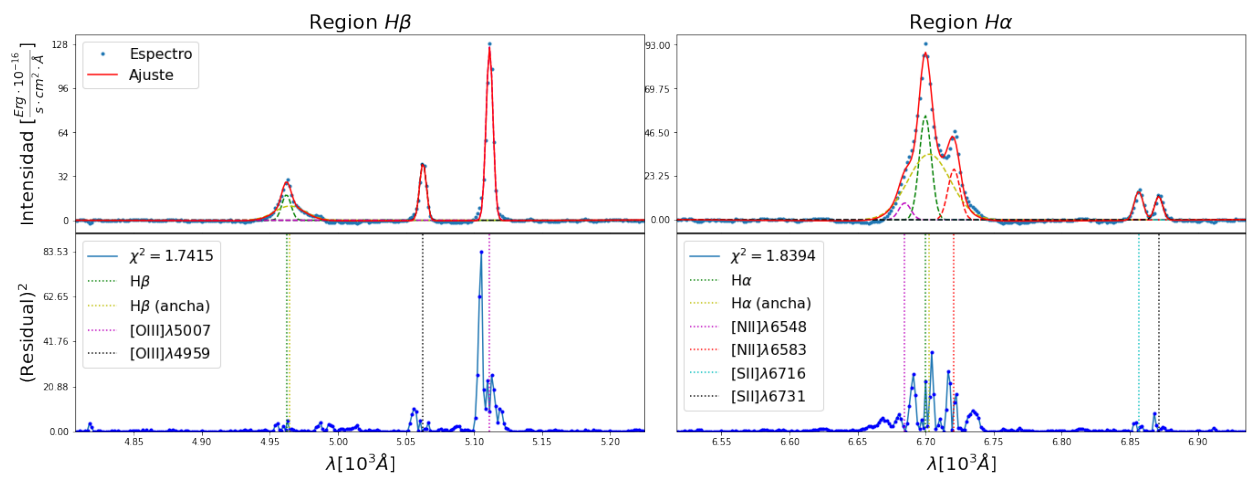


Figura A.33: Ajuste de Espectro de MaNGA-9000-1901 a apertura (3.394 ± 0.339) kpc

A.3. MaNGA-9193-12701.

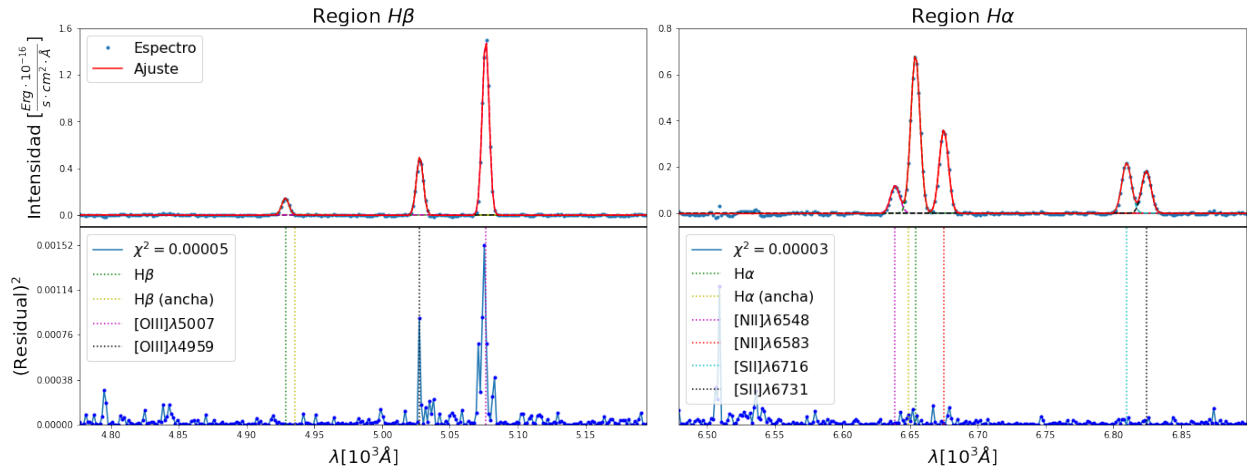


Figura A.34: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.070 ± 0.008 kpc)

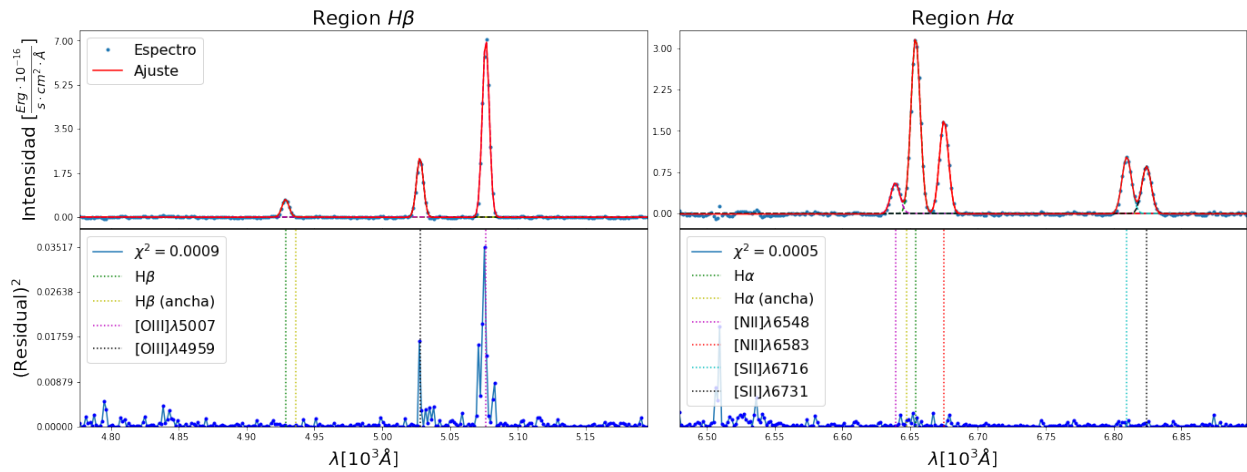


Figura A.35: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.211 ± 0.023 kpc)

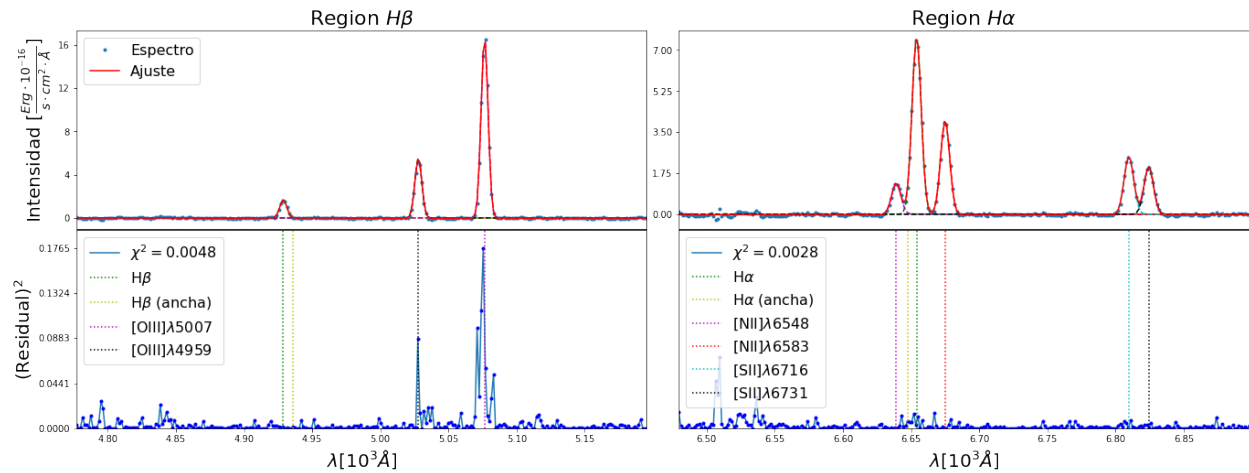


Figura A.36: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.351 ± 0.038) kpc

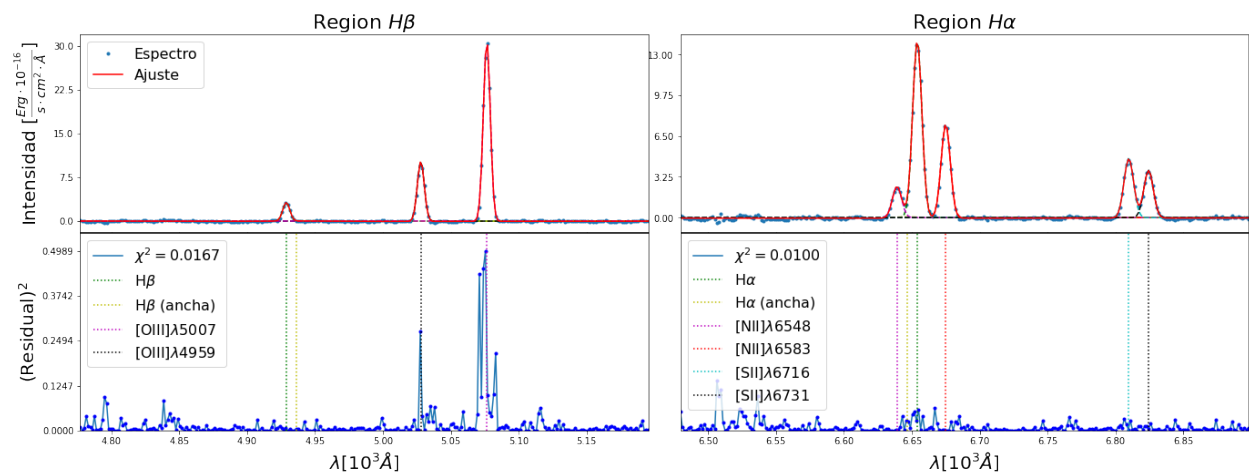


Figura A.37: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.492 ± 0.053) kpc

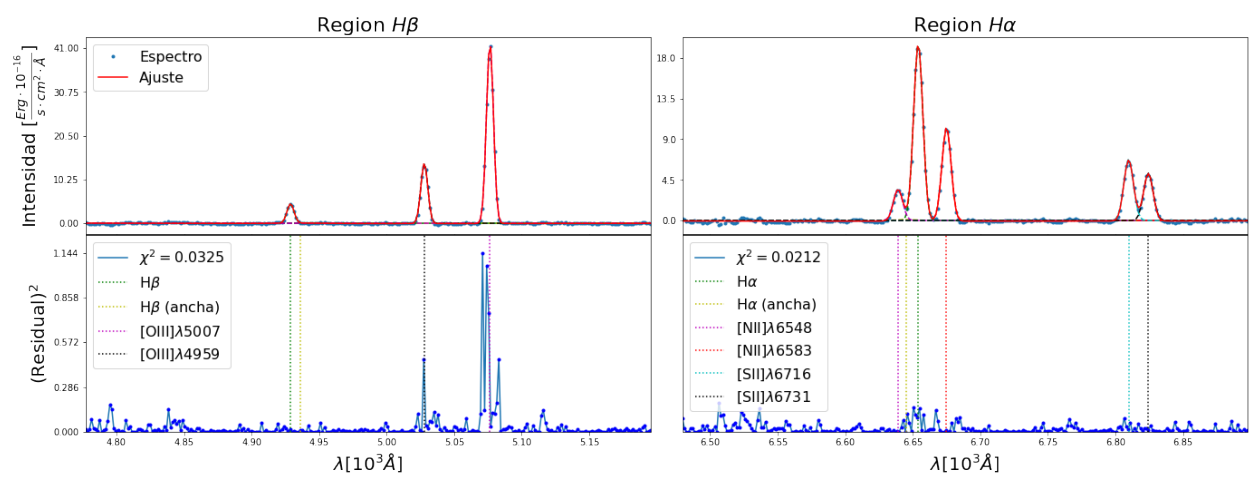


Figura A.38: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.632 ± 0.069) kpc

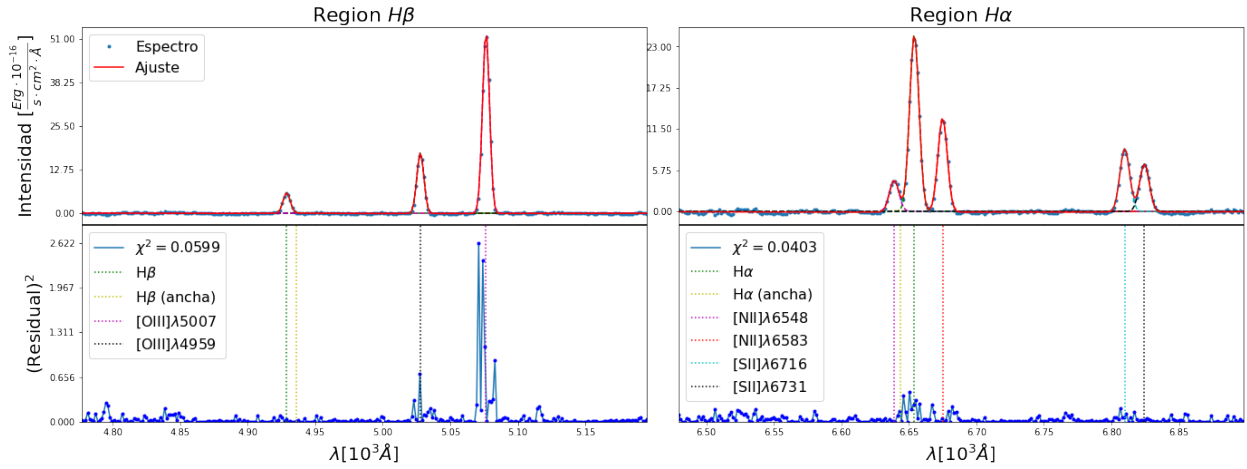


Figura A.39: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.773 ± 0.084) kpc

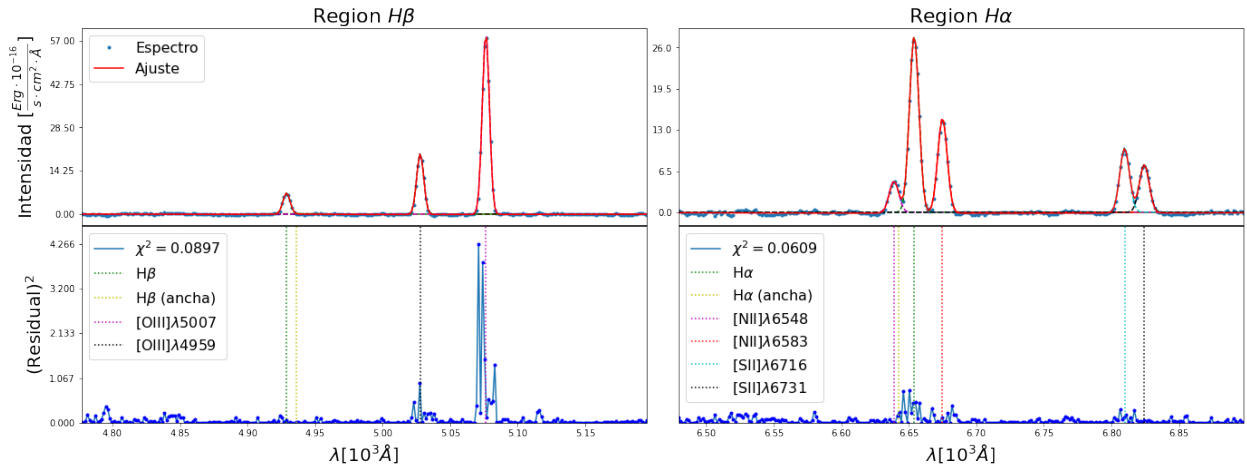


Figura A.40: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (0.914 ± 0.099) kpc

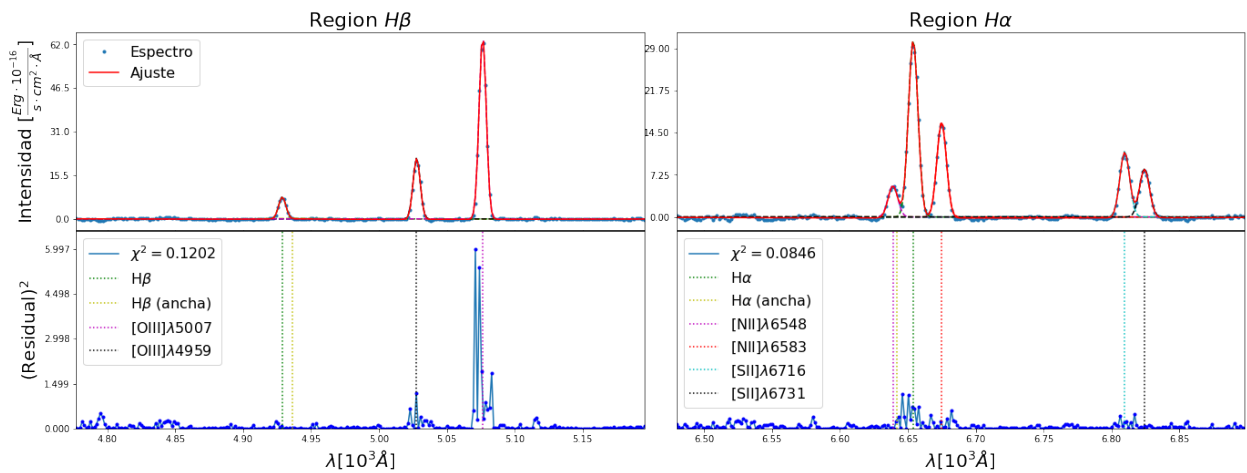


Figura A.41: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.054 ± 0.115) kpc

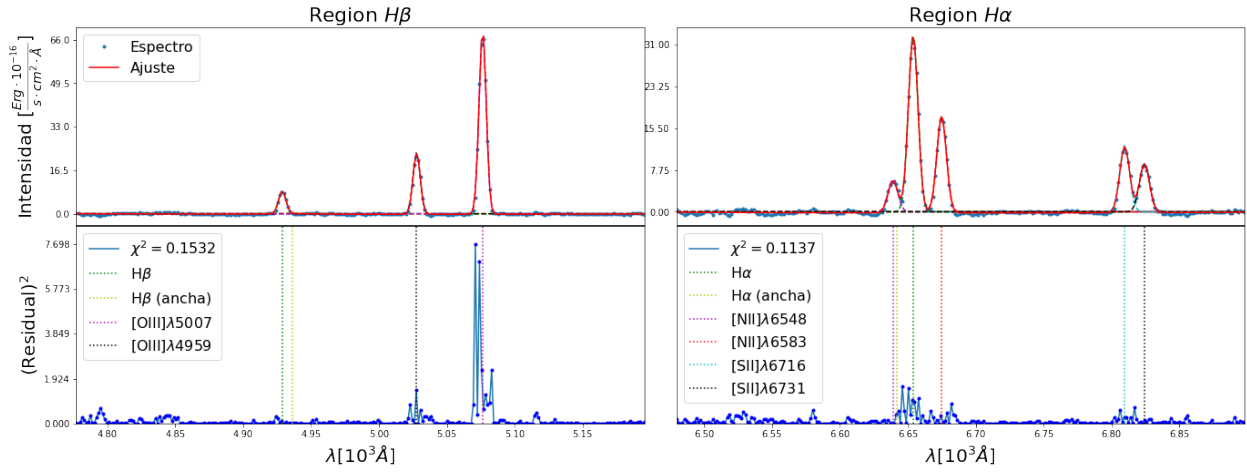


Figura A.42: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.195 ± 0.130) kpc

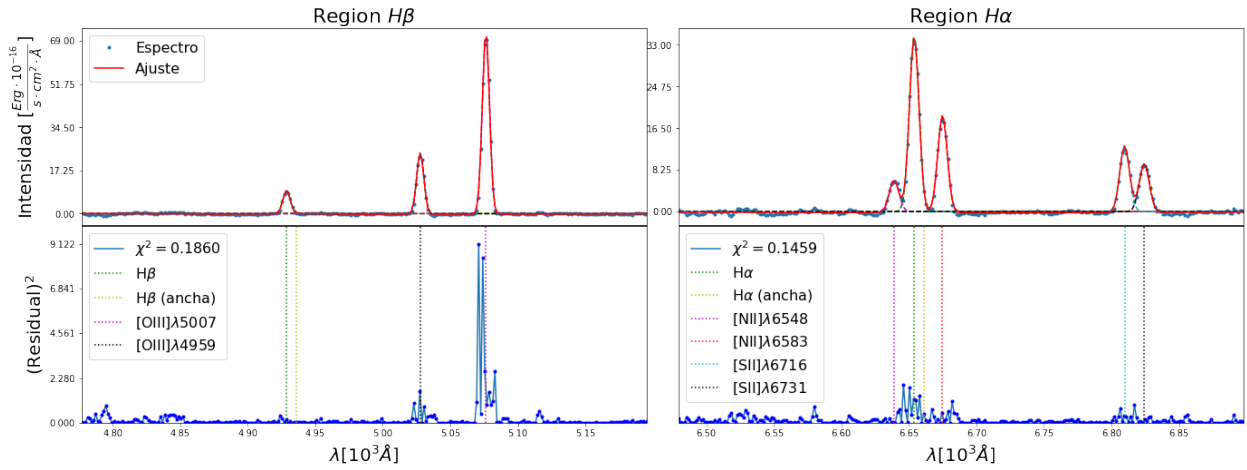


Figura A.43: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.335 ± 0.145) kpc

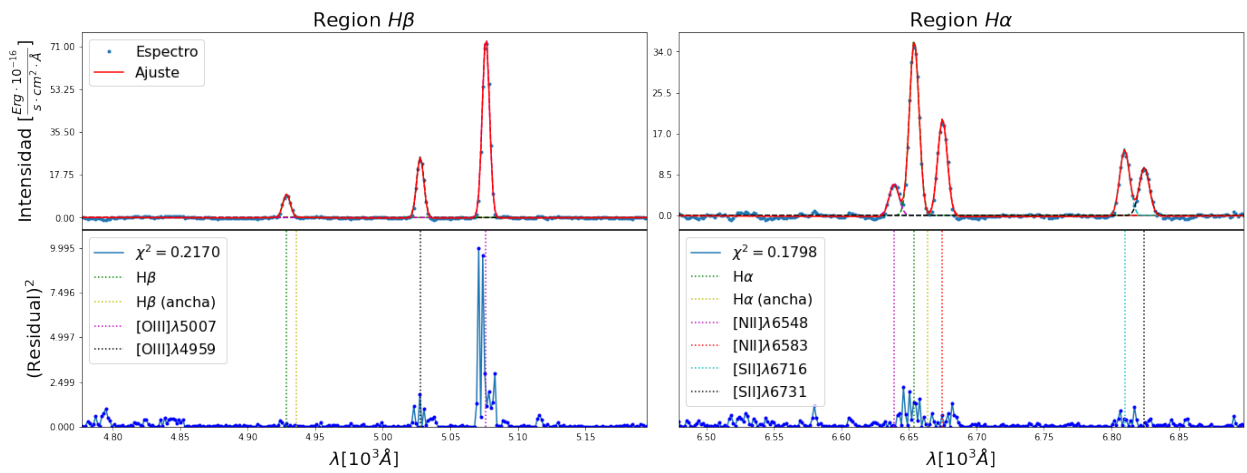


Figura A.44: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.476 ± 0.160) kpc

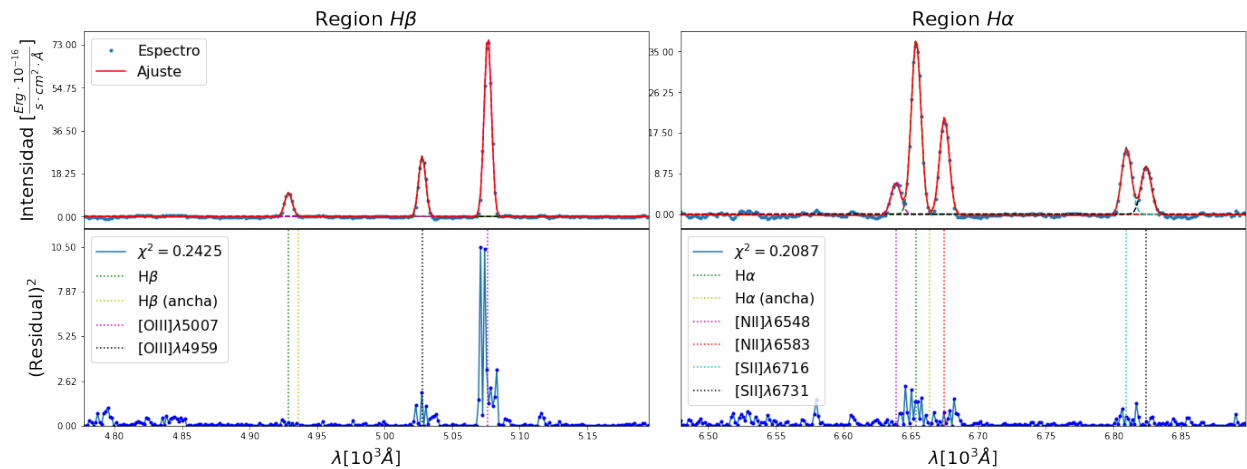


Figura A.45: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.616 ± 0.176) kpc

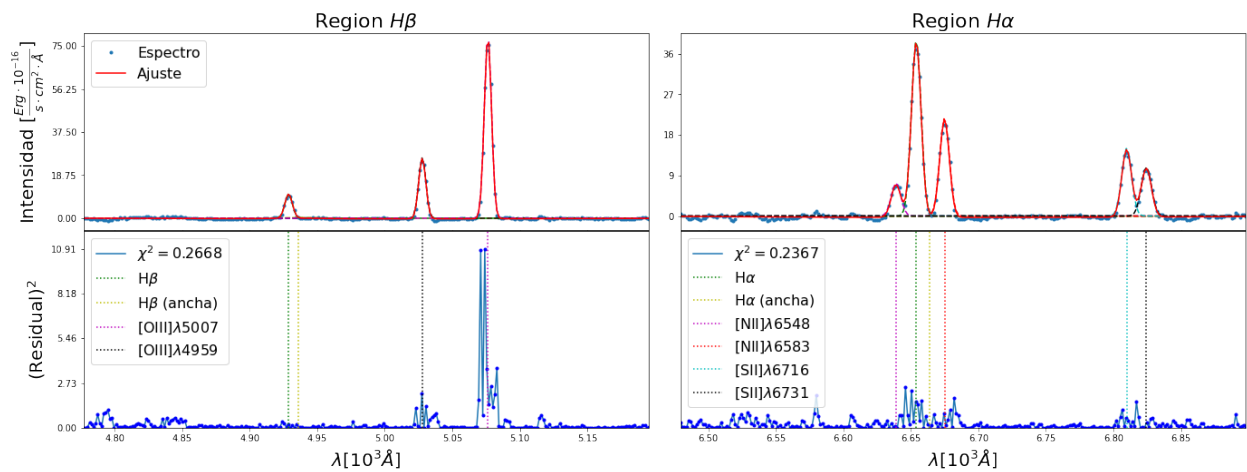


Figura A.46: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.757 ± 0.191) kpc

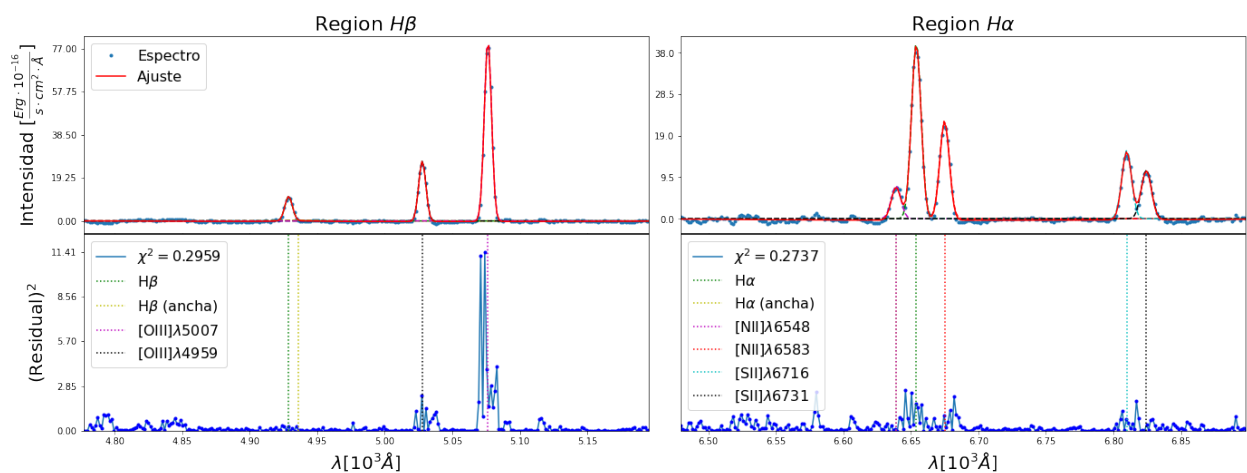


Figura A.47: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (1.897 ± 0.206) kpc

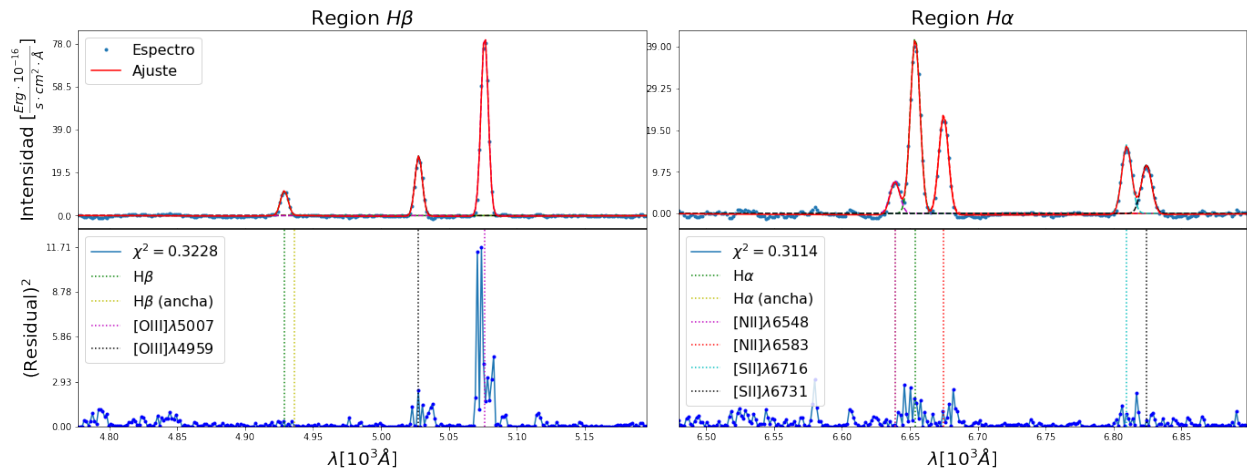


Figura A.48: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.038 ± 0.221) kpc

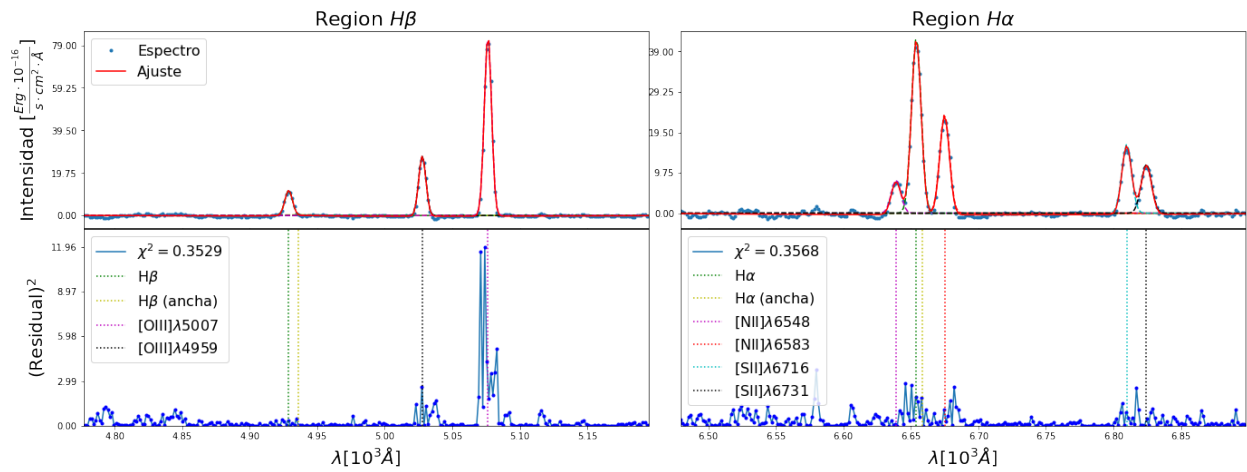


Figura A.49: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.178 ± 0.237) kpc

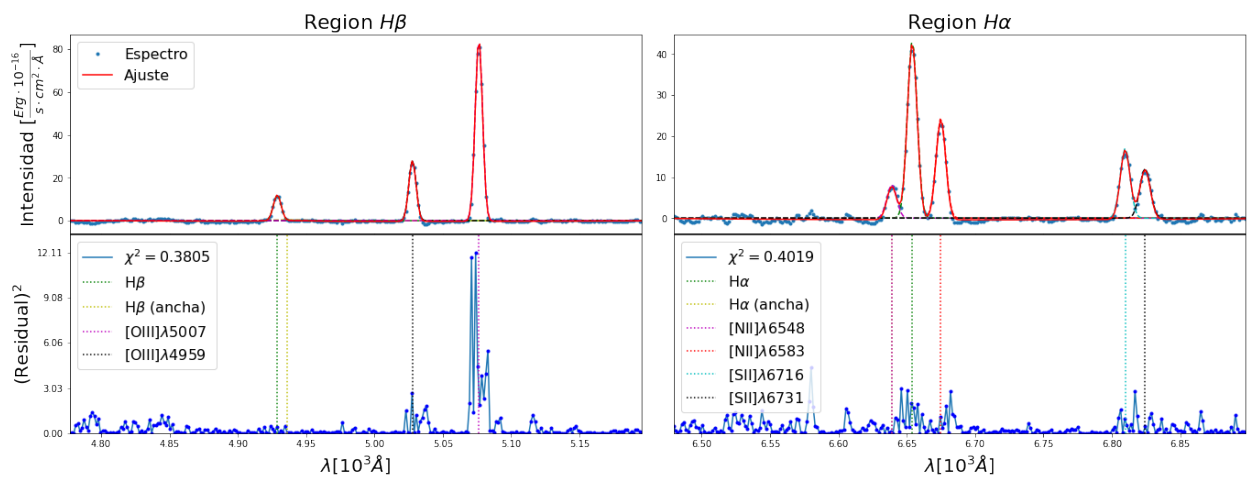


Figura A.50: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.319 ± 0.252) kpc

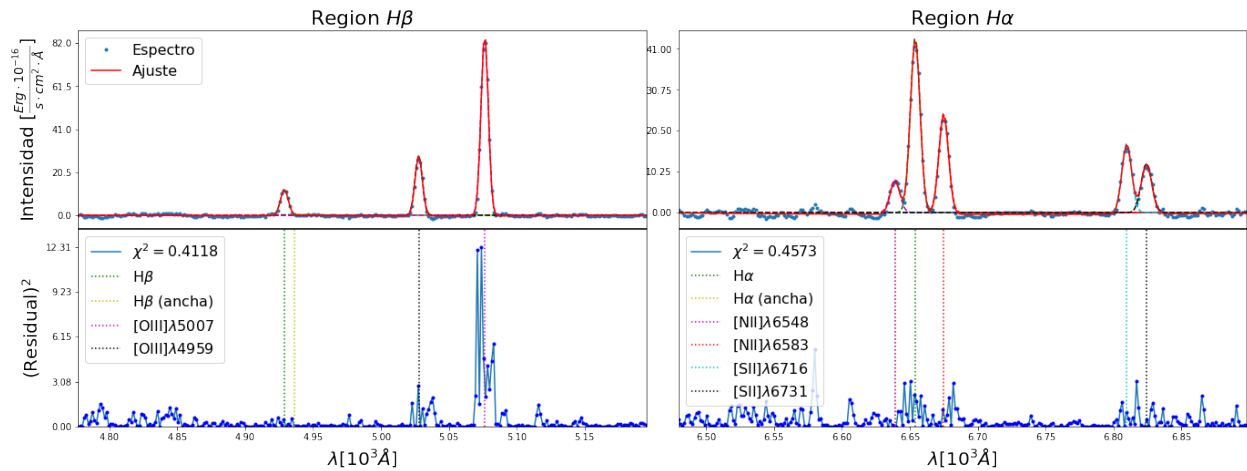


Figura A.51: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.460 ± 0.267) kpc

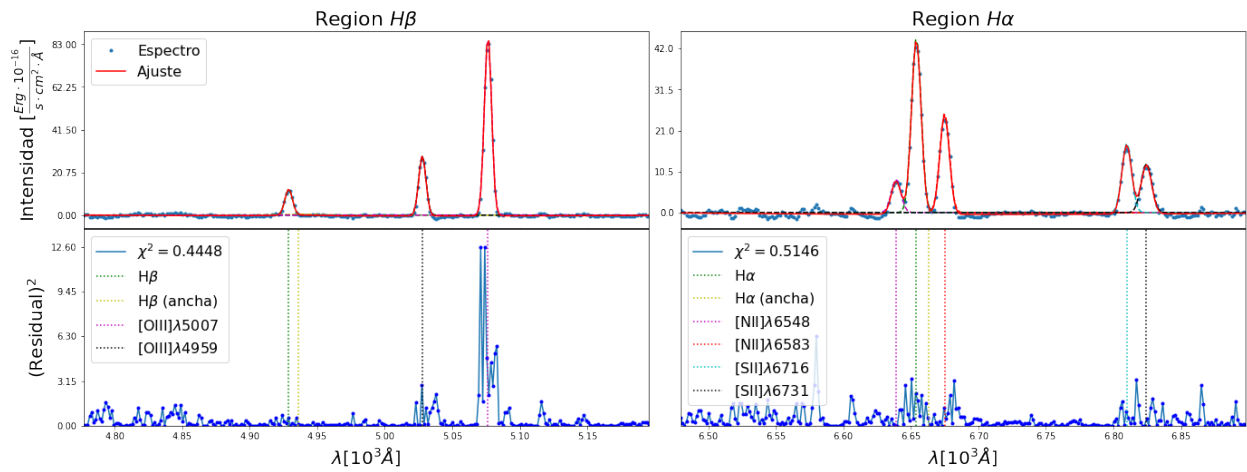


Figura A.52: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.600 ± 0.282) kpc

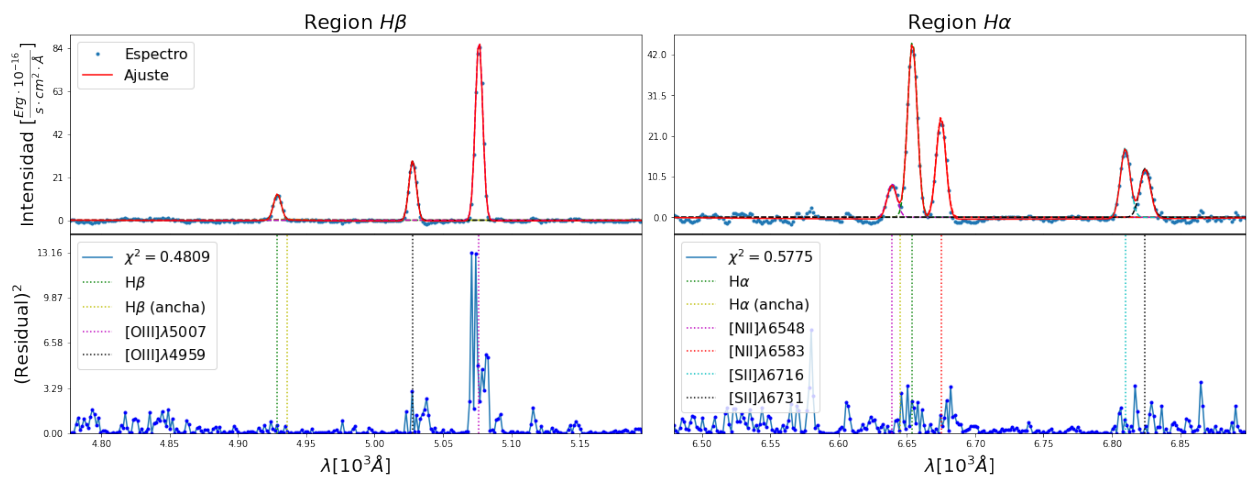


Figura A.53: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.741 ± 0.298) kpc

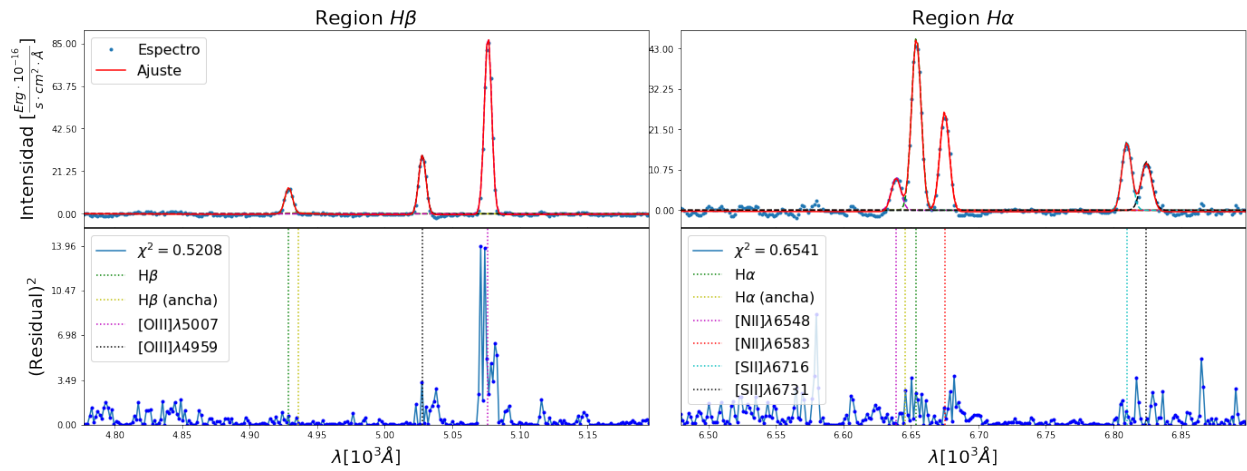


Figura A.54: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (2.881 ± 0.313) kpc

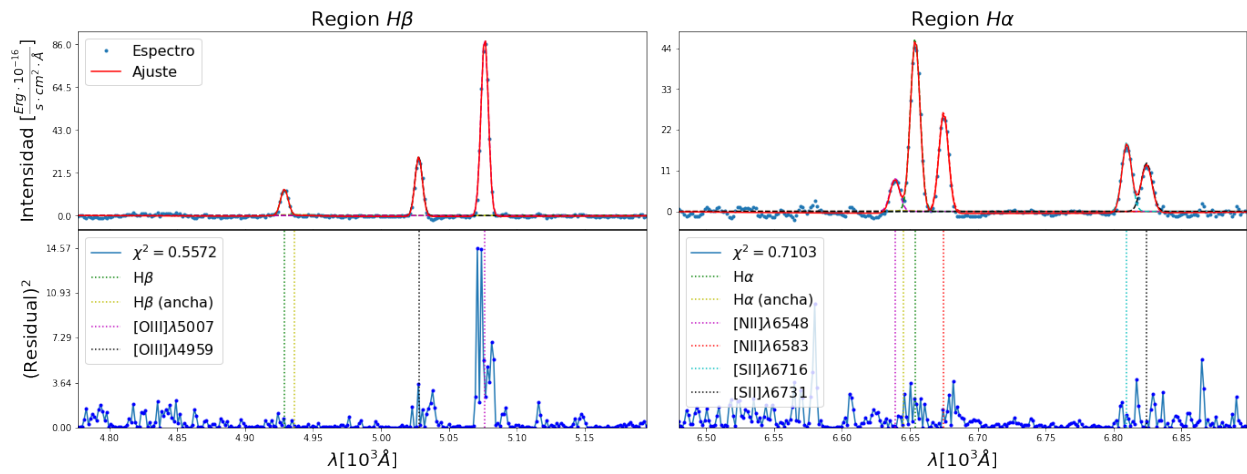


Figura A.55: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.022 ± 0.328) kpc

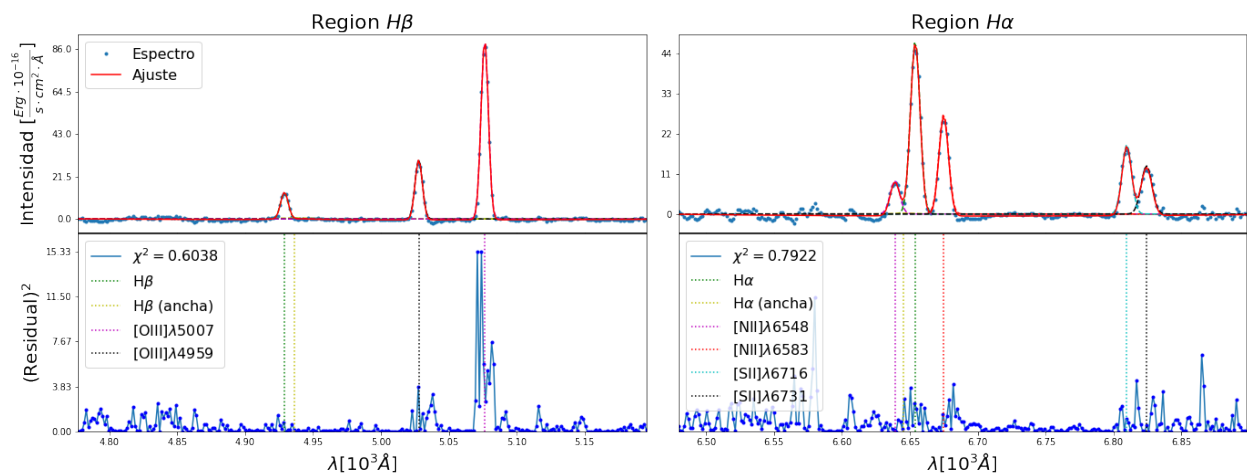


Figura A.56: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.162 ± 0.344) kpc

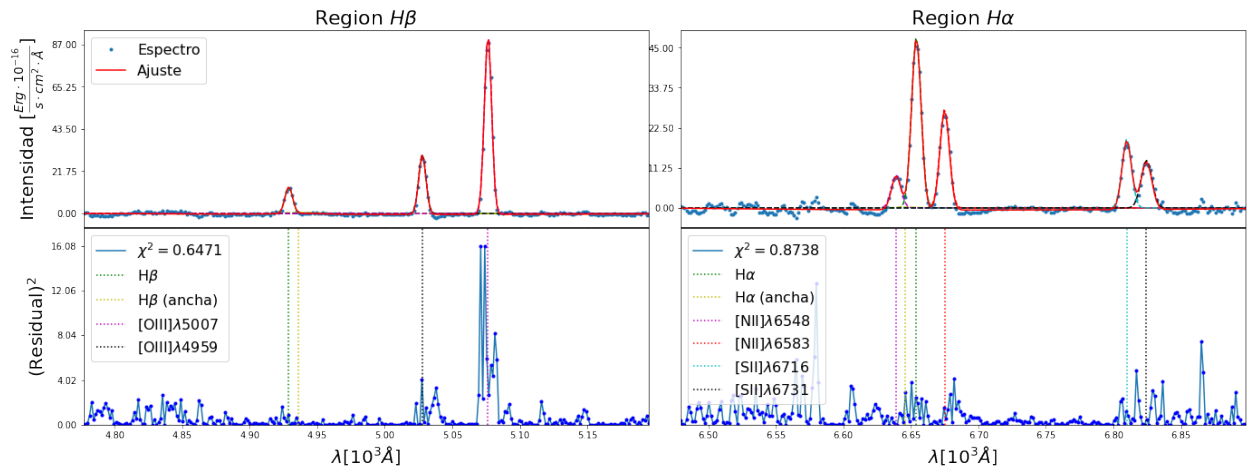


Figura A.57: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.303 ± 0.359) kpc

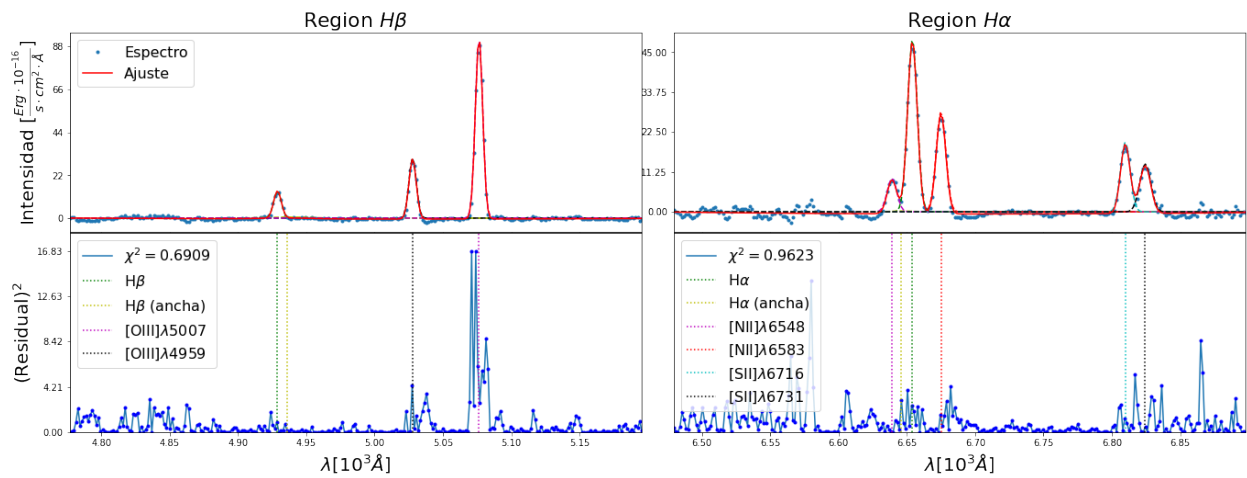


Figura A.58: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.443 ± 0.374) kpc

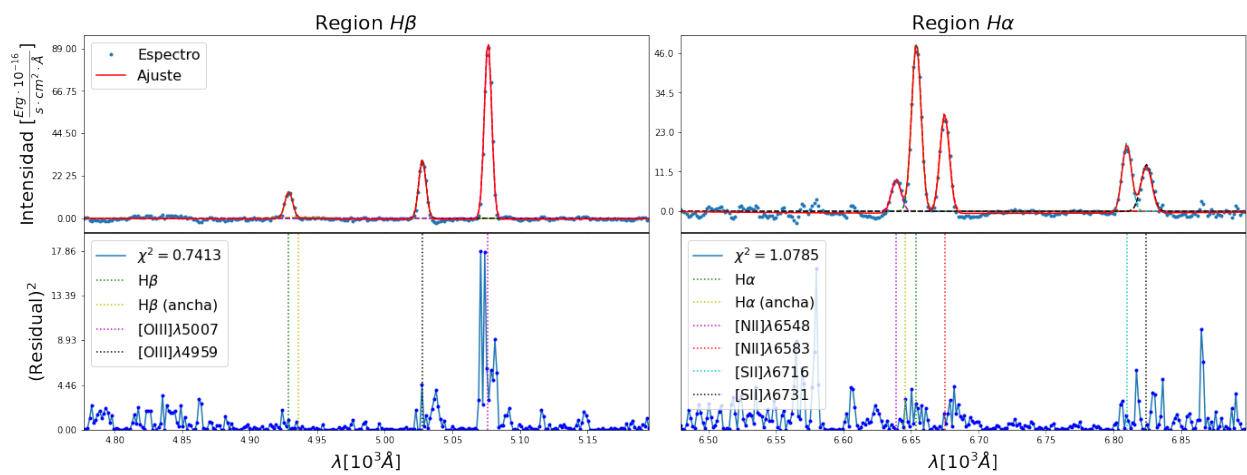


Figura A.59: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.584 ± 0.389) kpc

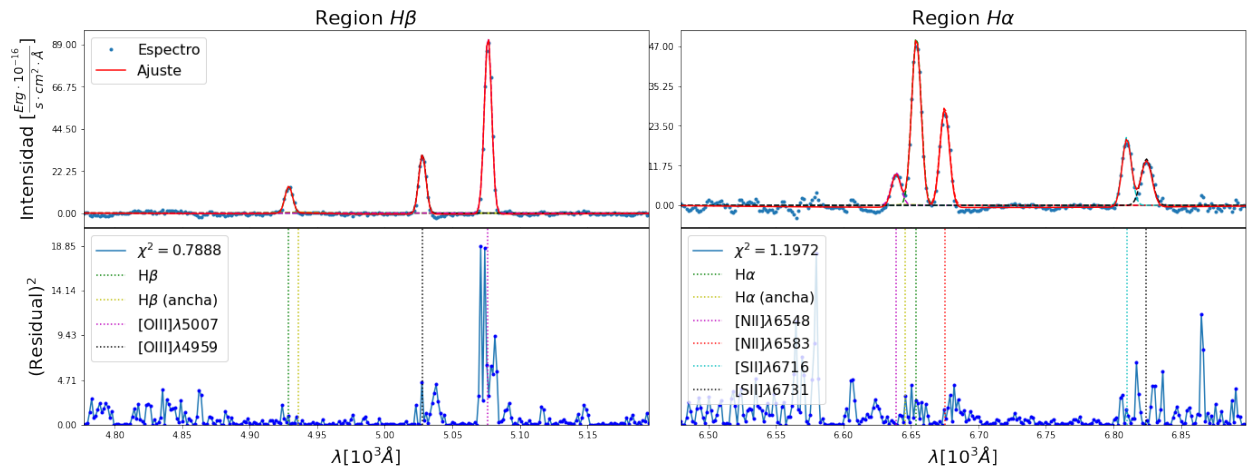


Figura A.60: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.725 ± 0.405) kpc

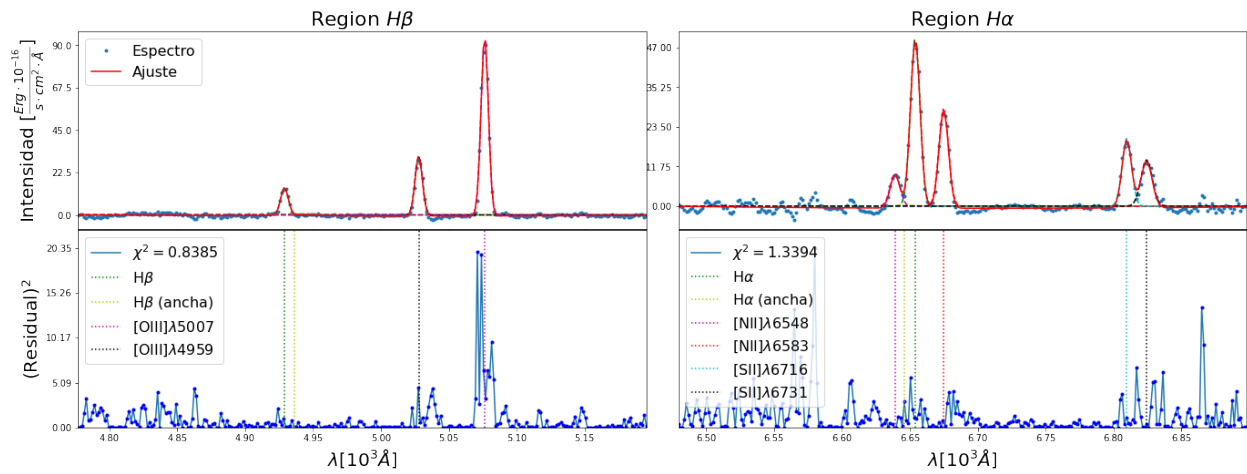


Figura A.61: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (3.865 ± 0.420) kpc

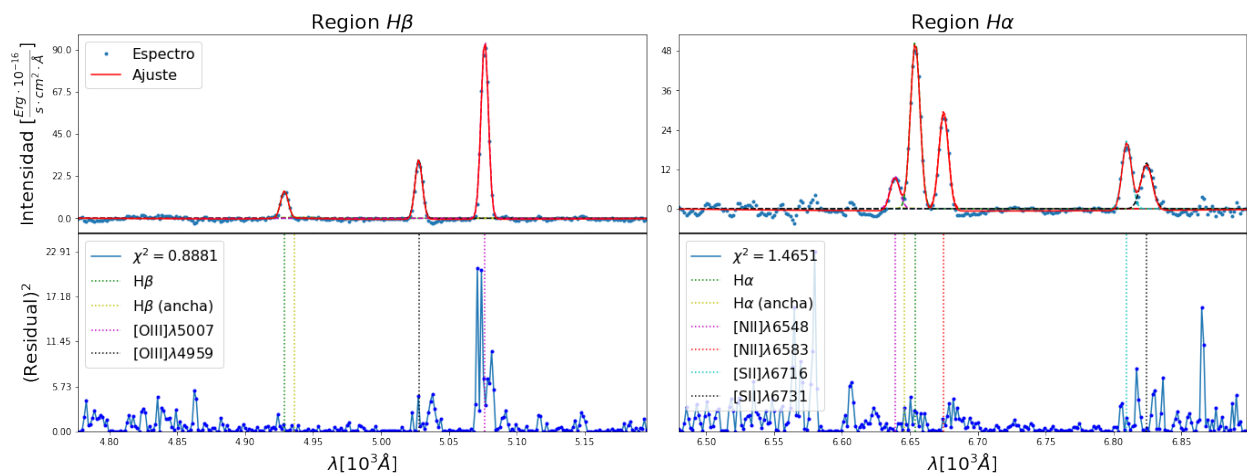


Figura A.62: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.006 ± 0.435) kpc

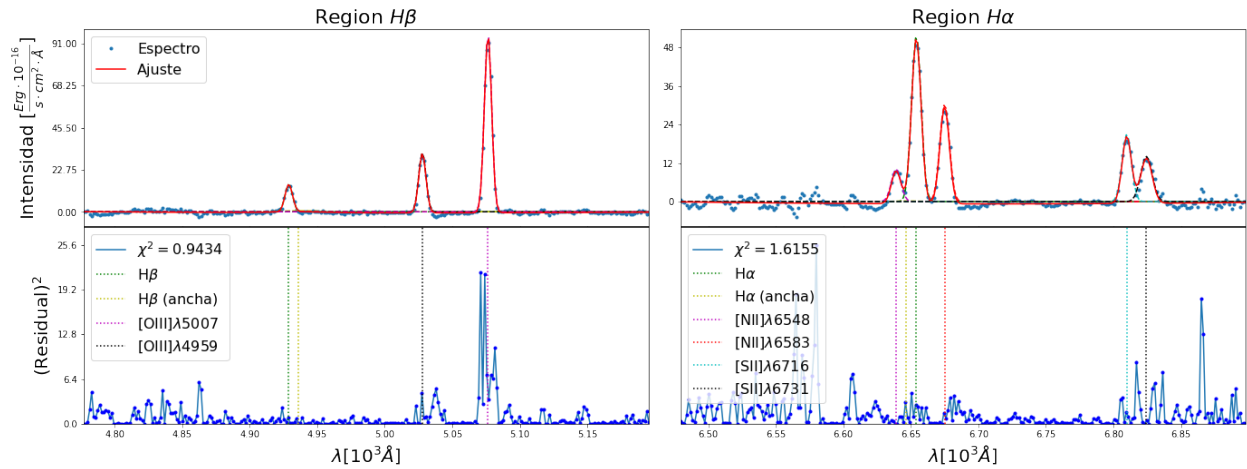


Figura A.63: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.146 ± 0.450) kpc

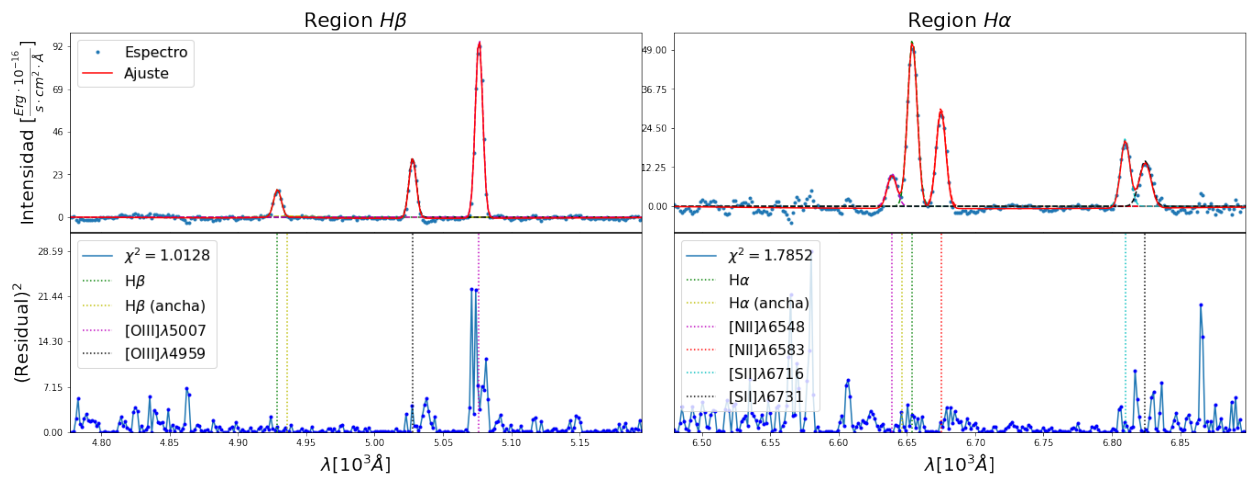


Figura A.64: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.287 ± 0.466) kpc

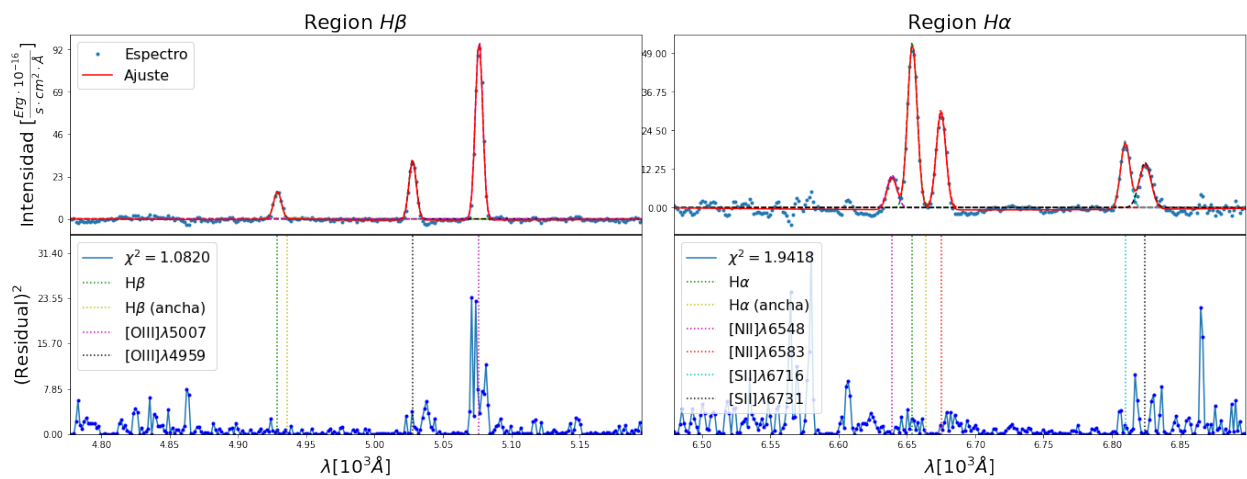


Figura A.65: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.427 ± 0.481) kpc

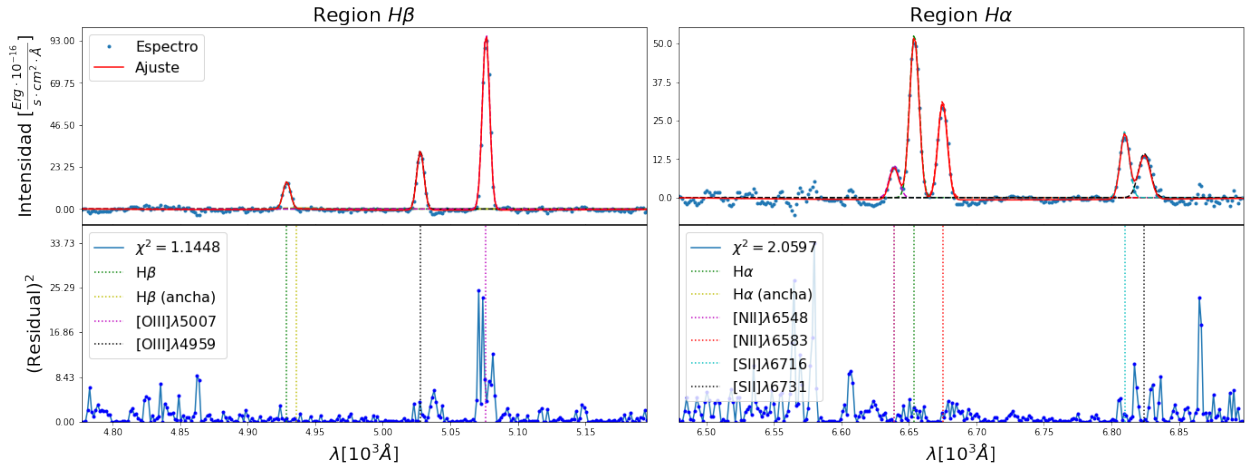


Figura A.66: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.568 ± 0.496) kpc

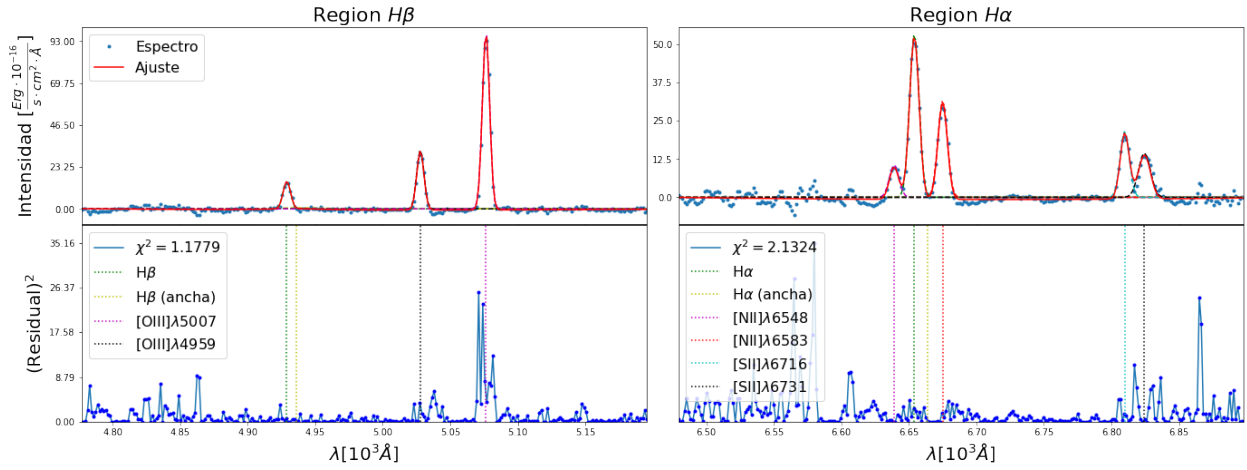


Figura A.67: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.708 ± 0.512) kpc

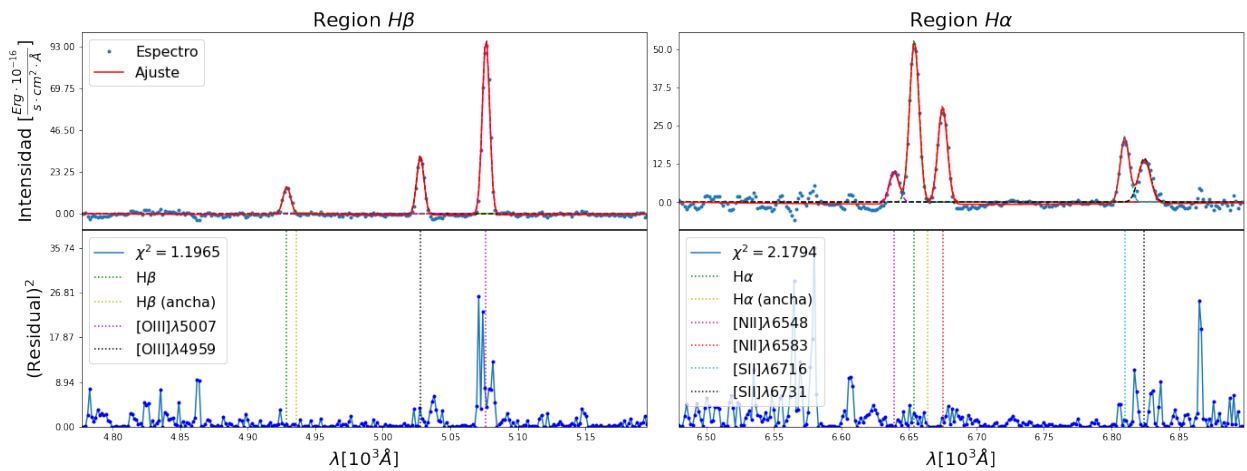


Figura A.68: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.849 ± 0.527) kpc

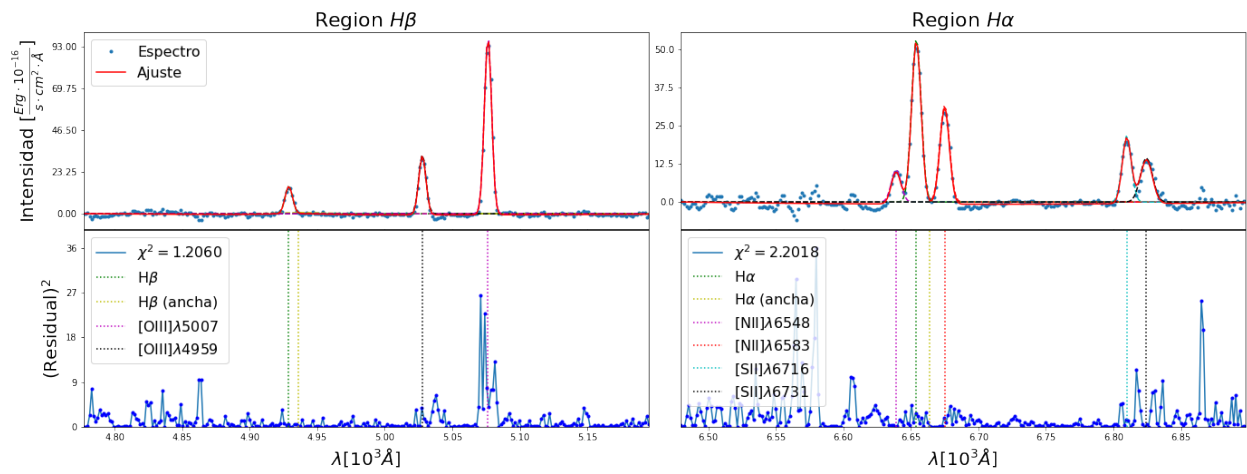


Figura A.69: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (4.989 ± 0.542) kpc

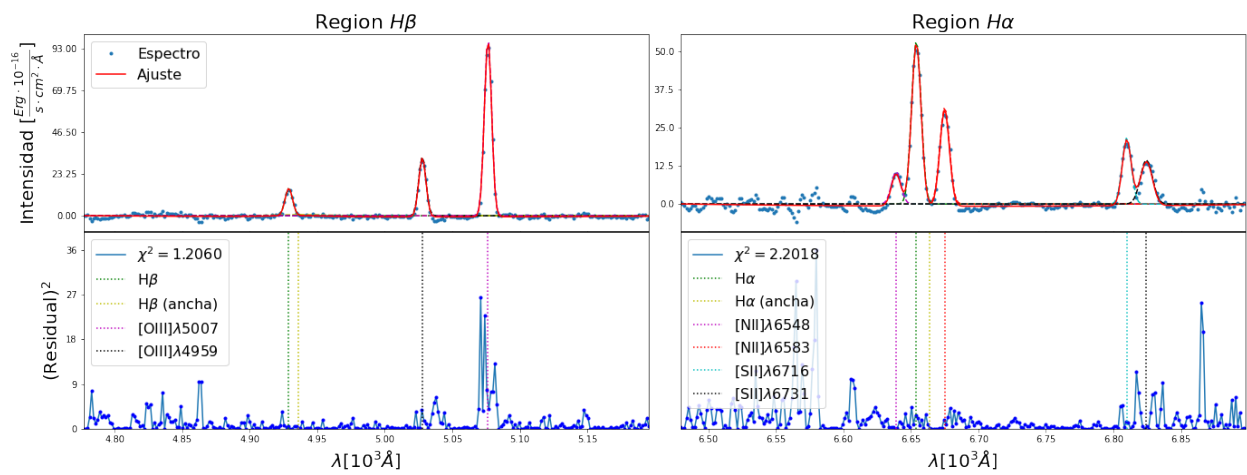


Figura A.70: Ajuste de Espectro de MaNGA-9193-12701 a apertura (5.130 ± 0.557) kpc

Apéndice B

Parámetros de Ajustes.

B.1. MaNGA-8553-1901.

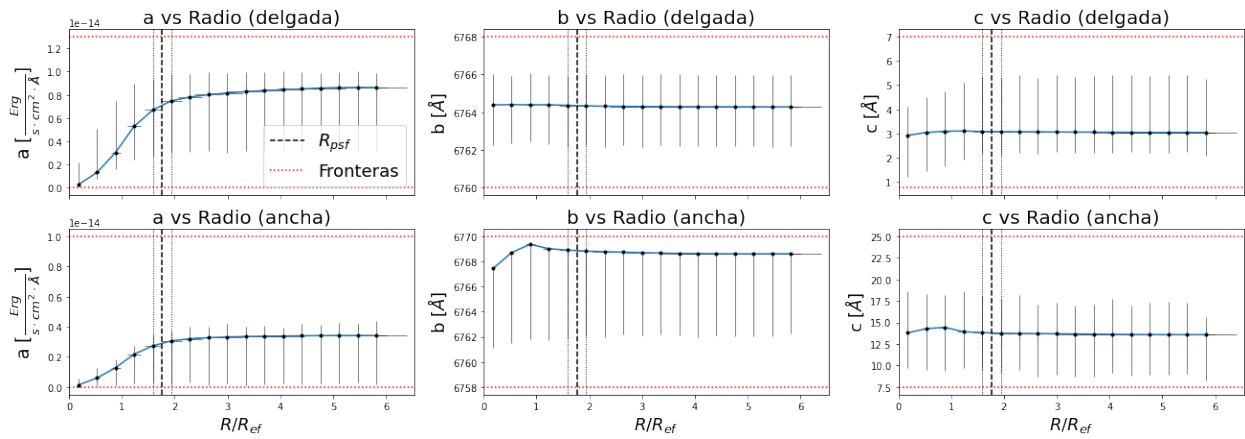


Figura B.1: Parámetros de H_{α} en función de la apertura. MaNGA-8553-1901.

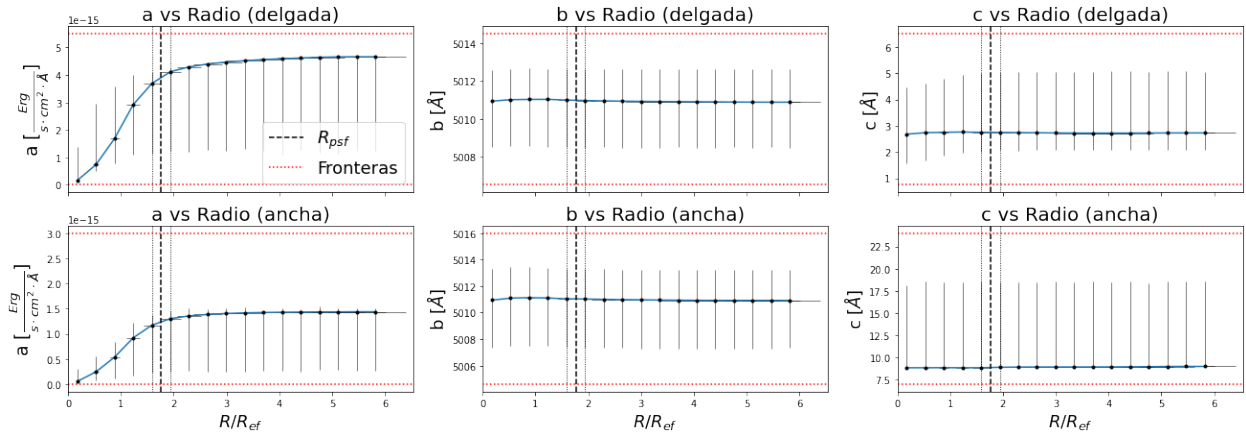


Figura B.2: Parámetros de H_{β} en función de la apertura. MaNGA-8553-1901.

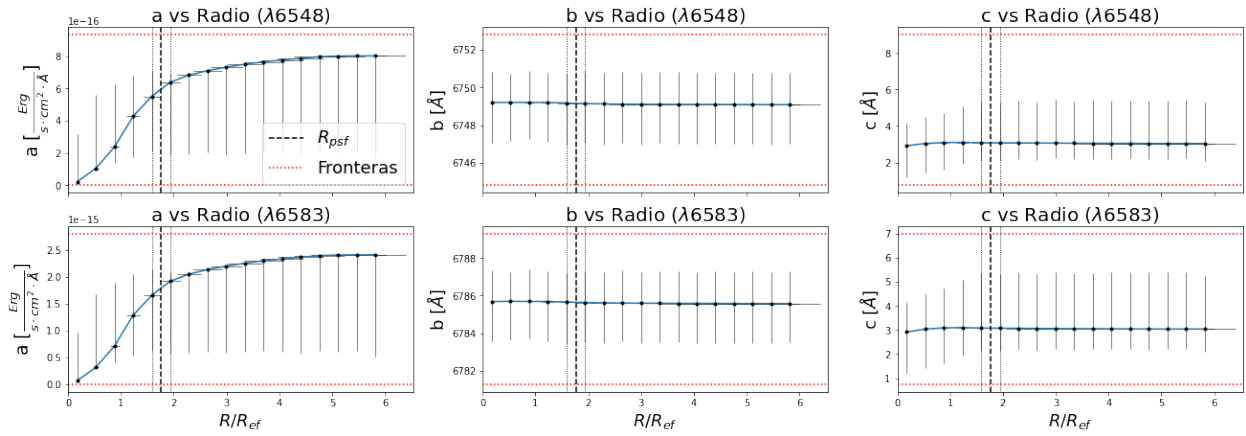


Figura B.3: Parámetros de $[NII]$ en función de la apertura. MaNGA-8553-1901.

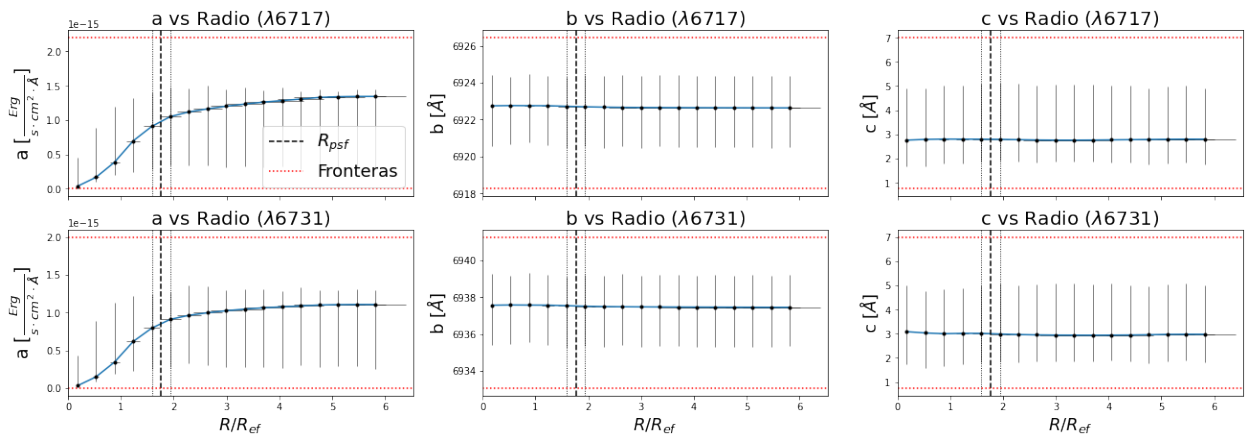


Figura B.4: Parámetros de $[SII]$ en función de la apertura. MaNGA-8553-1901.

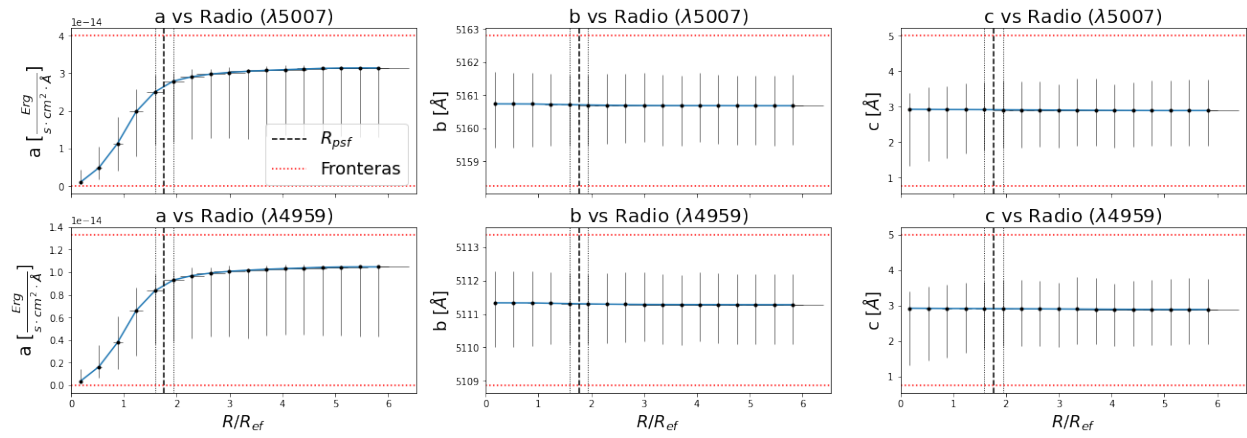


Figura B.5: Parámetros de [OIII] en función de la apertura. MaNGA-8553-1901.

B.2. MaNGA-9000-1901.

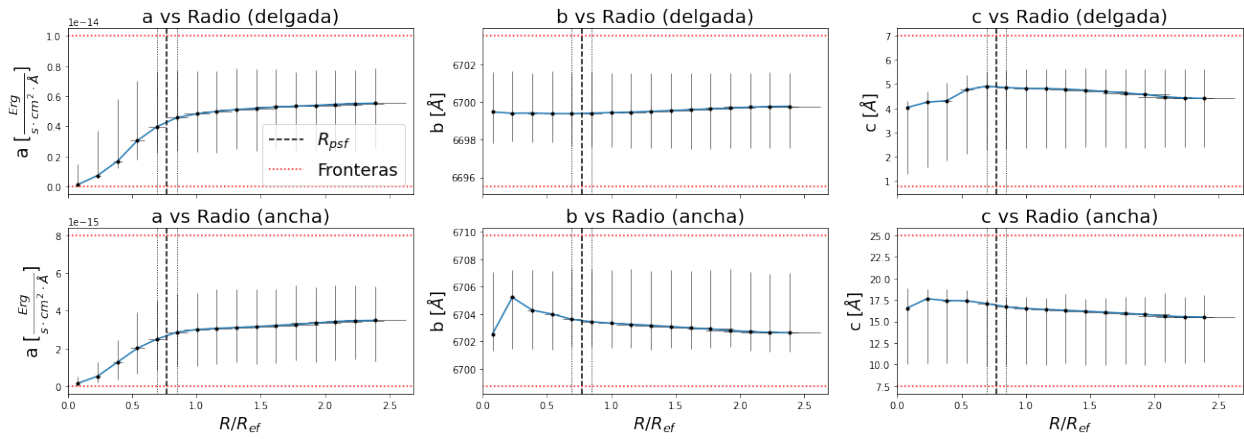


Figura B.6: Parámetros de H_{α} en función de la apertura. MaNGA-9000-1901.

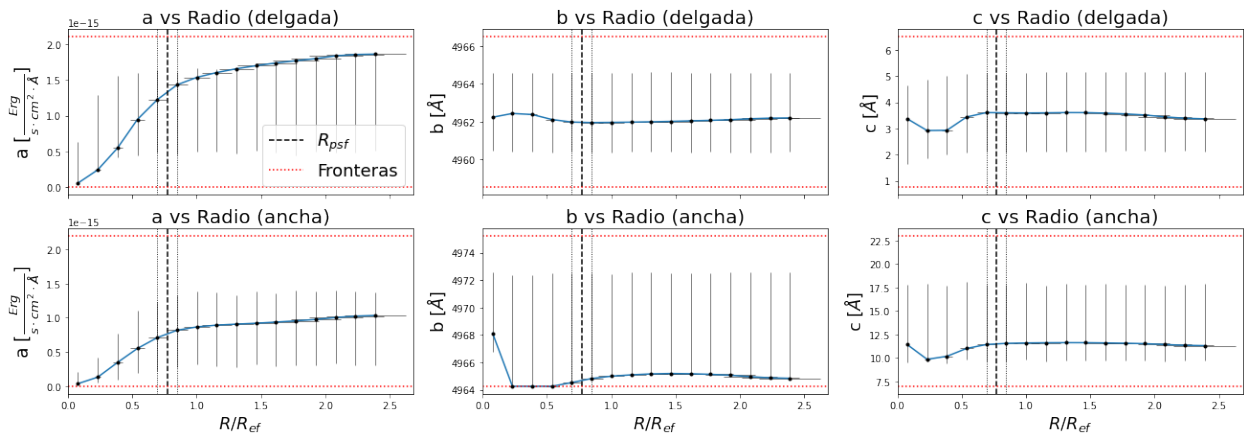


Figura B.7: Parámetros de H_{β} en función de la apertura. MaNGA-9000-1901.

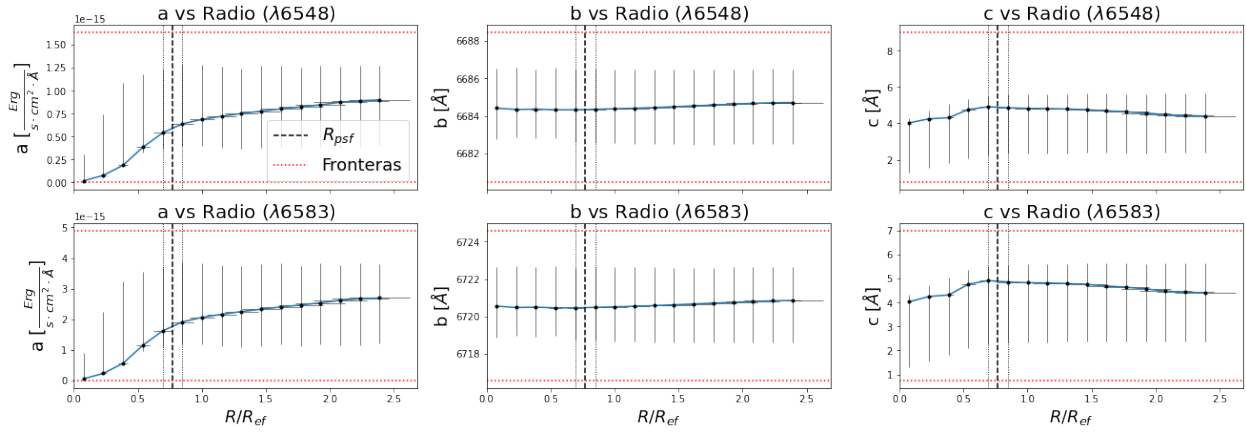


Figura B.8: Parámetros de [NII] en función de la apertura. MaNGA-9000-1901.

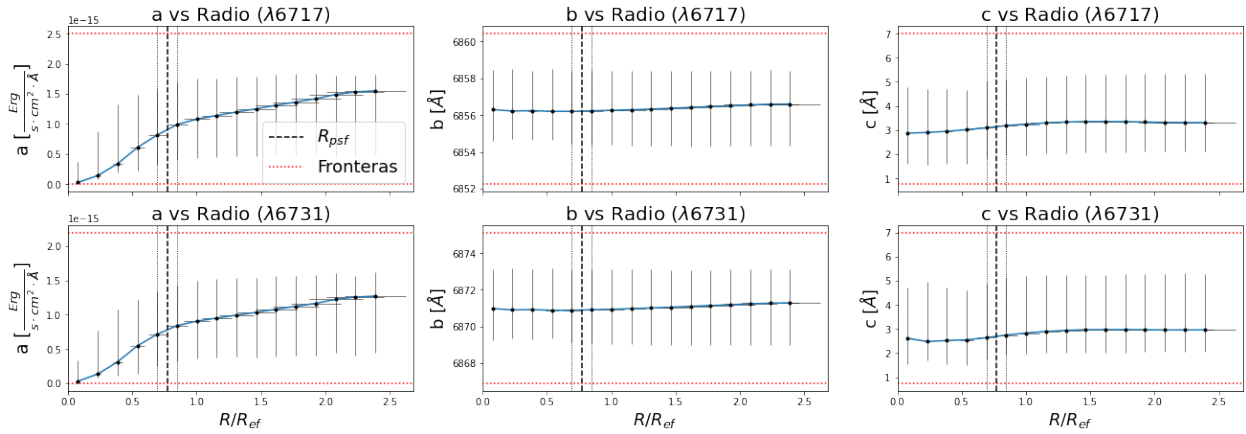


Figura B.9: Parámetros de [SII] en función de la apertura. MaNGA-9000-1901.

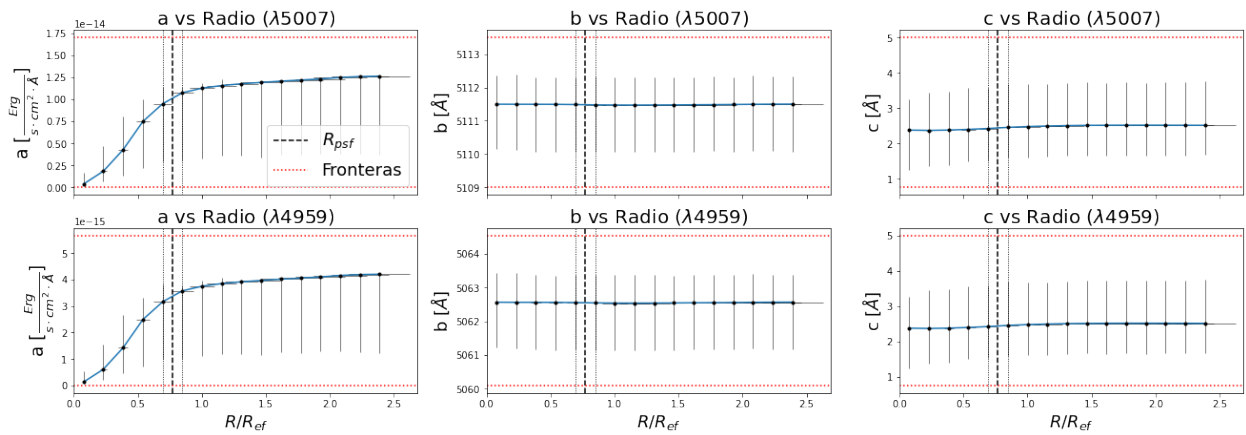


Figura B.10: Parámetros de [OIII] en función de la apertura. MaNGA-9000-1901.

B.3. MaNGA-9193-12701.

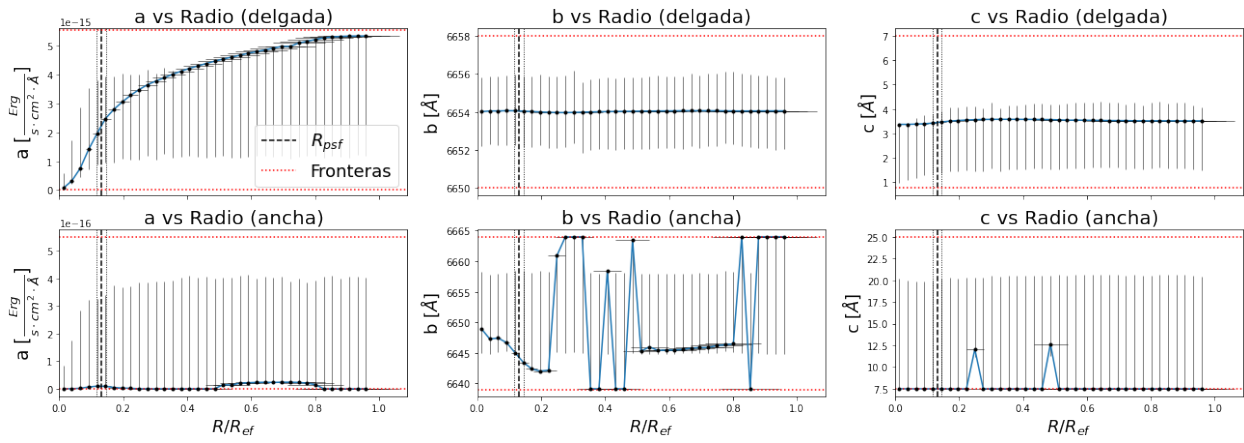


Figura B.11: Parámetros de H_α en función de la apertura. MaNGA-9193-12701.

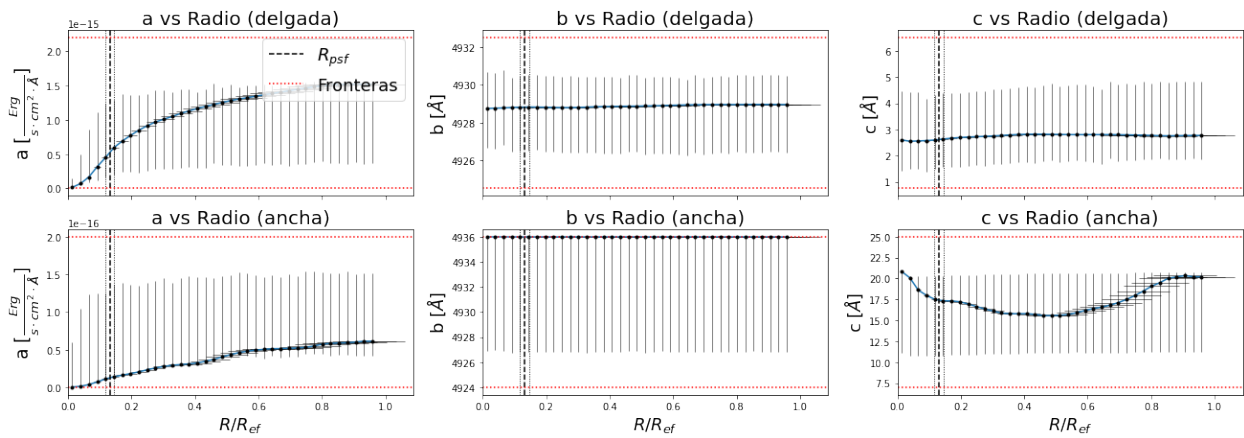


Figura B.12: Parámetros de H_β en función de la apertura. MaNGA-9193-12701.

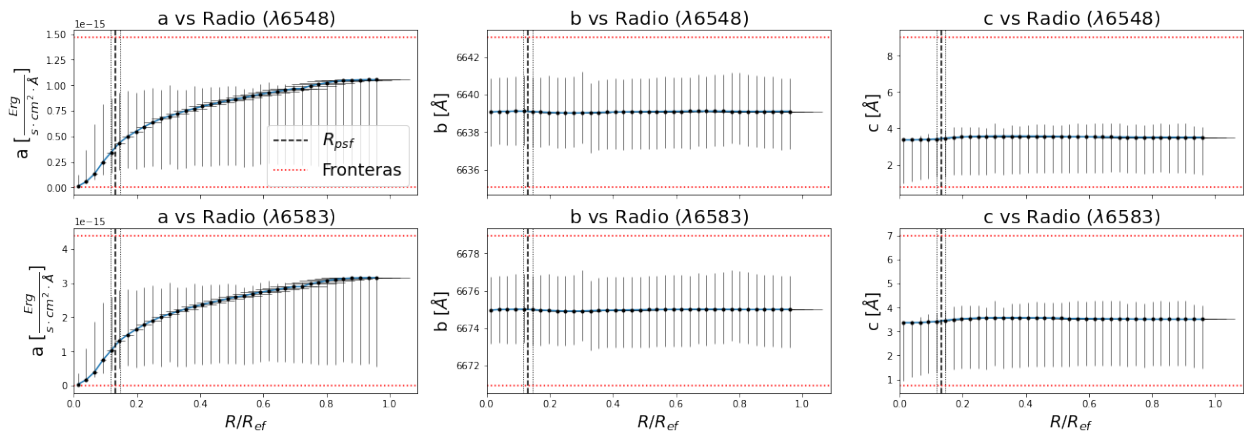


Figura B.13: Parámetros de [NII] en función de la apertura. MaNGA-9193-12701.

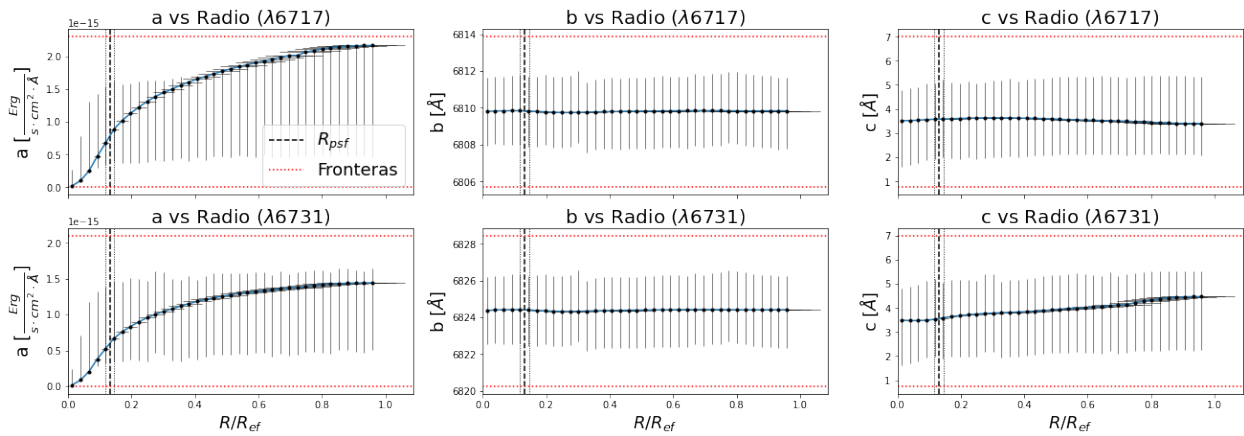


Figura B.14: Parámetros de [SII] en función de la apertura. MaNGA-9193-12701.

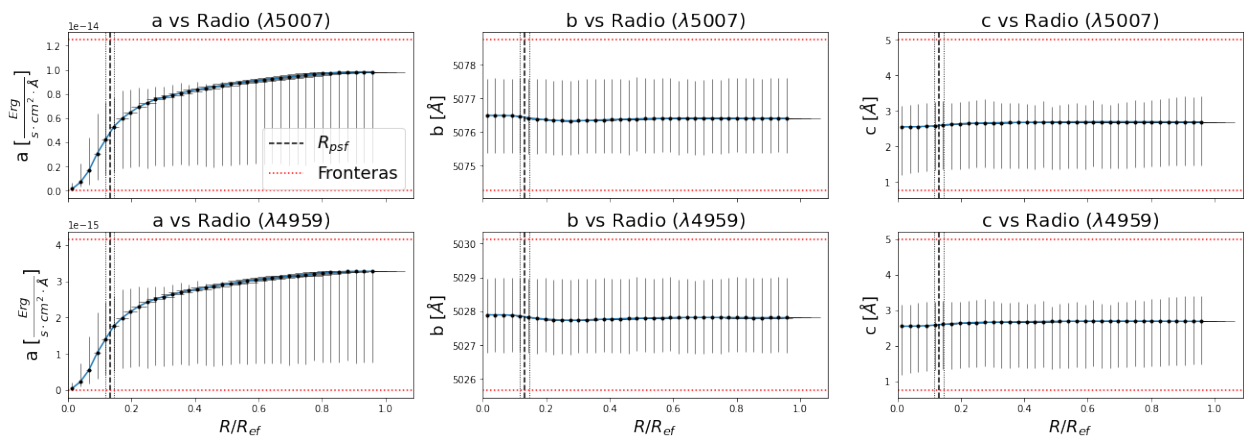


Figura B.15: Parámetros de [OIII] en función de la apertura. MaNGA-9193-12701.

Apéndice C

Corrección de Ajustes Espectrales a Distintas Aperturas.

C.1. MaNGA-8553-1901.

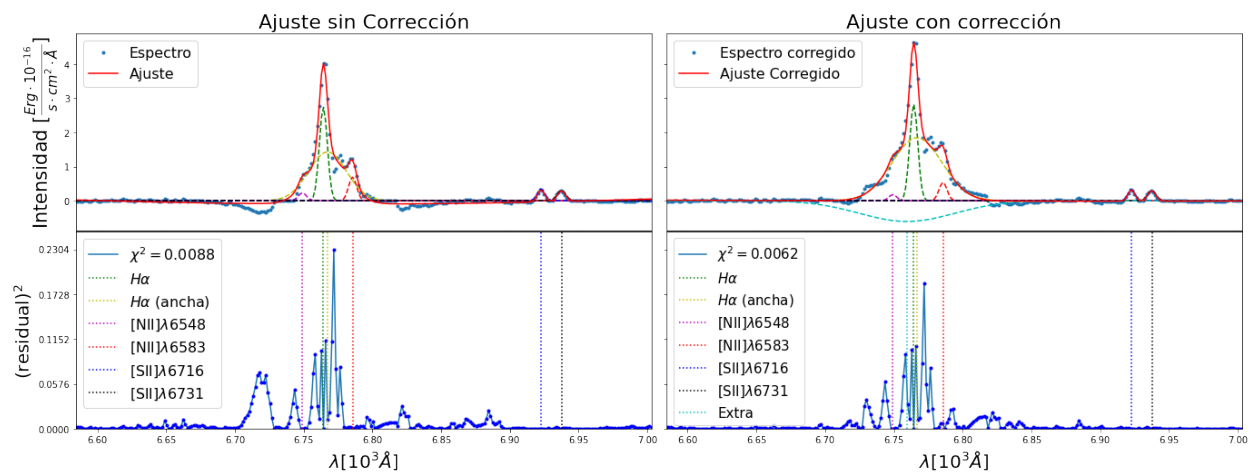


Figura C.1: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (0.154 ± 0.015) kpc

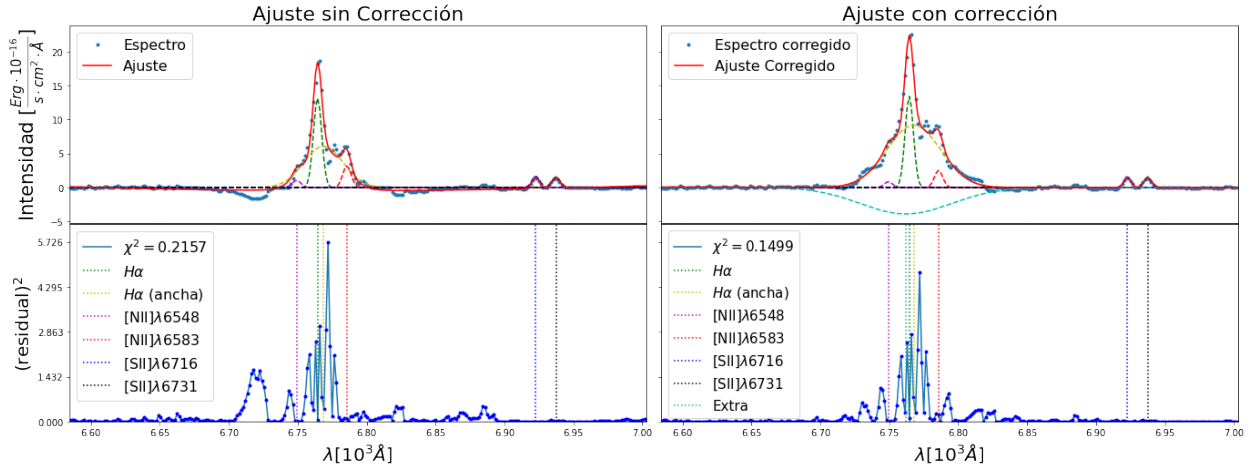


Figura C.2: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (0.461 ± 0.046) kpc

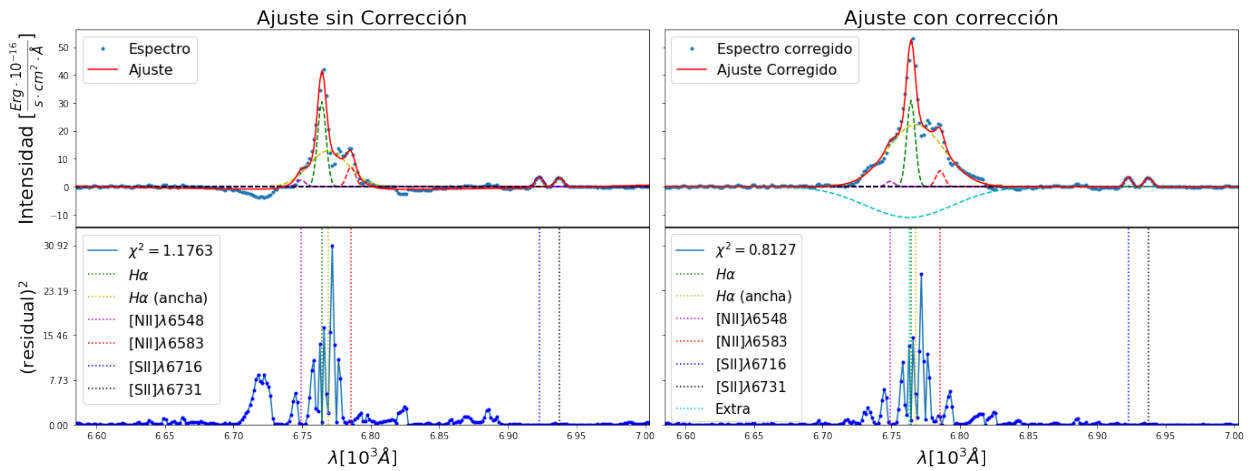


Figura C.3: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (0.768 ± 0.077) kpc

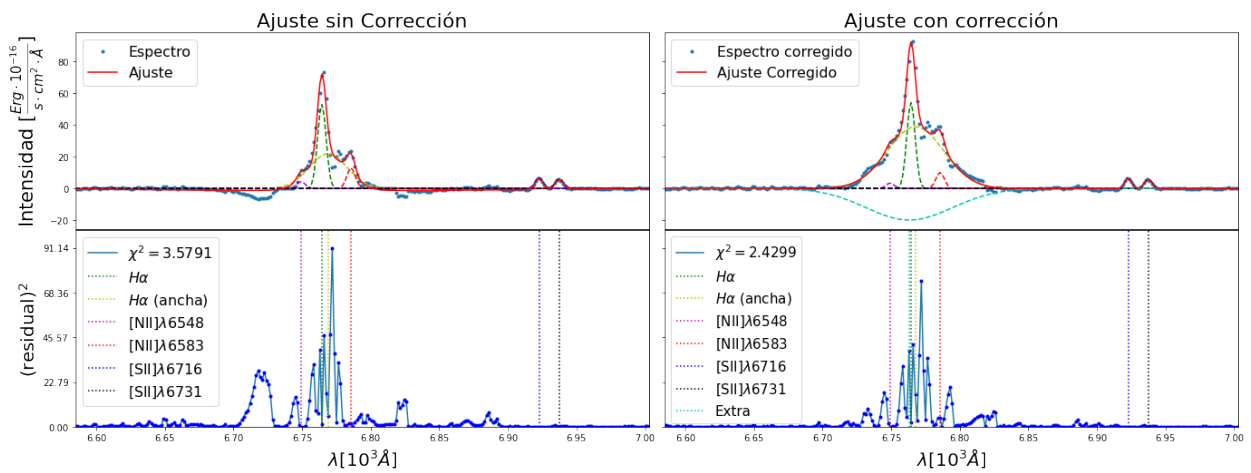


Figura C.4: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.075 ± 0.107) kpc

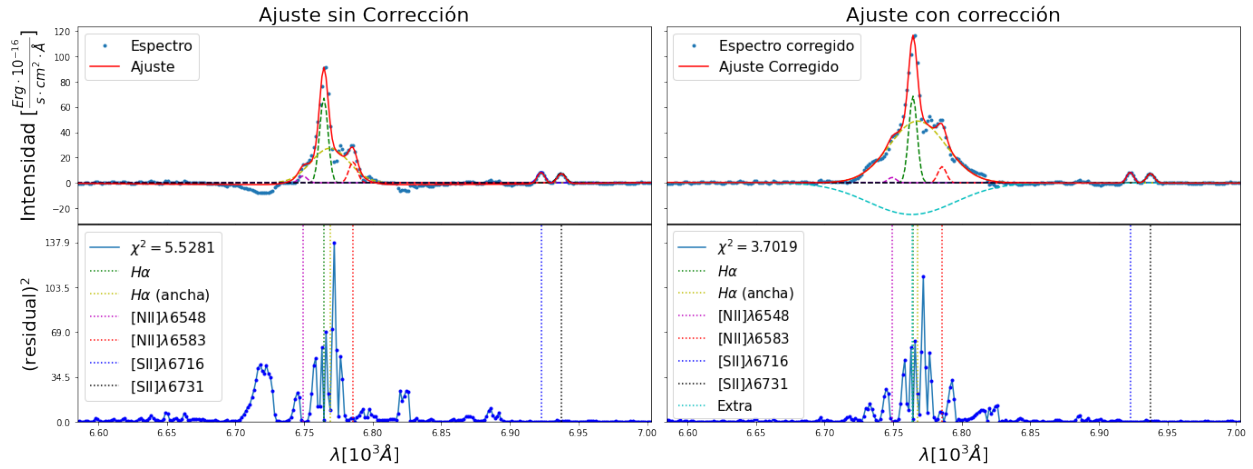


Figura C.5: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.382 ± 0.138) kpc

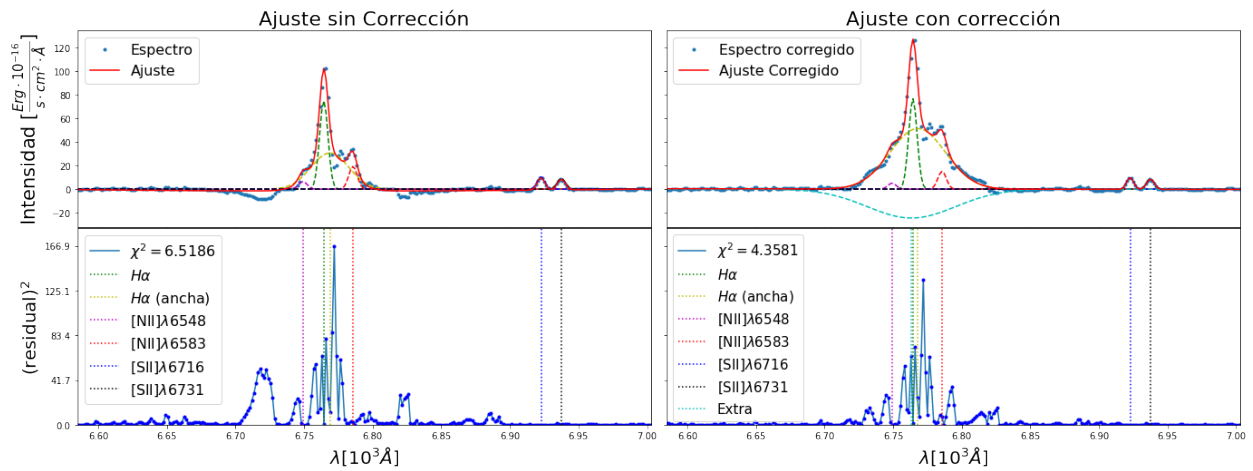


Figura C.6: ACorrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.689 ± 0.169) kpc

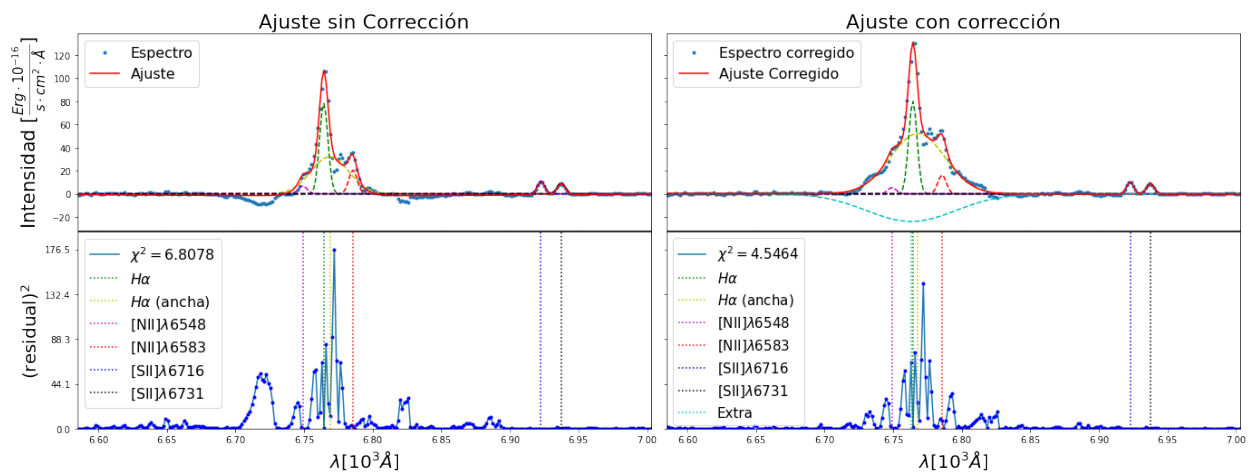


Figura C.7: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (1.996 ± 0.200) kpc

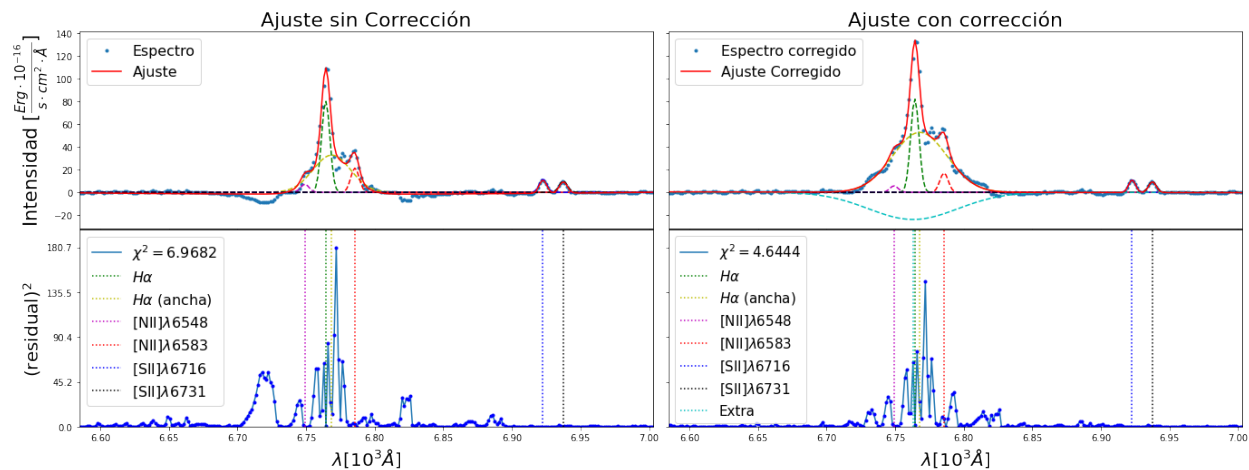


Figura C.8: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (2.303 ± 0.230) kpc

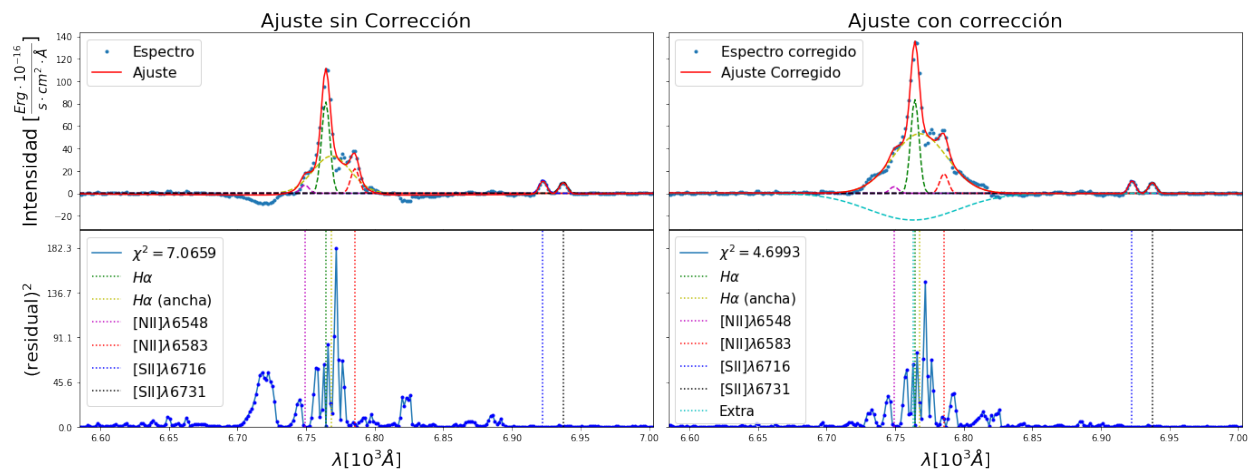


Figura C.9: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (2.610 ± 0.261) kpc

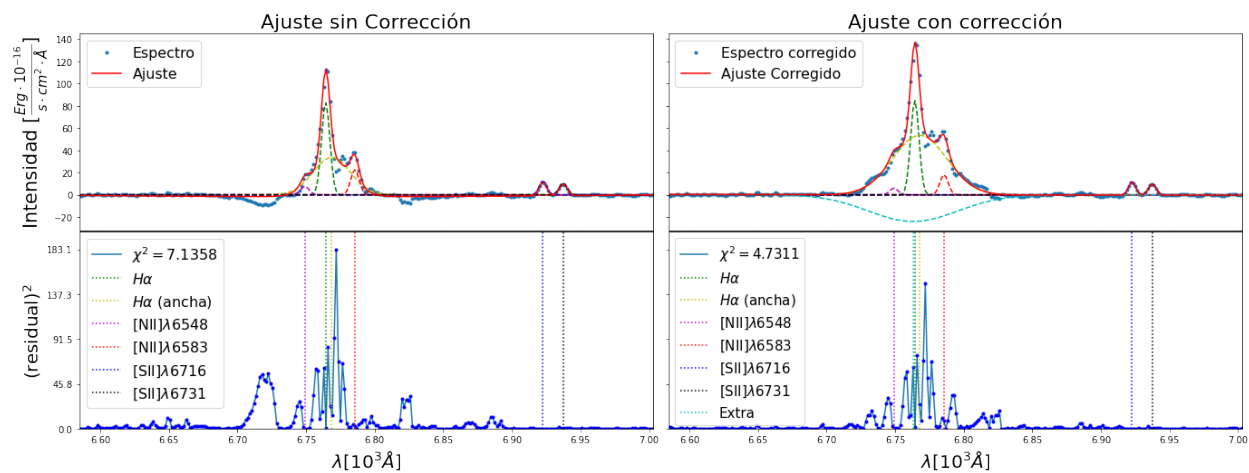


Figura C.10: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (2.917 ± 0.292) kpc

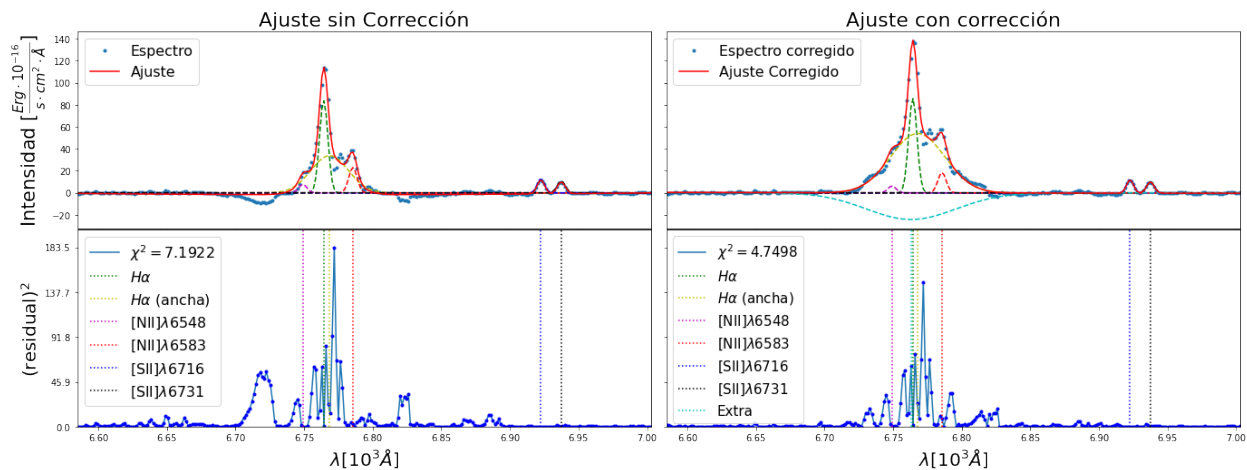


Figura C.11: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (3.224 ± 0.322) kpc

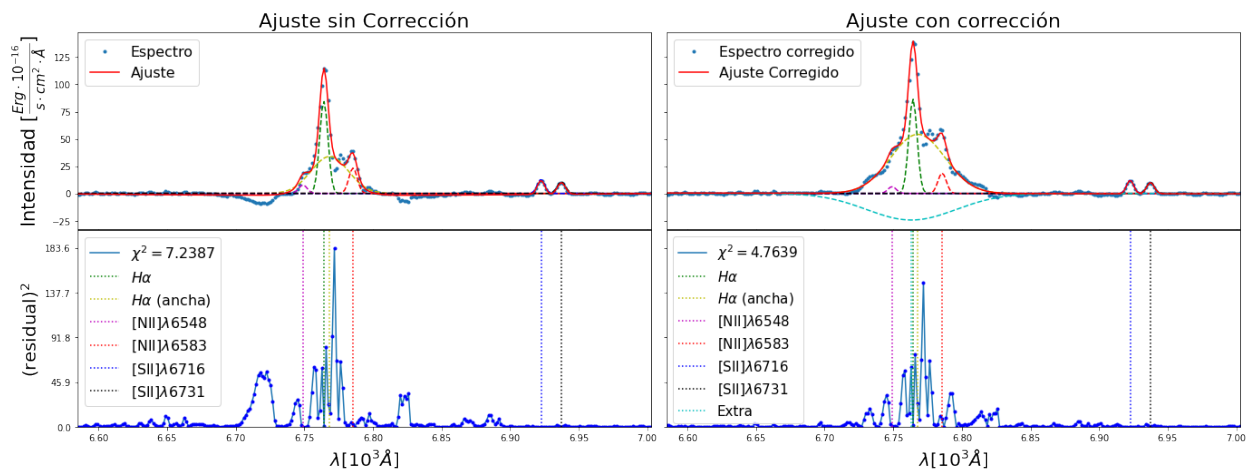


Figura C.12: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (3.532 ± 0.353) kpc

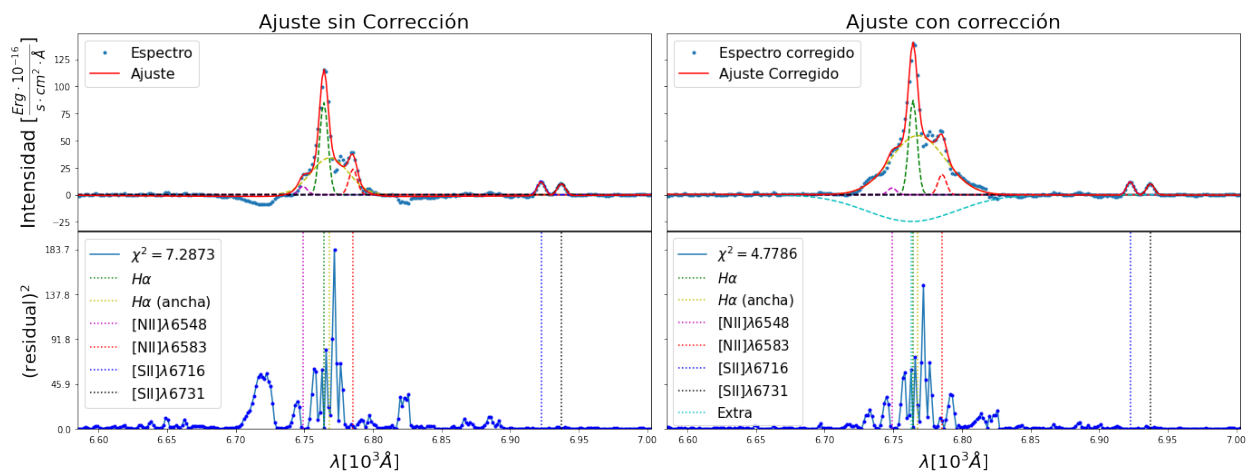


Figura C.13: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (3.839 ± 0.384) kpc

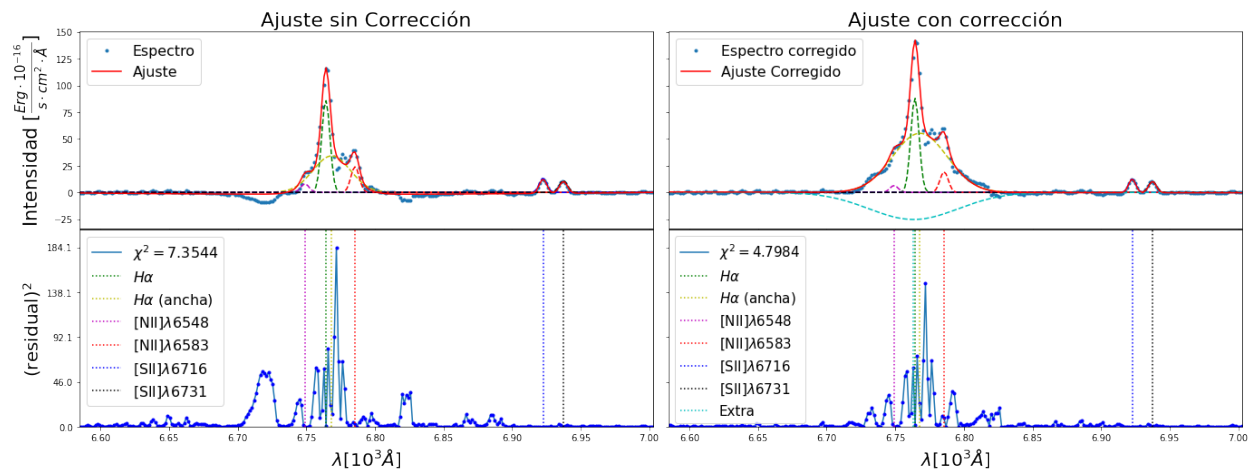


Figura C.14: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (4.146 ± 0.415) kpc

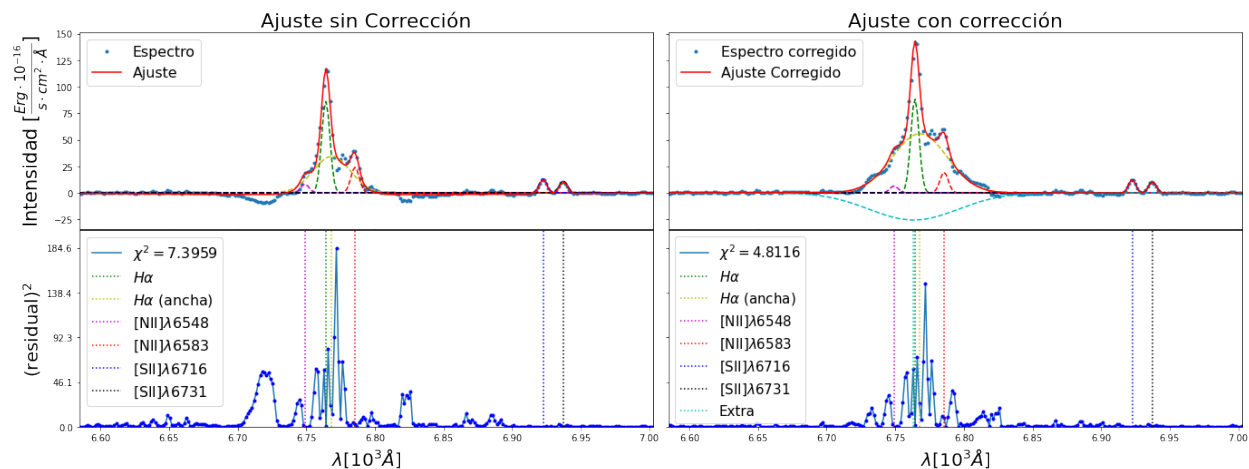


Figura C.15: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (4.453 ± 0.445) kpc

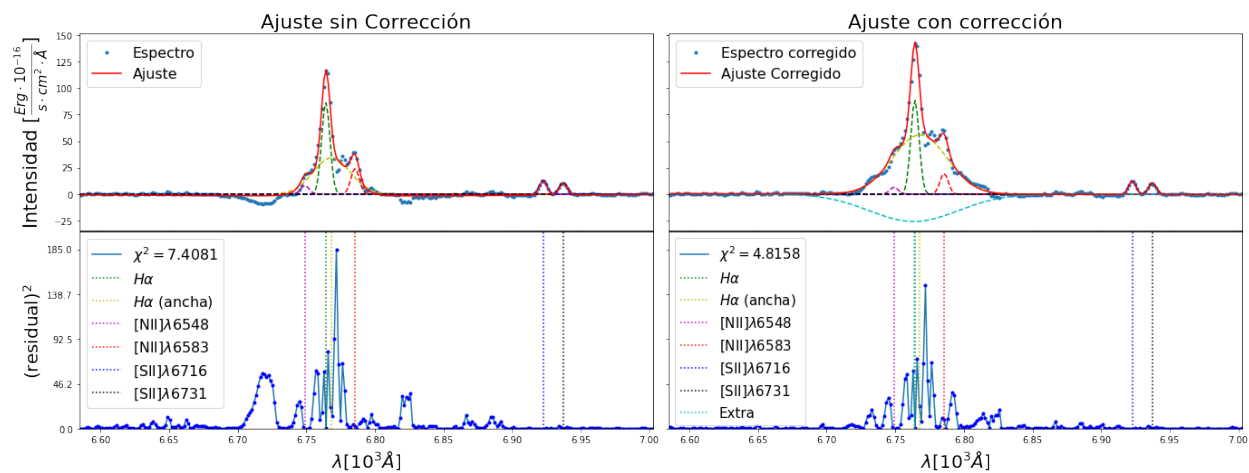


Figura C.16: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (4.760 ± 0.476) kpc

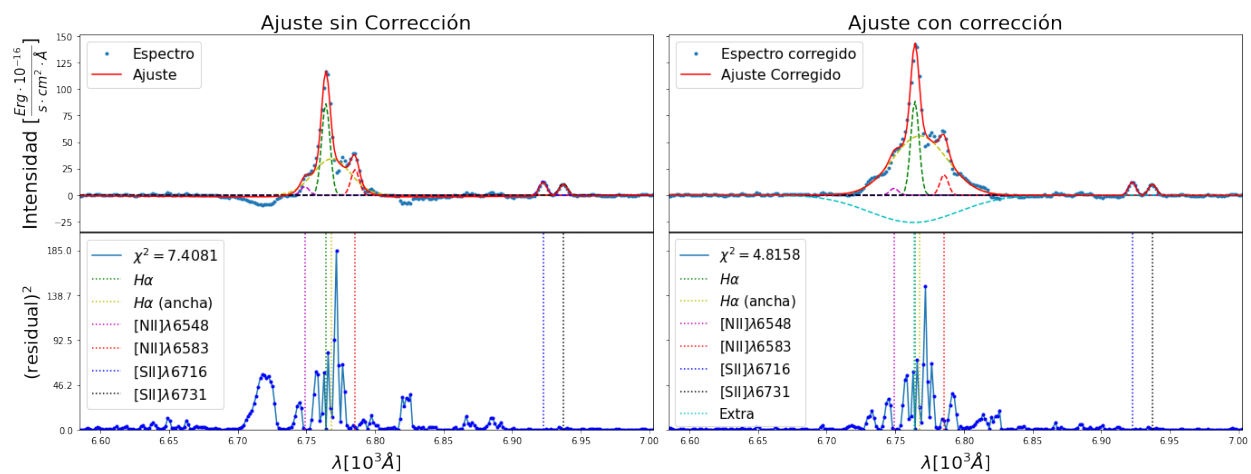


Figura C.17: Corrección de Ajuste de MaNGA-8553-1901 a apertura (5.067 ± 0.507) kpc

C.2. MaNGA-9000-1901.

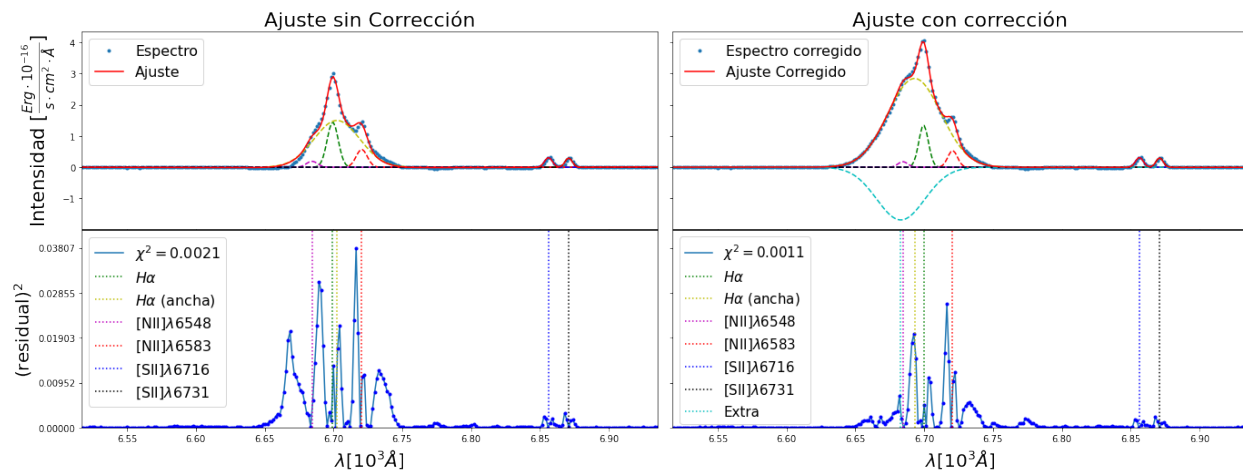


Figura C.18: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.109 ± 0.011) kpc

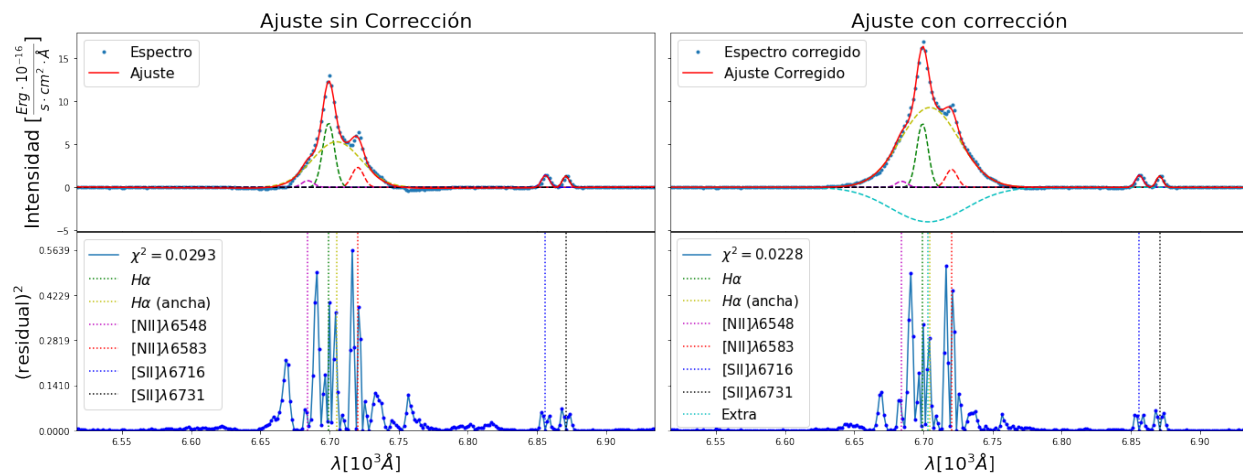


Figura C.19: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.328 ± 0.033) kpc

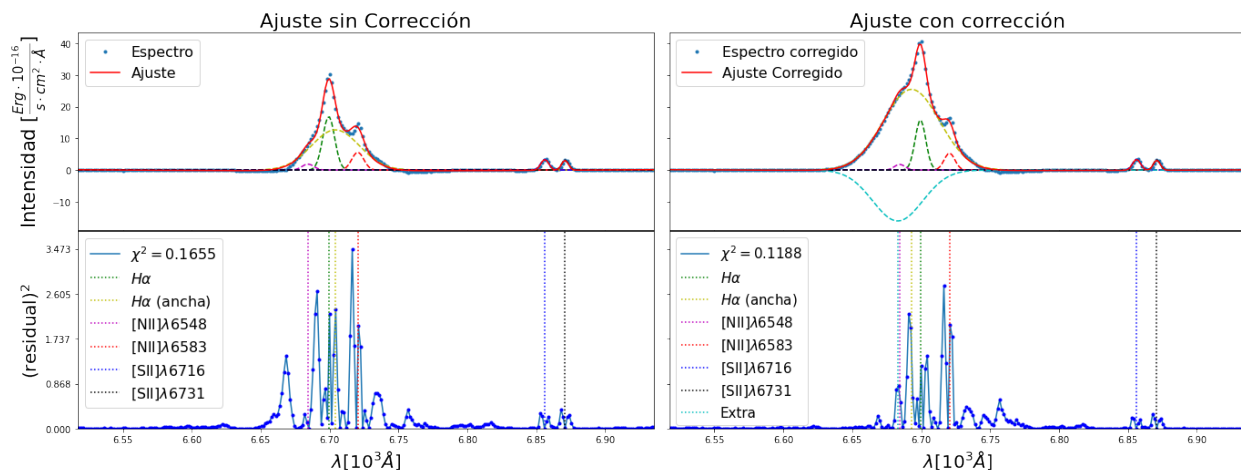


Figura C.20: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.547 ± 0.055) kpc

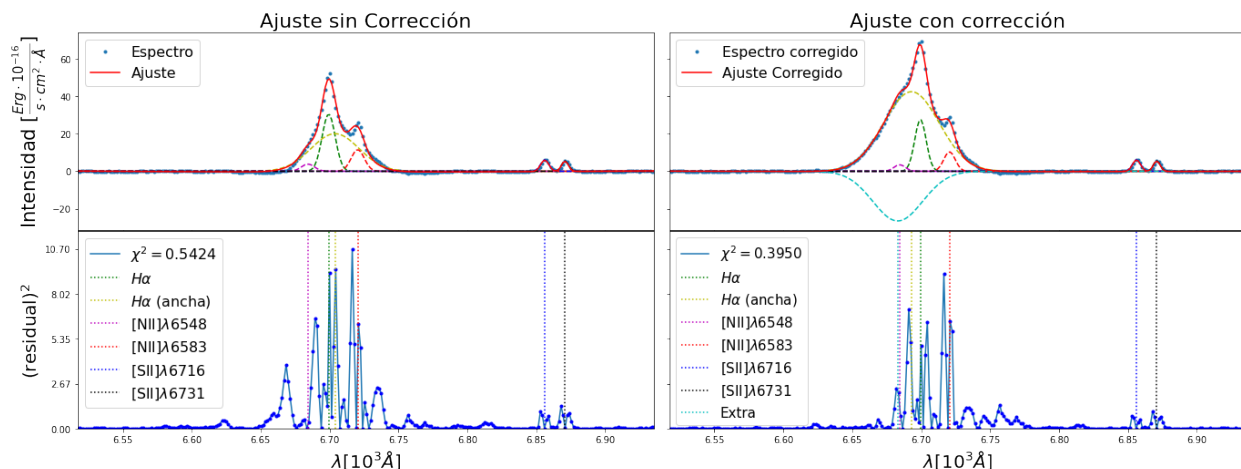


Figura C.21: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.766 ± 0.077) kpc

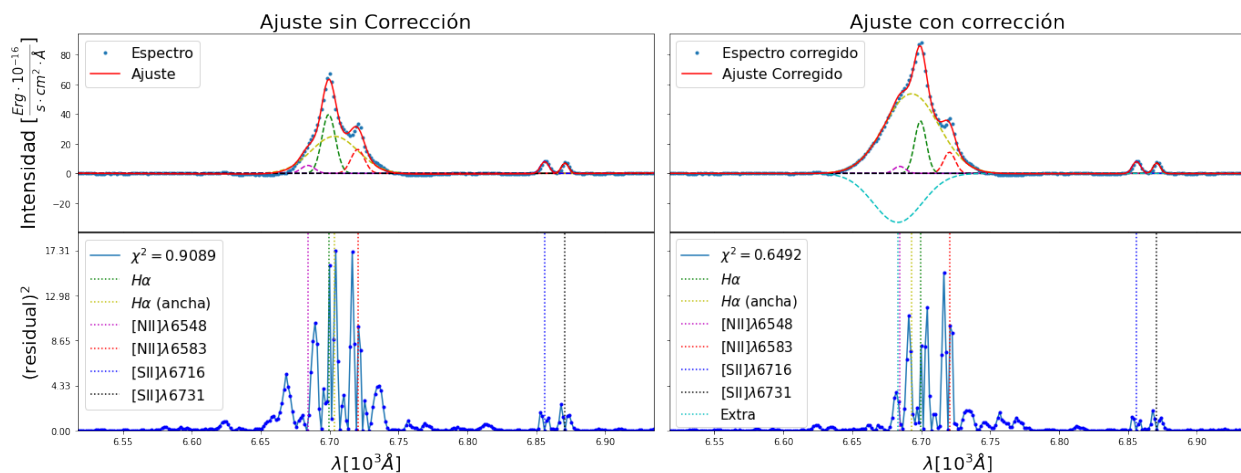


Figura C.22: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (0.985 ± 0.099) kpc

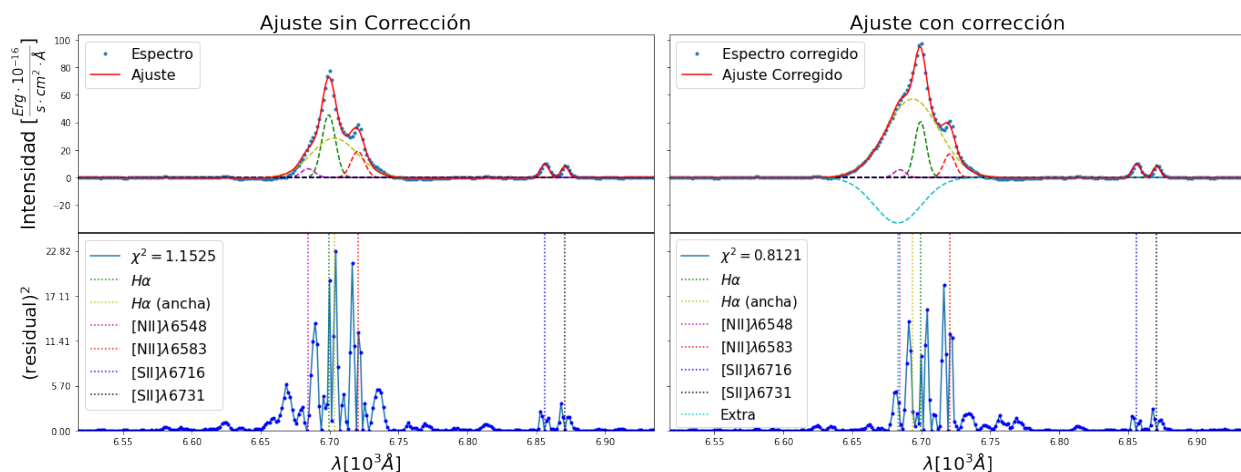


Figura C.23: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.204 ± 0.120) kpc

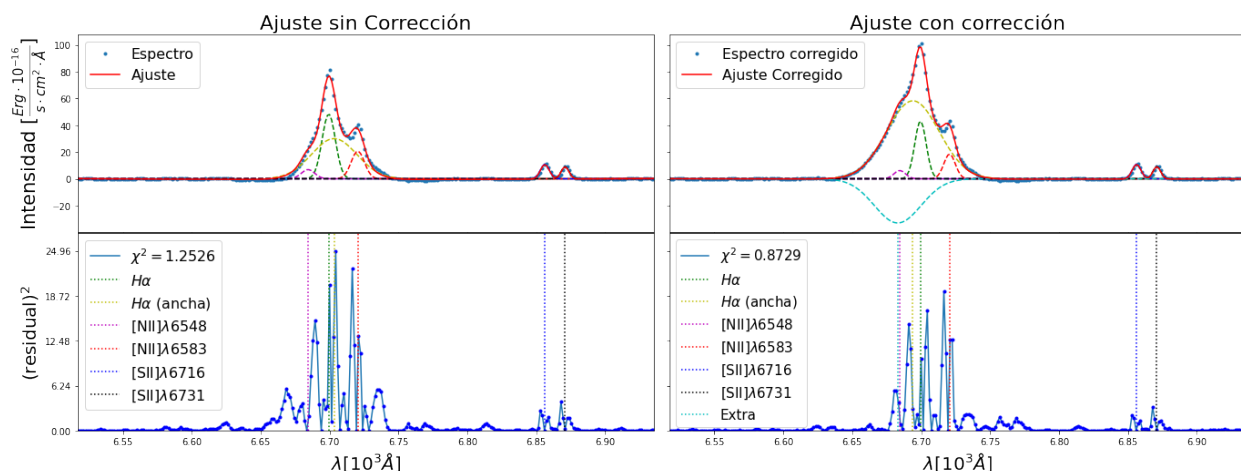


Figura C.24: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.423 ± 0.142) kpc

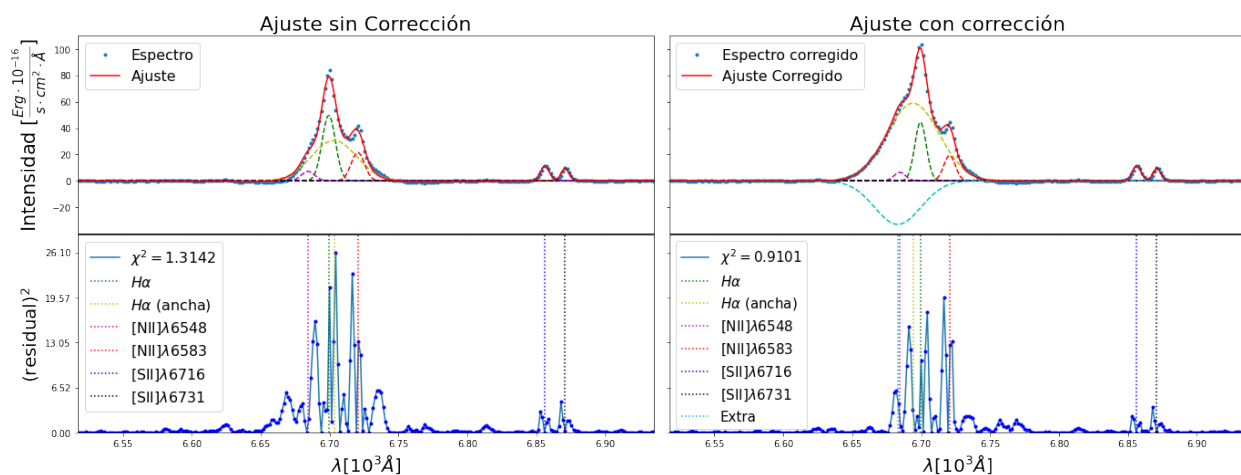


Figura C.25: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.642 ± 0.164) kpc

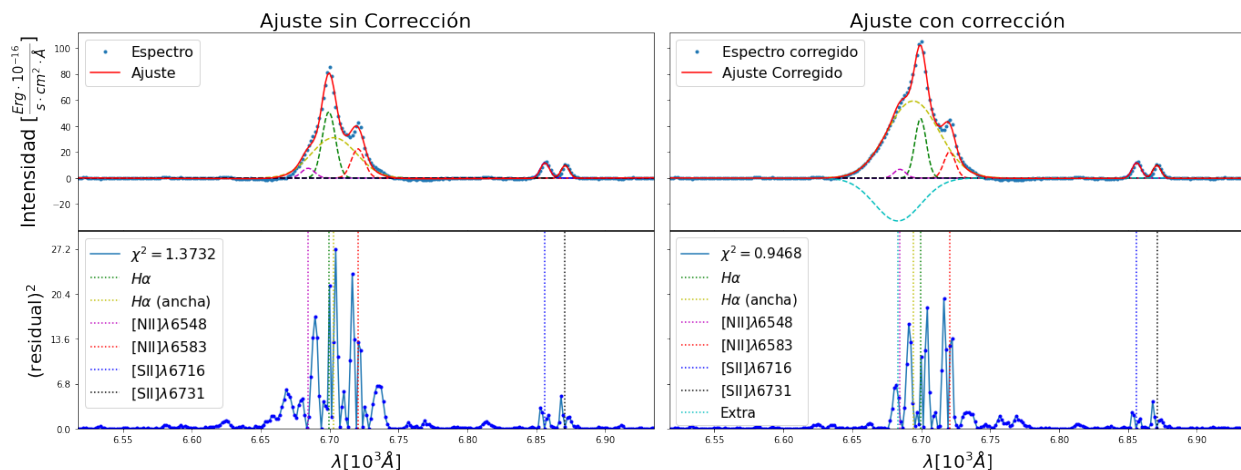


Figura C.26: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (1.861 ± 0.1865) kpc

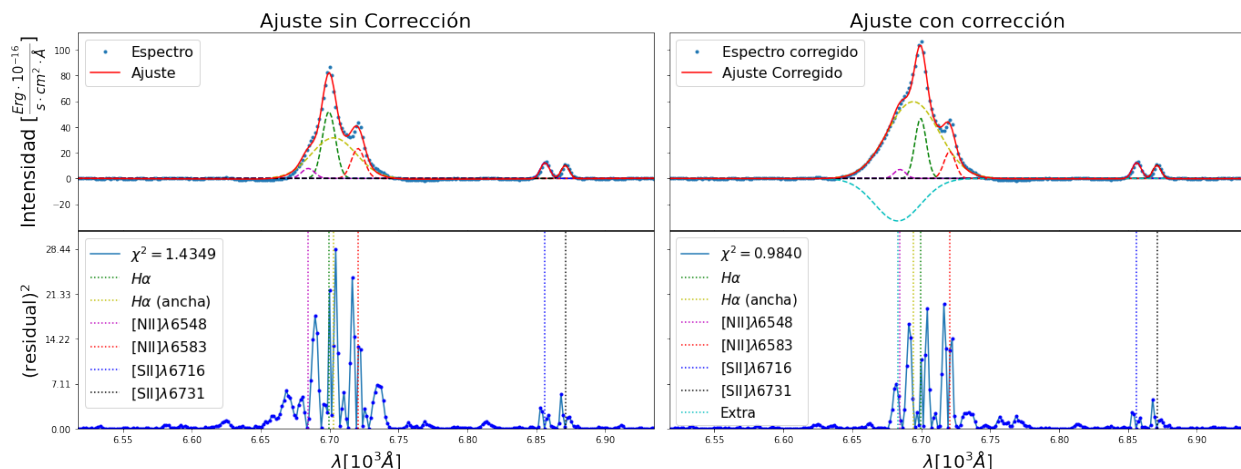


Figura C.27: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.080 ± 0.208) kpc

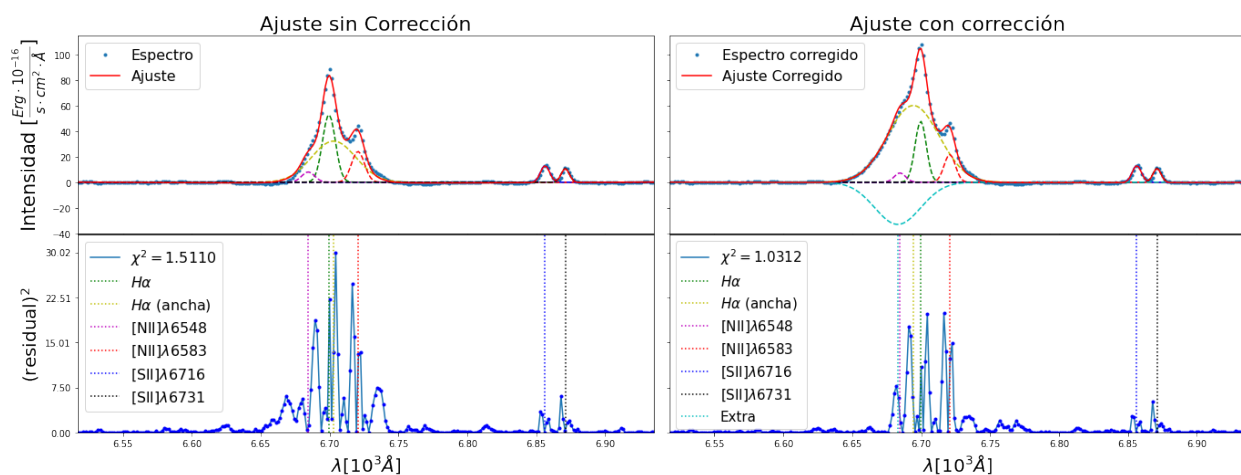


Figura C.28: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.299 ± 0.230) kpc

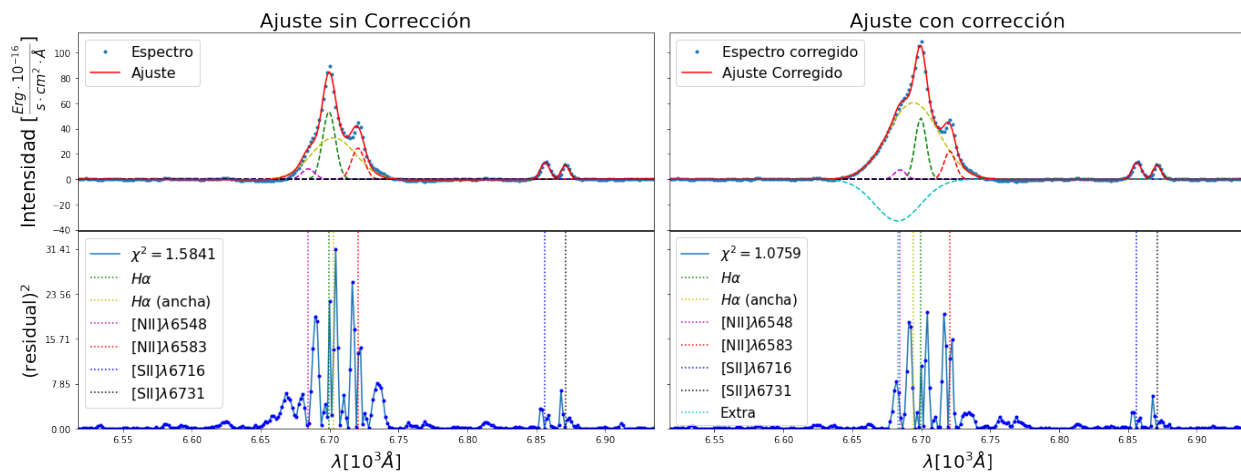


Figura C.29: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.518 ± 0.252) kpc

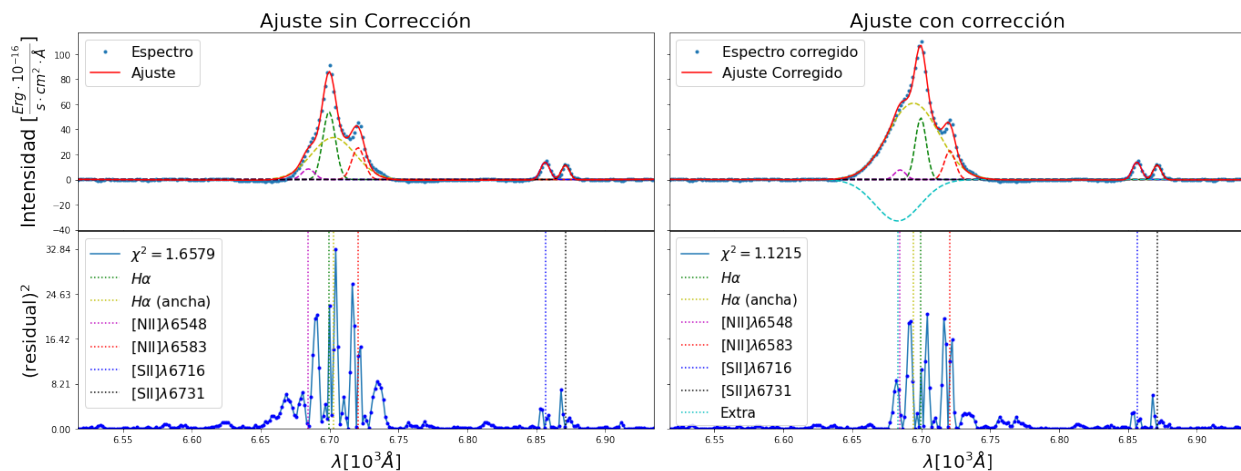


Figura C.30: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.737 ± 0.274) kpc

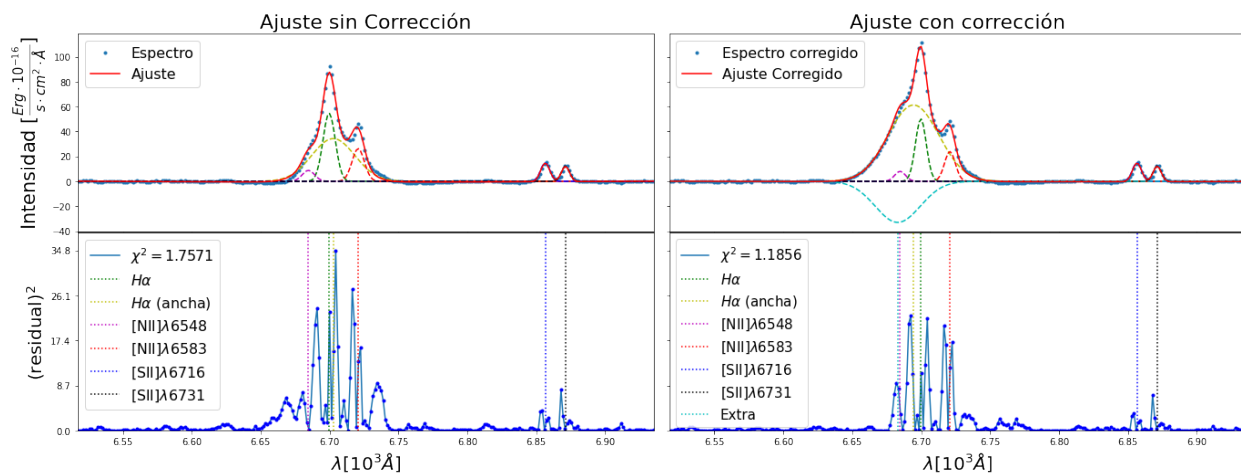


Figura C.31: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (2.956 ± 0.296) kpc

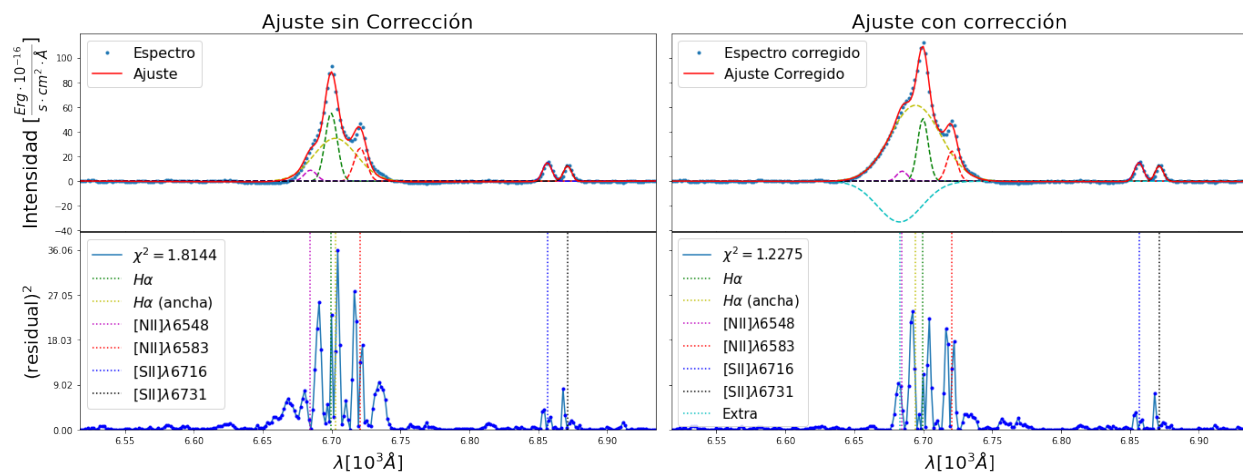


Figura C.32: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (3.175 ± 0.317) kpc

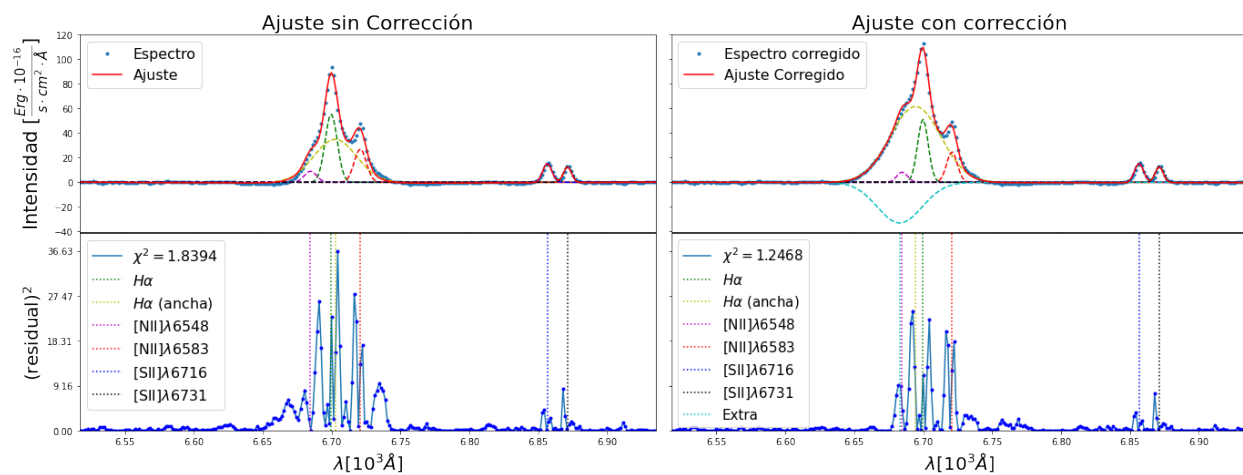


Figura C.33: Corrección de Ajuste de MaNGA-9000-1901 a apertura (3.394 ± 0.339) kpc

Apéndice D

Parámetros de Ajustes Corregidos.

D.1. MaNGA-8553-1901.

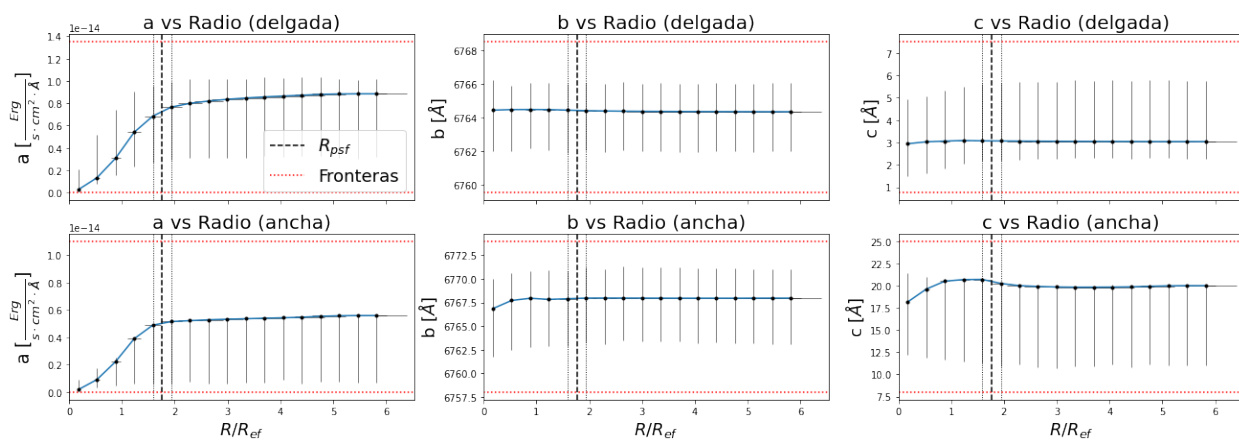


Figura D.1: Parámetros de H_{α} en función de la apertura. Espectro de Gas Corregido MaNGA-8553-1901.

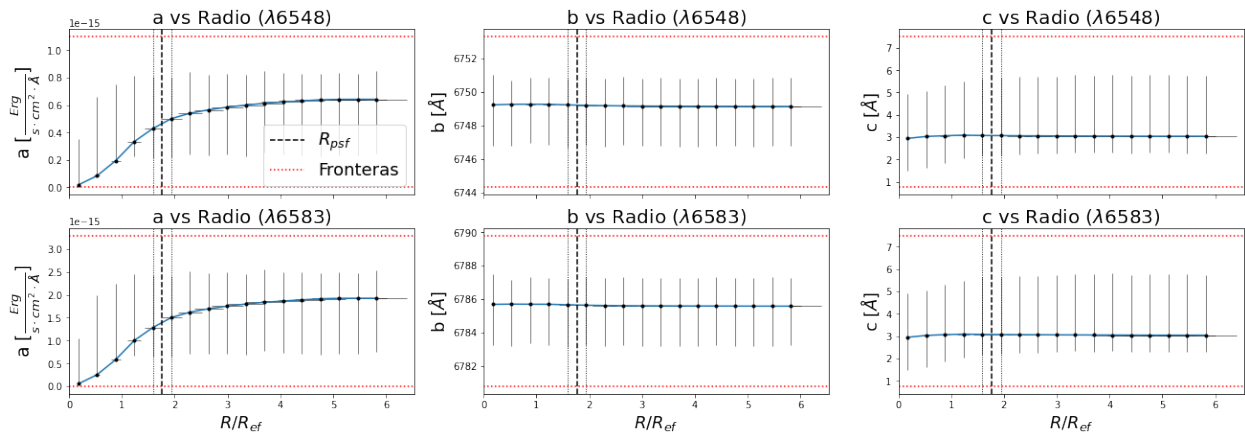


Figura D.2: Parámetros de [NII] en función de la apertura. Espectro de Gas Corregido MaNGA-8553-1901.

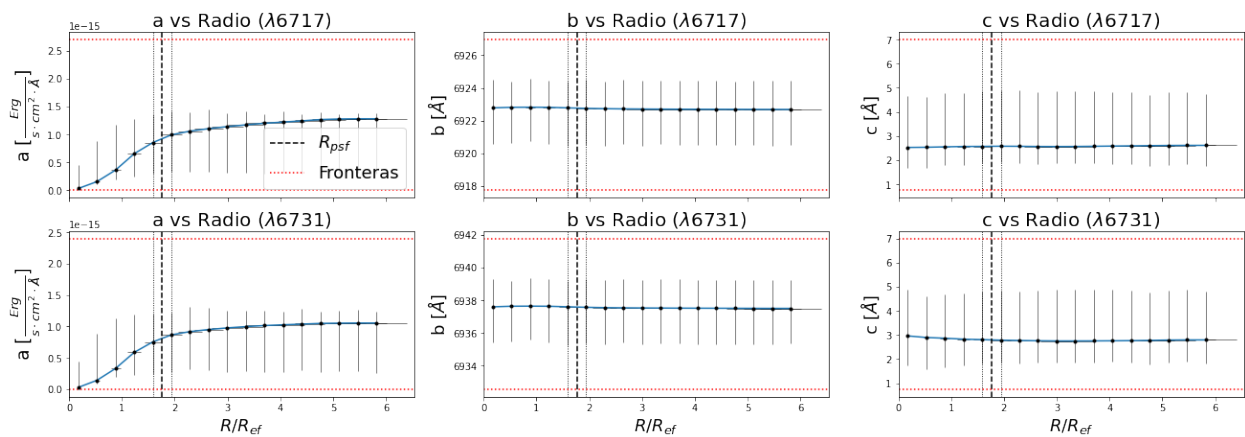


Figura D.3: Parámetros de [SII] en función de la apertura. Espectro de Gas Corregido MaNGA-8553-1901.

D.2. MaNGA-9000-1901.

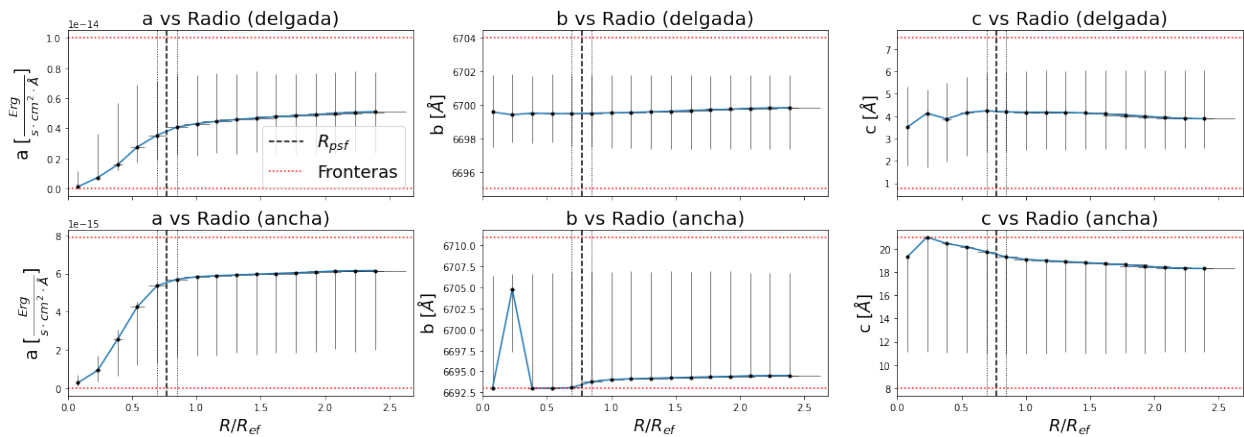


Figura D.4: Parámetros de H_α en función de la apertura. Espectro de Gas Corregido MaNGA-9000-1901.

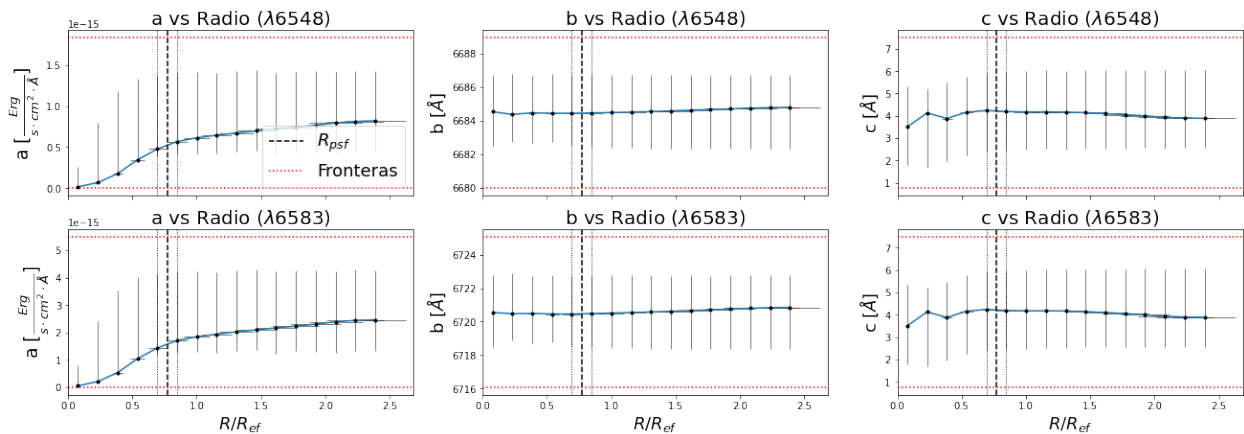


Figura D.5: Parámetros de $[\text{NII}]$ en función de la apertura. Espectro de Gas Corregido MaNGA-9000-1901.

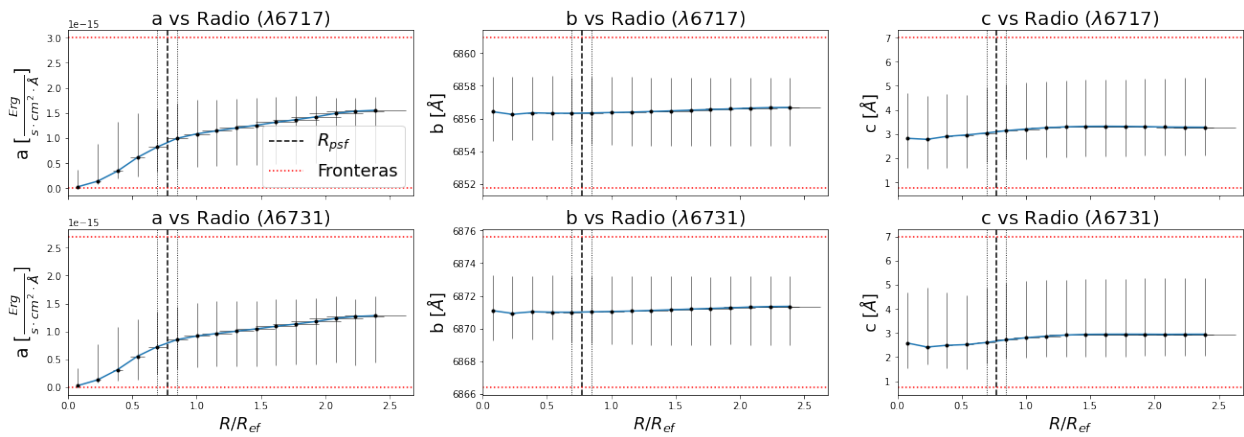


Figura D.6: Parámetros de [SII] en función de la apertura. Espectro de Gas Corregido MaNGA-9000-1901.

Bibliografía

Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Abernathy, M. R., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., Adams, T., Addesso, P., Adhikari, R. X., Adya, V. B., Affeldt, C., Agathos, M., Agatsuma, K., Aggarwal, N., Aguiar, O. D., Aiello, L., Ain, A., Ajith, P., Allen, B., Allocca, A., Altin, P. A., Anderson, S. B., Anderson, W. G., Arai, K., Arain, M. A., Araya, M. C., Arceneaux, C. C., Areeda, J. S., Arnaud, N., Arun, K. G., Ascenzi, S., Ashton, G., Ast, M., Aston, S. M., Astone, P., Aufmuth, P., Aulbert, C., Babak, S., Bacon, P., Bader, M. K. M., Baker, P. T., Baldaccini, F., Ballardin, G., Ballmer, S. W., Barayoga, J. C., Barclay, S. E., Barish, B. C., Barker, D., Barone, F., Barr, B., Barsotti, L., Barsuglia, M., Barta, D., Bartlett, J., Barton, M. A., Bartos, I., Bassiri, R., Basti, A., Batch, J. C., Baune, C., Bavigadda, V., Bazzan, M., Behnke, B., Bejger, M., Belczynski, C., Bell, A. S., Bell, C. J., Berger, B. K., Bergman, J., Bergmann, G., Berry, C. P. L., Bersanetti, D., Bertolini, A., Betzwieser, J., Bhagwat, S., Bhandare, R., Bilenko, I. A., Billingsley, G., Birch, J., Birney, R., Birnholtz, O., Biscans, S., Bisht, A., Bitossi, M., Biwer, C., Bizouard, M. A., Blackburn, J. K., Blair, C. D., Blair, D. G., Blair, R. M., Bloemen, S., Bock, O., Bodiya, T. P., Boer, M., Bogaert, G., Bogan, C., Bohe, A., Bojtos, P., Bond, C., Bondu, F., Bonnand, R., Boom, B. A., Bork, R., Boschi, V., Bose, S., Bouffanais, Y., Bozzi, A., Bradaschia, C., Brady, P. R., Braginsky, V. B., Branchesi, M., Brau, J. E., Briant, T., Brillet, A., Brinkmann, M., Brisson, V., Brockill, P., Brooks, A. F., Brown, D. A., Brown, D. D., Brown, N. M., Buchanan, C. C., Buikema, A., Bulik, T., Bulten, H. J., Buonanno, A., Buskulic, D., Buy, C., Byer, R. L., Cabero, M., Cadonati, L., Cagnoli, G., Cahillane, C., Bustillo, J. C., Callister, T., Calloni, E., Camp, J. B., Cannon, K. C., Cao, J., Capano, C. D., Capocasa, E., Carbognani, F., Caride, S., Casanueva Diaz, J., Casentini, C., Caudill, S., Cavaglià, M., Cavalier, F., Cavalieri, R., Cella, G., Cepeda, C. B., Baiardi,

L. C., Cerretani, G., Cesarini, E., Chakraborty, R., Chalermongsak, T., Chamberlin, S. J., Chan, M., Chao, S., Charlton, P., Chassand e-Mottin, E., Chen, H. Y., Chen, Y., Cheng, C., Chincarini, A., Chiummo, A., Cho, H. S., Cho, M., Chow, J. H., Christensen, N., Chu, Q., Chua, S., Chung, S., Ciani, G., Clara, F., Clark, J. A., Cleva, F., Coccia, E., Cohadon, P. F., Colla, A., Collette, C. G., Cominsky, L., Constancio, M., Conte, A., Conti, L., Cook, D., Corbitt, T. R., Cornish, N., Corsi, A., Cortese, S., Costa, C. A., Coughlin, M. W., Coughlin, S. B., Coulon, J. P., Countryman, S. T., Couvares, P., Cowan, E. E., Coward, D. M., Cowart, M. J., Coyne, D. C., Coyne, R., Craig, K., Creighton, J. D. E., Creighton, T. D., Cripe, J., Crowder, S. G., Cruise, A. M., Cumming, A., Cunningham, L., Cuoco, E., Dal Canton, T., Danilishin, S. L., D'Antonio, S., Danzmann, K., Darman, N. S., Da Silva Costa, C. F., Dattilo, V., Dave, I., Daveloza, H. P., Davier, M., Davies, G. S., Daw, E. J., Day, R., De, S., DeBra, D., Debreczeni, G., Degallaix, J., De Laurentis, M., Deléglise, S., Del Pozzo, W., Denker, T., Dent, T., Dereli, H., Dergachev, V., DeRosa, R. T., De Rosa, R., DeSalvo, R., Dhurandhar, S., Díaz, M. C., Di Fiore, L., Di Giovanni, M., Di Lieto, A., Di Pace, S., Di Palma, I., Di Virgilio, A., Dojcinoski, G., Dolique, V., Donovan, F., Dooley, K. L., Doravari, S., Douglas, R., Downes, T. P., Drago, M., Drever, R. W. P., Driggers, J. C., Du, Z., Ducrot, M., Dwyer, S. E., Edo, T. B., Edwards, M. C., Effler, A., Eggenstein, H. B., Ehrens, P., Eichholz, J., Eikenberry, S. S., Engels, W., Essick, R. C., Etzel, T., Evans, M., Evans, T. M., Everett, R., Factourovich, M., Fafone, V., Fair, H., Fairhurst, S., Fan, X., Fang, Q., Farinon, S., Farr, B., Farr, W. M., Favata, M., Fays, M., Fehrmann, H., Fejer, M. M., Feldbaum, D., Ferrante, I., Ferreira, E. C., Ferrini, F., Fidecaro, F., Finn, L. S., Fiori, I., Fiorucci, D., Fisher, R. P., Flaminio, R., Fletcher, M., Fong, H., Fournier, J. D., Franco, S., Frasca, S., Frasconi, F., Frede, M., Frei, Z., Freise, A., Frey, R., Frey, V., Fricke, T. T., Fritschel, P., Frolov, V. V., Fulda, P., Fyffe, M., Gabbard, H. A. G., Gair, J. R., Gammaitoni, L., Gaonkar, S. G., Garufi, F., Gatto, A., Gaur, G., Gehrels, N., Gemme, G., Gendre, B., Genin, E., Gennai, A., George, J., Gergely, L., Germain, V., Ghosh, A., Ghosh, A., Ghosh, S., Giaime, J. A., Giardina, K. D., Giazotto, A., Gill, K., Glaefke, A., Gleason, J. R., Goetz, E., Goetz, R., Gondan, L., González, G., Castro, J. M. G., Gopakumar, A., Gordon, N. A., Gorodetsky, M. L., Gossan, S. E., Gosselin, M., Gouaty, R., Graef, C., Graff, P. B., Granata, M., Grant, A., Gras, S., Gray,

C., Greco, G., Green, A. C., Greenhalgh, R. J. S., Groot, P., Grote, H., Grunewald, S., Guidi, G. M., Guo, X., Gupta, A., Gupta, M. K., Gushwa, K. E., Gustafson, E. K., Gustafson, R., Hacker, J. J., Hall, B. R., Hall, E. D., Hammond, G., Haney, M., Hanke, M. M., Hanks, J., Hanna, C., Hannam, M. D., Hanson, J., Hardwick, T., Harms, J., Harry, G. M., Harry, I. W., Hart, M. J., Hartman, M. T., Haster, C. J., Haughian, K., Healy, J., Heefner, J., Heidmann, A., Heintze, M. C., Heinzl, G., Heitmann, H., Hello, P., Hemming, G., Hendry, M., Heng, I. S., Hennig, J., Heptonstall, A. W., Heurs, M., Hild, S., Hoak, D., Hodge, K. A., Hofman, D., Hollitt, S. E., Holt, K., Holz, D. E., Hopkins, P., Hosken, D. J., Hough, J., Houston, E. A., Howell, E. J., Hu, Y. M., Huang, S., Huerta, E. A., Huet, D., Hughey, B., Husa, S., Huttner, S. H., Huynh-Dinh, T., Idrisy, A., Indik, N., Ingram, D. R., Inta, R., Isa, H. N., Isac, J. M., Isi, M., Islas, G., Isogai, T., Iyer, B. R., Izumi, K., Jacobson, M. B., Jacqmin, T., Jang, H., Jani, K., Jaranowski, P., Jawahar, S., Jiménez-Forteza, F., Johnson, W. W., Johnson-McDaniel, N. K., Jones, D. I., Jones, R., Jonker, R. J. G., Ju, L., Haris, K., Kalaghatgi, C. V., Kalogera, V., Kandhasamy, S., Kang, G., Kanner, J. B., Karki, S., Kasprzack, M., Katsavounidis, E., Katzman, W., Kaufer, S., Kaur, T., Kawabe, K., Kawazoe, F., Kéfélian, F., Kehl, M. S., Keitel, D., Kelley, D. B., Kells, W., Kennedy, R., Keppel, D. G., Key, J. S., Khalaidovski, A., Khalili, F. Y., Khan, I., Khan, S., Khan, Z., Khazanov, E. A., Kijbunchoo, N., Kim, C., Kim, J., Kim, K., Kim, N.-G., Kim, N., Kim, Y. M., King, E. J., King, P. J., Kinzel, D. L., Kissel, J. S., Kleybolte, L., Klimenko, S., Koehlenbeck, S. M., Kokeyama, K., Koley, S., Kondrashov, V., Kontos, A., Koranda, S., Korobko, M., Korth, W. Z., Kowalska, I., Kozak, D. B., Kringel, V., Krishnan, B., Królak, A., Krueger, C., Kuehn, G., Kumar, P., Kumar, R., Kuo, L., Kutynia, A., Kwee, P., Lackey, B. D., Landry, M., Lange, J., Lantz, B., Lasky, P. D., Lazzarini, A., Lazzaro, C., Leaci, P., Leavey, S., Lebigot, E. O., Lee, C. H., Lee, H. K., Lee, H. M., Lee, K., Lenon, A., Leonardi, M., Leong, J. R., Leroy, N., Letendre, N., Levin, Y., Levine, B. M., Li, T. G. F., Libson, A., Littenberg, T. B., Lockerbie, N. A., Logue, J., Lombardi, A. L., London, L. T., Lord, J. E., Lorenzini, M., Lorette, V., Lormand, M., Losurdo, G., Lough, J. D., Lousto, C. O., Lovelace, G., Lück, H., Lundgren, A. P., Luo, J., Lynch, R., Ma, Y., MacDonald, T., Machenschalk, B., MacInnis, M., Macleod, D. M., Magaña-Sandoval, F., Magee, R. M., Mageswaran, M., Majorana, E., Maksimovic, I., Malvezzi, V., Man,

N., Mandel, I., Mandic, V., Mangano, V., Mansell, G. L., Manske, M., Mantovani, M., Marchesoni, F., Marion, F., Márka, S., Márka, Z., Markosyan, A. S., Maros, E., Martelli, F., Martellini, L., Martin, I. W., Martin, R. M., Martynov, D. V., Marx, J. N., Mason, K., Masserot, A., Massinger, T. J., Masso-Reid, M., Matichard, F., Matone, L., Mavalvala, N., Mazumder, N., Mazzolo, G., McCarthy, R., McClelland, D. E., McCormick, S., McGuire, S. C., McIntyre, G., McIver, J., McManus, D. J., McWilliams, S. T., Meacher, D., Meadors, G. D., Meidam, J., Melatos, A., Mendell, G., Mendoza-Gandara, D., Mercer, R. A., Merilh, E., Merzougui, M., Meshkov, S., Messenger, C., Messick, C., Meyers, P. M., Mezzani, F., Miao, H., Michel, C., Middleton, H., Mikhailov, E. E., Milano, L., Miller, J., Millhouse, M., Minenkov, Y., Ming, J., Mirshekari, S., Mishra, C., Mitra, S., Mitrofanov, V. P., Mitselmakher, G., Mittleman, R., Moggi, A., Mohan, M., Mohapatra, S. R. P., Montani, M., Moore, B. C., Moore, C. J., Moraru, D., Moreno, G., Morriss, S. R., Mossavi, K., Mours, B., Mow-Lowry, C. M., Mueller, C. L., Mueller, G., Muir, A. W., Mukherjee, A., Mukherjee, D., Mukherjee, S., Mukund, N., Mullavey, A., Munch, J., Murphy, D. J., Murray, P. G., Mytidis, A., Nardecchia, I., Naticchioni, L., Nayak, R. K., Necula, V., Nedkova, K., Nelemans, G., Neri, M., Neunzert, A., Newton, G., Nguyen, T. T., Nielsen, A. B., Nissanke, S., Nitz, A., Nocera, F., Nolting, D., Normandin, M. E. N., Nuttall, L. K., Oberling, J., Ochsner, E., O'Dell, J., Oelker, E., Ogin, G. H., Oh, J. J., Oh, S. H., Ohme, F., Oliver, M., Oppermann, P., Oram, R. J., O'Reilly, B., O'Shaughnessy, R., Ott, C. D., Ottaway, D. J., Ottens, R. S., Overmier, H., Owen, B. J., Pai, A., Pai, S. A., Palamos, J. R., Palashov, O., Palomba, C., Pal-Singh, A., Pan, H., Pan, Y., Pankow, C., Pannarale, F., Pant, B. C., Paoletti, F., Paoli, A., Papa, M. A., Paris, H. R., Parker, W., Pascucci, D., Pasqualetti, A., Passaquieti, R., Passuello, D., Patricelli, B., Patrick, Z., Pearlstone, B. L., Pedraza, M., Pedurand, R., Pekowsky, L., Pele, A., Penn, S., Perreca, A., Pfeiffer, H. P., Phelps, M., Piccinni, O., Pichot, M., Pickenpack, M., Piergiovanni, F., Pierro, V., Pillant, G., Pinard, L., Pinto, I. M., Pitkin, M., Poeld, J. H., Poggiani, R., Popolizio, P., Post, A., Powell, J., Prasad, J., Predoi, V., Premachandra, S. S., Prestegard, T., Price, L. R., Prijatelj, M., Principe, M., Privitera, S., Prix, R., Prodi, G. A., Prokhorov, L., Puncken, O., Punturo, M., Puppo, P., Pürerer, M., Qi, H., Qin, J., Quetschke, V., Quintero, E. A., Quitzow-James, R., Raab, F. J., Rabeling, D. S., Radkins, H., Raffai,

P., Raja, S., Rakhmanov, M., Ramet, C. R., Rapagnani, P., Raymond, V., Razzano, M., Re, V., Read, J., Reed, C. M., Regimbau, T., Rei, L., Reid, S., Reitze, D. H., Rew, H., Reyes, S. D., Ricci, F., Riles, K., Robertson, N. A., Robie, R., Robinet, F., Rocchi, A., Rolland, L., Rollins, J. G., Roma, V. J., Romano, J. D., Romano, R., Romanov, G., Romie, J. H., Rosińska, D., Rowan, S., Rüdiger, A., Ruggi, P., Ryan, K., Sachdev, S., Sadecki, T., Sadeghian, L., Salconi, L., Saleem, M., Salemi, F., Samajdar, A., Sammut, L., Sampson, L. M., Sanchez, E. J., Sandberg, V., Sandeen, B., Sanders, G. H., Sanders, J. R., Sassolas, B., Sathyaprakash, B. S., Saulson, P. R., Sauter, O., Savage, R. L., Sawadsky, A., Schale, P., Schilling, R., Schmidt, J., Schmidt, P., Schnabel, R., Schofield, R. M. S., Schönbeck, A., Schreiber, E., Schuette, D., Schutz, B. F., Scott, J., Scott, S. M., Sellers, D., Sengupta, A. S., Sentenac, D., Sequino, V., Sergeev, A., Serna, G., Setyawati, Y., Sevigny, A., Shaddock, D. A., Shaffer, T., Shah, S., Shahriar, M. S., Shaltev, M., Shao, Z., Shapiro, B., Shawhan, P., Sheperd, A., Shoemaker, D. H., Shoemaker, D. M., Siellez, K., Siemens, X., Sigg, D., Silva, A. D., Simakov, D., Singer, A., Singer, L. P., Singh, A., Singh, R., Singhal, A., Sintès, A. M., Slagmolen, B. J. J., Smith, J. R., Smith, M. R., Smith, N. D., Smith, R. J. E., Son, E. J., Sorazu, B., Sorrentino, F., Souradeep, T., Srivastava, A. K., Staley, A., Steinke, M., Steinlechner, J., Steinlechner, S., Steinmeyer, D., Stephens, B. C., Stevenson, S. P., Stone, R., Strain, K. A., Straniero, N., Stratta, G., Strauss, N. A., Strigin, S., Sturani, R., Stuver, A. L., Summerscales, T. Z., Sun, L., Sutton, P. J., Swinkels, B. L., Szczepańczyk, M. J., Tacca, M., Talukder, D., Tanner, D. B., Tápai, M., Tarabrin, S. P., Taracchini, A., Taylor, R., Theeg, T., Thirugnanasambandam, M. P., Thomas, E. G., Thomas, M., Thomas, P., Thorne, K. A., Thorne, K. S., Thrane, E., Tiwari, S., Tiwari, V., Tokmakov, K. V., Tomlinson, C., Tonelli, M., Torres, C. V., Torrie, C. I., Töyrä, D., Travasso, F., Traylor, G., Trifirò, D., Tringali, M. C., Trozzo, L., Tse, M., Turconi, M., Tuyenbayev, D., Ugolini, D., Unnikrishnan, C. S., Urban, A. L., Usman, S. A., Vahlbruch, H., Vajente, G., Valdes, G., Vallisneri, M., van Bakel, N., van Beuzekom, M., van den Brand, J. F. J., Van Den Broeck, C., Vanderhyde, D. C., van der Schaaf, L., van Heijningen, J. V., van Veggel, A. A., Vardaro, M., Vass, S., Vasúth, M., Vaulin, R., Vecchio, A., Vedovato, G., Veitch, J., Veitch, P. J., Venkateswara, K., Verkindt, D., Vetrano, F., Viceré, A., Vinciguerra, S., Vine, D. J., Vinet, J. Y., Vitale,

- S., Vo, T., Vocca, H., Vorvick, C., Voss, D., Vousden, W. D., Vyatchanin, S. P., Wade, A. R., Wade, L. E., Wade, M., Waldman, S. J., Walker, M., Wallace, L., Walsh, S., Wang, G., Wang, H., Wang, M., Wang, X., Wang, Y., Ward, H., Ward, R. L., Warner, J., Was, M., Weaver, B., Wei, L. W., Weinert, M., Weinstein, A. J., Weiss, R., Welborn, T., Wen, L., Weßels, P., Westphal, T., Wette, K., Whelan, J. T., Whitcomb, S. E., White, D. J., Whiting, B. F., Wiesner, K., Wilkinson, C., Willems, P. A., Williams, L., Williams, R. D., Williamson, A. R., Willis, J. L., Willke, B., Wimmer, M. H., Winkelmann, L., Winkler, W., Wipf, C. C., Wiseman, A. G., Wittel, H., Woan, G., Worden, J., Wright, J. L., Wu, G., Yablon, J., Yakushin, I., Yam, W., Yamamoto, H., Yancey, C. C., Yap, M. J., Yu, H., Yvert, M., Zadrożny, A., Zangrando, L., Zanolin, M., Zendri, J. P., Zevin, M., Zhang, F., Zhang, L., Zhang, M., Zhang, Y., Zhao, C., Zhou, M., Zhou, Z., Zhu, X. J., Zucker, M. E., Zuraw, S. E., Zweizig, J., LIGO Scientific Collaboration, y Virgo Collaboration (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *PRL*, 116(6):061102.
- Antonucci, R. (1993). Unified models for active galactic nuclei and quasars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31(1):473–521.
- Baldwin, J., Phillips, M., y Terlevich, R. (1981). Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 93(1):5–19.
- Belczynski, K., Bulik, T., Fryer, C. L., Ruiter, A., Valsecchi, F., Vink, J. S., y Hurley, J. R. (2010). On the Maximum Mass of Stellar Black Holes. *ApJ*, 714(2):1217–1226.
- Benson, A. J., Bower, R. G., Frenk, C. S., Lacey, C. G., Baugh, C. M., y Cole, S. (2003). What Shapes the Luminosity Function of Galaxies? *ApJ*, 599(1):38–49.
- Blandford, R. D. y McKee, C. F. (1982). Reverberation mapping of the emission line regions of Seyfert galaxies and quasars. *ApJ*, 255:419–439.
- Blanton, M. R., Bershad, M. A., Abolfathi, B., Albareti, F. D., Prieto, C. A., y Andres Almeida, e. a. (2017). Sloan digital sky survey iv: Mapping the milky way, nearby galaxies, and the distant universe. *The Astronomical Journal*, 154(1):28–62.

- Bundy, K., Bershady, A. M., Law, R. D., Renbin, Y., Niv, D., y MacDonald Nicholas, e. a. (2015). Overview of the sdss-iv manga survey: Mapping nearby galaxies at apache point observatory. *The Astrophysical Journal*, 798:7(1):26.
- Cano-Díaz, M., Maiolino, R., Marconi, A., Netzer, H., Shemmer, O., y Cresci, G. (2012). Observational evidence of quasar feedback quenching star formation at high redshift. *Astronomy Astrophysics*, 537(L8):7.
- Conselice, C. J., Wilkinson, A., Duncan, K., y Mortlock, A. (2016). The Evolution of Galaxy Number Density at $z < 8$ and Its Implications. *ApJ*, 830(2):83.
- Croom, S. M., Lawrence, J. S., Bland-Hawthorn, J., Bryant, J. J., Fogarty, L., Richards, S., Goodwin, M., Farrell, T., Miziarski, S., Heald, R., Jones, D. H., Lee, S., Colless, M., Brough, S., Hopkins, A. M., Bauer, A. E., Birchall, M. N., Ellis, S., Horton, A., Leon-Saval, S., Lewis, G., López-Sánchez, R., Min, S.-S., Trinh, C., y Trowland, H. (2012). The Sydney-AAO Multi-object Integral field spectrograph. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421:872–893.
- De Robertis, M. M. y Osterbrock, D. E. (1984). An analysis of the narrow-line profiles in high ionization Seyfert galaxies. *ApJ*, 286:171–185.
- Elbert, O. D., Bullock, J. S., y Kaplinghat, M. (2018). Counting black holes: The cosmic stellar remnant population and implications for LIGO. *MNRAS*, 473(1):1186–1194.
- Ferrarese, L. y Ford, H. (2005). Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei: Past, Present and Future Research. *SSR*, 116(3-4):523–624.
- Gebhardt, K., Bender, R., Bower, G., Dressler, A., Faber, S. M., Filippenko, A. V., Green, R., Grillmair, C., Ho, L. C., Kormendy, J., Lauer, T. R., Magorrian, J., Pinkney, J., Richstone, D., y Tremaine, S. (2000). A Relationship between Nuclear Black Hole Mass and Galaxy Velocity Dispersion. *ApJ*, 539(1):L13–L16.
- Ghez, A. M., Salim, S., Hornstein, S. D., Tanner, A., Lu, J. R., Morris, M., Becklin, E. E., y Duchêne, G. (2005). Stellar Orbits around the Galactic Center Black Hole. *ApJ*, 620(2):744–757.

- Gies, D. R. y Bolton, C. T. (1986). The Optical Spectrum of HDE 226868=Cygnus X-1. II. Spectrophotometry and Mass Estimates. *ApJ*, 304:371.
- Graham, A. W. (2016). *Galaxy Bulges and Their Massive Black Holes: A Review*, volumen 418 de *Astrophysics and Space Science Library*, p. 263.
- Graham, A. W., Soria, R., y Davis, B. L. (2019). Expected intermediate-mass black holes in the Virgo cluster - II. Late-type galaxies. *MNRAS*, 484(1):814–831.
- Greene, J. E. y Ho, L. C. (2005a). A Comparison of Stellar and Gaseous Kinematics in the Nuclei of Active Galaxies. *ApJ*, 627(2):721–732.
- Greene, J. E. y Ho, L. C. (2005b). Estimating Black Hole Masses in Active Galaxies Using the H α Emission Line. *ApJ*, 630(1):122–129.
- Greiner, J., Cuby, J. G., y McCaughrean, M. J. (2001). An unusually massive stellar black hole in the Galaxy. *Natur*, 414(6863):522–525.
- Häring, N. y Rix, H.-W. (2004). On the Black Hole Mass-Bulge Mass Relation. *ApJ*, 604(2):L89–L92.
- Hopkins, P. F., Cox, T. J., Keres, D., y Hernquist, L. (2008a). A cosmological framework for the co-evolution of quasars, supermassive black holes, and elliptical galaxies. ii. formation of red ellipticals. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 175(2):390–422.
- Hopkins, P. F., Hernquist, L., Cox, T. J., y Keres, D. (2008b). A cosmological framework for the co-evolution of quasars, supermassive black holes, and elliptical galaxies. i. galaxy mergers and quasar activity. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 175(2):356–389.
- Kaspi, S., Smith, P. S., Netzer, H., Maoz, D., Jannuzi, B. T., y Giveon, U. (2000). Reverberation Measurements for 17 Quasars and the Size-Mass-Luminosity Relations in Active Galactic Nuclei. *ApJ*, 533(2):631–649.

- Kauffmann, G., Heckman, T. M., Tremonti, C., Brinchmann, J., Charlot, S., y White Simon D. M., e. a. (2003). The host galaxies of active galactic nuclei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 346(4):1055–1077.
- Kelly, B. C. y Merloni, A. (2012). Mass Functions of Supermassive Black Holes across Cosmic Time. *Advances in Astronomy*, 2012:970858.
- Kewley, L. J., Dopita, M. A., Sutherland, R. S., Heisler, C. A., y Trevena, J. (2001). Theoretical modeling of starburst galaxies. *The Astrophysical Journal*, 556(1):121–140.
- Kewley, L. J., Groves, B., Kauffmann, G., y Heckman, T. (2006). The host galaxies and classification of active galactic nuclei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 372(3):961–976.
- Kocevski, D. D., Barro, G., Faber, S. M., Dekel, A., Somerville, R. S., Young, J. A., Williams, C. C., McIntosh, D. H., Georgakakis, A., Hasinger, G., Nandra, K., Civano, F., Alexander, D. M., Almaini, O., Conselice, C. J., Donley, J. L., Ferguson, H. C., Giavalisco, M., Grogin, N. A., Hathi, N., Hawkins, M., Koekemoer, A. M., Koo, D. C., McGrath, E. J., Mobasher, B., Pérez González, P. G., Pforr, J., Primack, J. R., Santini, P., Stefanon, M., Trump, J. R., van der Wel, A., Wuyts, S., y Yan, H. (2017). CANDELS: Elevated Black Hole Growth in the Progenitors of Compact Quiescent Galaxies at $z \approx 2$. *ApJ*, 846(2):112.
- Kormendy, J. y Ho, L. C. (2013). Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies. *ARA&A*, 51(1):511–653.
- Kormendy, J. y Richstone, D. (1995). Inward Bound—The Search For Supermassive Black Holes In Galactic Nuclei. *ARA&A*, 33:581.
- Lynden-Bell, D. (1969). Galactic Nuclei as Collapsed Old Quasars. *Natur*, 223(5207):690–694.
- Lynden-Bell, D. y Rees, M. J. (1971). On quasars, dust and the galactic centre. *MNRAS*, 152:461.

- Magorrian, J., Tremaine, S., Richstone, D., Bender, R., Bower, G., Dressler, A., Faber, S. M., Gebhardt, K., Green, R., Grillmair, C., Kormendy, J., y Lauer, T. (1998). The Demography of Massive Dark Objects in Galaxy Centers. *AJ*, 115(6):2285–2305.
- Marconi, A. y Hunt, L. K. (2003). The Relation between Black Hole Mass, Bulge Mass, and Near-Infrared Luminosity. *ApJ*, 589(1):L21–L24.
- Marconi, A., Risaliti, G., Gilli, R., Hunt, L. K., Maiolino, R., y Salvati, M. (2004). Local supermassive black holes, relics of active galactic nuclei and the X-ray background. *MNRAS*, 351(1):169–185.
- McConnell, N. J. y Ma, C.-P. (2013). Revisiting the Scaling Relations of Black Hole Masses and Host Galaxy Properties. *ApJ*, 764(2):184.
- Merloni, A., Rudnick, G., y Di Matteo, T. (2004). Tracing the cosmological assembly of stars and supermassive black holes in galaxies. *MNRAS*, 354(3):L37–L42.
- Metropolis, N. (1985). Monte-Carlo: In the Beginning and Some Great Expectations. En Alcouffe, R., Dautray, R., Forster, A., Ledonois, G., y Mercier, B., editores, *Lecture Notes in Physics, Berlin Springer Verlag*, volumen 240 de *Lecture Notes in Physics, Berlin Springer Verlag*, p. 62.
- Miller, J. M., Fabbiano, G., Miller, M. C., y Fabian, A. C. (2003). X-Ray Spectroscopic Evidence for Intermediate-Mass Black Holes: Cool Accretion Disks in Two Ultraluminous X-Ray Sources. *ApJ*, 585(1):L37–L40.
- Miller, J. M., Fabian, A. C., y Miller, M. C. (2004). A Comparison of Intermediate-Mass Black Hole Candidate Ultraluminous X-Ray Sources and Stellar-Mass Black Holes. *ApJ*, 614(2):L117–L120.
- Mingozi, M. (2016). Investigating the agn-starburst connection in a nearby seyfertgalaxy with alma and multiwavelength data.
- Mo, H., van den Bosch, F. C., y White, S. (2010). *Galaxy Formation and Evolution*.

- Netzer, H. (2015). Revisiting the unified model of active galactic nuclei. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 53(1):365–408.
- Noyola, E., Gebhardt, K., y Bergmann, M. (2008). Gemini and Hubble Space Telescope Evidence for an Intermediate-Mass Black Hole in ω Centauri. *ApJ*, 676(2):1008–1015.
- Orosz, J. A. (2003). Inventory of black hole binaries. En van der Hucht, K., Herrero, A., y Esteban, C., editores, *A Massive Star Odyssey: From Main Sequence to Supernova*, volumen 212 de *IAU Symposium*, p. 365.
- Reines, A. E. y Volonteri, M. (2015). Relations between Central Black Hole Mass and Total Galaxy Stellar Mass in the Local Universe. *ApJ*, 813(2):82.
- Richstone, D., Ajhar, E. A., Bender, R., Bower, G., Dressler, A., Faber, S. M., Filippenko, A. V., Gebhardt, K., Green, R., Ho, L. C., Kormendy, J., Lauer, T. R., Magorrian, J., y Tremaine, S. (1998). Supermassive black holes and the evolution of galaxies. *Natur*, 385(6701):A14.
- Robert, C. P. y Casella, G. (2004). *Monte Carlo Statistical Methods*. Springer.
- Saglia, R. P., Opitsch, M., Erwin, P., Thomas, J., Beifiori, A., Fabricius, M., Mazzalay, X., Nowak, N., Rusli, S. P., y Bender, R. (2016). The SINFONI Black Hole Survey: The Black Hole Fundamental Plane Revisited and the Paths of (Co)evolution of Supermassive Black Holes and Bulges. *ApJ*, 818(1):47.
- Salpeter, E. E. (1964). Accretion of Interstellar Matter by Massive Objects. *ApJ*, 140:796–800.
- Sanchez, S. F. (2019). Spatially-Resolved Spectroscopic Properties of Low-Redshift Star-Forming Galaxies. *arXiv e-prints*, p. arXiv:1911.06925.
- Sánchez, S. F., Avila-Reese, V., Hernandez-Toledo, H., Cortes-Suárez, E., Rodríguez-Puebla, A., Ibarra-Medel, H., Cano-Díaz, M., Barrera-Ballesteros, J. K., Negrete, C. A., Calette, A. R., de Lorenzo-Cáceres, A., Ortega-Minakata, R. A., Aquino, E., Valenzuela, O., Clemente, J. C., Storch-Bergmann, T., Riffel, R., Schimoia, J., Riffel, R. A., Rembold, S. B.,

- Brownstein, J. R., Pan, K., Yates, R., Mallmann, N., y Bitsakis, T. (2018). SDSS IV MaNGA - Properties of AGN Host Galaxies. *RMxAA*, 54:217–260.
- Sánchez, S. F., Pérez, E., Sánchez-Blázquez, P., García-Benito, R., Ibarra-Mede, H. J., González, J. J., Rosales-Ortega, F. F., Sánchez-Menguiano, L., Ascasibar, Y., Bitsakis, T., Law, D., Cano-Díaz, M., López-Cobá, C., Marino, R. A., Gil de Paz, A., López-Sánchez, A. R., Barrera-Ballesteros, J., Galbany, L., Mast, D., Abril-Melgarejo, V., y Roman-Lopes, A. (2016a). Pipe3D, a pipeline to analyze Integral Field Spectroscopy Data: II. Analysis sequence and CALIFA dataproducts. *RMxAA*, 52:171–220.
- Sánchez, S. F., Pérez, E., Sánchez-Blázquez, P., González, J. J., Rosales-Ortega, F. F., Cano-Díaz, M., López-Cobá, C., Marino, R. A., Gil de Paz, A., Mollá, M., López-Sánchez, A. R., Ascasibar, Y., y Barrera-Ballesteros, J. (2016b). Pipe3D, a pipeline to analyze Integral Field Spectroscopy Data: I. New fitting philosophy of FIT3D. *RMxAA*, 52:21–53.
- Sargent, W. L. W., Young, P. J., Boksenberg, A., Shortridge, K., Lynds, C. R., y Hartwick, F. D. A. (1978). Dynamical evidence for a central mass concentration in the galaxy M87. *ApJ*, 221:731–744.
- Schawinski, K. (2012). Black hole – galaxy co-evolution. *arXiv e-prints*.
- Schawinski, K., Thomas, D., Sarzi, M., Maraston, C., Kaviraj, S., y Seok-Joo Joo, e. a. (2007). Observational evidence for agn feedback in early-type galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 382(4):1415–1431.
- Silk, J. y Rees, M. J. (1998). Quasars and galaxy formation. *Astronomy and Astrophysics*, 331(1):L1–L4.
- Sánchez, S. F., Kennicutt, R., Gil de Paz, A., van de Ven, G., Vílchez, J. M., Wisotzki, L., Walcher, C. J., Mast, D., Aguerri, J. A. L., Albiol-Pérez, S., Alonso-Herrero, A., Alves, J., Bakos, J., Bartáková, T., Bland-Hawthorn, J., Boselli, A., Bomans, D. J., Castillo-Morales, A., Cortijo-Ferrero, C., de Lorenzo-Cáceres, A. D. O., J., D. R., Díaz, A., Ellis, S., Falcón-Barroso, J., Flores, H., Gallazzi, A., García-Lorenzo, B., González Delgado, R., Gruel, N., Haines, T., Hao, C., Husemann, B., Iglésias-Páramo, J., Jahnke, K., Johnson,

- B., Jungwiert, B., Kalinova, V., Kehrig, C., Kupko, D., López-Sánchez, R., Lyubenova, M., Marino, R. A., Mármol-Queraltó, E., Márquez, I., Masegosa, J., Meidt, S., Mendez-Abreu, J., Monreal-Ibero, A., Montijo, C., Mourão, A. M., Palacios-Navarro, G., Papaderos, P., Pasquali, A., Peletier, R., Pérez, E., Pérez, I., Quirrenbach, A., Relaño, M., Rosales-Ortega, F. F., Roth, M. M., Ruiz-Lara, T., Sánchez-Blázquez, P., Sengupta, C., Singh, R., Stanishev, V., Trager, S. C., Vazdekis, A., Viironen, K., Wild, V., Zibetti, S., y Ziegler, B. (2012). CALIFA, the Calar Alto Legacy Integral Field Area survey. I. Survey presentation. *Astronomy and Astrophysics*, A8:31.
- Tucci, M. y Volonteri, M. (2017). Constraining supermassive black hole evolution through the continuity equation. *A&A*, 600:A64.
- van den Bosch, R. C. E. (2016). Unification of the fundamental plane and Super Massive Black Hole Masses. *ApJ*, 831(2):134.
- Veilleux, S., Kim, D. C., Sanders, D. B., Mazzarella, J. M., y Soifer, B. T. (1995). Optical Spectroscopy of Luminous Infrared Galaxies. II. Analysis of the Nuclear and Long-Slit Data. *ApJS*, 98:171.
- Volonteri, M. (2012). The formation and evolution of massive black holes. *Science*, 337(6094):544–.
- Wang, J. M., Ho, L. C., y Staubert, R. (2003). The central engines of radio-loud quasars. *A&A*, 409:887–898.
- Wilson, A. S. y Heckman, T. M. (1985). The narrow line region and associated radio emission in active galactic nuclei. En Miller, J. S., editor, *Astrophysics of Active Galaxies and Quasi-Stellar Objects*, pp. 39–109.
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, John E., J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bakken, J. A., Barkhouser, R., Bastian, S., Berman, E., Boroski, W. N., Bracker, S., Briegel, C., Briggs, J. W., Brinkmann, J., Brunner, R., Burles, S., Carey, L., Carr, M. A., Castander, F. J., Chen, B., Colestock, P. L., Connolly, A. J., Crocker, J. H., Csabai, I., Czarapata, P. C., Davis, J. E., Doi, M., Dombeck, T., Eisenstein, D., Ellman, N., Elms,

B. R., Evans, M. L., Fan, X., Federwitz, G. R., Fiscelli, L., Friedman, S., Frieman, J. A., Fukugita, M., Gillespie, B., Gunn, J. E., Gurbani, V. K., de Haas, E., Haldeman, M., Harris, F. H., Hayes, J., Heckman, T. M., Hennessy, G. S., Hindsley, R. B., Holm, S., Holmgren, D. J., Huang, C.-h., Hull, C., Husby, D., Ichikawa, S.-I., Ichikawa, T., Ivezić, Ž., Kent, S., Kim, R. S. J., Kinney, E., Klaene, M., Kleinman, A. N., Kleinman, S., Knapp, G. R., Korienek, J., Kron, R. G., Kunszt, P. Z., Lamb, D. Q., Lee, B., Leger, R. F., Lim-mongkol, S., Lindenmeyer, C., Long, D. C., Loomis, C., Loveday, J., Lucinio, R., Lupton, R. H., MacKinnon, B., Mannery, E. J., Mantsch, P. M., Margon, B., McGehee, P., McKay, T. A., Meiksin, A., Merelli, A., Monet, D. G., Munn, J. A., Narayanan, V. K., Nash, T., Neilsen, E., Neswold, R., Newberg, H. J., Nichol, R. C., Nicinski, T., Nonino, M., Okada, N., Okamura, S., Ostriker, J. P., Owen, R., Pauls, A. G., Peoples, J., Peterson, R. L., Petravick, D., Pier, J. R., Pope, A., Pordes, R., Prosapio, A., Rechenmacher, R., Quinn, T. R., Richards, G. T., Richmond, M. W., Rivetta, C. H., Rockosi, C. M., Ruthmansdorfer, K., Sandford, D., Schlegel, D. J., Schneider, D. P., Sekiguchi, M., Sergey, G., Shimasaku, K., Siegmund, W. A., Smee, S., Smith, J. A., Snedden, S., Stone, R., Stoughton, C., Strauss, M. A., Stubbs, C., SubbaRao, M., Szalay, A. S., Szapudi, I., Szokoly, G. P., Thakar, A. R., Tremonti, C., Tucker, D. L., Uomoto, A., Vanden Berk, D., Vogeley, M. S., Waddell, P., Wang, S.-i., Watanabe, M., Weinberg, D. H., Yanny, B., Yasuda, N., y SDSS Collaboration (2000). The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary. *AJ*, 120(3):1579–1587.