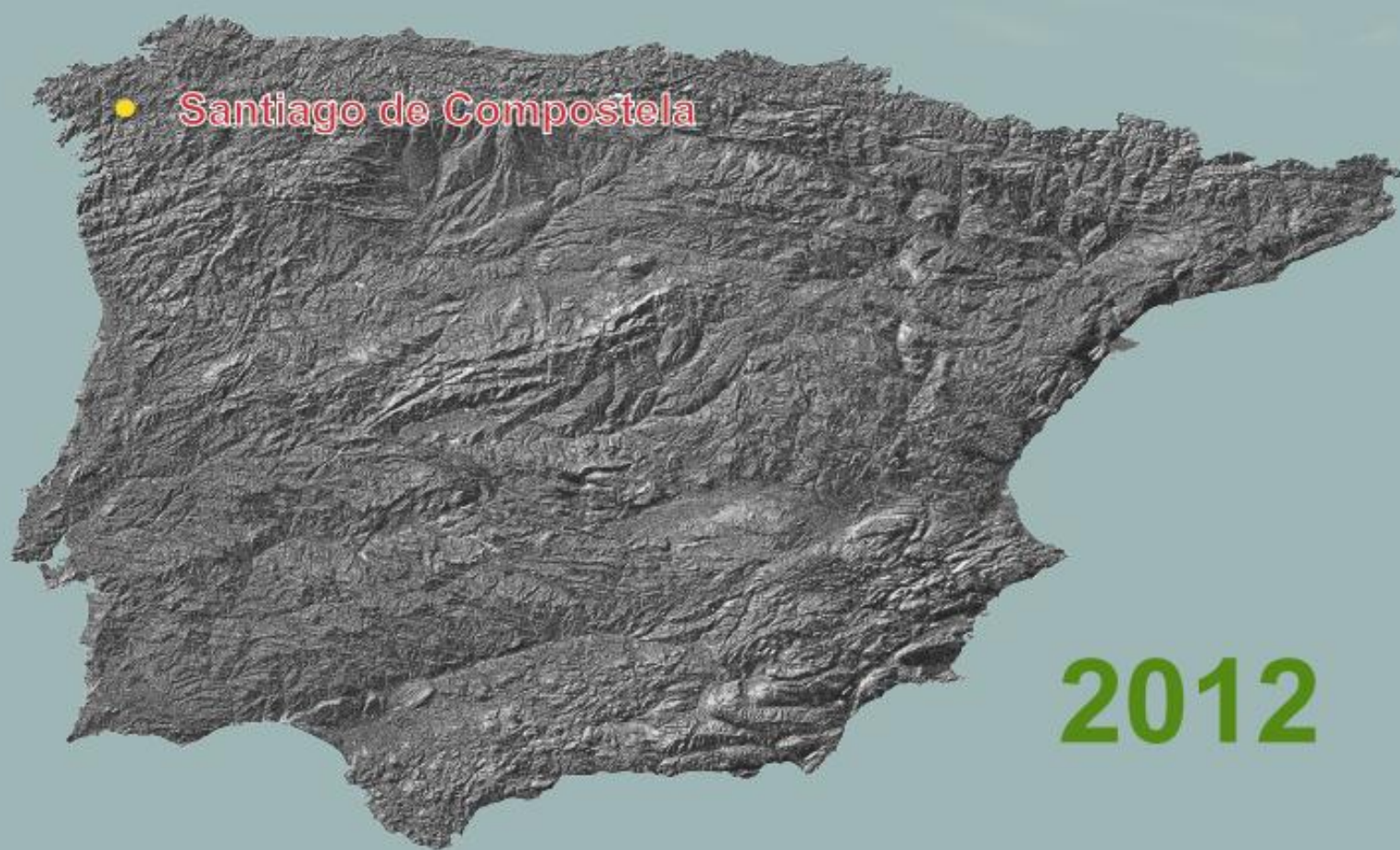




# XIII Coloquio Ibérico de Geografía

*Respuestas de la Geografía Ibérica a la crisis actual*



## **Coordinadores**

---

Dominic Royé  
José Antonio Aldrey Vázquez  
Marcos Valcárcel Díaz  
Miguel Pazos Otón  
María José Piñeira Mantiñán



# **XIII Coloquio Ibérico de Geografía**

---

Respuestas de la Geografía Ibérica a la crisis actual

***SANTIAGO DE COMPOSTELA***

24 – 27 de octubre 2012

**COORDINADORES**

Dominic Royé  
José Antonio Aldrey Vázquez  
Miguel Pazos Otón  
María José Piñeira Mantiñán  
Marcos Valcárcel Díaz

Portada: © Dominic Royé  
Logotipo: © Marcos Valcárcel Díaz  
Mapa: © Jesús Horacio  
Producción: Unidixital  
© Meubook  
ISBN: 978-84-940469-7-1  
D.L.: C 2129-2012

## PARTE 5

### Aplicaciones cartográficas y SIG

#### Vulnerabilidad y riesgo en la sociedad actual

ALMENDRA, R., FREIRE, E., VASCONCELOS, J., SANTANA, P. EXCESSO DE MORTALIDADE NO INVERNO NOS PAÍSES DA EUROPA MEDITERRÂNEA .....	809
ANTUNES, G. DA INTEGRAÇÃO URBANÍSTICA À INCLUSÃO SOCIAL – MITO OU REALIDADE? .....	817
COSTA, F., CABRAL, A. AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA NA PROVÍNCIA DO HUAMBO (ANGOLA) .....	828
FERRÃO, J., VENTURA, J., ALVES DA SILVA, A. A INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO DE POSTOS UDOMÉTRICOS NA MODELAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO ANUAL: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MIRA (SO DE PORTUGAL) .....	838
FERREIRA-LEITE, F., BENTO-GONÇALVES, A., LOURENÇO, L., ÛBEDA, X. PROBLEMAS METODOLÓGICOS NO ESTUDO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL. O CASO DOS GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	848
FREIRE, S., FONSECA, I., BRASIL, R., ROCHA, J., TENEDÓRIO, J. THE IMPORTANCE OF SAMPLING FOR THE EFFICIENCY OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN DIGITAL SOIL MAPPING .....	858
LOURENÇO, A., GAMA, A., NOGUEIRA, H., MOURÃO, I., ROSADO, V., PADEZ, C. RELACIÓN ENTRE OBESIDAD INFANTIL Y AMBIENTE: ANÁLISIS EXPLORATORIO EN UN DISTRITO PORTUGUÉS.....	868
MATOS, F., MARTINS, L., SANTOS, M., BATEIRA, C., TEIXEIRA, M., MOREIRA, S., COSTA, A. SINISTRALIDADE E PERIGOSIDADE RODOVIÁRIA NOS CONCELHOS DE SANTO TIRSO E TROFA.....	878
MÁYER SUÁREZ, P., MARZOL JAÉN, M. LA CONCENTRACIÓN Y LA AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA EN LAS ISLAS DE LA MACARONESIA .....	887
MOTA, C., CORREIA, M., VIEIRA, A., CUNHA, L. O CONTRIBUTO DOS SIG E DA DETECÇÃO REMOTA NO ESTUDO DO GLACIAR HORCONES INFERIOR (AONCÁGUA, ARGENTINA).....	898
NOGUEIRA, H., GAMA, A., MOURÃO, I., ROSADO MARQUES, V., PADEZ, C. PERCEPTIONS OF SOCIAL AND BUILT NEIGHBORHOOD ENVIRONMENTS AND CHILDHOOD OBESITY: IS THERE A GENDER DIFFERENCE AMONG PORTUGUESE SCHOOL CHILDREN? .....	904
NUNES, MARIA C., COSTA, F., ROSA, F. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E A DETECÇÃO REMOTA NO ESTUDO DE ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS NA BACIA DO RIO GEBÁ (GUINÉ-BISSAU) .....	919
PÉREZ MORALES, A. VALIDACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL ANTE EL RIESGO SÍSMICO. EL CASO DEL TERREMOTO DE LORCA DE MAYO DE 2011 .....	929
REBELO, C., GONÇALVES, J., TENEDÓRIO, J. ANÁLISE DE DADOS LIDAR PARA A EXTRACÇÃO DE PARÂMETROS URBANÍSTICOS.....	940

## PARTE 6

### Dinámicas climáticas y territorio

#### Las dinámicas y el patrimonio geomorfológico: los geositos

#### El recurso agua y su planificación en la Península Ibérica, Canarias y Baleares

BALKESTÄHL, L., MONTEIRO, A., TAESLER, R. DESENVOLVIMENTO DIURNO DAS ANOMALIAS TÉRMICAS URBANO-RURALS - CASO DE ESTUDO DA POSSÍVEL INTERFERÊNCIA DAS BRISAS (PORTO, PORTUGAL).....	1021
BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., DIAS, P., FERREIRA-LEITE, F., LOURENÇO, L., NUNES, A., SALGADO, J. OS GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS DE 2010 NO PARQUE NACIONAL DA PENEDA-GERÊS (PORTUGAL) - A IMPORTÂNCIA DAS CARTAS DE SEVERIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS.....	1027
BLANCO-WARD, D., POTENCIANO DE LAS HERAS, A., DIMAS-SÚAREZ, C. APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR QUALITY ASSESSMENT AND QUALITY CONTROL OF RIVER FLOW SERIES.....	1038
BOTELHO, F., GANHO, N. DINÂMICA ANTICICLÓNICA SUBJACENTE À SECA METEOROLÓGICA DO INVERNO DE 2011/2012 NA FACHADA OCIDENTAL DA PENÍNSULA IBÉRICA.....	1046
DE CASTRO, E., LOPES, A. A PERCEÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NA QUALIDADE DE VIDA URBANA: APLICAÇÃO METODOLÓGICA AO PLANEAMENTO.....	1056
DEL VALLE MELENDO, J. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LAS DEMANDAS DE AGUA EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.....	1067
FERREIRA, C. AS BACIAS HIDROGRÁFICAS LUSO-ESPANHOLAS E A HIDRODIPLOMACIA.....	1078
FIGUEIRA DE SOUSA, J., PEDRO COSTA, J., FERNANDES, A., GALIAU, S., VICENTE, T. ESTUARIES AND CLIMATE CHANGES: CHALLENGES TO LAND USE PLANNING IN TAGUS ESTUARY REGION - THE CITY OF LISBON CASE.....	1088
GÓMEZ MARTÍN, M., CORS IGLESIAS, M., ARMESTO LÓPEZ, X., MUÑOZ NEGRETE, J. DIVERSIFICACIÓN TURÍSTICA Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: EL CASO DEL TURISMO RURAL EN EL LITORAL AMPURDANÉS (COSTA BRAVA).....	1099
GÓMEZ ORTIZ, A., OLIVA FRANGANILLO, M., SERRANO GINÉ, D., MOLERO MESA, J., VIDAL MACUA, J., SALVADOR FRANCH, F., SALVÀ CATARINEU, M., PLANA CASTELLVI, J. GEOSITIOS DE INTERÉS GEOMORFOLÓGICO EN SIERRA NEVADA. HACIA UNA PROPUESTA DE VALORACIÓN PATRIMONIAL.....	1112
HORACIO, J., NARCISO, E. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES DEL RÍO LOR (GALICIA, ESPAÑA): BREVE APUNTE SOBRE SU REPERCUSIÓN ECO-GEOMORFOLÓGICA.....	1127
NUNES, A., VIEIRA, A., LOURENÇO, L., BENTO-GONÇALVES, A. EROSIVIDADE DA PRECIPITAÇÃO EM PORTUGAL CONTINENTAL: VARIAÇÃO ESPACIAL E TENDÊNCIAS NA SEGUNDA METADE DO SÉCULO XX.....	1134
SALGADO, P. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA Y GESTIÓN DE SEQUÍAS.....	1144
ROYÉ, D., MARTÍ EZPELETA, A., HORACIO, J. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA SENSACIÓN TÉRMICA EN GALICIA.....	1154

TROYA LÓPEZ, J., CAPÓ ESTEVA, D. L'ILLA DE CALOR NOCTURNA A DIVERSOS NUCLIS DE POBLACIÓ DE MALLORCA.....	1166
DE UÑA ÁLVAREZ, E. PATRIMONIO GEOMORFÓGICO EN LA DIMENSIÓN LOCAL. FORMAS GRANÍTICAS EN GALICIA MERIDIONAL (NW PENÍNSULA IBÉRICA) .....	1174
VENTURA, J. NORONHA DUARTE, Á., LEITÃO, J A SECA DE 2011/2012 EM PORTUGAL: DÉFICES DE PRECIPITAÇÃO, CAUSAS METEOROLÓGICAS E CONSEQUÊNCIAS .....	1184
VIEIRA, A., BENTO GONÇALVES, A., LOURENÇO, L., NUNES, A., CASTRO, A., SALGADO, J. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DA EROÇÃO PÓS-INCÊNDIOS APLICADAS EM CANAIS (NW DE PORTUGAL) .....	1194

# **O CONTRIBUTO DOS SIG E DA DETECÇÃO REMOTA NO ESTUDO DO GLACIAR HORCONES INFERIOR (ACONCÁGUA, ARGENTINA)**

**MOTA, CARLA**

Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT),  
Universidade de Coimbra  
[carlaalexmota@gmail.com](mailto:carlaalexmota@gmail.com)

**CORREIA, MARTA**

Mestranda em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade do Minho

**VIEIRA, ANTÓNIO**

Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT)  
Departamento de Geografia, Universidade do Minho

**CUNHA, LÚCIO**

Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT)  
Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra

## **Resumo**

O glaciar Horcones Inferior localiza-se na Cordilheira dos Andes, a Sul do seu ponto mais elevado, o Aconcágua (6962 metros). Trata-se de um glaciar que apresenta uma dinâmica de tipo “surge”, caracterizada pela alternância de movimentos de recuo e avanço em fases de tempo mais ou menos periódicas. Devido à intensa dinâmica periglacial a nível de vertentes o glaciar apresenta-se sobreposto por material detrítico (glaciar coberto), facto que condiciona toda a sua dinâmica. Para a análise da sua dinâmica recorreremos às tecnologias de informação geográfica, nomeadamente a deteção remota e os SIG.

**Palavras chave:** Glaciar Horcones Inferior, Andes argentinos, SIG, Deteção remota.

## **Abstract**

THE USE OF GIS AND REMOTE SENSING IN THE STUDY OF GLACIER HORCONES INFERIOR (ACONCAGUA, ARGENTINA).

Glacier Horcones Inferior is located in the Andean mountain range, just south of its highest point, the Aconcagua (6962 m). This glacier has a surge type dynamics, characterized by alternating movements, back and forth, more or less periodical. Due to slopes' intense periglacial dynamics, the glacier is covered with debris (covered glacier) with thickness around 1 m, influencing its dynamics. For the analysis of the glacier dynamics, geographical information technologies were used, namely remote sensing and SIG.

**Keywords:** Glacier Horcones Inferior, Argentinean Andes, GIS, Remote sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas têm sido objecto de estudos recentes e a temática está na ordem do dia. Desde os trabalhos de Lonnie Thompson, da Universidade do Estado de Ohio, Estados Unidos, na década de 70, que os geofísicos se voltaram para os glaciares de montanha para estudar os paleoclimas. Thompson dirigiu a sua atenção para os glaciares presentes nas montanhas próximas dos trópicos e concluiu que muitos dos glaciares de montanha estavam a diminuir rapidamente. De acordo com a sua previsão, as neves do Kilimanjaro iriam desaparecer até 2015. Desde essa altura, a comunidade científica percorre os glaciares do mundo (polares ou de montanha), tentando estabelecer uma correspondência entre as alterações/oscilações climáticas globais e o avanço e recuo dos glaciares.

A área do Cerro Aconcágua tem sido alvo de vários estudos e investigações ao longo do século XX e XXI. Todos eles se revestem de importância vital para a compreensão dos processos geológicos, geomorfológicos e glaciológicos, embora com perspectivas distintas e com reflexo da época em que aparecem. Nesta área de montanha, o trabalho de campo é essencial para uma correcta compreensão dos processos actuais e, particularmente, da evolução do glaciar Horcones Inferior no Holocénico. No entanto, a utilização dos SIG e da Detecção Remota podem auxiliar os estudos no terreno e enriquecer as temáticas da investigação.

## 2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

Contextualização geográfica/geológica

O Cerro Aconcágua (Figura 1 e 2) situa-se na Cordilheira Andina, sensivelmente paralela à linha de costa sul-americana. Esta cordilheira apresenta uma extensão superior a oito mil quilómetros, desde o Chile até à Venezuela, e uma altitude média superior a 4000 metros. O seu pico mais alto, o Aconcágua, atinge 6962 metros de altitude. Apesar de estreita (os trechos mais estreitos rondam os 150-160 km), em comprimento é a maior cadeia montanhosa do planeta.

Os Andes Centrais constituem uma barreira contínua, paralela à costa pacífica, bastante elevada e com alguns vales largos e profundos. Com uma orientação predominantemente N-S, os seus vales obedecem a uma orientação E-O, destacando-se os vales do Rio Mendoza e do Rio Horcones, cujas águas são provenientes do degelo glaciar das montanhas circundantes, nomeadamente o Cerro Tolosa (5432 m), o vulcão Tupungato (6858 m) e o Aconcágua (6962 m).

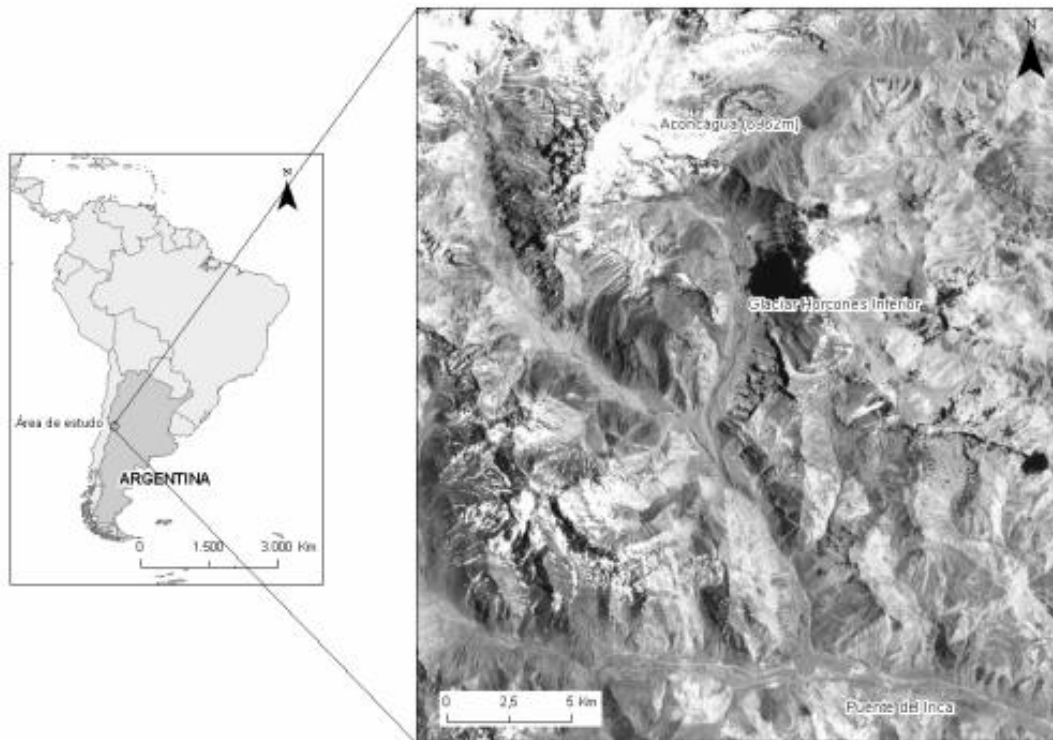
Apesar de ser uma área com altitudes bastante elevadas, a verdade é que, pela sua posição em latitude, as precipitações na área do Aconcágua são muito reduzidas. A área em estudo localiza-se sensivelmente na zona ocupada pelas altas pressões subtropicais, onde os Andes funcionam como uma barreira, dividindo os anticiclones pacíficos dos atlânticos. Segundo Lichtenstein (1971) e Minetti (1986), no verão estes anticiclones são separados por uma célula de baixas pressões com características termo-orográficas.

A vertente oriental é afectada pelo efeito de Foehn, que na Argentina é designado por Zonda, e que corresponde a um vento quente e seco proveniente dos Andes. Deste modo, os quantitativos de precipitação em Ponte del Inca (2700 m) raramente ultrapassam os 200-300 mm/ano e mais de 50 dias de precipitação. Trata-se, portanto, de uma área árida e com muito pouca cobertura vegetal. Sendo assim, predomina um



bioma tipo estepe rala, onde aparecem arbustos ocasionais e gramíneas, essencialmente junto às linhas de água e aos depósitos. No entanto, com o efeito da altitude, a vegetação vai-se tornando cada vez mais rara e com mais nanismo, desaparecendo por completo a partir dos 3600-3700 m.

*Figura 1. Localização do Glaciar Horcones Inferior*



(Fonte de dados: ESRI)

*Figura 2. Cerro Aconcágua - face sul. O mirador localiza-se na moreia de Horcones.*



Localizado no Parque Provincial do Aconcágua, na província de Mendoza, Argentina, o glaciar Horcones Inferior (Figura 3) encontra-se compreendido entre os 32°40'36''S e 32°45'01''S de latitude e os 69°59'48''W e 69°57'41''W de longitude. Situado numa área de relativa acessibilidade, já que numa das suas margens existe um trilho de trekking, o glaciar estende-se desde os 4350 m, na base da face sul do Cerro Aconcágua, até aos 3460 m, a montante de Confluência, numa extensão de aproximadamente de 12 km. A sua largura é mais ou menos constante até chegar à área em que se divide em duas línguas. Até aí, o glaciar apresenta uma largura que ronda os 400 m.

*Figura 3. Glaciar Horcones Inferior. Vê-se nitidamente a carga detritica supraglaciaria no glaciar rochoso.*



O Horcones Inferior é um dos glaciares localizado a menor altitude na cordilheira andina e a sua existência está fortemente relacionada com a alimentação proveniente das avalanches de neve da face sul do Aconcágua. Trata-se de um glaciar coberto por detritos resultantes dos inúmeros processos erosivos actuais que diariamente alimentam uma cobertura detritica com cerca de 1 metro de espessura. Esta camada detritica cobre o glaciar desde a sua área de acumulação até ao seu término. A língua secundária parece ter uma carga detritica ainda maior do que o glaciar em si. Trata-se de uma língua rochosa, designada por forma cataglaciaria, detritica, permanentemente gelada que se movimenta no vale ainda com alguma capacidade para criar moreia na área de cisalhamento. A quantidade de gelo no seu seio é muito menor do que no glaciar Horcones Inferior, de tal forma que a sua capacidade de ablação é muito pequena. O ribeiro que escorre da sua base é extremamente reduzido e, mesmo em pleno verão, o ribeiro é praticamente inexistente.

O glaciar Horcones Inferior apresenta, do ponto de vista da dinâmica glaciaria, um comportamento designado por *surge*. Estes glaciares alternam movimentos de recuo e avanço em fases de tempo mais ou menos periódicas. Estas fases podem ser mais curtas ou mais longas dependendo do glaciar. A maioria dos glaciares *surge* deslizam como um tampão. No entanto, durante este episódio ocorrem deformações superficiais e internas no glaciar. Segundo Raymond *et al.* (1987), esta deformação parece estar associada a extensos regimes de fluxos, sendo que 95% se devem a deslizamento basal e apenas 5% a fluxos devidos a deformação plástica ocorrida durante o *surge*.

### 3. OBJETIVOS E METODOLOGIAS

O objetivo deste trabalho reside na identificação das capacidades de análise de dinâmicas glaciares recentes com recurso a Tecnologias de Informação Geográfica (Sistemas de Informação Geográfica e Deteção Remota). Neste contexto, recorre-se a ferramentas de deteção remota para obtenção de dados relativos à extensão das massas de gelo presentes na vertente Sul do Aconcágua, nomeadamente no vale do Horcones Inferior.

Após a análise de imagens do satélite Landsat, referentes ao período considerado entre 1975 e 2011, procedeu-se à delimitação da área do glaciar, ao cálculo do comprimento e da área nos diferentes momentos considerados e à análise da sua dinâmica, com recurso às ferramentas disponibilizadas pelo ArcGIS (ESRI).

Pretende-se, portanto, com este trabalho estudar e compreender as características do glaciar Horcones Inferior, assim como os factores que o condicionam, por forma a tentar compreender o seu comportamento face às alterações climáticas.

Para a análise da evolução do glaciar Horcones Inferior procedeu-se à recolha e seleção de imagens de satélite do Landsat. Selecionaram-se imagens dos satélites Landsat 2 (sensor MSS) e Landsat 5 (sensor TM), referentes aos anos de 1975 (obtida a partir do Landsat 2) e 1985 a 2011 (todas obtidas a partir do Landsat 5).

A escolha das imagens teve como objetivo não só a identificação da dinâmica geral do glaciar ao longo do período de tempo estabelecido, mas também a análise do seu comportamento em dois momentos específicos, relacionados com a ocorrência de fenómenos do tipo “surge” (referentes aos eventos de 1984 e de 2004), característicos neste glaciar.

As imagens selecionadas encontram-se descritas na tabela I.

*Tabela I: Imagens de satélite utilizadas e suas características*

Satélite	Sensor	Path/Row	Data	Resolução Espacial
Landsat 2	MSS	249/083	1975/02/13	60 m
Landsat 5	TM	233/083	1985/01/25	30 m
Landsat 5	TM	233/083	1986/01/28	30 m
Landsat 5	TM	233/083	1986/05/04	30 m
Landsat 5	TM	232/083	1987/02/09	30 m
Landsat 5	TM	233/083	1989/03/17	30 m
Landsat 5	TM	233/083	1995/12/02	30 m
Landsat 5	TM	233/083	2003/12/29	30 m
Landsat 5	TM	233/083	2004/03/02	30 m
Landsat 5	TM	233/083	2005/11/16	30 m
Landsat 5	TM	233/083	2006/02/20	30 m
Landsat 5	TM	233/083	2011/03/23	30 m

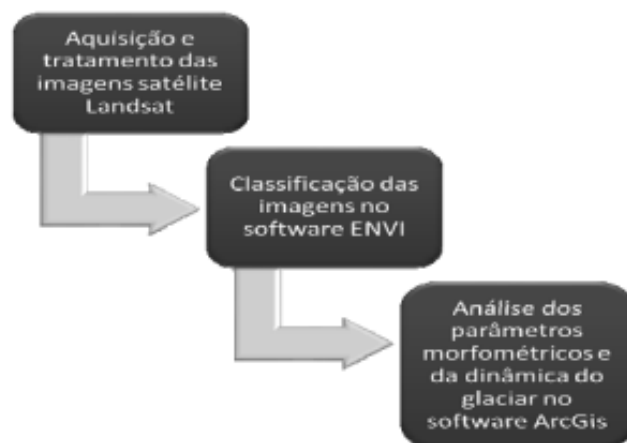
Numa primeira fase procedeu-se à análise das imagens de satélite, com recurso ao software ENVI. Após as etapas de pré-processamento, procedeu-se à classificação das imagens, determinando-se classes temáticas previamente estabelecidas. Esta etapa revelou-se imprescindível, uma vez que este tipo de glaciar se apresenta coberto de detritos, atingindo no glaciar Horcones Inferior mais de um metro de espessura, facto que dificulta o reconhecimento directo da forma e extensão do próprio glaciar.

Para o processo de classificação utilizou-se uma classificação não-supervisionada,

empregando-se o método ISODATA.

Após o processo de classificação, exportaram-se os resultados para formato shapefile, com o objetivo de se proceder à análise morfométrica das áreas glaciadas e em especial do glaciador, em ambiente SIG, recorrendo ao *software* ArcGIS (ESRI).

Figura 4. Metodologia de análise da dinâmica do glaciador Horcones Inferior.



Extraídos os polígonos correspondentes à extensão do glaciador, procedeu-se ao cálculo das áreas e comprimentos do glaciador nos momentos correspondentes às datas das imagens de satélite analisadas, e posterior análise da evolução da área e extensão do glaciador no período considerado.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Da análise das imagens satélite e seu posterior tratamento em ambiente SIG, constatamos que, no período em análise (1975 a 2011), o glaciador Horcones Inferior registou um avanço significativo, quer em termos de área ocupada, quer em termos de comprimento. A análise das imagens mais antigas confirmam a manutenção da frente do glaciador relativamente estável entre 1975 e 1985, atingindo uma extensão de 6,17 km neste último ano (Figura 5). Aqui, a frente do glaciador estaria estável a uma cota de 4050 m, aproximadamente. A ausência de imagens de satélite entre 1975 e 1985 não nos permite, no entanto, ser conclusivos relativamente a esta situação, podendo ter-se verificado movimentos, ainda que pouco significativos.

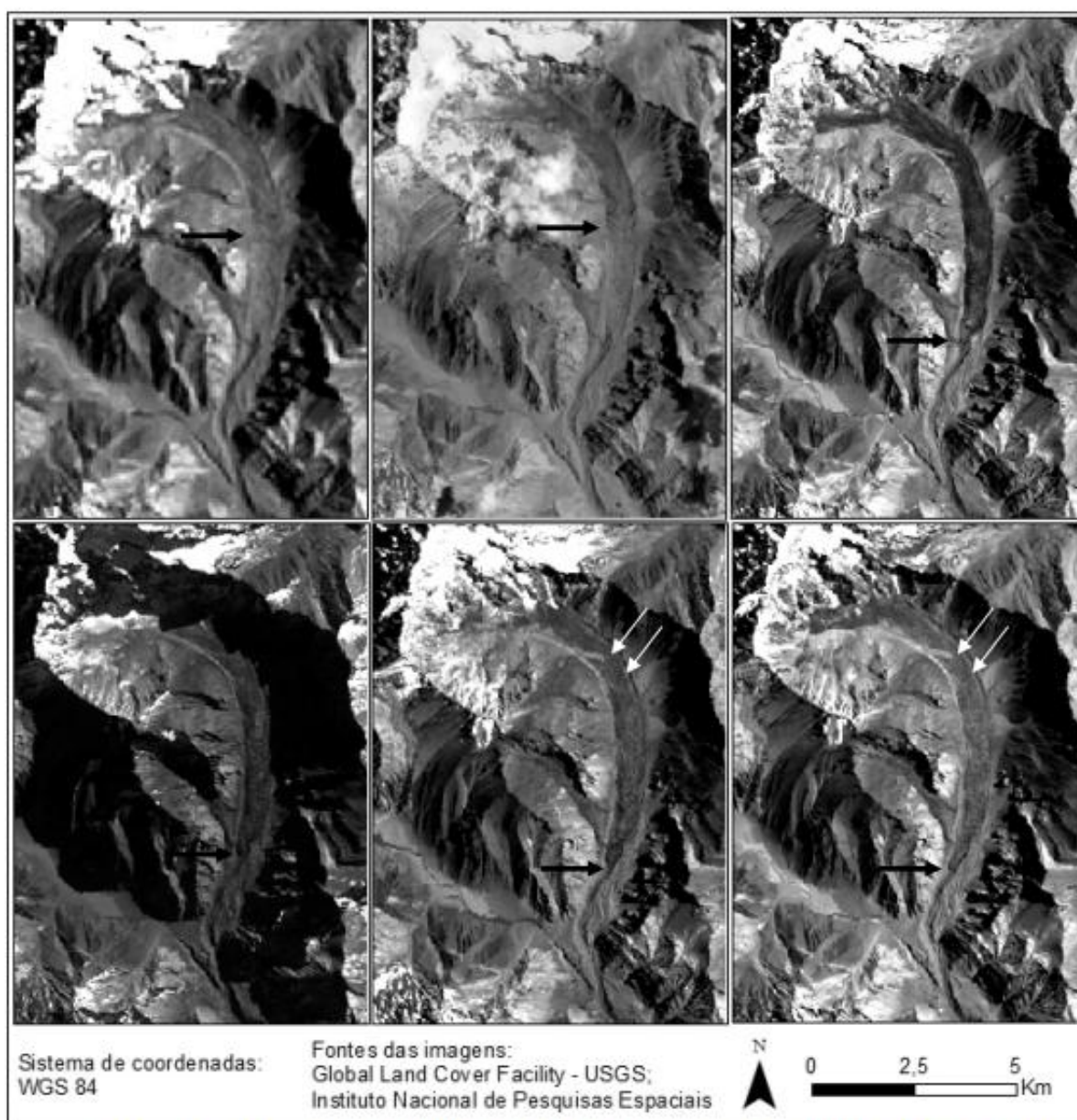
Porém, a análise das imagens de 1986 (Figura 5) mostram já diferenças significativas relativamente a 1985. Em 1986 o glaciador apresentava já uma extensão de 8,60 Km, relacionando-se com uma fase de avanço associada a um evento *surge* que se teria iniciado em 1984, como referido na bibliografia. Aqui o glaciador avançou até uma cota aproximada de 3900 m.

Nos anos seguintes observou-se um progressivo aumento da extensão do glaciador, estabilizando-se a frente do glaciador em 1989, a uma cota aproximada de 3750 metros de altitude, atingindo um comprimento de 9,22 Km e abrangendo uma área de 5,79 km<sup>2</sup> (Tabela II).

Com efeito, durante a década de 90 e até 2002, a frente do glaciador não terá sofrido alterações significativas (como a imagem referente ao ano de 1995 pode confirmar -

Figura 6). Durante este período, o glaciar poderá ter sofrido um processo de perda de massa devido à ablação, pouco perceptível nas imagens de satélite devido à cobertura detritica. No entanto, a imagem parece mostrar um glaciar mais recortado e sensivelmente mais claro, o que poderá resultar de um aumento da ablação. A confirmação desta teoria poderá estar nas imagens de 2003 e 2004, em que, até aquela data, se observa a permanência de formas superficiais na mesma posição, evidenciando a deslocação destas marcas a partir de 2003 o movimento *surge* do próprio glaciar.

Figura 5. Posição do Glaciar Horcones Inferior em 1975, 1985, 1986 (Janeiro), 1986 (Junho), 1987 e 1989, respetivamente.



(Setas vermelhas marcam posição da frente do glaciar; setas amarelas indicam formas superficiais)

Só a partir de 2003 se processou, portanto, o avanço significativo do glaciar incorporando o material de vertente e morénico e deslocando-os para jusante. É a partir

de 2003 que se desencadeia o novo processo de *surge*, que se vai estender até sensivelmente 2006, atingindo nesta data uma extensão de 11,52 Km, a extensão máxima alcançada durante o período de tempo em análise. Aqui o glaciar Horcones Inferior estabiliza a uma cota aproximada de 3500 m e apresenta uma área de cerca de 6,09 km<sup>2</sup> (Tabela II).

*Tabela II: Área e extensão do glaciar nos diversos anos analisados*

Data	Extensão do Glaciar	Área do Glaciar
13/02/1975	5,74 km	3,50 km <sup>2</sup>
25/01/1985	6,17 km	3,93 km <sup>2</sup>
28/01/1986	8,51 km	4,86 km <sup>2</sup>
04/05/1986	8,60 km	5,19 km <sup>2</sup>
09/02/1987	9,13 km	5,30 km <sup>2</sup>
21/02/1989	9,22 km	5,79 km <sup>2</sup>
05/01/1995	9,10 km	4,99 km <sup>2</sup>
29/12/2003	7,81 km	4,45 km <sup>2</sup>
02/03/2004	8,22 km	5,56 km <sup>2</sup>
16/11/2005	10,87 km	5,74 km <sup>2</sup>
20/02/2006	11,52 km	6,09 km <sup>2</sup>
23/03/2011	11,48 km	6,12 km <sup>2</sup>

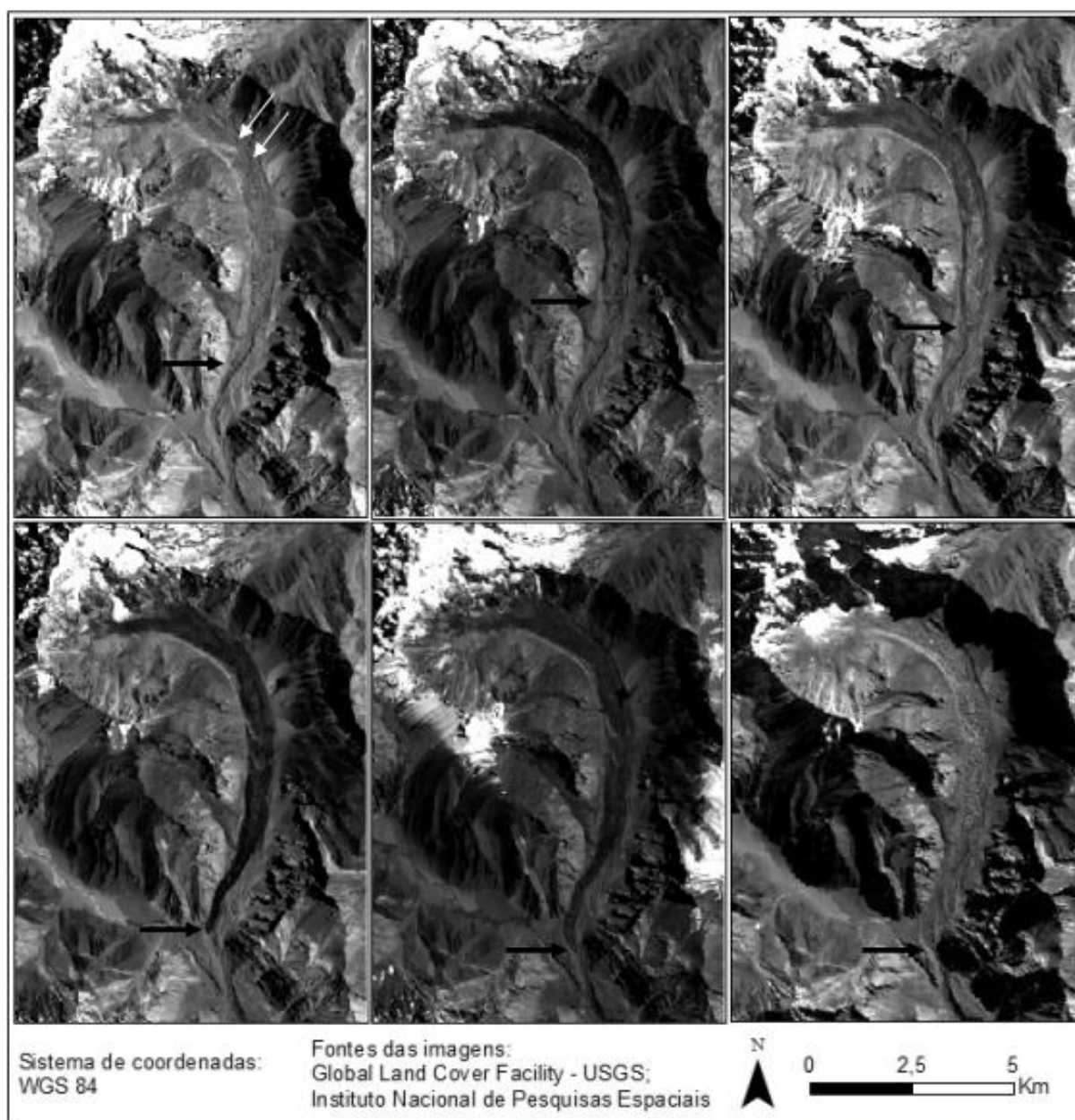
O surge foi também responsável pelo aumento da pressão sobre a moreia frontal, que se encontrava a montante de Confluência. Ao atingir a moreia, o glaciar provocou o seu desmantelamento parcial, tentando arranjar um local para progredir. A frente do glaciar está a construir um till de ablação, desmantelando ao mesmo tempo a moreia frontal que tem à sua frente, através da erosão glacial e fluvial. Atualmente, esta moreia, na secção central em frente ao lóbulo frontal, já praticamente desapareceu e nalgumas áreas permanecem pequenos vestígios com menos de dois a três metros de altura.

Sendo assim, constata-se que este glaciar observou um avanço ao longo do período analisado em termos de comprimento. Aparentemente, o glaciar não avança apenas no terreno mas regista igualmente um crescimento da sua massa. No entanto, este crescimento poderá ser meramente aparente, já que tal não nos foi possível aferir a partir das imagens de satélite. Segundo Milana (2007), o glaciar sofreu um abaixamento de 30 m, para uma espessura média de 70m. Isto significaria um emagrecimento de cerca de 30% da massa do glaciar.

Apesar de se tratar de um glaciar que apresenta uma dinâmica de tipo surge, e de termos observado a sua ocorrência e consequências em termos de comportamento do glaciar, há ainda questões que se apresentam de difícil esclarecimento, nomeadamente se é efetivo o seu crescimento a nível da massa, tal como o é no que à sua extensão diz respeito ou se, pelo contrário, se trata apenas de uma deslocação do glaciar no vale.

A partir de 2006 e até 2011 não se observam movimentos significativos da frente do glaciar, embora o trabalho de campo efetuado indicie uma perda de massa, essencialmente nos setores intermédios, confirmando as referências de Milana (2007) a este respeito.

Figura 6. Posição do Glaciar Horcones Inferior em 1995, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2011, respetivamente.



(Setas preto marcam posição da frente do glaciar; setas branco indicam formas superficiais)

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho reside na identificação das capacidades de análise de dinâmicas glaciares recentes com recurso a Tecnologias de Informação Geográfica e avaliação dessas mesmas dinâmicas no caso do glaciar Horcones Inferior, durante o período compreendido entre 1975 e 2011. Neste contexto, recorreu-se a ferramentas de deteção remota para obtenção de dados relativos à extensão das massas de gelo presentes na vertente Sul do Aconcágua, especificamente no vale do Horcones Inferior,

onde se desenvolve o glaciar com a mesma designação.

Após a análise de imagens do satélite Landsat, referentes ao período definido, procedeu-se à delimitação da área do glaciar, ao cálculo da área nos diferentes momentos considerados e análise da sua dinâmica, com recurso às ferramentas disponibilizadas pelo ArcGIS (ESRI).

Desta forma, foi possível identificar, com base nos dados disponíveis, que o glaciar sofreu uma evolução positiva em termos de comprimento, sendo que a evolução foi bastante significativa entre 1975 e 2011.

Apesar de se concluir esta evolução positiva da extensão do glaciar, verificou-se que este comportamento foi condicionado pela ocorrência de fenómenos de tipo *surge* que caracterizam este glaciar, pelo que é fundamental o aprofundamento destes estudos por forma a avaliar a real influência desta dinâmica particular no funcionamento do glaciar e demais fatores, como por exemplo o efeito das alterações climáticas.

## BIBLIOGRAFIA

- BENNETT, M.R., D. HUDDART AND R.I. WALLER (2000): "Glaciofluvial crevasse and conduit fills as indicators of supraglacial dewatering during a surge, Skeidara' rjo" kull, Iceland". *J. Glaciol.*, 46(152), 25–34.
- BRIZUELA, K. (1999): *Estudio geofísico de glaciares en el Valle del Colorado (Dpto. Calingasta) y en sector sur del Cerro Aconcagua (Mendoza)*. (Licenciatura thesis, Universidad Nacional de San Juan.)
- BUDD, W.F. AND T.H. JACKA. (1989): "A review of ice rheology for ice sheet modeling". *Cold Reg. Sci. Technol.*, 16(2), 107–144.
- CORTE, A.E. (1976): "Correspondence. The hydrological significance of rock glaciers". *J. Glaciol.*, 17(75), 157–158.
- CORTE, A.E., ESPIZUA, L.E., (1981): *Inventario de glaciares de la cuenca del Río Mendoza. IANIGLA-CONICET*. Mendoza, Argentina, pp. 5–62, 19 planos.
- EREÑO, C.E., HOFFMANN, J.A., (1976): *El régimen pluvial de la Cordillera Central*. Departamento de Geografía. Buenos Aires.
- ESPIZUA, L.E., (1982): "Glacier and moraine inventory on the eastern of Cordón del Plata and Cordón del Portillo, Central Andes, Argentina". In: Evenson, E., Sclüchter, C., RABASSA, J., (eds.), *Tills and Related Deposits Genesis / Petrology / Application / Stratigraphy. INQUA Symposia on the Genesis and Lithology of Quaternary Deposits, USA 1981 / Argentina 1982*. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 381–395.
- ESPIZUA, L.E., (1986): "Fluctuations of the Rio del Plomo glaciers". *Geografiska Annaler* 68A, 317–327.
- ESPIZUA, L.E., (2005): "Holocene glacier chronology of Valenzuela Valley, Mendoza Andes, Argentina". *The Holocene* 15(7), 1079–1085.
- ESPIZUA, L.E., BENGOCHEA, J.D., (1990): "Surge of Grande del Nevado Glacier (Mendoza, Argentina) in 1984: its evolution through satellite images". *Geografiska Annaler* 72A(3–4), 255–259.
- ESPIZUA, L.E., PITTE, P., (2009): *The Little Ice Age in the Andes of Mendoza, Argentina. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- ESPIZUA, L.E., FERRI-HIDALGO, L. GARGANTINI, H., PITTE, P., (2006): *Ambiente y Procesos glaciares y periglaciares en Lama-Veladero, San Juan, Argentina*. Subsecretaría de Minería de la Provincia de San Juan, 57 pp., 13 mapas.



- ESPIZUA, L.E., MALDONADO, G.I., (2007): "Glacier Fluctuations in the Central Andes of Mendoza, Argentina from 1894/1896 to 2005". In: Scarpati, O.E., Jones, A.A. (eds), *Environmental Change and Rational Water Use*. Orientación Gráfica Editora S.R.L., Buenos Aires, pp. 353–366.
- ESPIZUA, L.E., PITTE, P., FERRI HIDALGO, L., (2008): "Horcones Inferior glacier surge". In: *Fluctuations of Glaciers for 2000-2005*. Vol. IX. Prepared by World Glacier Monitoring Service, (WGMS) ICSU (FAGS)-IUGG (IACS)-UNEP-UNESCO-WMO, pp. 41-42.
- HAMBREY, M.J., J.A. DOWDESWELL, T. MURRAY, P.R. PORTER. (1996): "Thrusting and debris entrainment in a surging glacier: Bakaninbreen, Svalbard". *Ann. Glaciol.*, 22, 241–248.
- KAMB, B. (1987): "Glacier surge mechanism based on linked cavity configuration of the basal water conduit system". *J. Geophys. Res.*, 92(B9), 9083–9100.
- KAMB, B. ET AL. (1985): "Glacier surge mechanism: 1982–1983 surge of Variegated Glacier, Alaska". *Science*, 227(4686), 469–479.
- LAWSON, W.J., M.J. SHARP, M.J. HAMBREY. (1994): "The structural geology of a surge-type glacier". *J. Struct. Geol.*, 16(10), 1447–1462.
- Lliboutry, L. (1958): "Studies of the shrinkage after a sudden advance, blue bands and wave ogives on Glaciar Universidad (central Chilean Andes)". *J. Glaciol.*, 3(24), 261–270.
- MILANA, J.P. AND A. MATURANO. (1999): "Application of radio echo sounding at the arid Andes of Argentina: the Agua Negra Glacier". *Global Planet. Change*, 22(1–4), 179–191.
- MILANA, J.P., A. MATURANO, F. CROCE. (1999): "Un modelo de glaciación árida basado en datos geofísicos y geomorfológicos de los Andes de Cuyo: retroceso, metamorfosis y glaciares estratificados". *XIV Congreso Geológico Argentino (19–24 September 1999, Salta, Argentina)*, Actas 56.
- MILANA, JUAN PABLO, (2007): "A model of the Glaciar Horcones Inferior surge, Aconcagua region, Argentina", *Journal of Glaciology*, Vol. 53, No. 183, 2007, 565-572.
- PATERSON, W.S.B. (1994): *The physics of glaciers. Third edition*. Oxford, etc., Elsevier.
- RAYMOND, C.F. (1987): "How do glaciers surge? A review". *J. Geophys. Res.*, 92(B9), 9121–9134.
- RAYMOND, C., T. JOHANNESSEN, T. PFEFFER AND M. SHARP. (1987): "Propagation of a glacier surge into stagnant ice". *J. Geophys. Res.*, 92(B9), 9037–9049.
- ROTHLISBERGER, H. (1972): "Water pressure in intra- and subglacial channels". *J. Glaciol.*, 11(62), 177–203.
- RUSSELL-HEAD, D.S. AND W.F. BUDD. (1979): "Ice-sheet flow properties derived from bore-hole shear measurements combined with icecore studies". *J. Glaciol.*, 24(90), 117–130.
- SHARP, M. (1988): "Surging glaciers: behaviour and mechanisms". *Progr. Phys. Geogr.*, 12(3), 349–370.
- WALDER, J.S. AND A. FOWLER. (1994): "Channelized subglacial drainage over a deformable bed". *J. Glaciol.*, 40(134), 3–15.