

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA
TESIS SOMETIDA PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
(ASTROFÍSICA)



TÍTULO:
ESTADO EVOLUTIVO Y ESTRUCTURA INTERNA DE LOS SUPERCÚMULOS DE
GALAXIAS

Por:

Marcel Chow Martínez

DIRECTOR:

Dr. César Augusto Caretta

CO-DIRECTOR:

Dr. Heinz Andernach

Dedicado a Sofía y Elsa...
Los dos granitos de azúcar

Agradecimientos

*“science is like sex; it has practical uses,
but that is not why we do it...”*

Este ha sido, como diría Bilbo Bolson, la historia de una ida y una vuelta. Ahora toca la larga lista de agradecimiento a todos los que me han acompañado a realizar tan largo viaje. En primer plano debo agradecer a mis dos asesores, sin quienes este trabajo no tendría la más mínima posibilidad de haber existido. Primeramente a César Caretta que me ha aguantado como ningún asesor que yo halla tenido antes ni tendré nunca lo ha hecho, como siempre con una inmutable paciencia y siempre presto a ayudar en cualquier detalle. César tiene ese poder de transmitirle e inculcarle uno un gran amor por las galaxias, los cúmulos y los supercúmulos y siempre esta abierto a explorar ideas nuevas y extrañas. En segundo lugar, aunque no menos caro para mi, agradezco a Heinz Andernach quien siempre supo poner el punto sobre las i-es en este proyecto. Heinz es ese tipo de persona que hace la pregunta clave que es necesario hacerse, pero que nadie ha tomado en cuenta. Además, le debo la vida a Heinz al haberme enseñado VI, el editor de texto con el que estoy escribiendo este documento y con el cual escribí mis artículos y administre esas extensas tablas de datos. Sin lugar a duda VI fue herramienta fundamental durante todo el proceso de este trabajo.

Un agradecimiento a mis sinodales ...

Un agradecimiento conjunto a mis colegas, con los que compartí cubículos y tardes de café. Francisco Rendón sobresale entre todos, sin lugar a dudas el mexicano más raro y loco que he conocido. Su estima hacia él me es cara debido a esos lazos que se forman entre gentes que convergen en lugares y tiempos y que se convierten en compañeros casi de “guerra”, tal como sucede con los colegas de trincheras. Otro tanto para Yoganarasimhan Venkatapaty, a quién no siempre entendí con firmeza, pero que fue amistoso a su manera. No puedo dejar de mencionar al animoso Santiago Arceo y las filosóficas conversaciones de física cuántica que compartí con él. Ni mucho menos al fiestero René Ortega Minakata, siempre dispuesto a compartir una chela. Sin menos reconocimiento se les agradece a Abdías Morales, Fernando Romero, Daniel Neri y Ramiro Alvarez, cuya calida compañía me hicieron sentir a mi mismo como un mexicano más. Y por supuesto a la risueña Lili Hernández, siempre pensando en la naturaleza y en la música.

En general, a todo el pueblo mexicano, que a través del programa de becas CONACYT, permitió que pudiero yo culminar el sueño de convertirme en doctor en astrofísica.

Un agradecimiento conjunto a todo el profesorado y personal administrativo del Departamento de Astronomía de la Universidad de Guanajuato.

Un agradecimiento a la gente del Observatorio Astronómico de la UNAN-MANAGUA, siempre en apoyo y esperanza a mi retorno, especialmente Humberto García y al Profesor Javier Pichardo, quien además me ha dado un voto de confianza para empezar a laborar aun cuando mi título es solo una promesa.

Un agradecimiento al profesor José Peña, que me ayudo a dar los primeros pasos en el mundo de la astronomía y sin cuyo apoyo yo hubiese empezado este viaje; así como también al personal del Observatorio Astronómico Nacional de Tonanzintla, especialmente a Atanacio Pani.

Un agradecimiento muy grande a mi esposa, Elsa, quién aguardo por mi con mucha paciencia todos estos difíciles pero productivos años. Que mayor orgullo para un hombre un amor como ese. A mi pequeña Sofía que entra en mi vida como el siguiente gran reto y que nos da esperanza en que las nuevas generaciones no perderán la gracia y el entusiasmo. Otro muy fuerte a mi mamá, Patricia Martínez y a mi papá Juan Ramon. A ellos les toco estar donde en este momento yo estoy con Sofía y le echaron ganas (yo soy el producto de todo ese quilombo, aunque suene mal que yo lo diga). A mi hermano, con cariño, dispuesto a las retas en el Gears. A mi tía, Eloisa Robles, sin duda parte fundamental de la familia que esta presta a ayudar frente a la necesidad de estos duros años.

Abstract

Superclusters of galaxies are usually defined as “clusters of clusters” since the most of all-sky catalogs of supercluster are based in clusters of galaxies. In this work, we characterized a sample of clusters embedded in superclusters of the Main SuperCluster Catalogue (MSCC). We study the effect of large scale structure on this cluster and how this effect is larger in function of the proximity to the centers or “cores” of the supercluster (defined as the largest potential wells inside the superclusters). To do that, we calculate the local cluster density using a Voronoi tessellation (for all MSCC volume), and, also, the caustic mass of 700 clusters (such with 30 or more radial velocities available for its galaxies). We collect other properties as the X-ray luminosity (taken from Piffaretti et al. 2011) and the Sunyaev-Zel’dovich signal (taken from Planck Collaboration 2015a) to compare clusters not only in different supercluster host but in different density environment. Environment categories are defined to classify clusters, separating clusters in rich superclusters (multiplicity $m \geq 5$) in: core clusters, filament cluster and periphery clusters, in dependence of the proximities of the clusters to the cores. Finally, we study the Star Formation Histories (SFH) of the galaxies members of the clusters. As results of this estudy, we found that the massive clusters evolve in all enviroments but is more frequently find them superclusters cores. Also, we found 2 kinds of cores: (1) cores integrated by only one massive cluster and, (2) cores formed by multiples (no-neccesary massive) clusters. Respect to the SFH, we found that the specific SFH is larger in galaxy members of clusters in cores than clusters in other enviroments. However, comparing with galaxies in voids, we conclude that the specific star formation is, in general, the largest in these galaxies than in galaxies in clusters. In adition to these results we also presents 485 new radial velocities for 169 clusters, which were integrated to the Andernach ’s compilation.

Resumen

Los supercúmulos de galaxias son usualmente definidos como “cúmulos de cúmulos de galaxias”, dado que la mayoría de los catálogos de supercúmulos de galaxias están basados en cúmulos de galaxias. En este trabajo, se caracterizó una muestra de cúmulos pertenecientes a supercúmulos del Main SuperCluster Catalogue (MSCC). Estudiamos el efecto que la estructura a gran escala tiene sobre los cúmulos de galaxias y como el grado de este efecto esta relacionado con la proximidad que tienen los cúmulos a los centros ó “*cores*” (definidos como los mayores pozos de potencial del supercúmulo) de los supercúmulos. Para realizar esto, calculamos la densidad local de cúmulos usando una tesselación de Voronoi (para todo el volumen de MSCC) y también calculamos la masa de 700 cúmulos (aquellos con 30 o más medidas de velocidades radiales para galaxias individuales de nuestra muestra) usando el método de cáusticas. Otras dos propiedades fueron extraídas de la literatura: la luminosidad en rayos X (tomado de Piffaretti et al. 2011) y la señal Sunyaev-Zel’dovich (tomado de Planck Collaboration 2015a). Estas propiedades son usadas para comparar cúmulos localizados en ambientes con diferentes densidades y tipos de supercúmulos. Categorías de ambiente son definidas para clasificar cada cúmulo, separando los cúmulos de supercúmulos ricos (multiplicidad $m \geq 5$) en: cúmulos en *cores*, cúmulos en filamentos y cúmulos en periferia, en dependencia de la proximidad de los cúmulos a los *cores*. Una vez que los ambientes de los cúmulos han sido definidos, los cúmulos se separan por categorías y se usan esas categorías para estudiar las Historias de Formación Estelar (HFE) de las galaxias miembro de los cúmulos. Como resultado de estos estudios, se encuentra que los cúmulos masivos se forman en todos los ambientes aunque se forman con mayor frecuencia en los *cores* de los supercúmulos. Además, se encuentran dos tipos de *cores*: (1) los *cores* formados frecuentemente por un único cúmulo masivo, y (2) los *cores* formados por multiples cúmulos no necesariamente masivos. Las HFE específicas de las galaxias son mayores en galaxias pertenecientes a los cúmulos *cores* que en galaxias de cúmulos en otros ambientes. No obstante comparando las HFS de galaxias en vacíos, se llega a la conclusión de que la formación estelar específica ha sido, en general, mayor en estas galaxias que en galaxias miembros de cúmulos. En adición a estos resultados, presentamos 485 nuevas velocidades radiales para 172 cúmulos de galaxias Abell, las cuales han sido integradas a la compilación de Andernach.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Breve Resumen Histórico	2
1.2. Evolución y Propiedades de los Supercúmulos	5
1.3. Cúmulos Abell y supercúmulos de MSCC	6
1.4. Relevancia y Objetivos	9
2. Cúmulos ACO en $z \leq 0.15$	11
2.1. Compilación de Andernach	11
2.2. Nuevas velocidades radiales	13
2.3. Densidades locales: Teselación de Voronoi	13
2.4. Masas: Técnica de cáusticas	15
2.4.1. Centros de los Cúmulos	20
2.4.2. Determinación de la Cáustica	22
2.4.3. Análisis de las masas de cáusticas	24
2.4.4. King <i>vs</i> NFW	26
3. Supercúmulos de Galaxias en MSCC	29
3.1. Funciones de Multiplicidad	29
3.2. Morfología de los Supercúmulos de MSCC: Ajuste de Elipsoides	33
3.3. Estructura Interna de Supercúmulos	37
3.3.1. La definición de “ <i>core</i> ”	38
3.3.2. La definición de Filamento	41
3.3.3. Método C: método independiente de masa	42
3.3.4. Comparación con casos de estudio de supercúmulos en la literatura	42
3.3.5. Propiedades de los Cúmulos en Diferentes Ambientes	45
3.3.6. La Posición de los <i>Cores</i>	50
3.3.7. El Relativo Aislamiento de MMC	52
4. Galaxias en Supercúmulos y Vacíos Cósmicos	55
4.1. Síntesis de Poblaciones Estelares	55
4.2. Supercúmulos y Vacíos Cósmicos en la Región de SDSS	57
4.3. SFH de las Galaxias en Vacíos Cósmicos	61

4.4. SFH de las Galaxias en Supercúmulos de MSCC	61
4.5. Edad Promedio de las Galaxias	66
4.6. Taxonomía de la Actividad Galáctica	67
5. Discusión y Conclusiones	73
5.1. Cúmulos ACO en $z \leq 0.15$	73
5.2. Supercúmulos de Galaxias en MSCC	75
5.3. Galaxias en Supercúmulos y Vacíos Cósmicos	79
5.4. Recomendaciones a futuro	81
A. Observaciones Espectroscópicas	83
B. Método del Kernel Adaptativo	89
C. MMC y DPC	91

Índice de figuras

1.1. Supercúmulo Local según de Vacoulers	3
1.2. Supercúmulo <i>Coma-Leo</i>	4
1.3. Supercúmulo Laniakea	4
1.4. Mapas de Proyección de MSCC y SSCC	7
2.1. Distribución de los cúmulos de la compilación de Andernach	12
2.2. Teselación de Voronoi	14
2.3. Función de contraste de densidad de MSCC	16
2.4. Distancia cúmulocéntrica <i>vs.</i> velocidad radial de A0085	17
2.5. Comparación de los Modelos de NFW y King	19
2.6. Proyección en el plano del cielo de A0085	21
2.7. Ajuste de cáustica de A0085	23
2.8. Valores de m_{500} de Piffaretti et al. 2011 <i>vs.</i> método de cáustica	25
2.9. Distribución del MLE	28
3.1. Función de multiplicidad de catálogos de supercúmulos	30
3.2. Elipsoides de dispersión para los supercúmulos <i>Horologium-Reticulum</i> y <i>Sculptor</i>	33
3.3. Distribución de morfologías obtenidas con los <i>shapefinders</i> K_1 y K_2	36
3.4. Comparación del <i>Shape Spectrum</i>	37
3.5. <i>Boxplots</i> de la distribución de la multiplicidad para supercúmulos panquecas y filamentos de MSCC	38
3.6. <i>Boxplots</i> del contraste de densidad para muestras A, B y C	42
3.7. Gráfico de barras para las fracciones cúmulos de las propiedades observacionales medidas	47
3.8. <i>Boxplots</i> de las propiedades de las muestras A, B y C	49
3.9. Pruebas sobre la posición de los <i>cores</i> respecto a sus supercúmulos	51
4.1. Distribución en el cielo de los supercúmulos de MSCC y vacíos cósmicos en la región del SDSS	58
4.2. Características generales de los vacíos cósmicos de Varela et al. (2012)	59
4.3. <i>Stack</i> de las galaxias de los vacíos cósmicos de Varela et al. (2012)	60
4.4. sSFH de los vacíos cósmicos	60
4.5. <i>Boxplots</i> de masas estelares de galaxias en MSCC y Vacíos Cósmicos	63

4.6. sSFH de las muestras A, B y C	65
4.7. sSFH de los Supercúmulos y los Vacíos	66
4.8. <i>Boxplots</i> de la distribución de las edades promedios de las muestras A, B y C	68
4.9. Diagramas BPT: MSCC vs. vacíos cósmicos	70
4.10. BPT de las muestras A, B y C	72
A.1. Distribución global del error y del parámetro R	85
A.2. <i>Boxplots</i> del error y del parámetro R por temporada	86
A.3. Comparación con la compilación de Andernach	87

Índice de tablas

3.1. Propiedades de los catálogos de supercúmulos	31
3.2. <i>Morfologías de Supercúmulos</i>	36
3.3. Resumen de las fracciones de cúmulos para las muestras A, B y C	48
4.1. <i>Stack</i> de las galaxias en las muestras A, B y C	62
A.1. Observatorios y Configuraciones telescopio+espectrómetro	83
A.2. Temporadas de Observación	84
C.1. Lista de MMC y DPC	91