

Tabla de Contenido

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación | 1 |
| 1.2. Formulación del estudio propuesto | 3 |
| 1.3. Objetivos | 5 |
| 1.3.1. Objetivo General | 5 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 5 |
| 1.4. Hipótesis de trabajo | 5 |
| 2. Marco geológico | 9 |
| 2.1. Características superficiales globales | 9 |
| 2.1.1. Altitud superficial | 9 |
| 2.1.2. Composición cortical | 10 |
| 2.1.3. Reacciones atmósfera-superficie | 14 |
| 2.2. Características atmosféricas globales | 15 |
| 2.2.1. Aspectos generales | 15 |
| 2.2.2. Atmósfera inferior | 18 |
| 2.2.3. Nubes | 20 |
| 2.2.4. Temperatura | 21 |
| 2.3. Principales estructuras geológicas y distribución | 22 |
| 2.3.1. Estructuras sedimentarias y meteorización | 22 |
| 2.3.2. Estructuras volcánicas | 23 |
| 2.3.3. Terrenos volcánicos de grandes dimensiones | 28 |
| 2.3.4. Estructuras tectónicas | 29 |
| 2.3.5. Cráteres | 30 |
| 2.4. Estructura interna | 31 |
| 2.5. Geología local | 34 |
| 2.5.1. Zona de estudio | 35 |
| 3. Marco teórico | 38 |
| 3.1. Transferencia radiativa de energía | 38 |
| 3.1.1. Radiación: Definiciones básicas | 38 |
| 3.2. Radiación Superficial en Venus | 39 |
| 3.2.1. Emisividad superficial | 43 |
| 4. Metodología | 46 |
| 4.1. Datos observacionales | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.1. Imágenes de VIRTIS | 46 |
| 4.2. Procesamiento de imágenes | 49 |
| 4.2.1. Software: IDL y ArcGIS | 49 |
| 4.2.2. Imágenes VIRTIS | 49 |
| 4.2.3. Imágenes Magellan | 51 |
| 4.3. Construcción mapa de emisividad y anomalía de flujo | 51 |
| 4.3.1. Cálculo de la temperatura | 52 |
| 4.3.2. Anomalía de flujo y emisividad | 53 |
| 5. Resultados | 55 |
| 5.1. Mapa geológico/geomorfológico | 55 |
| 5.2. Mapas de temperatura y emisividad | 59 |
| 5.3. Principales estructuras volcánicas | 65 |
| 5.4. Análisis técnico de los resultados | 67 |
| 6. Discusión | 73 |
| 6.1. Emisividad | 73 |
| 6.1.1. Comparación de los datos | 73 |
| 6.1.2. Datos nuevos | 74 |
| 6.1.3. Otros factores | 74 |
| 6.2. Interpretación geotectónica | 75 |
| 6.3. Alcances de esta memoria | 76 |
| 7. Conclusiones | 78 |
| 8. Glosario | 80 |
| Bibliografía | 82 |
| Apéndices/Anexos | 91 |
| A. Listado coronas | 92 |
| B. Volcanes zona de estudios | 94 |
| C. Leyenda mapa geológico/geomorfológico | 98 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| 1.1. Características físicas de los planetas rocosos en el Sistema Solar. Modificado de (Park, 2016) | 3 |
| 1.2. Comparación de la composición atmosférica de la Tierra y Venus (Cardesín, 2015) | 4 |
| 2.1. Análisis elemental XRF de la superficie de Venus | 11 |
| 2.2. Análisis de rayos γ de la superficie de Venus | 11 |
| 2.3. Composición normativa de las muestras de Venus y posibles análogos terrestres | 13 |
| 2.4. Principales características físicas de la atmósfera de Venus y la Tierra | 15 |
| 2.5. Composición química de la atmósfera de Venus, fuente, motivo de disminución y comparación con la atmósfera terrestre | 17 |
| 2.6. Principales estructuras volcánicas y tectónicas presentes en Venus. | 24 |
| 2.7. Características principales de las estructuras volcánicas en Venus | 26 |
| 2.8. Segmentos de la porción este de Parga chasma | 35 |
| 4.1. Características de VIRTIS. Modificado de Lee (2012) | 47 |
| 4.2. Fase de la misión Venus Express. Modificado de Politi et al. (2014). | 48 |
| 4.3. Sistema de coordenadas geográficas para Venus. | 52 |
| 5.1. Constantes físicas utilizadas en la obtención de los resultados | 55 |
| 5.2. Área total y porcentaje equivalente para las 6 principales divisiones geológicas/geomorfológicas en la área de estudio | 58 |
| 5.3. Información de las imágenes de VIRTIS utilizadas en la obtención de los mapas | 59 |
| A.1. Características de las 42 coronas en los segmentos estudiados de la región Parga Chasma | 93 |
| B.1. Listado de volcanes de la zona de estudio. Modificado del catálogo de volcanes generado por la USGS. Abreviaturas de la clasificación de volcanes: arcanoide (AR),Caldera(CD), Coronas(CO), Novas(SFC), Campo de volcanes escudo(SF), Volcanes intermedios (IV) y subtipos (FD SD RF), Volcanes grandes (LV). Definición de cada uno en la tabla 2.7 | 94 |

Índice de ilustraciones

| | | |
|------|---|----|
| 1.1. | Mapa topográfico de Venus basado en los datos obtenidos por el radar de apertura sintética(SAR) y radar de altimetría de la misión Magellan (1989-1994) y mapa de acercamiento a la zona de estudio. Ambas imágenes están pintadas de acuerdo a la topografía, con los colores indicados en la barra que equivalen a valores que van desde -4km a 10 km de altitud. a) Imagen global de Venus, que excluye a los polos. Zona marcada con línea punteada indica la zona BAT, región en forma de triángulo en el que cada vértice equivale a las regiones Beta, Atla y Themis. b)Zona de estudio: zona marcada como un rectángulo con línea continua. Esta zona incluye al segmento sur-este del chasma llamado Parga y a la región Themis, esquina sur del triángulo BAT. Imagen modificada de USGS (2017) | 7 |
| 1.2. | Emisividad superficial obtenida a partir de los datos del espectrometro VIRTIS. Áreas marcadas indican las regiones con alta emisividad, con valores cercanos a 0.7. Imagen modificada de Smrekar et al. (2010) | 8 |
| 2.1. | Hipsografía de Venus, Tierra y Marte. Distribución modal de la altitud en función del área cubierta. Línea punteada representa el relieve promedio en cada planeta. Modificado de Mikhail and Heap (2017) | 10 |
| 2.2. | Imágenes de la superficie de Venus tomadas en los 4 sitios de aterrizaje de las misiones Venera 9 (a), 10(b), 13(c) y 14(d). Todas fueron tomadas con cámaras de televisión, la resolución de las cámaras de los Venera 13 y 14 es de 11', que equivale al doble de la resolución de los venera 9 y 10 (Surkov et al., 1984). La resolución angular de las cámaras en los Venera 13 y 14 permitió un acercamiento de la superficie mayor logrando observar detalles de hasta 4-5 mm en el área más cercana al <i>lander</i> (Surkov et al., 1984). Modificado de Mitchell (2003) | 12 |
| 2.3. | Esquema atmosférico desde la superficie hasta 120km de altitud. Principales divisiones: Termósfera (>100km, atmósfera superior), mesósfera (atmósfera intermedia) y troposfera (<60km atmósfera inferior), donde el límite entre la termósfera y la mesósfera es la mesopausa, y el límite superior de la troposfera es la tropopausa. También se observa la división de la capa de nubes: capa superior, media e inferior. Se detalla la velocidad y dirección de las nubes en la capa superior. También se muestra la variación de la temperatura de acuerdo a la altitud (Linea punteada) de acuerdo al modelo propuesto por VIRA (<i>Venus International Reference Atmosphere</i>). Se destacan las principales especies químicas presentes en la atmósfera y nubes, la velocidad del viento y las principales ventanas atmosféricas señalando la procedencia de la radiación. Modificado de Basilevsky and Head (2003); Drossart and Montmessin (2015); Lee (2012) | 16 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4. | Proporción promedio de los principales gases presentes entre la superficie y los 100 km de altitud. Modificado de Cardesín (2015) | 19 |
| 2.5. | Compilación de las mediciones realizadas por las misiones Pioneer(color gris) y Venus Express(color rojo) de abundancia de SO ₂ a 70 km de altitud | 19 |
| 2.6. | Perfil comparativo entre la temperatura estimada por VIRA y la obtenida por la misión Vega 2. Ambas temperaturas son restadas y la diferencia observada en el perfil muestra que la temperatura obtenida por la misión Vega 2 es superior a la obtenido por los modelos propuestos por VIRA, en la mayoría de los casos. También se destacan dos regiones etiquetadas como a y b, donde la variación entre ambos valores es considerable. Esta diferencia, para el rango establecido en la región a, puede deberse tanto a incertezas en los modelos como también en variaciones locales que pudieron haber afectado los datos al ser medidos por la misión Vega 2. Modificado de Zasova et al. (2007) | 21 |
| 2.7. | a)Manto opaco alrededor del cráter Stuart (señalizado con la flecha) (Christiansen and Hmblin, 2007). b) Campo de dunas masivo, centrado en 67.7°N, 90.5°E (Greeley et al., 1992; LPI, 2017). c) Colinas esculpidas por el viento (yardangs), centrado en 9°N, 60.7°E (Greeley et al., 1992) | 22 |
| 2.8. | Estructuras volcánicas en forma de domo (<i>pancake</i>) | 23 |
| 2.9. | Comparación gráfica entre volcanes escudo en Venus y la Tierra donde las dimensiones son una aproximación de las dimensiones observadas en ambos planetas. En la Tierra el volcán escudo más alto es el Mauna Kea, con 10 km de alto, y el más largo alcanza los 120 km . Ambos volcanes son parte de los 5 volcanes ubicados en la isla de Hawaïi (de Silva and Lindsay, 2015). Por otra parte, el ancho máximo de los volcanes escudo en Venus está entre 500-700 km y la máxima elevación es de 5.5km (Hansen et al., 1997). Modificada de Christiansen and Hmblin (2007) | 25 |
| 2.10. | Canal de lava sinusoidal de 200 km de largo. Ubicado a 49°de latitud sur y 273°de longitud este. las dimensiones de la imagen son de 130 x190 km (NASA/JPL, 2017). | 25 |
| 2.11. | Perfiles de los tipos topográficos asociados a las coronas. Modificado de Stofan et al. (1997) | 27 |
| 2.12. | Modelo conceptual de los pasos principales para la formación de las coronas en Venus. Paso 1, el diapiro matélico se mueve en dirección a la superficie, provocando deformación superficial elevandola, formando un domo, provocando fracturas radiales y posible volcanismo. Paso 2a, el diapiro afecta la listósfera y a la vez modifica su forma extendiéndose radialmente, transformando la forma superficie de un domo a un estructura como plateau, continuando el volcanismo. Paso 2b, el diapiro se enfría, removiendo el soporte termal que sustentaba la topografía de plateau, lo que permite el relajamiento gravitacional posterior la superficie, pasando a formar fosos, bordes y depresiones interiores (figura 2.11). Finalizando los pasos anteriores se producen las fracturas concéntricas características de las coronas. Los pasos 2a y 2b pueden sobreponerse en el tiempo. Modificado de Squyres et al. (1992); Stofan et al. (1997) | 28 |
| 2.13. | Ubicación de los principales centros volcánicos. Extraído de Stofan et al. (1995) . . | 29 |
| 2.14. | Posible estadios de evolución tectónica en planetas rocosos en función del espesor litosférico, tiempo para ciertos planetas rocosos y satélites en el sistema solar. Se postula que escenario terrestre es una fusión entre el estado actual de Venus y el de Marte. Modificado de Stern et al. (2017) | 32 |
| 2.15. | Esquema de | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.16. | División de Parga chasma por segmentos del 1 al 15, donde el número 15 equivale a la región Themis. Modificado de Martin et al. (2007) | 34 |
| 2.17. | Clasificación por edad de los <i>rift</i> y estructuras volcánicas a nivel global. Para los <i>rift</i> la clasificación se realizó marcando zonas de <i>rift</i> con diferentes colores y también en forma individual marcando con líneas negras o blancas las diferentes estructuras tectónicas. El rectángulo rojo representa el área de estudio donde se ubica el chasma Parga y la región de Themis. Además, en el zoom realizado para esta zona en rojo, están marcadas en amarillo las estructuras volcánicas mf, COn, COm, fTs, fMm y fS2, las cuales se destacan por ser relevante en el análisis de los resultados. Adicionalmente se destacan las regiones Imdr y Dione (círculos negros) por ser las regiones con mayor emisividad encontrada por Smrekar et al. (2010) y que muestran estructuras volcánicas y tectónicas relativamente jóvenes. En cuando a la región de Themis, muestra una combinación de estructuras viejas volcánicas y tectónicas de diferente edad relativa. La etiqueta pre y post pwr hace referencia a que su formación fue anterior o posterior al gran evento de <i>resurfacing</i> ocurrido hace 500Ma aproximadamente. Modificado de (Krassilnikov et al., 2012) | 37 |
| 3.1. | Espectro de radiación de Venus, visto desde el espacio. Comparación entre las tres fuentes de emisión: radiación solar reflejada, emisión termal de las nubes y la mesosfera y emisión de la atmósfera inferior y superficie medida durante la noche en Venus. Modificado de Lee (2012); Titov et al. (2007) | 40 |
| 3.2. | Esquema que representa el modelo de transferencia radiativa de energía desde la atmósfera proveniente de la superficie, y observado durante la noche. El flujo F_{TOA}^{\uparrow} representa a la radiación saliente desde la atmósfera superior, mientras que $F_{Superficie}^{\uparrow}$ y $F_{Superficie}^{\downarrow}$ representan el flujo de salida y entrada de la radiación proveniente de la superficie. Modificado de Hashimoto and Sugita (2003) | 41 |
| 3.3. | Perfiles de emisividad respecto a la longitud de onda, para diferentes minerales anhidros. Los espectro de reflectividad provienen de la base de datos de Clark et al. (2007), donde las muestras son: hematita= GDS27, olivino=HS420.3B Fo, cuarzo= HS32.4B, diopsido=HS15.3B, enstatita= NMNH128288, anortita=HS201.3B | 45 |
| 4.1. | Instrumentos a bordo de Venux Expres y estimación del sector de la orbita donde cada uno obtuvo información. Extraido de Shalygin et al. (2015) | 47 |
| 4.2. | Representación de un cubo de datos (Qube). Modificado de Politi et al. (2014) | 48 |
| 4.3. | Espectro de emisión de Venus en el rango del infrarrojo cercano. Se señalan las bandas utilizadas y la longitud de onda de cada una. Modificado de Muller et al. (2008) | 50 |
| 4.4. | Ubicación ángulo de emisión (e), incidencia(i) y de fase (p) | 52 |
| 5.1. | Ubicación de la zona de estudio (rectángulo gris), cuadrantes involucrados (zonas achuradas) y región Themis (región punteada, definida por Stofan and Brian (2012)). La imagen muestra solo la porción oeste del planeta | 56 |
| 5.2. | Mapa geológico de la región estudiada, realizado a partir de la compilación de información de los mapas de la región Galindo, Themis, Helen y Phoebe. En la leyenda se muestra la clasificación por unidades geomorfológicas y el detalle por unidad y etiqueta se encuentra en el apéndice C | 57 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.3. | Histograma de emisividad versus densidad de píxeles en las imágenes utilizadas (tabla 5.3). Los valores se concentran entre 0.4 y 0.7 en ambos casos. | 60 |
| 5.4. | Mapa de temperatura atmosférica, equivalente a capas atmosféricas inferiores, cercanas a la superficie. Realizado a partir del método 1 propuesto en la metodología. El detalle por unidad y etiqueta en cada estructura se encuentra en el apéndice C . | 61 |
| 5.5. | Mapa de temperatura superficial, realizado a partir del método 2 propuesto en la metodología. El detalle por unidad y etiqueta en cada estructura se encuentra en el apéndice C | 62 |
| 5.6. | Mapa de emisividad superficial. Destacan las estructuras de la región de Themis, ubicada en el extremo sur del mapa hasta el segmento p7. En este lugar destacan por su altos valores de emisividad las estructuras fMm y la corona n°34 (fS2). Otras estructuras con altos valores de emisividad son el monto mf y la corona n°1 (CO _n). El detalle por unidad y etiqueta en cada estructura se encuentra en el apéndice C . | 63 |
| 5.7. | Mapa de altitud. Líneas negras sobre el mapa corresponde a la ubicación de los 4 perfiles que se muestran en la figura 5.8. Construido a partir de la imagen del RADAR de la misión Magellan | 64 |
| 5.8. | Perfiles topográficos representados sobre el mapa de la figura 5.7. Cada perfil cuenta con la etiqueta y ubicación de la estructura volcánica | 65 |
| 5.9. | Mapas detallados de la corona n1. a) geología y geomorfología, b) emisividad, c) temperatura superficial, d) temperatura equivalente a capas atmosféricas inferiores, cercanas a la superficie | 69 |
| 5.10. | Mapas detallados de la corona n6. a) geología y geomorfología cercano a la corona n6, b) emisividad, c) temperatura superficial, d) temperatura equivalente a capas atmosféricas inferiores, cercanas a la superficie | 70 |
| 5.11. | Mapas detallados del edificio volcánico mf o monte Uretsete. a) geología y geomorfología, b) emisividad, c) temperatura superficial, d) temperatura equivalente a capas atmosféricas inferiores, cercanas a la superficie | 71 |
| 5.12. | Mapas detallados del edificio volcánico fmM o monte Mertseger. a) geología y geomorfología, b) emisividad, c) temperatura superficial, d) temperatura equivalente a capas atmosféricas inferiores, cercanas a la superficie | 72 |
| 6.1. | Proceso tectónico en torno a las coronas n°3(CO _m), corona n°1(CO _n) y el monte Uretsete (mf). El volcanismo es producido por la fusión parcial de la litósfera por plumas mantélicas debido al ascenso y descenso magmático en el manto. El esquema indica que el volcanismo en mf se produce por celdas convectivas de menor tamaño en el manto litosférico y el volcanismo en torno a la corona n°1 por ascenso magmático por fracturas cercanas al rift Parga. Esquema basado en perfiles generales para la litósfera venusiana y la generación de volcanismo, propuestos por Airey et al. (2017); Ovcharenko and Smrekar (2015); Phillips and Hansen (1998) | 75 |