



# **Universidad Nacional Autónoma de México**

Posgrado en Ciencias de la Tierra

Instituto de Geofísica

Ciencias Espaciales

**Estimación de la cantidad de H<sub>2</sub>O actual y su tasa de pérdida a lo largo del tiempo geológico en el planeta Marte**

## **T E S I S**

para la optar por el grado de:  
**Maestro en Ciencias de la Tierra**

Presenta:

**Geólogo. Jorge Andres Torres Celis**

Dirigida por:

Dr. Héctor Durand Manterola

Departamento de ciencias espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM

Comité Tutor

Dr. Alberto Flandes Mendoza

Departamento de ciencias espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM

Dr. Fernando Ortega Gutiérrez

Instituto de Geología, UNAM

Ciudad universitaria, Ciudad de México, Junio de 2021



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.

**Estimación de la cantidad de H<sub>2</sub>O actual y su tasa de pérdida a lo largo del tiempo geológico en el planeta Marte**

**Sustentante:**

Jorge Andres Torres Celis, Instituto de Geofísica UNAM

**Tutor:**

Dr. Héctor Durand Manterola

**Comité tutor:**

Dr. Fernando Ortega Gutiérrez

Dr. Alberto Flandes Mendoza

**Jurado asignado**

**Presidente:**

Dr. Fernando Ortega Gutiérrez

**Vocal:**

Dr. Román Álvarez Béjar

**Secretario:**

Dr. Héctor Durand Manterola

**Primer suplente:**

Dr. José Antonio Hernández Espriú


**Segundo suplente:**

Dr. Alberto Flandes Mendoza

## **Codigo de etica**

Declaro conocer el código de ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la legislación universitaria, con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el trabajo es original y enteramente de mi autoría.

Todas las citas de, o referencias a la obra de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jorge Torres Celis', with a long horizontal stroke extending to the right.

---

Jorge Andres Torres Celis

Geólogo

*Con todo mi amor para mi madre Olga Lucia y a mi hermano  
Ivan Fernando por su apoyo incondicional en estos años de  
ardua lucha que han llevado a la consecución de este nuevo  
logro en mi vida académica.*

*A Alitzel Quintana por todo su amor y comprensión.*

## **Agradecimientos**

Al **Dr. Héctor Durand Manterola**, Agradezco profundamente el acompañamiento y orientación recibida en el proceso de elaboración de la presente tesis, además de la paciencia exhibida durante el mismo y en segundo lugar por haberme recibido como estudiante ya que esto ha contribuido en gran medida con mi vida académica.

Al **Dr. Alberto Flandes** y **Dr. Fernando Ortega**, por aceptar formar parte de mi comité tutorial y por toda el acompañamiento y retroalimentación durante la elaboración de la presente tesis de Maestría.

Al **Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)**, Por el financiamiento para la realización exitosa de mis estudios de posgrado.

A la **Secretaria del Posgrado en Ciencias de la Tierra**, por el acompañamiento y asesoría en diferentes temas correspondientes a mis estudios de Maestría

A los **Geólogos Fabián Saavedra, Alvaro Daniel Suarez y Karen Reyes** por sus observaciones a la hora de realizar el presente trabajo.

# Contenido

<b>1. Resumen</b>	1
<b>2. Introducción y planteamiento de problema</b>	5
2.1 Introducción	5
2.2 Planteamiento de problema	9
2.3 Justificación	10
2.4 Objetivos	11
2.4.1 Objetivo general	11
2.4.2 Objetivos específicos	11
<b>3. Marco teórico</b>	12
3.1 El H <sub>2</sub> O durante la formación del planeta	13
3.2 El H <sub>2</sub> O en el Marte actual	14
3.2.1 El H <sub>2</sub> O en el Manto	17
3.2.2 El H <sub>2</sub> O en el subsuelo	20
3.2.3 El H <sub>2</sub> O en los casquetes polares	25
3.2.4 El H <sub>2</sub> O en minerales hidratados	27
3.2.5 El H <sub>2</sub> O en la atmósfera	29
3.3 El H <sub>2</sub> O en el tiempo geológico marciano	31
3.3.1 Evidencias en superficie de H <sub>2</sub> O en estado líquido	32
3.4 Mecanismos de pérdida de H <sub>2</sub> O	40
<b>4 Metodología</b>	41
4.1 Estimación de la cantidad de H <sub>2</sub> O durante la formación	41
4.2 Estimación de cantidades de H <sub>2</sub> O actual	42
4.2.1 Estimación de H <sub>2</sub> O en el subsuelo	42
4.2.2 Estimación de H <sub>2</sub> O en regiones polares	46
4.2.3 Estimación de H <sub>2</sub> O en el manto	49
4.2.4 Contenido de H <sub>2</sub> O en la atmósfera	50
4.3 Estimación de la pérdida de H <sub>2</sub> O en el planeta	51
4.4 Estimación de H <sub>2</sub> O disponible en la exploración humana	51
<b>5. Resultados y Discusión</b>	52

5.1 Contenido inicial estimado de H <sub>2</sub> O durante la formación	52
5.2 Contenido actual de H <sub>2</sub> O estimado para Marte	54
5.3 Estimación de la pérdida de H <sub>2</sub> O en el planeta	65
5.4 Estimación de H <sub>2</sub> O disponible para la exploración humana	68
5.5 Implicaciones Astrobiológicas	70
<b>6. Conclusiones</b>	72
<b>7. Referencias</b>	75
<b>Apéndice 1</b>	
Cronología de las misiones exitosas relacionadas con Marte	86
<b>Apéndice 2</b>	
Porosidad y $\kappa$ de las unidades geológicas marcianas	87
<b>Apéndice 3</b>	
Histograma de la capa ráster de porosidad total.	147
<b>Apéndice 4</b>	
Histograma de la capa ráster $\lambda$ .	148
<b>Apéndice 5</b>	
Histograma de la capa ráster de espesores de la corteza marciana.	149
<b>Apéndice 6</b>	
Histograma de la capa ráster de densidad de fracturamiento.	150



## Lista de Figuras

Figura 1. Estructura Interna de la Tierra y Marte	7
Figura 2. Comparación entre la escala del tiempo geológico de la tierra y el tiempo geológico de Marte	8
Figura 3. Procesos predominantes durante el tiempo geológico marciano	9
Figura 4. Diagrama de fase del H <sub>2</sub> O	14
Figura 5. variación en la distribución de las masas polares en función de los cambios en la oblicuidad	15
Figura 6. Modelo digital de elevación que muestra la dicotomía marciana	17
Figura 7. Modelo esquemático que muestra la evolución temprana de Marte	18
Figura 8. Representación del impacto generador de la dicotomía y la formación de Fobos y Deimos	18
Figura 9. Mapa del flujo de neutrones epitermales	19
Figura 10. Contenido de hidrógeno equivalente en H <sub>2</sub> O del suelo marciano	20
Figura 11. Diagrama de estabilidad del H <sub>2</sub> O en función de la profundidad para Marte	21
Figura 12. Esquema partes y límites del modelo hidrogeológico.	23
Figura 13. Casquetes polares durante el verano	25
Figura 14. Detección de H <sub>2</sub> O a través de un radagrama de la región polar sur	25
Figura 15. Mapa de detecciones de minerales hidratados en la superficie de Marte	26
Figura 16. Estructura de minerales hidratados	27
Figura 17. Perfiles típicos de proporción de mezcla de volumen de vapor de agua en la atmósfera	29
Figura 18. Representación artística del gran océano borealis en la superficie de Marte	31
Figura 19. Distribución de las redes de valles en Marte	32
Figura 20. distribución de lagos en Marte.	33
Figura 21. Distribución de deltas en Marte	33

Figura 22. Abanicos aluviales en el cráter Mojave en Marte	34
Figura 23. Distribución de Gullies en Marte	36
Figura 24. Distribución de RSL en Marte.	37
Figura 25. Estructuras sedimentarias en Marte.	39
Figura 26. Ejecta fluidizada en cráter de impacto en la región de Noachis terra en Marte.	40
Figura 27. Altimetría polo norte de Marte.	47
Figura 28. Altimetría polo sur de Marte.	48
Figura 29. Mapa de espesores de corteza	54
Figura 30. Mapa de espesores de la capa $\lambda$	55
Figura 31. Mapa de espesores del acuífero	56
Figura 32. Mapa de espesores del basamento	57
Figura 33. Mapa de conductividad térmica de los materiales geológicos de Marte.	58
Figura 34. Mapa de porosidad primaria de los materiales geológicos de Marte.	59
Figura 35. Mapa de densidad de fracturamiento para Marte.	60
Figura 36. Mapa de porosidad total para Marte.	60
Figura 37. Mapa para volumen del casquete polar Norte	62
Figura 38. Mapa para volumen del casquete polar Sur	63
Figura 39. Esquema de perforación para Marte	69
Figura 40. Misión prototipo VALK-YRIE de JPL	71

## Lista de tablas

Tabla 1. Características del planeta Marte	5
Tabla 2. Clasificación de condritas	12
Tabla 3. Contenido de agua de meteoritos condriticos	13
Tabla 4. Comparación de temperaturas entre la Tierra y Marte	14
Tabla 5. clasificación de meteoritos marcianos.	16
Tabla 6. Minerales hidratados detectados en Marte.	27
Tabla 7. Clasificación del mapa de densidad de fracturamiento y asignación de factores.	44
Tabla 8. Parámetros del elipsoide de referencia de Marte.	50
Tabla 9. Estimación del contenido de H <sub>2</sub> O inicial del planeta Marte a partir de composiciones condriticas.	52
Tabla 10. Volúmenes de las capas internas de Marte.	55
Tabla 11. Volúmenes de H <sub>2</sub> O en las capas de la corteza marciana.	61
Tabla 12. Volúmenes de H <sub>2</sub> O de los casquetes polares marcianos	63
Tabla 13. resumen de volúmenes de H <sub>2</sub> O actuales en Marte	63
Tabla 14. Contenido de H <sub>2</sub> O en la formación de marte vs contenido de H <sub>2</sub> O actual incluyendo la pérdida.	65
Tabla 15. Pérdidas de H <sub>2</sub> O por oxidación, viento solar y desgasamiento.	67
Tabla 16. Volumen total estimado de H <sub>2</sub> O disponible para misiones humanas.	68

## 1. Resumen

Desde hace décadas, la exploración de Marte ha sido uno de los mayores objetivos en materia de las ciencias del espacio. En la actualidad, más de veinte naciones participan de manera activa con un gran número de proyectos y misiones de carácter científico, cuyos principales objetivos son el estudio geológico, geofísico, geoquímico y geomorfológico del planeta, así como sus condiciones atmosféricas, la búsqueda del H<sub>2</sub>O, la caracterización de potenciales ambientes habitables y la detección de posibles formas de vida. Estas últimas, se constituyen como objetivos prioritarios a causa del desarrollo de distintos planes en materia de exploración científica y futuras misiones humanas. En este sentido, se vuelve fundamental estimar la cantidad de H<sub>2</sub>O y su ubicación en el planeta con especial énfasis en el porcentaje disponible para su explotación. La presente tesis ahonda en este aspecto. Su objetivo es la estimación del contenido de H<sub>2</sub>O durante la formación del planeta para ser contrastado con el contenido actual, y de esta manera conocer sus mecanismos de pérdida a lo largo del tiempo geológico. Para esto, se usaron distintos modelos matemáticos y computacionales en conjunto con sistemas de información geográficos para el procesamiento de los datos y mapas obtenidos por distintas misiones de agencias espaciales internacionales.

Para conocer el contenido de H<sub>2</sub>O inicial de Marte, se partió de la premisa de una composición condritica inicial durante su formación, como se plantea generalmente para los planetas terrestres, con esta se obtiene que el contenido de H<sub>2</sub>O es equivalente a la masa de ~0.15 océanos terrestres. Para la estimación del contenido del H<sub>2</sub>O en el presente se realizaron cálculos basados en los mapas de espesor de corteza, mapas geológicos y otros generados a partir de estos con la finalidad de proponer y delimitar un modelo hidrogeológico

que toma en cuenta la porosidad, la densidad, la conductividad hidráulica para estimar el contenido de H<sub>2</sub>O en el subsuelo, a nivel mantélico, además del cálculo del contenido de H<sub>2</sub>O en los casquetes polares y en la atmósfera obteniendo un contenido equivalente en océanos terrestres de ~0.92. Estas dos estimaciones se contrastan con el fin de conocer la cantidad de agua perdida a lo largo del tiempo, obteniendo así una pérdida equivalente en océanos terrestres de ~0.63 que a su vez se relaciona con mecanismos de pérdida principales como el barrido por viento solar, el escape atmosférico y la oxidación de la superficie.

**Palabras clave:** Marte, H<sub>2</sub>O, Exploración espacial, Ambientes habitables.

## Abstract

For decades the exploration of Mars has been one of the main objectives in the field of space sciences. Nowadays, more than twenty nations actively participate with a large number of scientific projects and missions whose main objectives are the geological, geophysical, geochemical and geomorphological study of the planet as well as its atmospheric conditions, the search for  $H_2O$ , along with the characterization of potential habitable environments and the detection of possible forms of life. The latter became priority objectives due to the development of different plans in terms of scientific exploration and future human missions. In this sense it becomes essential to estimate the amount of  $H_2O$  and its location on the planet with special emphasis on the percentage available for its exploitation.

This thesis deepens this aspect. Its objective is the estimation of  $H_2O$  content during the formation of the planet to be contrasted with its current content and thus understand the loss of it over geological time. Different mathematical and computational models were used for this purpose, along with geographic information systems for the processing of data and maps obtained by different missions of international space agencies.

To know the initial  $H_2O$  content, we started from the premise of an initial composition of the chondritic planet similar to the existing models for terrestrial planets, as a result equivalent values are obtained in terrestrial oceans of  $\sim 0.15$  with a higher content of enstatite chondrites. For the estimation of the  $H_2O$  content, calculations were made based on crust thickness maps, geological maps and others generated from them in order to propose and demarcate an hydrogeological model that takes porosity, density, and hydraulic conductivity

into account, to estimate H<sub>2</sub>O content in the subsoil, at the mantle level, as well as the calculation of H<sub>2</sub>O content in the polar caps and in the atmosphere obtaining an equivalent content in terrestrial oceans of ~ 0.92. These two estimates are contrasted in order to know the amount of water lost over time, consequently obtaining an equivalent loss in terrestrial oceans of ~ 0.63 which in turn is related to major loss mechanisms such as solar sweep, atmospheric escape and surface oxidation.

**Keywords:** Mars, H<sub>2</sub>O, Space exploration, Habitable environments.

## 2. Introducción y planteamiento del problema

### 2.1 introducción

Marte es el cuarto planeta en distancia desde el sol de nuestro sistema solar. Pertenece a los planetas rocosos, debe su nombre al dios romano de la Guerra, no se tiene certeza acerca de la época de su descubrimiento, pero es probable que se le conociera desde la edad de piedra. En el año 1877 Giovanni Schiaparelli descubrió en su superficie lineamientos que más tarde Percival Lowell asoció a canales construidos por civilizaciones inteligentes lo que despertó gran interés en resolver todos sus misterios e inspiró una gran cantidad de teorías, mitos y obras literarias. Posteriormente con el auge de la carrera espacial se constituyó en uno de los objetivos principales de las misiones después de la luna, desde entonces diversidad de orbitadores y rovers han realizado diferentes descubrimientos en el planeta rojo (ver Apéndice 1.).

Este cuerpo presenta una actividad geológica única controlada por sus características físicas y químicas que pueden verse en la (Tabla 1) elaborada con información de: [www.jpl.nasa.gov](http://www.jpl.nasa.gov), [www.mars.nasa.gov](http://www.mars.nasa.gov), [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov). (UA= Unidades Astronómicas, dm= día marciano).

.

E



<b>Tabla 1. Características del planeta Marte</b>	
Distancia al sol	1.5 U.A
Diámetro	6792 Km
Velocidad de Rotación (ecuatorial)	866 Km/h
Velocidad de Traslación	86676 Km/h
Masa	6.4169x10 <sup>23</sup> Kg
Duración del Día	24.39 h
Duración del año	687 dt
Gravedad	3.71 m/s <sup>2</sup>
Presión Atmosférica	0,6 KPa
Composición atmosférica	96% CO <sub>2</sub> , 1.5% Ar, 1.5%N y 1% otros
Satelites Naturales	Phobos y Deimos
Inclinación del eje de rotación	25.19°

Gracias a los datos obtenidos por distintos orbitadores y sondas se han logrado realizar grandes avances en la comprensión de los procesos que ocurren en su superficie y de su estructura interna (*Figura 1*). Aunque no existe certeza de esta última en gran medida por la falta de datos geofísicos, se espera mejorar esta información mejorará en los próximos años gracias a los datos que obtenga la sonda insight. Un modelo aproximado de la composición interna de Marte.

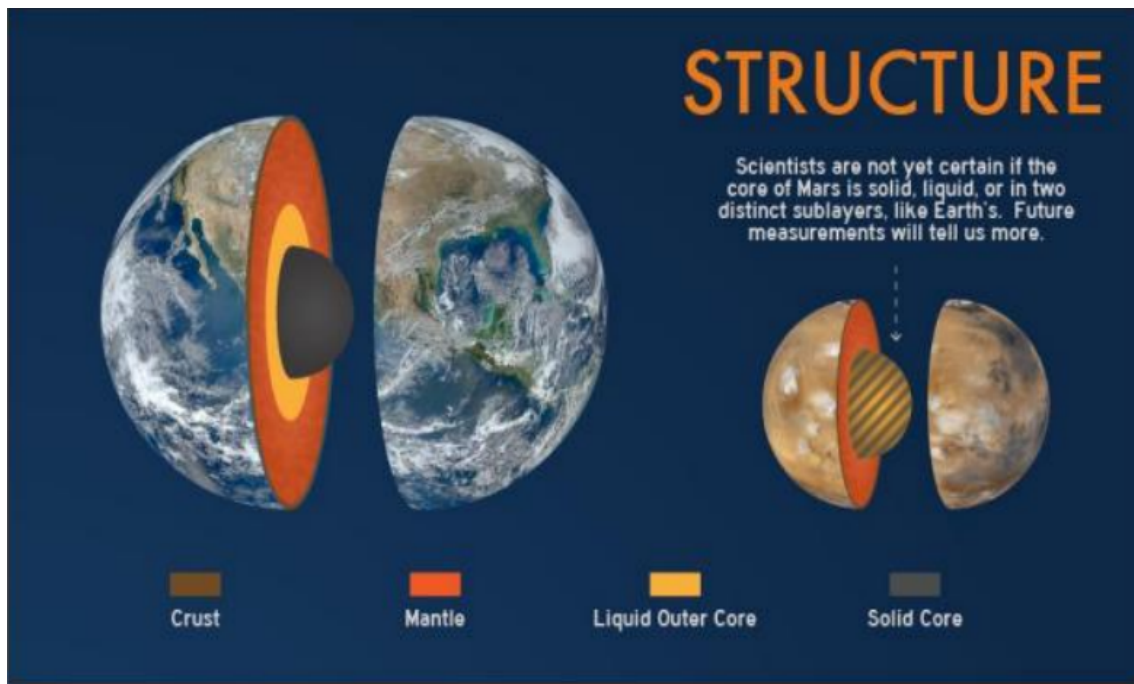


Figura. 1 Estructura Interna de la Tierra y Marte, tomada de: *mars.jpl.nasa.gov*.

La atmósfera de Marte es delgada, la presión que ejerce es de aproximadamente 0.6 kPa (*Greeley. R, et.al, 1981*) su composición aproximada puede verse en la *Tabla. 2*, en ella se presentan variaciones estacionales, generando el ciclo del CO<sub>2</sub>. La baja presión atmosférica es uno de los principales factores a la hora de comprender el comportamiento del H<sub>2</sub>O en este planeta, ya que imposibilita la presencia de agua líquida en superficie.

### 2.1.2 La evolución geológica de Marte

Marte al igual que otros planetas del sistema solar se formó aproximadamente hace 4.6 Ga; aunque en la actualidad Marte presenta baja actividad geológica en comparación con nuestro planeta, su superficie cuenta con grandes diferencias morfológicas como una de las mayores provincias volcánicas del sistema solar, grandes depresiones como el Valle Marineris, todos

estos rasgos nos permiten inferir que el planeta ha presentado un comportamiento dinámico a lo largo de su historia.

De manera análoga al caso de nuestro planeta todos los procesos requieren estar enmarcados en una escala temporal a la que denominamos el tiempo geológico (*Figura 2.*). Los procesos predominantes ocurridos a lo largo del tiempo en Marte pueden sintetizarse en la (*Figura 3.*).

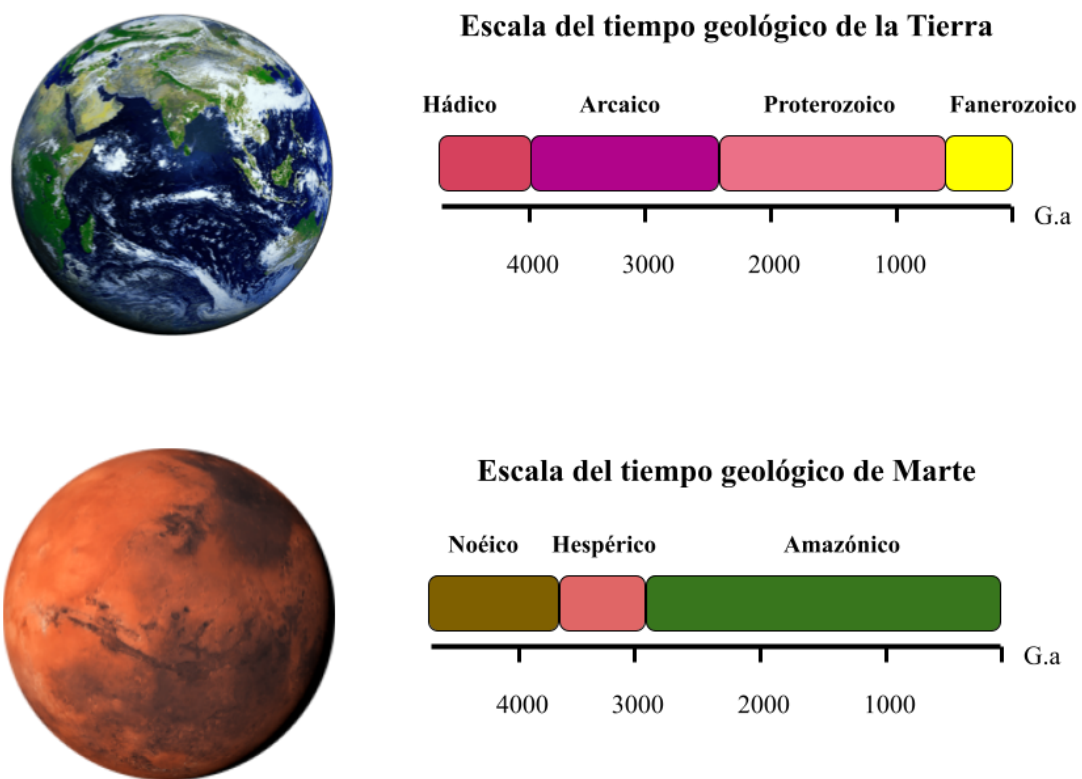


Figura 2. Comparación entre la escala del tiempo geológico de la Tierra y el tiempo geológico de Marte.

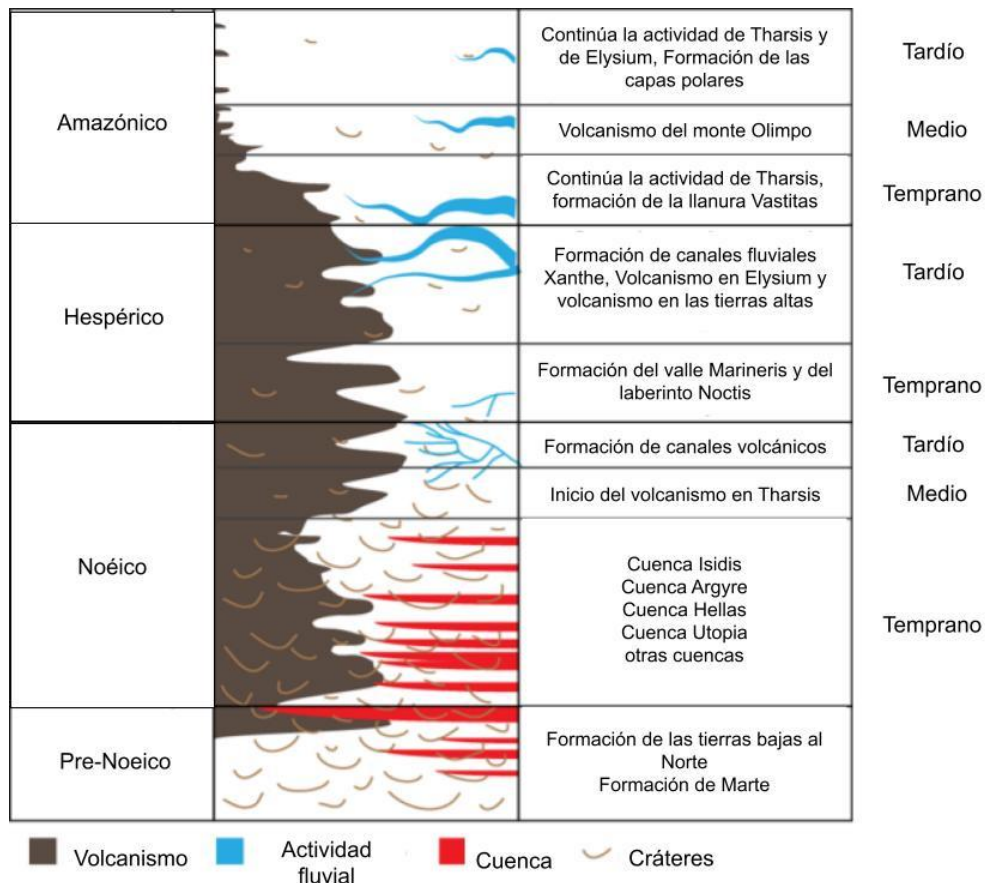


Figura 3. Procesos predominantes durante el tiempo geológico marciano, tomada y modificada de: EmilyLakdawalla, (Tanaka&Hartmann2012)., <http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2013/10251246-noachian-hesperian-amazonian.html>

## 2.2 Planteamiento de problema

En este trabajo hablaremos de H<sub>2</sub>O cuando nos refiramos a la sustancia química con independencia de su estado de agregación. Reservaremos el término “agua” para el estado líquido. Existe una disyuntiva entre los cálculos de múltiples autores para las cantidades de H<sub>2</sub>O presentes en Marte (Carr, M. H. 1986; Owen, T., et.al 1988; Yung, Y., et.al 1988; Baker, V. R et.al. 1991). Esta brecha se incrementa cuando se trata de realizar estimaciones sobre la variación en la cantidad de agua en el tiempo geológico de Marte. Este trabajo de esta tesis

buscará realizar estimaciones de: ¿Cuál es la cantidad de H<sub>2</sub>O en el planeta Marte en la actualidad?, ¿Cuál es la cantidad de H<sub>2</sub>O presente en las regiones polares, en distintos minerales y en el subsuelo marciano? Y ¿cuál ha sido la tasa de pérdida de H<sub>2</sub>O a lo largo del tiempo geológico de Marte? ¿Posibilidad de H<sub>2</sub>O líquido en acuíferos?.

## **2.3 Justificación**

Marte es uno de los objetivos más importantes para este siglo en la exploración espacial, las agencias espaciales internacionales y el sector privado invierten gran cantidad de recursos para su estudio, es aquí donde todas las investigaciones en el área de las ciencias planetarias son de gran importancia para la comprensión de la evolución de todos los cuerpos del sistema solar y mejorar el conocimiento que se tiene sobre Marte, una de las principales metas de la exploración es la posibilidad de la instalación de bases de investigación y una futura colonización de su superficie por esta razón se hace de vital importancia comprender la evolución y disponibilidad del recurso hídrico que será fundamental a para la exploración por parte de los seres humanos.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo General**

El objetivo general de la presente tesis es estimar la cantidad de agua presente en el planeta Marte en la actualidad mediante modelos matemáticos y computacionales, para su posterior comparación con valores calculados del contenido del H<sub>2</sub>O inicial durante la formación del planeta para determinar la posible pérdida de esta molécula a lo largo del tiempo geológico marciano.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

- Estimar el contenido de H<sub>2</sub>O en el planeta Marte en el momento de su formación
- Estimar mediante modelos matemáticos y computacionales la cantidad de H<sub>2</sub>O presente en el planeta Marte en la actualidad, en lugares como el subsuelo, casquetes polares, a nivel mantélico y a nivel atmosférico.
- Determinar la pérdida de H<sub>2</sub>O en Marte en el contexto de su tiempo geológico.

### 3. Marco teórico

#### 3.1 El H<sub>2</sub>O durante la formación del planeta

Marte se forma al igual que otros cuerpos del sistema solar hace aproximadamente 4.6 Ga, la formación de nuestro sistema solar se puede explicar mediante la teoría de la nebulosa moderna (Woolfson, M. 2000) y los materiales primigenios que se encuentran asociados a los planetas rocosos son principalmente de tipo condritico (Wasson, J. T., & Kallemeyn, G. W. 1988), (Alibert, Y., et. al, 2010), estos materiales se clasifican como se observa en la (Tabla 2.), Elaborada a partir de datos de (Krot, A. et. al. 2005 y Wood, J. A. 2005.).

Tabla 2. Clasificación de condritas											
Tipo de Condrita	Condritas de Enstatita (CE)		Condritas Ordinarias (CO)			Condritas Carbonáceas (CC)					
Subgrupo	EH	EL	H	L	LL	CK	CV	CO	CR	CM	CI

A la hora de considerar el contenido de H<sub>2</sub>O al momento de la formación del planeta se toman como referencia las muestras a las cuales tenemos acceso en la actualidad que son principalmente meteoritos condriticos encontrados en diferentes zonas de nuestro planeta que mediante estudios geoquímicos han sido caracterizados (Tabla 3.) Elaborada a partir de datos de (Alibert, Y., et. al, 2010 y Schaefer, L. & Fegley B. 2007).

Tabla 3. Contenido de H <sub>2</sub> O de meteoritos condriticos											
Tipo de condrita	CE		CO			CC					
Grupo	EH	EL	H	L	LL	CK	CV	CO	CR	CM	CI
% en masa de H <sub>2</sub> O	0.004	0.16	0,2	0.34	0.6	1.6	0.25	3.3	7.11	10.4	16.9
% en masa de H <sub>2</sub> O por grupo	0.01		0.42			6.593					

### 3.2 El H<sub>2</sub>O en el Marte actual

Existen algunas características que controlan el estado del H<sub>2</sub>O en la actualidad en la superficie de Marte, algunas de ellas mencionadas en la Tabla 2. como la presión atmosférica, otra de las variables importantes es la temperatura, dependiente de distintos gradientes.

El H<sub>2</sub>O requiere de condiciones de presión y temperatura para cada uno de sus estados que se encuentran representados en su diagrama de estabilidad (Figura 4.)



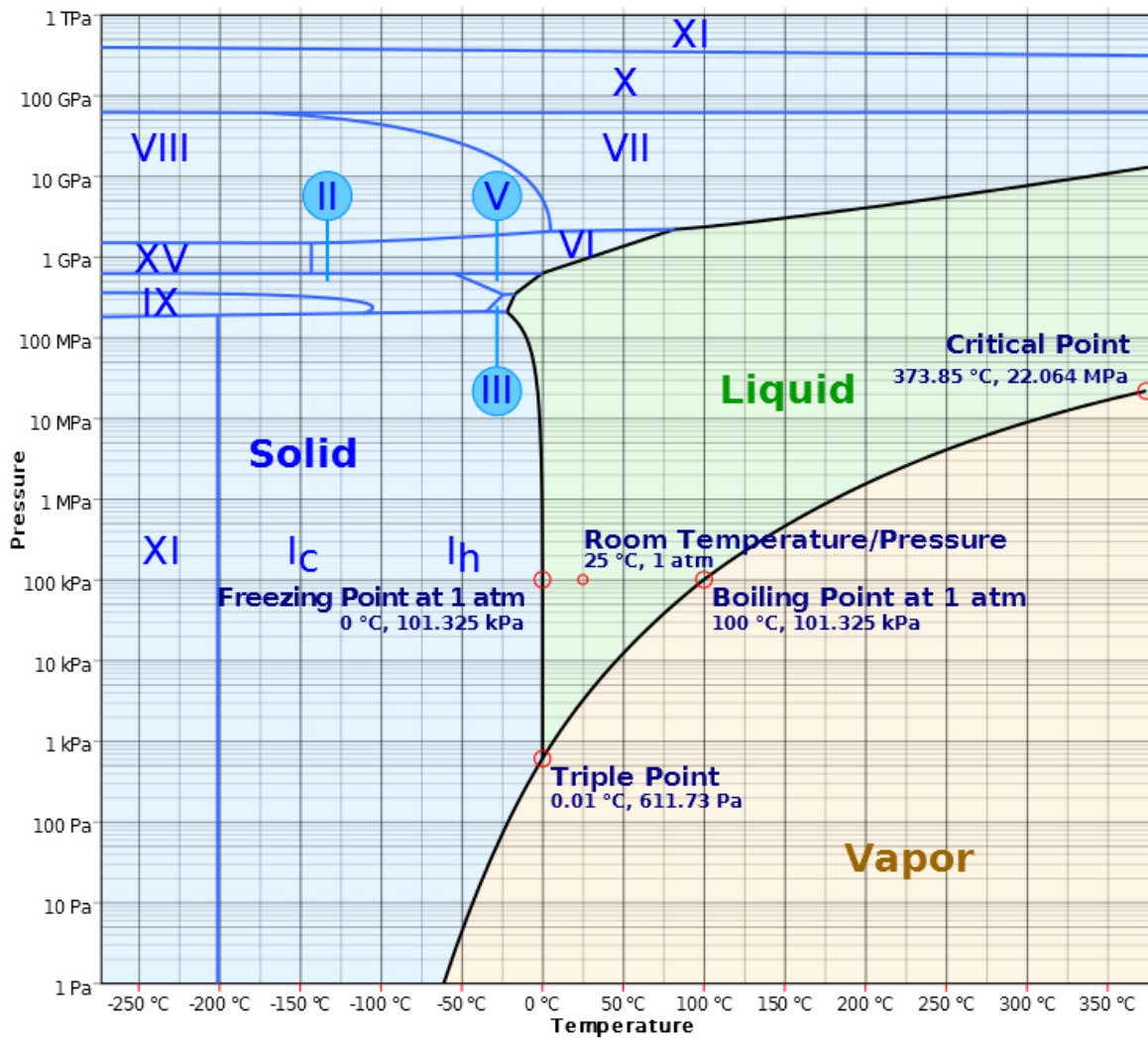


Figura 4. Diagrama de fase del H<sub>2</sub>O tomada de [lsbu.ac.uk/water/water\\_phase\\_diagram.html](http://lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html). Marte presenta abruptas variaciones en el clima debido en gran medida a sus condiciones atmosféricas una de las mayores variaciones se presenta en su rango de temperaturas (Tabla 4.), cuyos mínimos son más bajos que los observados en el planeta Tierra.

Tabla 4. Comparación de temperaturas entre la Tierra y Marte			
		Tierra	Marte
Temperatura Mínima	Ecuatorial	-12°C	-80°C
	Polar	-89.15°C	-130°C

<b>Temperatura Máxima</b>	Ecuatorial	56.7°C	20°C
	Polar	20°C	-13°C

La variación de las temperaturas depende en gran medida del ángulo de incidencia de los rayos del sol a su vez depende de la oblicuidad de su eje 25. 2° (Figura 5.), de esta depende entre otras la distribución de las masas polares en su superficie y las estaciones.

Estas variables eliminan la posibilidad de tener agua líquida en superficie de manera constante y lo limita a periodos estacionales ayudados con la disminución del punto de fusión mediante salmueras (Ohja, L. et.al, 2015).

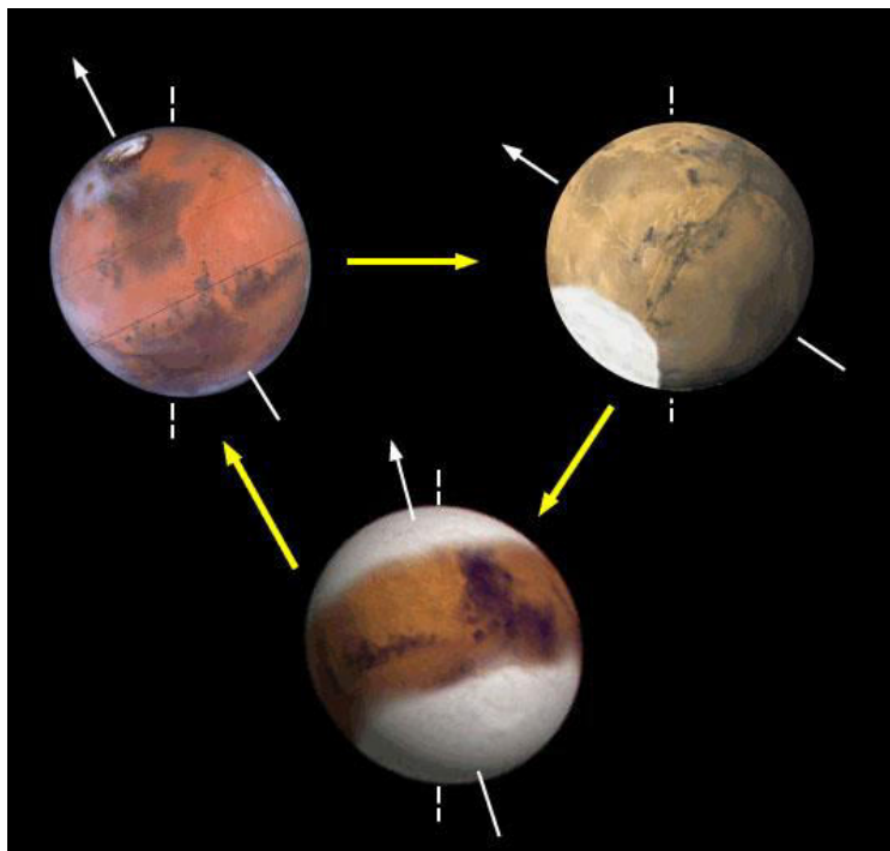


Figura 5. Variación en la distribución de las masas polares en el planeta Marte, en función de los cambios en la oblicuidad, arriba a la izquierda se observa la oblicuidad actual, arriba a la derecha se

observa un periodo de alta oblicuidad y el parte inferior una oblicuidad baja, tomada de: ASD/IMCCECNRS, after Jim Head/Brown University and NASA/JPL-Caltech.

De tal manera que el H<sub>2</sub>O presente en la superficie del planeta debe buscarse en estado sólido en las regiones polares, en minerales hidratados y en forma de vapor en la atmósfera.

### 3.2.1 El H<sub>2</sub>O en el manto

La estructura interna de Marte no se conoce en su totalidad no obstante mediante modelos físicos matemáticos se han estimado espesores para la corteza de entre 30 y 100 km a causa de la dicotomía marciana que será explicada en la siguiente sección y para el manto un espesor de cerca de ~2000 km.

Mediante estudios geoquímicos realizados a las muestras disponibles de meteoritos marcianos especialmente los (SNC) Shergottitas, Nakhilitas y Chassignitas (*Tabla 5.*) se ha estimado un manto marciano relativamente seco, calculando el contenido de H<sub>2</sub>O en el mismo de 36ppm (*Mysen, B. et. al.,1998, Usui, T., et.al 2012, Wänke, H., & Dreibus, G. 1994.*)

<b>Tabla 5. Clasificación de meteoritos marcianos</b>		
Meteoritos Marcianos	Shergottitas	Basaltos de grano fino y de grano grueso y algunas olivinicas
	Nakhilitas	Clinopiroxenos, y productos de alteración, así como pequeñas cantidades de materia orgánica
	Chassignitas	100% olivinos
	Ortopiroxenitas	Ortopiroxenos y carbonatos como en el ALH84001

### 3.2.1.1 La dicotomía marciana

Marte posee una peculiar característica denominada dicotomía que describe un alto contraste topográfico entre el hemisferio norte y el hemisferio sur que puede visualizarse en el modelo digital de elevación (Figura 6.).

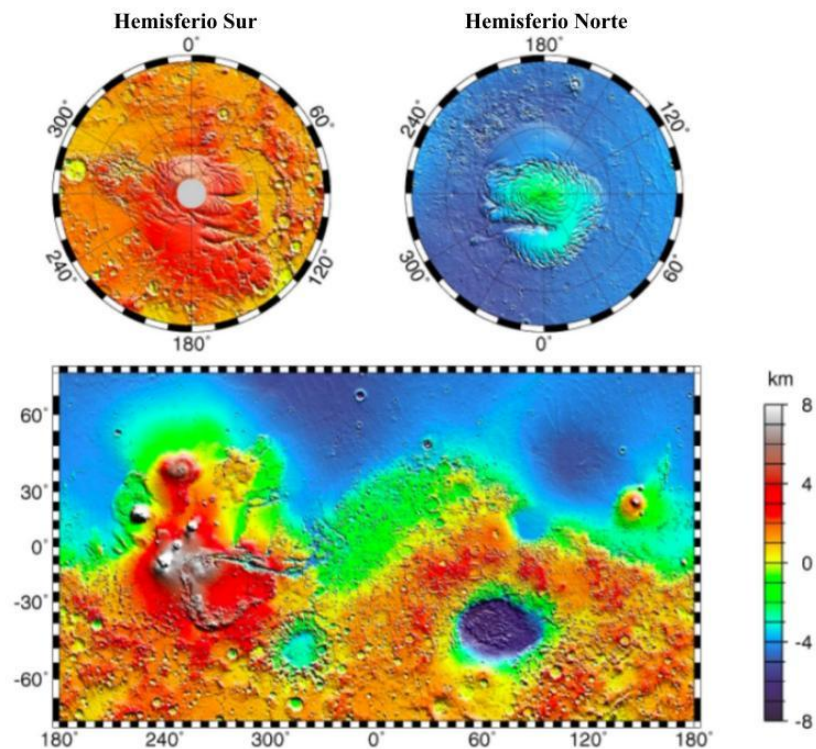


Figura 6. Modelo digital de elevación que muestra la dicotomía marciana, tomada de nasa.gov.

Las dos teorías más aceptadas para la generación de la dicotomía son la de vuelco en océano de magma durante la formación del planeta (Figura 7.) (Debaille, V., et. al 2009) este proceso se da cuando inicia la cristalización de océano de magma primigenio ocasionando, cambios en la densidad que terminan por generar una inversión o volcamiento del manto primitivo marciano, esta teoría se respalda en evidencia geoquímica de meteoritos provenientes de Marte denominados Nakhilitas y la otra teoría es la de generación por

impacto a escala planetaria, que adicionalmente podría estar asociada a la formación de los satélites naturales Fobos y Deimos, (Hyodo, R., et. al, 2017) este último proceso se ha estudiado principalmente mediante simulaciones en las cuales ocurre la colisión entre dos cuerpos uno similar al tamaño de la Luna terrestre y otro con un planeta protomarciano de mayor tamaño al actual, en diferentes ángulos, obteniendo un desbalance de masa en el hemisferio norte marciano coincidente con la dicotomía y además fragmentos orbitales que podrían constituir a los satélites naturales marcianos.

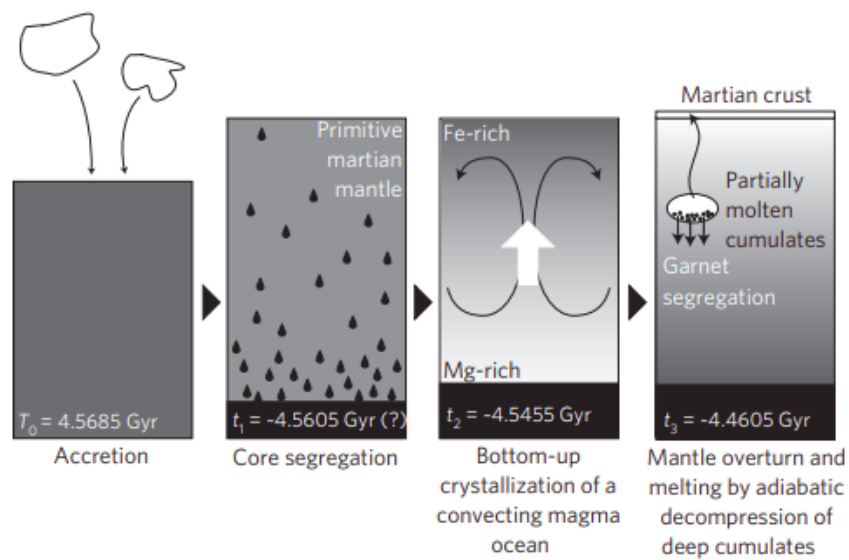


Figura 7. Modelo esquemático que muestra la evolución temprana de Marte, tomada de: Debaille, V., et. al (2009).



Figura 8. Representación del impacto generador de la dicotomía y la formación de Fobos y Deimos, tomada de: Université Paris Diderot / Labex UnivEarthS

### 3.2.2 El H<sub>2</sub>O en el subsuelo

Desde el año 2001 con la llegada de la misión espacial de la NASA Mars Odyssey mediante el instrumento espectrómetro de rayos gamma se realizaron mediciones sobre el flujo de neutrones provenientes desde la superficie, con estos datos se han generado dos mapas que son de importancia para la elaboración de este trabajo, el mapa del flujo de neutrones epitermales de la superficie (*Figura 9.*) que mide el conteo de neutrones epitermales por segundo y refleja una relación inversa entre el número de neutrones provenientes de elementos más pesados y la presencia de Hidrógeno siendo posible transformar este flujo para determinar el contenido de Hidrógeno equivalente en H<sub>2</sub>O del suelo marciano en (WEH) (*Figura 10.*).

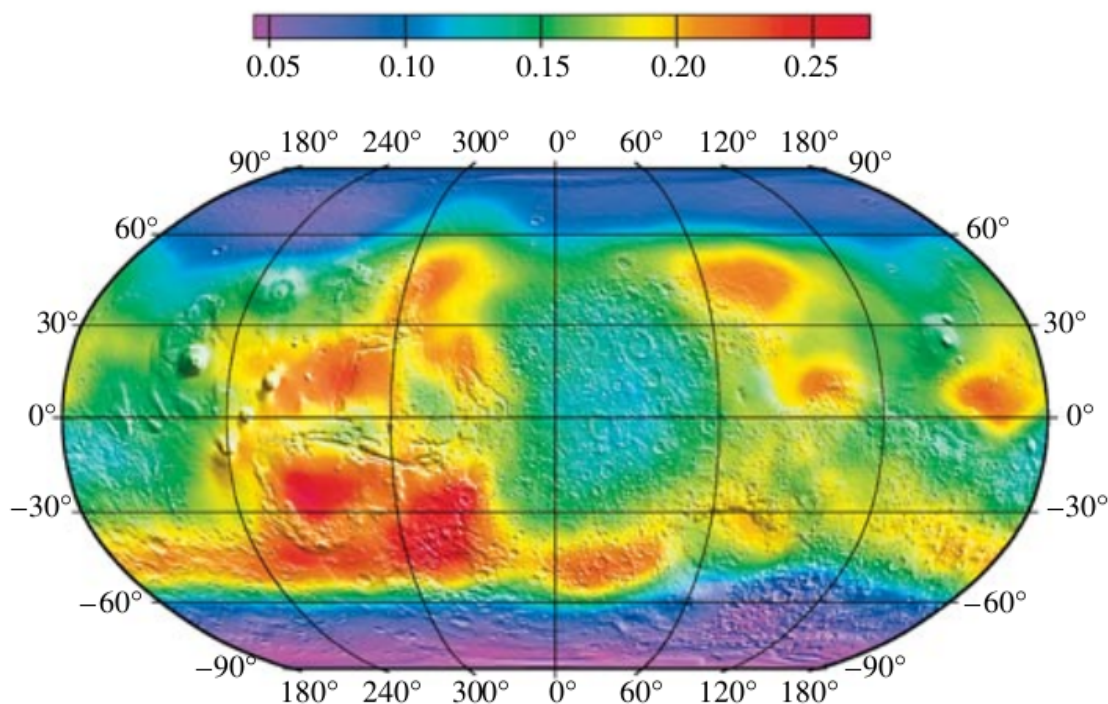


Figura 9. Mapa del flujo de neutrones epitermales obtenido a partir de mediciones del Instrumento HEND de la sonda Mars Odyssey, tomada de: *Mitrofanov, I et. al, (2003)*.

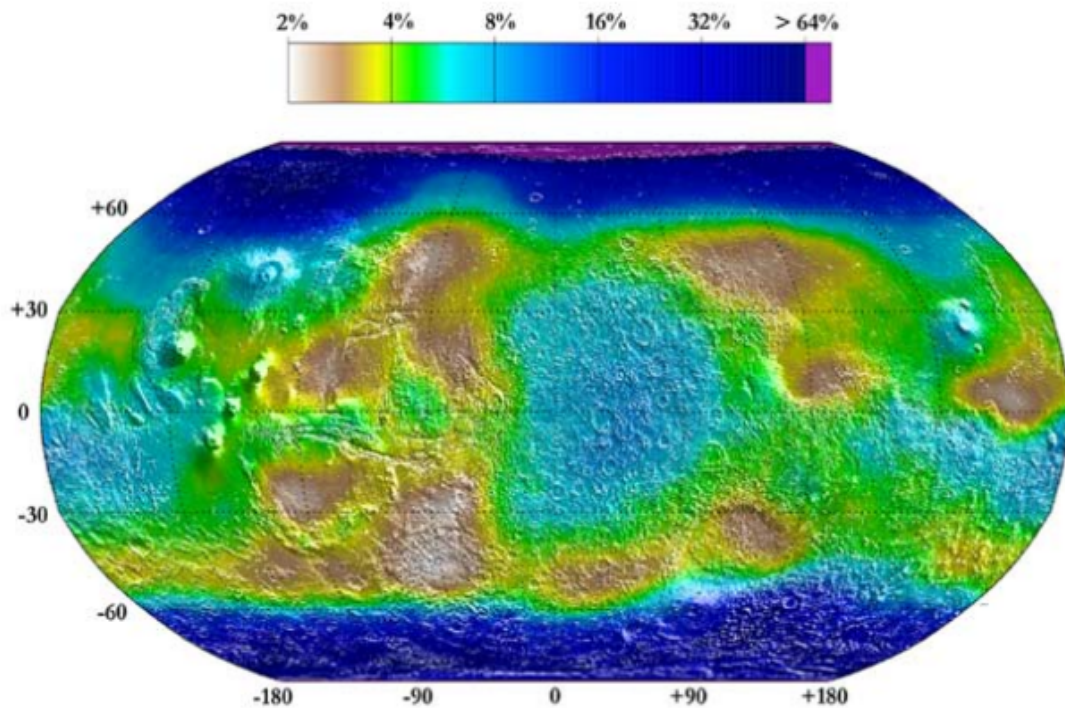


Figura 10. Contenido de hidrógeno equivalente en H<sub>2</sub>O del suelo marciano derivado de la tasa de recuento de neutrones epitermales. Tomada de: *Feldman W. et.al, (2004)*.

El rango de detección de este instrumento alcanza los dos metros de profundidad (*Smith, DE. et. al, 2001*), con este rango limitado se puede identificar la presencia de H<sub>2</sub>O en cercanías de la superficie lo que nos ofrece datos confiables respecto a la cantidad de agua presente en el suelo al transformar los valores de flujo de neutrones epitermales a contenido de hidrógeno equivalente en H<sub>2</sub>O (*Feldman W. et.al, 2004*), guardando relación con la distribución latitudinal encontrando mayores porcentajes de contenido de agua hacia las regiones polares y menores hacia la región ecuatorial.

Debido a las condiciones de presión y temperatura en la superficie existe una alta probabilidad para que el H<sub>2</sub>O se encuentre en el subsuelo en estado líquido y sólido (Baker, V. et. al.1993) ya que en este se presentan gradientes de presión y temperatura en los cuales se alcanzan las condiciones de equilibrio para la presencia de la misma ver (Figura 11.).

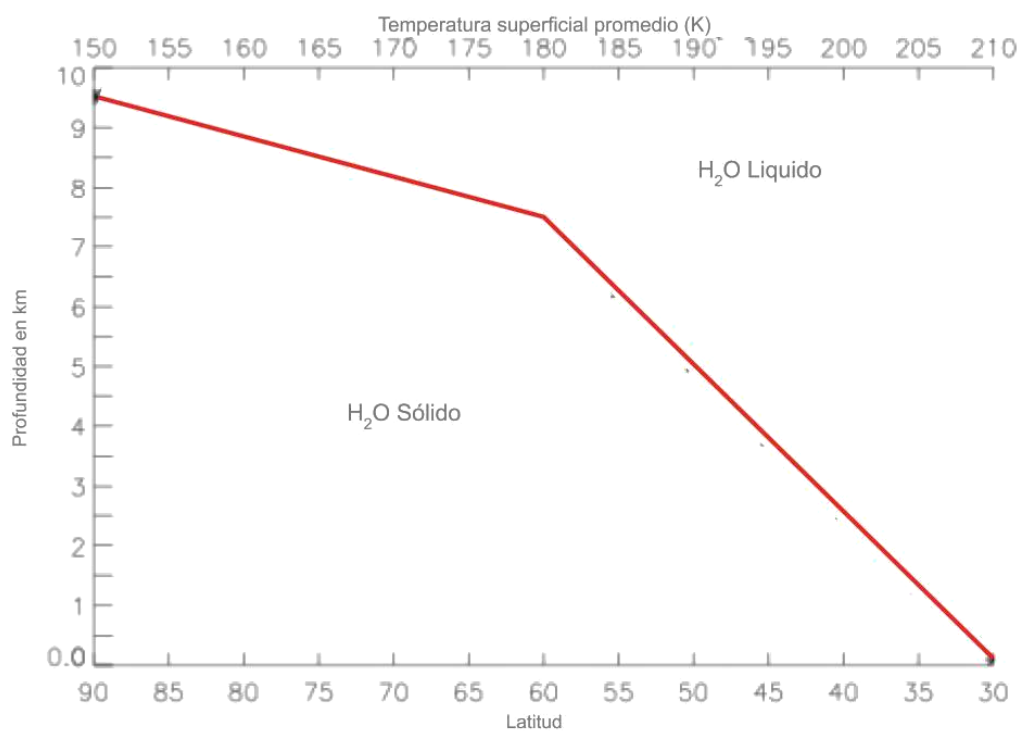


Figura 11. Diagrama de estabilidad del H<sub>2</sub>O en función de la profundidad para Marte, tomada y adaptada de: Jones. E. G. & Lineweaver. C. H. (2008).



En la actualidad carecemos de información certera sobre la estructura del subsuelo marciano debido a la falta de instrumentación geofísica o de perforaciones y diversos retos técnicos, por lo cual la presencia de H<sub>2</sub>O no ha sido confirmada y es trabajada mediante modelos físico matemáticos.

Aunque la gravedad marciana sea una tercera parte de la gravedad terrestre la conductividad de los fluidos en Marte sigue el mismo patrón y depende de los mismos elementos a la hora de definir los sistemas de flujo, como lo son las propiedades de los materiales geológicos: Porosidad, conductividad hidráulica, gradiente hidráulico. En el presente trabajo se busca hallar el volumen presente en los materiales geológicos en el subsuelo a escala planetaria que potencialmente podrían contener el H<sub>2</sub>O en estado líquido y sólido.

Estos factores se verán afectados principalmente por los gradientes de presión y temperatura que controlan los límites superiores e inferiores para el modelo hidrogeológico, (*Figura 13.*).

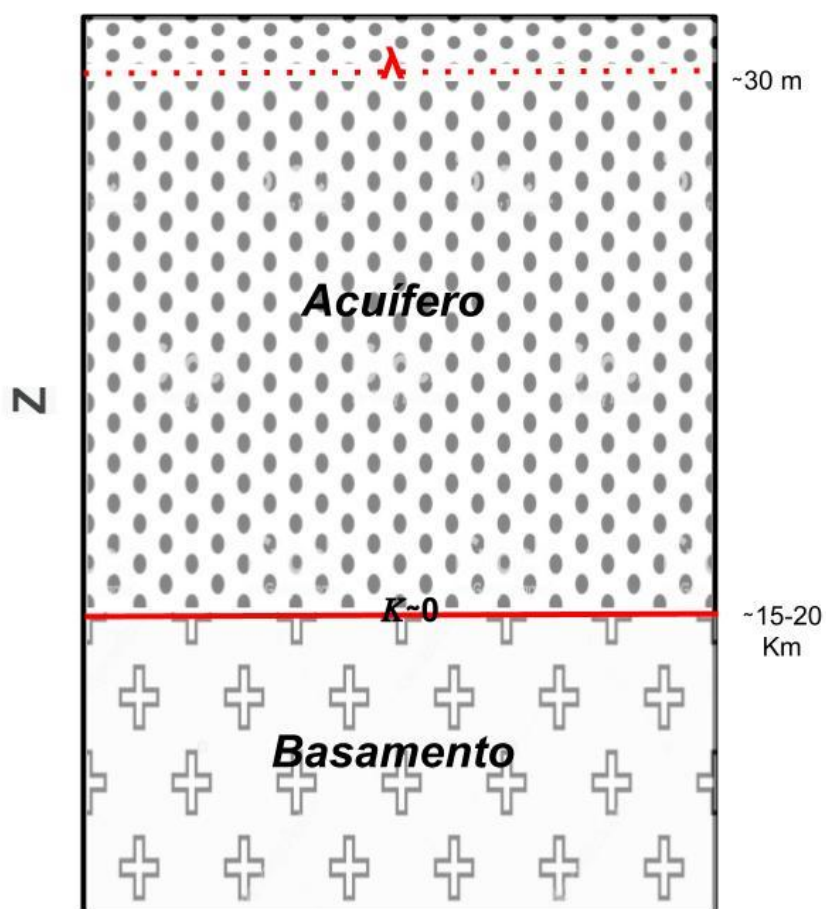


Figura 12. Partes y límites del modelo hidrogeológico tomado para el presente trabajo. Donde:  $\lambda$  representa el alcance de diferentes tipos de radiación en el subsuelo,  $K \sim 0$  representa el límite inferior del acuífero donde la permeabilidad se acerca a cero en función de la presión litostática y  $z$  representa la profundidad.

Las zonas y límites tomados en consideración para el modelo hidrogeológico (*Figura 12.*) son:

- $\lambda$  : Nivel del subsuelo que es afectado por la energía radiativa del sol.

- Acuífero: En la Hidrología subterránea, se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas (*Custodio, E., & Llamas, M. R. 1983*).
- Acuífero definición 2: zona del subsuelo conformada por distintos materiales geológicos parte del modelo hidrogeológico donde se presentan las condiciones de temperatura y presión para que el H<sub>2</sub>O almacenado se encuentre en estado líquido y pueda transportarse.
- Límite  $K=0$ : límite base del acuífero donde la conductividad hidráulica  $K$  se hace 0 como efecto del cierre de la porosidad y fracturas a causa de la presión litostática (*Clifford, S. M., & Parker, T. J. 2001*).
- Basamento: Se define como la zona estable de la corteza de un planeta rocoso, compuesta principalmente por rocas máficas, ultramáficas y metamórficas, en el presente trabajo esta zona está delimitada la delimitada entre el límite  $K=0$  hacia la parte superior y el límite inferior al iniciar el manto.

### 3.2.3 El H<sub>2</sub>O en los casquetes polares

El H<sub>2</sub>O en casquetes polares se encuentra principalmente en estado sólido, se encuentra estrechamente relacionado con los ciclos de CO<sub>2</sub> que cubre completamente la superficie de estos casquetes, durante la época del verano al sublimarse produce ventanas que permiten la detección de H<sub>2</sub>O en estado sólido (*Bibring et al., 2004*) en mayor abundancia en el polo sur, ver (*Figura 13*).

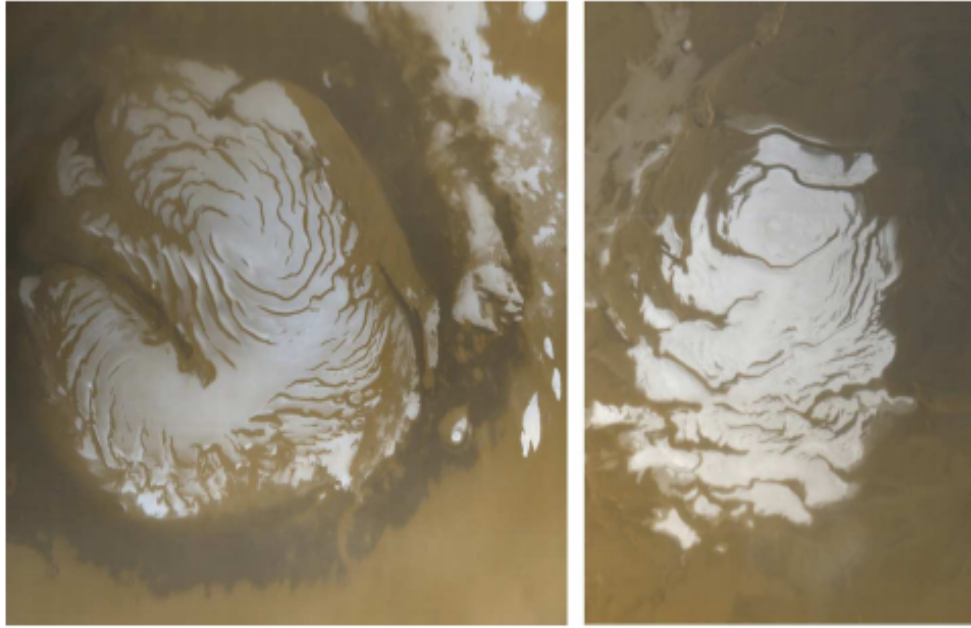


Figura 13. Casquetes polares durante el verano, a la izquierda se observa el casquete polar norte, a la derecha se observa el casquete polar sur, donde las ventanas permiten la detección del hielo de H<sub>2</sub>O, tomada de: NASA/JPL/Malin Space Science Systems.

Recientemente se ha detectado agua en estado líquido a una profundidad de 1.5 km analizando la región de Planum Australe en la zona polar sur del planeta en hielos, mediante el análisis sucesivo de datos entre 2012 y 2015 de datos producto de las sondas MARSIS y Mars express con el uso de sus instrumentos de radar por parte de (Orosei, R., et. al., 2018) mediante la variación en la conductividad eléctrica, este cuerpo de agua tiene un diámetro de ~200 km (Figura 14.).

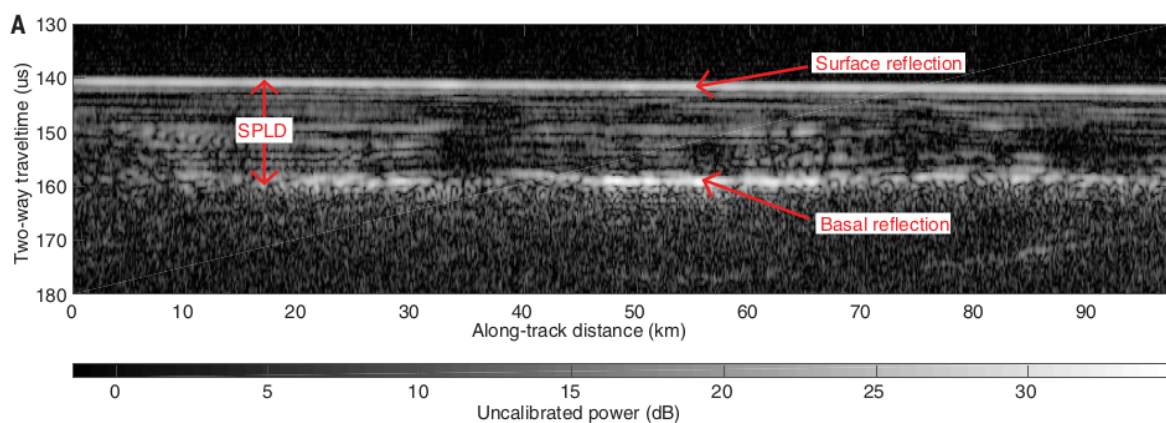


Figura 14. Detección de H<sub>2</sub>O a través de un radagrama de la región polar sur, en el se puede observar un cambio en la resistividad a ~1.5 km relacionada con un nivel de H<sub>2</sub>O en estado líquido.

### 3.2.4 El H<sub>2</sub>O en minerales hidratados

El H<sub>2</sub>O en Marte se puede encontrar en algunos minerales en su superficie, que se formaron a lo largo del tiempo geológico del planeta mediante diversos procesos, estos pueden verse en el mapa de distribución de minerales de la ESA construido mediante los datos del instrumento Mars Express OMEGA de la ESA y el instrumento Mars Reconnaissance Orbiter CRISM de la NASA, este mapa puede verse en la (Figura 15.).

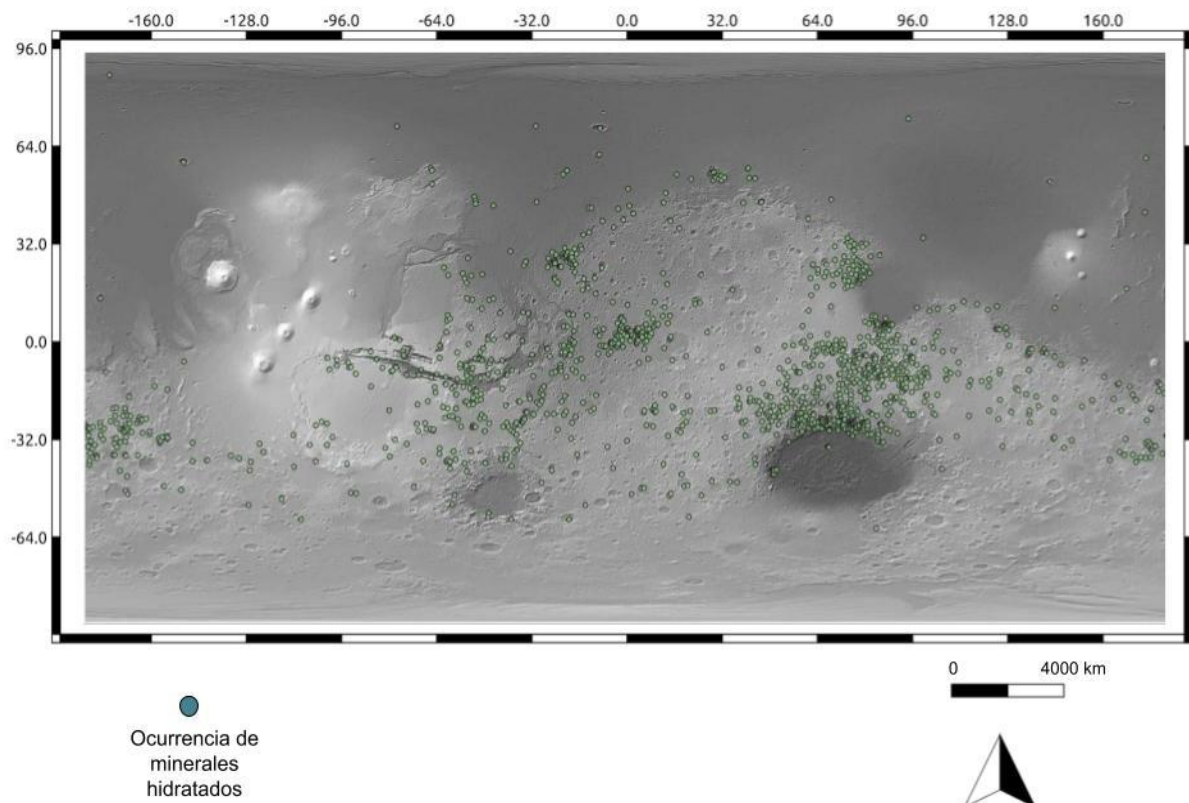


Figura 15. Mapa de detecciones de minerales hidratados en la superficie de Marte, Tomada de: [http://www.esa.int/spaceimages/Images/2013/05/Mars\\_hydrated\\_mineral\\_map](http://www.esa.int/spaceimages/Images/2013/05/Mars_hydrated_mineral_map).

El H<sub>2</sub>O se encuentra principalmente en las estructuras minerales (Figura 16.) de filosilicatos y sales (Tabla 6.) , en lugares como cráteres de impacto, rocas sedimentarias y antiguos deltas de ríos.

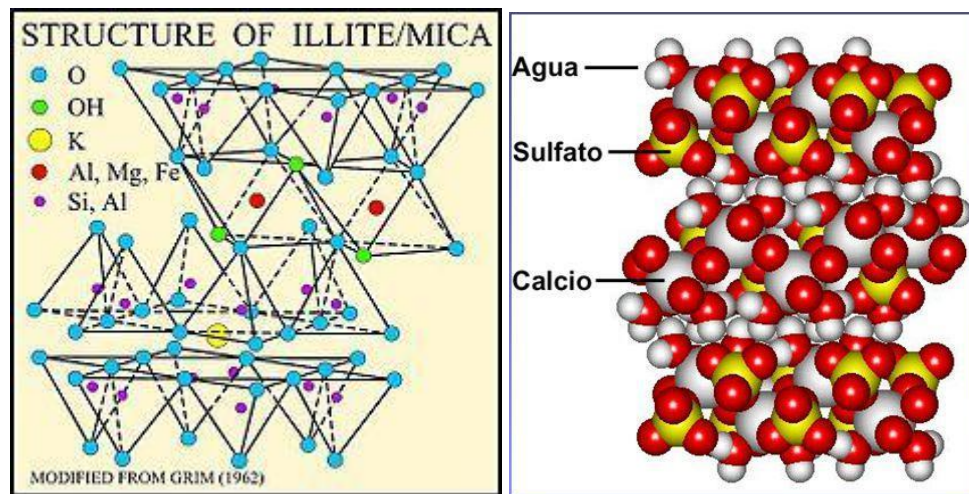


Figura 16. Estructura de minerales hidratados. A la izquierda estructura de arcilla, derecha estructura del yeso, donde se muestra las posiciones donde se ubica el OH y el H<sub>2</sub>O, tomadas y modificadas de Grim, E. (1962) y Klein, C., & Hurlbut, C. S. (1996).

Tabla 6. Minerales hidratados detectados en Marte		
Mineral	Fórmula	Fuente
Artinita	$(Mg_2(CO_3)(OH)_2 \cdot 3H_2O)$	<i>Calvin et al., 1994</i>
Bassanita	$(CaSO_4 \cdot \sim 1/2H_2O)$	<i>Gendrin et al., 2005; Zhu et al., 2006; Wray et al., 2010</i>
Epsomita	$(MgSO_4 \cdot 7H_2O)$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>
Ferricopiapita	$(Fe^{3+} + 2/3Fe^{3+} + 4(SO_4)_6)$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>

	$(OH)_2 \cdot 20H_2O$	
Goetita	$[FeO(OH)]$	<i>Klingelhöfer et al. 2005</i>
Hexahidrita	$(MgSO_4 \cdot 6H_2O)$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>
Hidromagnesita	$(Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O)$	<i>Calvin et al., 1994</i>
Jarosita	$[(K,Na,H_3O)(Fe_{3-x}Al_x)(SO_4)_2(OH)_6]$	<i>Klingelhöfer et al. 2004</i>
Kieserite	$(MgSO_4 \cdot H_2O)$	<i>Gendrin et al., 2005; Zhu et al., 2006; Wray et al., 2010</i>
Meridianita	$(MgSO_4 \cdot 11H_2O),$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>
Pentahidrita	$(MgSO_4 \cdot 5H_2O)$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>
Starkeyita	$(MgSO_4 \cdot 4H_2O)$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>
Szomolnokita	$(Fe_2+SO_4 \cdot H_2O)$	<i>Lane et al., 2004; Wilson &amp; Bish, 2013</i>
Yeso	$(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$	<i>Gendrin et al. 2005, Massé et al., 2012, Showstack, 2011</i>

### 3.2.5 El H<sub>2</sub>O en la atmósfera

El H<sub>2</sub>O se presenta en la atmósfera en forma de vapor que se produce durante la sublimación del H<sub>2</sub>O sólido que es expuesto por los cambios estacionales en los casquetes polares bajo el hielo seco, este vapor ha sido detectado en la atmósfera de Marte (*Titov, D. V. 2002., Maltagliati, L., et al. 2011*) y los datos de Mars Water Project de Lunar and Planetary Laboratory de la Universidad de Arizona mediante el uso de herramientas como el TES (Thermal Emission Spectrometer) y el SPICAM (Spectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Mars) a bordo de la sonda Mars Express detectándose

con este último instrumento entre 1 y 20 ppmv entre los 20 y 50 km de altura reportado por (Maltagliati, L., et al. 2011), adicionalmente se aprecia la variación del contenido de H<sub>2</sub>O en función de la altura en la atmósfera según la latitud en las gráficas de la (Figura 17).

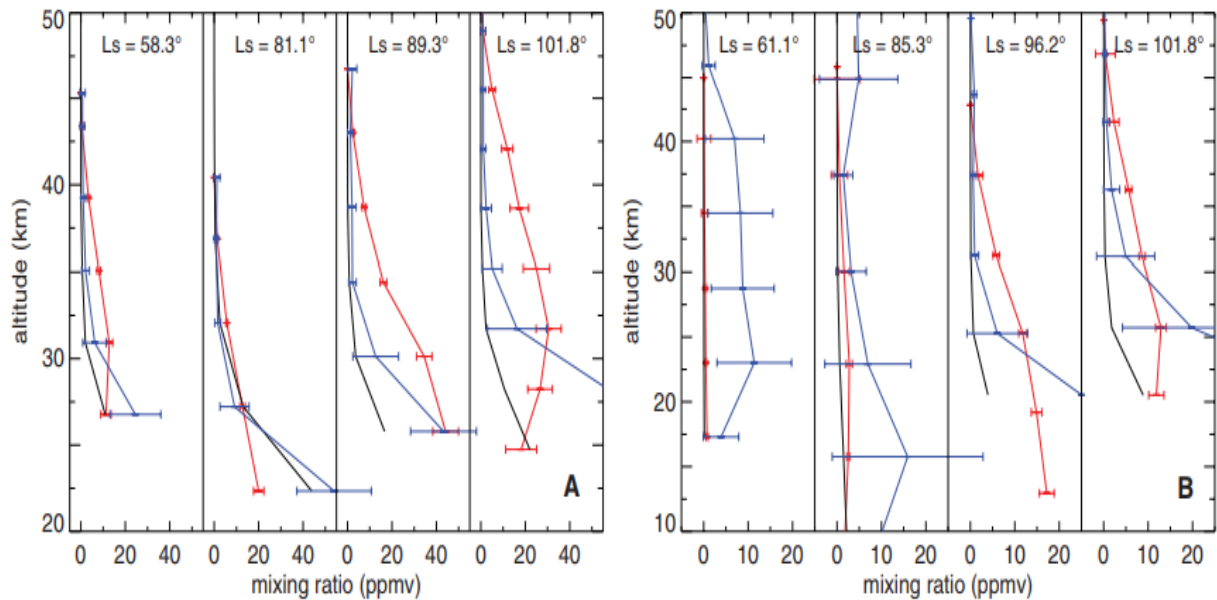


Figura 17. Perfiles típicos de proporción de mezcla de volumen de vapor de agua en la atmósfera en el hemisferio (A) norte y (B) sur. Curva negra, perfil modelado por el LMD-GCM; curva roja, los resultados recuperados de SPICAM; Curva azul, saturación vapor vapor - proporción de mezcla. La sobresaturación existe donde los valores rojos son mayores que los azules, tomada de: Maltagliati, L., et al. (2011).



### **3.3 El H<sub>2</sub>O en el tiempo geológico marciano**

Desde el momento de su formación a lo largo del tiempo geológico Marte ha pasado por diferentes eventos (*Figura 3.*), mediante las muestras meteoríticas y su mineralogía presente sabemos que en el pasado Marte tuvo la presión atmosférica y temperatura suficiente para sostener H<sub>2</sub>O en estado líquido, adicionalmente gracias a los rasgos geomorfológicos conservados en su superficie se encuentran evidencias suficientes para afirmar que existió una fuerte dinámica fluvial.

Durante el Pre-Noéico y el Noéico se presentaba una fuerte actividad volcánica periodos en los cuales la desgasificación fue predominante; en total se calcula que la masa desgasada en la historia marciana es de  $3.73 \times 10^{20}$  kg (*Durand, H. 2003*), teniendo su apogeo durante los periodos en mención.

A partir del Hespérico y durante la mayor parte del Amazónico ocurren procesos de origen fluvial principalmente ríos y lagos en la superficie de Marte (*Carr, M. H., & Bell III, J. F. 2014*), estos últimos han dejado evidencia geomorfológica.

#### **3.3.1 Evidencias en superficie de H<sub>2</sub>O en estado líquido**

Una de las principales discusiones en torno a la presencia de H<sub>2</sub>O en estado líquido en la superficie de Marte es generada en primera medida por la dicotomía ya que se ha planteado que la gran depresión topográfica en el hemisferio norte pudo contener un gran océano denominado “Océano Borealis” (*Figura 18.*), en la actualidad algunos autores basados en

modelos limnológicos y geomorfológicos, sugieren que en la superficie del planeta existían numerosos mares, ríos y lagos en diferentes momentos del tiempo geológico (*Cabrol, N. A., & Grin, E. A. 1999, 2003*), no obstante estudios recientes mediante la medición de la relación isotópica de Deuterio/Hidrógeno en la atmósfera y el casquete polar norte que es hasta 8 veces superior al valor de referencia del océano terrestre (VSMOW) sugieren que durante el Noéico el planeta pudo tener cantidad de H<sub>2</sub>O líquido suficiente para cubrir su superficie con una lámina de agua de hasta 137 m de altura, lo que alimenta la teoría de este océano (*Villanueva, G. et. al, 2015*).

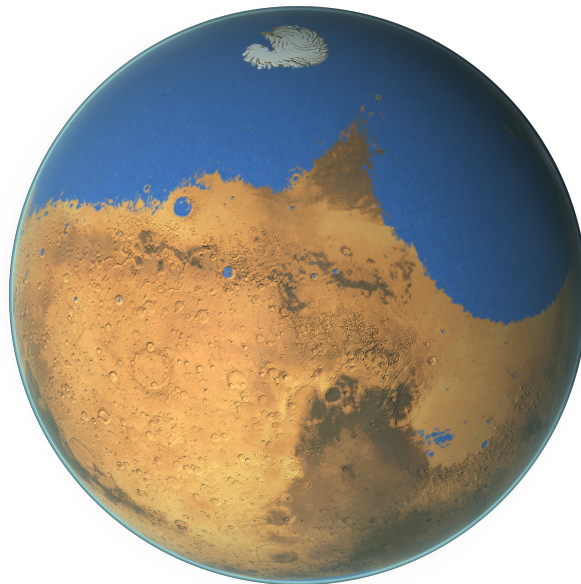


Figura 18. Representación artística del gran océano borealis en la superficie de Marte, tomada de:  
[svs.gsfc.nasa.gov](http://svs.gsfc.nasa.gov).

Dentro de la evidencia de tipo geomorfológico encontramos una amplia variedad de rasgos fluviales como redes de valles distribuidos especialmente en las tierras altas del hemisferio sur (*Figura 19.*), lagos en diferentes zonas del planeta y en distintos momentos del tiempo geológico (*Figura 20.*), Deltas en lo que podrían ser bordes de cuenca (*Di Achille. G &*

*Hynek. B, 2010) (Figura 21.), Abanicos aluviales principalmente en las zonas montañosas del hemisferio sur (Figura 22.).*

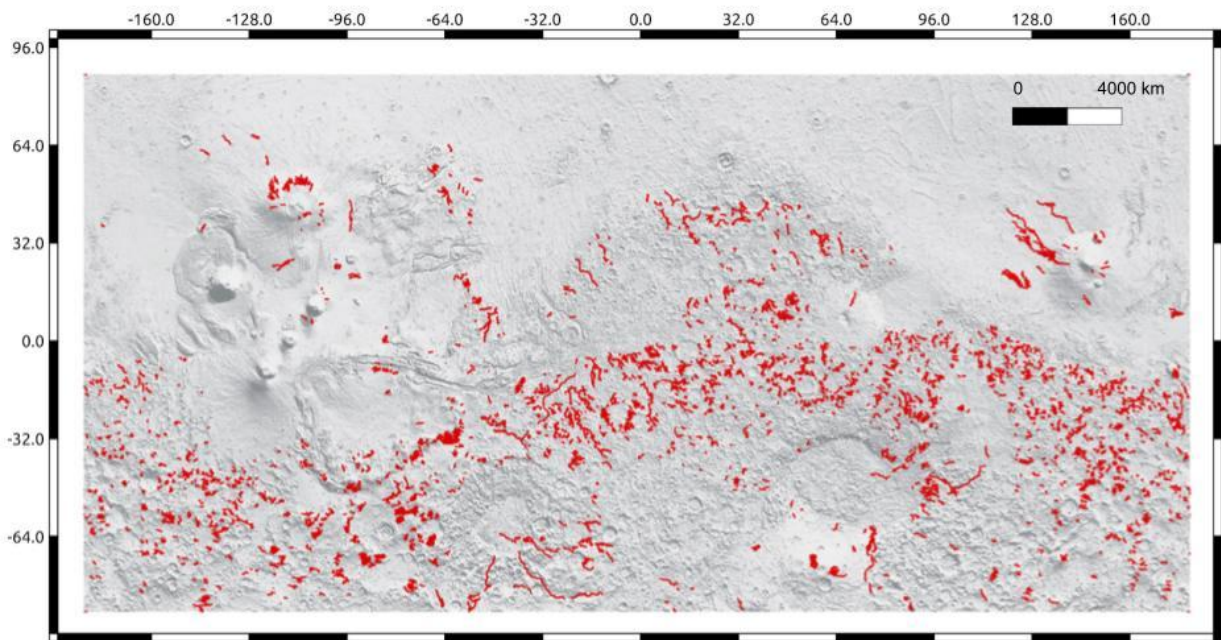


Figura 19. Distribución de las redes de valles en Marte principalmente en las tierras altas del hemisferio sur, tomada de *Carr et. al., (2014).*

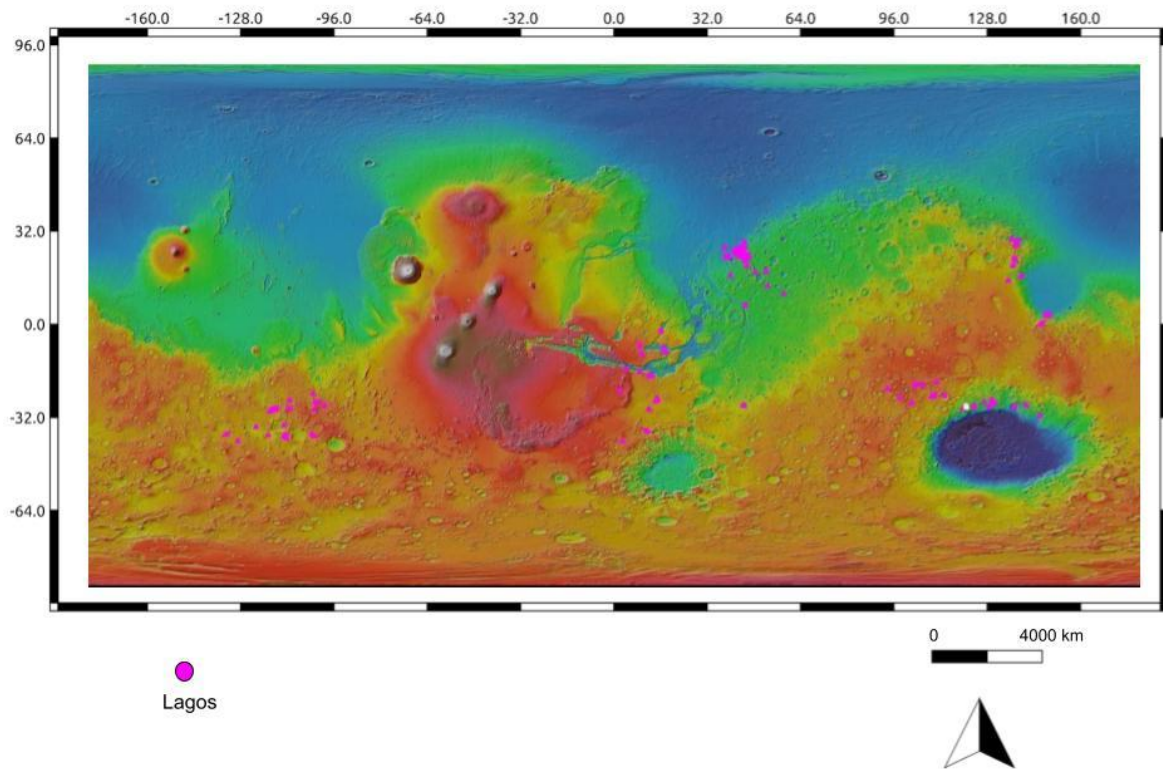


Figura 20. Distribución de lagos en Marte, procesada mediante Jmars.

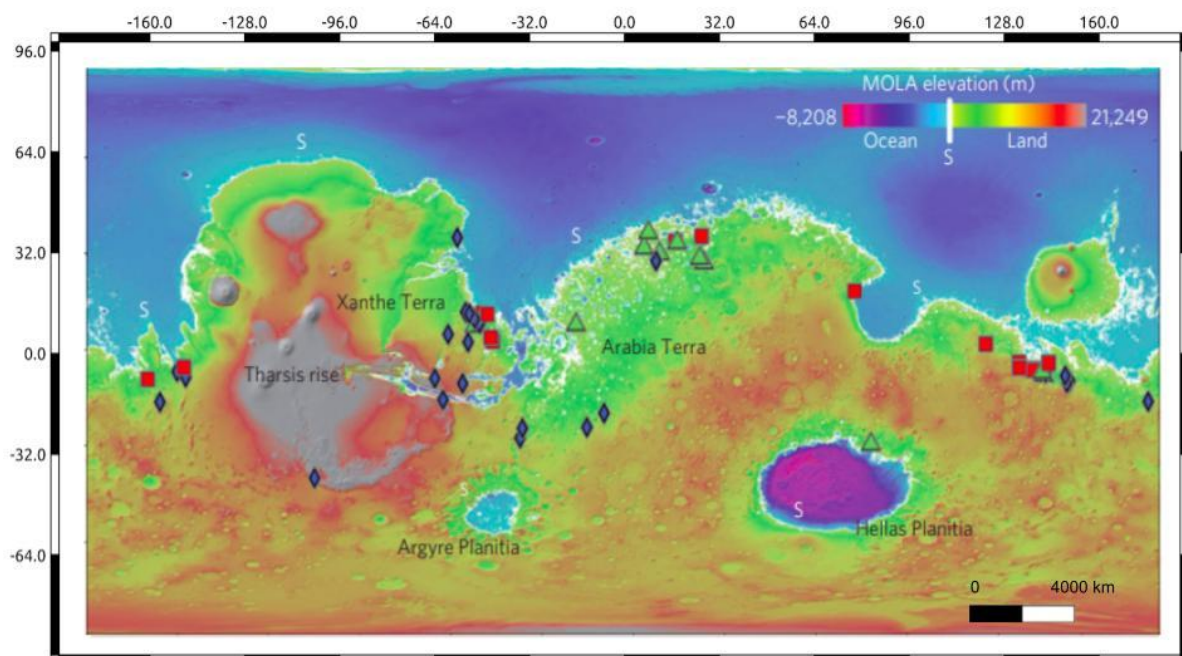
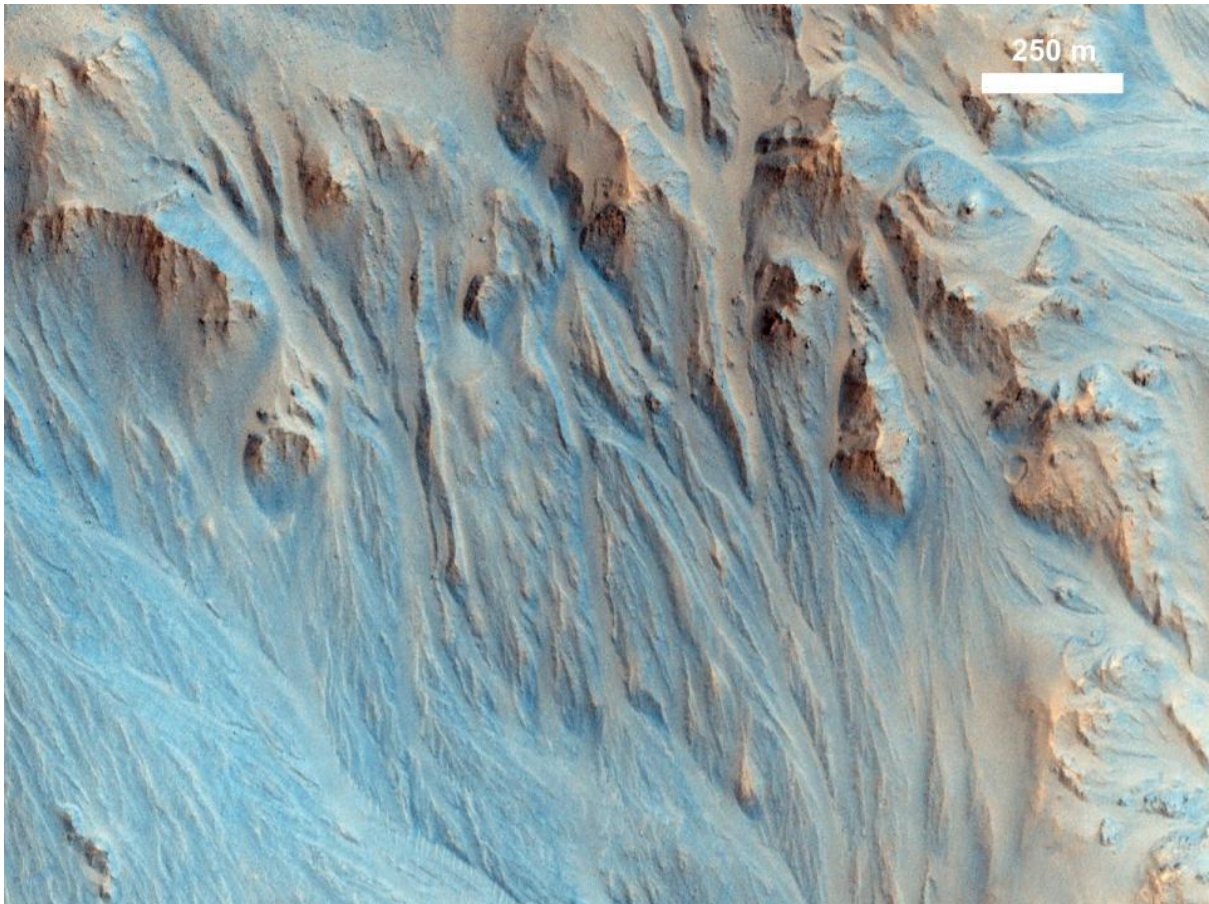


Figura 21. Distribución de deltas en Marte indicados con los cuadros rojos, tomada de *Di Achille. G & Hynek. B, (2010)*.



*Figura 22. Abanicos aluviales en el cráter Mojave en Marte, capturadas por HiRISE, tomada de: <https://hirise.lpl.arizona.edu/>.*

Se encuentra además otra geofoma que se ha formado en periodos más recientes de tiempo denominada Barrancos (*Figura 23a*) de los cuales se mantiene la discusión por diversos autores sobre su origen el primer grupo sostiene que su origen se encuentra dado por  $H_2O$  apoyados principalmente en estudios morfométricos de estas geofomas y su comparación con los barrancos terrestres (*Mellon, M y Phillips, R. 2001., Dickson, J y Head, J. 2009., Conway, S et. al. 2015*); el segundo grupo sostiene que estas geofomas se originan por la sublimación de  $CO_2$ , esta vertiente se apoya principalmente en modelos experimentales

usando el hielo seco como agente de transporte de los sedimentos (*Cedillo, Y & Durand, H. 2008., Védie, E., et. al. 2008., Mangold, N., et. al. 2010., Diniega, S., et. al. 2013., Torres, J., et. al 2016, 2017.*) y en observación de cambios en la superficie de Marte usando imágenes satelitales del instrumento HiRISE a bordo del Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) tomadas en diferentes periodos de tiempo donde se observa la aparición de estas geofomas en las bordes de los cráteres de impacto (*Auld, K., et. al. 2016., Dundas, C., et. al. 2010, 2015 y 2019*), además de encontrarse su distribución mayoritaria en latitudes altas (*Figura 23b*).

Otra de las geofomas frente a las cual existe interrogante son los lineamientos recurrentes en laderas (RSL) (*Figura 24a*), los cuales ocurren en la actualidad y que en principio fueron asociados con salmueras que cambiaban de estado acorde a las estaciones marcianas, este descubrimiento se realizó mediante análisis multi temporales y espectrales de imágenes satelitales del instrumento HiRISE, este descubrimiento fue anunciado como una evidencia de procesos conducidos por H<sub>2</sub>O en la superficie (*Ohja, L., et. al. 2015*). En contraparte según las observaciones realizadas por *Núñez, J. et. al.* en (*2016*) al analizar más de 100 zonas de laderas no se encuentra una relación entre la formación de los RSL con H<sub>2</sub>O en estado líquido, además de detectarse CO<sub>2</sub> que puede fungir como responsable de este proceso durante los cambios estacionales en las latitudes altas australes donde se encuentran en su gran mayoría (*Figura 24b*).

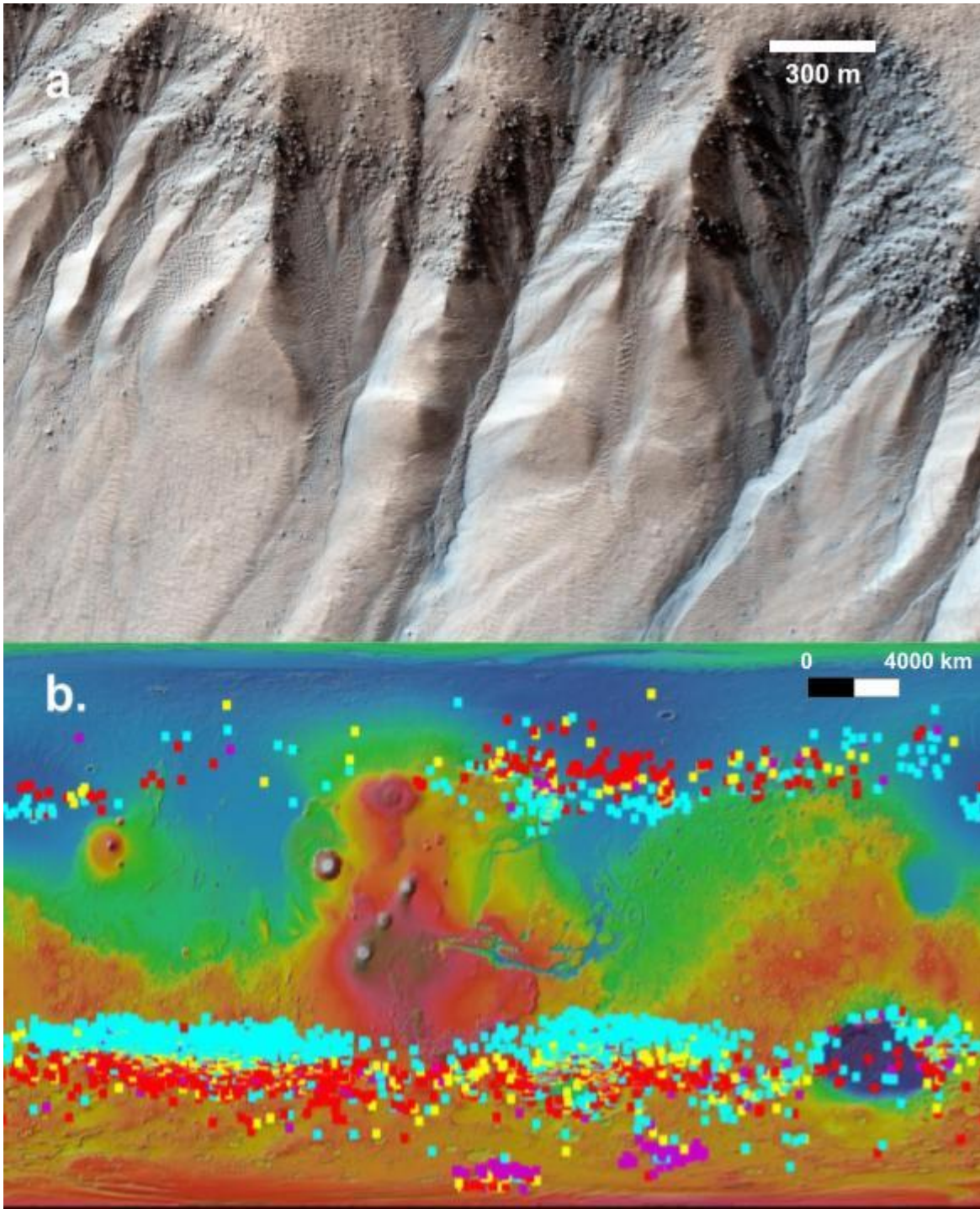


Figura 23. Distribución de Barrancos en Marte, a. Barrancos a 71 grados de latitud en el hemisferio sur, tomada de <https://hirise.lpl.arizona.edu/>, b. Distribución de Barrancos en la superficie de Marte, procesada en JMARS.

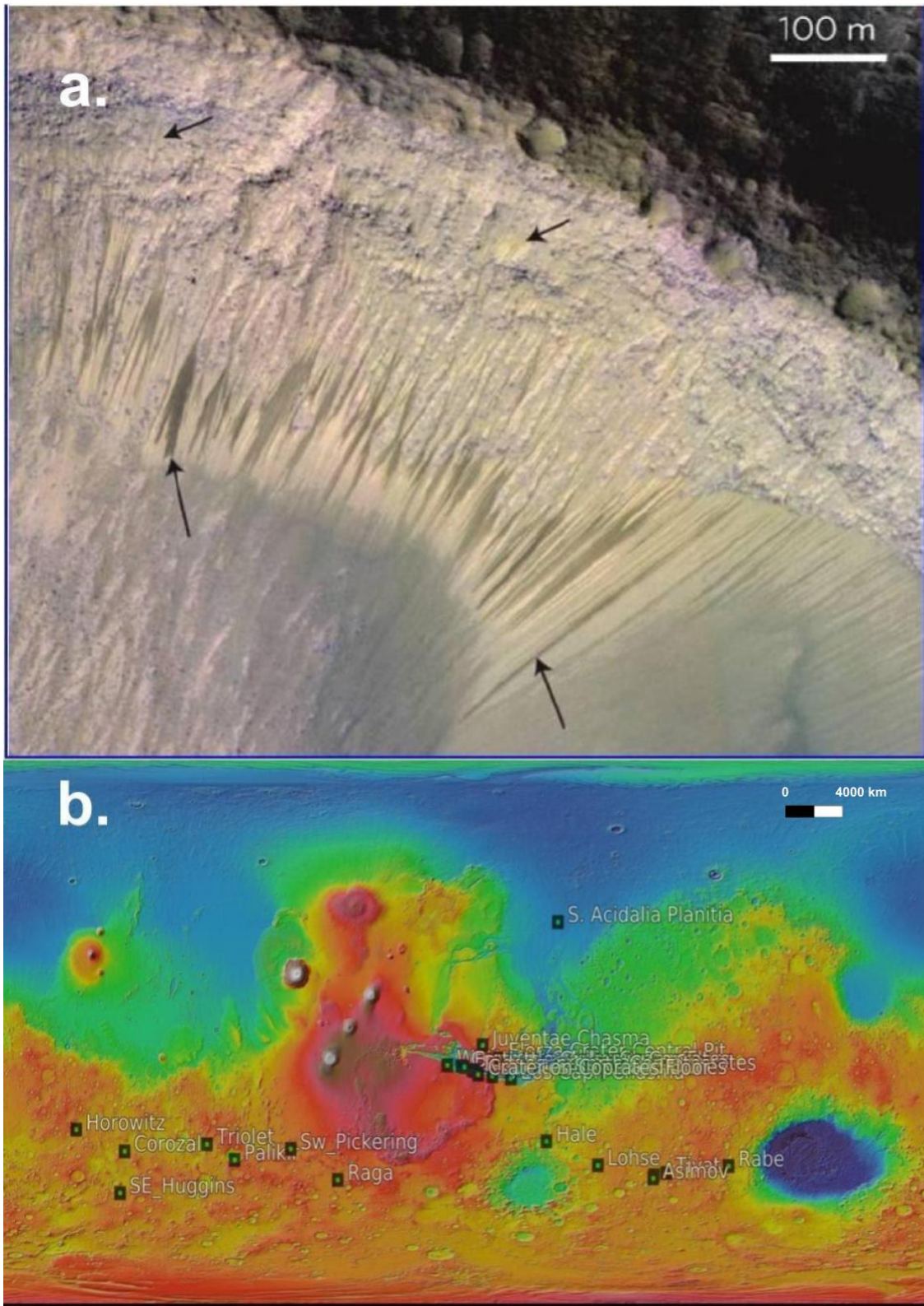


Figura 24. Distribución de RSL en Marte, a. RSL detectado en Melas Chasma, en el Valle Marineris por HiRISE, tomada de: <https://hirise.lpl.arizona.edu/>, b. Distribución de los RSL en la superficie de Marte, procesada mediante JMARS.



Adicionalmente el Mars Science Laboratory (Curiosity) a detectado evidencias de estructuras sedimentarias en las rocas del monte Sharp con las cuales se han podido estudiar desde el punto de vista estratigráfico, en esta secuencia ha encontrado conglomerados polimícticos con guijos subredondeados que son indicadores de un ambiente de alta energía (*Figura 25a.*) y estratificación cruzada en areniscas que muestra corrientes en el medio de sedimentación (*Figura 25b.*), estas son evidencias a nivel afloramiento de la presencia de H<sub>2</sub>O en estado líquido en la superficie marciana (*Fraeman, A. et. al .2016; Siebach, K. L., & Grotzinger, J. P. 2014; Milliken, R. et. al 2010*).

Existen además dentro del cráter Gale y en otras locaciones óxidos de hierro en forma esférica denominados “blueberries” en algunos casos en grandes cantidades (*Figura 25c.*) cuyo origen aún es discutido ya que existen varios procesos que pueden generar óxidos de hierro en forma de esferulitas, que no implican medios acuosos para su génesis, como lo es un posible origen diagenético tomando como análogo el mismo proceso en la Tierra en arenitas del Jurásico en Utah (*Ormö, J., et. al. 2004*), otro de sus posibles orígenes puede estar relacionado con actividad volcánica e hidrotermal, teniendo como análogos la presencia de estos óxidos de hierro esferoidales en tefras basálticas en Hawai (*Morris, R. V., et .al, 2005* y *Pirajno, F. 2008*), además de haberse realizado experimentos en medios no “acuosos” en atmósferas ricas en CO<sub>2</sub> donde se han logrado recrear estas formas (*Minitti, M., 2005*) y por último un origen asociado con los impactos meteoríticos (*Misra, A., et. al. 2014*).

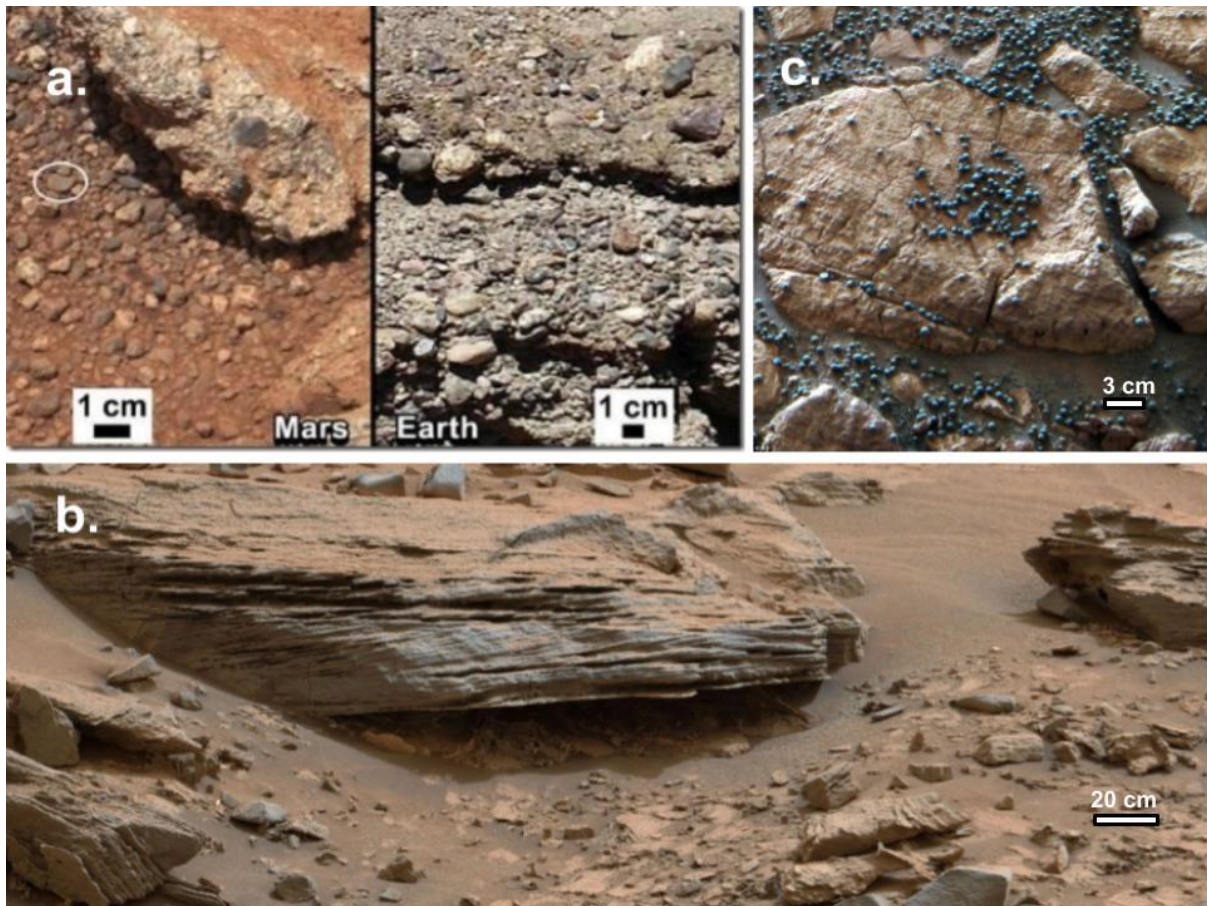


Figura 25. Estructuras sedimentarias en Marte; a. imagen de conglomerados en el monte Sharp al interior del cráter Gale en Marte capturada por el Rover “curiosity” comparada con el mismo tipo de roca en la Tierra, b. imagen de afloramiento de areniscas con estratificación cruzada en el monte Sharp al interior del cráter Gale en Marte capturada por el Rover “Curiosity”, c. imagen de “blueberries” al interior del cráter Gale en Marte; tomadas de mars.nasa.gov.

Otra de las evidencias de la existencia de agua líquida en momentos específicos del tiempo geológico marciano puede ser encontrada en la eyecta fluidizada producida por impactos en algunos cráteres (*Figura 26*).

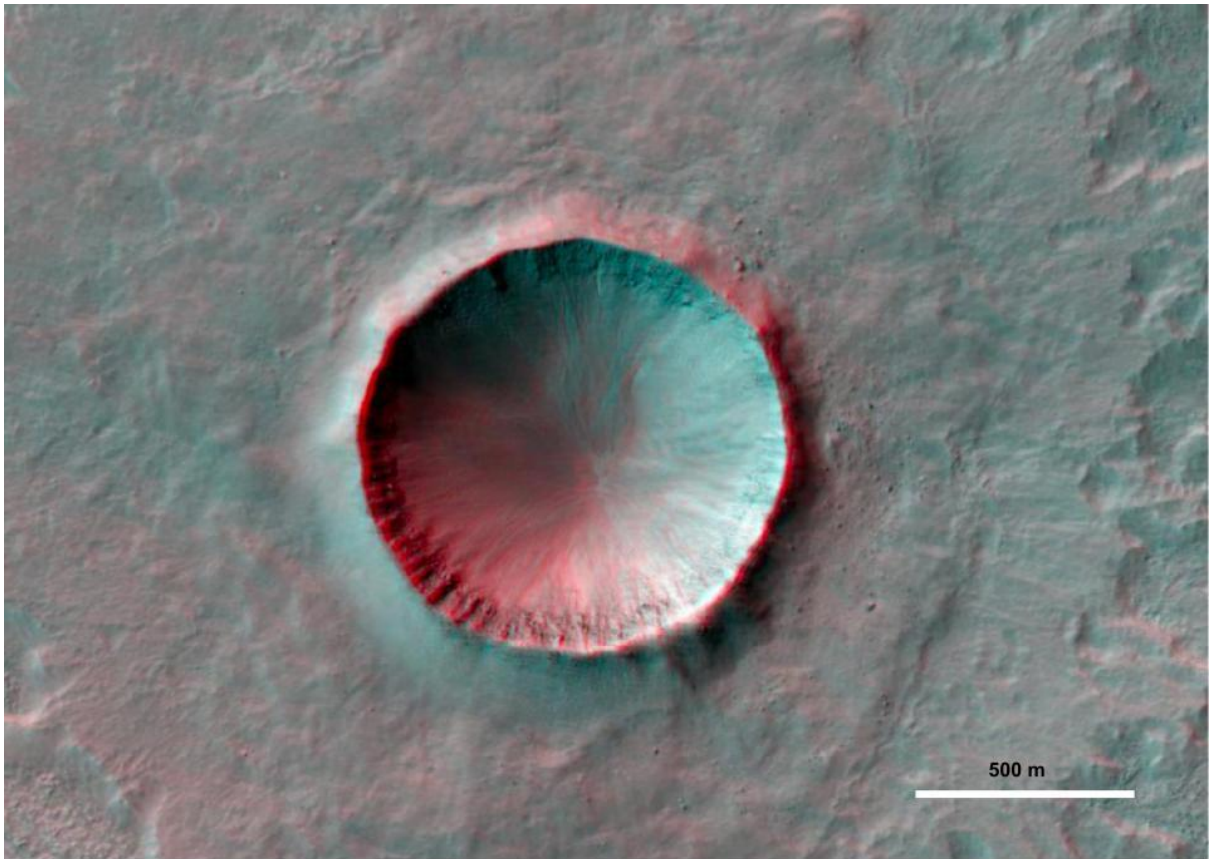


Figura 26. Anaglifo de cráter de impacto en la región de Noachis terra en Marte que presenta eyecta fluidizada, tomada de la enciclopedia de geofomas planetarias *Hargitai, H., & Kereszturi, Á. (Eds.). (2015).*

### **3.4 Mecanismos de pérdida y ganancia de H<sub>2</sub>O**

Dentro de los mecanismos de pérdida de H<sub>2</sub>O más importantes respecto al contenido de la misma durante la formación del planeta tenemos: el barrido por viento solar, escape atmosférico, disociación de la molécula, pérdida en el suelo mediante la generación de óxidos y otros más catastróficos como impactos a escala planetaria.

Respecto al desgasamiento La cantidad de volátiles desgasados en toda la historia de Marte es del orden de  $3.73 \times 10^{20}$  kg, es decir, 16 000 veces la atmósfera actual marciana en cuanto al  $H_2O$  se estima entre  $6.13 \times 10^{19}$  kg y  $8.6 \times 10^{19}$  kg (*Durand, H. 2003*).

Se estima que la cantidad de  $H_2O$  barrido por el viento solar ha sido entre  $2,44 \times 10^{18}$  kg y  $9,79 \times 10^{18}$  kg (*Durand, H. J. 2001*), en cuanto al escape atmosférico, la disociación de la molécula y la pérdida en el suelo mediante la generación de óxidos se estima que esta asciende al equivalente de una lámina de agua que cubriría el planeta con 35 m de altura (*Tokano, T. (Ed.). 2004*).

El mecanismo de ganancia más estudiado corresponde a la entrada de agua por impacto de asteroides y cometas que se estima del 6-27% del contenido de  $H_2O$  en el océano terrestre (*Lunine, J. et. al, 2003*), lo que equivale a entre  $7.8 \times 10^{19}$  kg y  $3.51 \times 10^{20}$  kg de  $H_2O$ .

## **4. Metodología**

### **4.2 Estimación de la cantidad de $H_2O$ durante la formación**

Para realizar esta estimación se considera diferentes combinaciones iniciales de materiales primigenios de tipo condriticos variando sus porcentajes respecto a la masa total del planeta, estos materiales a su vez presentan valores promedio del contenido de agua reportados en la literatura *Tabla 3.*, lo que nos permite tener múltiples valores para el contenido de agua durante la formación de este cuerpo planetario teniendo valores mínimos para las

composiciones condriticas anhidro siendo representadas por las condritas de enstatita y valores máximos para una composición de 100% condritas carbonáceas.

Con estas composiciones en los extremos se calculan los contenidos de H<sub>2</sub>O posibles con un 100% de una composición y diferentes combinaciones teniendo en cuenta el contenido máximo de agua de las mismas nos permiten conocer de manera sencilla el contenido de agua al multiplicarlo por la masa del planeta de  $6.42 \times 10^{23} \text{ kg}$ , además de usar como parámetro de comparación la masa equivalente de agua a un océano terrestre de  $1.3 \times 10^{21} \text{ kg}$ .

## **4.2 Estimación de cantidades de H<sub>2</sub>O actual**

Para la estimación del H<sub>2</sub>O contenido en la actualidad en Marte se han realizado el cálculo a diferentes niveles del planeta, tomando en consideración el agua contenida en el manto, en el subsuelo, a nivel atmosférico y en las regiones polares.

### **4.2.1 Estimación de H<sub>2</sub>O en el subsuelo**

#### **Corteza**

A la hora de realizar la estimación del H<sub>2</sub>O que podría encontrarse almacenado en el subsuelo a nivel de la corteza marciana se toman en consideración las propiedades de los materiales geológicos basándose en la cartografía geológica de Marte (*Skinner, J. A., et. al 2006*), además de características como la porosidad ( $\Phi$ ), la conductividad térmica ( $\kappa$ ) (*Apéndice 2.*),

inherentes de los mismos, con el fin de de calcular los límites del modelo hidrogeológico y estimar el volumen de agua que podría estar contenido en la corteza marciana, además de tener en cuenta la dicotomía mediante el mapa de espesores de la corteza.

Estos cálculos se realizan procesando y operando los mapas base de la geología, los espesores de corteza y otros generados a partir de propiedades de dichos materiales en el software libre QGIS 3.10 mediante álgebra de mapas Estas zonas y límites del modelo hidrogeológico (Figura 12.) son:

### **Capa Límite superior del acuífero ( $\lambda$ )**

la capa ( $\lambda$ ) se representa como el nivel en el subsuelo que se ve afectado por la influencia de la energía radiativa del sol y su base opera como el límite superior del acuífero se representa a través de un mapa generado a partir del software QGIS 3.10 que toma en consideración el mapa geológico (Skinner, J. A., et. al 2006), con el que se elabora el mapa elaborado de conductividad térmica  $k$  de los materiales geológicos de la operación de los anteriores mapas mediante la calculadora ráster empleando la fórmula  $\lambda = \sqrt{4\pi kP}$  (Melosh, H. J. 2011) arrojando una capa con espesor en metros. En principio se estima que esta capa se encuentra insaturada, a esta capa se le procesa en el software SAGA 7.3.0 para obtener su volumen, no obstante se utiliza para la corrección de este valor el mapa de equivalencia de agua (WEH) (Figura 10). en formato ráster que nos proporciona información del porcentaje de H<sub>2</sub>O detectado en el suelo para conocer el grado de saturación de esta capa y que el cálculo del volumen de H<sub>2</sub>O sea más preciso usando la calculadora ráster en el software QGIS 3.10.

## Espesor y volumen del acuífero

Se realizó el procesamiento de una imagen ráster que posee información de los espesores de la corteza marciana obtenidos mediante cálculos gravimétricos en el software de sistema de información geográfica JMars de Arizona State University (Goossens, S., et. al. 2017) para posteriormente operar usando la calculadora ráster en el software QGIS 3.10.

Para realizar la estimación de la porosidad del acuífero se elabora un mapa de porosidad de los materiales geológicos en porcentajes basándose en sus características y usando como base el mapa geológico (Skinner, J. A., et. al 2006), este representa la porosidad primaria (Apéndice 2.), para estimar la porosidad secundaria se genera un mapa de densidad de fracturamiento usando la herramienta de interpolación del software GRASS 7.8.2 en QGIS 3.10 con el método Kriging usando como base la capa de lineamientos de la superficie de Marte (Tanaka, KL, et. al. 2014) obteniendo la cantidad de lineamientos por km<sup>2</sup> obteniendo valores entre 1 y 60 realizando una reclasificación por grado de fracturamiento y asignando un factor de multiplicación al porcentaje de porosidad primaria (Tabla 7.) y en concordancia con el histograma de la capa ráster (Apéndice 6.) obteniendo el mapa de porosidad total.

<b>Tabla 7. Clasificación del mapa de densidad de fracturamiento</b>		
<b>Densidad de fracturamiento</b> #/km <sup>2</sup>	<b>Grado de fracturamiento</b>	<b>Factor</b>
(1-12)	Muy bajo	1
(12-24)	Bajo	1.25

(24-36)	Medio	1.5
(36-48)	Alto	1.75
(48-60)	Muy alto	2

Para estimar la base del acuífero se toma en consideración la ecuación  $\Phi(z) = \Phi(0)\exp(-z/K)$  (Clifford, S. M. 1993), donde,  $z$  representa la profundidad,  $\Phi(z)$  representa la variación de la porosidad en función de la profundidad,  $\Phi(0)$  representa la porosidad total (primaria y secundaria) de los materiales geológicos obtenidos anteriormente y que para el caso del autor oscila entre 20% y 50%,  $-z$  representa al inverso de la profundidad y  $K$  es la escala de decaimiento de la porosidad gravitacionalmente  $\approx 2.82\% * km$  para Marte (Clifford, S. M. 1993).

Al resultado anterior se le resta el espesor de la capa  $\lambda$  obteniendo de esta manera una capa en formato ráster con los espesores del acuífero para cada píxel, la cual procesamos en el software SAGA 7.3.0 en el formato de GRID Binario para obtener el volumen de la misma que al ser operada con el mapa de porosidad total resulta en el cálculo del volumen del espacio poroso total para el acuífero que se asume saturado permitiendo calcular el contenido de H<sub>2</sub>O en el mismo.

### **Basamento**

Aunque no existen evidencias amplias de la estructura interna del planeta mediante el anterior cálculo se puede estimar el tope de una capa parte de la corteza que presenta una porosidad (



$\Phi$ ) y conductividad hidráulica ( $K \sim 0$ ) a partir de este límite y hasta la base de la corteza para el presente trabajo se considera este nivel como basamento.

Para estimar el contenido de  $H_2O$  en esta capa de la corteza se procede a operar haciendo uso de la calculadora ráster del software QGIS 3.10 al mapa de espesor de la corteza, restando el mapa de espesor de la capa  $\lambda$  y del espesor del acuífero, obteniendo así el mapa de espesor del basamento que posteriormente fue procesado en el software SAGA 7.3.0 para obtener el volumen de dicha capa y se utilizó como valor para el contenido de agua valores de geoquímica de algunas rocas máficas y ultramáficas afines a este sector de la corteza entre el 1-3% (*Baker, MB, et. al. 1994; Carlson, R L. 2003*) obteniendo de esta manera el volumen de  $H_2O$ .

#### **4.2.2 Estimación de $H_2O$ en regiones polares**

Para la realización de este cálculo se usó como base el Modelo digital de Elevación con una resolución de 463 m por pixel en formato ráster del Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA), que es un instrumento de la sonda Mars Global Surveyor (MGS) para las regiones polares norte (*Figura 27.*) y sur (*Figura 28.*) tomando en consideración las alturas de los casquetes polares.

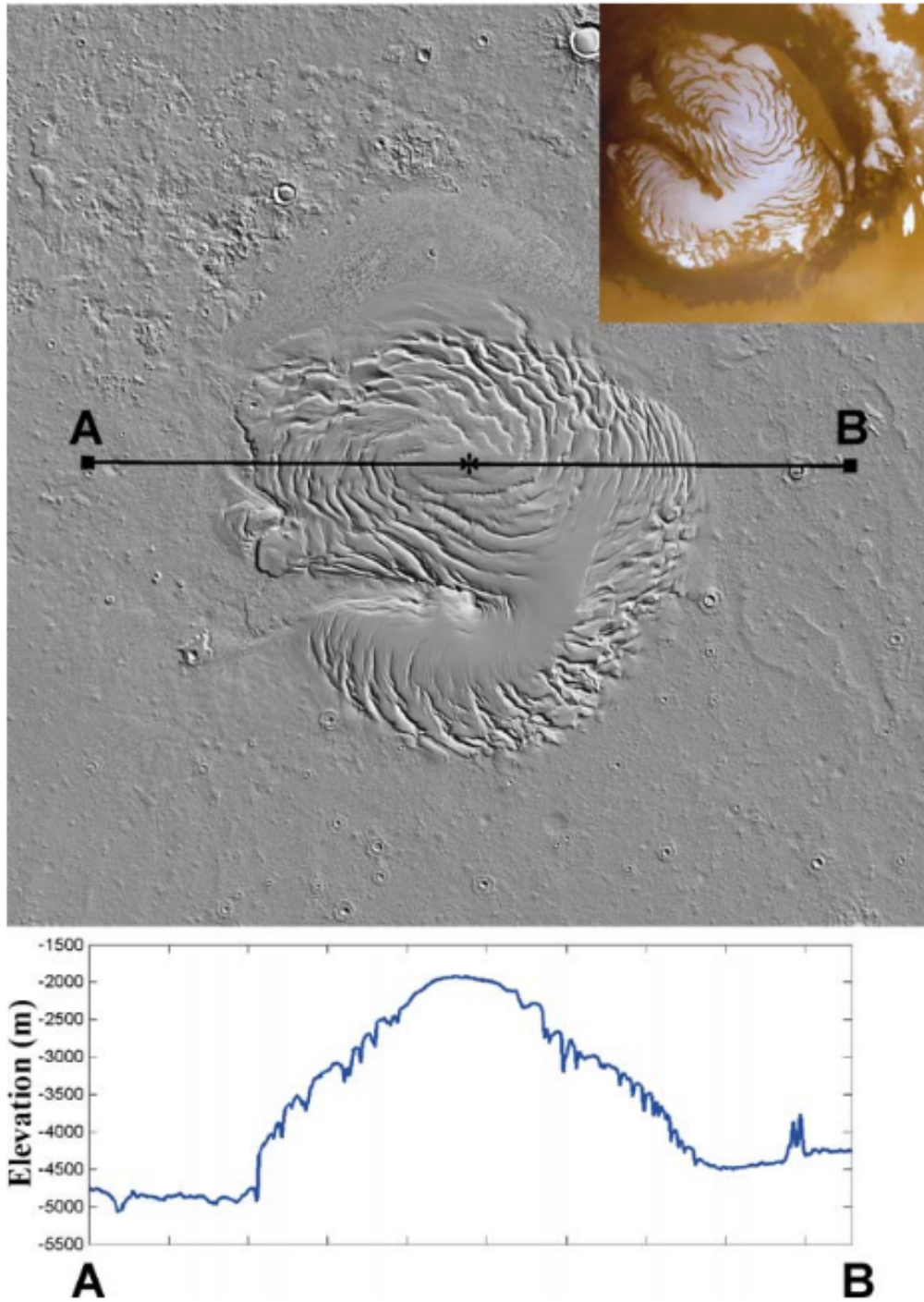


Figura 27. Mapa de sombras del polo norte elaborado a partir de datos de MOLA tomada de: NASA GSFC. Perfil de A a B (distancia aproximada 1800 km) tomadas de: *Tokano, T. (Ed.). (2004).*

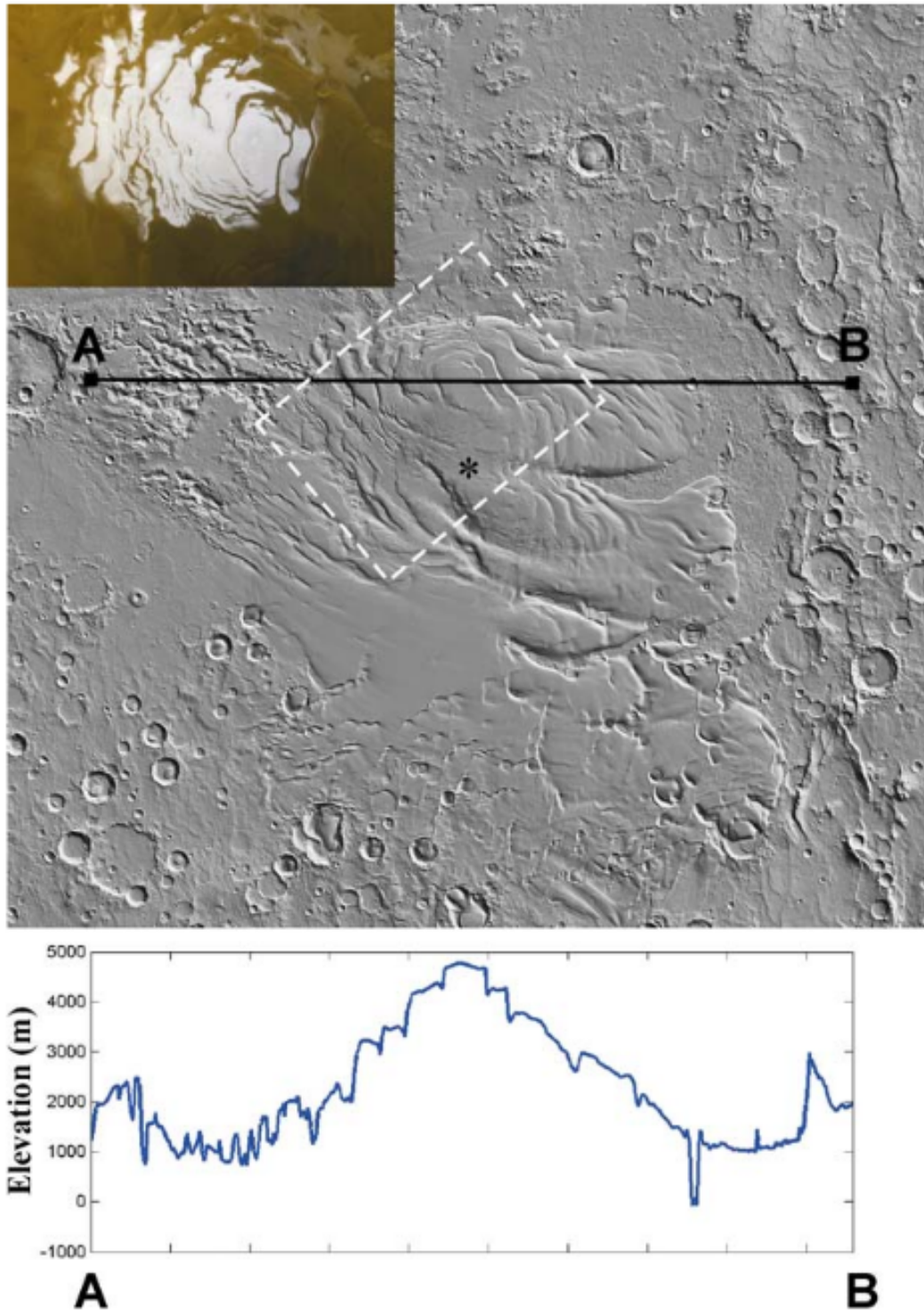


Figura 28. Mapa de sombras del polo sur elaborado a partir de datos de MOLA tomada de: NASA GSFC. Perfil de A a B (distancia aproximada 1800 km) tomadas de: *Tokano, T. (Ed.). (2004).*

Estos mapas en formato ráster se operaran mediante el software QGIS 3.10 para realizar una inversión de estas alturas y con la ayuda del software SAGA 7.3.0 se calcula el volumen de cada uno de los casquetes polares para a continuación calcular el contenido aproximado de H<sub>2</sub>O en los mismos utilizando como valor de referencia un ~15% de hielo de agua y un ~85% de Hielo seco (*Bibring, J. P., et. al. 2003*) para el polo sur y ~90% de hielo de agua para el polo norte (*Grima, C., et. al. 2009*).

### **4.2.3 Estimación de H<sub>2</sub>O en el manto**

Para estimar la cantidad de H<sub>2</sub>O contenida en el manto marciano en ausencia de información sísmica que nos permita conocer los límites, volumen, y diferenciación del mismo se optó por calcular los límites y volumen de la corteza y el núcleo sobre los cuales poseemos más información para ser restados del volumen total del esferoide marciano.

#### **Volumen del esferoide marciano**

Utilizando las dimensiones conocidas del esferoide marciano disponibles en Matlab se calcula el volumen del esferoide en el mismo software mediante la fórmula  $V = \frac{4}{3}\pi a^2 b$  donde a y b representan los semiejes mayor y menor respectivamente (*Tabla 8.*)

<b>Tabla 8. Parámetros del elipsoide de referencia de Marte</b>	
Semieje mayor (km)	3396.9
Semieje menor (km)	3376.09
Aplanamiento	163.29
Excentricidad	0.1105
Área superficial (km <sup>2</sup> )	1.44 x10 <sup>8</sup>
Volumen (km <sup>3</sup> )	1.6318 x10 <sup>11</sup>

Posteriormente se calcula el volumen del núcleo con la fórmula para conocer el volumen de una esfera  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$  donde  $r$  representa el radio del núcleo del planeta de  $r = 1794 \pm 60 \text{ km}$  (Rivoldini, A., et. al. 2011) obteniendo un volumen de  $2.42 \times 10^{10} \text{ km}^3$  este valor se resta junto con el valor del volumen de la corteza obtenido para las estimaciones del acuífero mediante el software SAGA 7.3.0 para obtener el volumen ocupado por el manto marciano en el que por último se realiza la estimación tomando como valor de referencia un contenido de  $850 \pm 150 \text{ ppm}$  de H<sub>2</sub>O para el manto (Ferot, A., & Bolfan-Casanova, N. 2012).

#### **4.2.4 Valores de H<sub>2</sub>O en la atmósfera**

Para los valores del volumen de H<sub>2</sub>O en el cálculo total del agua en la actualidad se tomaron como referencia los datos obtenidos por el Rover Environmental Monitoring Station (REMS) a bordo del Mars Sciences Laboratory de NASA que ha obtenido valores de contenido de

vapor de agua en la atmósfera de entre  $\sim 10$  y  $40$  *ppbv* que equivalen a una lámina que cubrirá todo el planeta con un espesor de  $50$   $\mu\text{m}$  que son congruentes por las estimaciones de los modelos de *Clancy R., et. al. (2004)* que ubican estos valores para latitudes hacia el sur en  $18 \pm 0.4$  *ppbv* y con ellos se realiza una estimación del volumen de  $\text{H}_2\text{O}$  a nivel atmosférico.

### **4.3 Estimación de la pérdida de $\text{H}_2\text{O}$ en el planeta.**

A la hora de realizar esta estimación se tuvieron en cuenta la comparación entre los valores del contenido de  $\text{H}_2\text{O}$  inicial al momento de la formación de Marte y la estimación del contenido de  $\text{H}_2\text{O}$  en la actualidad totalizado, la divergencia entre estos valores se considera como una pérdida en algún momento de la historia del planeta, que se debe explicar a través de los mecanismos de pérdida que se discutirán más adelante en el presente documento.

### **4.4 Estimación de $\text{H}_2\text{O}$ disponible en la exploración humana**

Para realizar esta estimación se realiza una sumatoria tomando en cuenta los cálculos realizados del contenido de  $\text{H}_2\text{O}$  a nivel atmosférico, de casquetes polares y en el subsuelo a nivel de la capa lambda y el acuífero, el mapa producto de este último se limitó a profundidades de  $5$  km y de  $10$  km mediante la calculadora ráster del software QGIS 3.10 estos límites representan profundidades a las que se han realizado perforaciones en el planeta Tierra que han alcanzado el récord de los  $12$  km; siendo el primer valor un límite razonable teniendo en cuenta el común denominador de la profundidad alcanzada por los pozos

petroleros, no obstante los pozos para aguas subterráneas no suelen superar los 2 Km de profundidad en nuestro planeta.

## 5. Resultados y Discusión

### 5.1 Contenido inicial de H<sub>2</sub>O estimado durante la formación de Marte

Asumiendo la composición primigenia de Marte a partir de materiales condriticos se obtiene un contenido de de H<sub>2</sub>O inicial para el planeta al momento de su formación en un rango entre  $6.41 \times 10^{19} \text{Kg}$  de H<sub>2</sub>O con condritas de enstatita y  $4.23 \times 10^{22} \text{kg}$  de H<sub>2</sub>O con condritas carbonáceas equivalentes a  $4.93 \times 10^{-2}$  y 32.54 océanos terrestres (Tabla 9).

Tabla 9. Estimación del contenido de H <sub>2</sub> O inicial del planeta Marte											
	CE		CO			CC					
Subgrupo	EH	EL	H	L	LL	CK	CV	CO	CR	CM	CI
% en masa de H <sub>2</sub> O	0.004	0.16	0.32	0.34	0.6	1.6	0.25	3.3	7.11	10.4	16.9
% en masa de H <sub>2</sub> O por grupo	0.01		0.42			6.59					
Masa de H <sub>2</sub> O (kg) con 100% de composición	2.6 $\times 10^{19}$	$1 \times 10^{21}$	2.1 $\times 10^{21}$	2.2 $\times 10^{21}$	3.8 $\times 10^{21}$	1.02 $\times 10^{22}$	1.6 $\times 10^{22}$	2.1 $\times 10^{22}$	4.6 $\times 10^{22}$	6.7 $\times 10^{22}$	1.1 $\times 10^{23}$
Masa de agua (kg) por grupo	$6.41 \times 10^{19}$		$2.69 \times 10^{21}$			$4.23 \times 10^{22}$					
Equivalencia en océanos terrestres	$4.93 \times 10^{-2}$		2.07			32.54					
Masa de	$2.03 \times 10^{20}$										

H <sub>2</sub> O(kg),compos ición $\alpha$ 90% CE, 7% CO y 3% CC	
Equivalencia en océanos terrestres	0.15

Estos valores son el punto de partida del presente trabajo para estimar la pérdida de H<sub>2</sub>O a través de la historia del planeta aunque no tenemos certeza respecto a la composición exacta de los cuerpos condriticos primitivos que constituyeron el planeta Marte podemos tener una evidencia a partir de los estudios realizados al cinturón de asteroides donde la parte interna del mismo cercana al planeta se encuentra compuesto predominantemente por Condritas de Enstatita y a mayor distancia aumenta el contenido de volátiles siendo predominantes en la parte media las condritas ordinarias y hacia la parte exterior las condritas carbonáceas (*Bell, JF, et. al. 1989; Meibom, A., & Clark, B. E. 1999*), lo que nos permite orientarnos predominantemente hacia el primer grupo como el principal constituyente de Marte con componentes minoritarios de los demás grupos, similar a los modelos de formación de la tierra a partir de condritas de enstatita  $\geq 90\%$  (*Javoy, M. 1995*); aunque se estime la pérdida en comparación a todas las composiciones esta última que para efectos de este trabajo se denomina composición  $\alpha$  presenta un 90% de condritas de enstatita, 7% condritas ordinarias y 3% condritas carbonáceas será fundamental en la discusión.



## 5.2 Contenido actual de H<sub>2</sub>O estimado para Marte

Para la realización del presente cálculo se toma como partida el volumen del esferoide de referencia de Marte (*Tabla 8.*) al que posteriormente se restan los volúmenes obtenidos para el núcleo y la corteza obtenida del cálculo de volumen del mapa de espesores (*Figura 29.*) con el objetivo de obtener el volumen del manto estos valores se encuentran consignados en la (*Tabla 10.*).

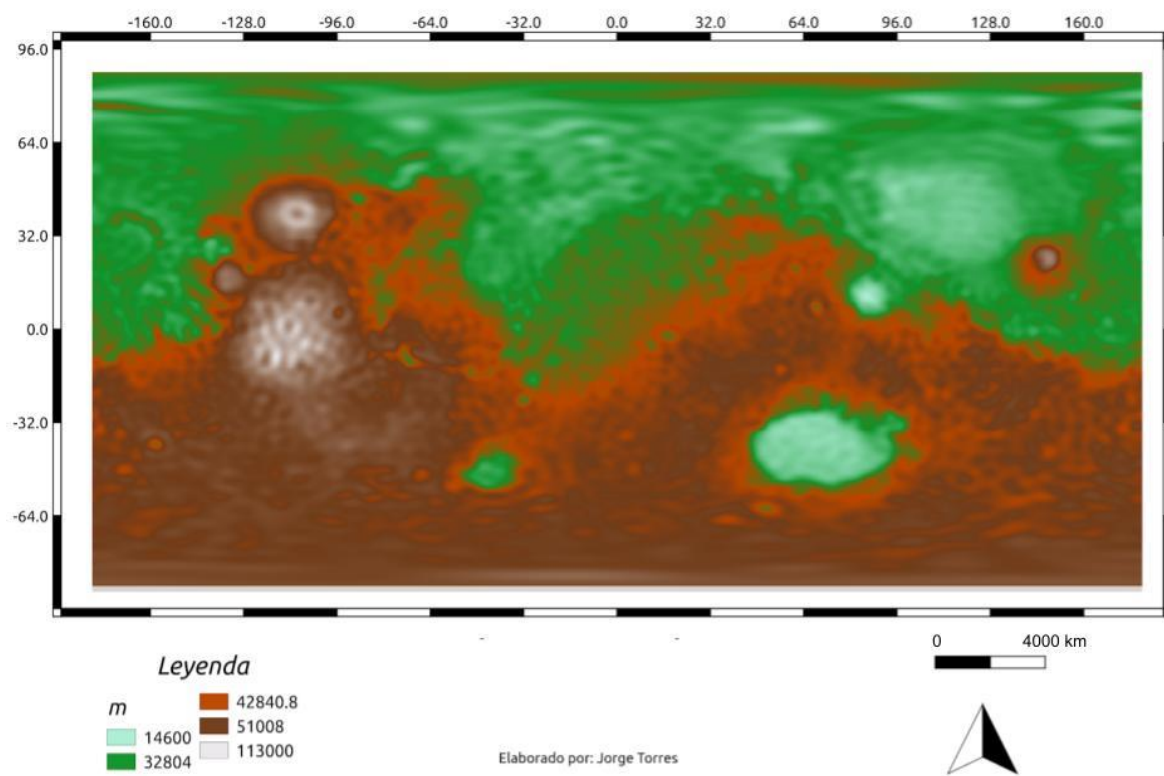


Figura 29. Mapa de espesores de corteza en metros, elaborado a partir de datos de: (Goossens, S., et. al. 2017).

Tabla 10. Volúmenes de las capas internas de Marte			
Volumen total esferoide (km <sup>3</sup> )	Volumen núcleo (km <sup>3</sup> )	Volumen corteza (km <sup>3</sup> )	Volumen del manto (km <sup>3</sup> )
1.63x10 <sup>11</sup>	2.42x10 <sup>10</sup>	2.73x10 <sup>9</sup>	1.36 <sup>11</sup>

### Contenido actual de H<sub>2</sub>O estimado en la corteza

Como se mencionó con anterioridad la corteza ha sido dividida en tres capas (*Figura 12.*)  $\lambda$ , acuífero y basamento, obteniendo los siguientes mapas que representan los espesores (*Figura 30., Figura 31. y Figura 32.*).

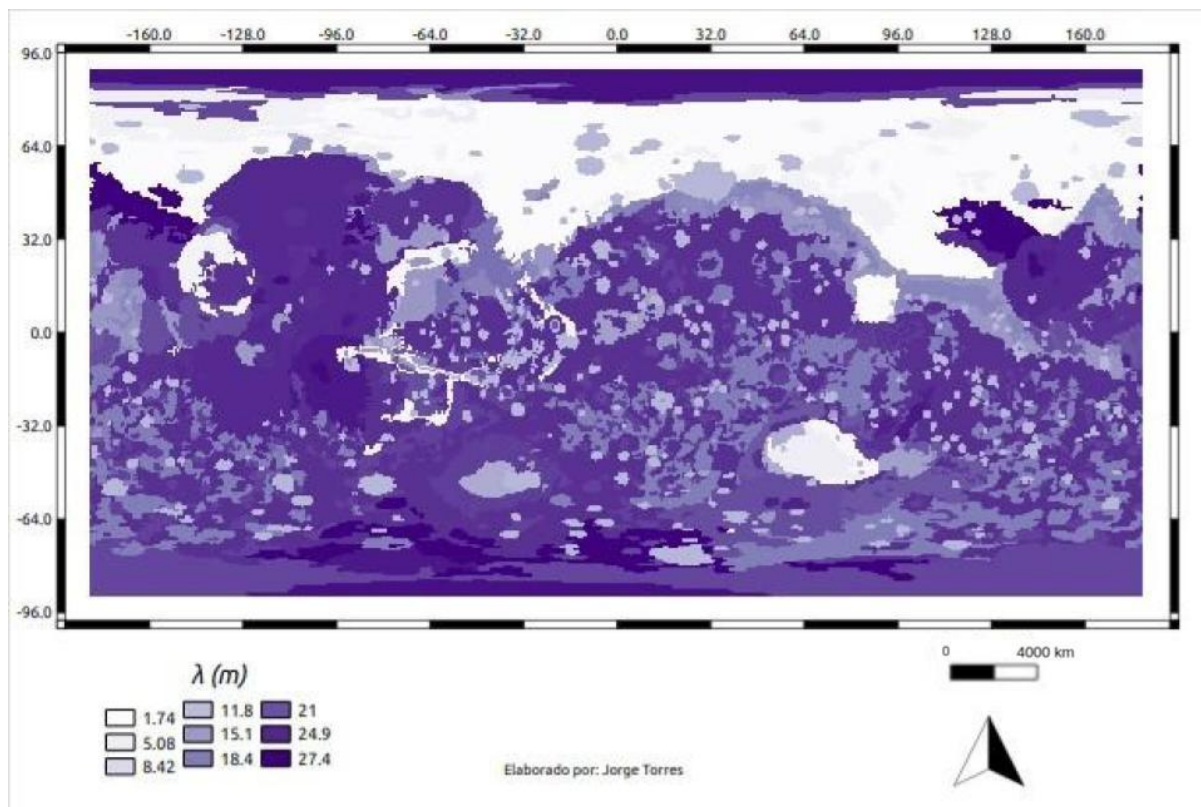


Figura 30. Mapa de espesores de la capa  $\lambda$  nivel superior de la corteza en metros.

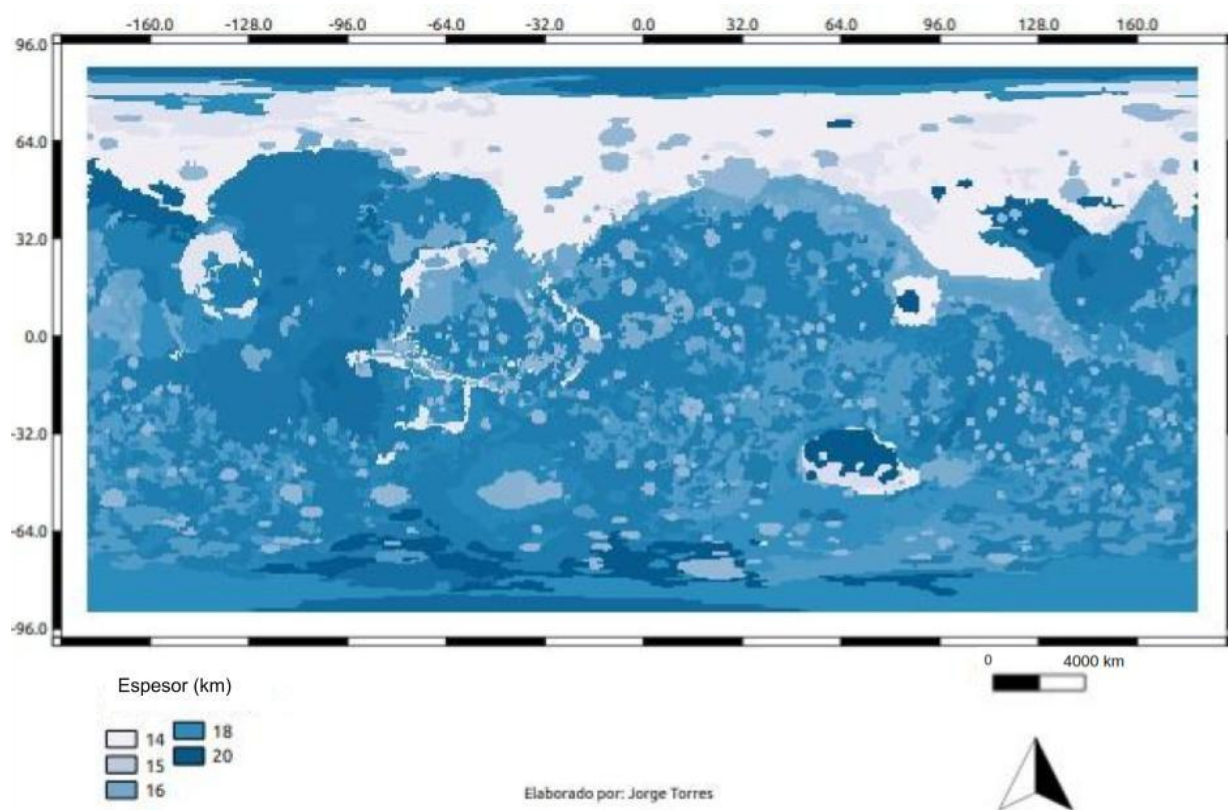


Figura 31. Mapa de espesores del acuífero en kilómetros.

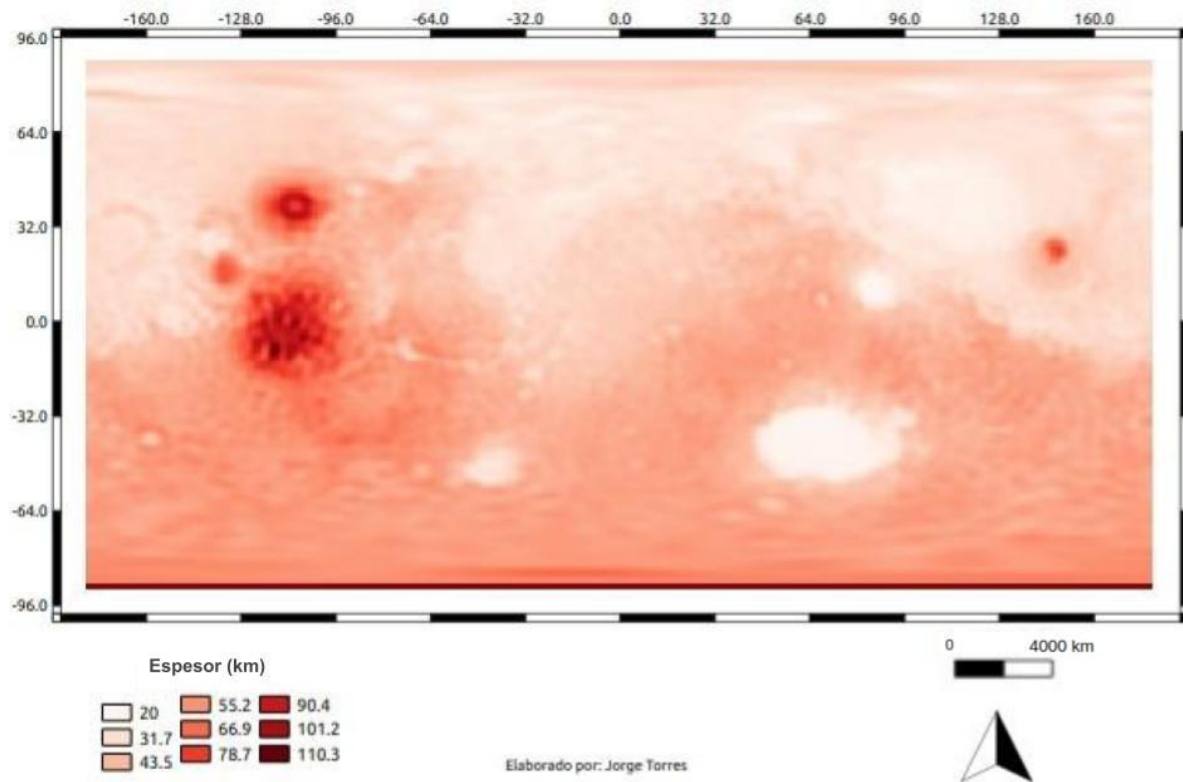


Figura 32. Mapa de espesores del basamento en Kilómetros.

Para la elaboración del mapa de espesor de la capa  $\lambda$  fue necesaria la generación de un mapa de conductividad térmica  $\kappa$  de los materiales geológicos (Figura 33.), esta capa en un principio se encuentra insaturada no obstante, el contenido de agua de esta puede ser corroborado al revisar el mapa de contenido de hidrógeno equivalente en  $H_2O$  del suelo marciano (Figura 10.), que proporciona el porcentaje de  $H_2O$  presente en esta capa y puede ser operado por su volumen para cada píxel del mapa obteniendo el volumen consignado en la (Tabla 11.).

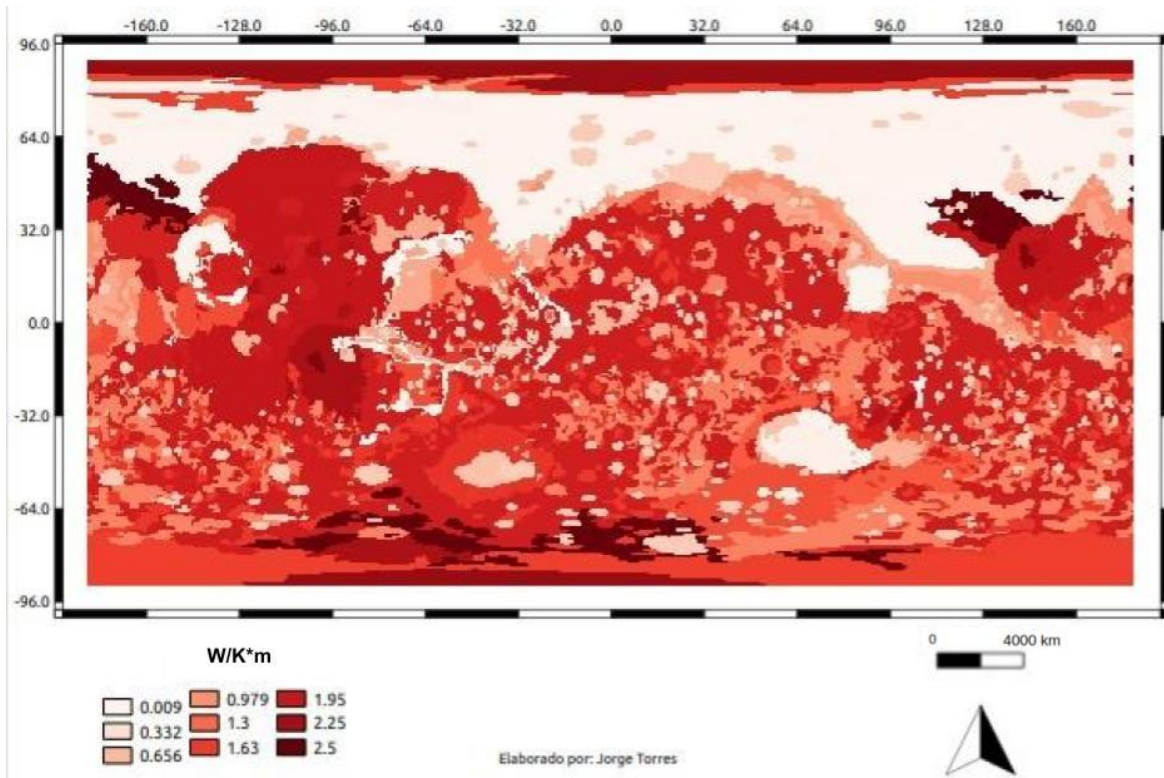


Figura 33. Mapa de conductividad térmica de los materiales geológicos de Marte.

Para la estimación del contenido de agua en el acuífero se utilizó como base el mapa de espesor del acuífero (*Figura 31.*), se elaboró el mapa de porosidad primaria para los materiales geológicos de Marte (*Figura 34.*), el mapa de densidad de fracturamiento (*Figura 35.*) que al ser reclasificado con los parámetros de (*Tabla 8.*) generan una capa ráster que representa la porosidad secundaria que posteriormente fue multiplicado por el mapa de porosidad primaria para producir el mapa de porosidad total de los materiales geológicos de Marte (*Figura 36.*).

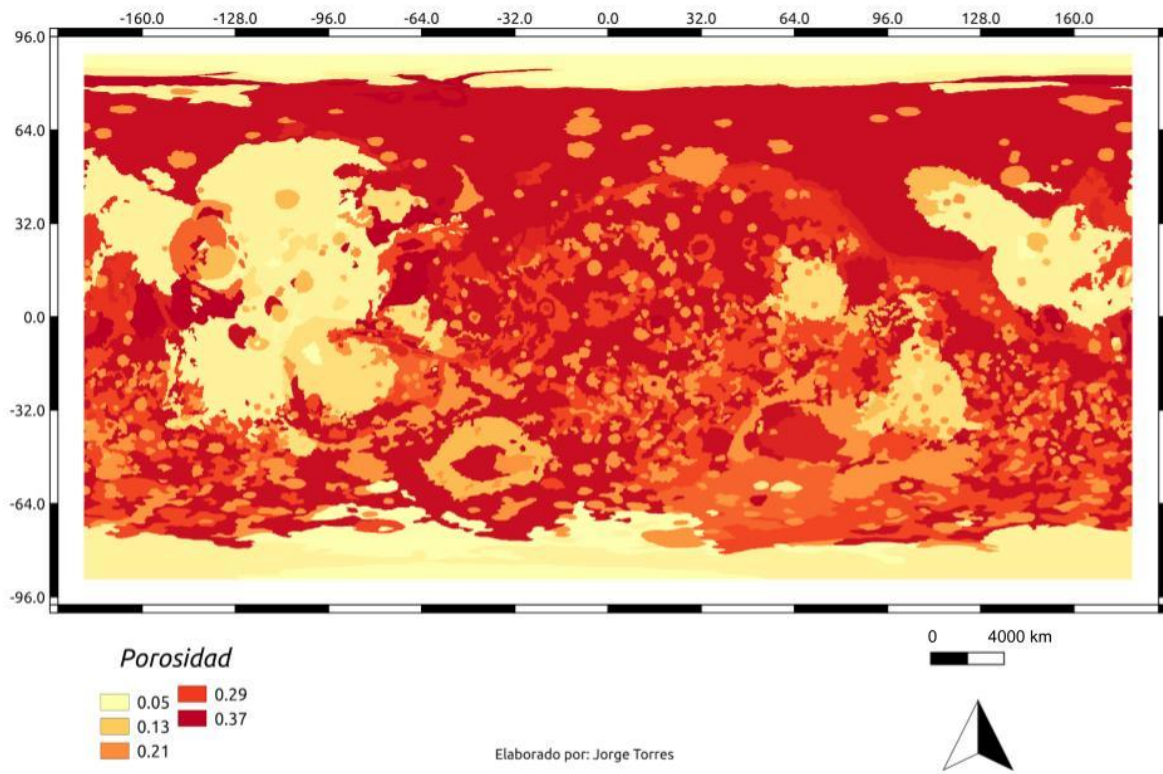


Figura 34. Mapa de porosidad primaria de los materiales geológicos de Marte.

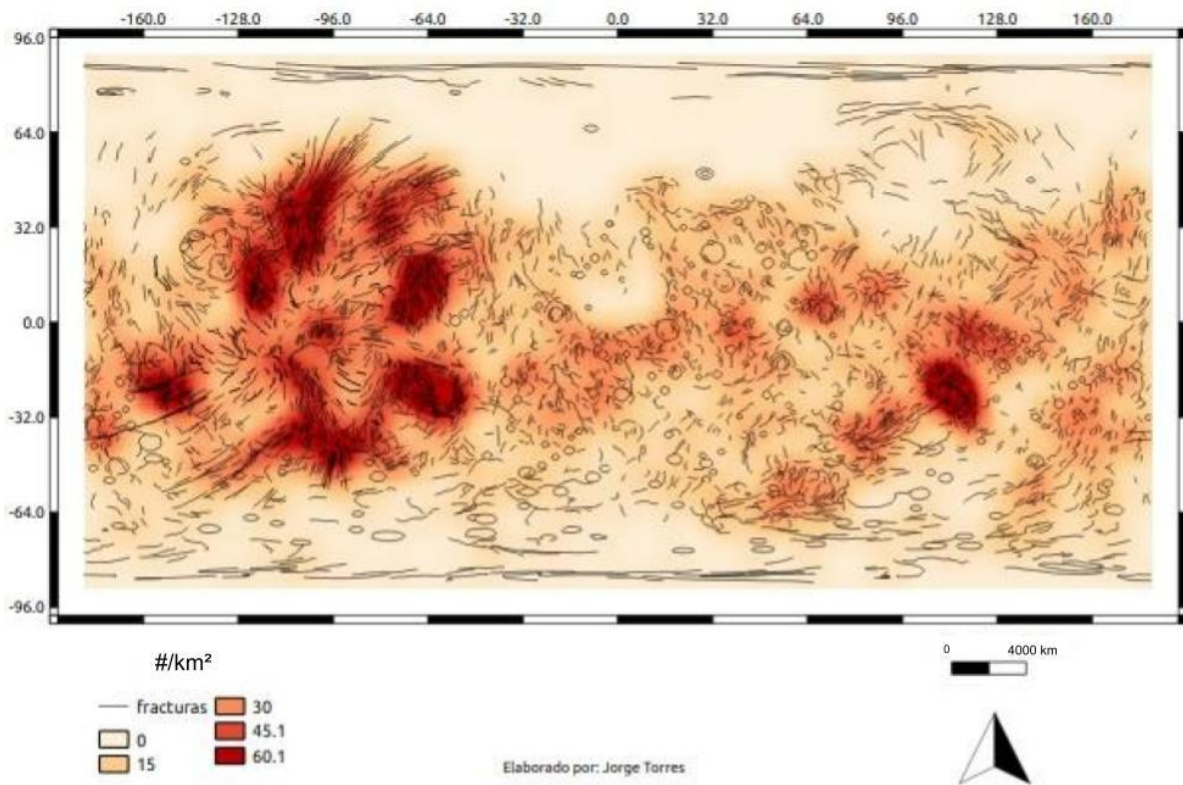


Figura 35. Mapa de densidad de fracturamiento para Marte.

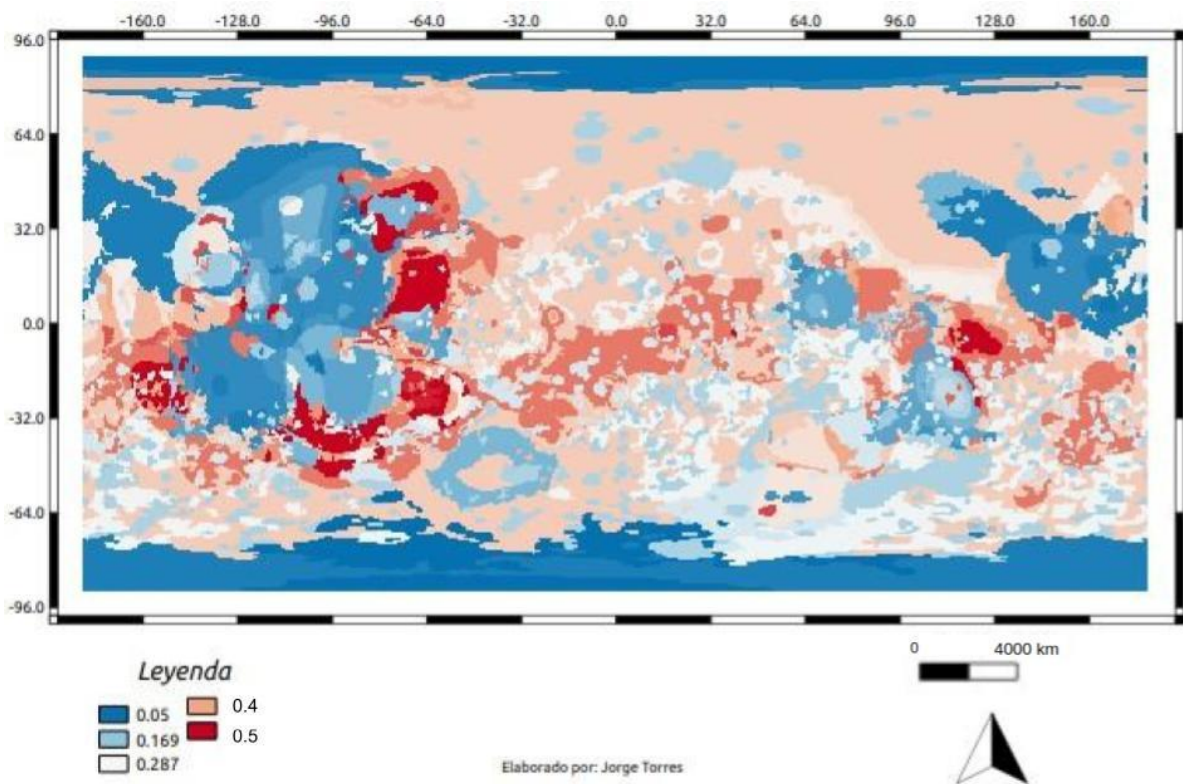


Figura 36. Mapa de porosidad total (primaria y secundaria) para Marte.

Al multiplicar el mapa de porosidad total (*Figura 36.*) y el mapa de los espesores del acuífero (*Figura 31.*) se obtiene la capa ráster con la cual se puede calcular el volumen contenido de H<sub>2</sub>O en el software SAGA 7.3.0 de 334.12 km<sup>3</sup>, valor bastante insignificante tomando como referente el volumen H<sub>2</sub>O estimado en para el planeta Tierra de 2.34 x10<sup>7</sup> km<sup>3</sup> (*Igor, S., 1993*).

Por último se realiza el cálculo del contenido de agua en el basamento, usando el mapa del espesor del basamento (*Figura 32.*) considerando un valor de contenido de agua de 3 %wt (*Baker, MB, et. al. 1994; Carlson, R L. 2003*) con la cual se puede calcular el volumen contenido de H<sub>2</sub>O en el software SAGA 7.3.0 consignado en la *Tabla 11*, esta estimación para el caso de la corteza corresponde a 2.49x10<sup>4</sup> km<sup>3</sup> un valor superior a lo calculado por *Clifford, S. (1993)* de entre ~10<sup>2</sup> y 10<sup>3</sup> km<sup>3</sup>, esta diferencia puede obedecer a que en el modelo de este autor se toma en consideración el gradiente hidráulico hacia el ecuador.

<b>Tabla 11. Volúmenes de H<sub>2</sub>O en las capas de la corteza marciana</b>			
Volumen corteza (km <sup>3</sup> )	Volumen de la capa lambda (km <sup>3</sup> )	Volumen de las rocas del acuífero (km <sup>3</sup> )	Volumen Basamento (km <sup>3</sup> )
2.73x10 <sup>9</sup>	1.16	1.28x10 <sup>3</sup>	2.72x10 <sup>9</sup>
Volumen estimado de H <sub>2</sub> O en la corteza (km <sup>3</sup> )	Volumen estimado de H <sub>2</sub> O en la capa lambda corregido por (%WEH)	Volumen estimado de H <sub>2</sub> O en el acuífero (km <sup>3</sup> )	Volumen estimado de H <sub>2</sub> O en el basamento (km <sup>3</sup> )
2.49x10 <sup>4</sup>	0.37	334.12	2.45x10 <sup>4</sup>



## Contenido actual de H<sub>2</sub>O estimado en los casquetes polares

Del procesamiento de los DEM de las regiones polares con una resolución de 463 m por pixel se obtuvieron los mapas para el volumen del casquete polar norte (*Figura 37.*) y del casquete polar sur (*Figura 38.*) que posteriormente se computaron con el contenido de H<sub>2</sub>O estimado para cada una de estas regiones obteniendo el respectivo volumen consignados en la (*Tabla 12.*) que se encuentran en el orden de  $10^6 \text{ km}^3$  lo que es coincidente con los cálculos del volumen obtenidos mediante radar por (*Grimma, C., 2015.*)

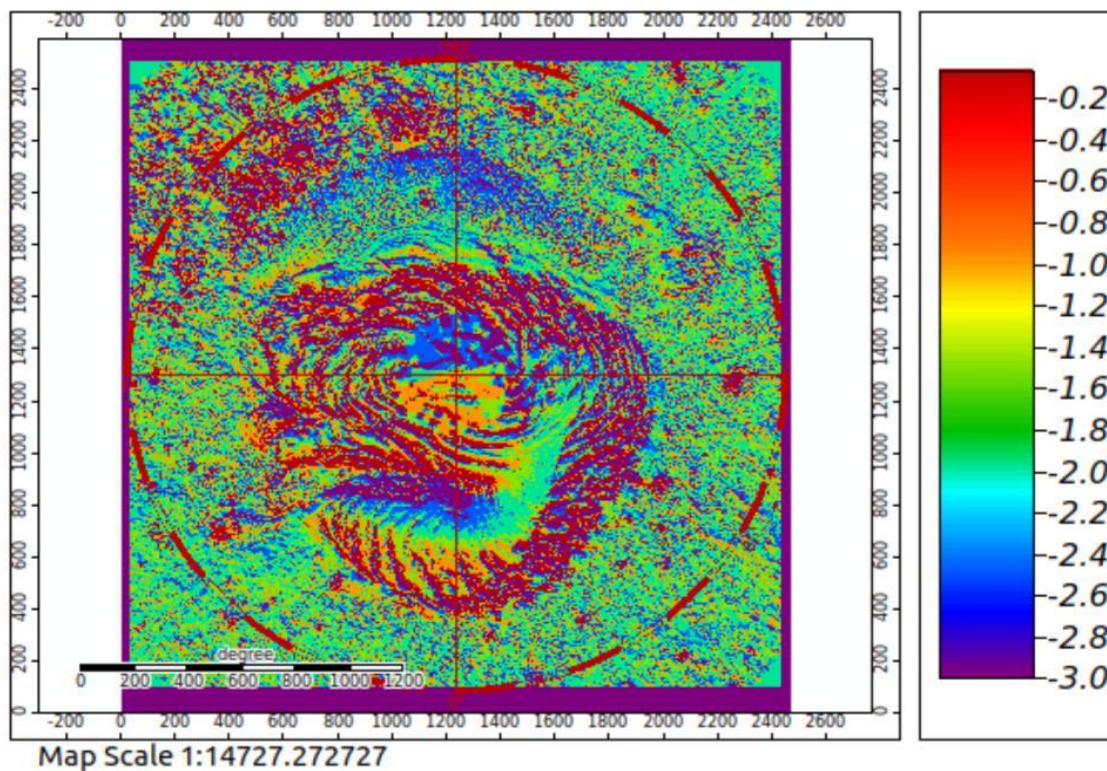


Figura 37. Mapa para volumen del casquete polar Norte, la escala de color a la derecha representa la altura del casquete polar invertido con el fin de obtener el volumen.

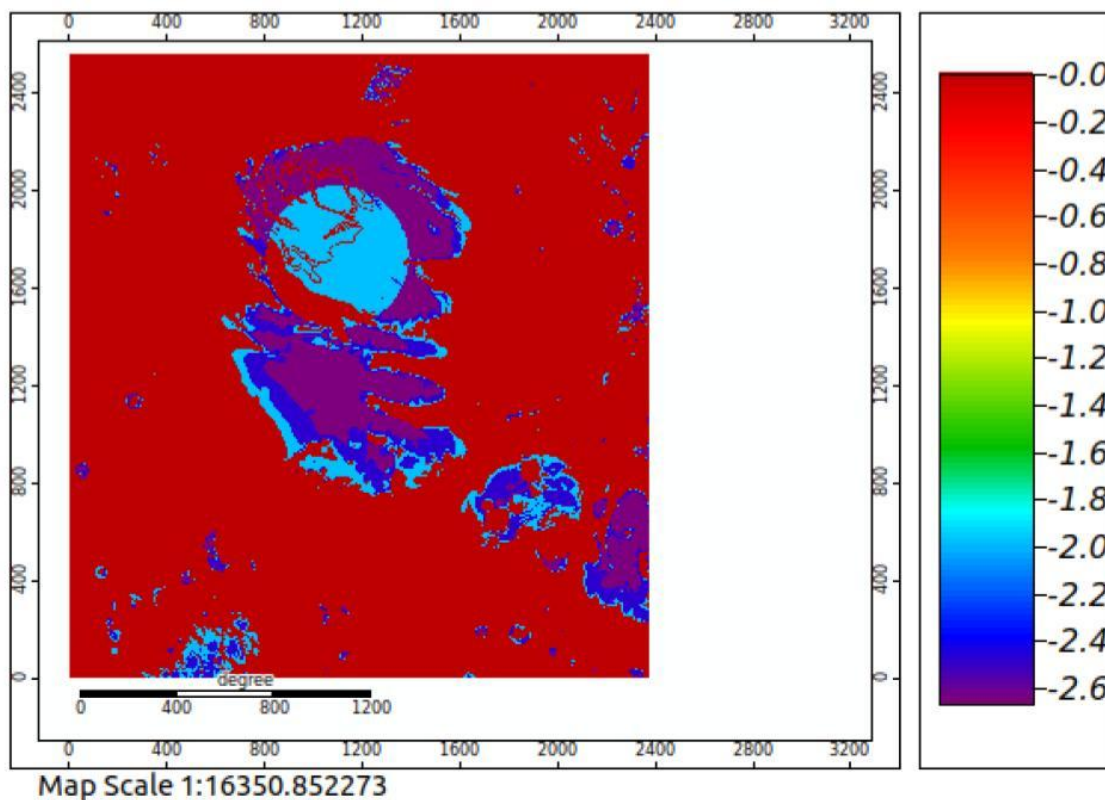


Figura 38. Mapa para volumen del casquete polar Sur, la escala de color a la derecha representa la altura del casquete polar invertido con el fin de obtener el volumen.

<b>Tabla 12. Volúmenes de H<sub>2</sub>O de los casquetes polares marcianos</b>		
Volumen de los casquetes polares (km <sup>3</sup> )	Casquete Norte (km <sup>3</sup> )	Casquete Sur (km <sup>3</sup> )
6.71x10 <sup>6</sup>	4.4x10 <sup>6</sup>	2.31x10 <sup>6</sup>
Volumen de H <sub>2</sub> O de los casquetes polares (km <sup>3</sup> )	Volumen de H <sub>2</sub> O polo norte (km <sup>3</sup> )	Volumen de H <sub>2</sub> O polo sur (km <sup>3</sup> )
4.53x10 <sup>6</sup>	4.18x10 <sup>6</sup>	3.46x10 <sup>5</sup>

### Contenido actual de H<sub>2</sub>O estimado en la atmósfera

Usando la información del instrumento REMS a bordo del Mars Science Laboratory se utiliza el valor de la capa equivalente de 50  $\mu\text{m}$  sobre la superficie del planeta y con ayuda del software SAGA se estima que el volumen contenido de H<sub>2</sub>O en forma de vapor en la atmósfera es de 7.2 km<sup>3</sup> *Tabla 13.*

### Contenido actual de H<sub>2</sub>O estimado en el manto

Con el volumen obtenido para el manto y el contenido de H<sub>2</sub>O estimado en el mismo de 850  $\pm$  150 ppm (*Ferot, A., & Bolfan-Casanova, N. 2012.*) con lo que se obtiene que el contenido de H<sub>2</sub>O en el manto es de de 1.16x10<sup>8</sup> km<sup>3</sup> (*Tabla 13.*) *este valor es más alto que lo estimado por Kreslavsky, M., & Head III, J. (2002) de 1x10<sup>6</sup> km<sup>3</sup>.*

Volumen de H <sub>2</sub> O en la atmósfera (km <sup>3</sup> )		7.2	
Volumen de los casquetes polares (km <sup>3</sup> )	6.71x10 <sup>6</sup>	Volumen de H <sub>2</sub> O de los casquetes polares (km <sup>3</sup> )	4,53x10 <sup>6</sup>
Volumen corteza (km <sup>3</sup> )	2.73x10 <sup>9</sup>	Volumen estimado de H <sub>2</sub> O en la corteza (km <sup>3</sup> )	2.49x10 <sup>4</sup>
Volumen del manto (km <sup>3</sup> )	1.36x10 <sup>11</sup>	volumen de H <sub>2</sub> O en el manto (km <sup>3</sup> )	1.16x10 <sup>8</sup>
<b>Volumen de H<sub>2</sub>O total (km<sup>3</sup>)</b>		<b>1.21x10<sup>8</sup></b>	

### 5.3 Estimación de la pérdida de H<sub>2</sub>O en el planeta

Para calcular en primera medida la pérdida de H<sub>2</sub>O en el planeta a lo largo del tiempo se realiza la resta entre los valores de agua iniciales durante la formación del planeta y el H<sub>2</sub>O actual, este rango de valores representa la cantidad de H<sub>2</sub>O que se ha perdido la cual se encuentra consignada en la (Tabla 14.) como producto de diversos procesos entre los que se destaca el barrido por viento solar, el escape atmosférico y la oxidación de la superficie.

<b>Tabla 14. Contenido de agua en Marte durante formación (kg)</b>			
<b>CE (kg)</b>	<b>CO (kg)</b>	<b>CC (kg)</b>	<b>Promedio (kg)</b>
6.41x10 <sup>19</sup>	2.69x10 <sup>21</sup>	4.23x10 <sup>22</sup>	1.50x10 <sup>22</sup>
4.93x10 <sup>-2</sup> (*)	2.07 (*)	32.5 (*)	11.6 (*)
<b>α H<sub>2</sub>O (Kg)</b>			
2.03 x10 <sup>20</sup>			
0.15 (*)			
<b>Agua actual (kg)</b>			
<b>Casquete polar norte (kg)</b>	<b>Casquete polar sur (kg)</b>	<b>Tota casquetes (kg)</b>	<b>Atmósfera</b>
4.18x10 <sup>18</sup>	3.47x10 <sup>17</sup>	4.53x10 <sup>18</sup>	7.20x10 <sup>12</sup>
3.22x10 <sup>-3</sup> (*)	2.67x10 <sup>-4</sup> (*)	3.48x10 <sup>-3</sup> (*)	5.54x10 <sup>9</sup> (*)
<b>Capa λ corregido por (%WEH) en kg</b>	<b>Acuífero (kg)</b>	<b>Basamento (kg)</b>	<b>Manto (kg)</b>
3.69x10 <sup>8</sup>	3.34x10 <sup>14</sup>	2.47x10 <sup>16</sup>	1.16x10 <sup>20</sup>
2.84x10 <sup>-13</sup> (*)	2.57x10 <sup>-7</sup> (*)	1.90x10 <sup>-5</sup> (*)	8.92x10 <sup>-2</sup> (*)
<b>Total</b>			
1.21x10 <sup>20</sup>			
9.27x10 <sup>-2</sup> (*)			
<b>Pérdida (Kg)</b>			

Respecto a CE (kg)	Respecto a CO (kg)	Respecto a CC (kg)	Respecto al promedio (kg)
$-5.19 \times 10^{19}$	$2.57 \times 10^{21}$	$4.22 \times 10^{22}$	$1.49 \times 10^{22}$
$-3.99 \times 10^{-2}$ (*)	2 (*)	32.4 (*)	11.5 (*)
<b>Respecto al contenido de H<sub>2</sub>O (Kg) de <math>\alpha</math></b>			
$8.24 \times 10^{19}$			
$6.34 \times 10^{-2}$ (*)			

En la (Tabla 14). CE: Condritas de enstatita, CO: Condritas Ordinarias y CC: Condritas carbonáceas;  $\alpha$  representa la composición aproximada de los materiales que formaron al planeta y es igual a 90% CE, 7% CO y 3% CC; (\*) representa la equivalencia de cada categoría en océanos terrestres, la masa de un océano terrestre es  $\approx 1.3 \times 10^{23}$  kg.

En la presente tesis se estima que la pérdida de agua en Marte se encuentra en un rango entre  $6.34 \times 10^{-2}$  océanos terrestres partiendo de la composición inicial  $\alpha$  hasta 32.4 océanos terrestres con una composición de 100 % de condritas carbonáceas, como se mencionó anteriormente debido a la posición de Marte en el sistema solar, la distribución y abundancia de las composiciones en el interior del sistema solar (*Bell, JF, et. al. 1989; Meibom, A., & Clark, B. E. 1999*), este último valor a partir de condritas carbonáceas sería el escenario menos probable, gracias a diferentes modelos para planetas rocosos (*Javoy, M. 1995*) el valor de la pérdida sería cercano al obtenido con una composición  $\geq 90\%$  de condritas de enstatita.

Existen diversos procesos que contribuyen a la pérdida del H<sub>2</sub>O en el planeta entre los más importantes se encuentra el barrido por viento solar, cuya pérdida se encuentra entre 2,44 x

$10^{18}$  Kg y  $9,79 \times 10^{18}$  kg (Durand, H. J. 2001), en segundo lugar tenemos el desgasamiento de volátiles y escape atmosférico que para el caso del  $H_2O$  asciende a valores entre  $6.13 \times 10^{19}$  Kg y  $8.6 \times 10^{19}$  kg (Durand, H. 2003), Por último la pérdida por oxidación de la superficie en la cual se disocia la molécula de agua se estima esta es equivalente a una capa de 35 m de espesor de agua sobre la superficie (Tokano, T. (Ed.). 2004) , estos valores se encuentran consignados en la *Tabla 15*.

<b>Tabla 15. Pérdidas de <math>H_2O</math> en Marte</b>				
Pérdida por oxidación (kg), (Tokano, T. (Ed.). 2004)	Pérdida por viento solar (kg), (Durand, H. J. 2001)		Pérdida por desgasamiento (kg) (Durand, H. 2003)	
$5.04 \times 10^{18}$	$2.44 \times 10^{18}$	$9.79 \times 10^{18}$	$6.13 \times 10^{19}$	$8.60 \times 10^{19}$
$3.88 \times 10^{-3}$ (*)	$1.88 \times 10^{-3}$ (*)	$7.53 \times 10^{-3}$ (*)	$4.72 \times 10^{-2}$ (*)	$6.62 \times 10^{-2}$ (*)
Total pérdida (kg)	$6.88 \times 10^{19}$		$1.01 \times 10^{20}$	
	$5.29 \times 10^{-2}$ (*)		$7.76 \times 10^{-2}$ (*)	
Pérdida de $H_2O$ (Kg) para este trabajo con respecto a $\alpha$	$8.24 \times 10^{19}$			
	$6.34 \times 10^{-2}$ (*)			

(\*) representa la equivalencia en océanos terrestres.

En este rango de pérdida total de  $H_2O$  por diferentes mecanismos a lo largo del tiempo de la *Tabla 15*, se encuentra el valor de la pérdida estimada usando la composición  $\alpha$  como punto de referencia lo que apoya los postulados referentes a una composición inicial  $\geq 90\%$  de

condritas de enstatita durante la formación del planeta Marte.

## 5.4 Estimación de H<sub>2</sub>O disponible para la exploración humana

Para conocer el H<sub>2</sub>O disponible para las futuras misiones humanas se realiza la suma de los volúmenes de agua de los casquetes polares, la atmósfera y el volumen en el subsuelo en las capas lambda y se delimita la capa ráster del espesor del acuífero a los primeros 5 km y otro cálculo a los 10 km obteniendo el volumen total estimado de H<sub>2</sub>O que podría estar disponible para la exploración humana consignado en la (Tabla 16.), en la práctica este valor va a depender la capacidad técnica disponible por las futuras misiones humanas haciendo muy difícil la explotación del recurso hídrico atmosférico y de los casquetes polares razón por la cual la ubicación más importante del agua para las futuras misiones humanas será el subsuelo en los primeros 5 km y requerirá una exploración detallada en superficie con métodos geofísicos para caracterizar los acuíferos localmente y realizar las respectivas perforaciones para su futuro aprovechamiento (Figura 39.).

<b>Tabla 16. Volumen total estimado de H<sub>2</sub>O disponible para misiones humanas.</b>				
<b>Volumen de H<sub>2</sub>O en la atmósfera (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen estimado de H<sub>2</sub>O en la capa λ corregido por %WEH (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de H<sub>2</sub>O disponible en los primeros 10 km del acuífero (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen de H<sub>2</sub>O en los casquetes polares (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Total de H<sub>2</sub>O disponible (km<sup>3</sup>)</b>
7.2	0.37	166.73	4.5293x10 <sup>6</sup>	4.5295x10 <sup>6</sup>
7.2	0.37	83.36	4.5293x10 <sup>6</sup>	4.5294x10 <sup>6</sup>

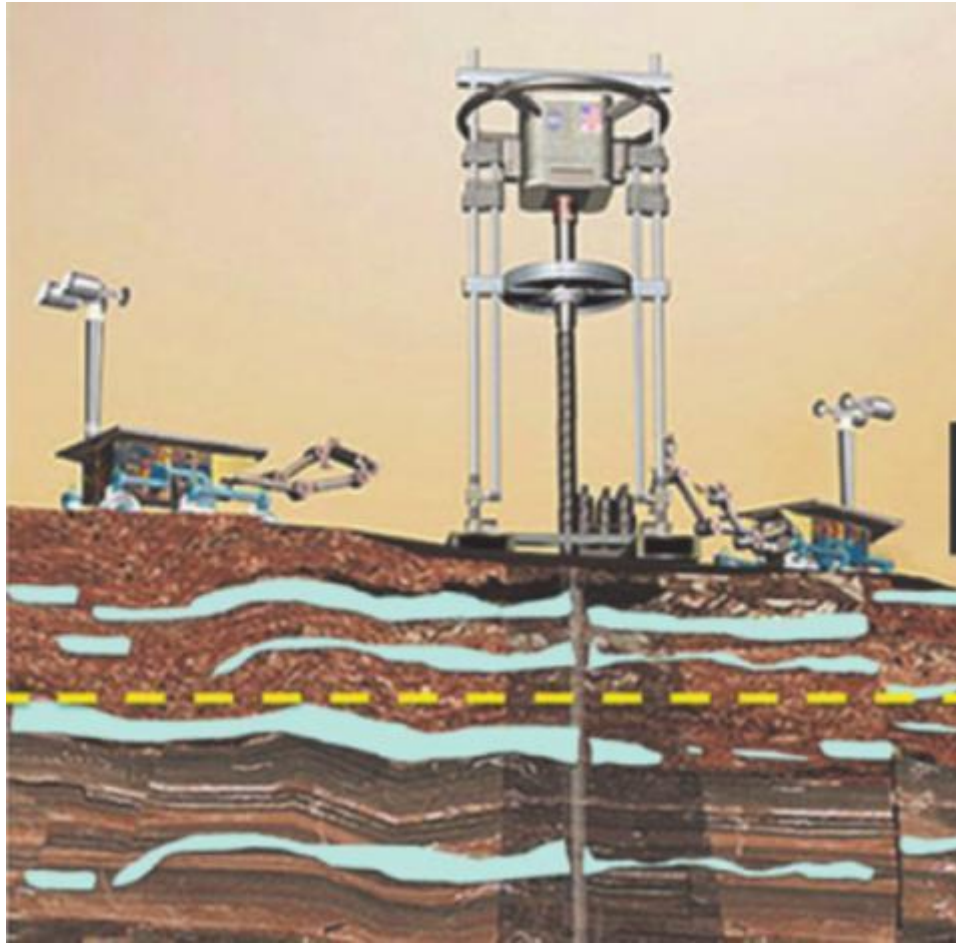


Figura 39. Esquema de perforación para Marte realizada con ayuda de rovers donde se evidencia las dificultades técnicas para su realización como la variedad litológica, fallas y posibles niveles de hielo de H<sub>2</sub>O, Tomada de NASA/JPL

En perspectiva según el reporte de la CONAGUA de 2018 estadísticas del agua en México el consumo de agua en la Ciudad de México es de aproximadamente 1.122 km<sup>3</sup> al año, existe una alta probabilidad de que el agua accesible para las misiones humanas sea la contenida en el subsuelo y no la de los casquetes polares, razón por la cual si el consumo del recurso hídrico de las futuras misiones humanas fuera similar a la de la CDMX este tendría una duración de entre 70 y 150 años.



## 5.5 Implicaciones Astrobiológicas

La existencia de H<sub>2</sub>O ha sido identificada como uno de los principales factores a tener en cuenta para la búsqueda de vida fuera del planeta debido a la estrecha relación entre esta sustancia y los procesos bioquímicos, la existencia de la misma en el planeta Marte abre la posibilidad de detectar y caracterizar potenciales ambientes habitables para el desarrollo de organismos con la finalidad de comprender el origen de la vida en el universo, meta que ha sido fundamental en la exploración de este planeta desde las primeras misiones viking que contaban con diferentes experimentos para la detección de señales biológicas las cuales han sido cuestionadas a lo largo de estos años y han obligado a modificar los objetivos de las misiones recientes pasando de los experimentos de química orgánica a la detección de sustancias fundamentales para la vida con especial atención al agua y las rutas metabólicas.

Seguirle la huella al agua en Marte no es tarea sencilla debido a las diferentes condiciones físicas, en ausencia de agua líquida en superficie de manera permanente se vuelve importante detectar la misma en las regiones polares donde organismos como los extremófilos psicrófilos podrían ser los candidatos más fuertes, no obstante debido a las dificultades técnicas mostradas por misiones como el lander Phoenix, se ha hecho claro que el lugar del planeta donde se podrían generar las condiciones de temperatura, protección contra la radiación, disponibilidad de agua posiblemente en estado líquido y con ellos diferentes nutrientes en solución que pueden ser medidos mediante electroquímica de los gradientes sería en el subsuelo marciano (*Carrier B. L et. al. 2020*) en lo que este trabajo aporta información fundamental para la estimación del contenido de agua a nivel del acuífero (*Tablas 14. y 15.*) y

el alcance de la radiación a través del mapa de la capa  $\lambda$  (Figura 30.); por estas razones las futuras misiones a Marte que tengan como objetivo la búsqueda de vida deberán tener en cuenta estos factores tal es el caso de la propuesta de misión VALKYRIE de JPL (Figura 40).

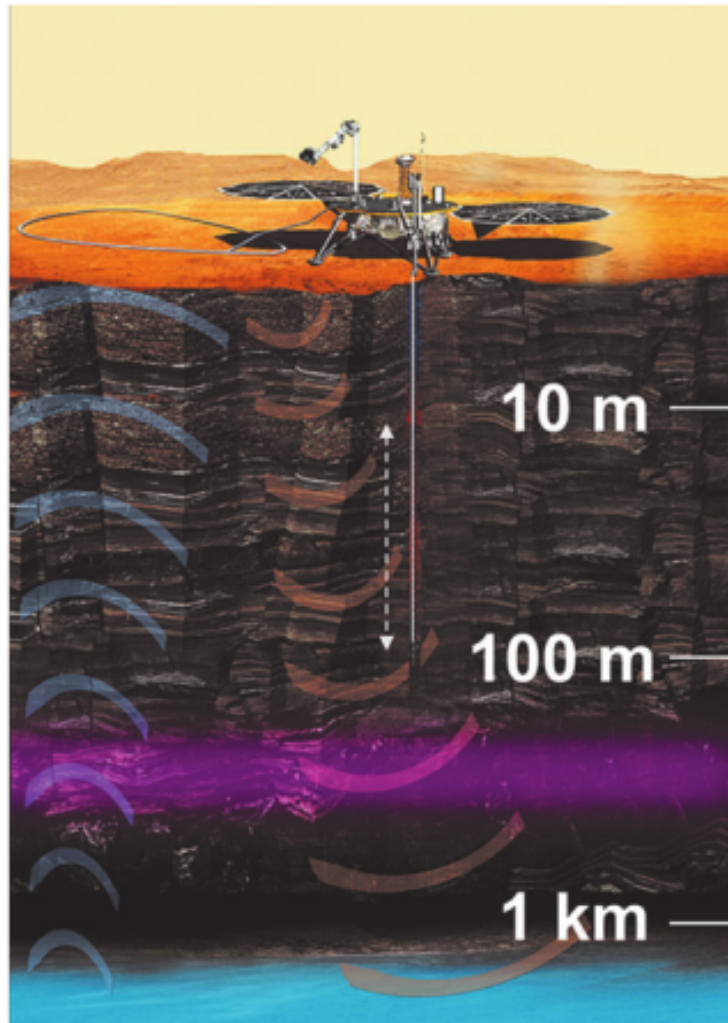


Figura 40. Misión prototipo VALK-YRIE de JPL, Sección transversal esquemática que muestra la "profundidad" objetivo de exploración del subsuelo en Marte, con el rango de profundidades de interés, donde se podrían realizar sondeos para aguas subterráneas y restringir los gradientes geoquímicos en función de la profundidad para establecer el primer reconocimiento de la habitabilidad del subsuelo marciano. Tomada de: *Stamenković et al., (2019)*.

## 6. Conclusiones

1. El contenido de H<sub>2</sub>O durante la formación del planeta se encuentra en un rango equivalente a 0.15 océanos terrestres con una composición  $\geq 90\%$  de Condritas de enstatita y 32.5 océanos terrestres con una composición de  $\sim 100\%$  de condritas carbonáceas, siendo el primer valor más cercano a los modelos de formación de los planetas terrestres y a las pérdidas estimadas.
2. En la actualidad la mayor cantidad de H<sub>2</sub>O se encuentra en el manto con el  $\sim 96\%$ , seguido de los casquetes polares con un  $\sim 3.74\%$ , el basamento con  $\sim 0.20\%$ , el acuífero con un  $2.76 \times 10^{-4} \%$  y contenidos de H<sub>2</sub>O insignificantes a nivel atmosférico y en los primeros metros del subsuelo en la capa  $\lambda$ .
3. El contenido de agua en el acuífero marciano es insignificante con un volumen estimado de 334.12 km<sup>3</sup> en comparación con el volumen estimado de H<sub>2</sub>O subterránea en el planeta Tierra que es de  $2.34 \times 10^7$  km<sup>3</sup> (*Igor. S., 1993*).
4. Con relación a la composición inicial  $\alpha$  la pérdida estimada de H<sub>2</sub>O para el planeta ha sido de  $8.24 \times 10^{19}$  kg equivalentes al 42% o a  $6.34 \times 10^{-2}$  océanos terrestres
5. La tasa de pérdida de H<sub>2</sub>O en el planeta se estima entre  $1.49 \times 10^{16}$  kg por millón de años equivalentes a  $1.14 \times 10^{-7}$  océanos terrestres y  $2.19 \times 10^{16}$  kg por millón de años equivalentes a  $1.69 \times 10^{-7}$  océanos terrestres.

6. A nivel del H<sub>2</sub>O en el subsuelo los mapas del flujo neutrones epitermales y su respectiva interpretación del mapa de Contenido de hidrógeno equivalente en H<sub>2</sub>O del suelo marciano (WEH) (*Feldman W. et.al, 2004*) brindan información más acertada acerca del porcentaje de agua presente en el suelo aunque su alcance se limite a dos metros de profundidad fueron de gran ayuda a la hora de definir el nivel de saturación de la superficie y deben ser usados a la hora de explorar a nivel local el recurso hídrico en futuras misiones.
  
7. Aunque no existe certeza acerca de la estructura interna del planeta debido a la falta de información geofísica, los mapas de espesores y estimaciones del volumen de las capas internas son un buen acercamiento a la resolución de las múltiples incógnitas que serán resueltas a medida que aumenten los datos de la misión Insight que de momento han sido incipientes, así como de futuras misiones que lleven consigo instrumentación geofísica.
  
8. Conocer el alcance de la energía radiativa del sol en el subsuelo  $\lambda$  (*Figura 29.*) y las cantidades de H<sub>2</sub>O en el planeta (*Tabla 14.*), son herramienta fundamental en la caracterización de posibles ambientes habitables con importancia astrobiológica para Marte.
  
9. Ante una eventual exploración humana del planeta el cálculo de la cantidad de H<sub>2</sub>O se convierte en una fuente invaluable de información en especial el agua en el subsuelo para lo cual se requerirán una caracterización local de los posibles acuíferos

marcianos y su aprovechamiento dependerá de las capacidades técnicas, presupuestos y desarrollo tecnológico de las futuras misiones humanas.

## 7. Referencias

- Alibert, Y., Broeg, C., Benz, W., Wuchterl, G., Grasset, O., Sotin, C., ... & Léger, A. (2010). Origin and formation of planetary systems. *Astrobiology*, 10(1), 19-32.
- Arvidson, R.E.; Poulet, F.; Bibring, J.P.; Wolff, M.; Gendrin, A.; Morris, R.V.; Freeman, J.J.; Langevin, Y.; Mangold, N. & Bellucci, G. (2005). Spectral reflectance and morphologic correlations in eastern Terra Meridiani, Mars. *Science*, 307: 1591–1594. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1109509>.
- Auld, K. S., & Dixon, J. C. (2016). A classification of Martian gullies from HiRISE imagery. *Planetary and Space Science*, 131, 88-101.
- Baker, V. R., Strom, R. G., Gulick, V. C., Kargel, J. S., Komatsu, G., & Kale, V. S. (1991). Ancient oceans, ice sheets and the hydrological cycle on Mars. *Nature*, 352(6336), 589.
- Baker, V. R., Gulick, V. C., & Kargel, J. S. (1993). Water resources and hydrogeology of Mars. *Resources of near-earth space*, 765-797.
- Baker, MB, Grove, TL y Price, R. (1994). Primitivos basaltos y andesitas del monte. Región de Shasta, N. California: productos de fracción de fusión variable y contenido de agua. *Contribuciones a la mineralogía y la petrología* , 118 (2), 111-129.
- Bell, J. F., Davis, D. R., Hartmann, W. K., & Gaffey, M. J. (1989). Asteroids: The big picture. *aste*, 921-945.
- Bibring, J. P., Langevin, Y., Poulet, F., Gendrin, A., Gondet, B., Berthé, M., ... & Moroz, V. (2004). Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars. *Nature*, 428(6983), 627.

- Bibring, J.P.; Langevin, Y.; Gendrin, A.; Gondet, B.; Poulet, F.; Berthé, M.; Soufflot, A.; Arvidson, R.; Mangold, N.; Mustard, J.; Drossart, P. & the OMEGA team. (2005). Mars surface diversity as revealed by the OMEGA/Mars Express observations. *Science*, 307: 1576–1581. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1108806>.
- Bish, D.L.; Blake, D.F.; Vaniman, D.T; Chipera, S.J.; Morris, R.V.; Ming, D.W.; Treiman, A.H.; Sarrazin, P.; Morrison, S.M.; Downs, R.T.; Achilles, C.N.; Yen, A.S.; Bristow, T.F.; Crisp, J.A.; Morookian, J.M.; Farmer, J.D.; Rampe, E.B.; Stolper, E.M.; Spanovich, N.; MSL Science Team. (2013). X-ray Diffraction Results from Mars Science Laboratory: Mineralogy of Rocknest at Gale Crater. *Science*, 341: 1238932(1–5).
- Bibring, J. P., Langevin, Y., Poulet, F., Gendrin, A., Gondet, B., Berthé, M., ... & Moroz, V. (2004). Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars. *Nature*, 428(6983), 627-630.
- Cabrol, N. A., & Grin, E. A. (1999). Distribution, classification, and ages of Martian impact crater lakes. *Icarus*, 142(1), 160-172.
- Cabrol, N. A., & Grin, E. A. (2003). Overview on the formation of paleolakes and ponds on Mars. *Global and Planetary Change*, 35(3-4), 199-219.
- Carlson, RL (2003). Contenido de agua ligada a la corteza oceánica inferior estimada a partir de análisis modales y velocidades sísmicas de diabasas oceánicas y gabro. *Cartas de investigación geofísica* , 30 (22).
- Carr, M. H. (1986). Mars: A water-rich planet?. *Icarus*, 68(2), 187-216.
- Carr, M. H., & Bell III, J. F. (2014). Mars: surface and interior. In *Encyclopedia of the Solar System* (pp. 359-377). Elsevier.

- Carrier B. L., DW Beaty, MA Meyer, Líderes de sub-equipo: JG Blank, L. Chou, S. DasSarma, DJ Des Marais, JL Eigenbrode, N. Grefenstette, NL Lanza, AC Schuerger, P. Schwendner, HD Smith, CR Stoker, JD Tarnas, KD Webster, colaboradores del sub-equipo: C. Bakermans, BK Baxter, MS Bell, SA Benner, HH Bolivar Torres, PJ Boston, R. Bruner, BC Clark, P. DasSarma, AE Engelhart, ZE Gallegos, ZK Garvin, PJ Gasda, JH Green, RL Harris, ME Hoffman, T.Kieft, AHD Koeppel, PA Lee, X. Li, KL Lynch, R. Mackelprang, PR Mahaffy, LH Matthies, MA Nellesen, HE Newsom , DE Northup, BRW O'Connor, SM Perl, RC Quinn, LA Rowe, B. Sauterey, MA Schneegurt, D. Schulze-Makuch, LA Scuderi, MN Spilde, V. Stamenković, JA Torres Celis, D. Viola, BD Wade, CJ Walker, RC Wiens, AJ Williams, JM Williams y J. Xu. *Astrobiología*. Jun 2020. 785-814. <http://doi.org/10.1089/ast.2020.2237>.
- Cedillo-Flores, Y., Durand-Manterola, H. J., & Craddock, R. A. (2008, February). Martian gullies created by fluidization of dry material. In *Workshop on Martian Gullies* (Vol. 1303, No. 1301, pp. 21-22).
- Clancy, RT, Sandor, BJ y Moriarty-Schieven, GH (2004). Una medida de la línea de absorción de 362 GHz del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> atmosférico de Marte. *Ícaro* , 168 (1), 116-121.
- Clifford, S. M. 1993. A model for the hydrologic and climatic behavior of water on Mars. *J. Geophys. Res.* 98, 10,973–11,016.
- Clifford, S. M., & Parker, T. J. (2001). The evolution of the Martian hydrosphere: Implications for the fate of a primordial ocean and the current state of the northern plains. *Icarus*, 154(1), 40-79.
- CONAGUA, C. (2018). Estadísticas del agua en México. México, DF: CONAGUA (2018). Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. Reporte.



- Conway, SJ, Balme, MR, Kreslavsky, MA, Murray, JB y Towner, MC (2015). La comparación de largos perfiles topográficos de barrancos en la Tierra con barrancos en Marte: una señal de agua en Marte. *Icarus*, 253 , 189-204.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrogeología subterránea*. Ed. Ómega, 2.
- Debaille, V., Brandon, A., O'Neill, C., Yin, Q., & Jacobsen, B. (2009). Early martian mantle overturn inferred from isotopic composition of nakhlite meteorites. *Nature Geoscience*, 2(8), 548-552. doi: 10.1038/ngeo579.
- Di Achille, G., & Hynek, B. M. (2010). Ancient ocean on Mars supported by global distribution of deltas and valleys. *Nature Geoscience*, 3(7), 459.
- Dickson, JL y Head, JW (2009). La formación y evolución de barrancos jóvenes en Marte: barrancos como la fase tardía de la era de hielo más reciente de Marte. *Ícaro* , 204 (1), 63-86.
- Diniega, S., Hansen, CJ, McElwaine, JN, Hugenholtz, CH, Dundas, CM, McEwen, AS y Bourke, MC (2013). Una nueva hipótesis seca para la formación de barrancos lineales marcianos. *Icarus*, 225 (1), 526-537.
- Dundas, C. M., McEwen, A. S., Diniega, S., Byrne, S., & Martinez-Alonso, S. (2010). New and recent gully activity on Mars as seen by HiRISE. *Geophysical Research Letters*, 37(7).
- Dundas, C. M., Diniega, S., & McEwen, A. S. (2015). Long-term monitoring of martian gully formation and evolution with MRO/HiRISE. *Icarus*, 251, 244-263.
- Dundas, CM, McEwen, AS, Diniega, S., Hansen, CJ, Byrne, S. y McElwaine, JN

(2019). La formación de barrancos en Marte hoy. Sociedad Geológica, Londres, Publicaciones Especiales , 467 (1), 67-94.

- Durand, H. J. (2001). An estimation of the mass dragged by the solar wind from Mars atmosphere in its geologic history. *Geofísica Internacional*, 40(4), 315-320.
- Durand, H. J. (2003). Degassing of volatiles in the geological history of Mars. *Geofísica Internacional*, 42(1), 157-162.
- Feldman, W. C., Prettyman, T. H., Maurice, S., Plaut, J. J., Bish, D. L., Vaniman, D. T., ... & Boynton, W. V. (2004). Global distribution of near-surface hydrogen on Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 109(E9).
- Ferot, A., & Bolfan-Casanova, N. (2012). Water storage capacity in olivine and pyroxene to 14 GPa: Implications for the water content of the Earth's upper mantle and nature of seismic discontinuities. *Earth and Planetary Science Letters*, 349, 218-230.
- Fraeman, A. A., Ehlmann, B. L., Arvidson, R. E., Edwards, C. S., Grotzinger, J. P., Milliken, R. E., ... & Rice, M. S. (2016). The stratigraphy and evolution of lower Mount Sharp from spectral, morphological, and thermophysical orbital data sets. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 121(9), 1713-1736.
- Gendrin, A.; Mangold, N.; Bibring, J.P.; Langevin, Y; Gondet, B.; Poulet, F.; Bonello, G.; Quantin, C.; Mustard, J.; Arvidson, R. & LeMouélic, S. (2005). Sulfates in Martian layered terrains: The OMEGA/Mars Express view. *Science*, 307: 1587–1591. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1109087>.
- Goossens, S., Sabaka, T.J., Genova, A., Mazarico, E., Nicholas, J.B., Neumann, G.A. (2017), Evidence for a Low Bulk Crustal Density for Mars from Gravity and Topography, *Geophysical Research Letters*, doi:10.1002/2017GL074172.

- Greeley, R., White, B. R., Pollack, J. B., Iversen, J. D., & Leach, R. N. (1981). Dust storms on Mars: Considerations and simulations. *Geophys. Soc. Am. Spec. Pap.*, 186, 101.
- Grim, R. E. (1962). *Applied clay mineralogy*.
- Grima, C., Kofman, W., Mouginot, J., Phillips, R. J., Hérique, A., Biccari, D., ... & Cutigni, M. (2009). North polar deposits of Mars: Extreme purity of the water ice. *Geophysical Research Letters*, 36(3).
- Hargitai, H., & Kereszturi, Á. (Eds.). (2015). *Encyclopedia of planetary landforms*. Springer New York.
- Hyodo, R., Genda, H., Charnoz, S., & Rosenblatt, P. (2017). On the Impact Origin of Phobos and Deimos. I. Thermodynamic and Physical Aspects. *The Astrophysical Journal*, 845(2), 125. doi: 10.3847/1538-4357/aa81c4
- Igor, S. (1993). *World fresh water resources. Water in crisis: a guide to the world's*. Oxford University Press, Inc, Oxford.
- Jones, E. G. and Lineweaver, C. H. (2008).. arXiv preprint arXiv:0812.0190
- Klein, C., & Hurlbut, C. S. (1996). *Manual de mineralogía (Vol. 2)*. Reverté.
- Klingelhöfer, G.; Morris, R.V.; Bernhardt, B.; Schröder, C.; Rodionov, D.S.; de Souza, P.A. Jr.; Yen, A.; Gellert, R.; Evlanov, E.N.; Zubkov, B.; Foh, J.; Bonnes, U.; Kankeleit, E.; Güttlich, P.; Ming, D.W.; Renz, F.; Wdowiak, T.; Squyres, S.W. & Arvidson, R.E. (2004). Jarosite and Hematite at Meridiani Planum from Opportunity's Mössbauer Spectrometer. *Science*, 306: 1740–1745. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1104653>.

- Kreslavsky, M. A., & Head III, J. W. (2002). Mars: Nature and evolution of young latitude-dependent water-ice-rich mantle. *Geophysical Research Letters*, 29(15), 14-1.
- Krot, A. N., Scott, E. R. D., & Reipurth, B. (2005). The Chondrite Types and their Origins.
- Lane, M.D.; Darby Dyar, M. & Bishop, J.L. (2004). Spectroscopic evidence for hydrous iron sulfate in the Martian soil. *Geophysical Research Letters*, 31, L19702, 1–4.
- Langevin, Y.; Poulet, F.; Bibring, J.P. & Gondet, B. (2005). Sulfates in the north polar region of Mars detected by OMEGA/Mars Express. *Science*, 307; 1584–1586. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1109091>.
- Lunine, J. I., Chambers, J., Morbidelli, A., & Leshin, L. A. (2003). The origin of water on Mars. *Icarus*, 165(1), 1-8.
- Maltagliati, L., Montmessin, F., Fedorova, A., Korablev, O., Forget, F., & Bertaux, J. L. (2011). Evidence of water vapor in excess of saturation in the atmosphere of Mars. *science*, 333(6051), 1868-1871.
- Mangold, N., Mangeney, A., Migeon, V., Ansan, V., Lucas, A., Baratoux, D. y Bouchut, F. (2010). Barrancos sinuosos en Marte: frecuencia, distribución e implicaciones para las propiedades del flujo. *Revista de Investigación Geofísica: Planetas* , 115 (E11).
- Meibom, A., & Clark, B. E. (1999). Evidence for the insignificance of ordinary chondritic material in the asteroid belt. *Meteoritics & Planetary Science*, 34(1), 7-24.
- Melosh, H. J. (2011). *Planetary surface processes* (Vol. 13). Cambridge University Press.

- Milliken, R. E., Grotzinger, J. P., & Thomson, B. J. (2010). Paleoclimate of Mars as captured by the stratigraphic record in Gale Crater. *Geophysical Research Letters*, 37(4).
- Minitti, M. E., Lane, M. D., & Bishop, J. L. (2005). A new hematite formation mechanism for Mars. *Meteoritics & Planetary Science*, 40(1), 55-69.
- Misra AK, Acosta-Maeda TE, Scott ERD, Sharma SK (2014). Possible mechanism for explaining the origin and size distribution of Martian hematite spherules. *Planetary and Space Science*;92:16-23
- Morris, R. V., Ming, D. W., Graff, T. G., Arvidson, R. E., Bell III, J. F., Squyres, S. W., ... & Robinson, G. A. (2005). Hematite spherules in basaltic tephra altered under aqueous, acid-sulfate conditions on Mauna Kea volcano, Hawaii: Possible clues for the occurrence of hematite-rich spherules in the Burns formation at Meridiani Planum, Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 240(1), 168-178.
- Musselwhite, D. S., Swindle, T. D., & Lunine, J. I. (2001). Liquid CO<sub>2</sub> breakout and the formation of recent small gullies on Mars. *Geophysical research letters*, 28(7), 1283-1285.
- Mysen, B. O., Virgo, D., Popp, R. K., & Bertka, C. M. (1998). The role of H<sub>2</sub>O in Martian magmatic systems. *American Mineralogist*, 83(9-10), 942-946.
- Ojha, L., Wilhelm, M. B., Murchie, S. L., McEwen, A. S., Wray, J. J., Hanley, J., ... & Chojnacki, M. (2015). Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars. *Nature Geoscience*, 8(11), 829.
- Ormö, J., Komatsu, G., Chan, M. A., Beutler, B., & Parry, W. T. (2004). Geological features indicative of processes related to the hematite formation in Meridiani Planum

and Aram Chaos, Mars: A comparison with diagenetic hematite deposits in southern Utah, USA. *Icarus*, 171(2), 295-316.

- Orosei, R., Lauro, S. E., Pettinelli, E., Cicchetti, A., Coradini, M., Cosciotti, B., ... & Soldovieri, F. (2018). Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*, 361(6401), 490-493.
- Owen, T., Maillard, J. P., De Bergh, C., & Lutz, B. L. (1988). Deuterium on Mars: The abundance of HDO and the value of D/H. *Science*, 1767-1770.
- Pirajno, F. (2008). *Hydrothermal processes and mineral systems*. Springer Science & Business Media.
- Rivoldini, A., Van Hoolst, T., Verhoeven, O., Mocquet, A. y Dehant, V. (2011). Restricciones de la geodesia en la estructura interior y la composición de Marte. *Ícaro* , 213 (2), 451-472.
- Schaefer, L. B. Fegley B.(2007).“ Outgassing of ordinary chondritic material and some of its implications for the chemistry of asteroids, planets, and satellites”. *Icarus*, 186(2), 462-483.
- Siebach, K. L., & Grotzinger, J. P. (2014). Volumetric estimates of ancient water on Mount Sharp based on boxwork deposits, Gale Crater, Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 119(1), 189-198.
- Skinner, J. A., Jr, T. M. Hare, and K. L. Tanaka (2006), LPSC XXXVII, abstract #2331.
- Smith, DE, Zuber, MT y Neumann, GA (2001). Variaciones estacionales de la profundidad de la nieve en Marte. *Science* , 294 (5549), 2141-2146.
- Sramek, O., & Zhong, S. (2012). Martian crustal dichotomy and Tharsis formation by partial melting coupled to early plume migration. *Journal of Geophysical Research*,

117. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JE003867>. E01005.

- Stamenković, V., Ward, L.M., Mischna, M., and Fischer, W. (2019) O<sub>2</sub> solubility in martian surface environments and implications for extant aerobic life on Mars [abstract 5045]. In Mars Extant Life: What's Next? Conference Abstracts, Lunar and Planetary Institute, Houston. Available online at <https://www.hou.usra.edu/meetings/lifeonmars2019/pdf/5045.pdf>
- Tanaka, KL, Skinner, JA, Jr., Dohm, JM, Irwin, RP, III, Kolb, EJ, Fortezzo, CM, Platz, T., Michael, GG y Hare, TM, (2014), Mapa geológico de Marte: US Geological Survey Scientific Investigations Map 3292, folleto 43 p., <https://dx.doi.org/10.3133/sim3292> .
- Titov, D. V. (2002). Water vapour in the atmosphere of Mars. *Advances in Space Research*, 29(2), 183-191.
- Tokano, T. (Ed.). (2004). *Water on Mars and life*. Springer Science & Business Media.
- Torres, J., Ochoa, L. & Saavedra, F., (2017). EXPERIMENTAL MODELS USING DRY ICE AS ACTIVE AGENT IN DIFFERENT GEOLOGICAL PROCESSES FOR THE SURFACE OF THE PLANET MARS. In GSA Annual Meeting in Seattle, Washington, USA-2017. GSA.
- Védie, E., Costard, F., Font, M., & Lagarde, J. L. (2008). Laboratory simulations of Martian gullies on sand dunes. *Geophysical Research Letters*, 35(21).
- Villanueva, G. L., Mumma, M. J., Novak, R. E., Käufl, H. U., Hartogh, P., Encrenaz, T., ... & Smith, M. D. (2015). Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. *Science*, 348(6231), 218-221.

- Wänke, H., & Dreibus, G. (1994). Chemistry and accretion history of Mars. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 349(1690), 285-293.
- Wasson, J. T., & Kallemeyn, G. W. (1988). Compositions of chondrites. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 325(1587), 535-544.
- Wray, J.J.; Squyres, S.W.; Roach, L.H.; Bishop, J.L.; Mustard, J.F. & Noe Dobrea, E.Z. (2010). Identification of the Ca-sulfate bassanite in Mawrth Vallis, Mars. *Icarus*, 209: 416–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2010.06.001>.
- Wilson, S.A. & Bish, D.L. (2012). Stability of Mg - sulphate minerals in the presence of smectites: Possible mineralogical controls on H<sub>2</sub>O and nutrient cycling on Mars. *Proceeding of Australian Regolith and Clays Conference Mildura*, 43–45.
- Woolfson, M. M. (2000). *The origin and evolution of the solar system*. CRC Press.
- Wood, J. A. (2005, December). The chondrite types and their origins. In *Chondrites and the protoplanetary disk* (Vol. 341, p. 953).
- Yung, Y. L., Wen, J. S., Pinto, J. P., Allen, M., Pierce, K. K., & Paulson, S. (1988). HDO in the Martian atmosphere: Implications for the abundance of crustal water. *Icarus*, 76(1), 146-159.
- Zhu, M.; Xie, H.; Guan, H. & Smith, R.K. (2006). Mineral and lithologic mapping of Martian low-albedo regions using OMEGA data. *37th Lunar and Planetary Science Conference*, 2173.



## Apéndice 1.

<b>Cronología de las misiones a Marte</b>				
<b>Nombre</b>	<b>Agencia o responsable</b>	<b>Año de lanzamiento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
Mars 1	URSS	1962	Sobrevuelo	Inactivo
Mariner 4	NASA	1964	Sobrevuelo	Inactivo
Mariner 6	NASA	1969	Sobrevuelo	Inactivo
Mariner 7	NASA	1969	Sobrevuelo	Inactivo
Mariner 8	NASA	1971	Orbitador	Inactivo
Mariner 9	NASA	1971	Orbitador	Inactivo
Mars 2	URSS	1971	Orbitador + Rover	Inactivo
Mars 3	URSS	1971	Orbitador + Rover	Inactivo
Mars 6	NASA	1973	Aterrizador	Inactivo
Mars 7	NASA	1973	Aterrizador	Inactivo
Viking 1	URSS	1975	Orbitador+Aterrizad or	Inactivo
Viking 2	URSS	1975	Orbitador+Aterrizad or	Inactivo
Phobos 1	URSS	1988	Orbitador+Aterrizad or	Inactivo

Phobos 2	URSS	1988	Orbitador+Aterrizad or	Inactivo
Mars observer	NASA	1992	Orbitador	Inactivo
Mars Global Surveyor	NASA	1996	Orbitador	Inactivo
Mars 96	Rusia	1996	Orbitador+Aterrizad or	Inactivo
Mars panthfinder	NASA	1996	Rover	Inactivo
Mars odyssey	NASA	2001	Orbitador	Activa
Mars express orbiter	ESA	2003	Orbitador	Activa
Spirit	NASA	2003	Rover	Inactivo
Opportunity	NASA	2003	Rover	Activa
Mars Reconnaissance orbiter	NASA	2005	Orbitador	Activa
Phoenix	NASA	2007	Aterrizador	Inactivo
Mars Science Laboratory	NASA	2011	Rover	Activa
Mars Orbiter Mission	India	2013	Orbitador	Activa

MAVEN	NASA	2013	Orbitador	Activa
ExoMars Trace Gas Orbiter	ESA	2016	Orbitador	Activa
ExoMars 2016-2022	ESA	2016-2022	Rover	Pendiente
Insight	NASA	2018	Aterrizador	Activa
Mars 2020 “perseverance Rover”	NASA	2020	Rover	Activa
Hope	Centro Espacial Mohammed Bin Rashid (MBRSC)	2020	Orbitador	Activa
Tianwen-1	CNSA	2020	Rover	Activa

La tabla muestra la cronología de las misiones exitosas relacionadas con Marte, elaborada con información de *nasa.gov*, *esa.int*.

## Apéndice 2.

### Conductividad térmica

Nombre de la unidad	Porosidad Primaria %	$(W/K*m)$
lApc	5	2.3
Hpe	7	1.6
Hp	5	3.1
Hpe	7	1.6
Hp	5	3.1
Hpe	7	1.6
INh	20	1.65
INh	20	1.65
Hpe	7	1.6
mNh	35	1.9
AHi	20	0.5
Hpe	7	1.6
Hp	5	3.1
AHi	20	0.5
Ap	5	2.2
AHi	20	0.5
Hp	5	3.1
AHi	20	0.5
Hp	5	3.1
mNh	35	1.9

<b>Apu</b>	<b>7</b>	<b>1.6</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Hpe</b>	<b>7</b>	<b>1.6</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Apu</b>	<b>7</b>	<b>1.6</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Hp</b>	<b>5</b>	<b>3.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>Hp</b>	<b>5</b>	<b>3.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>

<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Hp</b>	<b>5</b>	<b>3.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>



<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nve</b>	<b>8</b>	<b>0.08</b>
<b>Nve</b>	<b>8</b>	<b>0.08</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Hp</b>	<b>5</b>	<b>3.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHb</b>	<b>20</b>	<b>0.02</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNb</b>	<b>35</b>	<b>0.6</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>



<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eAb</b>	<b>15</b>	<b>9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>

AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
Nhe	17	1.3
mNh	35	1.9
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
mNhm	15	1.7
INh	20	1.65
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
eHv	10	1.9
mNh	35	1.9
INh	20	1.65
INh	20	1.65
eHv	10	1.9
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
Nhe	17	1.3

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>HNb</b>	<b>35</b>	<b>0.6</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IHb</b>	<b>32</b>	<b>78</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHb</b>	<b>20</b>	<b>0.02</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>Hve</b>	<b>15</b>	<b>2.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>

eNh	28	1.1
eNh	28	1.1
INh	20	1.65
Nhe	17	1.3
eNhm	20	1.4
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
mNh	35	1.9
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
mNh	35	1.9
eNhm	20	1.4
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
Nve	8	0.08
eHv	10	1.9
eHv	10	1.9
eNh	28	1.1
AHi	20	0.5
INh	20	1.65



<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nve</b>	<b>8</b>	<b>0.08</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>

AHi	20	0.5
INv	25	1.5
eNh	28	1.1
AHi	20	0.5
IHv	10	2.2
mNh	35	1.9
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
eNh	28	1.1
INh	20	1.65
INh	20	1.65
eNhm	20	1.4
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
INh	20	1.65
Nve	8	0.08
INh	20	1.65
INh	20	1.65
eNh	28	1.1
AHi	20	0.5
eNh	28	1.1

<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Nhe</b>	<b>17</b>	<b>1.3</b>
<b>eNhm</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>Nve</b>	<b>8</b>	<b>0.08</b>
<b>Nve</b>	<b>8</b>	<b>0.08</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>

AHi	20	0.5
mNh	35	1.9
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
eNh	28	1.1
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
eNh	28	1.1
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
mNh	35	1.9
IHv	10	2.2
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
eNh	28	1.1

<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>



<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INv</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Hve</b>	<b>15</b>	<b>2.1</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>IHvf</b>	<b>5</b>	<b>2.38</b>
<b>IAvf</b>	<b>6</b>	<b>1.95</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>

<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>IAvf</b>	<b>6</b>	<b>1.95</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>Nve</b>	<b>8</b>	<b>0.08</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Ave</b>	<b>15</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>

<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IAa</b>	<b>35</b>	<b>0.75</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

eHv	10	1.9
mNh	35	1.9
eHh	38	0.8
Ht	28	0.5
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
HNhu	28	0.7
eHt	30	1
INh	20	1.65
IAvf	6	1.95
AHi	20	0.5
Htu	32	1.4
INh	20	1.65
Nhe	17	1.3
AHi	20	0.5
HNhu	28	0.7
Ht	28	0.5
eNh	28	1.1
eHh	38	0.8
mNhm	15	1.7
IHv	10	2.2
AHi	20	0.5

<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>IAvf</b>	<b>6</b>	<b>1.95</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>

<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Htu</b>	<b>32</b>	<b>1.4</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>



AHv	7	2
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
INh	20	1.65
Hve	15	2.1
AHi	20	0.5
Hve	15	2.1
AHi	20	0.5
Htu	32	1.4
AHi	20	0.5
Ave	15	1.9
INh	20	1.65
eNh	28	1.1
Htu	32	1.4
mNhm	15	1.7
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
mNhm	15	1.7
AHi	20	0.5
mNh	35	1.9
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
mNhm	15	1.7

<b>lAvf</b>	<b>6</b>	<b>1.95</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>lAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>lHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>lHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

IHv	10	2.2
IAa	35	0.75
eHv	10	1.9
AHi	20	0.5
mNhm	15	1.7
eHt	30	1
AHi	20	0.5
IAvf	6	1.95
eNh	28	1.1
IHt	32	0.8
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
HNt	30	0.8
Ht	28	0.5
Ht	28	0.5
eHv	10	1.9
mNh	35	1.9
eNh	28	1.1
INh	20	1.65
mNhm	15	1.7
HNt	30	0.8
eNh	28	1.1
Hto	35	1.2

<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>lAvf</b>	<b>6</b>	<b>1.95</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>IAa</b>	<b>35</b>	<b>0.75</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>Hve</b>	<b>15</b>	<b>2.1</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>

<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>IHvf</b>	<b>5</b>	<b>2.38</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>HNhu</b>	<b>28</b>	<b>0.7</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>Ht</b>	<b>28</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Ave</b>	<b>15</b>	<b>1.9</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>IAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>IAvf</b>	<b>6</b>	<b>1.95</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>Hve</b>	<b>15</b>	<b>2.1</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>

IHvf	5	2.38
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
eHt	30	1
IHI	35	0.01
eNh	28	1.1
IHt	32	0.8
IHt	32	0.8
eNh	28	1.1
AHi	20	0.5
Ave	15	1.9
eHt	30	1
HNt	30	0.8
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
Nhu	28	0.03
Aa	25	44
eHt	30	1
mNh	35	1.9
eHt	30	1
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
IAa	35	0.75



<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Ave</b>	<b>15</b>	<b>1.9</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>Hve</b>	<b>15</b>	<b>2.1</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>

<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>IAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNhm</b>	<b>15</b>	<b>1.7</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHtu</b>	<b>37</b>	<b>1.5</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>

IHvf	5	2.38
eHv	10	1.9
IHv	10	2.2
eNh	28	1.1
eNh	28	1.1
INh	20	1.65
IHv	10	2.2
AHi	20	0.5
IHt	32	0.8
eNh	28	1.1
Hve	15	2.1
Hve	15	2.1
eHv	10	1.9
IAvf	6	1.95
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHv	7	2
AHi	20	0.5
INh	20	1.65
eHv	10	1.9
IAv	7	1.85
IAv	7	1.85
IHt	32	0.8

<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>Nhu</b>	<b>28</b>	<b>0.03</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>Hve</b>	<b>15</b>	<b>2.1</b>
<b>IHvf</b>	<b>5</b>	<b>2.38</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>lAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>lNh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>lHvf</b>	<b>5</b>	<b>2.38</b>
<b>Aa</b>	<b>25</b>	<b>44</b>
<b>lAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>lHl</b>	<b>35</b>	<b>0.01</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>lAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>lNh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>

<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHv</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>Hto</b>	<b>35</b>	<b>1.2</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>lAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>

<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>IHvf</b>	<b>5</b>	<b>2.38</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>Av</b>	<b>7</b>	<b>2.5</b>
<b>Ave</b>	<b>15</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>eHh</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>
<b>IHI</b>	<b>35</b>	<b>0.01</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>lAv</b>	<b>7</b>	<b>1.85</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>

<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>eHv</b>	<b>10</b>	<b>1.9</b>
<b>eNh</b>	<b>28</b>	<b>1.1</b>
<b>INh</b>	<b>20</b>	<b>1.65</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>Av</b>	<b>7</b>	<b>2.5</b>
<b>Av</b>	<b>7</b>	<b>2.5</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>Av</b>	<b>7</b>	<b>2.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IHv</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>
<b>IHt</b>	<b>32</b>	<b>0.8</b>
<b>ANa</b>	<b>35</b>	<b>0.9</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>
<b>IHI</b>	<b>35</b>	<b>0.01</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>HNt</b>	<b>30</b>	<b>0.8</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>eHt</b>	<b>30</b>	<b>1</b>



IHt	32	0.8
Av	7	2.5
ANa	35	0.9
HNt	30	0.8
ANa	35	0.9
HNt	30	0.8
IHt	32	0.8
eHt	30	1
Av	7	2.5
AHi	20	0.5
eAb	15	9
eHt	30	1
INh	20	1.65
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
mAl	35	0.05
ANa	35	0.9
HNt	30	0.8
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
IHt	32	0.8
IHI	35	0.01

<b>mNh</b>	<b>35</b>	<b>1.9</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>IHI</b>	<b>35</b>	<b>0.01</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>Av</b>	<b>7</b>	<b>2.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>Av</b>	<b>7</b>	<b>2.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>AHi</b>	<b>20</b>	<b>0.5</b>
<b>mAl</b>	<b>35</b>	<b>0.05</b>

AHi	20	0.5
AHv	7	2
AHi	20	0.5
mAl	35	0.05
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
mAl	35	0.05
mAl	35	0.05
mAl	35	0.05
mAl	35	0.05
IHt	32	0.8
mAl	35	0.05
AHi	20	0.5
mAl	35	0.05
AHi	20	0.5
mAl	35	0.05
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
IHt	32	0.8
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5

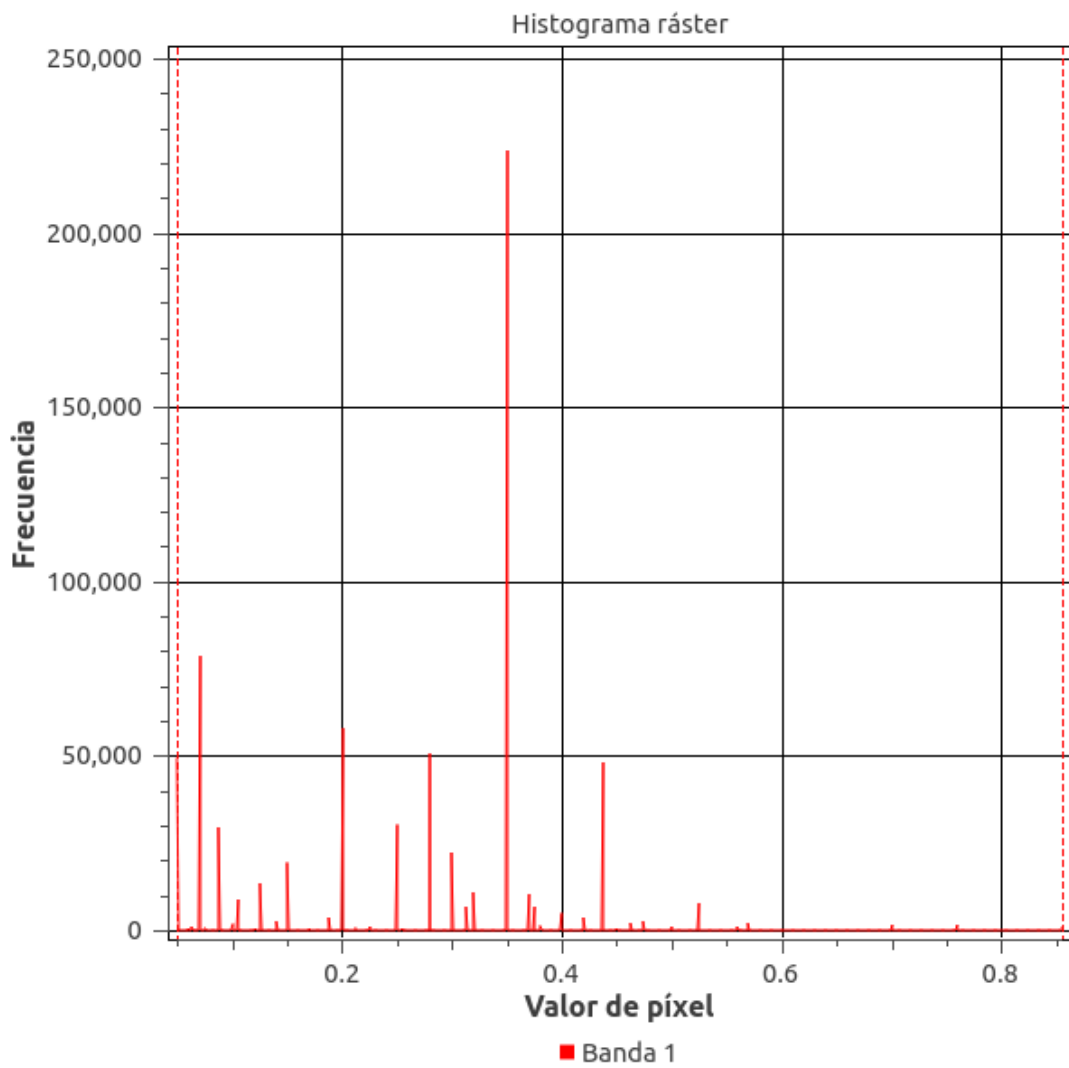
IHI	35	0.01
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
AHi	20	0.5
mAl	35	0.05
mAl	35	0.05
mAl	35	0.05
AHi	20	0.5
IHI	35	0.01
lApd	37	78
IHI	35	0.01
AHi	20	0.5
Hpe	7	1.6
Hpe	7	1.6
lApd	37	78
Apu	7	1.6
IHI	35	0.01
lApd	37	78
mAl	35	0.05
lApd	37	78
lApd	37	78
Hpu	38	0.95

<b>Apu</b>	<b>7</b>	<b>1.6</b>
<b>Apu</b>	<b>7</b>	<b>1.6</b>
<b>lApc</b>	<b>5</b>	<b>2.3</b>

---

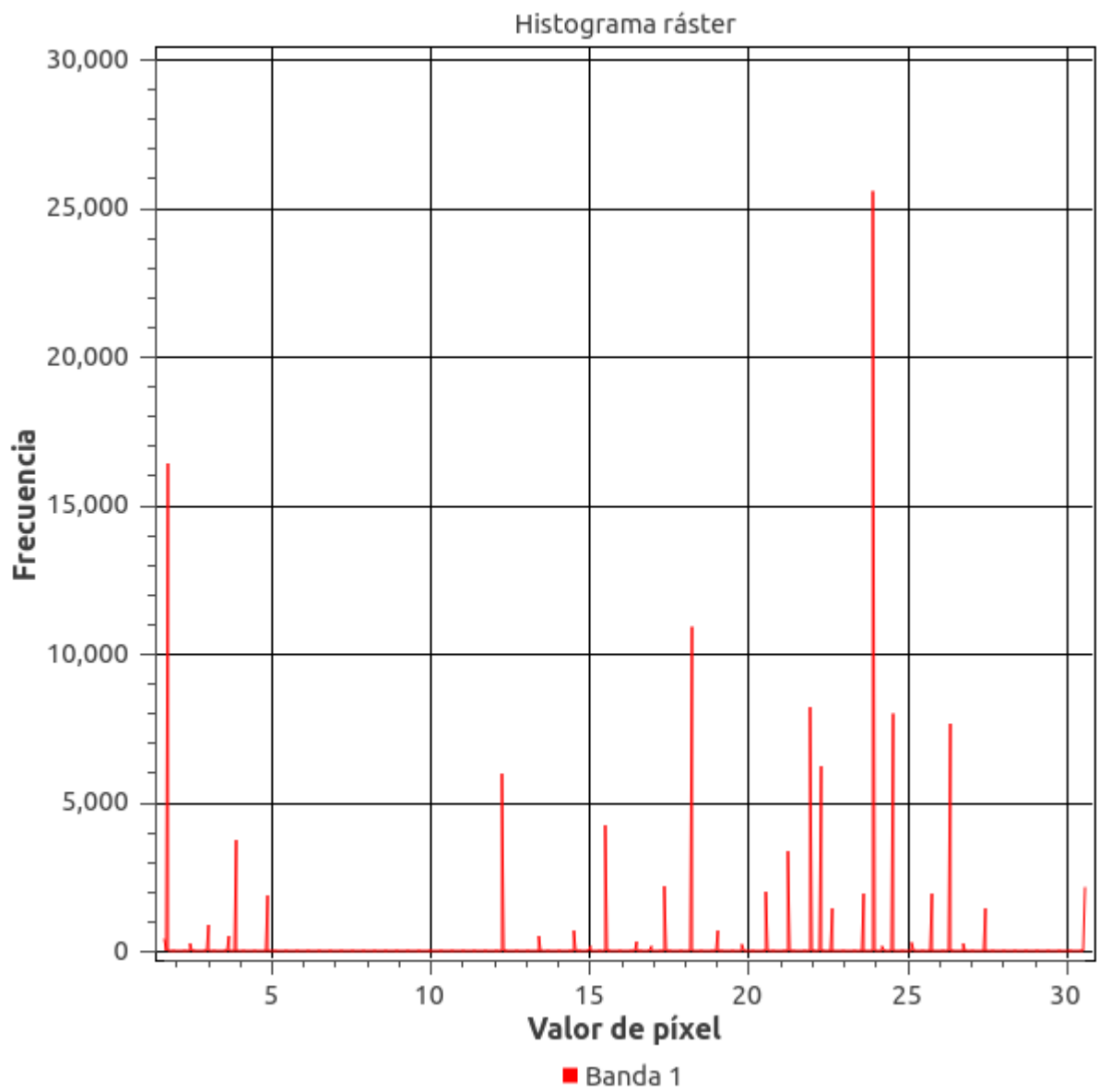
La tabla muestra el nombre de las unidades geológicas de Marte del mapa geológico de (*Skinner, J. A., et. al 2006*) y sus valores de porosidad primaria en porcentaje, así como la conductividad térmica que se expresan en W/K\*

### Apéndice 3.



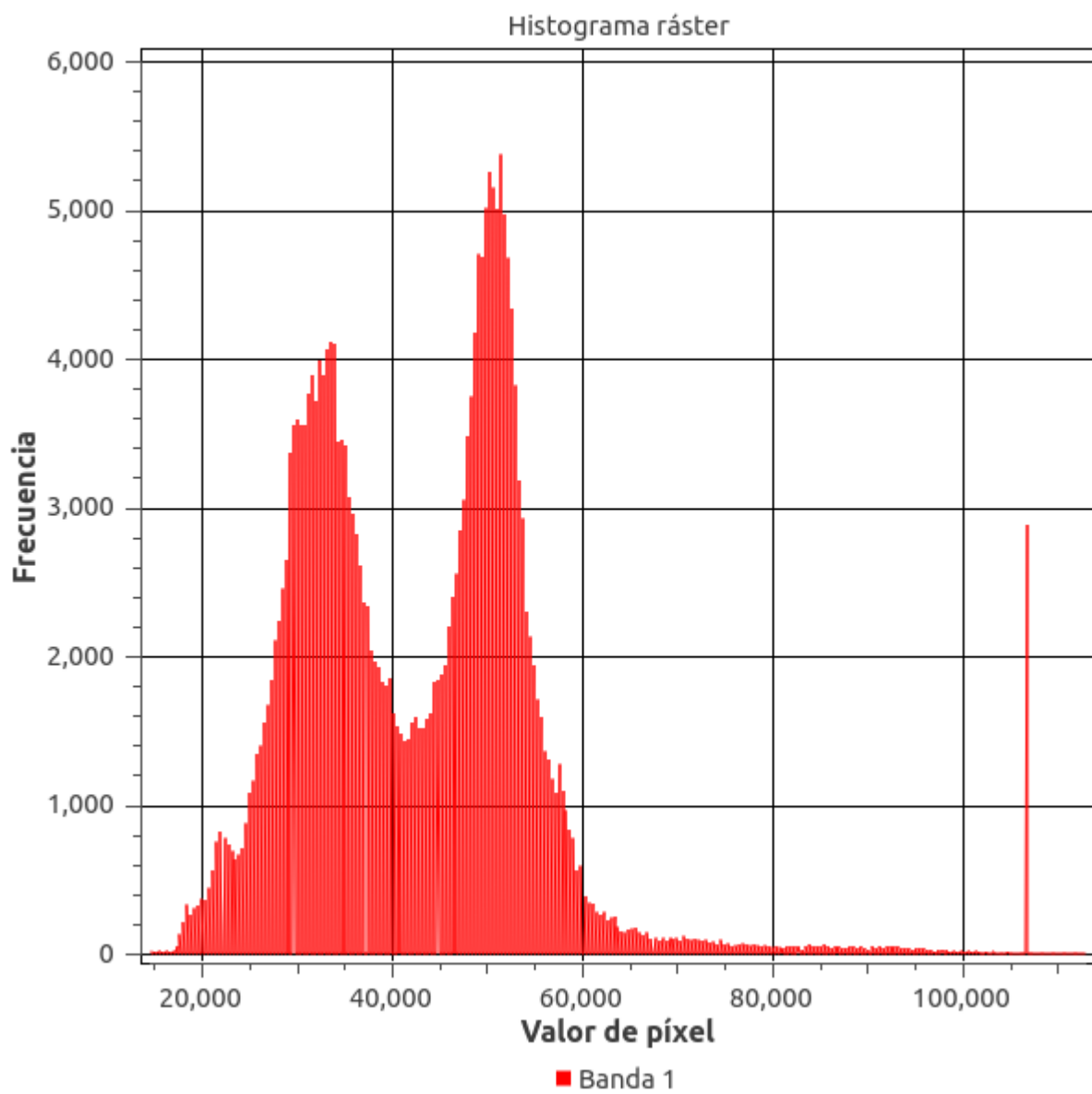
Histograma de la capa ráster de porosidad total.

#### Apéndice 4.



Histograma de la capa ráster  $\lambda$ .

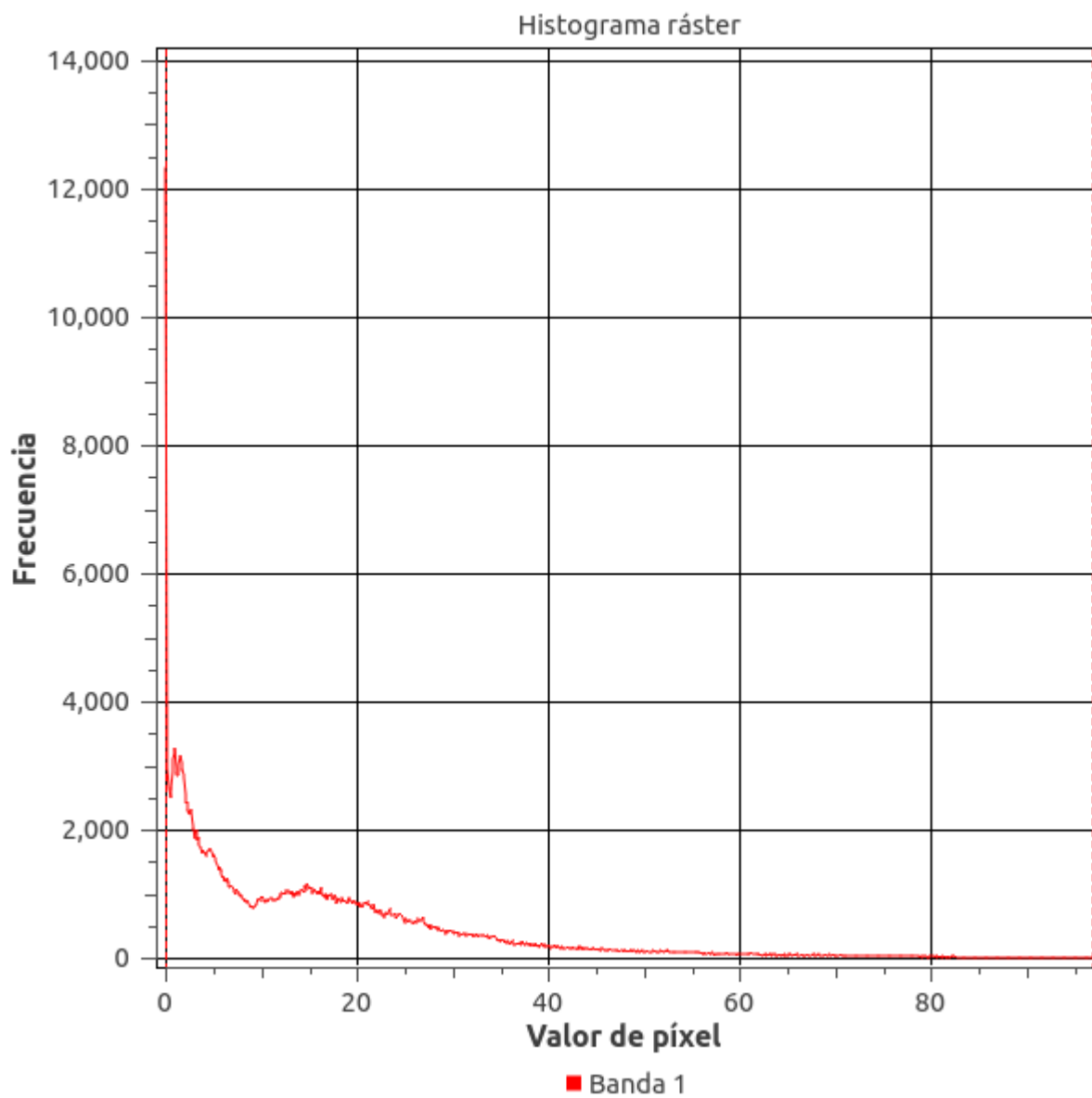
## Apéndice 5.



Histograma de la capa ráster de espesores de la corteza marciana.



## Apéndice 6.



Histograma de la capa ráster de densidad de fracturamiento.