

Mapa Geomorfológico y Distribución de Terreno Caótico
Conamara en Satélite Galileano Europa

Marlon Terry Lozada Alvarado

Trabajo de Grado para Optar el título de Geólogo

Director

Ana Milena Cardozo

Candidato Msc Geología

Codirectores

Fabián Saavedra Daza

Geólogo

David Tovar Rodríguez

Msc Geología

Julián Rodríguez Ferreira

PhD Astronomía

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga

2018

Dedicatoria,

Realmente el producto de lo que soy y si es posible llegaré a ser se lo debo a mi madre hermosa y por eso esta dedicatoria es especialmente para ti, eres la razón de mi existencia, no sabría qué sería de mi vida sin ti. Te amo inmensamente. Esto es para ti.

Agradecimientos

Primero que todo agradecerle a mis padres por traerme a este planeta, a mi hermana por su ejemplo y enseñanza, a todos mis queridos maestros desde los primeros hace muchos años en primaria hasta estos grandes maestros que me acompañaron a lo largo de mi carrera y aún más en esta etapa crucial, infinitas gracias al grupo GCPA de la universidad nacional en cabeza de mis codirectores de tesis Fabián Saavedra y David Tovar, muchas gracias por la confianza y el apoyo, también al profe Julián Rodríguez por tan importante apoyo y trabajo realizado en la universidad Industrial de Santander, a la profesora Ana Milena Cardozo por el acompañamiento y la confianza para poder realizar este trabajo, a todas y cada una de las personas que pasaron y están en mi vida, que con cada movimiento van transformando a energía y van elaborando la realidad en la que vivo. A todos y cada una de esas personas gracias por la enseñanza.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVOS.....	14
1.1 Objetivo General.....	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2. MARCO REFERENCIAL.....	15
2.1 Generalidades del Cuerpo en Estudio.....	15
2.2 Cuerpo de Estudio.....	18
2.3 Principales Modelos.....	21
2.4 Marco Geológico Tectónico	23
2.4.1 Crestas Dobles (Double Ridges).....	24
2.4.2 Cicloides (Cycloids)	26
2.4.3 Bandas de Dilatación (Dilational Bands).....	28
2.4.4 Bandas Convergentes (Converging Bands).....	29
2.5 Marco Geológico Caótico.....	30
2.6 Fotoclinometria.....	36
2.7 Metodología	42
2.8 Mapa de Distribucion.....	42
2.9 Resultados.....	48

3. CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÉNDICES	62

Lista de Figuras

	Pág
Figura 1. Abundancia elementos químicos.	15
Figura 2. Disco protoplanetario HD 163296.	16
Figura 3. Grafica comparativa densidad de planetas.	17
Figura 4. Observaciones Galileo lunas de Júpiter.	18
Figura 5. Propiedades Físicas de Europa.	18
Figura 6. Composición de los satélites Galileanos.	20
Figura 7. Modelos estructura interna de Europa.	20
Figura 8. Estructura interna satélites Galileanos.	21
Figura 9. Esfuerzos de marea en Europa.	22
Figura 10. Estructura doble cresta.	24
Figura 11. Ciclo creación de bandas.	25
Figura 12. Grietas cicloidales.	26
Figura 13. Modelo de formación Grietas cicloidales.	27
Figura 14. Bandas de dilatación.	28
Figura 15. Bandas convergentes.	29
Figura 16. Caos de Conamara.	31
Figura 17. Caos de Conamara en detalle	32

Figura 18. Niveles de formación Caos de Conamara.	32
Figura 19. Modelo de Formación Terreno Caótico.	33
Figura 20. Caos de Conamara.	34
Figura 21. Modelo ascensión de diapirismo en Terreno caótico.	34
Figura 22. Modelo de elevación digital “The Mitten”.	35
Figura 23. Configuración lumínica a partir de pixeles cráter Archelous.	36
Figura 24. Cráter Archelous en detalle.	37
Figura 25. Perfil topográfico zona suroccidental región Callanish.	38
Figura 26. Ejemplo procesamiento fotoclinométrico cráter Cilix.	39
Figura 27. Imagen región castalina macula y su fotoclinometria.	40
Figura 28. Imagen procesamiento mapa Distribución.	41
Figura 29. Anáglifo y procesamiento.	42
Figura 30. Anáglifo coreldrawx6.	43
Figura 31. Mapa de distribución Categoría 1.	44
Figura 32. Mapa de distribución Categoría 2.	45
Figura 33. Mapa de distribución Categoría 3.	46

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)

Apéndice A. Mapa Europa General

Apéndice B Lamina explicativa técnica anáglifo

Apéndice C. Mapa Geomorfológico Conamara detalle

Apéndice D. Mapa Distribución Conamara

Apéndice E Mapa Categorización Conamara

Apéndice F Perfil topográfico Conamara 1

Apéndice G Perfil topográfico Conamara 2

Apéndice H Perfil topográfico Conamara 3

Apéndice I Mapa Topográfico Conamara

Resumen en español

TITULO: MAPA GEOMORFOLOGICO Y DISTRIBUCION DE TERRENO CAOTICO CONAMARA EN SATELITE GALILEANO EUROPA.¹

AUTOR: MARLON TERRY LOZADA ALVARADO ²

PALABRAS CLAVE ASTROGEOLOGÍA, LUNAS GALILEANAS, FOTOCLINOMETRIA, MAPA DE DISTRIBUCIÓN, LUNA EUROPA, TERRENO CAÓTICO, CAOS DE CONAMARA.

DESCRIPCION

Las ciencias planetarias y en especial la Astrogeología han venido tomando fuerza debido a la importancia de conocer en detalle los cuerpos celestes de nuestro sistema solar, entendiendo los procesos de formación de nuestro planeta y especialmente en nuestra escala regional.

los modelos de formación, evolución planetaria y estelar permite encontrar características muy interesantes dentro del sistema Joviano conformado por Júpiter y sus lunas, la zona de estudio es un sector representativo de una de sus lunas, Europa. La cual ha desconcertado a los científicos desde su descubridor Galileo Galilei en 1610 pues fue la base científica para la comprobación de la teoría heliocéntrica propuesta por Nicolás Copérnico. Por su baja densidad de cráteres Europa se convierte en uno de los cuerpos tectónicamente activos del sistema solar y por sus características físico-químicas se convierte en uno de los lugares propicios para el desarrollo y evolución Astrobiológica.

En este trabajo se elaboró una metodología para poder entender el proceso de formación de la zona terreno caótico Conamara y entregar un mapa de la distribución de esta zona característica de terreno caótico, para esto se usaron imágenes obtenidas por la sonda voyager y galileo, usando Fotoclinometria y técnicas de Anáglifo rojo cian para elaborar el mapa de distribución y obtener zonas propicias para la recolección de muestras de material recristalizado perteneciente al subsuelo de Europa sin necesidad de instrumentos de alto consumo energético uno de los mayores problemas en la exploración de estos cuerpos tan alejados de nuestro núcleo solar.

En estas zonas específicas se podrían centrar esfuerzos para obtener las mejores muestras del material que subyace la corteza de Europa.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Ana Milena Cardozo Ortiz, Geóloga.

Resumen en Ingles

TITLE: GEOMORPHOLOGICAL MAP AND DISTRIBUTION OF THE CONAMARA CAOS IN SATELLITE GALILEANO EUROPA.¹

AUTHOR: MARLON TERRY LOZADA ALVARADO²

KEYWORDS: ASTROGEOLOGY, GALILEAN MOON, PHOTOCINOMETRY, DISTRIBUTION MAP, EUROPE MOON, CHAOTIC TERRAIN, CONAMARA CAOS.

DESCRIPTION

The planetary sciences and especially Astrogeology have gained strength due to the importance of knowing in detail the celestial bodies of our solar system, understanding the formation processes of planet Earth and especially on regional scale.

The models of formation, planetary and stellar evolution, the interesting characteristics within the Jovian system formed by Jupiter and its moons, the study area is a representative zone of one of its moons, Europe. Which has baffled scientists since it was discovered by Galileo Galilei in 1610 because it was the scientific basis for the verification of the heliocentric theory proposed by Nicolaus Copernicus. Due to its low density of craters, Europe becomes one of the tectonically active bodies of the solar system and, due to its physical and chemical characteristics; it becomes one of the most favorable places for Astrobiological development and evolution.

In this work, a methodology was developed to understand the formation process of the chaotic terrain zone and a map of the distribution of this chaotic terrain was assigned, for this purpose images obtained by the Traveler and Galileo probe are used, with Photoclinometry and techniques of anaglyph red cyan to elaborate the map of distribution and to obtain propitious zones for the recollection of samples of recrystallized material belonging to the subsoil of Europe without need of instruments of high energetic consumption one of the biggest problems in the exploration of these bodies so far away of our solar nucleus.

In these specific areas efforts could be focused to obtain the best samples of the material that underlies the crust of Europe.

¹ Bachelor Thesis

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Ana Milena Cardozo Ortiz, Geóloga.

Introducción

El satélite Galileano Europa es uno de los cuerpos planetarios en los cuales podemos observar han sido transformados por diversos procesos endógenos y exógenos en el sistema Joviano, muchos autores apoyan la idea de que la edad de su superficie no es mayor a 60 Millones de años, su superficie presenta una baja densidad de cráteres, esto nos permite corroborar que su superficie es nueva y está transformando, renovándose continuamente debido en gran parte a sus procesos endógenos producto de la disipación del calor remanente de la acreción por impactos de su formación, además de la interacción con las fuerzas de atracción gravitacionales por parte del gigante gaseoso Júpiter y procesos de descomposición atómica que permiten la circulación de esta temperatura y su posterior liberación generando estas características superficiales.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo realizar un mapa de distribución del terreno caótico Conamara usando la combinación de dos técnicas, la fotoclinometria y Anáglifo 3D (rojo/cian), además de la herramienta Corel DrawX6 para su posterior ilustración. Como insumo se procesarán imágenes de diferentes misiones espaciales que permitan realizar la distribución de estas estructuras y poder proponer los modelos que mejor se adaptan a esta distribución.

El impacto esperado de este proyecto es empezar a generar un espacio de investigación sobre las ciencias planetarias en especial la geología planetaria en la escuela de geología en conjunto con la creación del semillero de investigación CERES-UIS adscrito al grupo GIGBA de la escuela de geología y como semillero de apoyo al grupo GCPA de la universidad Nacional de

Colombia, el resultado será generar una cartilla sobre el estado del arte en este satélite Galileano. También como producto de este proyecto se obtendrá este trabajo escrito con los resultados y discusión de la información analizada que incluirá un mapa geomorfológico de la distribución del terreno caótico Conamara en el satélite y la topografía de esta zona.

.

1. Objetivos

Generar un mapa de las características superficiales de la zona caótica Conamara usando la combinación de dos técnicas y generando insumos como la altimetría de la zona para poder generar una nueva interpretación sobre esta zona.

1.1 Objetivo General

Caracterizar el conocimiento sobre la forma en la que están distribuidos los diferentes bloques que conforman el terreno caótico Conamara en el satélite Galileano Europa.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar y categorizar la zona caos de Conamara, terreno caótico.
- Elaborar mapa geomorfológico de la distribución del terreno caótico Conamara en el satélite Galileano Europa.
- Elaborar altimetría de la zona caótica Conamara.

2. Marco Referencial

2.1 Generalidades del Cuerpo en Estudio

Desde los inicios del pensamiento científico hemos contado con la suerte de poder contar con grandes pensadores algunos de ellos como; Nicolás Copérnico(1473), Giordano Bruno(1548), Johannes Kepler(1571), Galileo Galilei(1564), Christian Huygens(1629), Isaac Newton (1643), Edmund Halley (1656), Immanuel Kant(1724), William Herschel(1738), Giuseppe Piazza(1746), Albert Einstein(1879), Eugene Shoemaker(1928), entre otros que permitieron finalmente poder adentrarnos en el nuevo horizonte, el horizonte espacial, también en gran parte gracias al aporte de las novelas de ciencia ficción como la del famoso autor julio Verne(1903) quienes inspiraron a toda una nueva generación de visionarios espaciales; Wernher von Braun, Arthur C. Clarke, Carl Sagan, Fred Whipple y Neil Armstrong. Todo esto nos permitió como especie conocer los procesos de la formación y evolución del sistema solar.

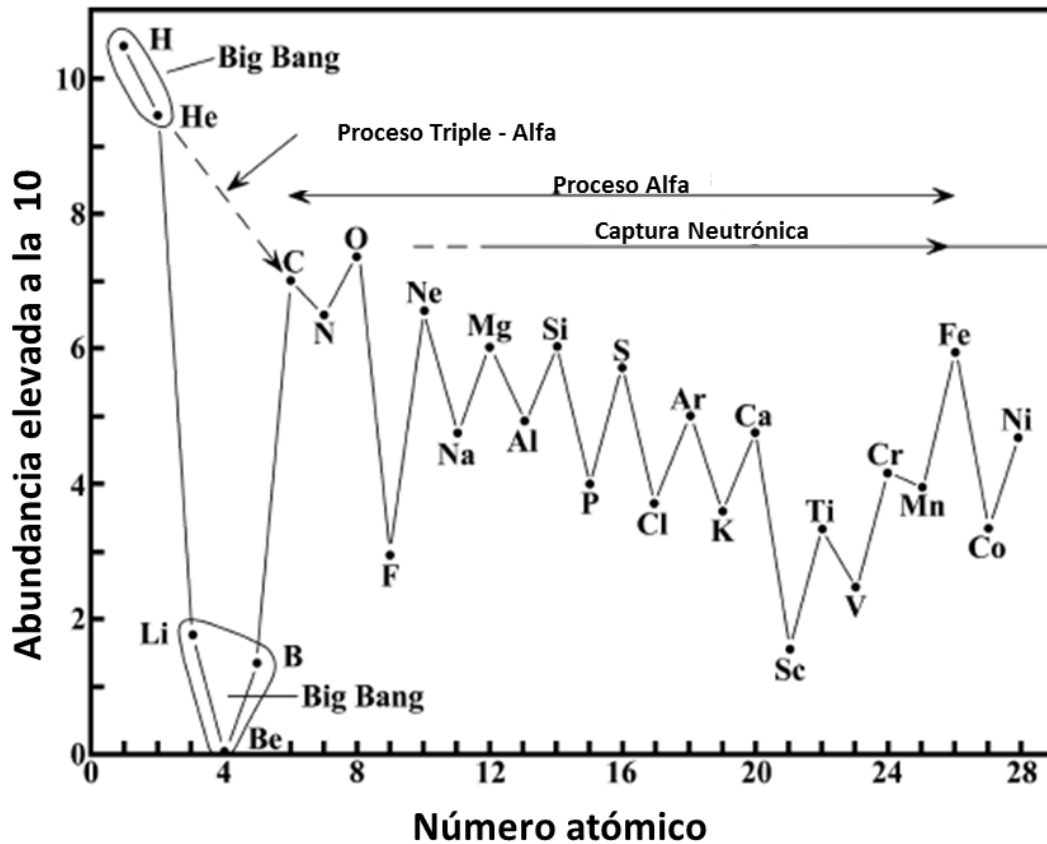


Figura. 1. A. Abundancias de los elementos químicos en el sistema solar se expresan en términos de números atómicos por millón de átomos de silicio y se representaron en este diagrama en potencias de 10. Las abundancias de hidrógeno y helio son hasta 1000 veces más altas que las de carbono Y otros elementos de mayor número atómico (es decir, el número de protones). Inspirado de Introduction of the planetary science(Faure y Mensing 2007).

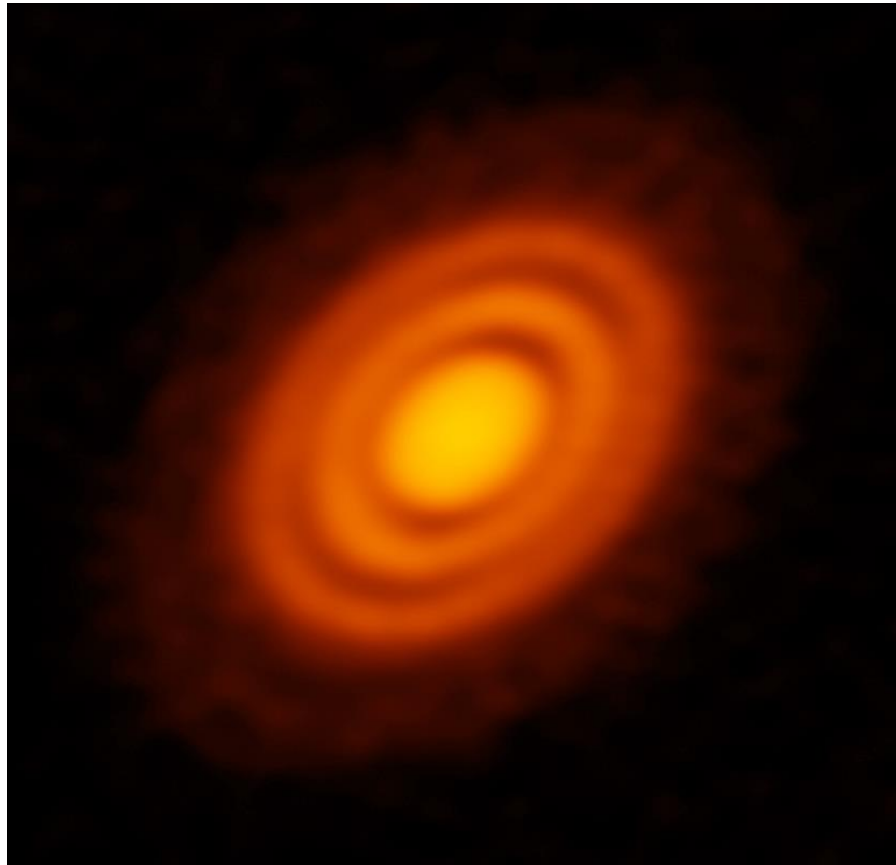


Figura. 2. Imagen tomada por ALMA disco protoplanetario alrededor de la joven estrella HD 163296. Las nuevas observaciones sugieren que hay dos planetas, cada uno del tamaño aproximado de Saturno. Estos planetas, aún en proceso de formación, fueron captados gracias a la huella que dejaron tanto en el polvo como en el gas que rodean a la estrella. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); A. Isella; B. Saxton (NRAO/AUI/NSF) (en línea) 03 de octubre 2017. <http://www.almaobservatory.org/es/comunicados-de-prensa/alma-encuentra-claros-indicios-de-pareja-de-planetes-recien-formados-alrededor-de-joven-estrella/>(«ALMA encuentra claros indicios de pareja de planetas recién formados alrededor de joven estrella | ALMA» s. f.)

Debido al modelo de nucleosíntesis sabemos que los elementos y sistemas planetarios se originan a partir de nubes compuestas principalmente por Hidrogeno (figura 1), que colapsan formando protoestrellas, a su vez discos planetarios como se ha podido comprobar con datos obtenidos por instrumentos como se muestra en la figura 2, además formando protoplanetas que finalmente terminaran generando planetas y satélites, esta teoría explica la sectorización del espacio dependiendo de las características fisicoquímicas de los elementos presentes en la nebulosa que formaran el disco planetario como se muestra en la figura 3, Júpiter al ser el

planeta más masivo del sistema Solar, presenta características que lo asemejan a una estrella de baja masa o enana marrón debido a su estado gaseoso, rotación diferencial, irradiación y campo magnético gigantesco. Esto nos hace pensar que su formación se presentó al comienzo del colapso protosolar, de ahí su enorme masa que a su vez pudo atrapar estos planetecimales que terminarían convirtiéndose en los satélites Galileanos.

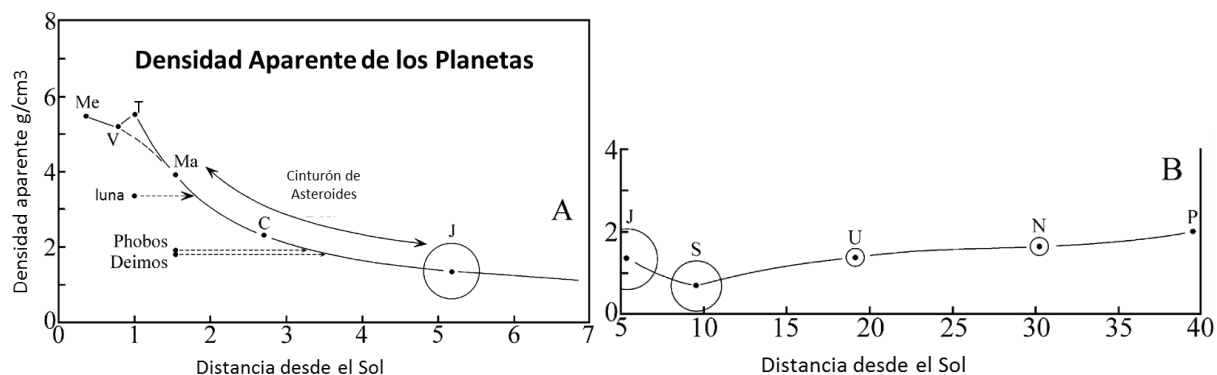


Figura. 3. Densidades de los planetas terrestres disminuyen con el aumento de la distancia desde el Sol. La densidad de la Tierra es alta, mientras que la de la Luna es baja, al igual que las densidades de los satélites de Marte (Phobos y Deimos). La densidad del planeta Júpiter es notablemente más baja que la de los planetas terrestres. B. Las densidades de los planetas de gas son similares a las de Júpiter y varían sólo dentro de límites estrechos. Plutón es un objeto sólido con una densidad aparente de aproximadamente 2 g/cm³ y ha sido reclasificado como un planeta enano. Tomado y modificado de Introduction of the planetary science (Faure y Mensing 2007).

2.2 Cuerpo de Estudio

El cuerpo de estudio es uno de los satélites Galileanos, nombrados así en honor a su descubridor Galileo Galilei en 1610 tras rediseñar el telescopio. Gracias a estas observaciones (figura 4) pudo comprobar el modelo de Nicolás Copérnico sobre la teoría heliocéntrica, según Pilcher (citado por Greenberg) menciona que las observaciones realizadas de los espectros de luz solar reflejada por Europa muestran que existe una gran cantidad de agua en su superficie (Pilcher et al., 1972). (Greenberg et al. 2002)

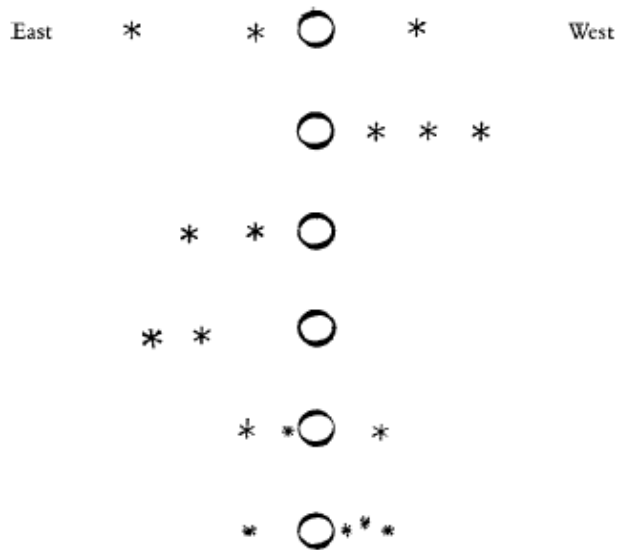


Figura 4. Observaciones de las lunas de Júpiter en noches consecutivas desde el 7 hasta el 13 de enero (excepto 9 de enero) de 1610, como se muestra en su libro *Sidereus Nuncius*. Galileo Galilei. Tomado de Encyclopedia of the solar system (McFadden, Johnson, y Weissman 2006) (pág. 56).

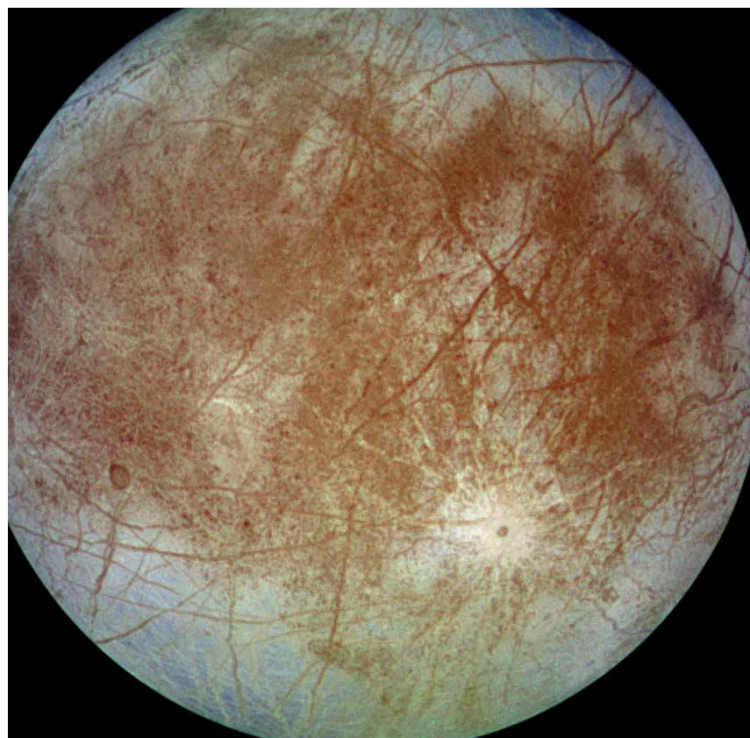


Figura. 5. Europa. El color y el contraste en esta imagen son exagerados para revelar características superficiales. Imágenes obtenidas por la nave espacial Galileo, cortesía del Laboratorio de Propulsión a Chorro y NASA. Tomado de (Greenberg et al. 2002)

El inicio de la era espacial moderna permitió la realización de misiones espaciales para conocer más en detalle la dinámica de los satélites Galileanos, la primera misión al planeta Júpiter fue en la década de los 70's con las sondas Pioneer 10 y 11 pero la primera misión en obtener imágenes del satélite Europa fueron las sondas Voyager 1 y 2 en 1979 y posteriormente la sonda Galileo en los años 90's que mostraron una superficie más brillante que la de nuestro satélite, cruzada con numerosas crestas, bandas y cicloides, además de una baja densidad de cráteres que nos demuestra la continua renovación de su superficie. Según (Kristjánssdóttir 1981 2010) "Esta escasez de cráteres de impacto sugiere que la superficie de Europa es hoy joven y posiblemente activa. (Zahnle et al. 2003) Estiman la edad de la superficie entre 30 y 70 Ma, que es sólo un uno por ciento de la edad del sistema solar". Lo cual nos demuestra que la superficie de Europa ha venido cambiando a través del tiempo.

Estas estructuras presentes en su superficie hacían pensar a algunos científicos que era necesario una capa líquida "dúctil" debajo de la superficie gélida para que los modelos encajaran con el paisaje de lineamientos. Además de esto, variaciones sutiles en las trayectorias de las naves espaciales implicaban un cuerpo diferenciado, subdividido en un núcleo metálico de 700 km de radio, un manto silicatado, una capa interior con densidad similar a la del agua y sales en solución, con una capa exterior gélida con un espesor aproximado de 150 km. (Greenberg et al. 2002).

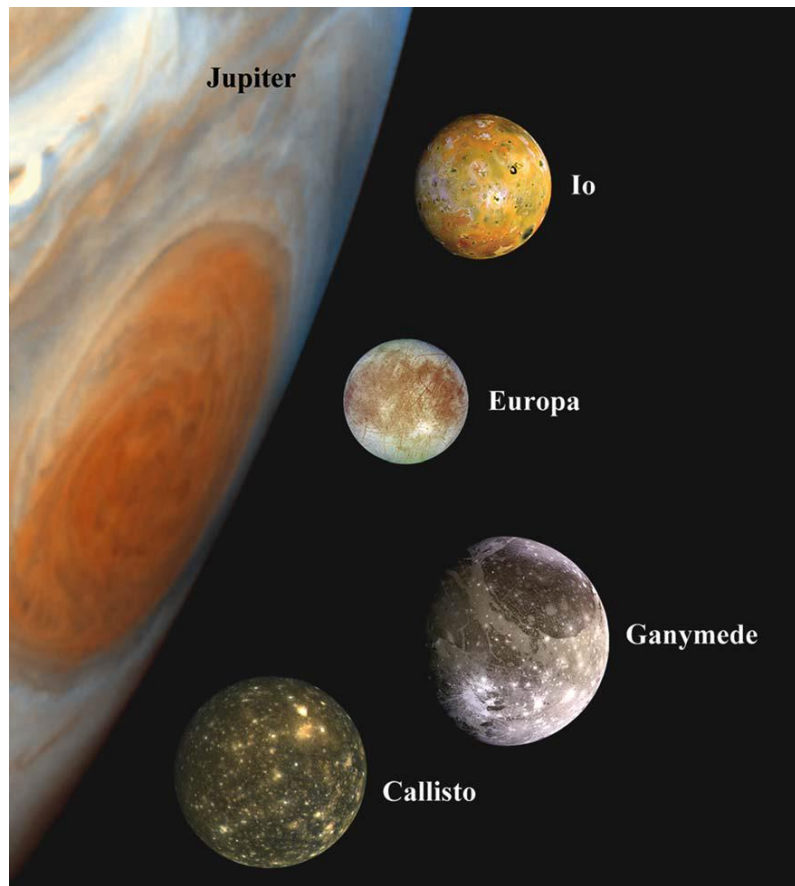


Figura. 6. composición de los satélites Galileanos de Júpiter creado con imágenes de la nave espacial Galileo en 1996 (Io, Europa, y Ganimedes) y las sondas Voyager en 1979 (Calisto) (NASA). Tomado de Introduction of the planetary science (Faure y Mensing 2007) (p298)

2.3 Principales Modelos

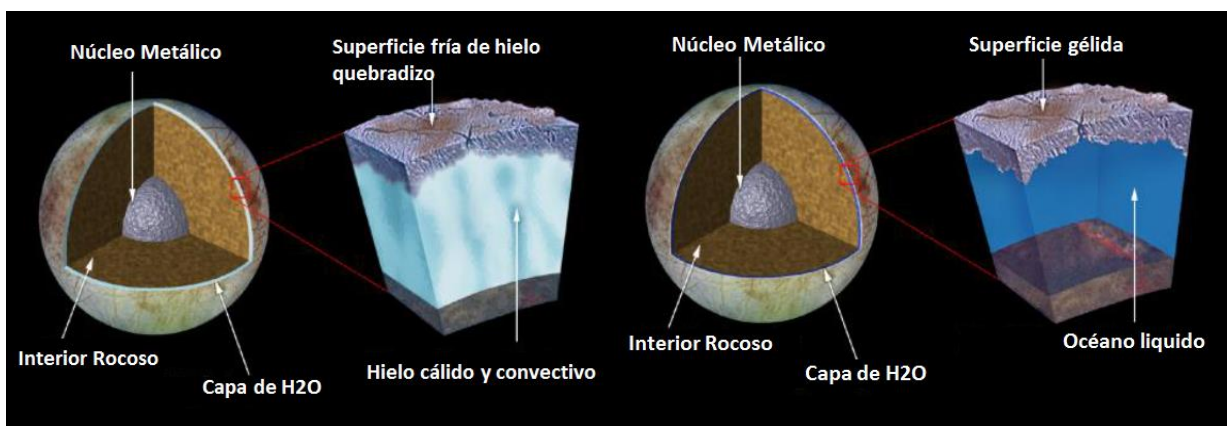


Figura. 7. Modelos propuestos para la estructura interna de Europa. (NASA / JPL, 1999). (Modificado de (Kristjánssdóttir 1981 2010). (p15)

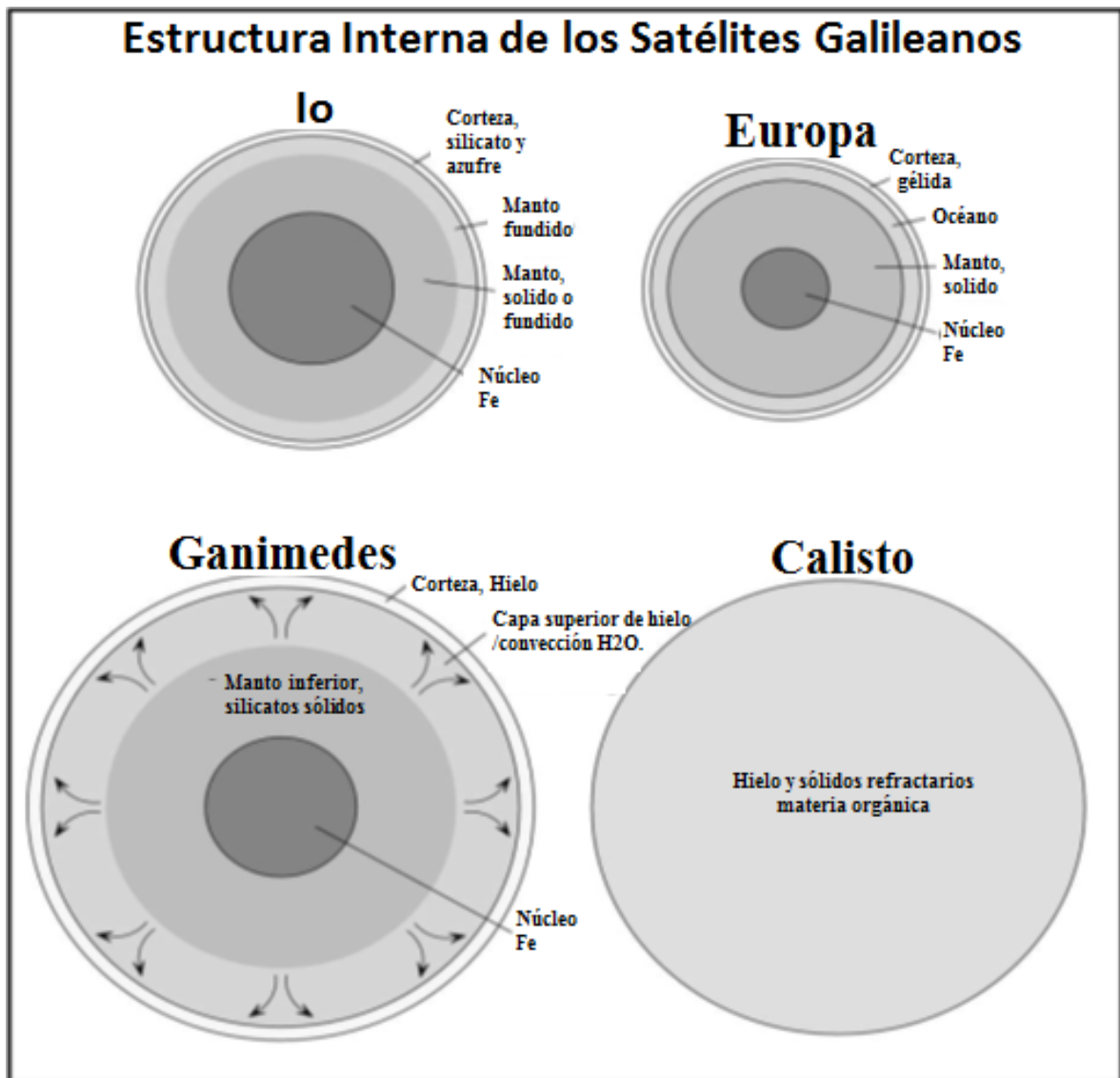


Figura 8. Estructura interna satélites Galileanos Modificado de Introduction of the planetary science (Faure y Mensing 2007)(p301).

Las principales características de su superficie se deben al calentamiento por fricción de marea proceso en el cual la capa interior líquida subyacente de su superficie gélida permite que se realicen esfuerzos sobre esta debido a la acumulación calórica por los movimientos de marea realizados por este océano debido a la interacción gravitacional con Júpiter y resonancias orbitales con los demás satélites Galileanos. Johnson (1999) sugirió que el núcleo de hierro de Ganimesdes puede estar

parcialmente fundido. Si los núcleos de Io, Europa y Ganímedes son al menos parcialmente líquidos, pueden permitir que las corrientes eléctricas induzcan campos magnéticos. De ahí podríamos explicar las anomalías gravitacionales captadas por las sondas espaciales enviadas al sistema Joviano

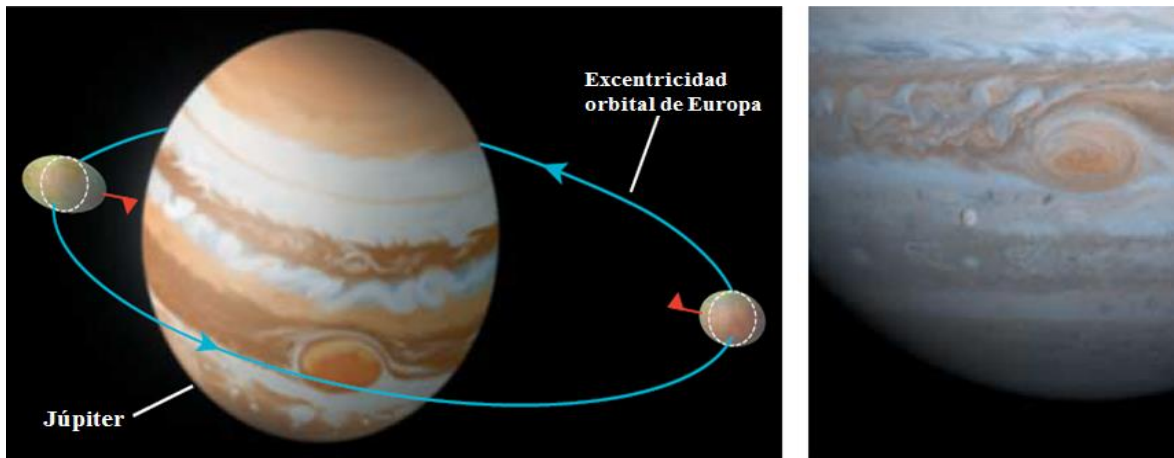


Figura. 9. A. El esfuerzo de marea en Europa cambia a medida que se mueve a lo largo de su órbita excéntrica alrededor de Júpiter. Forma orbital y tamaños relativos de los cuerpos son exagerados. B. Júpiter y Europa tamaño real. Aquí Europa se encuentra a unos 600.000 kilómetros por encima de las nubes de Júpiter. Modificado de (Greenberg et al. 2002) (Pag50).

La superficie de este satélite Galileano está dominado por dos tipos de terrenos Geológicos:

Tectónico y Caótico.

2.4 Marco Geológico Tectónico

El terreno tectónico parece ser producto del estrés ocasionado por el calentamiento de marea, creando grietas e impulsando su dilatación, cizallamiento (fallas de desplazamiento) y construcción de crestas. “Estos tipos de características tectónicas están densamente agrupadas a través de la superficie de Europa y cubren la mayor parte del área del satélite, al menos sobre la

parte de la superficie que se ha muestreado con una resolución de imagen adecuada.”(Greenberg et al. 2002)

El terreno caótico cubre una porción aproximada del 40% de la superficie y representa procesos poco comprendidos que pueden proporcionar una clave para la estructura interna y la dinámica de Europa. (Greenberg et al. 2002)

En este porcentaje de superficie se presentan estructuras bien definidas llamados Terreno tectónicos:

2.4.1 Crestas Dobles (Double Ridges)

Lineamientos generalmente en pares distribuidos ampliamente por la superficie de Europa desde unos pocos kilómetros a cientos de kilómetros de longitud.

Los principales modelos propuestos son:

(Greenberg 2009) propone que son resultado de tensiones y extensiones repetidas durante los cambios en la dirección del tensor debido a las mareas. Este material es exprimido sobre la superficie cuando la grieta se cierra. (Pappalardo et al. 1999) proponen que los diapiros lineales se elevan de manera boyante en grietas preexistentes e inclinando hacia arriba la litosfera frágil-elástica a lo largo de la grieta. (Kadel et al. 1998) propone que estas crestas son el resultado de restos volcánicos depositados balísticamente por erupciones de fisuras material compuesto por hielo, agua y alguna pequeña fracción de silicato.

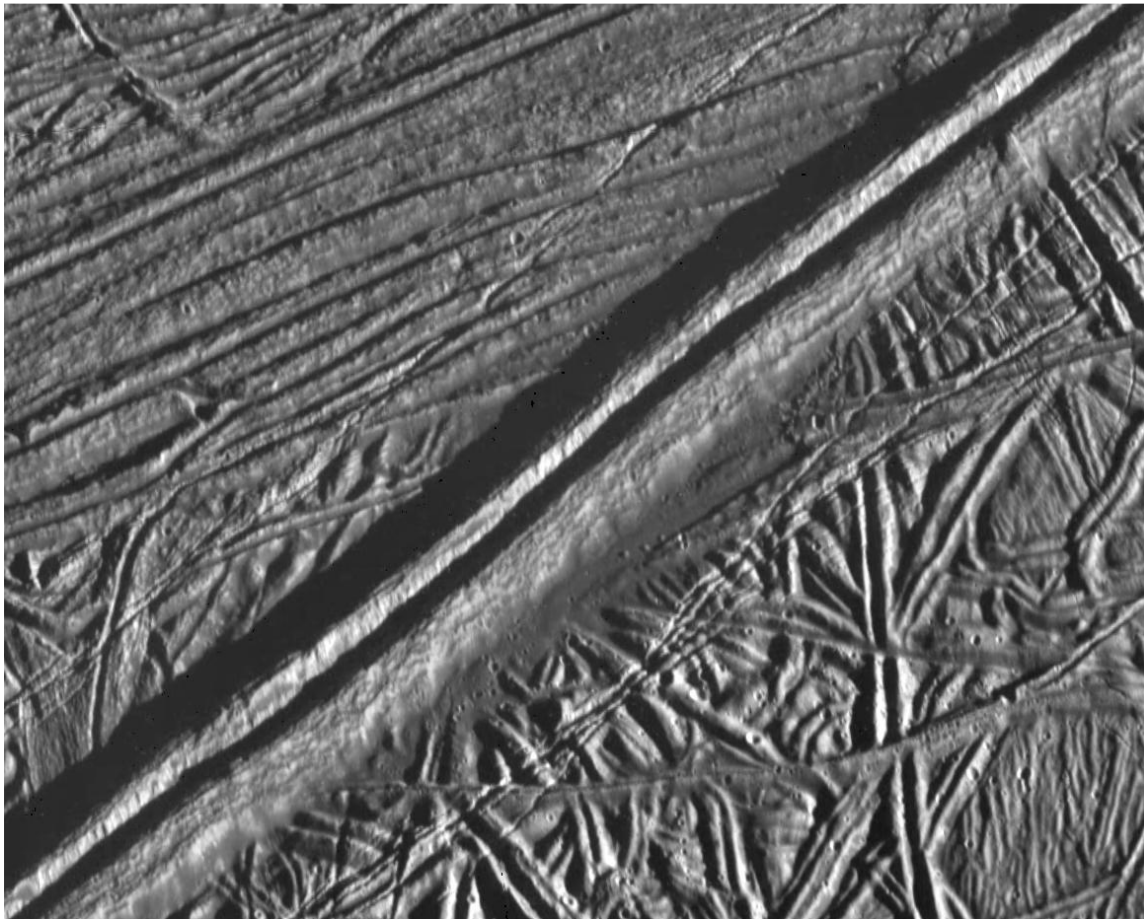


Figura. 10. Estructura doble cresta y sobre escritura de lineamientos preexistentes (NASA / JPL / ASU, 1998).tomado de (Kristjánsdóttir 1981 2010).Pag5

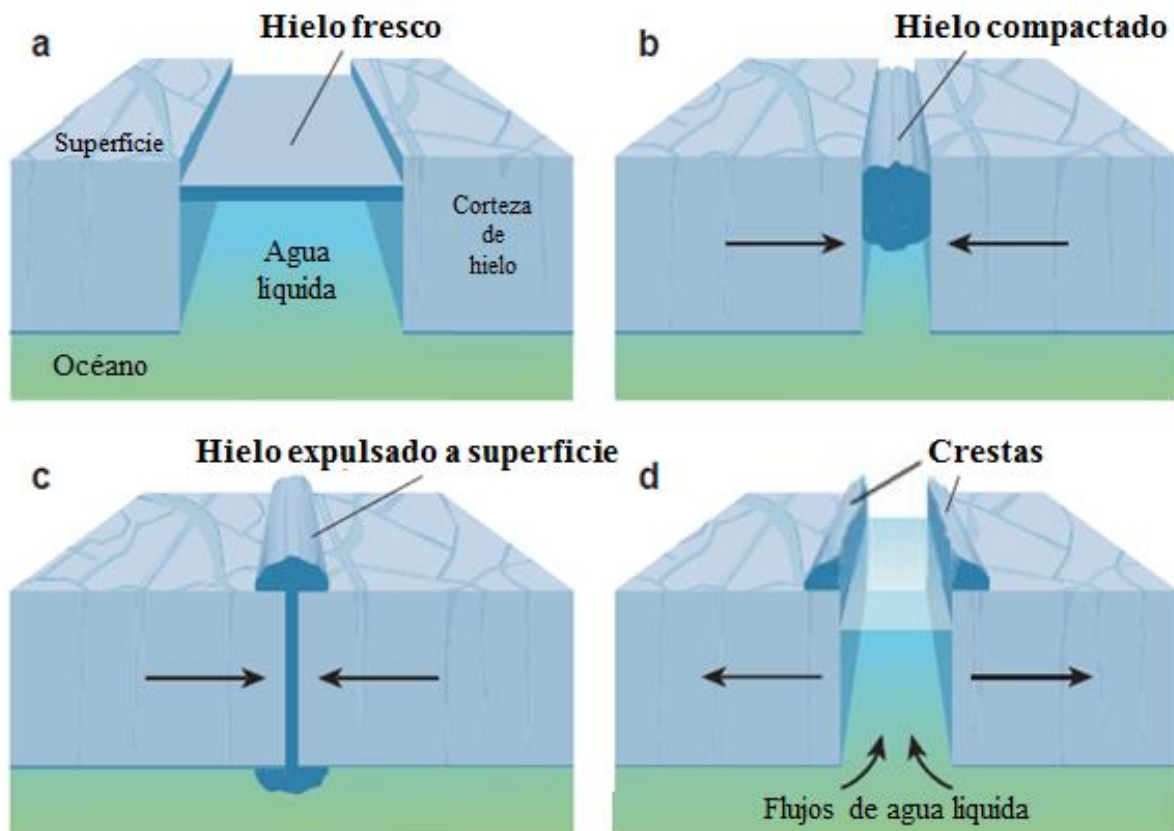


Figura. 11. Ciclo Creación bandas (a), se abre una grieta, dejando entrar agua líquida, que se congela en la superficie, formando una fina capa de hielo fresco. A medida que el ciclo diario avanza, la grieta se cierra (b), aplastando el hielo y exprimiendo algo de él sobre la superficie de la corteza (c). Cuando el ciclo comienza de nuevo (d), se forman crestas paralelas a cada lado de la grieta cuando se abre de nuevo al día siguiente. Con el tiempo, la acumulación constante de hielo en las crestas puede alcanzar una altura de 100 metros. Modificado de (Greenberg et al. 2002)

2.4.2 Cicloides (Cycloids)

Lineamientos que han asombrado a los científicos desde las primeras imágenes del voyager y galileo se presentan como bandas dobles con leves tensores en una dirección específica la cual les da un aspecto arqueado como se muestra en la figura XIII.

Los principales modelos propuestos:

(Hoppa et al. 1999) proponen que las grietas cicloideas se forman en respuesta a las fuerzas de marea en Europa. Su modelo sugiere que el patrón arqueado se forma cuando las grietas se propagan a través de un campo de tensión siempre cambiante mientras Europa gira alrededor de Júpiter. La propagación sigue una trayectoria curvada hasta que alcanza un valor crítico donde la tensión de tracción es insuficiente para continuar la propagación. Cuando el agrietamiento comienza nuevamente el campo de tensión ha cambiado y la grieta se propaga en una nueva dirección creando una cúspide. Así, se crea un arco en un día de Europa.

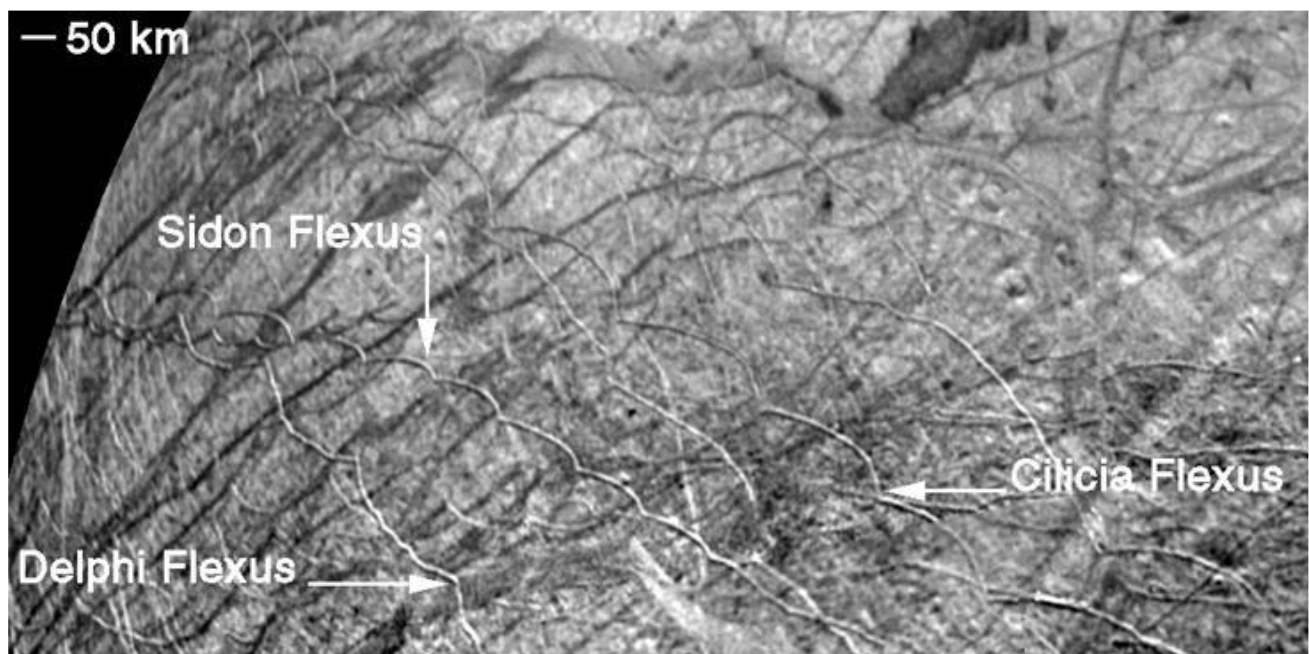


Figura. 12. Grietas cicloideas cerca del polo sur de Europa, imágenes sonda Voyager (cyc 1979) Tomado de (Kristjánssdóttir 1981 2010).Pag7

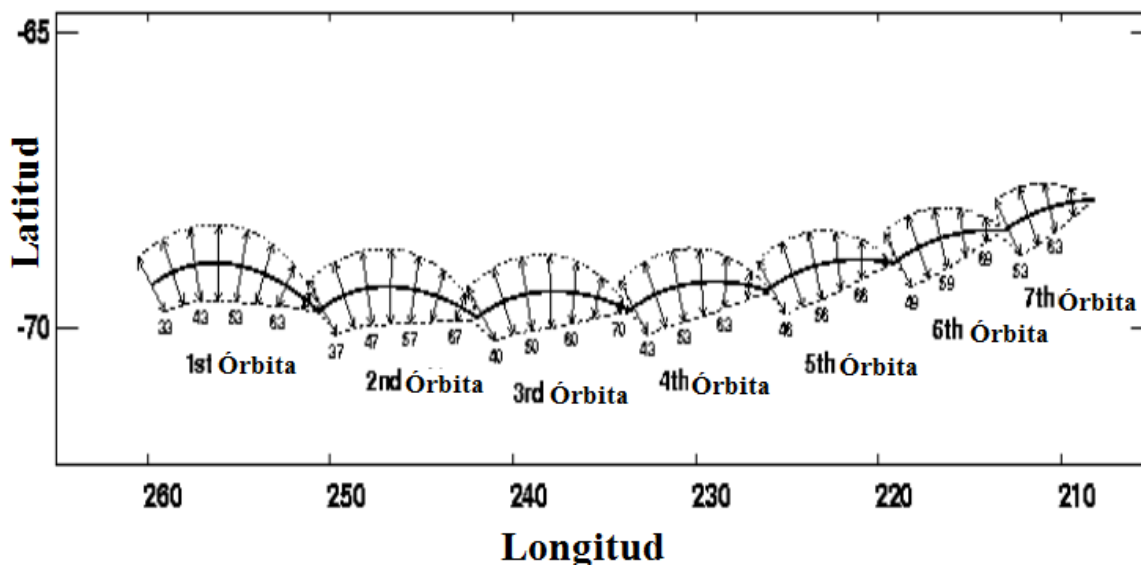


Figura. 13. Modelo de formación de grietas cicloideas en Europa por Hoppa et al. Las flechas representan la amplitud y la orientación de la tensión de tracción. Los números indican las horas de la órbita (Hoppa et al., 1999b). Modificado de (Kristjánssdóttir 1981 2010).Pag8

2.4.3 Bandas de Dilatación (Dilational Bands)

Pueden haber comenzado como grietas finas o crestas dobles pero no se genera una acumulación de material sino por el contrario el estrés tensional hace que se separe acumulando material al interior de la grieta.

Los principales modelos:

(Pappalardo et al. 1999) propone que al ser la banda topográficamente más alta que las llanuras circundantes es compatible con la idea de que el emplazamiento de material es relativamente boyante. La rotación lenta no sincrónica y la flexión diurna rápida de las mareas son las fuentes más probables de la tensión de tracción, permitiendo que el hielo boyante y dúctil se eleve hacia la superficie (Stempel, Barr, y Pappalardo 2005). (Greenberg 2009) propone que estas fuerzas impulsoras operan sobre grandes regiones y que es el resultado de una corteza

gélida muy móvil, que pueda deslizarse fácilmente sobre una capa líquida, además este modelo requiere que la grieta penetre a través de toda la corteza hasta un océano líquido submarino.

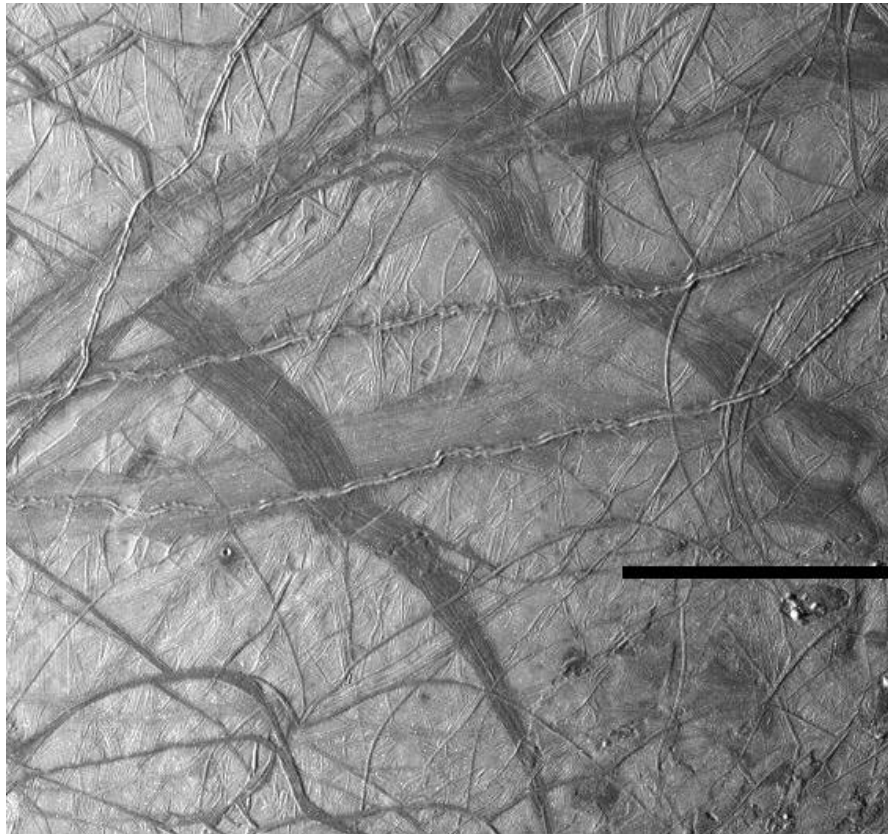


Figura. 14. Bandas de dilatación formada por esfuerzos de tensión que separa la corteza. La forma arqueada sugiere que comenzaron como grietas cicloidales (NASA / JPL, 1997). Tomado de (Kristjánsdóttir 1981 2010).Pag9

2.4.4 Bandas Convergentes (Converging Bands)

Uno de los problemas no resueltos es en relación con el espacio y su reutilización así como se generan nuevos terrenos debido a las dilataciones deben generarse bandas convergentes donde se asimile material para completar el ciclo.

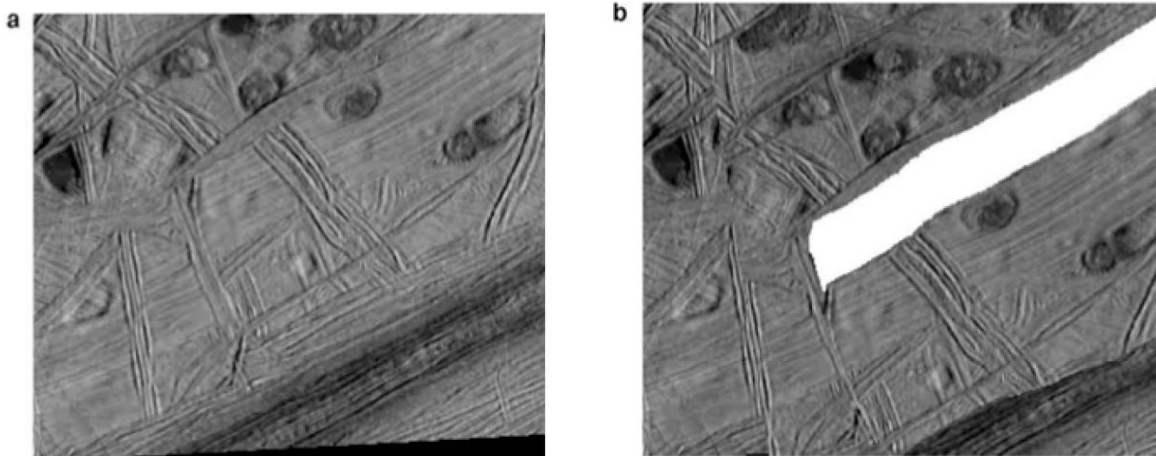


Figura. 15. Ejemplo de bandas convergentes, (a) imagen muestra la apariencia actual de la región. (b) se han reconstruido fallas en el área circundante, el resultando un espacio de 8 km representado por la sección blanca. Los científicos sugieren que esta zona fue eliminada por convergencia de las placas adyacentes (Sarid et al., 2002). Tomado de (Kristjánsdóttir 1981 2010). Pag 10

2.5 Marco Geológico Caótico

En las primeras imágenes obtenidas por la sonda voyager no pudieron ser descubiertas en detalle pero con imágenes obtenidas por la sonda galileo revelaron bloques de hielo con marcas de lineamientos preexistentes que se reorganizan al azar debido a su característica boyante, reorientando su centro de flotación generando una textura áspera y en hummocky.

El autor (Greenberg et al. 1999) encontró por extrapolación que el 18% de la superficie de Europa está cubierto por un terreno caótico fresco, otro 4% está cubierto por terreno modificado y el terreno más antiguo ha sido sobreimpreso por estructuras tectónicas.

La zona mejor estudiada es la zona conamara caos, allí se muestra a gran detalle bloques de hielo que han sido movilizados y rotados, lo que indica fusión local. Dándonos ambientes análogos con los icebergs flotantes en nuestro planeta.

Caos de Conamara

Posibles modelos:

El autor (Greenberg et al. 1999) sugiere que el calentamiento local o regional derrite la corteza helada, comenzando en la parte inferior en su interfaz con un océano global, y continuando hasta que el espesor de la corteza se reduce a cero sobre una porción de la superficie.

(Pappalardo et al. 1999) señalan que este modelo requiere más calor que el disponible en un punto en particular durante un período de tiempo. (Pappalardo et al. 1998) proponen que el terreno caótico es el resultado del hielo de estado sólido que se eleva diariamente hacia la superficie. Sin embargo, el diapirismo de estado sólido es inconsistente con el rango de tamaño observado en bloques de conamara caos. (Collins et al. 2000).

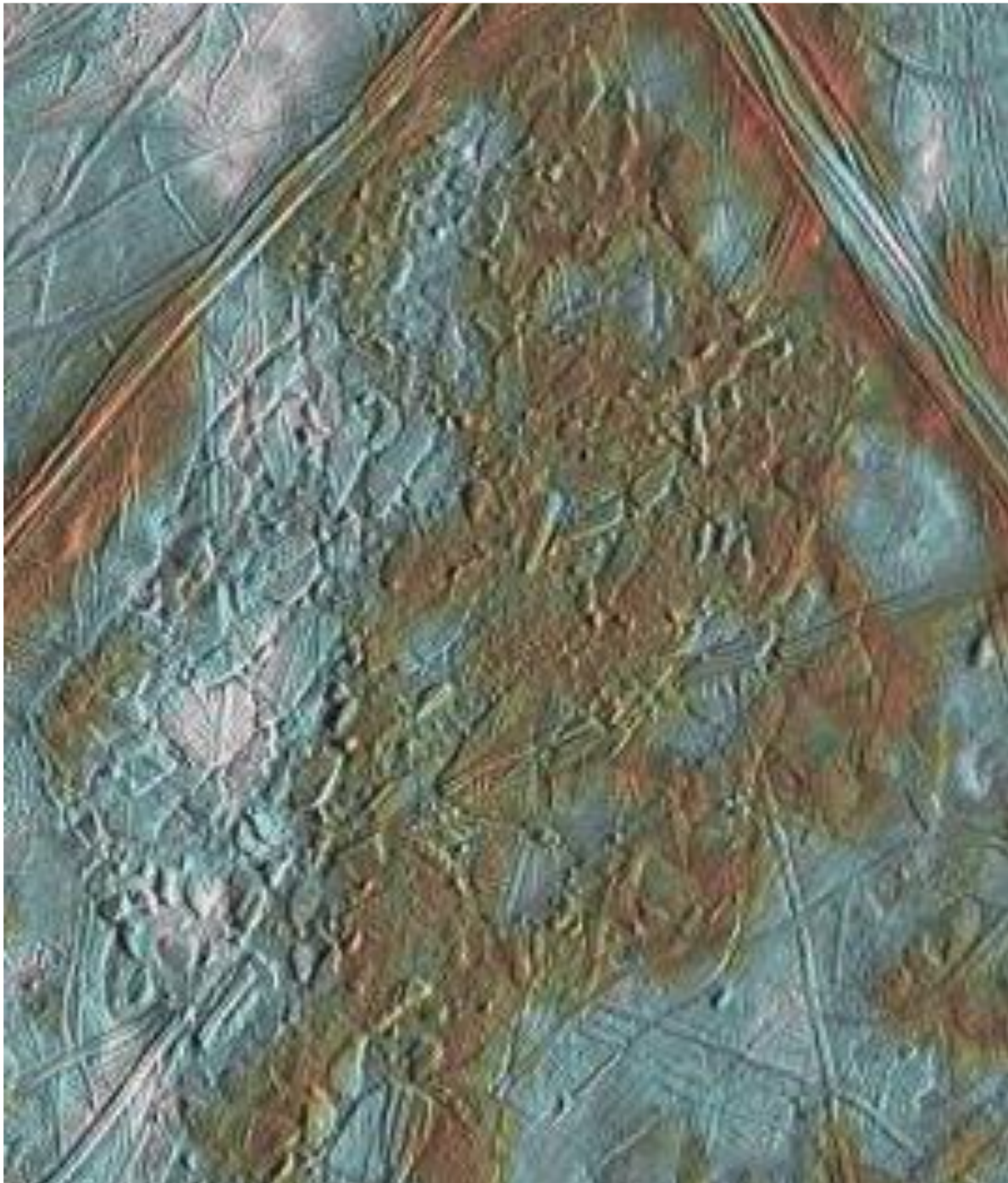


Figura. 16. El caos de Conamara. Son Visibles bloques de hielo que parecen haber sido fracturados de la corteza y desplazados. Algunos de ellos todavía llevan marcas del terreno preexistente. (NASA / JPL / UA, 1998b). Tomado de (Kristjánssdóttir 1981 2010). Pag12

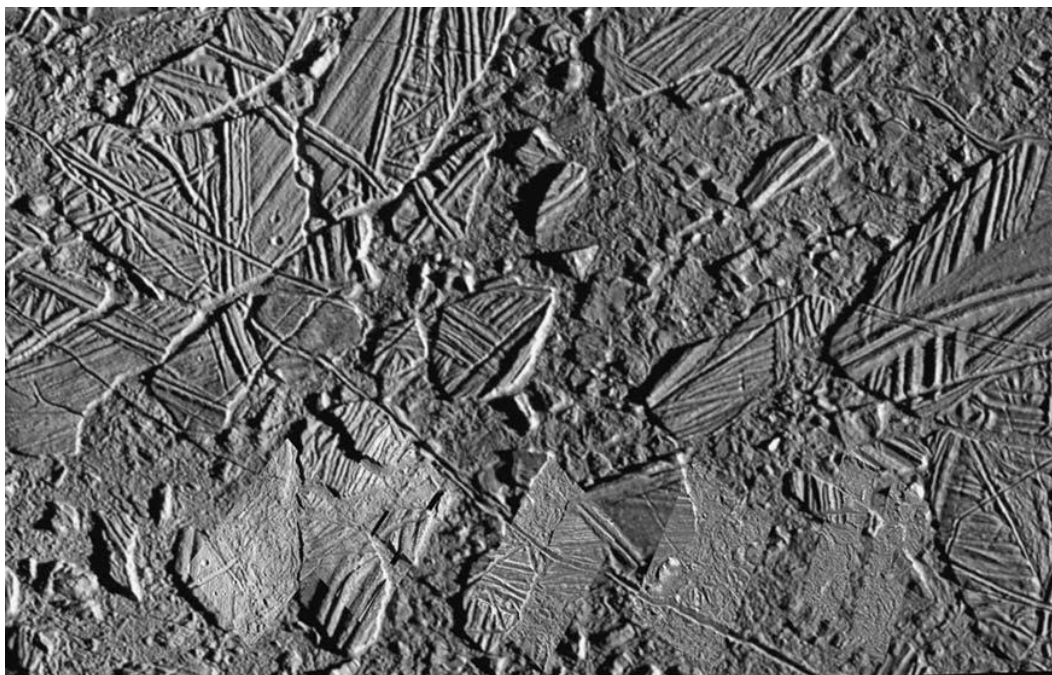


Figura. 17. Conamara Chaos (Imagen PIA 01403, Galileo, NASA/JPL-Caltech/Arizona State University). (Greenberg et al. 2002)(p8)

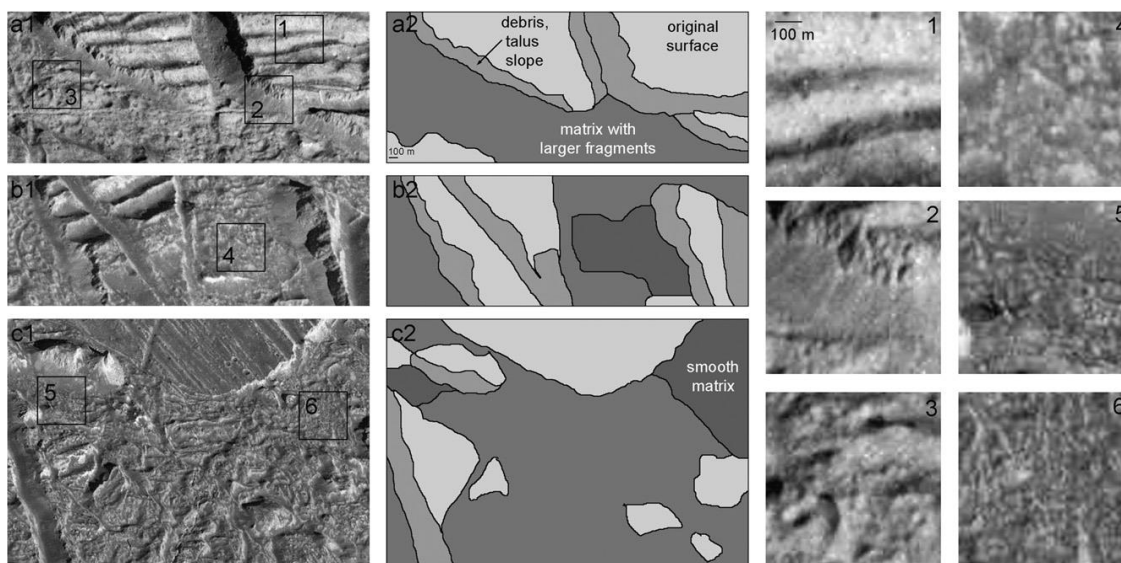


Figura. 18. Ejemplos para comparar los distintos niveles de modificación en la corteza de hielo que podrían extrapolarse de la morfología. Partes de Conamara Chaos (a), la interpretación gráfica de las unidades de superficie (b), y las secciones ampliadas (c). Las imágenes fueron adquiridas por la sonda Galileo con una resolución de hasta 20 m del terreno a 9N 274W el 1997.12.16. (NASA, JPL).(Kereszturi y Keszthelyi 2013).

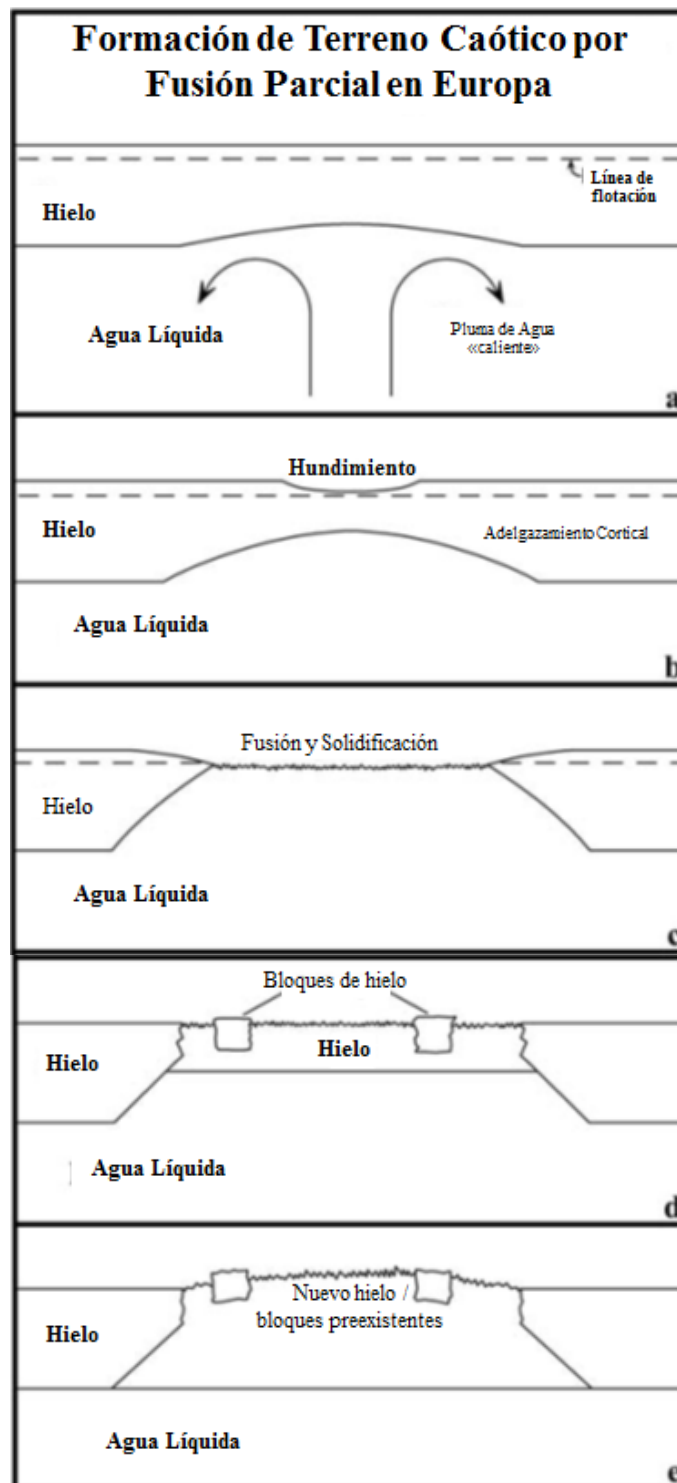


Figura. 19. Modelo de formación terreno caótico Greenberg (2005) Tomado de Introduction of the planetary science. Modificado de (Faure y Mensing 2007)(Pag320)

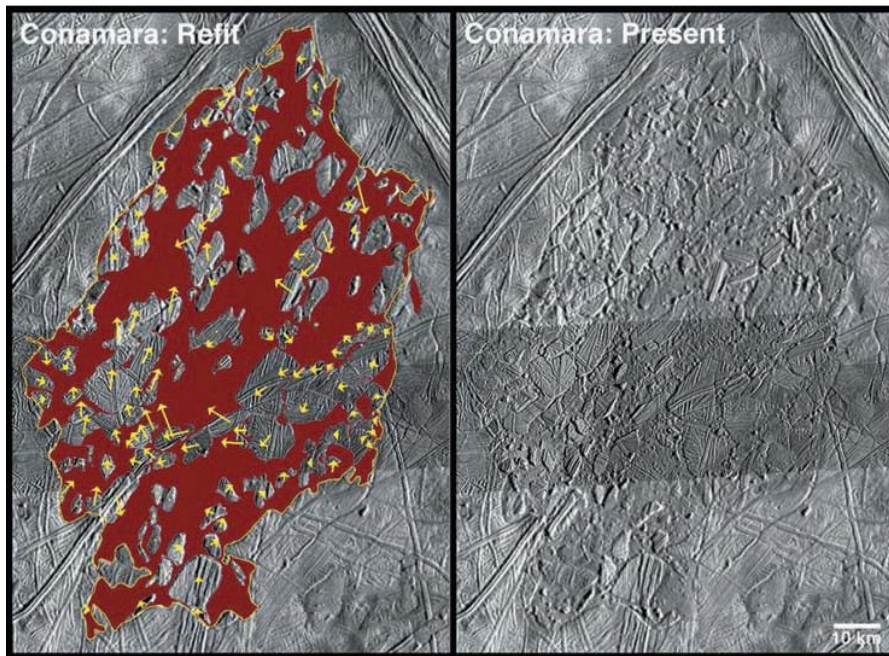


Figura. 20. Caos conamara (Spaun et al., 1998). Tomado de (McFadden, Johnson, y Weissman 2006). (Pág. 441)

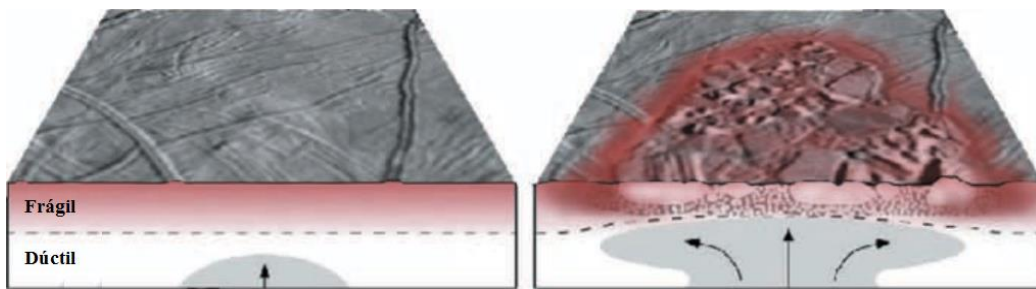


Figura. 21. Modelo de ascensión de diapirismo para la creación de terreno caótico Modificado de (Collins et al. 2000). (Pág. 442)

Recientes interpretaciones de estas características sugieren que la corteza helada puede ser relativamente delgada, y que un océano líquido-acuático puede estar cerca de la superficie. Si es así, la vida en Europa puede ser capaz de explotar varios entornos habitables. Europa tiene unos 3.100 kilómetros de diámetro, aproximadamente del mismo tamaño que la luna de la Tierra.(Greenberg et al. 2002)

2.6 Fotoclinometria

Es una técnica utilizada para la extracción de topografía a partir de imágenes de sondas planetarias. Permite obtener datos cuantitativos de topografía a partir de la estimación de pendientes topográficas por la interacción de la superficie sólida de un cuerpo planetario con la luz procedente del Sol, su albedo, la posición del cuerpo planetario respecto a este y la intensidad teórica de una superficie horizontal en esa posición.

Concepto básico

Un relieve con color uniforme, específicamente un relieve como el del satélite Galileano Europa, permite extraer datos topográficos por el cambio de intensidad del albedo en los píxeles de la imagen (Williams y Greeley 1998), suponiendo que estos varían en su intensidad lumínica reflejada por su orientación respecto al Sol.

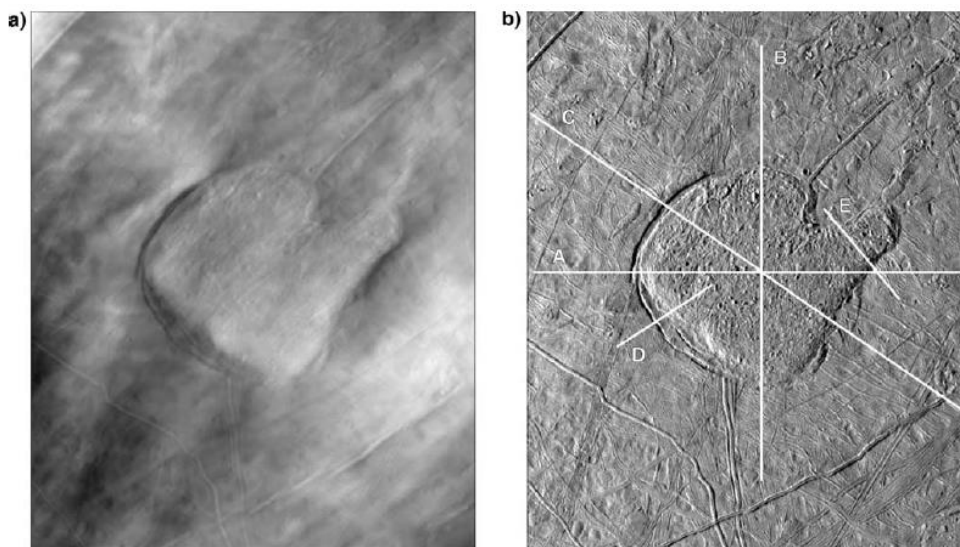


Figura 22. a) Un modelo de elevación digital (*DEM*, por sus sigla en inglés, *digital elevation model*) de la región correspondiente a “La Guantilla” (en inglés *The Mitten*), el cual ha sido obtenido a partir de la fotoclinometría de la imagen obtenida por la sonda Galileo. b) Imagen original del instrumento SSI de la sonda espacial Galileo. Tomado de («Geology and origin of Europa’s “Mitten” feature (Murias Chaos) - Figueredo - 2002 - Journal of Geophysical Research: Planets - Wiley Online Library» s. f.)

En principio, la imagen debe tener una configuración pancromática, es decir, que la sumatoria de la intensidad de canales rojo, verde y azul del espectro visible se vean expresados en el valor único y entero de cada pixel de la imagen. El arreglo de los pixeles pancromáticos con valores diferentes es lo que permitirá la fotoclinometría («Geology and origin of Europa's "Mitten" feature (Murias Chaos) - Figueredo - 2002 - Journal of Geophysical Research: Planets - Wiley Online Library» s. f.)

La fotoclinometría parte de la suposición de que la única fuente de luz es el Sol en el momento de la toma de la imagen por parte del instrumento dentro de la sonda espacial.

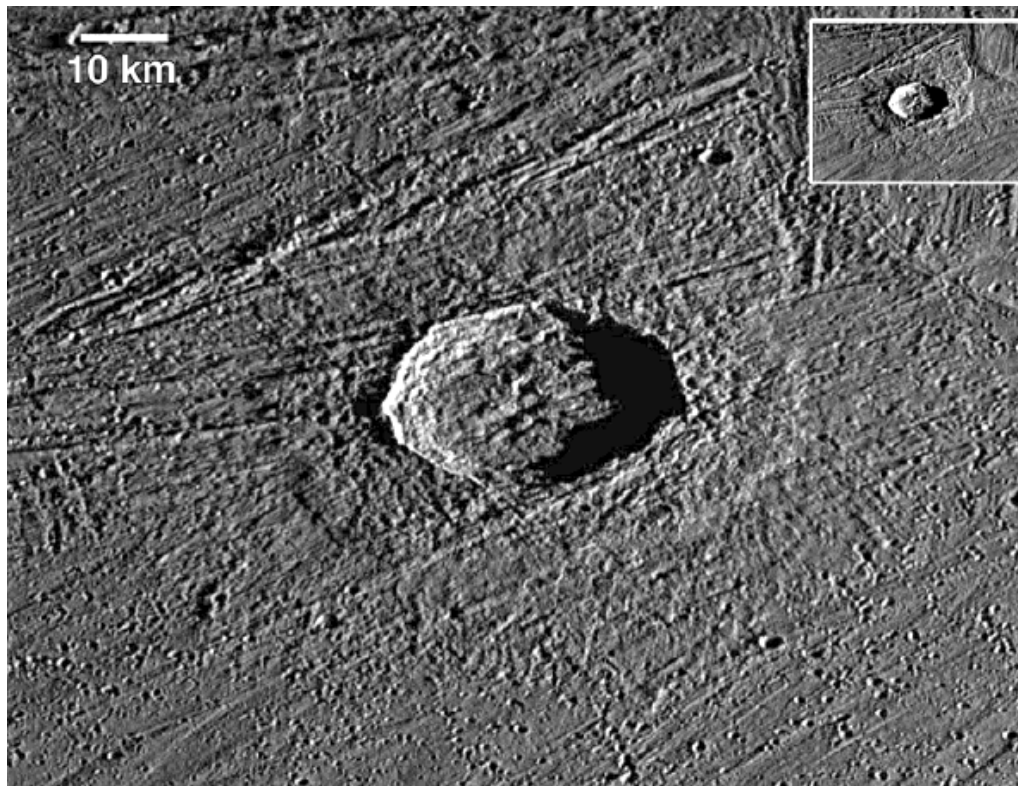


Figura 23. Ejemplo de configuración lumínica a partir de los píxeles de una imagen en el cráter Achelous de la luna galileana Ganímedes. La luz solar ilumina al cráter desde una posición oblicua a la derecha de la imagen. Tomado de («Large Impact Features on Europa: Results of the Galileo Nominal Mission - ScienceDirect» s. f.)

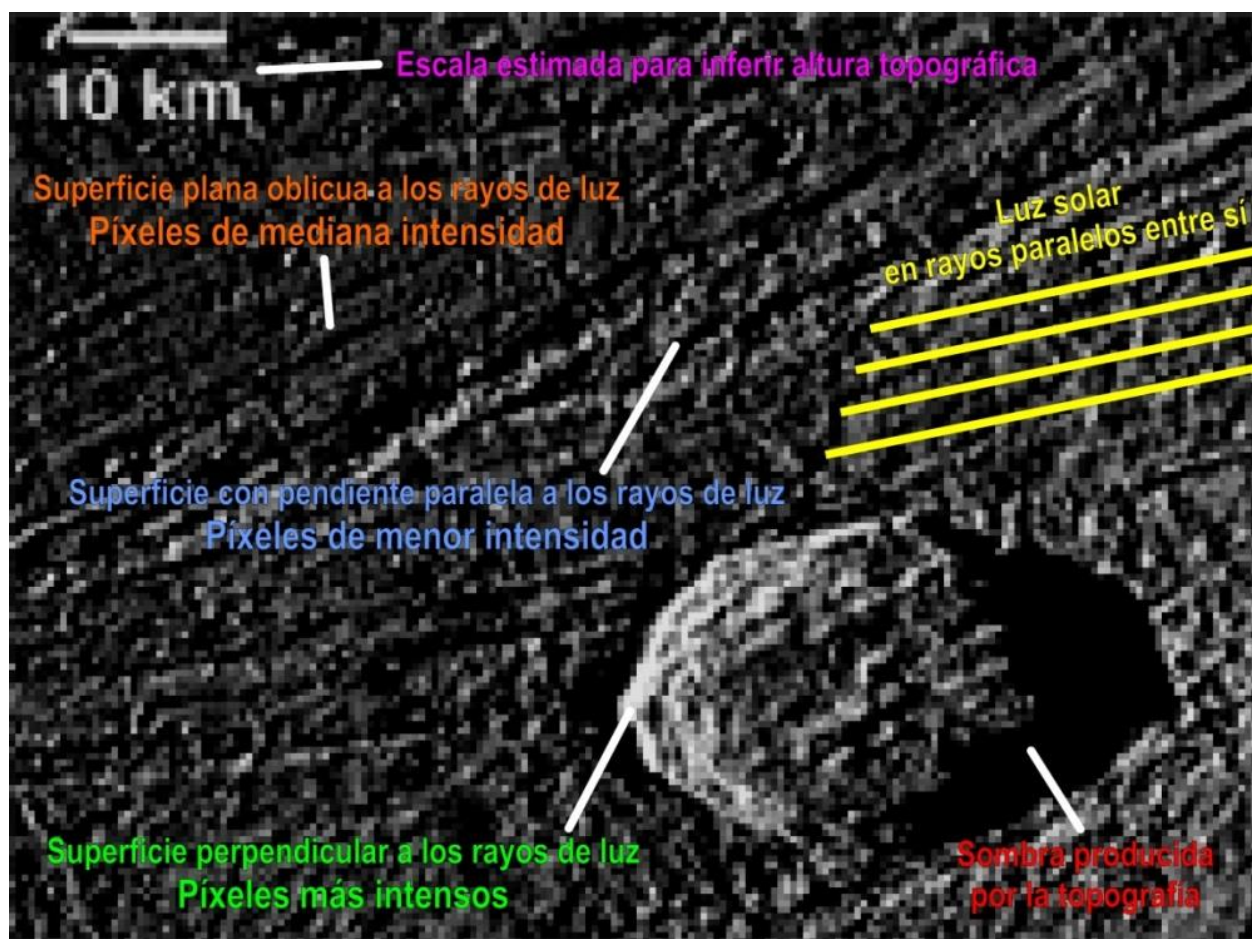


Figura. 24. Detalle de la imagen anterior y pixelada intencionalmente para observar distintas intensidades de acuerdo a la topografía correspondiente a cada pixel. Las pendientes topográficas que están en una posición perpendicular a la dirección de los rayos solares se observan de tonalidades grises más intensas, casi blancas, mientras que las partes planas se observan de un color gris menos intenso uniforme en toda la imagen, que se podría considerar el plano base de la topografía. Las pendientes topográficas que están en una posición paralela a los rayos solares, reflejan la menor cantidad de luz posible por lo que sus píxeles se observan en intensidades muy bajas, casi negras, al igual que las sombras producidas por las geofomas.

La siguiente suposición necesaria para procesar una imagen con una técnica fotoclinométrica es que los rayos de luz solar son paralelos entre sí, para poder inferir el ángulo de incidencia de los rayos respecto a la superficie. La inferencia de este ángulo es precisada por la efeméride de la imagen, es decir, la posición orbital del cuerpo captado por el instrumento respecto al Sol en el momento de la toma de la imagen. («Large Impact Features on Europa: Results of the Galileo

Nominal Mission - ScienceDirect» s. f.)

Esta información es totalmente necesaria, ya que asegura la exactitud de las elevaciones derivadas del análisis fotoclinométrico.

Seguido a estas dos suposiciones, el siguiente parámetro necesario es estimar estadísticamente la intensidad de pixel que más está presente en la imagen, ya que este parámetro brindará el valor de intensidad que corresponde a los píxeles propios de una topografía plana, y a su vez, la base o nivel cero de la topografía a derivar.

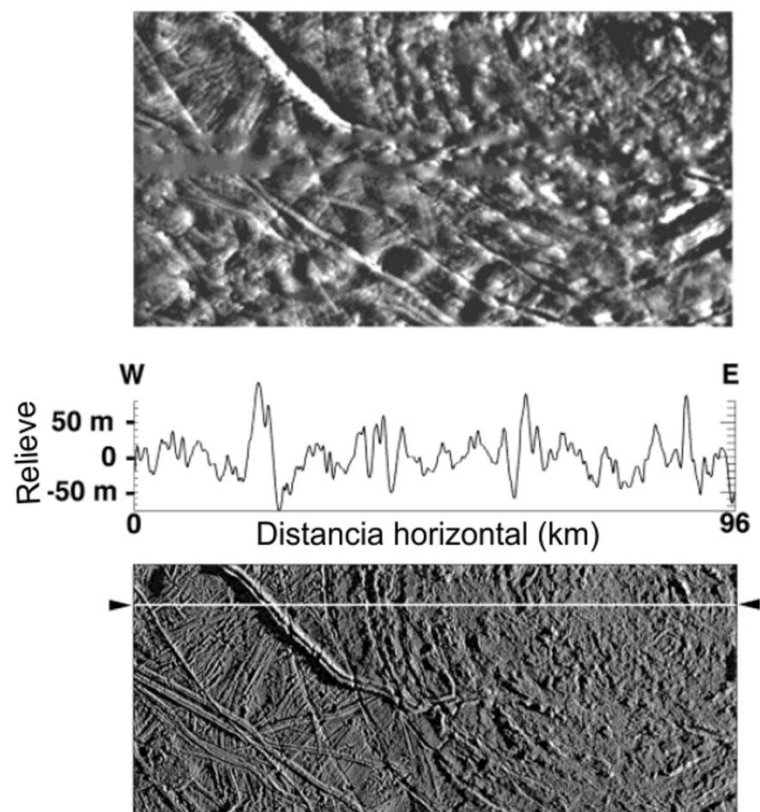


Figura. 25. Perfil topográfico para la zona suroccidental de la región de Callanish (Europa) a partir de una imagen de SSI de Galileo con una resolución espacial de 120m/píxel. Nótese que el perfil tiene una gran exageración de en eje del relieve, debido a que la distancia horizontal es mucha más extensa que cualquier topografía derivada de la fotoclinometría. Esta exageración permite apreciar mejor el perfil de las geformas para cualquier estudio astrogeológico. Tomado de («Large Impact Features on Europa: Results of the Galileo Nominal Mission - ScienceDirect» s. f.)

El proceso digital puede hacer en programas de CAM (*Computer Assisted Mapping*, por su sigla en inglés) como ArcGIS®, Erdas® o ENVI®. Un álgebra de rasters hace posible que cada pixel analizado se convierta en un pixel con valor de topografía para un MDE (modelo de elevación digital, en inglés *DEM*, *digital elevation model*) que puede ser interpretado por el programa computacional utilizado para generar un modelo tridimensional manipulable y del cual es posible obtener parámetros morfométricos. Además, con la misma imagen original de la sonda espacial es posible dar textura al modelo de elevación digital, permitiendo obtener un MDT (modelo digital de terreno), que en un sentido más sencillo, es una virtualización digital de un terreno, en este caso, de alguna región de un satélite Galileano como Europa.

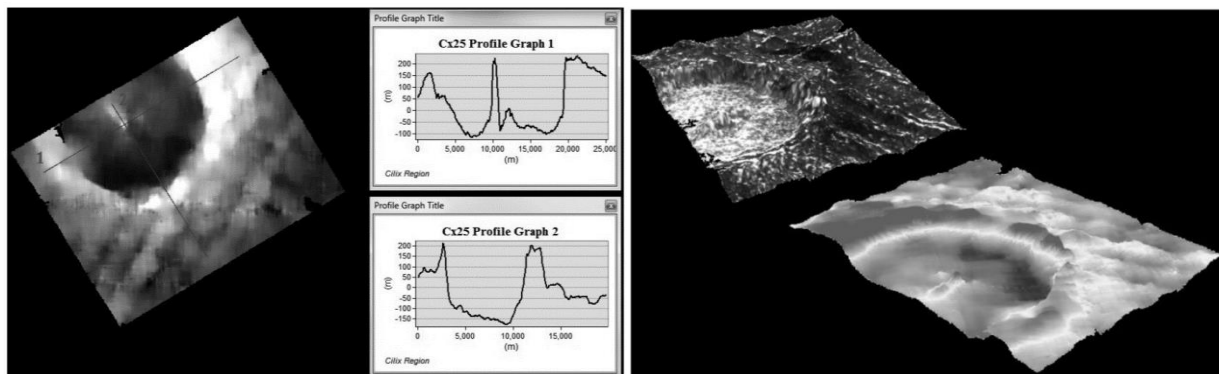


Figura.26. Ejemplo de un MDE obtenido después de un procesamiento fotoclinométrico, en vista de planta y dos perfiles trazados que permiten ver las características morfológicas de la geoforma, en este caso, el cráter Cilix de Europa. Abajo inferior, la interpretación del programa computacional a partir del MDE obtenido, y arriba superior, un MDT con la imagen original captada por la sonda sobre el MDE. tomado de («eli-za-el-henson-mcnairjournal16-2014-15.pdf» s. f.)

Una ecuación descrita por (Mushkin y Gillespie 2006), permite visualizar hacer una aproximación matemática de como un software procesa cada pixel para obtener un valor topográfico de una superficie rugosa. La luz reflejada desde la superficie, $L_{(sensor)}$, es obtenida a partir del siguiente cálculo:

$$L_{(sensor)} = \frac{1}{\pi} (I_{T(sun)} + S_{\downarrow}) \rho_{T(sensor)} (1 - f_{sh}) + \frac{1}{\pi} S_{\downarrow} \rho_{T(sensor)} f_{sh} + S_{\uparrow}$$

(Ecuación 1)

En esta ecuación $I_{T(sun)}$ es la irradiación del Sol sobre la superficie, $\rho_{T(sensor)}$ es la reflectividad de la superficie, S_{\uparrow} y S_{\downarrow} son las radiancias efectivas de cada pixel en el caso de que exista la influencia de una atmósfera y una influencia en el comportamiento del rayo de luz que incide en la superficie, y f_{sh} es la fracción efectiva del pixel que está siendo afectada por una sombra de la misma topografía a partir del ángulo de incidencia supuesto. (Mushkin y Gillespie 2006) En el caso de Europa y la región de Conamara S_{\uparrow} y S_{\downarrow} tendría un valor inferido equitativo.

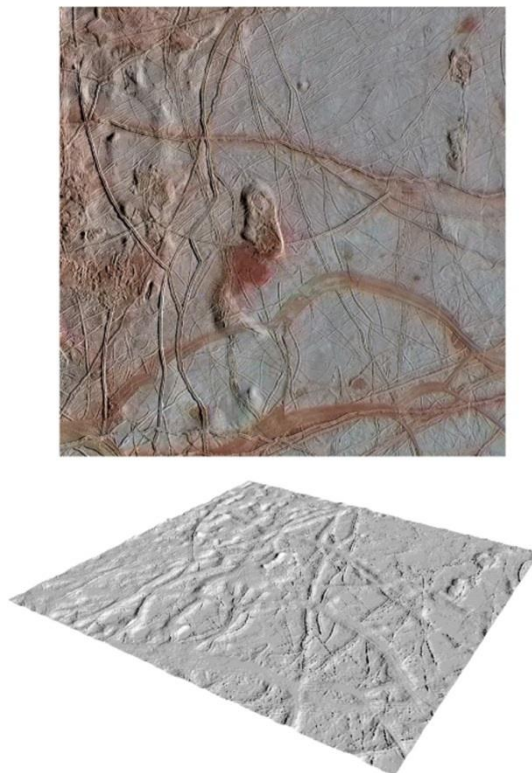


Figura. 27. Imagen de SSI de Galileo de la región de Castalia Macula procesada fotoclinométricamente para obtener el MDE utilizando un algoritmo que contiene un cálculo similar al de la ecuación 1.

2.7 Metodología

Después de realizar el procesamiento y creación de los dataset que se usaron como insumos para realizar el mapa de distribución se desarrolló una metodología sencilla con el software CorelDRAW X6 software de diseño gráfico que permite utilizar herramientas de diseño para generar una distribución detallada de la zona en estudio (caos de conamara) ejemplo más representativo y estudiado de terreno caótico en el satélite Europa.

2.8 Mapa de Distribución

Usando el software Corel Draw 6x y la herramienta polilínea identificamos los principales bloques pre-existentes de la zona de estudio y generamos 3 categorías que permitan sectorizar la distribución de estos bloques y su disposición en la zona conamara.

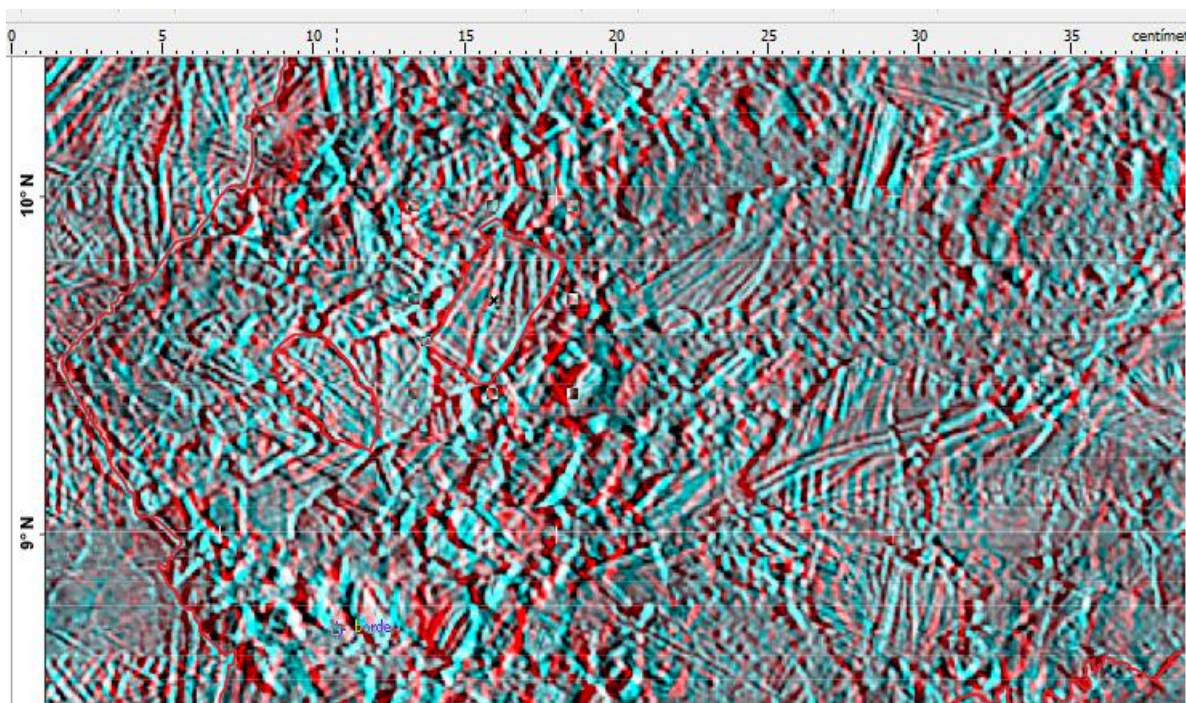


Figura. 28. Anaglifo rojo/cian de la zona conamara en software Corel Draw 6x

Despues de identificar los bloques de mayor,medio y menor tamaño nos disponemos a realizar el procesamiento de esta plantilla para realizar el posterior mapa que sera el mapa definitivo a presentarse como mapa de distribucion Terreno caotico en zona conamara.

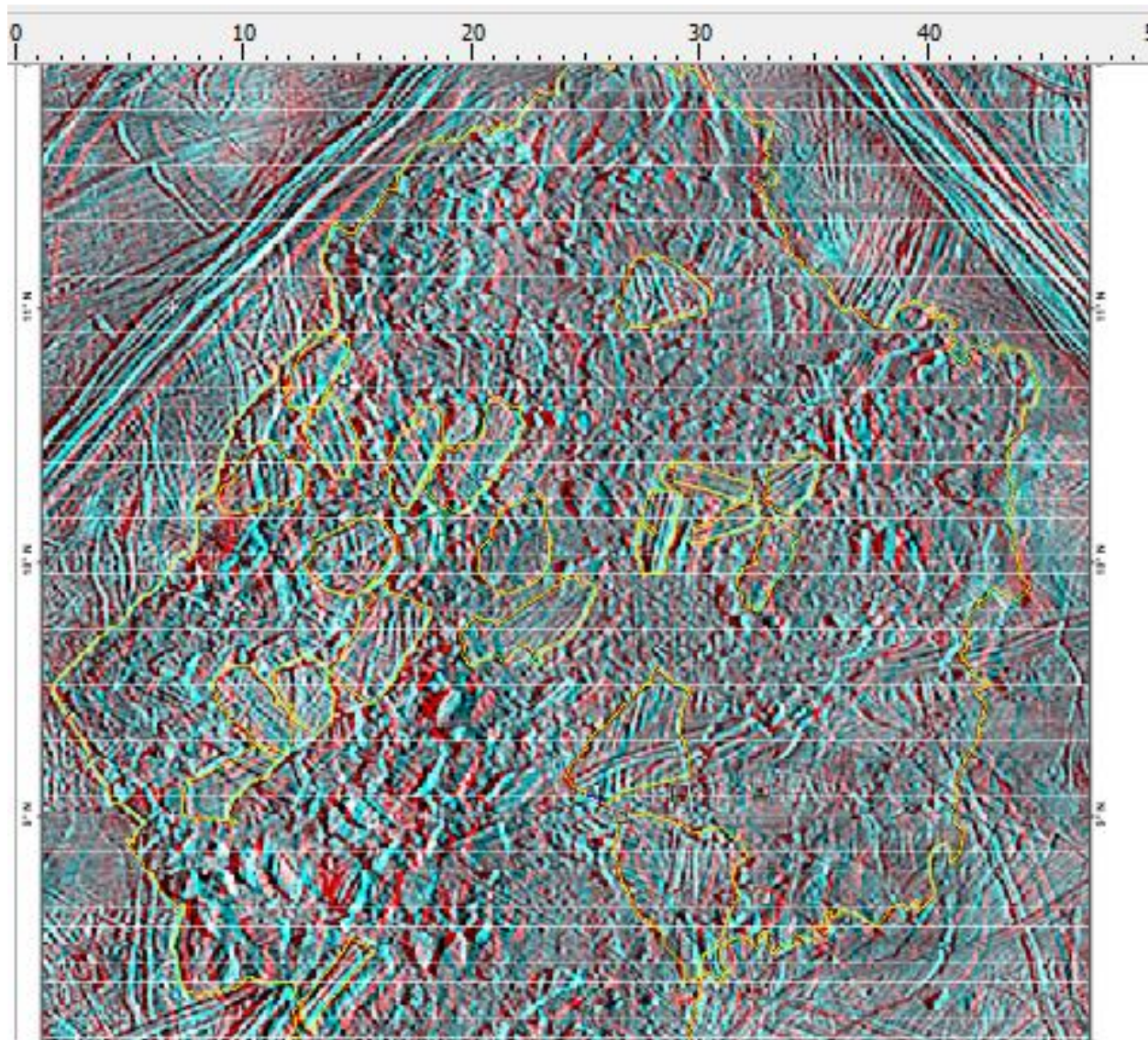


Figura .29. Anaglifo rojo/cian de la zona conamara en software corel draw6x

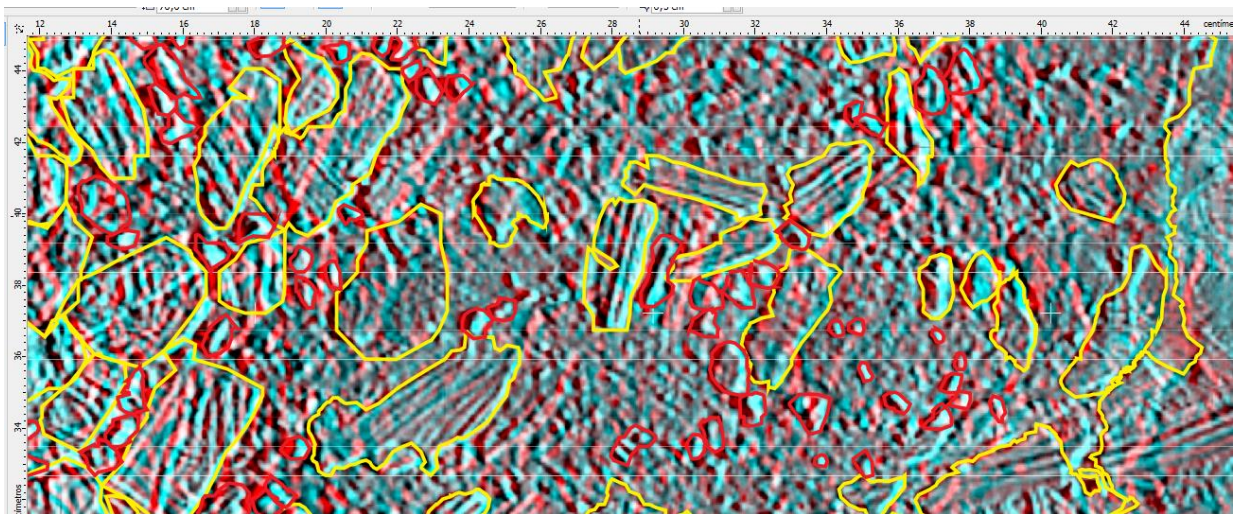


Figura.30. Anaglifo rojo/cian de la zona conamara en software corel draw6x

Distribucion por categoria de tamaño

para el desarrollo de esta metodología se realiza la identificación de la mayoría de bloques visibles en la escala a desarrollar y se realiza la agrupación de estos bloques dependiendo de su tamaño generando 3 categorías

Categoría 1: Bloques $> 10 \text{ km}^2$

Categoría 2: Bloques 5 a 10 km^2

Categoría 3: Bloques $< 5 \text{ km}^2$

Disponemos a otorgar color a cada categoría siendo la categoría 1 de color verde oscuro, la categoría 2 de color amarillo y la categoría 3 de color naranja.

Valor de área aproximado para cada categoría.

Categoria 1



Figura.31. Categoria 1 Anaglifo rojo/cian de la zona conamara en software corel draw6x

Aproximacion Area total categoria 1 ≈ 45%

Categoria 2

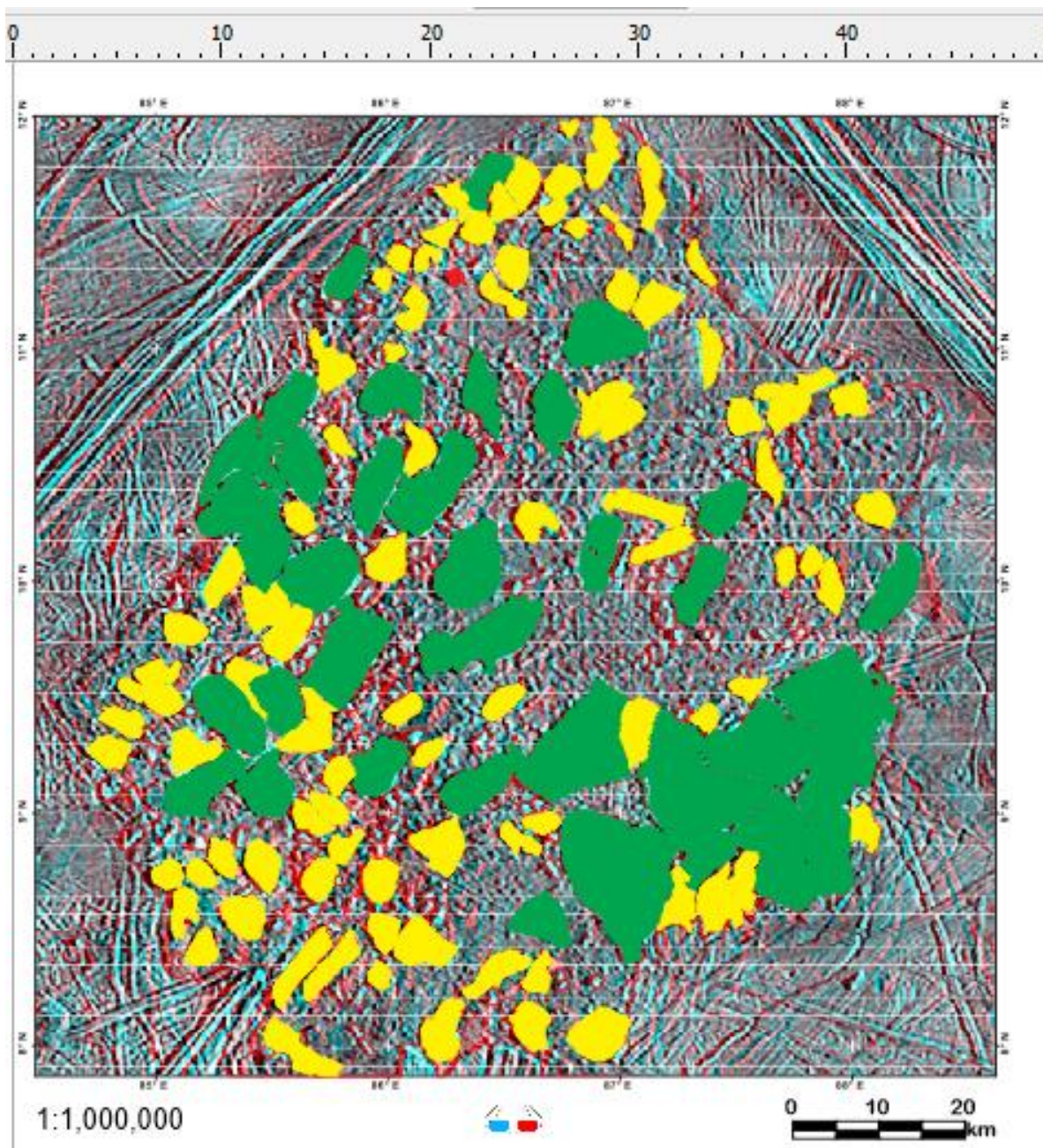


Figura.32. Categoria 2 Anaglifo rojo/cian de la zona conamara en software corel draw6x

Aproximacion Area total categoria 2 ≈ 37%

Categoría 3

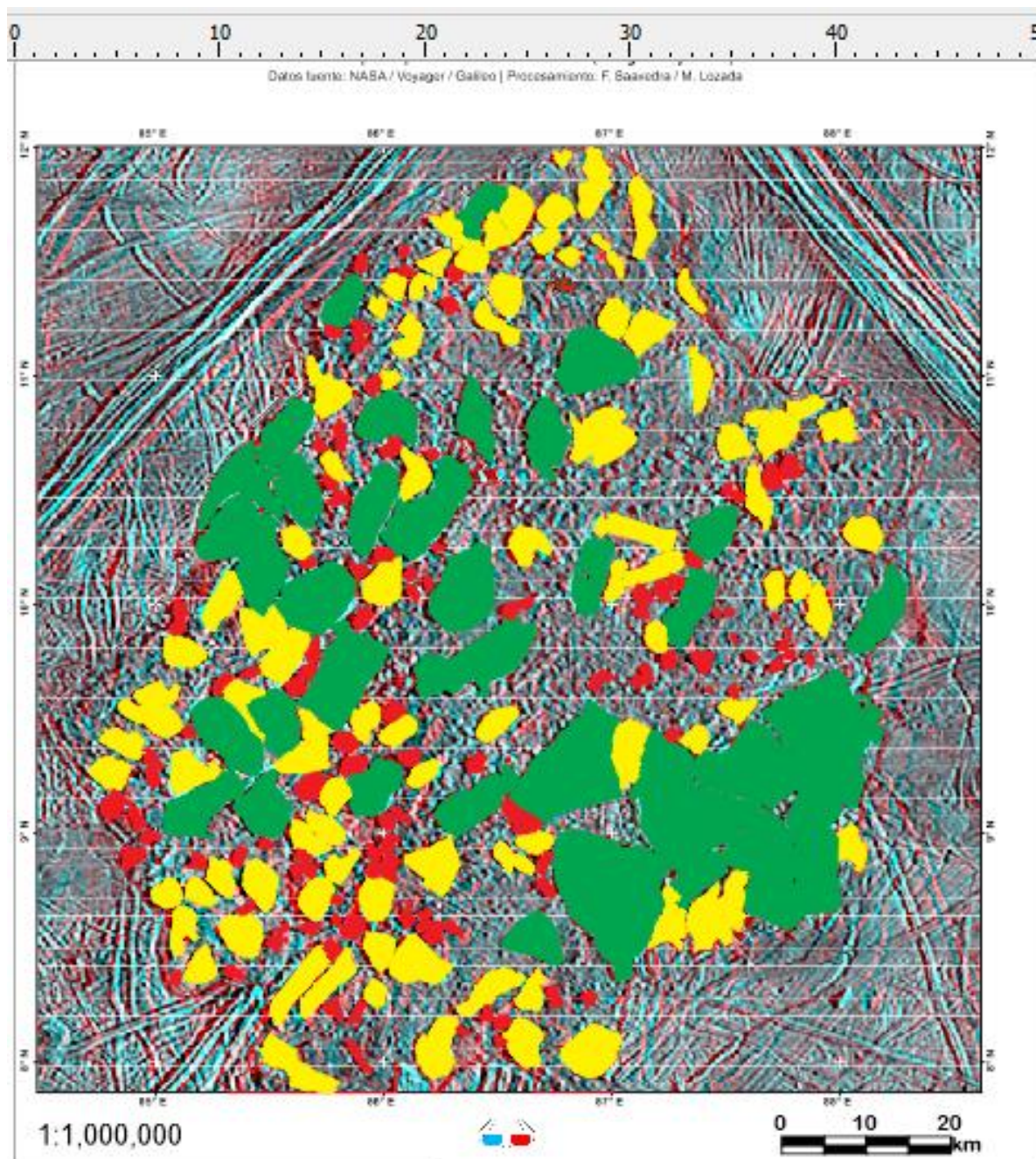


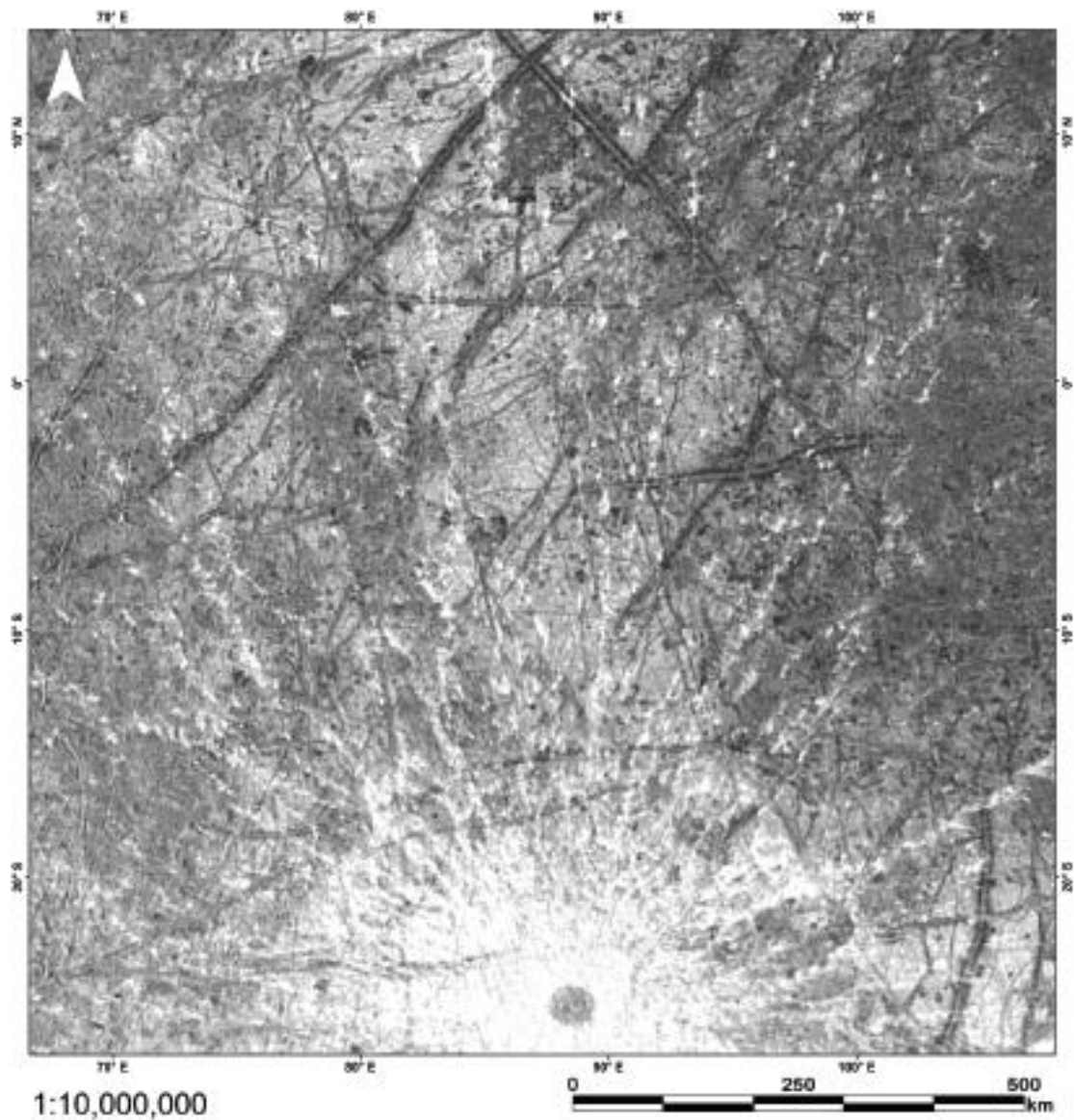
Figura.33. Categoría 3 Anaglifo rojo/cian de la zona conamara en software corel draw6x

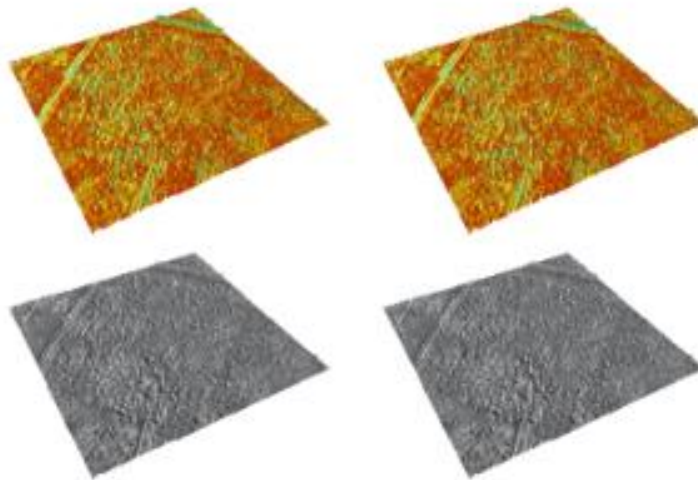
Aproximacion Area total categoria 3 ≈ 28%

2.9 Resultados

Terreno caótico de Conamara en marco regional con cráter Pwyll Europa (luna de Júpiter)

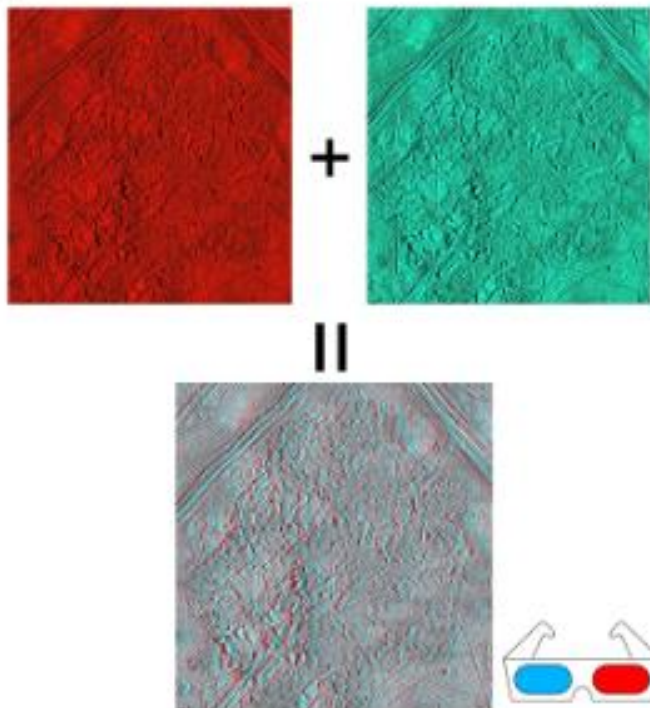
Proyección geográfica de mosaico con resolución de 500m/pixel
 Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saavedra / M. Lozada





Arriba, superior, el modelo digital de elevación (DEM) obtenido por fotoclínometría se visualiza en diferentes ángulos de perspectiva a través del software ArcGIS®. Este modelo se texturiza con la imagen obtenida por la sonda Galileo en su paso por Europa (inferior).

Abajo, en una vista planar, para cada punto de observación (ángulo de perspectiva) se genera una imagen con diferentes canales de colores RGB (*red-green-blue*, en inglés). La imagen de color rojo (canal *red*) será la imagen observada por el ojo izquierdo, mientras que la imagen cian (canales *green* y *blue*) será la imagen observada por el ojo derecho, en un arreglo de paralaje horizontal. La imagen inferior es el resultado de mezclar los tres canales RGB, y al ser observada con unas gafas rojo-cian producirán el efecto estereoscópico necesario para el análisis y la interpretación geológica.

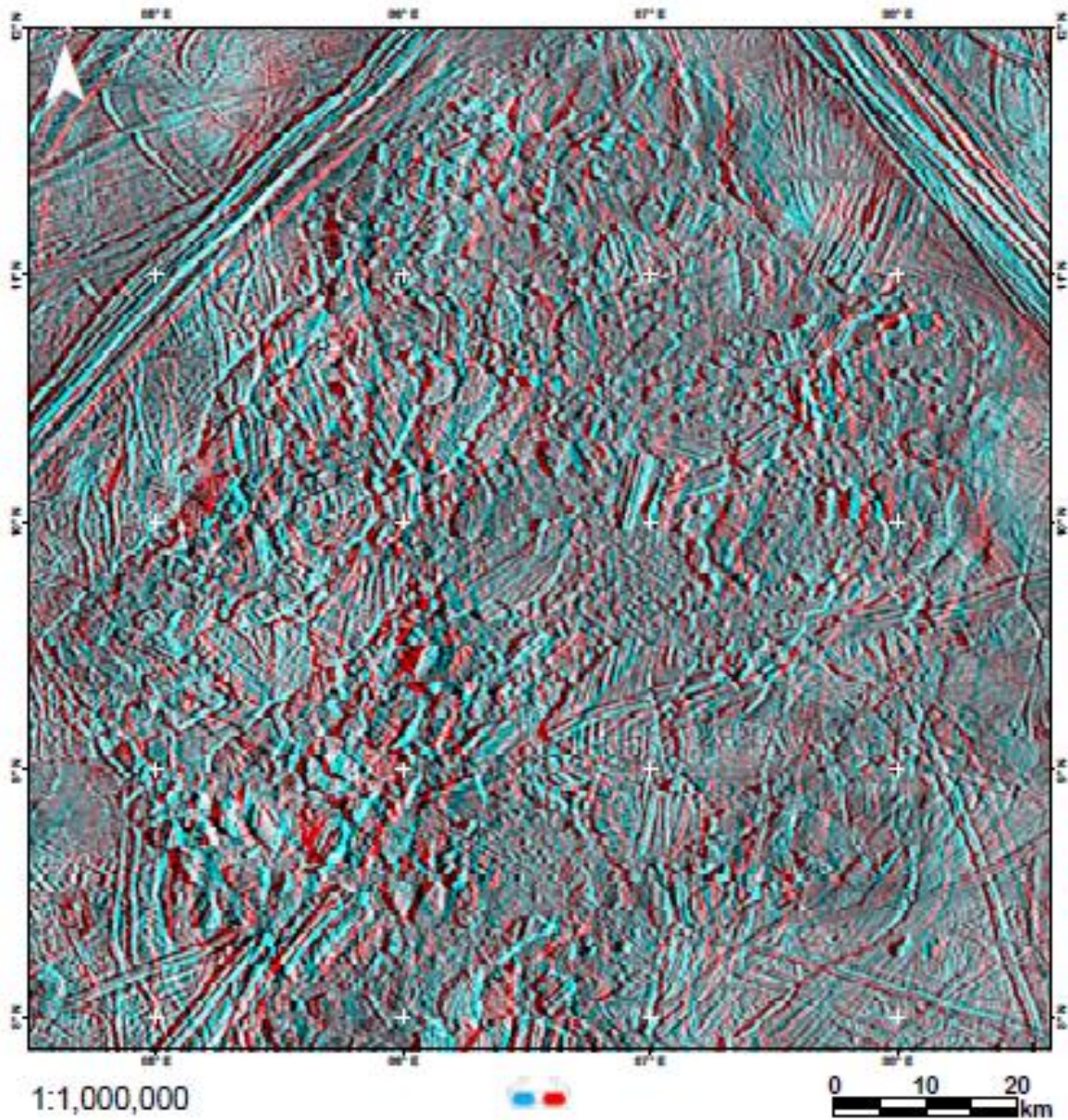


Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Estereoscopia a partir de fotoclinometría (anaglifo rojo/cian)

Delos fuentes: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Sievedra / M. Lozada

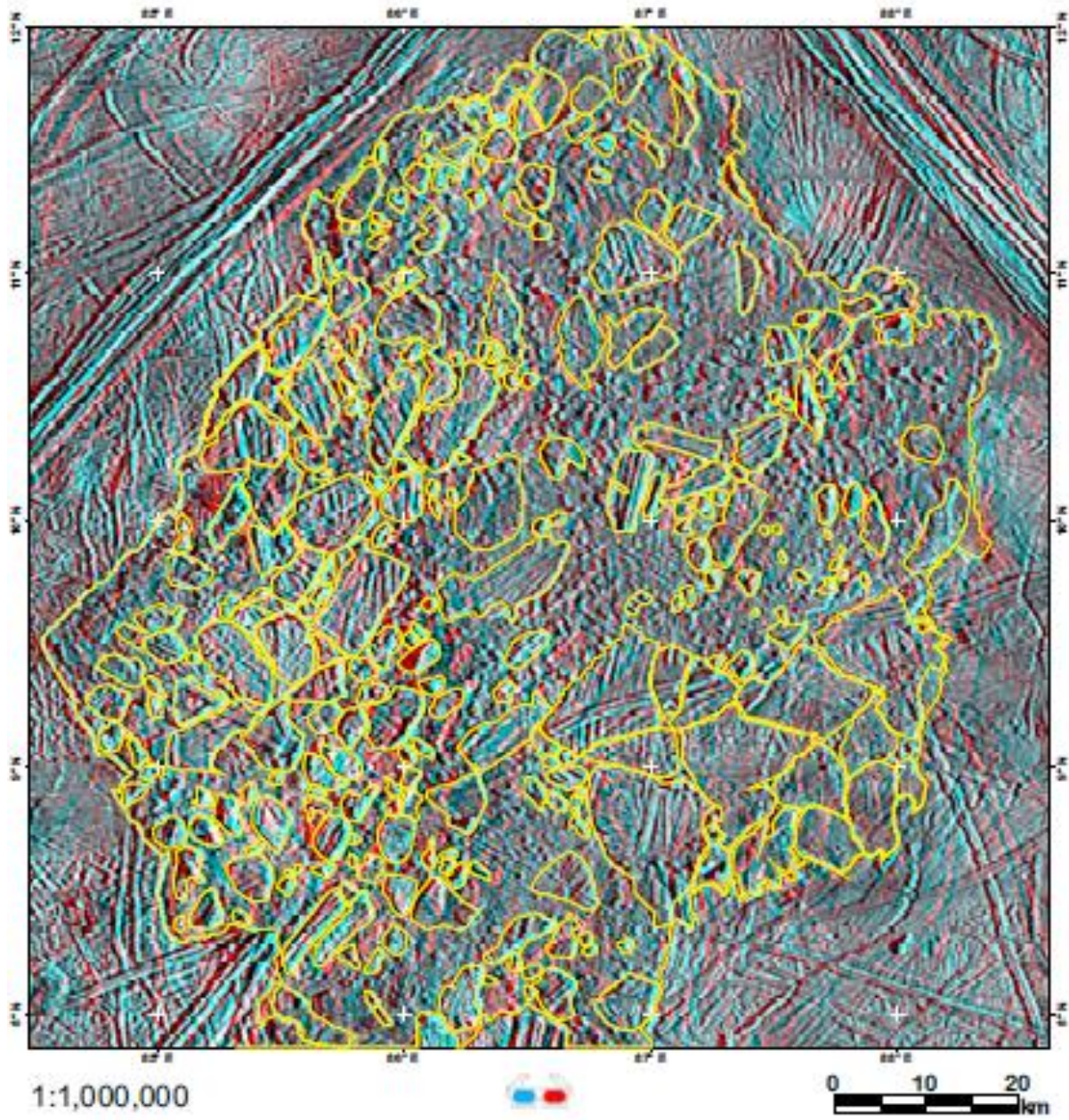


Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Estereoscopia a partir de fotodinometría (anaglifó rojo/cian)

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saeedra / M. Lozada



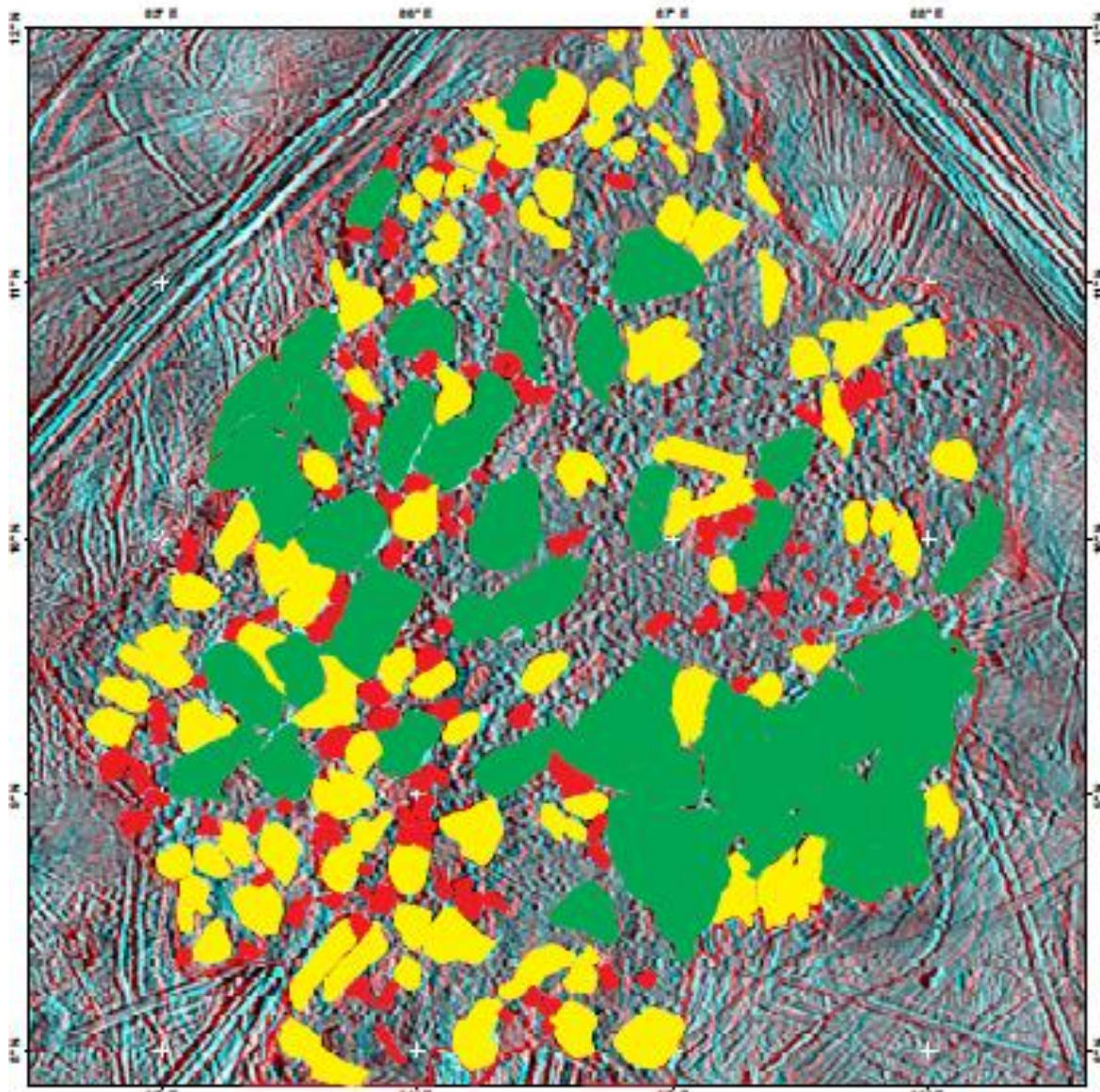
— Línea de contorno para la separación de bloques

Terreno caótico de Conamara (detalle)

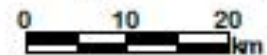
Europa (luna de Júpiter)

Esteroscopia a partir de fotodinometría (anagifo rojo/cian)

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saevedra / M. Lozada



1:1,000,000



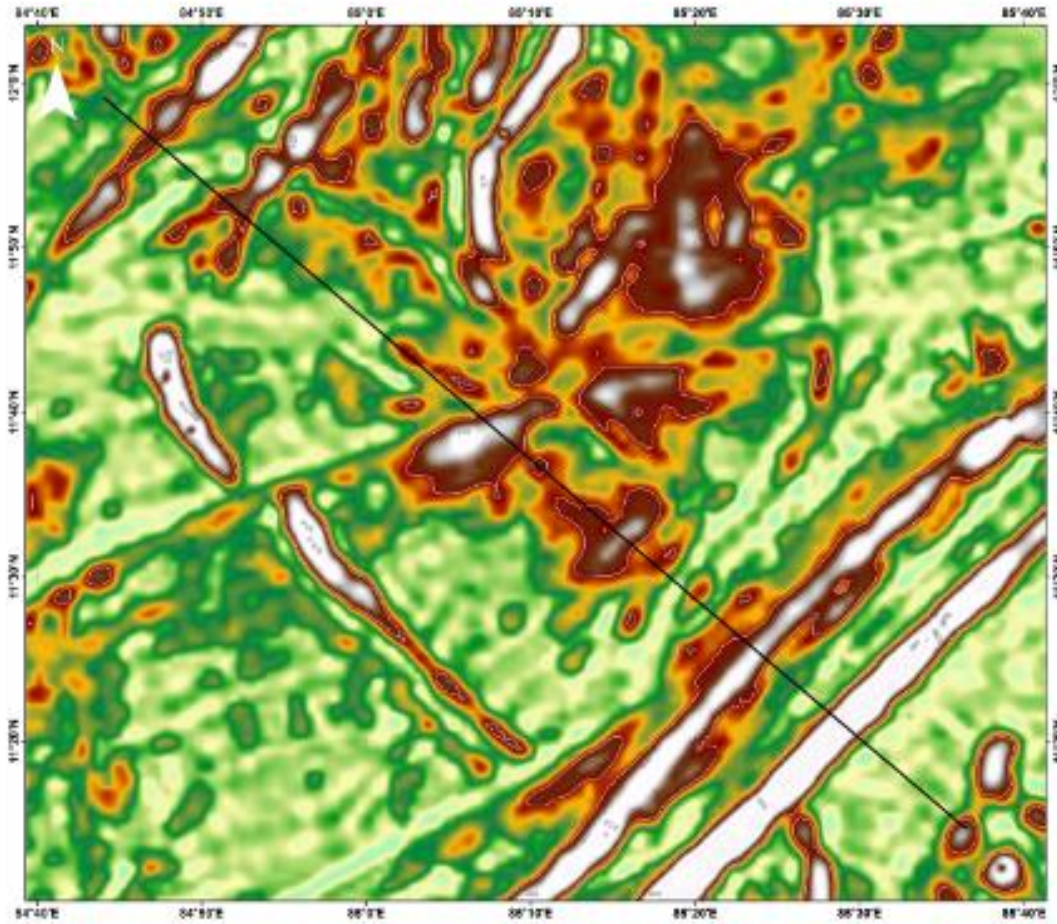
- Categoría 1: bloques mayores a 10km²
- Categoría 2: bloques entre 5 y 10km²
- Categoría 3: bloques menores a 5km²

Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Perfiles topográficos a partir del DEM generado por fotogrametría.
Curvas de nivel a 50m

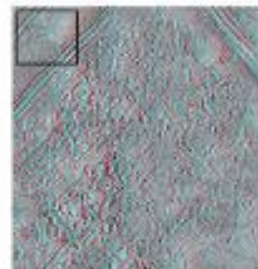
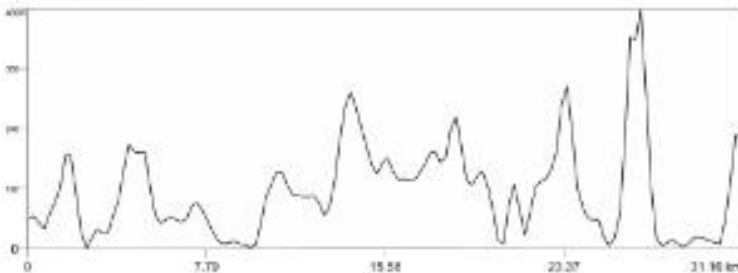
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo / Procesamiento: F. Sainza / M. Lozoya



Elevación sobre el terreno base (m)

- 0 - 50
- 51 - 100
- 101 - 150
- 151 - 200
- 201 - 250
- 251 - 300
- 301 - 350
- 351 - 400
- 401 - 450
- 451 - 500
- 501 - 550
- 551 - 600
- 601 - 650
- 651 - 700

1:250,000



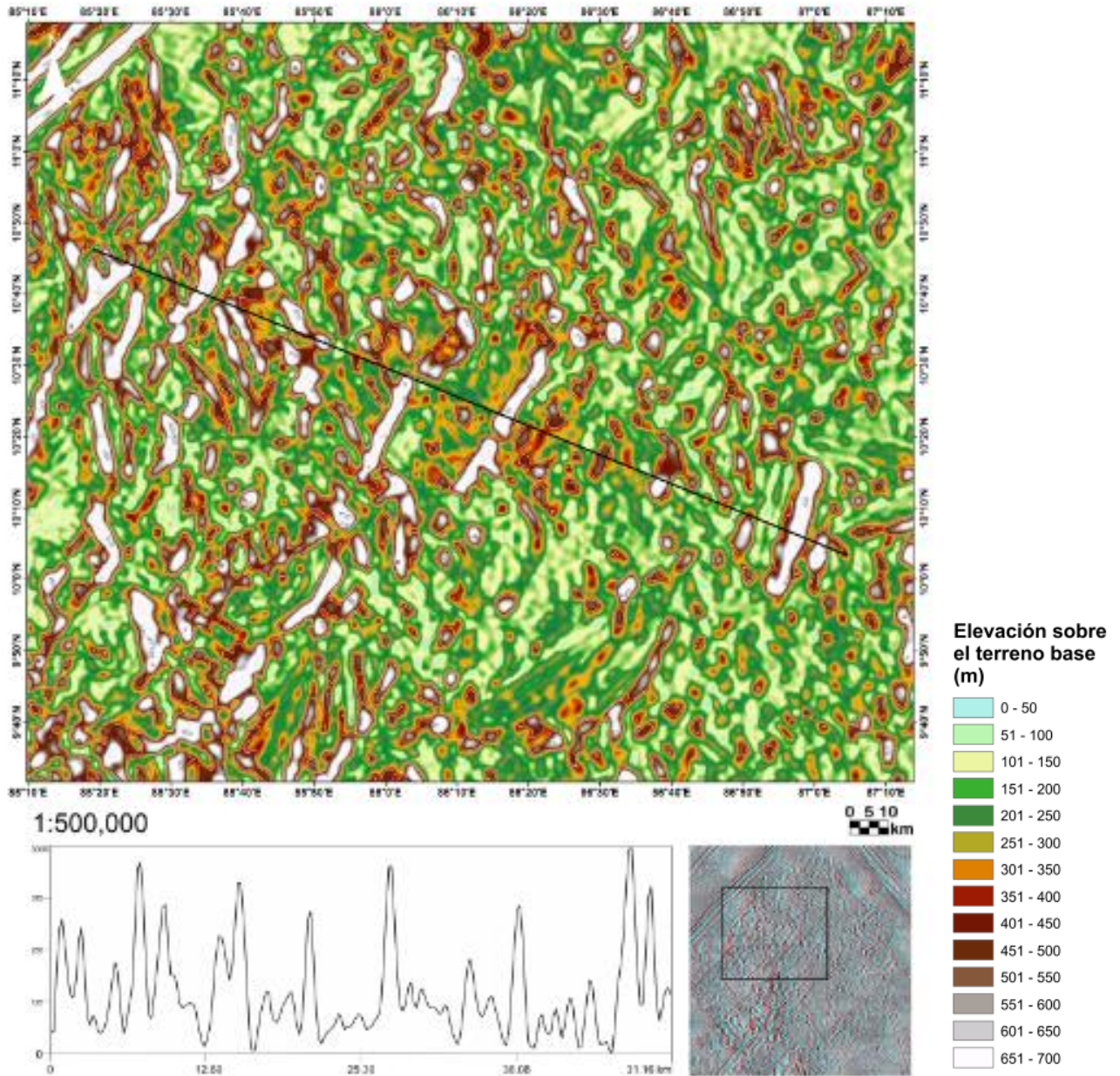
Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Perfiles topográficos a partir del DEM generado por fotogrametría.

Curvas de nivel a 50m

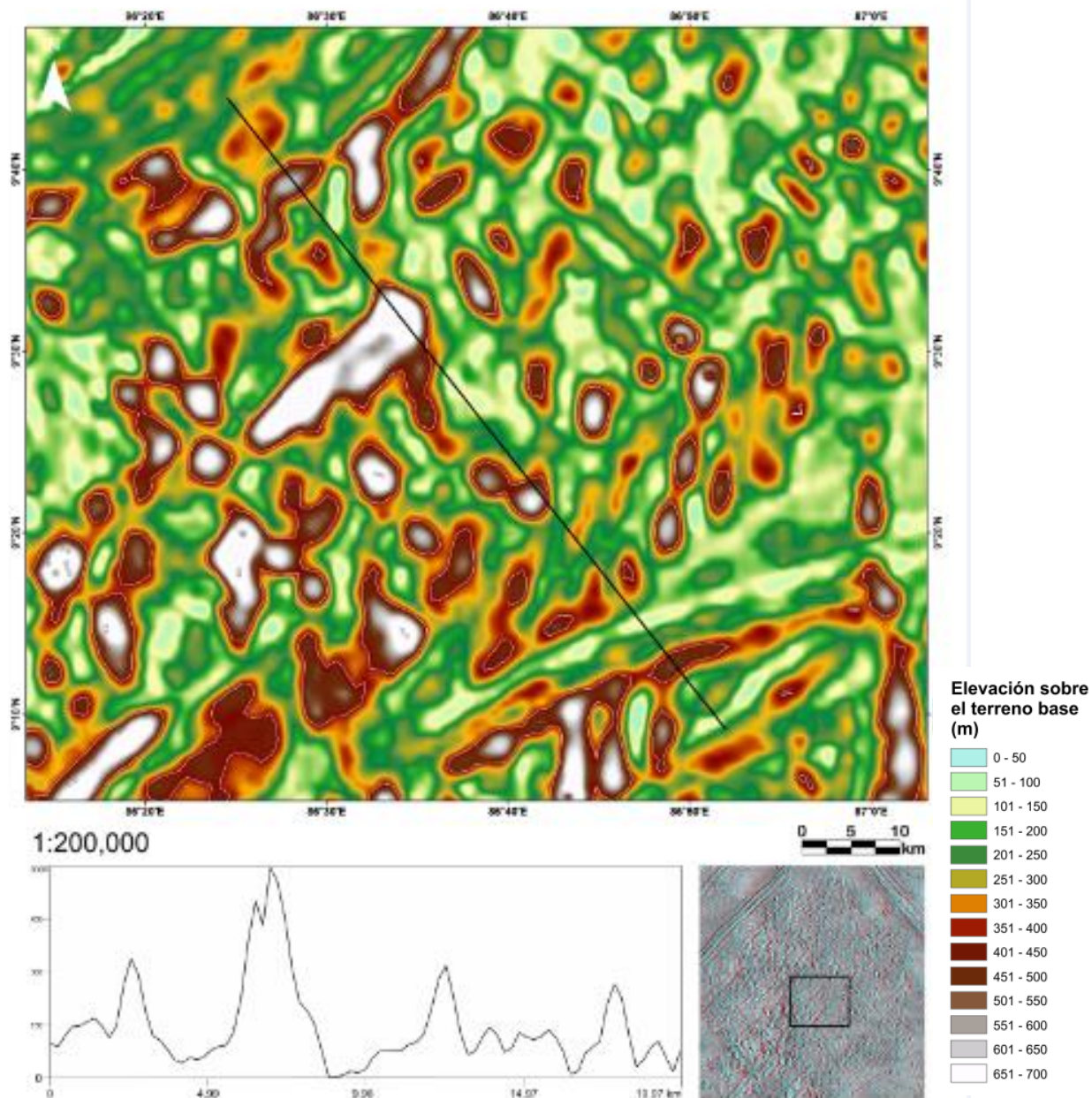
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Sainza / M. Llocas



Terreno caótico de Conamara (detalle) Europa (luna de Júpiter)

Perfiles topográficos a partir del DEM generado por fotoclinometría.
Curvas de nivel a 50m

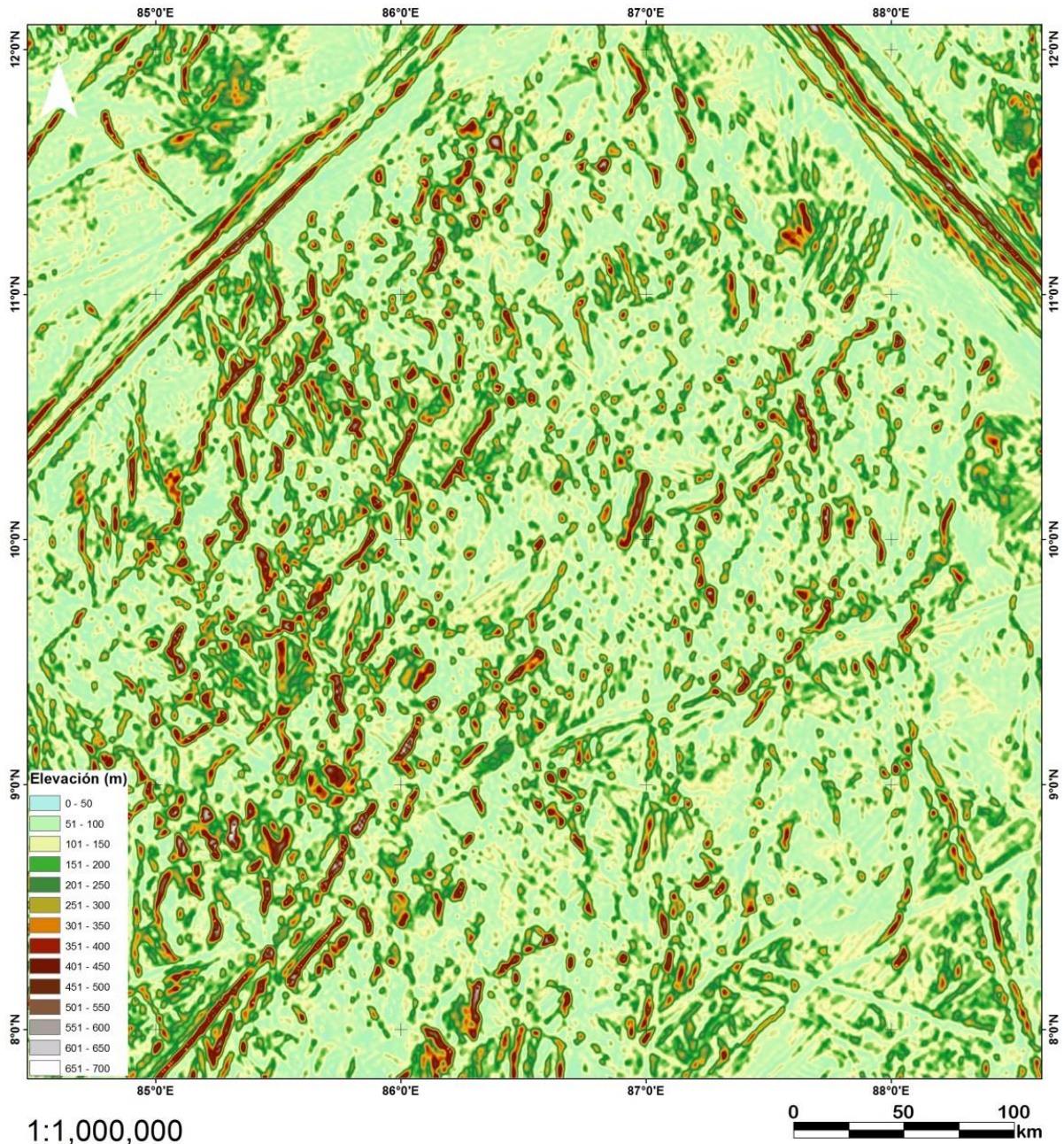
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Sainza / M. Lucaci



Terreno caótico de Conamara (detalle) Europa (luna de Júpiter)

Mapa topográfico general a partir del DEM generado por fotoclinometría.

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saavedra / M. Lozada



3. Conclusiones

- La zona de estudio presenta una geomorfología heterogénea en la que se encuentra un gran número de fragmentos con lineamientos pre-existentes muchos de los cuales aun mantienen una orientación o posición inicial antes de generarse la liberación de energía o el delta de temperatura que transformo la superficie, fundiendo parcialmente la corteza haciendo que se vean estos bloques flotando en material recristalizado tendiendo a agrupar los bloques mas grandes en la parte perifericas centrales y los pequeños en las zona inferior izquierda.
- Los fragmentos de mayor tamaño se encuentran flotando en la parte central de la zona de estudio, algunos de ellos podriamos reorganizarlos, dandonos indicios que la energía transmitida desde el interior del cuerpo a superficie no fue tan alta como para desorientar por completo la configuración de la zona.
- Es posible reorientar en sus posiciones iniciales los bloques para reconstruir la zona antes del proceso de formación de terreno caótico.
- Según el mapa de distribución y su interpretación de la configuración final, podemos proponer que el modelo de diapirismo simétrico propuesto por los autores, (Collins et al. 2000) (Faure y Mensing 2007) no se adaptan ni ofrecen todas las condiciones o factores que influyen en la generación de las zonas caóticas en este satélite.
- Es posible encontrar zonas dentro de conamara con grandes probabilidades de encontrar material extraído de su océano en estado líquido recristalizado, debido a las bajas temperaturas en el sistema joviano, de gran valor para futuras misiones de exploración astrobiológica.

Referencias Bibliográficas

- «ALMA encuentra claros indicios de pareja de planetas recién formados alrededor de joven estrella | ALMA». s. f. Accedido 14 de diciembre de 2017. <http://www.almaobservatory.org/es/comunicados-de-prensa/alma-encuentra-claros-indicios-de-pareja-de-planetes-recien-formados-alrededor-de-joven-estrella/>.
- Bennett, Matthew M., y Neil F. Glasser. 2011. *Glacial Geology: Ice Sheets and Landforms*. John Wiley & Sons.
- Collins, G. C., J. W. Head, R. T. Pappalardo, y N. A. Spaul. 2000. «Evaluation of Models for the Formation of Chaotic Terrain on Europa». *Journal of Geophysical Research: Planets* 105 (E1): 1709-16. <https://doi.org/10.1029/1999JE001143>.
- «eli-za-el-henson-mcnairjournal16-2014-15.pdf». s. f. Accedido 2 de febrero de 2018. http://www.csus.edu/mcnair/_all-scholars-articles-photos-webpage/16_2014_2015/journal_2014-15/eli-za-el-henson-mcnairjournal16-2014-15.pdf.
- Faure, Gunter, y Teresa M. Mensing. 2007. *Introduction to Planetary Science: The Geological Perspective*. Springer Science & Business Media.
- «Geology and origin of Europa's "Mitten" feature (Murias Chaos) - Figueredo - 2002 - Journal of Geophysical Research: Planets - Wiley Online Library». s. f. Accedido 2 de febrero de 2018. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JE001591/full>.
- Greenberg, Richard. 2009. *Europa – The Ocean Moon: Search For An Alien Biosphere*. Springer Science & Business Media.

- . 2010. *Unmasking Europa: The Search for Life on Jupiter's Ocean Moon*. Springer Science & Business Media.
- Greenberg, Richard, Paul Geissler, Gregory Hoppa, y B. R. Tufts. 2002. «Tidal-Tectonic Processes and Their Implications for the Character of Europa's Icy Crust». *Reviews of Geophysics* 40 (2): 1004. <https://doi.org/10.1029/2000RG000096>.
- Greenberg, Richard, Paul Geissler, Gregory Hoppa, B. Randall Tufts, Daniel D. Durda, Robert Pappalardo, James W. Head, Ronald Greeley, Robert Sullivan, y Michael H. Carr. 1998. «Tectonic Processes on Europa: Tidal Stresses, Mechanical Response, and Visible Features». *Icarus* 135 (1): 64-78. <https://doi.org/10.1006/icar.1998.5986>.
- Greenberg, Richard, Gregory V. Hoppa, B. R. Tufts, Paul Geissler, Jeannemarie Riley, y Steven Kadel. 1999. «Chaos on Europa». *Icarus* 141 (2): 263-86. <https://doi.org/10.1006/icar.1999.6187>.
- Hoppa, Gregory V., B. Randall Tufts, Richard Greenberg, y Paul E. Geissler. 1999. «Formation of Cycloidal Features on Europa». *Science* 285 (5435): 1899-1902. <https://doi.org/10.1126/science.285.5435.1899>.
- Kadel, S. D., S. A. Fagents, R. Greeley, y Galileo SSI Team. 1998. «Trough-Bounding Ridge Pairs on Europa -- Considerations for an Endogenic Model of Formation». En . Vol. 29. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1998LPI....29.1078K>.
- Kereszturi, Akos, y Zsolt Keszthelyi. 2013. «Astrobiological implications of chaos terrains on Europa to help targeting future missions». *Planetary and Space Science, Surfaces, atmospheres and magnetospheres of the outer planets and their satellites and ring systems: Part VIII, 77 (Supplement C): 74-90*. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2012.08.028>.

- Kristjánisdóttir 1981, Sigríður. 2010. «Evidence for a Subsurface Ocean on Europa». Thesis. <https://skemman.is/handle/1946/5351>.
- «Large Impact Features on Europa: Results of the Galileo Nominal Mission - ScienceDirect». s. f. Accedido 2 de febrero de 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103598959735>.
- McFadden, Lucy-Ann, Torrence Johnson, y Paul Weissman. 2006. *Encyclopedia of the Solar System*. Elsevier.
- Mushkin, Amit, y Alan R. Gillespie. 2006. «Mapping Sub-Pixel Surface Roughness on Mars Using High-Resolution Satellite Image Data». *Geophysical Research Letters* 33 (18): L18204. <https://doi.org/10.1029/2006GL027095>.
- O'Neill, C., A. M. Jellinek, y A. Lenardic. 2007. «Conditions for the onset of plate tectonics on terrestrial planets and moons». *Earth and Planetary Science Letters* 261 (1): 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.05.038>.
- Pappalardo, R. T., M. J. S. Belton, H. H. Breneman, M. H. Carr, C. R. Chapman, G. C. Collins, T. Denk, et al. 1999. «Does Europa Have a Subsurface Ocean? Evaluation of the Geological Evidence». *Journal of Geophysical Research: Planets* 104 (E10): 24015-55. <https://doi.org/10.1029/1998JE000628>.
- Pappalardo, R. T., J. W. Head, N. D. Sherman, R. Greeley, R. J. Sullivan, y Galileo Imaging Team. 1998. «Classification of European Ridges and Troughs and a Possible Genetic Sequence». En . Vol. 29. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1998LPI...29.1859P>.
- Stempel, Michelle M., Amy C. Barr, y Robert T. Pappalardo. 2005. «Model constraints on the opening rates of bands on Europa». *Icarus*, Europa Icy Shell, 177 (2): 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2005.03.025>.

«tovar_2012.pdf». s. f. Accedido 20 de diciembre de 2017. https://6604978d-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/grupogeoacademia/research/tovar_2012.pdf?attachauth=ANoY7cpLvq8tA34dqlVp_2WQKoq9AvS74gMsly9bhmIjspCbkAokau9LPncEAPPVmytZJJNmSvv3nKFjT0dearuV91hgTEB7BnGvgVpZp4GQNDUG_6DOvujEqvBCH8AnfzihckZqBJRbnZaO6Z7yLOIOFWo42jbbksr2crhpDJfQZu09PI5eM4gMWdl0d_kElYsdT1HOTHceTSWNpzM0R2iS7OV_UQMrsIPXB3vNeerGbxw9grkkkA%3D&attredirects=1

«Unmasking Europa: The Search for Life on Jupiter's Ocean Moon - Richard Greenberg - Google Libros». s. f. Accedido 14 de diciembre de 2017. <https://books.google.com.co/books?id=qI7aoQEACAAJ&dq=Unmasking+Europa+%E2%80%93+The+search+for+life+on+jupiter%C2%B4s+ocean+moon&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjI5aiO9InYAhVSySYKHd40AUEQ6AEIKDAA>.

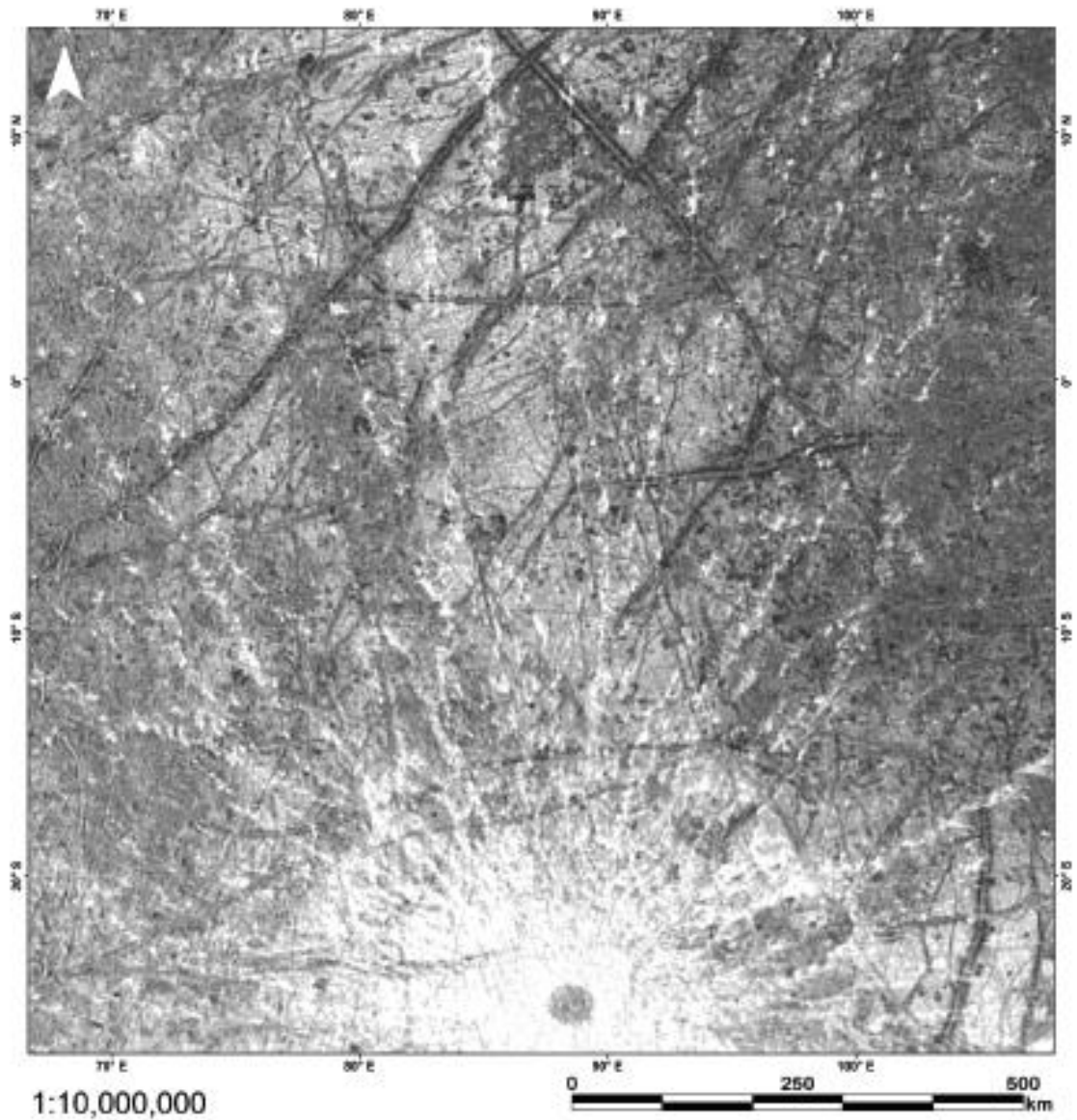
Williams, Kevin K., y Ronald Greeley. 1998. «Estimates of Ice Thickness in the Conamara Chaos Region of Europa». *Geophysical Research Letters* 25 (23): 4273-76. <https://doi.org/10.1029/1998GL900144>.

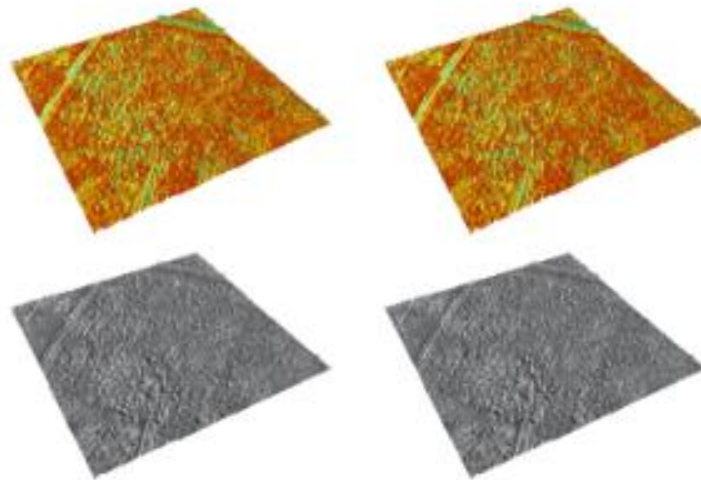
Zahnle, Kevin, Paul Schenk, Harold Levison, y Luke Dones. 2003. «Cratering rates in the outer Solar System». *Icarus* 163 (2): 263-89. [https://doi.org/10.1016/S0019-1035\(03\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0019-1035(03)00048-4).

Apéndices

Terreno caótico de Conamara en marco regional con cráter Pwyll
Europa (luna de Júpiter)

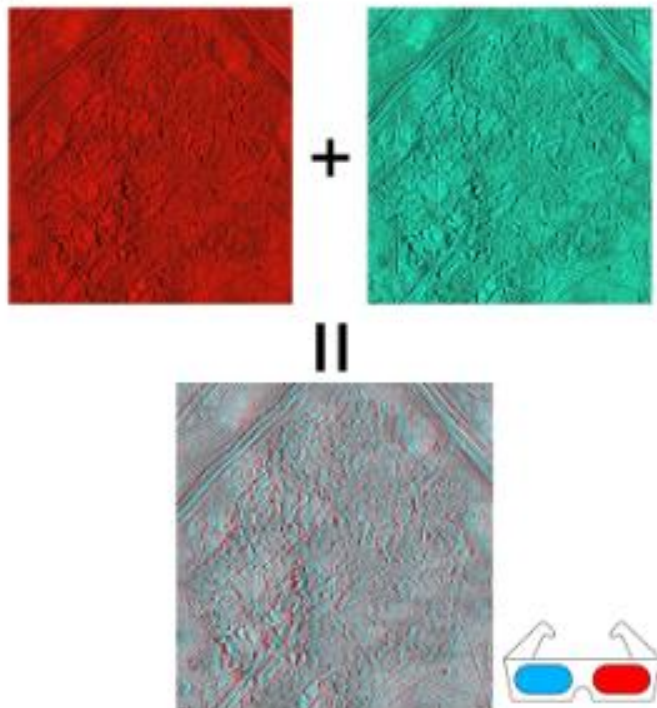
Proyección geográfica de mosaico con resolución de 500m/pixel
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saavedra / M. Lozada





Arriba, superior, el modelo digital de elevación (DEM) obtenido por fotoclínometría se visualiza en diferentes ángulos de perspectiva a través del software ArcGIS®. Este modelo se texturiza con la imagen obtenida por la sonda Galileo en su paso por Europa (inferior).

Abajo, en una vista planar, para cada punto de observación (ángulo de perspectiva) se genera una imagen con diferentes canales de colores RGB (*red-green-blue*, en inglés). La imagen de color rojo (canal *red*) será la imagen observada por el ojo izquierdo, mientras que la imagen cian (canales *green* y *blue*) será la imagen observada por el ojo derecho, en un arreglo de paralaje horizontal. La imagen inferior es el resultado de mezclar los tres canales RGB, y al ser observada con unas gafas rojo-cian producirán el efecto estereoscópico necesario para el análisis y la interpretación geológica.

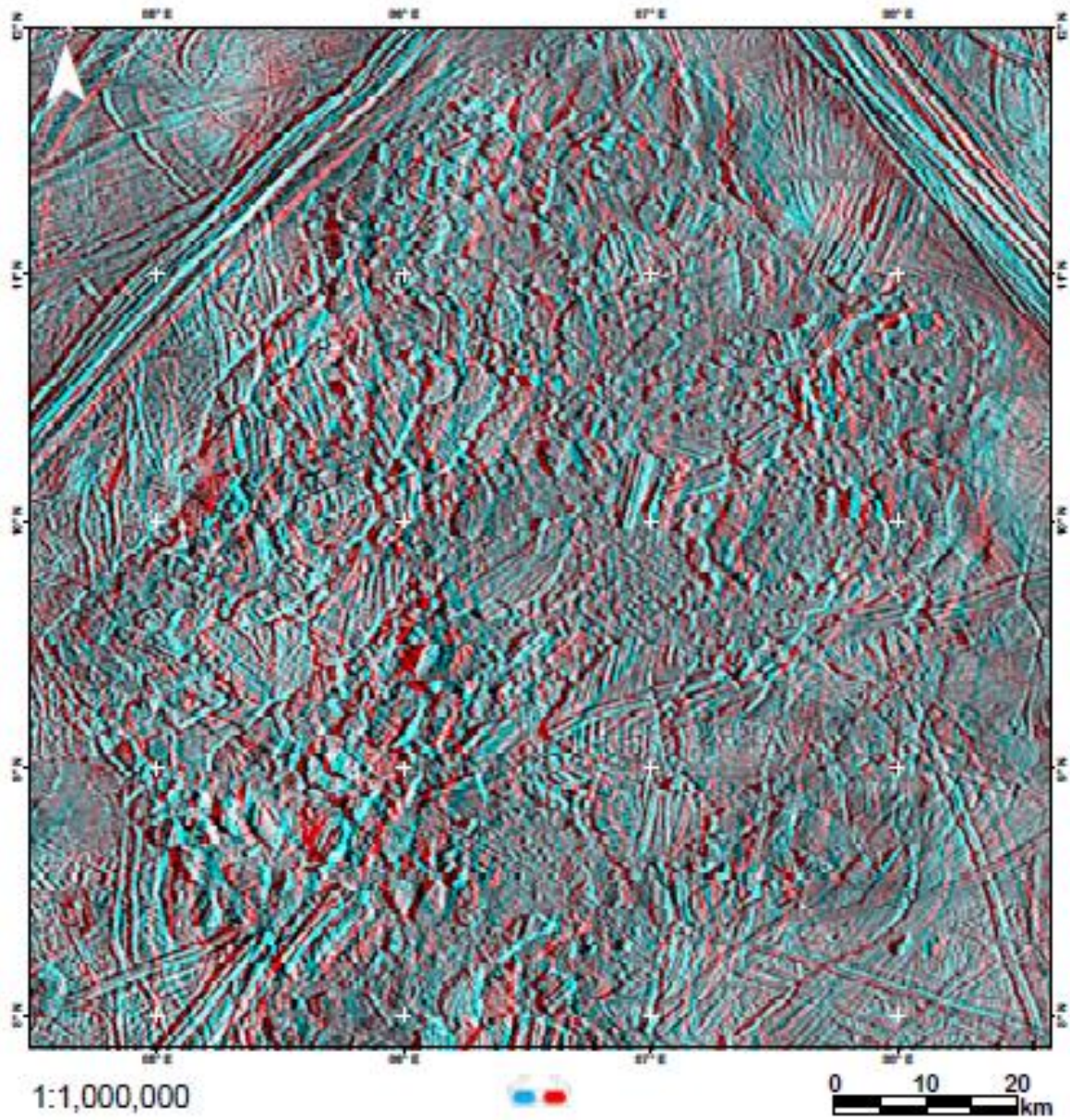


Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Estereoscopia a partir de fotoclinometría (anaglifo rojo/cian)

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Seavieira / M. Lozada

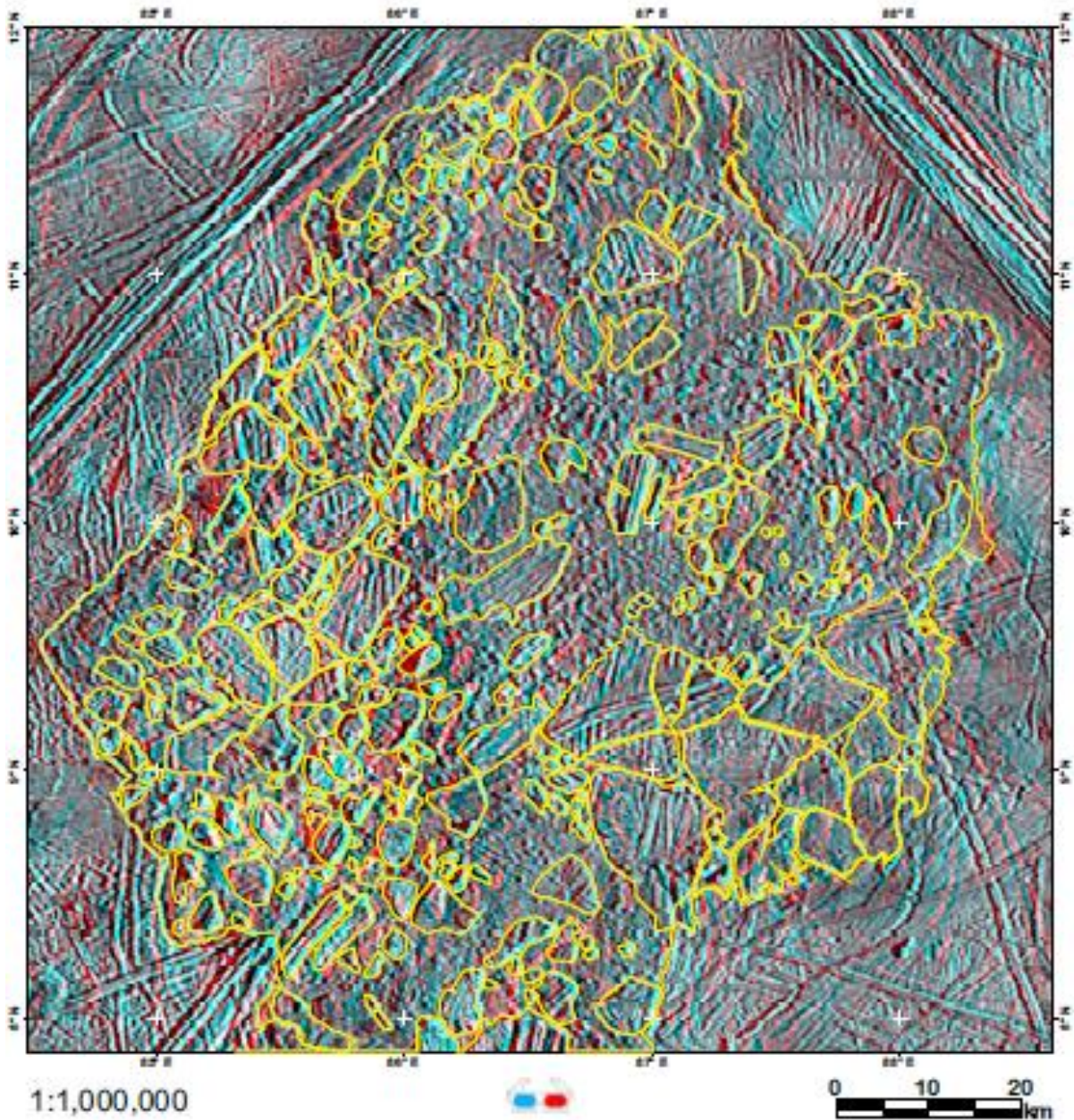


Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Estereoscopia a partir de fotodinometría (anagifo rojo/cian)

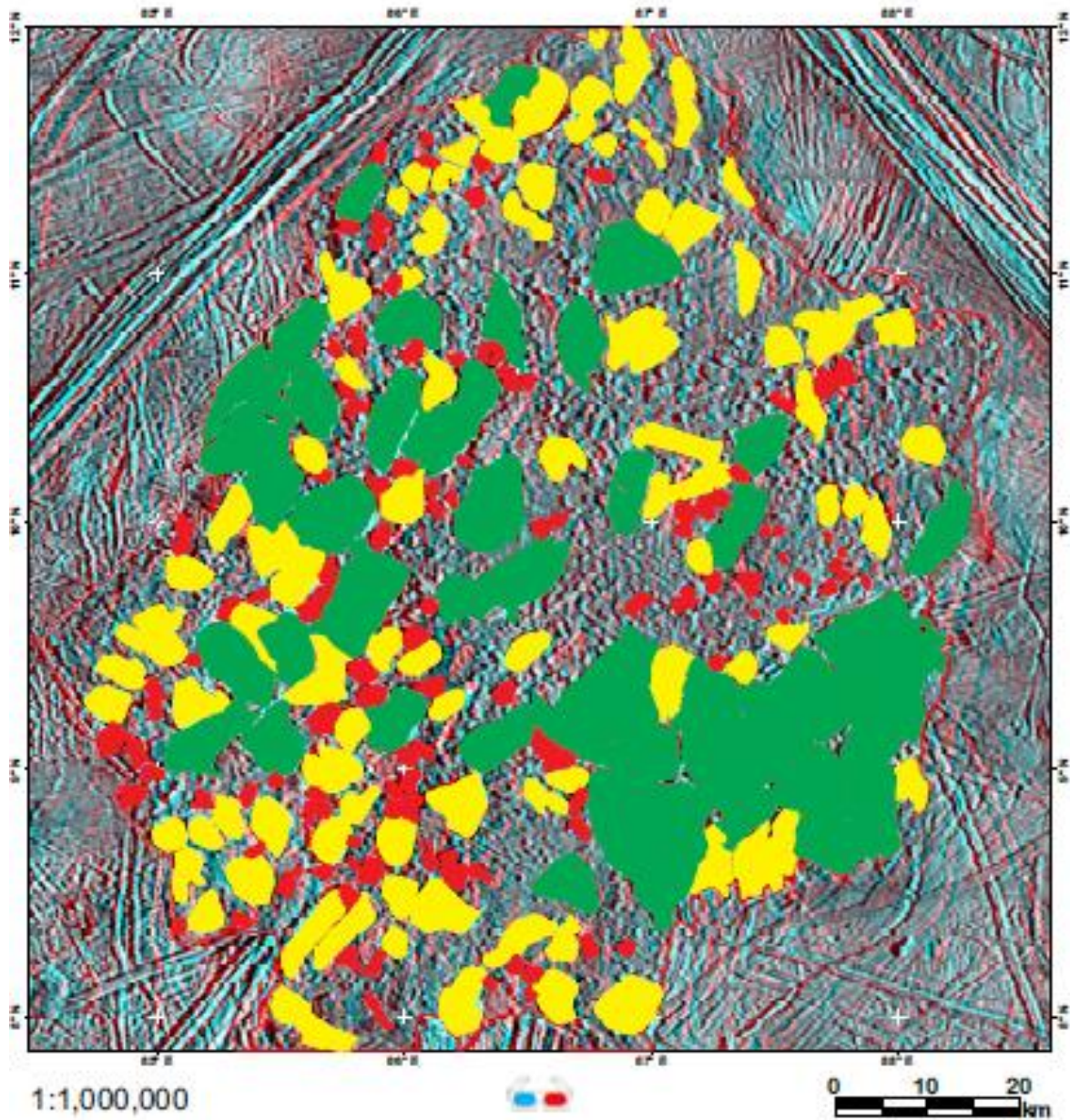
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saavedra / M. Lozada



Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Esteroscopia a partir de fotodinometría (anaglifó rojo/cian)
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saavedra / M. Lozada



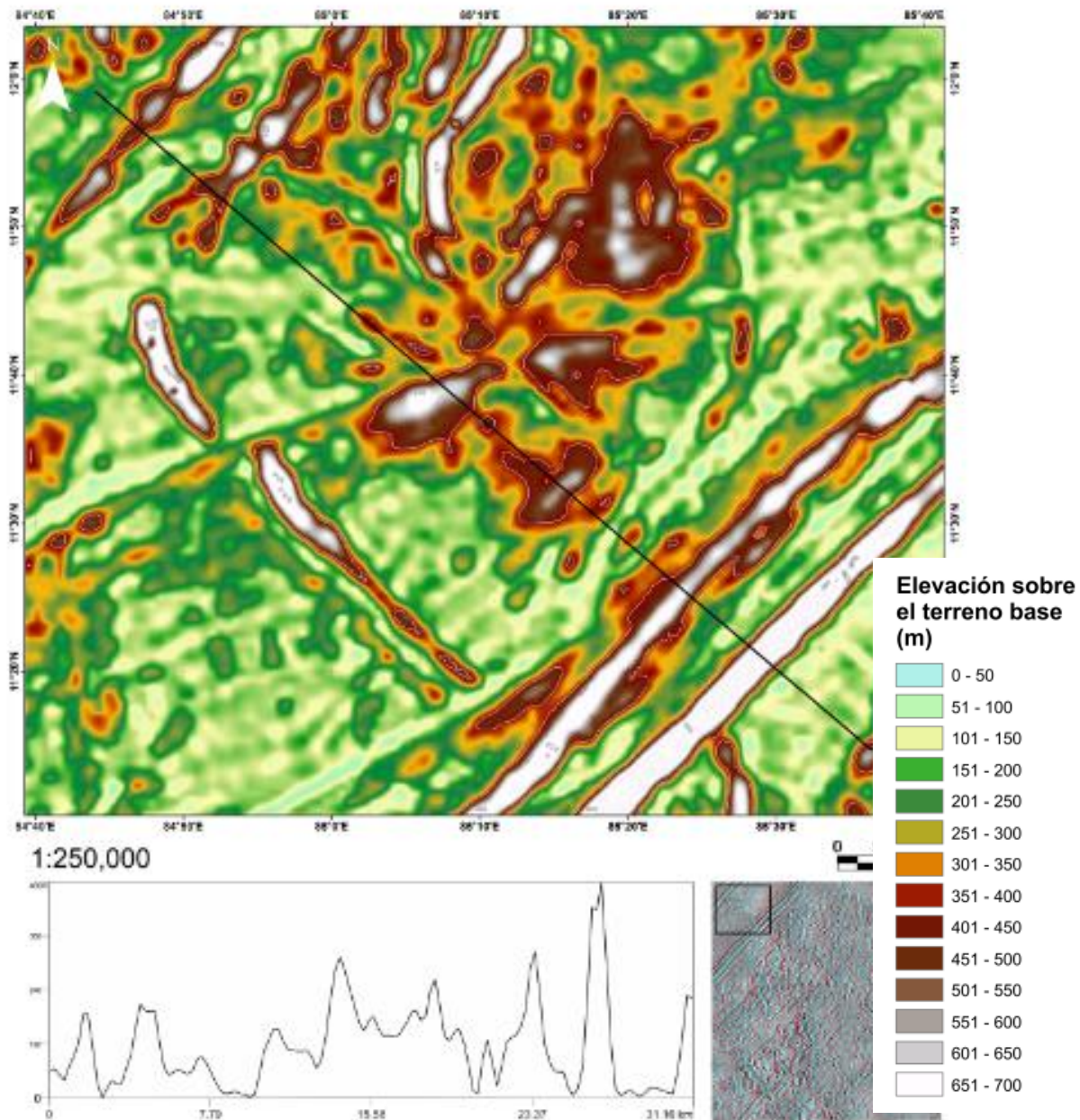
Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Perfiles topográficos a partir del DEM generado por fotoclinometría.

Curvas de nivel a 50m

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo / Procesamiento: F. Sainza / M. Lozada



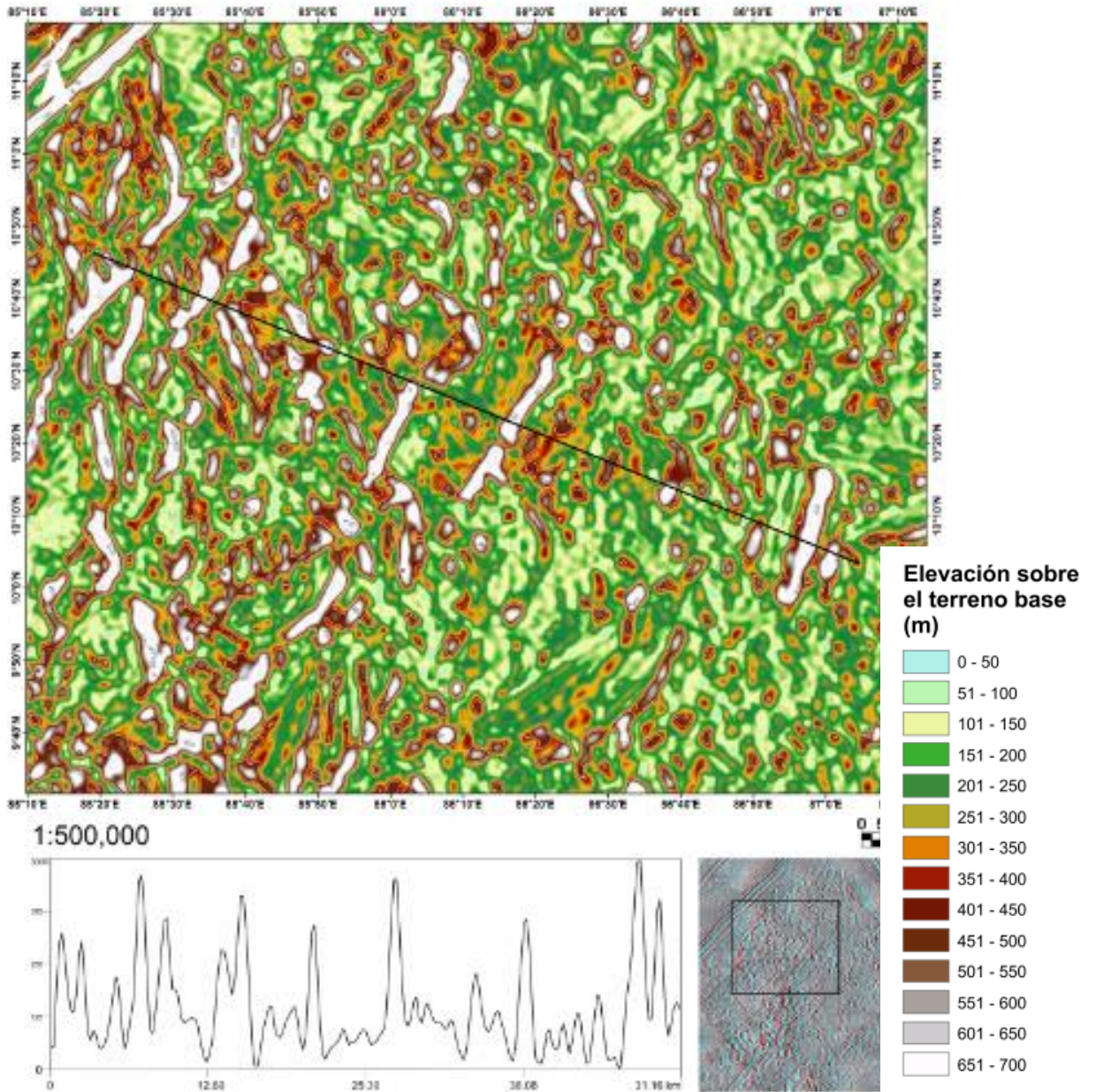
Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Perfiles topográficos a partir del DEM generado por fotogrametría.

Curvas de nivel a 50m

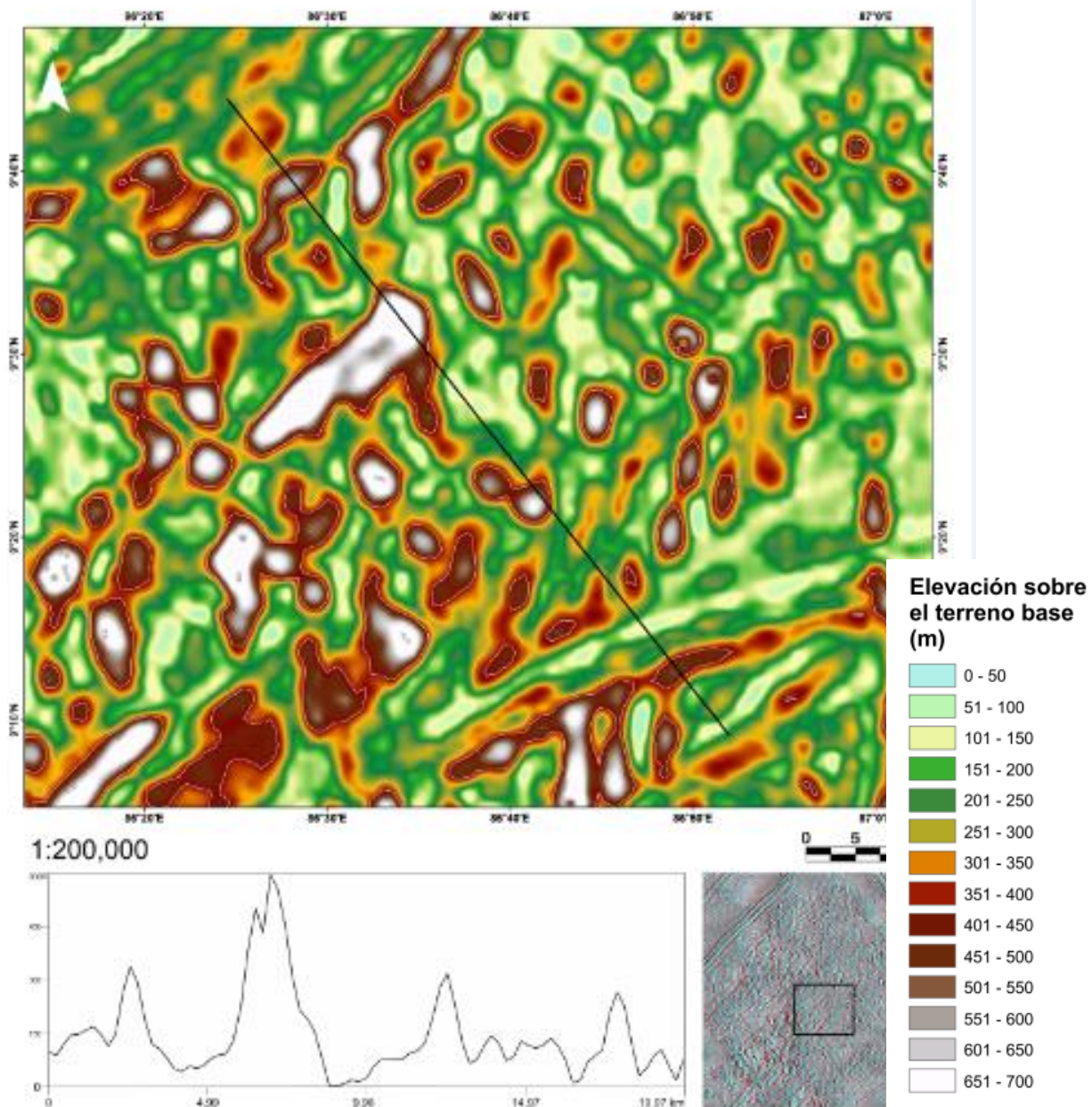
Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Sarmiento / M. Locaie



Terreno caótico de Conamara (detalle) Europa (luna de Júpiter)

Perfiles topográficos a partir del DEM generado por fotogrametría.
Curvas de nivel a 50m

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo / Procesamiento: F. Sainza / M. Lozada

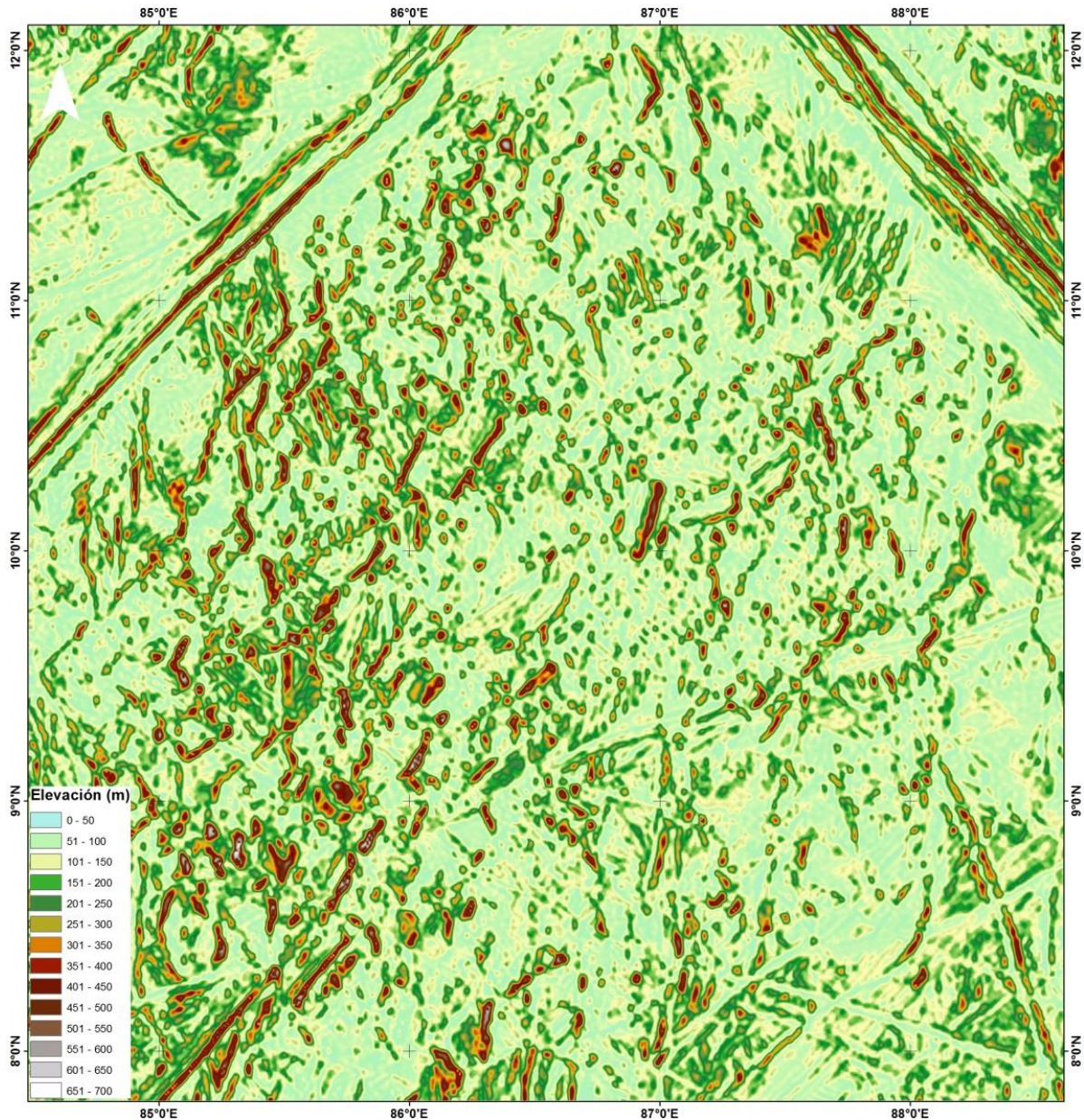


Terreno caótico de Conamara (detalle)

Europa (luna de Júpiter)

Mapa topográfico general a partir del DEM generado por fotoclinometría.

Datos fuente: NASA / Voyager / Galileo | Procesamiento: F. Saavedra / M. Lozada



1:1,000,000

0 50 100 km