

INVENTARIO Y CLASIFICACIÓN DE MANIFESTACIONES BASÁLTICAS DE PATAGONIA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES Y SIG, PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Elizabeth MAZZONI¹ y Jorge RABASSA^{2,3}

¹ Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos, Río Gallegos, Santa Cruz. E-mail: gis@uarg.unpa.edu.ar

² CADIC-CONICET, Ushuaia, Tierra del Fuego

³ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Ushuaia, Tierra del Fuego, E-mail: jrabassa@cadic.gov.ar

RESUMEN

Las mesetas basálticas constituyen un rasgo típico del paisaje patagónico. Su génesis está vinculada a derrames de lavas máficas que se produjeron en distintos períodos efusivos durante el Terciario y Cuaternario. De acuerdo a su edad, la morfología de los mantos lávicos ha sido modificada por diferentes procesos erosivos. Las coladas más antiguas han quedado sobre elevadas decenas a centenas de metros por procesos de inversión del relieve. En la zona de contacto entre el manto basáltico y la roca subyacente se originan manantiales que brindan un aporte de agua extra al ambiente patagónico extracordillerano, favoreciendo el desarrollo de pastizales húmedos (mallines) que constituyen un recurso natural de alto valor económico, ecológico y escénico. Con el fin de contar con una herramienta que permita evaluar su importancia hidrológica, se llevó a cabo un inventario de estas formas volcánicas en la provincia de Santa Cruz, Argentina. Para ello se aplicaron técnicas de procesamiento digital e interpretación visual de imágenes satelitales de mediana resolución espacial. Los resultados se expresaron cartográficamente y mediante bases de datos, integrándose la información en un entorno S.I.G. Los datos obtenidos para cada campo volcánico, referidos a aspectos topográficos, geológicos y geomorfológicos, superficie del campo lávico y presencia de mallines en sus laderas y áreas próximas, fueron analizados estadísticamente. La información así generada permitió obtener una caracterización general de estas formas del paisaje y diseñar un sistema de clasificación, además de corroborar su importancia en la localización y desarrollo de los mallines.

Palabras clave: *Patagonia, relieves volcánicos, mesetas basálticas, clasificación, cartografía.*

ABSTRACT: *Inventory and classification of basaltic occurrences of Patagonia based on satellite images and G.I.S, province of Santa Cruz.* Basaltic plateaus are a typical feature of the Patagonian landscape. Their origin is associated with basaltic flows that took place in different effusive periods of the Tertiary and Quaternary. According to the age, morphology of the different lava fields has been modified by different erosion processes. The oldest basaltic flows were elevated tens to hundreds of meters by “relief inversion processes”. In the contact zone between the basaltic flow and the underlying rock, springs are originated that provide an extra water input to the extra-Andean Patagonian environment, favouring the development of meadows (*mallines*), a natural resource of high economic, ecological and scenic value. With the aim of providing a tool for evaluating the hydrological importance of meadows, a survey of these volcanic landforms was conducted in the province of Santa Cruz, Argentina. Digital processing and visual interpretation techniques were applied on satellite images of medium spatial resolution. The results were expressed into maps and by means of databases, and the information was incorporated into a GIS environment. Data obtained for each basaltic feature, regarding topographic, geological and geomorphological aspects, area of the lava plateau and presence of meadows on their slopes and proximal areas, were statistically analyzed. The information obtained provided us with a general characterization of these landforms and allowed us to design a classification system whose importance in the location and development of meadows was confirmed.

Keywords: *Patagonia, volcanic relief, basaltic plateaus, classification, cartography.*

INTRODUCCIÓN

En la amplia región que constituye el ambiente extracordillerano de Patagonia, que se extiende con mesetas escalonadas desde el piedemonte andino hasta la costa atlántica con una superficie de aproxi-

madamente 500.000 km², la disponibilidad de recursos hídricos superficiales aparece como uno de los factores naturales limitantes para la distribución de los seres vivos. Ha condicionado el proceso de poblamiento y el desarrollo de actividades económicas basadas en la utiliza-

ción de recursos naturales renovables. Donde los ríos permanentes están ausentes, la presencia de afloramientos de agua subterránea cobra importancia y es aprovechada fundamentalmente por los pobladores rurales. Muchos acuíferos están asociados a un rasgo particular del relieve pa-

tagónico: las mesetas volcánicas o “plateau”, también denominados “escoriales” por los habitantes del entorno rural, término que hace referencia a la particular textura rugosa de su superficie. Estas formas del paisaje, por sus características litológicas, topográficas y geomorfológicas, actúan como reservorios de agua (Mazzoni 1987, Hernández 2000, entre otros).

Su génesis está vinculada a derrames de lava basáltica que se produjeron en distintos períodos efusivos durante el Terciario y Cuaternario. Su distribución se relaciona con la existencia de zonas volcánicas activas vinculadas tanto al margen convergente de placa del borde occidental sudamericano como a procesos extensionales desarrollados en los ámbitos de retroarco e intraplaca, que han provisto condiciones para la fusión parcial del manto y rocas de la corteza durante el Cenozoico (Ardolino *et al.* 1999, Ramos 1999, entre otros).

De acuerdo a su edad, la morfología de los mantos lávicos ha sido modificada por diferentes procesos erosivos. Las coladas más antiguas han quedado sobreelevadas algunas decenas a centenas de metros por procesos de inversión del relieve formando mesetas. La roca basáltica posee elevada permeabilidad secundaria que le permite captar las precipitaciones que caen en la región. El agua se infiltra hasta encontrar niveles impermeables subyacentes y aflora en las laderas de las mesetas originando vertientes que brindan un aporte de agua extra al ambiente patagónico extrandino (Fig. 1).

Este aporte hídrico favorece el desarrollo de pastizales húmedos denominados regionalmente vegas o mallines. Se trata de ecosistemas formados por juncos y hierbas muy verdes y densos (Movia 1984) que contrastan notablemente con la estepa herbácea-arbustiva característica de la región. Constituyen un recurso natural de alto valor económico, ecológico y escénico; aportan agua y alimento a la fauna silvestre y al ganado y brindan hábitat para numerosas especies de avifauna (Fig. 2). Con el fin de evaluar la importancia hidrológica de las mesetas volcánicas en los

MODELO HIDROLÓGICO DE UN AREA HIPOTÉTICA DE MESETA BASALTICA

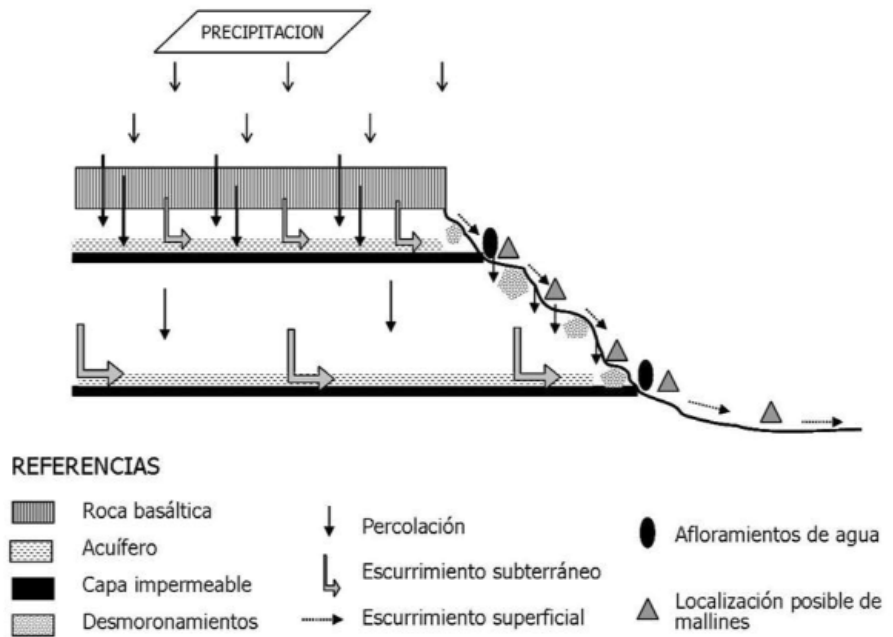


Figura 1: Diagrama que muestra el modelo hidrológico hipotético de una meseta volcánica.



Figura 2: En el plano central, vista de un mallín desarrollado en las laderas de un campo volcánico (estancia La Carlota, sur de Santa Cruz. Coordenadas: 51°52' LS – 70°33' LO).

ambientes áridos patagónicos y su influencia en la localización de los mallines, se llevó a cabo un inventario y clasificación de estas formas del relieve en la provincia de Santa Cruz, como representativa de todo el espacio regional.

METODOLOGÍA

La identificación de las diferentes manifestaciones basálticas se realizó mediante interpretación visual en pantalla de imágenes satelitales de mediana resolución

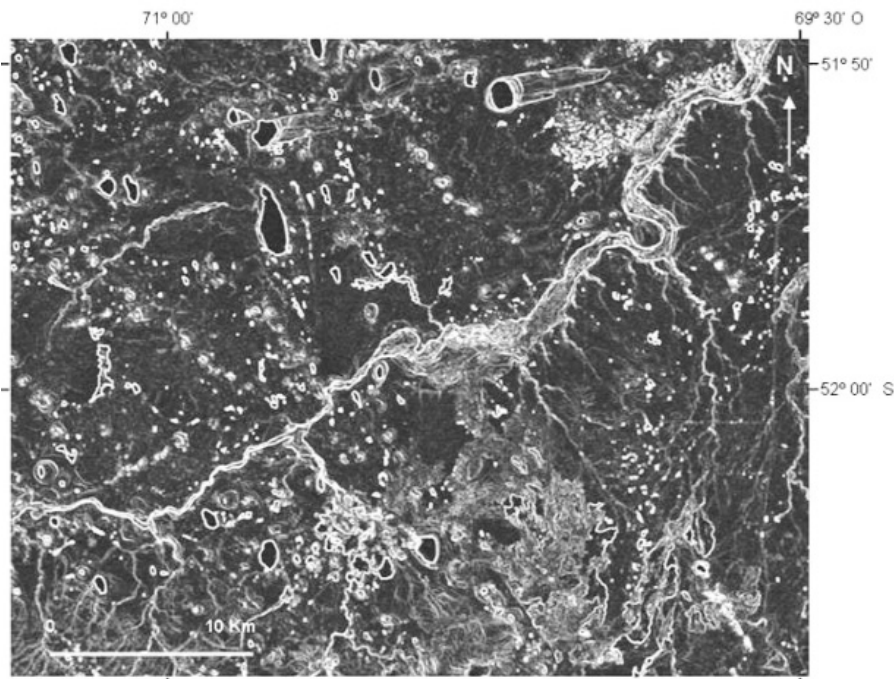


Figura 3: Recorte de la imagen Landsat 228-96 del sur de Santa Cruz, en la que puede verse el efecto provocado al aplicarse un procesamiento digital destinado a resaltar la textura de la imagen sobre la banda 4. Se destacan nítidamente los resaltos topográficos.

espacial, principalmente LANDSAT 5 y 7. En algunos casos, la información se complementó con la utilización de imágenes ASTER. Cada imagen fue procesada individualmente con el software ERDAS IMAGINE 8.4 con el objeto de mejorar su calidad visual. Se seleccionaron las bandas más adecuadas, eligiéndose la combinación final 541 (RGB). Se aplicaron técnicas para mejorar el contraste de las imágenes (*standard deviation stretch*) y, en algunos casos, se realizaron análisis texturales (*texture*) para destacar resaltos topográficos o texturas fotográficas propias de los derrames basálticos (Fig. 3). Las imágenes fueron geo-referenciadas (*geometric correction*) al sistema de proyección Transverse Mercator Faja 2 y transformadas a un formato *bitmap* (JPG) para su incorporación en un entorno SIG (sistema de información geográfica), donde se organizó el conjunto de datos obtenidos.

Con el software MAPINFO Profesional 6.5 se digitalizaron las diferentes coladas (Fig. 4), se creó un cuadro de datos asociada a cada polígono y se realizó el mapa final. Dicho cuadro incluyó información

referida a la localización geográfica y superficie de los mantos lávicos, como también datos climáticos, topográficos, geológicos y geomorfológicos. Asimismo, se incluyó una columna que cualifica la presencia de mallines en proximidad del borde basáltico (Cuadro 1). Dada la escala de trabajo, se identificaron sólo las manifestaciones basálticas con superficie igual o superior a 1 km².

En el proceso de digitalización se obtuvo de forma automática la localización geográfica de cada campo volcánico y su superficie. Los datos climáticos (precipitación media anual) se obtuvieron de mapas temáticos provinciales (Soto y Vazquez, 2000) y de estadísticas de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional y red NOAA (www.ncdc.noaa.gov/pub/data/). La topografía fue extraída de las cartas a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM). La información geológica (edad de las coladas), del mapa geológico de la Provincia de Santa Cruz (Panza *et al.* 2002) y bibliografía específica. La geomorfología y los datos sobre disponibilidad de mallines fue obtenida a partir de

la interpretación visual de las imágenes. Con la información así obtenida se diseñó una clasificación numérica de manifestaciones basálticas integrada por seis dígitos que sintetiza sus principales características, principalmente los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, este último evaluado a partir de la presencia de mallines en cercanía del campo volcánico.

Los datos fueron analizados estadísticamente con el fin de describir el comportamiento de cada variable y su relación con las demás. Se aplicaron técnicas descriptivas, test de ajuste de las distribuciones a modelos teóricos y análisis de correlación. Los resultados permitieron caracterizar al conjunto de manifestaciones basálticas presentes en este espacio provincial y evaluar su importancia hidrológica.

RESULTADOS

Distribución espacial de las mesetas volcánicas

En la provincia de Santa Cruz se identificaron 289 manifestaciones basálticas cuya superficie es igual o superior a 1 km². Ocupan en su conjunto una superficie de 24.500 km² que representa un 10 % del espacio provincial. Su distribución espacial se presenta en la figura 5, donde se han identificado según la edad de la colada. Los basaltos se ubican principalmente en el macizo del Deseado, a todo lo largo de la vertiente oriental de la cordillera y en el sector noroccidental de la cuenca Austral (Panza y Franchi 2002). Puede observarse que las manifestaciones basálticas constituidas por lavas pleistocenas son los que poseen mayor extensión superficial, representando casi el 40 % del total. Su distribución espacial es dispersa, existiendo manifestaciones en distintos puntos de la provincia, que contrastan con la localización de las lavas terciarias, que se encuentran ausentes hacia el sur del río Santa Cruz (50° LS). Las lavas holocenas sólo están presentes en el extremo austral provincial donde se ubica el campo volcánico de Pali Aike, que presenta singulares características morfológicas respecto de

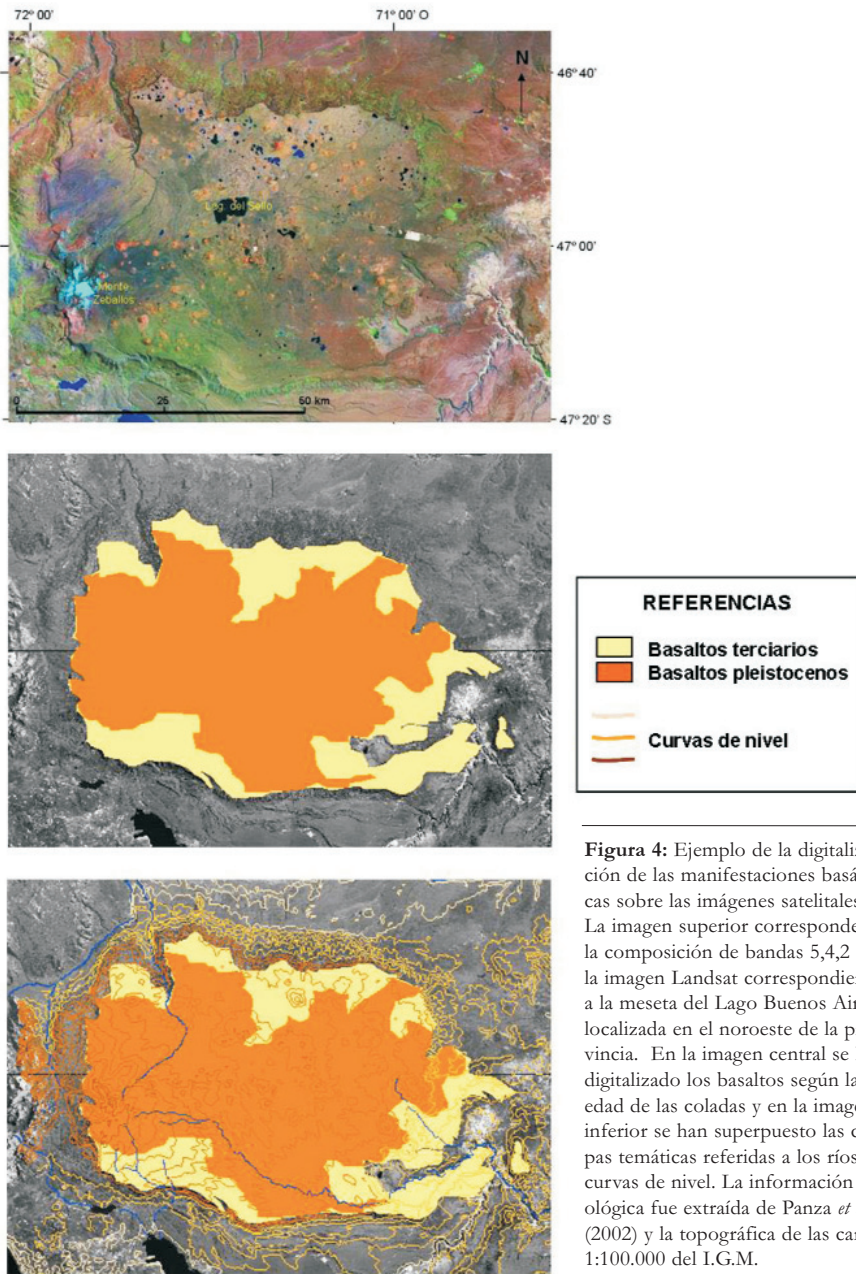


Figura 4: Ejemplo de la digitalización de las manifestaciones basálticas sobre las imágenes satelitales. La imagen superior corresponde a la composición de bandas 5,4,2 de la imagen Landsat correspondiente a la meseta del Lago Buenos Aires, localizada en el noroeste de la provincia. En la imagen central se han digitalizado los basaltos según la edad de las coladas y en la imagen inferior se han superpuesto las capas temáticas referidas a los ríos y curvas de nivel. La información geológica fue extraída de Panza *et al.* (2002) y la topográfica de las cartas 1:100.000 del I.G.M.

CUADRO 1: Ejemplo de la base de datos obtenida para cada manifestación basáltica (sólo se presentan algunas columnas).

Nº de orden	Precipit. media (mm anuales)	Superficie (km ²)	Altura máxima (m)	Cota media del borde (m)	Cota media de la base de la ladera (m)	Desnivel (m)	Edad del basalto	Clasificación
3	800	9,1	2800	2200	2100	100	Pleistoceno	1 1 1 1 2 2
32	500	56,5	1500	1100	1000	100	Pleist_Holoceno	1 1 4 3 4 1
42	800	6,9	2200	1800	1800	0	Holoceno	2 2 3 1 1 1
53	130	512,3	1800	1100	800	300	Terciario	1 1 1 5 3 2
55	130	3,6	950	950	900	50	Terciario	1 1 1 1 3 3
78	200	1441	1100	1100	1100	0	Terc_Pleist_Holoc	1 3 7 5 4 1
100	300	256,4	1320	1100	800	300	Terc_Holoceno	1 1 7 4 4 1

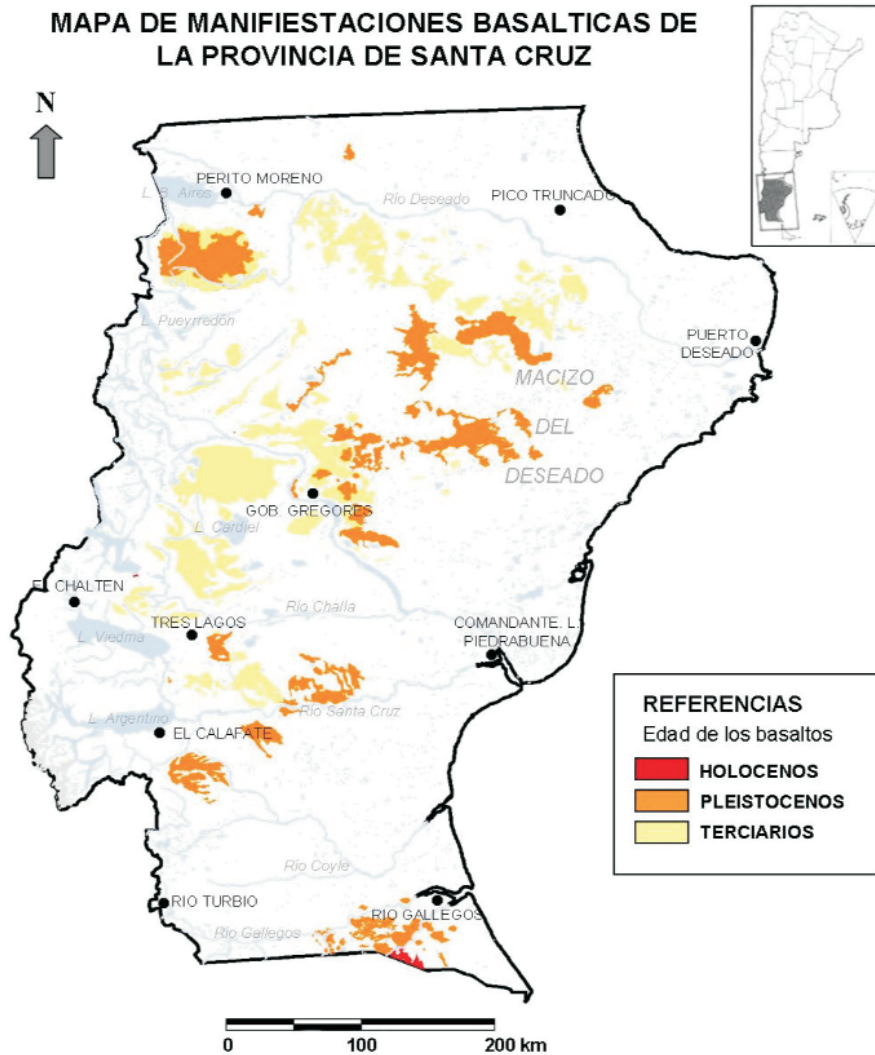
las demás manifestaciones volcánicas extrandinas de Patagonia (Corbella *et al.* 1990, Corbella 2002).

Ciclos efusivos

Las efusiones que dieron origen a los plateau ocurrieron en diferentes ciclos efusivos, siendo los más importantes, desde el punto de vista del volumen y extensión regional, los producidos durante el Eoceno y el Mioceno superior – Pleistoceno. La ocurrencia y evolución de esos ciclos está vinculada tanto con colisiones producidas en el margen pacífico entre segmentos de dorsales oceánicas con la zona de subducción como con procesos extensionales desarrollados en los ámbitos de retroarco e intraplaca (Ardolino *et al.* 1999, Ramos 1999, Ramos y Kay 1992, Kay 2002, entre otros).

Las manifestaciones más antiguas, correspondientes a fines del Mesozoico y comienzos del Cenozoico, son muy escasas, en coincidencia con la pobre actividad volcánica basáltica que se produjo en la mayoría de las regiones patagónicas extrandinas durante este período. Se localizan en el sector central del Macizo del Deseado, al norte y noroeste del cerro Vanguardia y en proximidad del Monumento Natural Bosque Petrificado. Todas estas lavas constituyen pequeñas mesetas muy seccionadas por procesos erosivos, con abundantes derrubios.

El ciclo basáltico Eoceno se encuentra ampliamente representado en el sector centro – norte de la provincia, principalmente en el Macizo del Deseado. Una de las principales manifestaciones es el Basalto Posadas, identificado por Riggi en la zona comprendida entre los lagos Posadas y Pueyrredón (Riggi 1957). Este basalto se extiende también en la zona del lago Cardiel y en el sector basal de la meseta del Lago Buenos Aires (Ramos 1982). Asimismo, corresponden a esa edad los basaltos que se ubican al este del río Pinturas (Basalto Cerro del Doce; Panza 1982), disecados por el valle del río Deseado hasta cerca de la confluencia con el cañadón El Pluma. En general, conforman extensas coladas muy recor-



Fuente: Elaboración propia en base a interpretación de imágenes Landsat y ASTER e información geológica (Panza et al., 2002)

Figura 5: Mapa de manifestaciones basálticas de la provincia de Santa Cruz.

tadas por la erosión y necks. Otras manifestaciones, que incluyen a la localidad tipo del Cerro del Doce, se localizan en el sector central del Macizo, al norte del Monumento Natural Bosque Petrificado y al oeste de Tres Cerros. En cuanto a las edades radiométricas (K-Ar) asignadas a estos basaltos, se encuentran comprendidas entre 60 y 40 Ma, con un máximo de actividad volcánica entre los 45 y 48 Ma (Eoceno medio; Ramos *et al.* 1982).

Luego de este ciclo magmático, ocurrieron otros durante el Oligoceno y el Mioceno inferior a medio, de menor representación que el anterior. Sus edades radiométricas se ubican entre 29 - 25 Ma y

entre 13 - 11 Ma, respectivamente (Ramos *et al.* 1982, Nullo *et al.* 1993, Gorrington *et al.* 1997). Manifestaciones del ciclo oligoceno se encuentran, principalmente, en el Macizo del Deseado, bajo el nombre de Basalto Alma Gaucha (Panza 1982, 1995) que incluye a un conjunto de volcanitas básicas alcalinas que se presentan principalmente como mantos tabulares o relictos de los mismos, chimeneas volcánicas y diques. Por su mayor resistencia a los agentes erosivos, estos afloramientos se destacan netamente en el paisaje, dando lugar a varios de los accidentes geográficos más importantes del relieve local, incluyendo el cerro Cojudo

Blanco (1.335 m s.n.m) y la meseta del mismo nombre, las mayores alturas de todo el Macizo. Panza y Franchi (2002) destacan que estos basaltos están formados por varias coladas superpuestas, que alcanzan un espesor máximo de 70–80 m. En su mayoría muestran bardas elevadas, abruptas y subverticales, donde se produce una activa erosión retrocedente y fenómenos de remoción en masa. La superficie de estas mesetas es irregular. Se encuentran salpicadas por pequeños bajos y lagunas, y disecadas por profundos cañones de paredes escarpadas y con mallines en parte de su recorrido, los que debido a su pendiente regional hacia el este desaguan en la laguna Walda (Fig. 6). Otro ejemplo de este mismo ciclo efusivo es el Basalto El Matrero (Cobos y Panza 2001) ubicado a unos 25 km al sureste de Tres Lagos. Afloran allí de 7 a 10 m de basalto que integran, generalmente, un solo manto lávico.

Las principales manifestaciones del ciclo mioceno inferior a medio se ubican en el centro de la provincia de Santa Cruz. Entre los ejemplos más representativos se encuentran el Basalto Gregores (Marín 1982), ubicado al noreste de la localidad homónima; el Basalto El Pedrero (Panza 1998) cuyas coladas constituyen una alta meseta situada a 60 km al nornoroeste de Gobernador Moyano y el Basalto Cóndor Cliff (Cobos y Panza 2001), en la orilla septentrional del valle del río Santa Cruz. A partir del Mioceno superior en el extremo sur del continente se produjo la colisión de la placa sudamericana con la dorsal que separaba las placas de Nazca y Antártica. Dicha colisión comenzó a los 14 Ma a la latitud de Tierra del Fuego, para migrar luego hacia el norte hasta la península de Taitao, donde tiene lugar en la actualidad. Para la región norte y central de Santa Cruz, desde los 49° S hacia el norte, la colisión se produjo a los 12 Ma; alrededor de 2 Ma después habría comenzado la efusión de los grandes volúmenes de lavas de plateau, estimados en 1.000 km² (Ramos 2002). A este ciclo volcánico del Mioceno superior se asigna al conjunto de manifestaciones existentes

en el noroeste de la provincia, llamados genéricamente Basalto Strobel (Ramos 1978, 1982), que incluyen a las mesetas ubicadas en las zonas de los lagos Cardiel, Strobel, Belgrano y Posadas y a las mesetas de la Muerte y del Lago Buenos Aires, como las más representativas. Asimismo, se incluyen en este episodio volcánico las coladas que cubren las altas planicies ubicadas al norte, sur y suroeste de Gobernador Gregores y al este del valle del río Chico (Fig. 7).

Posteriormente a este evento puede citarse otro, ubicado radimétricamente entre 4 y 5,5 Ma aproximadamente (ciclo plioceno inferior), que se habría producido luego que el paisaje fuera alterado por la primera glaciación registrada para la zona, ocurrida entre 7 y 5 Ma aproximadamente (Mercer y Sutter 1982). A este evento corresponden los basaltos ubicados en el oeste provincial, en posición más austral que los anteriores, y que forman amplias mesetas desde el sur del lago Cardiel hasta el norte de la localidad de Río Turbio. También se superponen a basaltos miocenos en la meseta del Lago Buenos Aires y en las mesetas cercanas a Gobernador Gregores. Al noreste de esta localidad se destaca el cerro Tejedor (848 m) como uno de los volcanes basálticos más característicos de este período.

El siguiente ciclo efusivo ha sido ubicado temporalmente durante el Plioceno superior – Pleistoceno inferior, cuyas edades radimétricas varían entre los 3,5 y 1 Ma aproximadamente. Sus manifestaciones se distribuyen ampliamente en la provincia, incluyendo extensas planicies lávicas ubicadas en el macizo del Deseado; en las partes más altas del interfluvio Chaliá - Santa Cruz; al sur del valle de este último río en la zona de Camusú Aike y en el sur provincial (campo volcánico de Pali Aike). También se hallan en la meseta del Lago Buenos Aires (Basalto El Sello, Lapido, 1979), donde los numerosos centros efusivos conforman las alturas más destacadas. El volcanismo holoceno se localiza de manera puntual en Santa Cruz, integrando parcialmente el campo volcánico de Pali Aike. Estas manifestaciones basálti-

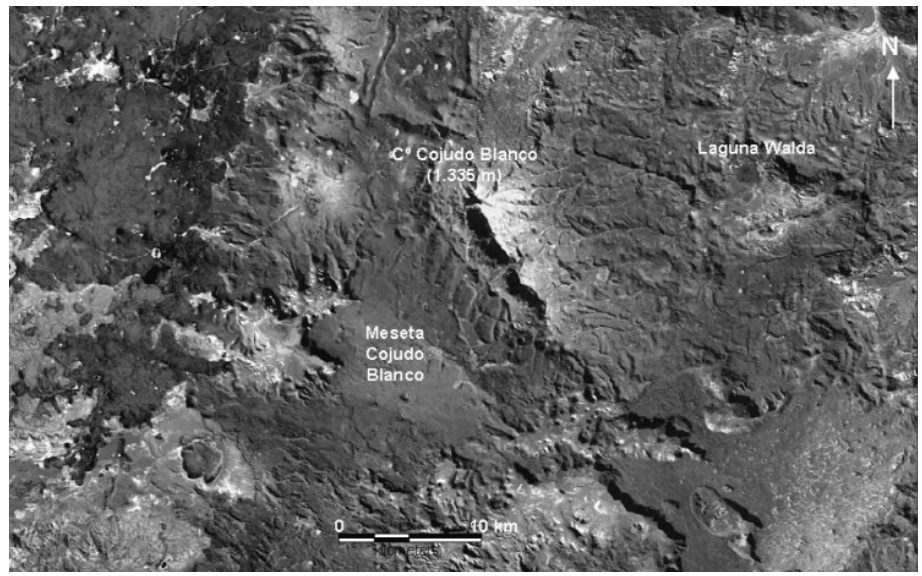


Figura 6: Imagen satelital Landsat del Macizo del Deseado, donde puede observarse el derrame de lavas terciarias de diferentes edades. En el centro se destacan la meseta Cojudo Blanco y el cerro del mismo nombre, integrados por coladas del Terciario medio (Oligoceno). Estos basaltos se encuentran muy disectados. Contrastan notablemente con la colada más oscura y joven de la izquierda, que ha ocupado las partes bajas del paisaje, extendiéndose en sus porciones distales a lo largo de valles y cañadones. Coordenadas del centro de la imagen: Lat.: 47° 03' S - Long.: 69° 14' O

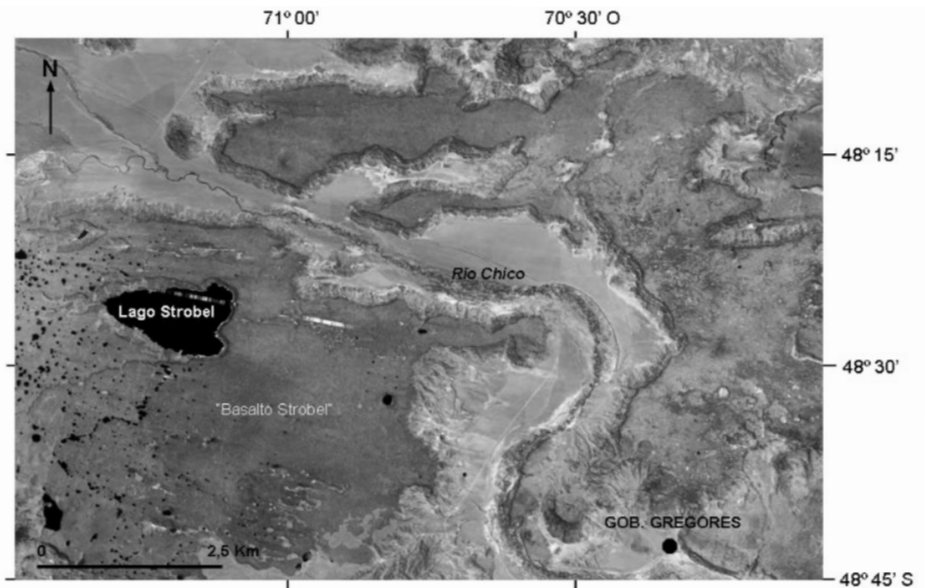


Figura 7: Imagen satelital que muestra la distribución del Basalto Strobel, el cual constituyó un único campo lávico seccionado posteriormente por la acción erosiva del río Chico. La erosión modeló abruptas escarpas que limitan el valle del citado río. Como principal rasgo geomórfico, las mesetas muestran numerosas depresiones, especialmente en su sector occidental.

cas fueron descritas inicialmente por Altevorgt (1969), Codignotto (1975) y Skewes (1978) y estudiadas posteriormente por Corbella (2002), quien destaca que en territorio argentino constituyen un caso único de volcanismo reciente en proximidad a un centro urbano: la ciudad

de Río Gallegos que dista sólo 23 km de los centros efusivos más cercanos. Forma parte de un volcanismo fisural de retroarco cuyas lavas, emitidas desde el Plioceno tardío hasta el Holoceno, cubren unos 1.500 km². Las manifestaciones volcánicas comprenden campos de lava, peque-

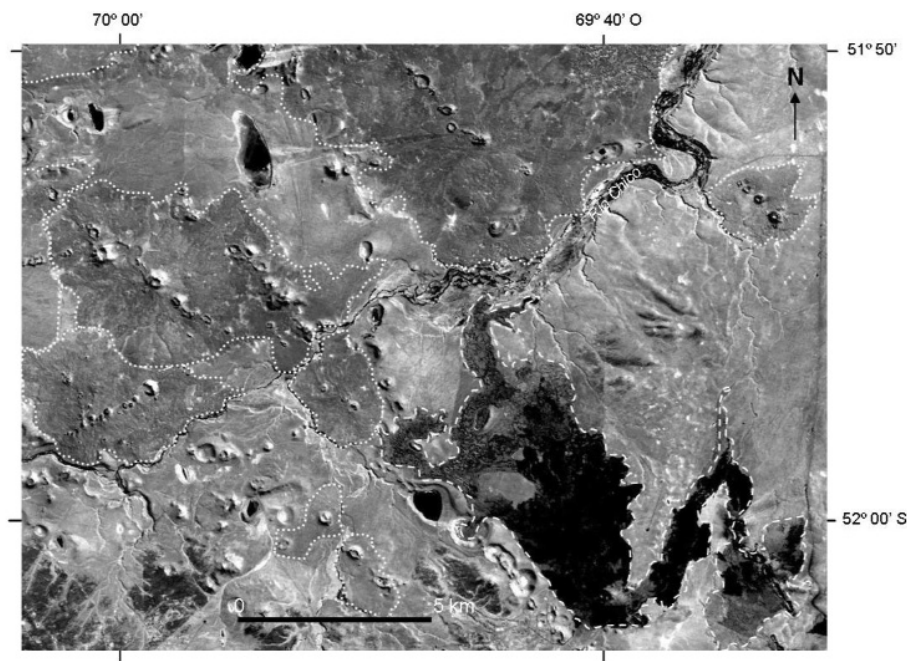


Figura 8: Imagen Landsat Banda 5 donde se observan parcialmente las manifestaciones volcánicas del sur de Santa Cruz. Con línea quebrada se han delimitado las coladas holocenas, que se visualizan con una tonalidad muy oscura. Con línea punteada se delimitaron los derrames basálticos pleistocenos.

ños volcanes agrupados o alineados a lo largo de líneas estructurales y numerosos maares. También aparecen geformas volcánicas compuestas tales como edificios volcánicos construidos dentro de los cráteres maáricos y centros de explosión coalescentes (Corbella 2002). Las coladas jóvenes se reconocen claramente en las imágenes satelitales por su tonalidad oscura y textura rugosa, tal como puede observarse en la figura 8.

Clasificación de las manifestaciones basálticas

Tal como se expresó en la metodología, la información obtenida posibilitó idear un sistema de clasificación para las manifestaciones basálticas que describe, para cada una de ellas, sus principales características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas, este último aspecto evaluado a partir de la presencia de mallines en cercanía del borde basáltico. La clasificación utiliza un sistema numérico de seis dígitos; cada uno de ellos descriptor de uno de los aspectos considerados, tal como se presenta en el cuadro 2.

El primer dígito describe el tipo de forma de relieve, habiéndose distinguido dos ti-

pologías básicas: las formas tabulares (planicies o mesetas) y los conos volcánicos. En líneas generales, esta distinción permite inferir el tipo de actividad volcánica originaria: las primeras pueden correlacionarse generalmente con derrames de tipo fisural en tanto que los segundos se asocian a erupciones centrales. Los dos dígitos siguientes describen los aspectos geomorfológicos de los bordes y la superficie de las manifestaciones volcánicas. El segundo dígito distingue entre bordes transitivos (sin un resalto topográfico de importancia que separe a las coladas del entorno), escarpados o mixtos. Este aspecto permite diferenciar también las mesetas de las planicies lávicas, asumiendo que las últimas aún no han completado el proceso de inversión del relieve.

Las características geomorfológicas de la superficie se sintetizan en el tercer dígito de la clasificación, que distingue entre campos volcánicos de geomorfología superficial simple o compleja. Los primeros sólo poseen rasgos generados en el proceso de enfriamiento de la colada, como texturas rugosas y algunas depresiones someras. En los segundos pueden

CUADRO 2: Clasificación de las manifestaciones basálticas

CLASIFICACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES BASÁLTICAS	
Primer dígito: Tipo de relieve	
1.	Planicie o Meseta
2.	Cono
Segundo dígito: Tipo de borde	
1.	Escarpados
2.	De transición
3.	Mixtos
Tercer dígito: Geomorfología superficial	
Manifestaciones basálticas simples:	
1.	Meseta basáltica cuya superficie no presenta irregularidades ni rasgos peculiares
2.	Superficie con depresiones someras generadas por fenómenos diferenciales de enfriamiento
3.	Cono volcánico aislado
Manifestaciones basálticas complejas:	
4.	Superficie escalonada por superposición de diferentes coladas
5.	Meseta con conos volcánicos en superficie
6.	Meseta con cursos fluviales en superficie
7.	Mesetas con geomorfología compleja (combinación de tipos 4, 5 y/o 6)
8.	Cono volcánico complejo
Cuarto dígito: Tamaño del campo volcánico	
1.	Hasta 10 km ²
2.	10 a 100 km ²
3.	100 a 1000 km ²
4.	más de 1000 km ²
Quinto dígito: Edad del campo volcánico	
1.	Basaltos holocenos
2.	Basaltos pleistocenos
3.	Basaltos del Terciario medio y superior
4.	Combinación de basaltos terciarios y cuaternarios
Sexto dígito: Presencia de mallines en proximidad del borde basáltico	
1.	Mallines abundantes y claramente identificables en fotografías aéreas o imágenes orbitales
2.	Mallines escasos
3.	Sin mallines

reconocerse además geformas asociadas a la acción de procesos eólicos, fluviales o glaciales, o a la acción de sucesivos eventos volcánicos.

El cuarto dígito describe el tamaño del campo volcánico, agrupado en cuatro categorías según las frecuencias observadas. El quinto dígito refiere a la edad de las lavas superficiales, agrupadas en coladas terciarias, pleistocenas y holocenas. Algunos campos volcánicos muestran en su

perficie lavas de diferentes edades. El sexto dígito indica la presencia de mallines en proximidad del borde basáltico. Este parámetro, evaluado cualitativamente a partir de interpretación visual de las imágenes, es un indicador indirecto de los aportes de agua de estos campos volcánicos al entorno.

Parámetros morfométricos

La superficie de las manifestaciones basálticas identificadas en la provincia de Santa Cruz oscila entre un mínimo próximo a 1 km² y un máximo de 3.152 km² correspondiente a la meseta del Lago Buenos Aires. Existen manifestaciones de dimensiones menores al mínimo relevado, que en su mayoría constituyen remanentes de erosión de antiguas coladas. La distribución de frecuencias muestra el claro predominio de dimensiones pequeñas (Cuadro 3). En el intervalo 0 - 10 km² se localiza algo más del 50 % de estas manifestaciones y sólo el 3,5 % posee superficie mayor a 500 km². La media aritmética es de 85,1 y la mediana de 9,3 km². La diferencia entre ambos valores se explica en la influencia que ejercen los valores extremos (campos volcánicos de gran tamaño) en el cálculo de la media aritmética.

La distribución de esta variable ajusta a una función exponencial negativa con un coeficiente de correlación del 90 %. Presenta un comportamiento muy similar al obtenido para otros espacios patagónicos (Mazzoni 2007), donde el 75 % de los plateau basálticos posee un tamaño menor a 50 km² (Fig. 9). La abundancia de superficies pequeñas se explica principalmente en la edad de las coladas, derramadas en su mayoría en períodos preglaciares y seccionadas posteriormente por procesos erosivos (Fig. 7).

El análisis de la composición geológica muestra que la mayoría de estos campos volcánicos están formados por lavas derramadas en un único ciclo efusivo: casi el 60 % por lavas terciarias, casi un 40 % por lavas pleistocenas y sólo un 1 % por lavas holocenas. Un 1,4 % está compuesto por lavas de diferentes edades y corresponden a los campos volcánicos de mayor tamaño.

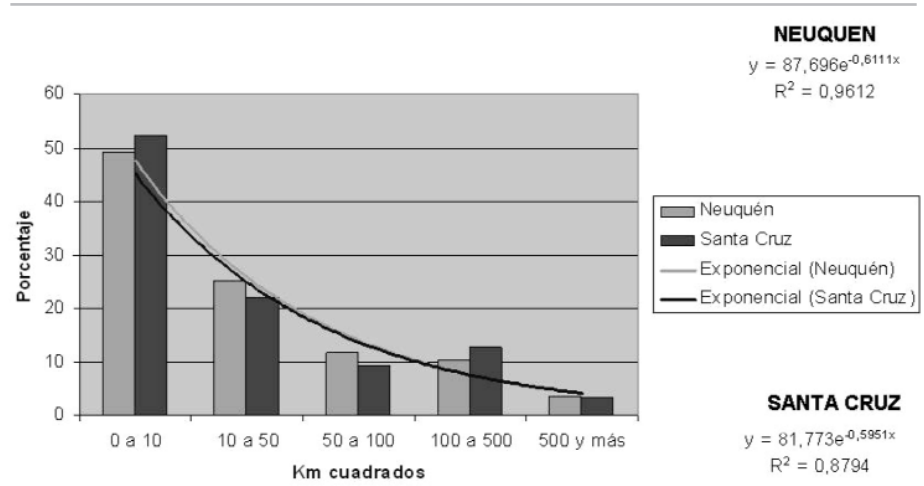


Figura 9: Curva de distribución de frecuencias de la superficie de los campos lávicos presentes en las provincias del Neuquén y Santa Cruz. Nótese la similitud de la distribución. Fuente: Mazzoni 2007

CUADRO 3: Manifestaciones basálticas según superficie y edad de las coladas.

TAMAÑO	EDAD								
	Lavas terciarias		Lavas pleistocenas		Lavas holocenas		Lavias superpuestas de distintas edades		Totales
Superficie total	11213,7		7.734,8		131,0		5.448,2		24527,7
Distribución de frecuencias	Cant	%	Cant	%	Cant	%	Cant	%	Cant %
0 – 10	93	54,7	57	50,9	1	25	-	-	151 52,2
10 – 50	37	21,8	26	23,2	1	25	-	-	64 22,1
50 – 100	16	9,4	11	9,8	-	-	-	-	27 9,4
100 – 500	20	11,7	14	12,5	1	25	2	50	37 12,8
500 – 1000	2	1,2	2	1,8	-	-	-	-	4 1,5
más de 1000	2	1,2	2	1,8	-	-	2	50	6 2,0
Cantidad	170		112		3		4		289
TOTAL	100		100		100		100		100
%	58,8		38,8		1,0		1,4		100

Los pequeños están integrados exclusivamente por lavas pertenecientes a un único ciclo efusivo (Cuadro 3).

En cuanto al “tipo” de manifestación basáltica (dígito 1° de la clasificación) predominan las formas de planicie o meseta con respecto a los conos. Estos últimos, como formas aisladas en el paisaje, sólo están presentes en los intervalos de superficie inferiores a 50 km² (Cuadro 4).

El análisis de los aspectos geomorfológicos consideró el tipo de borde y los rasgos superficiales (dígitos 2° y 3°). El primero permite realizar inferencias sobre la evolución del proceso de inversión del relieve y diferenciar entre planicies lávicas (con bordes transitivos con el entorno) y

mesetas (con bordes escarpados). Los resultados obtenidos muestran el predominio de las segundas, con un 55 %. Esta situación puede correlacionarse también con la edad de las coladas, en tanto que en la medida que la lava es más antigua, los procesos de inversión del relieve que originan las mesetas han podido actuar durante un tiempo más prolongado.

La correlación entre tipo de bordes y tamaño indica que en los campos volcánicos pequeños predominan los bordes escarpados (intervalos de hasta 50 km² de superficie) en tanto que para los mantos lávicos cuya extensión areal se encuentra entre 50 y 500 km² existe mayor abundancia de bordes de tipo mixto (Cuadro 4). Esto

CUADRO 4: Tamaño y complejidad geomorfológica de las manifestaciones basálticas.

Geomorfología	Tamaño de las manifestaciones basálticas (km ²)					Totales	
	0 - 10 Cant %	10 - 50 Cant %	50 - 100 Cant %	100 - 500 Cant %	> 500 Cant %	Cant	%
Tipo de relieve							
Planicie o meseta	129 85	61 95	27 100	37 100	10 100	264	91
Cono	22 15	3 5	- -	- -	- -	25	9
Bordes							
Escarpados	96 64	37 58	12 44	10 27	6 60	161	56
Transicionales	43 28	21 39	12 44	10 27	3 30	89	31
Mixtos	12 8	6 3	3 12	17 46	1 10	39	13
Superficie							
Simple	142 94	44 69	16 59	18 49	6 60	226	78
Compleja	9 6	20 31	11 41	19 51	4 40	63	22

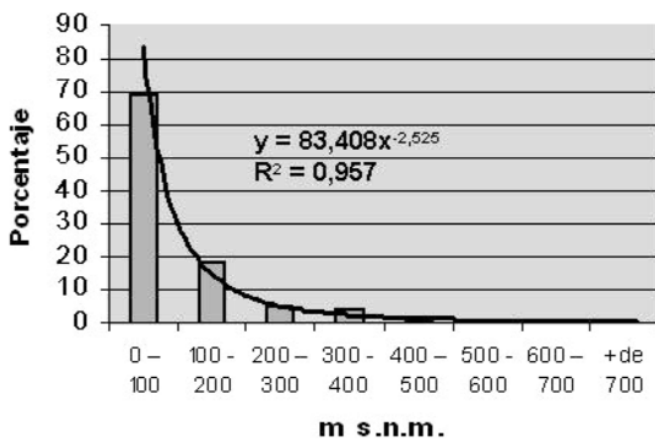


Figura 10: Curva de distribución de la variable desnivel, en la que se observa claramente la máxima concentración de casos en el intervalo de 0 a 100 m.

CUADRO 5: Tamaño de las manifestaciones basálticas y presencia de mallines.

Tamaño (km ²)	PRESENCIA DE MALLINES						Total	
	Abundante Cant %*	Media a escasa Cant %*	Nula Cant %*	Cant	%	Cant	%	
0 - 10	7 4,6	65 43,1	79 52,3	151	52,2			
10 - 50	13 20,3	30 46,9	21 32,8	64	22,1			
50 - 100	11 40,7	13 48,2	3 11,1	27	9,4			
100 - 500	13 35,1	21 56,8	3 8,1	37	12,8			
500 y más	8 80,0	2 20,0	- -	10	3,5			
Total	52 18,0	131 45,3	106 36,7	289	100			

puede estar asociado a que algunos de ellos se encuentran formados por coladas de diferentes ciclos efusivos.

La geomorfología superficial es simple en algo más del 75 % de los casos. Esta característica aumenta significativamente en las manifestaciones de pequeñas dimensiones, donde sólo el 6 % muestra rasgos diferentes de aquellos atribuidos a los procesos de enfriamiento del basalto. Por el contrario, en más del 40 % de los casos, los escoriales con superficie mayor a 50 km² poseen superficie con geomor-

fología compleja en los que pueden reconocerse coladas superpuestas de diferentes edades, con conos de escoria y ceniza en su superficie y variedad de geoformas, entre las que destacan las originadas por procesos eólicos y fluviales (Cuadro 4).

En relación con la posición altitudinal se consideraron tres parámetros: la cota máxima de la colada, la cota media del borde basáltico y el desnivel de la meseta respecto de su entorno. Las alturas máximas se distribuyen en un amplio rango que va desde unas pocas decenas de metros (75

m) hasta alturas superiores a los 2000 m s.n.m. (2.743 m, en la meseta del Lago Buenos Aires), lo cual se relaciona principalmente con la localización geográfica del escorial y la sucesión de eventos volcánicos. Las frecuencias muestran una distribución pareja hasta los 1000 m de altura; en cotas mayores, disminuyen significativamente. La cota media del borde basáltico se distribuye también homogéneamente, con una mayor concentración de casos en cotas inferiores a los 750 m s.n.m.

El desnivel de los escoriales respecto de la superficie circundante oscila entre 0 y 800 m, con una media de 72 m. La distribución de frecuencias ajusta a un modelo potencial negativo (Fig. 10), en el cual cerca del 70 % posee desniveles inferiores a los 100 m. Los plateaus integrados por coladas de diferentes edades poseen desniveles mayores que los constituidos por coladas de un único ciclo efusivo. El campo volcánico con mayor desnivel es la meseta del Lago Buenos Aires, que, cómo se ha indicado anteriormente, fue formada por la superposición de eventos volcánicos terciarios y cuaternarios.

Con respecto al desarrollo y localización de mallines, el análisis cualitativo de su presencia, evaluada por medio de interpretación visual de las imágenes satelitales, ha permitido observar que el 63 % de los plateaus poseen este tipo de humedales en su proximidad, aunque en sólo un 18 % de los casos éstos aparecen en forma abundante. Se evidencia una relación directa entre la presencia de mallines y el tamaño del campo volcánico: Un 52 % de las manifestaciones pequeñas no posee mallines en sus laderas, en tanto que este porcentaje disminuye notoriamente con aumento del tamaño (Cuadro 5). El valor mínimo a partir del cual todos los escoriales presentan mallines en su proximidad es de 162,2 km². Las manifestaciones basálticas de tipo 1 (mallines abundantes) pasan del 4,6 % al 80 % entre el menor y mayor rango superficial considerado. Estos datos posibilitan corroborar la influencia de los campos volcánicos en la formación de los ecosistemas de mallines en Patagonia.

CONSIDERACIONES FINALES

El uso de herramientas de teledetección y SIG posibilitó realizar el inventario y la caracterización de los paisajes constituidos por lavas máficas en la provincia de Santa Cruz. Las imágenes de mediana resolución espacial, como Landsat y ASTER, permitieron su adecuada identificación mediante la combinación de técnicas de procesamiento digital, destinadas a mejorar su calidad visual, e interpretación visual. La organización de la información en un sistema de información geográfica permitió elaborar la cartografía digital y disponer de una base de datos asociada para cada manifestación volcánica, con datos morfológicos y morfométricos.

En total se identificaron 289 campos volcánicos distribuidos en un amplio rango superficial, cuyo valor máximo supera los 3000 km²; no obstante, predominan las manifestaciones de dimensiones pequeñas: el 50 % posee menos de 10 km². Esta característica influye en el desarrollo de mallines, que muestran una vinculación directa con la superficie de los plateaus.

La mayoría están constituidos por lavas pertenecientes a un único ciclo efusivo (principalmente Terciario) y poseen geomorfología superficial simple con bordes escarpados. Este tipo de borde delimita mesetas que se elevan generalmente menos de 100 metros sobre la superficie circundante.

Estas características geomorfológicas son compartidas por las manifestaciones basálticas localizadas en otros espacios administrativos de Patagonia, tal como la provincia del Neuquén (Mazzoni 2007), lo cual permite suponer un comportamiento semejante para el resto del espacio patagónico donde están presentes estas formas del relieve.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) por el financiamiento parcial de esta investigación. Al personal del Laboratorio de Teledetección y SIG y del Departamento de Estadística

de la Unidad Académica Río Gallegos de la UNPA por su colaboración y apoyo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Altevogt, G. 1969. Der postglaciale vulkanismus südlich von Rio Gallegos, Provinz Santa Cruz, Süd-Argentinien. *Geologie und Paläontologie* 12:3-15.
- Ardolino, A., Franchi, M., Remesal, M. y Salani, F. 1999. El volcanismo en la Patagonia Extrandina. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina, SEGEMAR, Anales* 29: 579-612, Buenos Aires.
- Cobos, J. y Panza, J. L. 2001. Informe preliminar de la hoja geológica 4752 – IV, Tres Lagos, Provincia de Santa Cruz. SEGEMAR, Inédito, 68p., Buenos Aires.
- Codignotto, J. 1975. Geología y rasgos geomorfológicos de la Patagonia Austral extraandina, entre el río Chico y la Bahía de San Sebastián. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 76 p., Buenos Aires.
- Corbella H., Pomposiello, C., Malagnino, E., Trincherro, E., Alonso, S., Chelotti, L., Diaz, T. y Firpo, L. 1990. Volcanismo lávico y freatomagmático postglacial asociado al campo de fracturación austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 2:383-393.
- Corbella, H. 2002. El campo volcanotectónico de Pali Aike. En Haller, M. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*, 15° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1(18): 258-301, Buenos Aires.
- Gorring, M., Mahlburg Kay, S., Zeitler, P., Ramos, V.A., Rubiolo, D., Fernández, M. y Panza, J.L. 1997. Neogene Patagonian plateau lavas: continental magmas associated with ridge collision at the Chile Triple Junction. *Tectonics* 16(1): 1-17.
- Hernández, M. 2000. Geohidrología de la región Cerro Rubio – Cerro Vanguardia. Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 208p., La Plata.
- Kay, S.M. 2002. Magmatic sources, tectonic setting and causes of Tertiary to Recent Patagonian plateau magmatism (36° to 52° S Latitude). 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 95-100, El Calafate.
- Lapido, O. 1979. Descripción Geológica de la Hoja 51 a Los Antiguos, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, (inédito), 77 p., Buenos Aires.
- Marín, G. 1982. Descripción geológica de la hoja 55c, Gobernador Gregores, Provincia de Santa Cruz. SEGEMAR, inédito, 84 p., Buenos Aires.
- Mazzoni, E. 1987. Aporte al conocimiento de los escoriales basálticos: acuíferos que posibilitan el asentamiento en zonas áridas. *Boletim de Geografia Teoretica* 16-17(31-34): 339-342.
- Mazzoni, E. 2007. Geomorfología y evolución geomorfológica de escoriales volcánicos y sus mallines asociados en diferentes ambientes de Patagonia extrandina. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, (inédito), 424 p., Bahía Blanca.
- Mercer, J. y Sutter, J. 1982. Late Miocene – earliest Pliocene glaciation in southern Argentina: implications for global ice-sheet history. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 38: 185-206.
- Movía, C. 1984. Tipología de mallines. En Rabassa, J., Brandani, A., Capua, A. y Ottonello, E. (eds.) *Curso de campo en sistemas ecogeomorfológicos: Guía de excursiones*. Departamento de Postgrado. Universidad Nacional del Comahue, 149p., Neuquén.
- Nulló, F., Haller, M., Panza, J.L., Marín, G. y Pardo, M. 1993. Basaltos alcalinos eocenos y miocenos de algunas localidades de la Patagonia (Chubut y Santa Cruz). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48(1): 33-40.
- Panza, J.L. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, Gobernador Moyano y 54e, Cerro Vanguardia, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, 197 p., Buenos Aires.

- Panza, J.L. 1995. Hoja Geológica 4969-II, Tres Cerros, Provincia Santa Cruz. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín 213: 1-103, Buenos Aires.
- Panza, J.L. 1998. Hoja Geológica 4769-IV, Monumento Natural Bosque Petrificado, Provincia de Santa Cruz. SEGEMAR, Boletín 257.
- Panza, J.L. y M. Franchi. 2002. Magmatismo basáltico cenozoico extrandino. In: M. Haller (Edit). Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate, 1-14:201-236. Buenos Aires.
- Panza, J.L., Saccomani, L. y Cobos, J. 2002. Mapa Geológico de Santa Cruz. Versión Actualizada, SEGEMAR, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1978. Descripción geológica de la Hoja 55b, Meseta de la Muerte. Servicio Geológico Nacional, inédito, 79 p., Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1982. Geología de la región del lago Cardiel, provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina 37: 23-49.
- Ramos, V.A. 1999. Evolución tectónica de la Argentina. En Caminos, R. (ed.) Geología Argentina, Anales 29, SEGEMAR, 715-759, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 2002. El magmatismo neógeno de la Cordillera Patagónica. En Haller, M. (ed.) Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz, 15° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1(13): 187-199, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Kay, S. M. 1992. The Southern Patagonian plateau basalts: retroarc testimony of a ridge collision, Argentina. Oliver, R., Vatin-Perignon, L. y Laubacher G. (eds.) Andean Geodynamics Symposium (Grenoble, France), Tectonophysics 205: 261-282.
- Ramos, V.A., Niemeyer, H., Skarmeta, J. y Muñoz, J. 1982. The Magmatic evolution of the Austral Patagonian Andes. En Linares, E., Cordani, U.G. y Munizaga, F. (eds.) Symposium Magmatic Evolution of the Andes (Paris, 1980), Earth Science Reviews 18:411-443.
- Riggi, J.C. 1957. Resumen geológico de la zona de los lagos Pueyrredón y Posadas, Provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina 12(2): 65-97.
- Skewes, M.A. 1978. Geología, petrología, quimismo y origen de los volcanes del área de Pali-Aike, Magallanes, Chile. Anales del Instituto de la Patagonia 9:95-106, Punta Arenas.
- Soto, J. y Vazquez, M. 2000. Las condiciones climáticas de la Provincia de Santa Cruz. En García y Mazzoni (ed.) El Gran Libro de la Provincia de Santa Cruz, Ed. Millenio – Alfa Centro Literario, 1: 98-115, Madrid.

Recibido: 2 de Noviembre, 2009

Aceptado: 25 de Marzo, 2010