



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

### **Evolución de los glaciares en los macizos de Balaitús y Posets**

Evolution of the glaciers in the massifs of Balaitus  
and Posets

Autor/es

Anayet Pérez Bello

Director/es

Daniel Ballarín Ferrer

Facultad de Filosofía y Letras

2017

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6-10</b>
1.1 Presentación y justificación del proyecto .....	6
1.2 Conceptos .....	7
1.3 Evolución climática mundial.....	7-9
1.4 La evolución reciente del glaciario pirenaico aragonés .....	9-10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>10-11</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>11-20</b>
3.1 Localización en el macizo de Balaitús .....	11-12
3.2 Localización en el macizo de Posets.....	12
3.3 Características generales .....	13-18
3.3.1 Litología y geomorfología en el macizo de Balaitús .....	13-15
3.3.2 Litología y geomorfología en el macizo de Posets .....	15-18
3.4 Climatología .....	18-20
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>20-22</b>
4.1 Información empleada .....	20
4.2 Fases de trabajo .....	21-22
<b>5. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>22-47</b>
5.1 Perímetros glaciares .....	23-28
5.1.1 Perímetros glaciares en el macizo de Balaitús .....	22-25
5.1.2 Perímetros glaciares en el macizo de Posets.....	25-28
5.2 Orientaciones en los macizos glaciares .....	29-32
5.2.1 Orientaciones en el macizo de Balaitús.....	29-31
5.2.2 Orientaciones en el macizo de Posets .....	31-32
5.3 Pendientes en los macizos glaciares .....	33-40
5.3.1 Pendientes en el macizo de Balaitús .....	33-37
5.3.2 Pendientes en el macizo de Posets.....	37-40
5.4 Radiación solar en los macizos glaciares .....	41-46
5.4.1 Radiación solar en el macizo de Balaitús.....	41-44
5.4.2 Radiación solar en el macizo de Posets .....	44-46

<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>46-47</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>48-50</b>
7.1 Fuentes bibliográficas.....	48-49
7.2 Sitios Webs.....	49-50
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>51-76</b>

## Índice de mapas

Mapa 1. Mapa de localización del macizo de Balaitús.....	12
Mapa 2. Mapa de localización del macizo de Posets. ....	13
Mapa 3. Geomorfología en los circos glaciares de Balaitús.....	14
Mapa 4. Esquema geomorfológico del grupo de Posets.....	17
Mapa 5. Perímetros glaciares en el macizo de Balaitús.....	24
Mapa 6. Perímetros glaciares en el macizo de Posets. ....	27
Mapa 7. Mapa de orientación en el macizo de Balaitús. ....	30
Mapa 8. Mapa de orientación Sur en el macizo de Balaitús. ....	31
Mapa 9. Mapa de orientación en el macizo de Posets. ....	32
Mapa 10. Mapa de orientación Sur en el macizo de Posets. ....	33
Mapa 11. Mapa de pendientes en el macizo de Balaitús .....	34
Mapa 12. Mapa de pendientes en el macizo de Posets.....	38
Mapa 13. Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 1946) .....	42
Mapa 14. Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 1983) .....	43
Mapa 15. Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 2004) .....	44
Mapa 16. Radiación solar anual en el macizo de Posets (año 1981). ....	45
Mapa 17. Radiación solar anual en el macizo de Posets (año 2006). ....	45

## Índice de tablas

Tabla 1. Tabla cronoestratigráfica.....	8
Tabla 2. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Frondellas. ....	25
Tabla 3. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Brecha Latour.. ....	25
Tabla 4. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de SE Balaitús.....	26
Tabla 5. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Llardana.. ....	28
Tabla 6. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de La Paúl..	28
Tabla 7. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Posets... 28	28
Tabla 8. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Frondellas Brecha Latour y SE Balaitús en la PEH, 1946 y 1983.....	37

Tabla 9. Radiación solar media anual y de verano (WH/m <sup>2</sup> ) de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en el año 1946..	43
Tabla 10. Radiación solar media anual y de verano (WH/m <sup>2</sup> ) de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en el año 1983..	44
Tabla 11. Radiación solar media anual y de verano (WH/m <sup>2</sup> ) de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en el año 2004..	45
Tabla 12. Radiación solar media anual y de verano (WH/m <sup>2</sup> ) de los glaciares Llardana, La Paúl y Posets en el año 1981..	46
Tabla 13. Radiación solar media anual y de verano (WH/m <sup>2</sup> ) de los glaciares Llardana, La Paúl y Posets en el año 2006.	47

## Índice de figuras

Figura 1. Evolución de la temperatura del Planeta Tierra.....	8
Figura 2. Localización de los macizos pirenaicos actualmente glaciados (Balaitús, Infiernos, Vignemale, Monte Perdido, La Munia, Posets, Perdiguero, Maladeta).....	11
Figura 3. Climograma de Benasque.....	20
Figura 4. Evolución de los perímetros glaciares en el macizo de Balaitús. ....	24
Figura 5. Evolución de los perímetros glaciares en el macizo de Posets. ....	27
Figura 6. Direcciones de orientación.....	29
Figura 7. Puntos cardinales con sus grados correspondientes..	29
Figura 8. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Frondellas en la PEH, 1946 y 1983. ....	36
Figura 9. Alturas máximas y mínimas en el glaciar Brecha Latour en la PEH, 1946 y 1983..	36
Figura 10. Alturas máximas y mínimas en el glaciar SE Balaitús en la PEH, 1946 y 1983. ....	37
Figura 11. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Llardana en la PEH, 1981 y 2006. ....	40
Figura 12. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de La Paúl en la PEH, 1981 y 2006. ....	40
Figura 13. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Posets en la PEH, 1981 y 2006. ....	41
Figura 14. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Llardana, La Paúl y Posets en la PEH, 1981 y 2006.....	41

## Índice de imágenes

Imagen 1. Glaciar de Brecha Latour (derecha) y SE Balaitús (izquierda) desde el pico Cristales. Picos Frondiellas y Balaitús, crestas de Costerillou y Diablo.....	15
Imagen 2. Vertiente occidental del Balaitús desde el pico Palas. Glaciar de Frondellas Norte y helero de Frondellas Sur. ....	15
Imagen 3. Glaciar de Frondellas N. Vista aérea hacia el NO. Cimas de Balaitús y Frondellas. ...	16
Imagen 4. Glaciar de La Paúl. Fuente: F.Biarge. Fecha: 3 de septiembre de 1997. ....	18
Imagen 5. Glaciar de Posets. Fuente: F.Biarge. Fecha: 3 de septiembre de 1997. ....	18
Imagen 6. Glaciar de Llardana desde la cima del pico Posets.....	19
Imagen 7. Helero de Posets y glaciar rocoso de Posets.....	19
Imagen 8. SE Balaitús (septiembre 2002).....	76
Imagen 9. SE Balaitús (octubre 2008). ....	76
Imagen 10. Frondellas (septiembre 2002). ....	77

Imagen 11. Frondellas (octubre 2008).....	76
Imagen 12. Brecha Latour (septiembre 2002) .....	77
Imagen 13. Brecha Latour (octubre 2008) .....	76

## RESUMEN

Durante las etapas más frías del Cuaternario, en los Pirineos, se desarrollaron numerosos glaciares, dando lugar a diferentes morfologías que hoy en día se puede ver en el territorio: circos, artesas glaciares, depósitos,...

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado (TFG) ha sido elaborar, a partir del empleo de herramientas de Sistemas de la Información Geográfica, diversas cartografías mostrando la evolución de los glaciares en dos macizos montañosos del Pirineo aragonés (Balaitús y Posets), con el fin de apoyar y complementar la cartografía preexistente en relación a este proceso geomorfológico en la Alta Jacetania y en la Alta Ribagorza.

Para ello se han tenido en cuenta una serie de procesos que se han visto afectados por esta evolución, los cuales han sido cartografiados y representados, haciendo alusión a variables como la orientación, las pendientes y la radiación solar.

Finalmente, se han realizado unas conclusiones sobre la actual situación de estos glaciares, y las posibles repercusiones que tendrán estos en un breve plazo de tiempo.

**Palabras clave:** glaciar, Pequeña Edad del Hielo, helero, nevero, regresión glaciar, radiación solar.

## ABSTRACT

During the coolest stages of the Quaternary period, in the Pyrenees Mountains, many glaciers were born. As a consequence of this, nowadays we can appreciate different morphologies among the territory: circus, Glacier trough, glacial deposits...

The aim of this Final Project was to create, from the use of Geographic Information Systems' tools, different cartographies showing the evolution of the glaciers in two mountain ranges of the aragonese Pyrenees (Balaitús and Posets) willing to support and complement the already existent cartography related to this geomorphological process in Alta Jacetania and in Alta Ribagorza.

To do so, many processes have been taken into account as they have already been affected by this evolution. They have been cartographed and represented, making an allusion to some variables such as orientation, gradient and solar radiation.

Finally, some conclusions have been reached about the current situation of those glaciers and the possible repercussions that those will have in a short period of time.

Key words: glacier, Little Ice Age, snowfield, glacier retreat, solar radiation.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación y justificación del proyecto

Los glaciares son formaciones geomorfológicas originadas durante el transcurso de miles de años, que han dejado sus huellas en la Tierra. El modelado del paisaje actual de montaña, se debe a la acción de estas masas heladas, cuyas marcas se pueden encontrar en diversos lugares, como son los arcos y materiales morrénicos transportados y sedimentados por los glaciares; rocas aborregadas, pulidas por el efecto abrasivo de los hielos; valles en artesa, valles colgados,... (Chueca y Andrés, 2010).

Un glaciar, podría definirse como una gran masa de hielo comprimida en movimiento debido a la acción de la gravedad, originada en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recristalización de la nieve. Debido a estos movimientos, se originan grietas, rimayas,... que producen surcos sobre el terreno, como son las morrenas laterales, terminales, etc...

*“Estas masas de hielo sólo son posibles en ambientes muy fríos en lo que la precipitación en forma de nieve es superior a la fusión. La nieve acumulada año tras año se transforma por compactación en neviza y finalmente en hielo”* (Biarge et al.2001). Por lo tanto, para que se produzca la acumulación de nieve u otra forma de precipitación, ya sea en forma de lluvia o granizo, año tras año, es necesario que se den dos condiciones: por un lado que las temperaturas sean adecuadas para que se conserve el hielo durante todo el año, y por otra parte, que el balance hídrico sea negativo, es decir, que la acumulación de agua, nieve o granizo sea superior a la pérdida de agua en la época de fusión.

A lo largo del tiempo, mediante las investigaciones realizadas, y con el desarrollo de las nuevas tecnologías o herramientas como son, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han ido conociendo más detalladamente la evolución de los glaciares.

Si se indaga en los glaciares pirenaicos aragoneses, se puede ver que la cartografía sobre éstos es muy escasa, cosa que no ocurre en otras regiones del planeta, de las cuales hay información muy detallada y actualizada (Monterroso, 2016). No obstante, este trabajo toma como referencia numerosos artículos publicados por diversos investigadores dedicados al estudio de estas masas de hielo, como son García Ruíz et al., 1998, Martínez de Pisón et al., 2000, Serrano et al., 2002, Chueca et al., 2010.

Esta investigación toma como referencia metodológica la cartografía de los glaciares de Balaitús, acometida por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2006), y los perímetros de los glaciares de Posets publicada por Chueca y Julián, tras la cual se han elaborado diversos mapas, con el uso de las tecnologías y herramientas aprendidas a lo largo del grado de Geografía y Ordenación del Territorio.

## 1.2 Conceptos

Es necesario tener claro los siguientes conceptos, ya que van a estar presentes durante el discurso del trabajo. Chueca et al., 1994 definen glaciario, helero y nevero de la siguiente manera:

**Glaciario:** aparatos con hielo glaciario, bien diagenizado, con bandeados de estratificación y grietas de tracción y fusión.

**Glaciario rocoso:** cuerpo de derrubios (restos morrénicos) y hielo que fluye bajo su propio peso.

**Helero:** es una formación claramente regresiva y sin dinamismo, que aún conserva hielos abundantes e incluso bandeados, pero que carece de grietas de tracción y, muestra un aspecto en general biselado.

**Nevero:** acumulación de nieve prolongada en el tiempo, que puede subsistir en épocas cálidas, e incluso durante varios años seguidos, pero que no permanece sobre el terreno lo suficiente como para que se produzca la diagenización y formación del hielo glaciario.

## 1.3 Evolución climática mundial

La máxima expansión de los glaciares en el mundo está vinculada a los periodos fríos del Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno). La evolución climática del Cenozoico (65 millones de años), ha variado a lo largo de la historia. Primeramente se pasó de un clima cálido, en el que no se encontraba presencia de hielo en ninguna zona del planeta, a un clima frío, con glaciaciones que han recubierto de hielo diversas zonas del planeta (últimos 2 millones de años).

Tabla 1. Tabla cronoestratigráfica: Fuente: <http://www.igeo.ucm-csic.es/igeo/noticias/237-nueva-tabla-cronoestratigr%C3%A1fica-es-espa%C3%B1ol>. Elaboración propia.

Era	Período	Época	Piso	Subpiso	Millones años
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno			0,011784
		Pleistoceno	Superior		2,588
			Medio		
			Inferior	Calabriense Gelasiense	
	Neógeno	Plioceno			5,332
		Mioceno	Messiniense		23,03
	Paleógeno	Oligoceno			33,9±0,1
		Eoceno			55,8±0,2
		Paleoceno			65,5±0,3

Se dieron diferentes variaciones de temperaturas. A pesar de que se produjeron bajadas de temperatura media, no fue uniforme en el tiempo, ya que hubo periodos en los que las temperaturas aumentaron, y la extensión de los hielos disminuyó. A esto se le añadió, la existencia de varios eventos de duración muy corta con marcado enfriamiento o calentamiento.



Mostrando una evolución un poco más detalladas de las épocas más representativas de la historia de la Tierra se recalca lo siguiente:

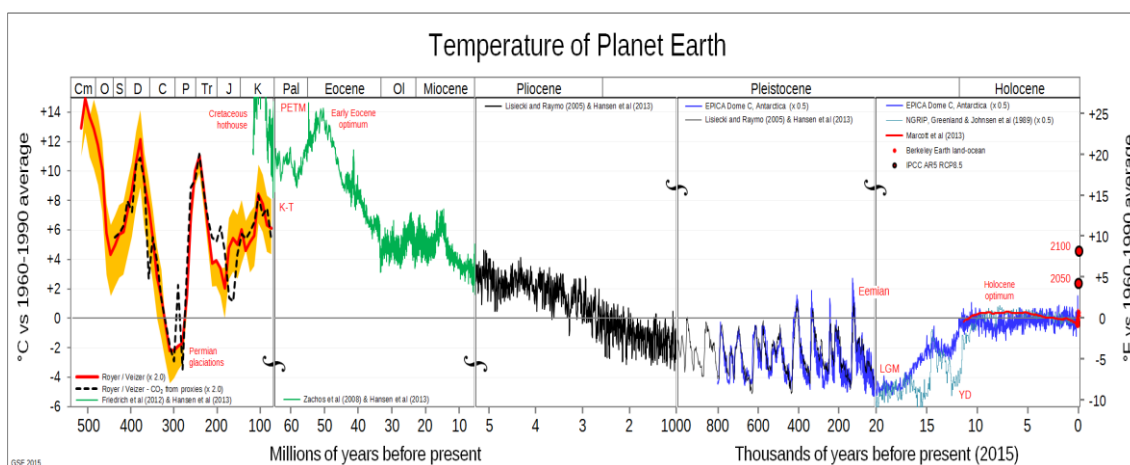


Figura 1. Evolución de la temperatura del Planeta Tierra. Fuente: [http://gergs.net/2015/06/updating-the-geological-temperature-plot/all\\_palaeotemps](http://gergs.net/2015/06/updating-the-geological-temperature-plot/all_palaeotemps)

El **Oligoceno** (segunda parte del Eoceno), manifestó un descenso de las temperaturas. Esto pudo deberse a la tectónica de placas, la distribución de los continentes y océanos en torno a la Antártida, y la actividad volcánica en el continente africano.

Durante la **primera fase del Mioceno-final Oligoceno** las temperaturas manifestaron un alto nivel. Sin embargo, en la **segunda mitad del Mioceno** (14 millones de años), se produjo un enfriamiento brusco de 6 a 7 grados (14,2 y 13,8 millones de años). A raíz de esto, el hielo continental aumentó en la Antártida.

Al **final del Mioceno** (7 Ma-5Ma), dio por finalizado un cubrimiento de manto glaciar en la Antártida y, toda Groenlandia. Tuvieron una influencia importante dos acontecimientos geológicos en el enfriamiento e, incremento de la aridez registrados en esta segunda mitad: la Orogenia Alpina y la desecación del Mediterráneo.

La **Orogenia Alpina** dio lugar a una etapa de formación de las montañas, producida durante el Mesozoico, final del Cenozoico, cuando las grandes placas tectónicas Africana e India chocaron contra la placa Euroasiática. A pesar de que los movimientos convergentes entre las placas comenzaron en el Cretácico Inferior, no fue hasta la época del Paleoceno al Eoceno, cuando se formaron las grandes etapas de formación de las montañas. Formó las principales cadenas montañosas del Sur de Europa y Asia, desde el Atlántico-Mediterráneo hasta el Himalaya (Atlas, Béticas, Cordillera Cantábrica, Pirineos, Alpes, Apeninos, Cárpatos, Balcanes, Cáucaso, Zagros, Hindu Kush, Pamir, Karakórum e Himalaya-Tíbet) (Alonso y Sesé, 1988).

Una vez finalizado el Mioceno, en el Messiniense, el **Mediterráneo** sufrió **desecaciones** repetidas ya que su conexión con el Atlántico llegó a ser tan restringida que, en ciclos de unos pocos miles de años, se abrían y cerraban por completo sucesivamente.

El clima del Pleistoceno fue, más cálido que el clima actual, aunque la tendencia al enfriamiento fue continua. El nivel de los mares era mayor que el actual, ya que se elevaba

unos 30 m. Esto se debió al menor volumen de hielo acumulado, en la Antártida y en Groenlandia.

Cuando se cerró el istmo de Panamá y, arrancaron los procesos de glaciación, cambió el clima cálido del Plioceno. Se produjo una modificación del clima del Atlántico Norte. Además, las aguas cálidas transportadas por la Corriente del Golfo, ayudaron a la iniciación de las glaciaciones en las altas latitudes del Hemisferio Norte.

Las masas de aire atlánticas se hicieron más húmedas, debido a que al aumentar la temperatura en el Atlántico Norte incrementó la evaporación. Esto se tradujo, en un ascenso de las precipitaciones en la región Siberiana. Además, las aguas del océano polar perdieron salinidad y, en consecuencia, se facilitó su congelación. Además, la congelación de las aguas superficiales del Ártico hizo aumentar el albedo esta región, y aisló el océano de la atmósfera, disminuyendo la transferibilidad de calor del agua al aire, y favoreciendo la formación de los grandes mantos de hielo de Norteamérica (Laurentino) y Europa del Norte (Fenoscandinavo).

El clima de África oriental, se hizo más árido, debido al levantamiento tectónico de la región, que había llevado a una reorganización de los vientos y, a la reducción de la entrada de aire húmedo del Índico en la zona.

A finales del Plioceno, los periodos fríos comenzaron a acumular hielo en el interior continental del norte de América y Europa. La corriente del Golfo, junto al cierre del istmo de Panamá, ayudó a la formación de los mantos de hielo, ya que se necesitaba que las nieves que caían en invierno fuesen muy intensas.

#### **1.4 La evolución reciente del glaciario pirenaico aragonés**

La Pequeña Edad del Hielo (PEH) fue una etapa de enfriamiento que afectó globalmente al planeta, desde finales del siglo XIX, motivando un ligero empeoramiento climático, cifrado en torno a los 0,5-1 grados de descenso en los valores de las temperaturas medias anuales, y alteraciones en el régimen de las precipitaciones (Grove, 1988). Ésta surgió a finales del S.XIII hasta mediados del S.XIX. Gracias a ella, los glaciares Pirenaicos Aragoneses cobraron importancia, ya que prácticamente habían desaparecido.

El actual modelado del paisaje de alta montaña, se debe a la acción de estas masas de hielo, que años atrás han ido escavando el relieve. Por lo que, en el Pirineo Aragonés, se pueden encontrar abundantes restos morrénicos correspondiente a esta época.

Las morrenas mejor conservadas de la PEH, se encuentran casi siempre, al pie de las vertientes rocosas más elevadas, donde se conjugaban condiciones idóneas topográficas y altitudinales que reducían las tasas de ablación y permitían la acumulación y conservación del hielo (Chueca, 1996).

La extensión que alcanzaron los glaciares Pirenaicos aragoneses, fueron muy reducidos en comparación con el resto de glaciares del mundo. Centrándonos en nuestro Pirineo Aragonés, los mayores glaciares existentes en la PEH eran el del Aneto, seguido de Monte Perdido, Maladeta, Tempestades y La Paúl-Posets (Chueca et al. 2002).

Como se puede ver en la Figura 2, hoy en día, los glaciares de mayores dimensiones se encuentran al Norte de la provincia de Huesca, constituyendo los únicos restos funcionales de toda la Península Ibérica y los más meridionales de Europa. En el Pirineo Aragonés, se ubican ocho macizos pirenaicos glaciados: Balaitús, Infiernos, Vignemale, Monte Perdido, La Munia, Posets, Perdiguero y Maladeta.

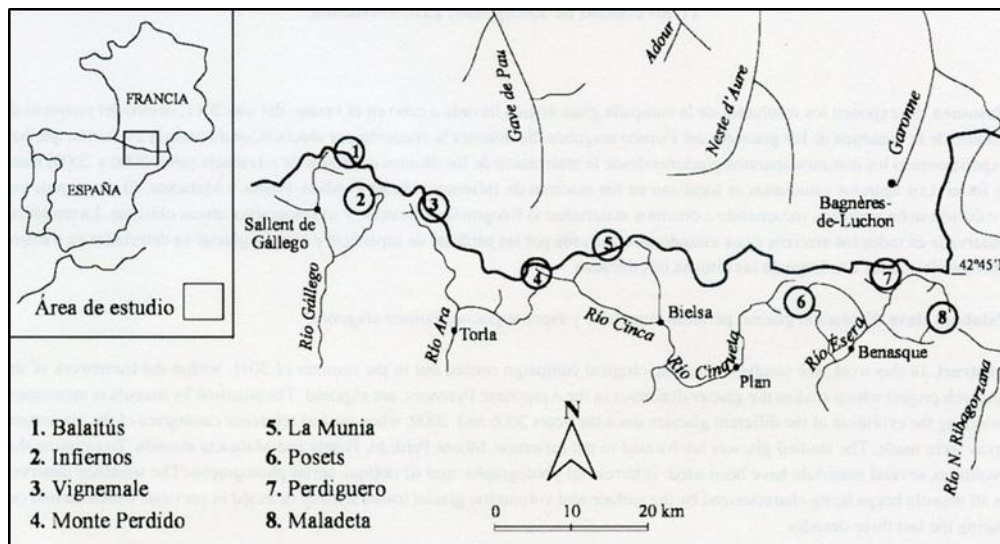


Figura 2. Localización de los macizos pirenaicos actualmente glaciados (Balaitús, Infiernos, Vignemale, Monte Perdido, La Munia, Posets, Perdiguero, Maladeta). Fuente: Boletín Glaciológico Aragonés)

Los glaciares del Pirineo aragonés, al igual que los demás glaciares del planeta, han experimentado un marcado retroceso en superficie y, en volumen relacionado con el comportamiento de elementos climáticos, y una serie de factores que se muestran en los siguientes apartados del trabajo.

## 2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar la evolución de dos glaciares pirenaicos aragoneses en los macizos de Balaitús y Posets, desde la Pequeña Edad del Hielo hasta la actualidad, y ver los cambios significativos que han tenido a lo largo de los años, mediante el empleo de imágenes aéreas. Para llevar a cabo dicho objetivo, se han formulado las siguientes hipótesis:

1.  $H_0$ : Los glaciares orientados en laderas Sur, han sido los primeros en desaparecer.
2.  $H_1$ : Las zonas con fuerte pendiente (escarpadas), son las primeras en las que ha desaparecido el hielo glaciar.
3.  $H_2$ : Los perímetros glaciares donde se ha fundido más rápido el hielo, se corresponden con zonas que han recibido mayor radiación solar.

El análisis se ha llevado a cabo, mediante la realización de un estudio topográfico que incluye la creación de mapas de pendientes, de orientaciones y de radiación solar, a diferentes escalas

en estos dos macizos montañosos. Con esta información, se ha generado una cartografía ráster con la que conocer las características que hacen referencia a los glaciares.

Durante el transcurso del trabajo, se han aplicado una serie de técnicas aprendidas a lo largo del Grado de Geografía y Ordenación del Territorio, con herramientas como son los Sistemas de Información Geográfica, Cartografía Temática, entre otras.

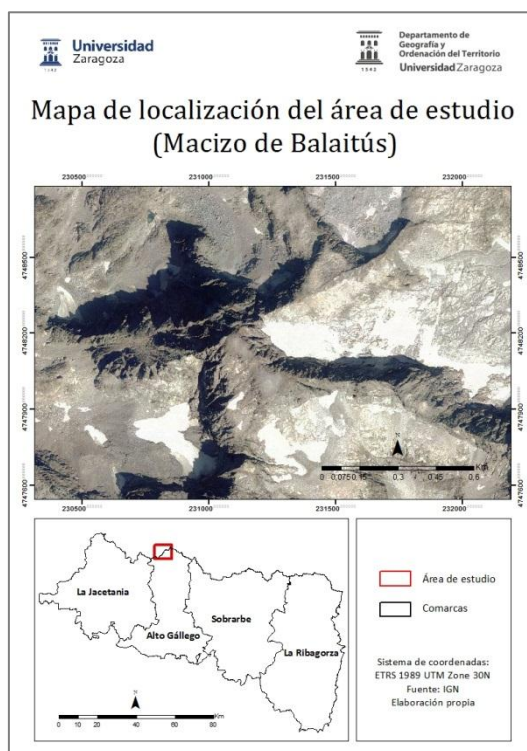
La causa principal que me ha llevado a elegir este trabajo, ha sido intentar aportar mayor información en estas dos zonas, ya que la mayoría de los estudios están ligados a otros glaciares pirenaicos (Glaciar del Aneto, Maladeta), además de hacer conocer al lector, la situación actual que viven estos glaciares.

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

En este apartado se va a realizar la descripción de las zonas de estudio, con el fin de poder conocer las características físicas y ambientales, como son el relieve y el clima. En primer lugar, se hablará de la zona del macizo de Balaitús y, posteriormente del macizo de Posets.

#### 3.1 Localización en el macizo de Balaitús

Esta barrera montañosa forma parte del primer macizo de tres miles viniendo del Atlántico. Está ubicado dentro de la cabecera del valle del Aguas Limpias (Cuenca del río Gállego), (Chueca et al. 1998). Está situado en la frontera entre España (Valle de Tena) y Francia (Val d'Azun). El pico más alto de esta zona es el de Balaitús con 3.114 m de altitud.



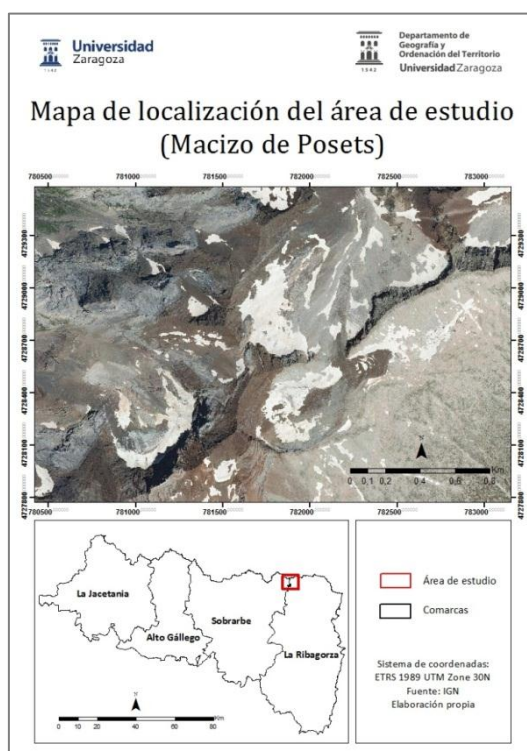
Mapa 1. Mapa de localización del macizo de Balaitús.

Este macizo montañoso formado por materiales graníticos, está compuesto por tres glaciares (Frondeillas, Brecha Latour y SE Balaitús), surgidos en la PEH, y de los cuales se pueden encontrar restos glaciares y morrénicos.

El ámbito de estudio de este proyecto toma las siguientes coordenadas: Frondeillas "30TYN213462", Brecha Latour "30TYN219462", SE Balaitús "30TYN219459" (Chueca et al., 2002).

### 3.2 Localización en el macizo de Posets

La zona del macizo de Posets se ubica en el Parque natural del Posets-Maladeta. Ésta se encuentra al Noreste de la Comarca del Sobrarbe y al Norte de La Ribagorza, en la Provincia de Huesca. Los municipios donde están comprendidos los glaciares de Posets, son San Juan de Plan, Sahún y Benasque.



Mapa 2. Mapa de localización del macizo de Posets.

En el macizo de Posets, aparecen tres conjuntos glaciares (Llardana, la Paúl y Posets), cada uno con unas dimensiones diferentes, formados durante el siglo XIV hasta mediados del siglo XIX (PEH), los cuales han comenzado a decrecer.

En esta zona cobra importancia una de las segundas cumbres más altas del Pirineo aragonés (Posets 3.375m), dominada por los valles de los ríos Cinqueta de Añes Cruces (Cuenca del río Cinca) y Estós y Aigüeta de Eriste (Cuenca del río Ésera). (Chueca et al., 2010).

Las coordenadas que toman estos glaciares son: Llardana "31TBH894262", La Paúl "31TBH901265", Posets "31TBH903260" (Chueca et al., 2002).

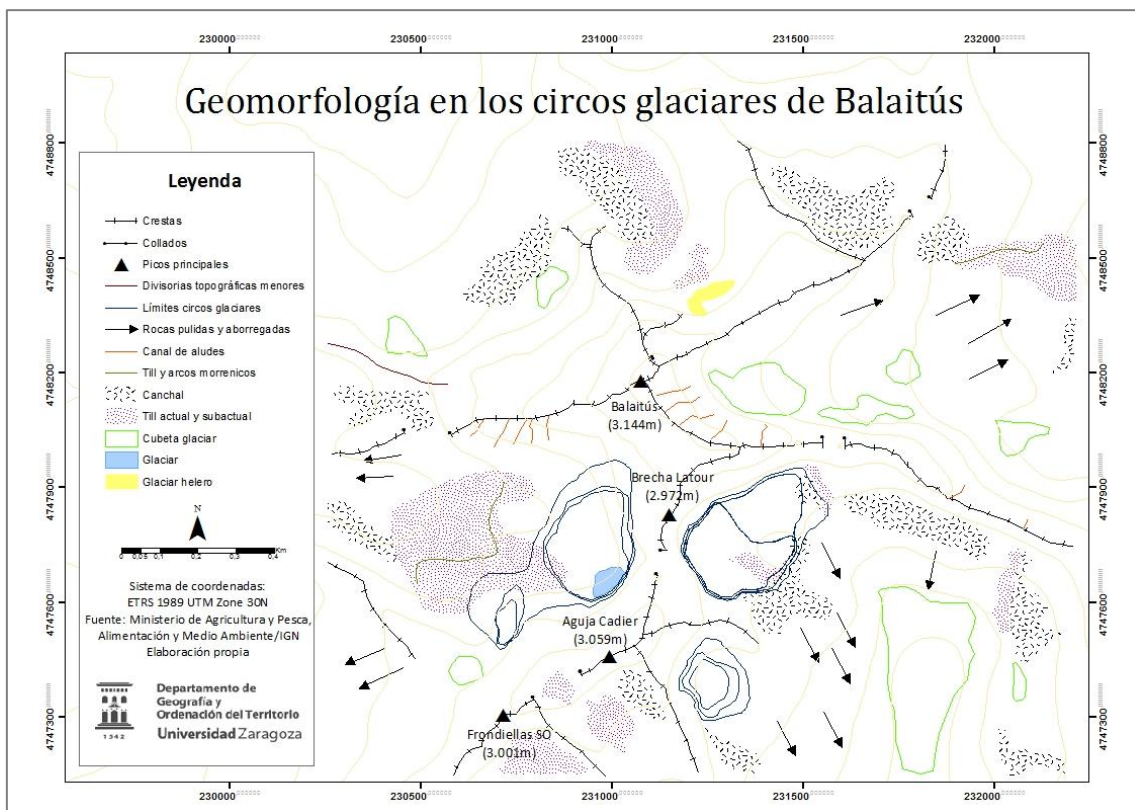


### 3.3 Características generales

#### 3.3.1 Litología y geomorfología en el macizo de Balaitús

Este macizo tal y como se ha mencionado antes, es el primero en albergar montañas de más de 3.000 m en la región occidental de la cadena pirenaica (Balaitús 3.144 m, Frondellas NE 3.071 m, Frondellas SO 3.001 m). Forma parte de un sector con estructuras macizas, pesadas, pero de valles secundarios bien delimitados por una densa red de fracturación. Al pie de los picos Balaitús y Frondellas NE, a una altura superior a 2.700 m, se ubican el helero de Frondellas, en el circo de Arriel, y los heleros-neveros de Brecha Latour y SE Balaitús, en el circo de Esclusera. Éstas son morfologías residuales, en proceso de extinción: su orientación meridional en el contexto del macizo que los alberga ha determinado su declive, contrastado con el desarrollo de las formas glaciadas en territorio francés, al norte del cresterío fronterizo (glaciares de las Néous y Pabat) (Chueca et al., 2002).

La zona en la que se encuentran estos glaciares está compuesta por materiales morrénicos (Mapa 3). Predomina el till glaciar y los canchales, ya que estos glaciares al desaparecer, han ido acumulando restos sedimentarios que se han depositado en los alrededores del glaciar. También se puede ver más materiales, como son las rocas aborregadas, que cobran importancia, debido a que el hielo glaciar las ha ido moviendo a lo largo del tiempo. Además la presencia de cubetas glaciares es numerosa, destacando la gran cubeta glaciar localizada al SE del mapa.



Mapa 3. Geomorfología en los circos glaciares de Balaitús.

Gracias a numerosos montañeros que ascendieron a estas cumbres, se puede ver el aspecto que mostraban estos glaciares en el siglo pasado (imagen 1, 2 y 3). Se ve como estos glaciares, se encuentran en pendientes bastantes pronunciadas (imagen 3). Esto les convierte en una zona propensa a los aludes, ya que como se observa en el mapa 3, se encuentran algunos canales de aludes.



Imagen 1. Glaciar de Brecha Latour (derecha) y SE Balaitús (izquierda) desde el pico Cristales. Picos Frondiellas y Balaitús, crestas de Costerillou y Diablo. Fotografía de L. Gómez Laguna, 1950. V.V.A.A., Aragón, vol I. Zaragoza: Banco de Aragón, 1960.



Imagen 2. Vertiente occidental del Balaitús desde el pico Palas. Glaciar de Frondellas Norte y helero de Frondellas Sur. Fotografía de Maurice Heid, 13 de agosto de 1906. Au Pays des Isards. Un grand Pic. Pau: Les Amis du Livre Pyrénéen, 1969



Imagen 3. Glaciar de Frondellas Norte. Vista aérea hacia el NO. Cimas de Balaitús y Frondellas. Fotografía de F.Biarge, 3 de septiembre de 1997. Colección del autor.

### 3.3.2 Litología y geomorfología en el macizo de Posets

Esta montaña, muy fracturada, está elaborada en su sector más occidental por estructuras intensamente plegadas de edad básicamente devónica (pizarras, calizas y cuarcitas) que, hacia el Este, entran en contacto con los materiales granodioríticos de Eriste (Chueca y Julián, 2010).

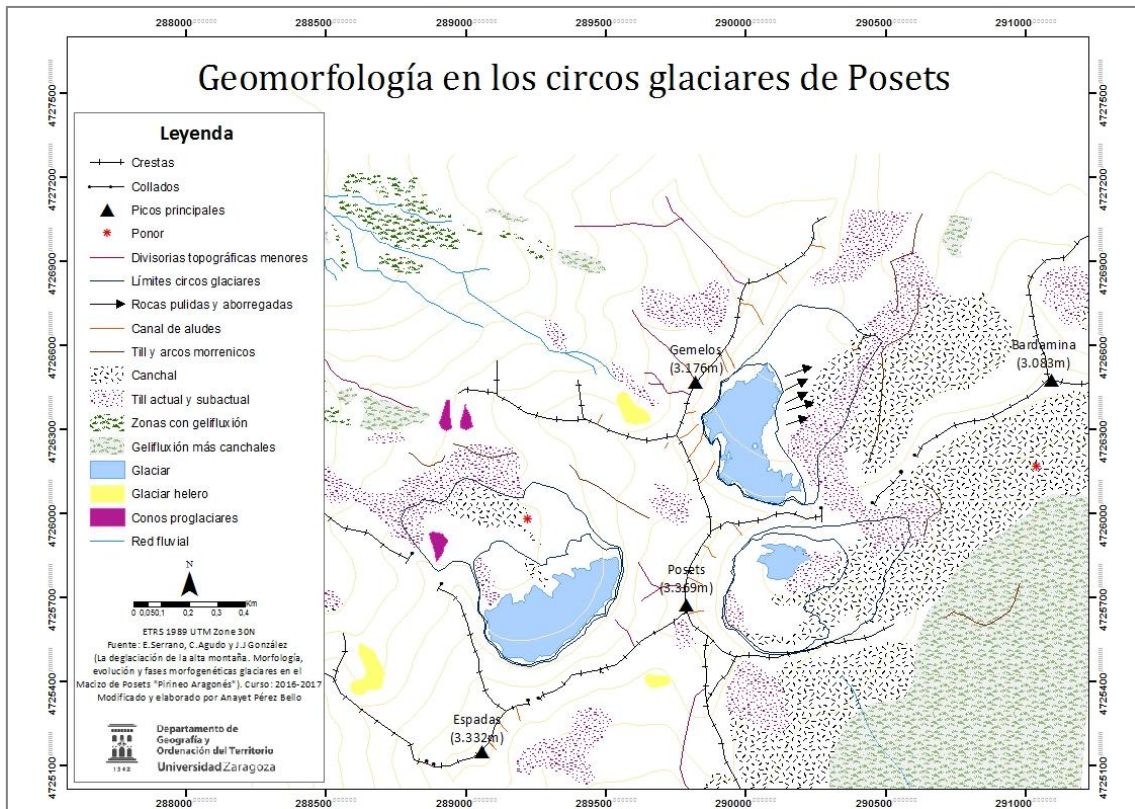
*“La vertiente oriental del pico de Posets se configura como una amplia cuenca glaciar definida por la sucesión de circos polilobulados de tendencia circular en planta. También están presentes los circos simples de pequeñas dimensiones y forma circular, en sillón. Están asociados a las pizarras y calizas y la erosión diferencial derivada de la alternancia de materiales. Los circos en sillón, pequeños y encajados, son propios de las pizarras y calizas del paleozoico, destacando los circos que conforman la cresa somital del pico de Posets, horn aplanado en su culminación, elaborado por los circos encajados de Llardana, Paúl, Posets y Llardaneta” (Serrano et al.2002).*

El núcleo glaciar principal, se dispone por encima de los 2.910 m de altura, y lo componen el glaciar de Llardana, la Paúl y Posets (Chueca et al., 2010). En la actualidad, el hielo glaciar muestra una evidente pérdida de espesor, el cual se traduce en un cambio de las características geomorfológicas glaciares. Estos glaciares han sido recubiertos de materiales. Debido a esto, algunos de estos glaciares han pasado a otra categoría. Según autores como Chueca y Julián, La Paúl aún conserva la categoría de glaciar, al igual que lo hace el de Llardana. No obstante, el glaciar del Posets se ha convertido en helero.

La presencia de materiales morrénicos en esta zona es abundante. Tal y como se observa en el mapa 4, se ve que los restos de till más actual se encuentra alrededor de los tres glaciares. Se observa como el glaciar de Llardana, posee un cono proglaciar mal conservado, debido a la



fuerte pendiente. Éste se forma por la acumulación de material arrastrado por las aguas de fusión, tomando forma de un abanico ubicado en el frente del glaciar (Ochoa, 2011).



Mapa 4. Esquema geomorfológico del grupo de Posets. Fuente: E.Serrano, C.Agudo y J.J González Trueba. La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogénicas glaciares en el Macizo de Posets (Pirineo Aragonés). Elaboración propia.

Al igual que en los glaciares de Balaitús, esta zona se ubica en una zona con fuerte pendiente, por lo que se pueden ver diversos canales de aludes en los grandes cresteríos. En este caso se pueden ver dos sumideros kársticos o ponor, que se originan de forma natural en un terreno calcáreo, por donde el río desaparece de la superficie y se hace subterráneo. También se ven zonas con gelifluxión, y rocas pulidas y aborregadas.

Las imágenes que se muestran a continuación permiten ver el aspecto que presentaban y presentan actualmente estos glaciares. Son unas fotos muy bien logradas en las que se aprecian al detalle las grietas glaciares de La Paúl y Posets (imagen 4, 5). A estas dos imágenes les siguen otro par, realizadas en julio del 2016. En la imagen 6 se puede ver el glaciar de Llardana, no obstante, en la imagen 7 debido a la nieve, no se observa bien el glaciar rocoso de Posets.



Imagen 4. Glaciar de La Paúl. Fuente: F.Biarge. Fecha: 3 de septiembre de 1997. Colección del autor.  
Libro: Los glaciares pirenaicos aragoneses. Evolución. Fotografías 1880-1999.



Imagen 5. Glaciar de Posets. Fuente: F.Biarge. Fecha: 3 de septiembre de 1997. Colección del autor.  
Libro: Los glaciares pirenaicos aragoneses. Evolución. Fotografías 1880-1999.



Imagen 6. Glaciar de Llardana desde la cima del pico Posets. Elaboración propia. Fecha: 13 de julio de 2016.



Imagen 7. Helero de Posets y glaciar rocoso de Posets. Fuente: Anayet Pérez Bello. Fecha: 13 de julio de 2016.

### **3.4 Climatología**

Tal y como se conoce hasta hoy, a pesar de que Aragón está dentro del clima mediterráneo continentalizado, presenta una variedad de ambientes climáticos, que van desde la extrema aridez hasta las máximas precipitaciones (Cuadrat, 2004).

Ambas áreas de estudio están localizadas en las Comarcas del Alto Gállego, Sobrarbe y La Ribagorza. El clima en este lugar, viene marcado por sus características orográficas. Esta zona



presenta un clima típicamente pirenaico, ya que se dan abundantes precipitaciones, en forma de agua o nieve.

Por lo tanto, la zona muestra un claro clima de montaña con cierta influencia mediterránea. El gran volumen de precipitación, se da en el Pirineo. Las precipitaciones descargan en las zonas de montaña y, llegan más secas cuando pasan la barrera montañosa (Efecto Foën).

La mayor parte de las precipitaciones, se da en forma de nieve, por eso se pueden ver las cumbres nevadas en invierno, incluso restos de nieve conservadas en pequeños neveros en primavera. Las primeras nieves suelen iniciarse en noviembre y, cesan a partir de marzo. Cuando llega la primavera, el tiempo se vuelve muy irregular, siendo el mes de marzo, uno de los más lluviosos del año, mientras que, en abril, desciende la pluviometría.

En la época de deshielo, junto a las lluvias primaverales, se produce un aumento del caudal de los ríos. Y finalmente, en otoño vuelven las precipitaciones en forma de lluvia, hasta que se convierten en nieve, por la bajada de temperatura y por la altitud. Muchas de ellas, se mantienen en las cubetas glaciares a lo largo de todo el año (glaciares pirenaicos: Aneto, Posets, Maladetas,...). Sumado a esto, la temperatura juega un papel fundamental en este aspecto de las nieves permanentes, ya que al ser muy bajas, logra que se mantengan.

Por lo tanto, la altitud y la exposición a los vientos húmedos son dos factores condicionantes del clima de montaña, y que tienen su importancia en la génesis, formación y conservación de los glaciares.

A continuación, queda plasmado el climograma de Benasque (Figura 3). Como se puede observar, se da un valor muy alto de precipitación (1013 mm), lo que evidencia que la zona presenta un clima de montaña húmedo.

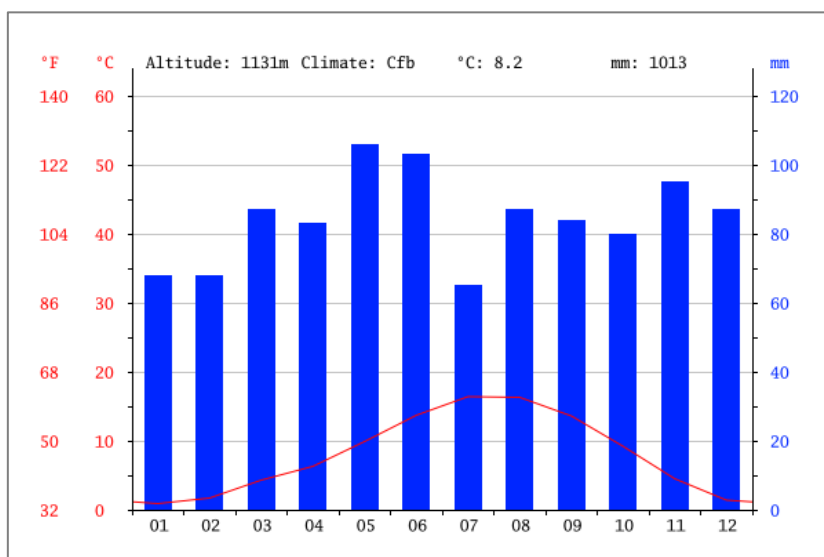


Figura 3. Climograma de Benasque. Fuente: Climate-data.org

El mes más húmedo se da en mayo, en torno a 106 mm, y el más seco en julio, alrededor de 65 mm (aun así la precipitación no es muy baja en comparación con todo el territorio aragonés). La TMA es de 8,2°C. La máxima de temperatura, se corresponde con el mes más seco, con un

promedio de 16,4°C, y el mes más frío, se da en enero con 0,9°C. Por lo que, los inviernos son muy fríos, llegando a alcanzar en algunos casos temperaturas muy bajas (25 grados bajo cero en las zonas más altas).

En la clasificación climática de Köppen, hace alusión a un Cfb. Esto quiere decir, que es un clima templado y húmedo, con precipitaciones durante todo el año, y con ausencia de un periodo seco, además la temperatura media del mes más cálido es inferior a 22°C, pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses por encima de los 10°C (Cuadrat y Fernanda Pita, 2011).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este apartado, se va a llevar a cabo la descripción detallada de los materiales utilizados y, los procedimientos aplicados para realizar el estudio. Para ello, se han dividido en dos subapartados, relacionados entre sí: información empleada y, fases de trabajo.

### **4.1 Información empleada**

En este trabajo, se han utilizado los softwares ArcGis 10.3 y Microsoft Excel 2010. La fuente de la cual se ha descargado la mayor parte de la información, ha sido del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de donde se han obtenido los siguientes datos:

- Ortofoto aérea digital (PNOA): para el macizo de Balaitús se ha utilizado la del año 2004, en cambio para el macizo de Posets la del año 2006. Esta última muestra una cantidad de nieve mínima, por lo que ha sido más fácil a la hora de realizar los perímetros glaciares, ya que no se mostraban manchas de nieve y podían verse claramente los restos glaciares. Sin embargo, la imagen de Balaitús ha sido más complicada, ya que ésta mostraba grandes cantidades de nieve, que se confundían con el hielo glaciar.
- Modelo Digital del Terreno (MDT): para el Balaitús se ha utilizado la hoja 145 B, y para la zona de Posets la hoja 179. A través de este modelo se han calculado las pendientes, las orientaciones y la radiación solar.
- Curvas de nivel: éstas se han utilizado para delimitar los cresteríos.

Además, para la realización del estudio se ha consultado abundante bibliografía científica, destacando principalmente dos documentos de los cuales se ha obtenido la información para la realización de los perímetros glaciares y que han sido los del (MAPAMA, 2006), y (Chueca y Julián, 2006, 2008).

Para todos los mapas se han utilizado el Datum ETRS89, y la proyección UTM Zone 31N, aunque se han realizado a diferentes escalas.

## 4.2 Fases de trabajo

En primer lugar, se buscaron referencias bibliográficas que mostraban información acerca de los glaciares. Gran parte de los estudios estaban ligados a los glaciares de Maladetas, por lo que la información ligada a Balaitús y Posets ha sido escasa.

Posteriormente, a partir de las ortofotos del PNOA, se realizó una delimitación del área de estudio, mediante un polígono, ya que no nos interesaba el resto de la imagen.

Tras realizar este proceso, se elaboró un modelo de iluminación, el cual sirvió para realizar los perímetros glaciares. Gracias a este

La cartografía correspondiente al macizo de Balaitús, fue elaborada a partir de un documento del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2006), el cual sirvió de muestra para su posterior obtención. La cartografía resultante fueron tres glaciares (Frondeillas, Brecha Latour y SE Balaitús). Para ello, se realizaron cuatro perímetros método, se puede ver hasta donde llegó el hielo glaciar años atrás, ya que estas dejan unas marcas muy frescas sobre el terreno, que se pueden apreciar visualmente. para cada glaciar, correspondientes a la Pequeña Edad del Hielo (PEH), y a los años 1946, 1983 y 2004. Como resultado final de esa parte del trabajo, se obtuvieron 10 perímetros.

Los perímetros de los glaciares del macizo de Posets, se elaboraron gracias a un documento aportado por Chueca y Julián, publicado en el Boletín Glaciológico Aragonés en los años 2006, 2008 y 2010. Tras la obtención del documento, se elaboraron tres perímetros glaciares (La Paul, Llardana y Posets), correspondientes a tres periodos diferentes PEH, 1981 y 2006, mediante el mismo procedimiento que el caso anterior. En total se generaron 9 perímetros.

Una vez realizada la cartografía, se calculó el área, el perímetro, las hectáreas, las alturas máximas, mínimas, y el centroide de los glaciares. Tras la obtención de estos resultados, se pasaron a una hoja de cálculo Excel. Además, se midieron las distancias que ocuparon y, ocupan estos glaciares actualmente en ArcGis.

Posteriormente, se elaboraron los mapas de orientación. Estos fueron divididos en dos grupos, uno en el que se veían todas las orientaciones, y otro dirigido únicamente a las orientaciones Sur, que hacen alusión al Sureste, Sur y Suroeste.

A continuación, se extrajeron las curvas de nivel mediante el MDT, que sirvieron de utilidad para hacer el mapa de pendientes. Una vez realizado el mapa de pendientes, se reclasificaron los valores en 4 clases, quedando así: pendientes moderadas (de 0% a 21%), pendientes fuertes (de 21,1% a 30%), escarpado (de 30,1% a 55%) y muy escarpado (más de 55,1%). En relación al objetivo: las zonas con fuerte pendiente, son las primeras en las que ha desaparecido el hielo glaciar, hace alusión a las pendientes escarpadas, ya que a partir de ese porcentaje se consideran bastante pronunciadas.

Los mapas de radiación solar, se elaboraron transformando cada perímetro glaciar en ráster, y después se aplicó la función de radiación solar en partes; uno a la radiación solar anual, es decir, los 365 días del año (días 1 al 375); y otro a la radiación solar en verano, correspondiente

a los meses de verano, es decir, del 21 de junio hasta el 22 de septiembre (días 172 al 266). Se ha escogido la radiación solar en verano, ya que ésta es la época del año, en la que la radiación solar es más alta, la cual permite ver en qué zonas se han mostrado los valores de radiación solar más altos.

Cada mapa de radiación solar, mostraba un valor diferente de radiación solar en cada época, por lo que se normalizaron los valores de radiación máxima y mínima en todos los mapas, para que las comparativas se vieran más claras. Los cálculos correspondientes al periodo de la PEH no han podido realizarse, ya que el programa ArcGis no permite establecer parámetros de cálculo para esas fechas. Una vez realizados estos cálculos, se extrajeron en tablas Excel los datos de radiación solar media anual y de verano.

En total se han realizado 22 mapas, correspondientes al área de estudio, a la geomorfología, orientaciones, pendientes, perímetros, y a las radiaciones solares anuales y de verano. Los mapas se han elaborado en diferentes escalas y se pueden consultar en el ANEXO de este trabajo.

## **5. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En este apartado, se va a proceder a analizar los resultados obtenidos a través de la realización de la cartografía, tablas y gráficos, con el fin de alcanzar el objetivo principal de dicho trabajo: conocer la evolución de los glaciares de Balaitús y Posets, además de ver si se verifican o no las hipótesis de partida.

### **5.1 Perímetros glaciares**

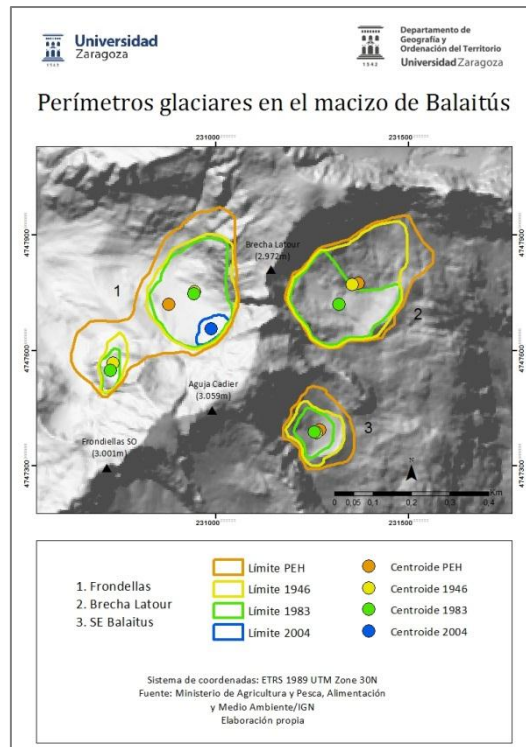
Los restos morrénicos del máximo glaciar Würmiense están muy bien conservados en la actualidad, lo que ha permitido hacer una reconstrucción de los glaciares desaparecidos con más facilidad, debido a que estos excavaron el relieve, dejando sus huellas sobre el terreno.

A continuación se van a mostrar los perímetros glaciares en ambos macizos, acompañado de los centroides. El centroide de cada glaciar, indicará cual es el centro basado en las alturas del recinto de las diferentes épocas, y servirá para mostrar el desplazamiento geométrico del glaciar. Algunos autores como (Serrano et al., 2004, Huaraz 2014) etc... han considerado necesario el cálculo de éste.

#### **5.1.1 Perímetros glaciares en el macizo de Balaitús**

En el Mapa 5, aparecen representados los límites de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en la PEH, 1946, 1983 y 2004.

Haciendo alusión al centroide, se puede ver como el comportamiento de todos es muy similar. Se observa que estos glaciares se han ido desplazando hacia la zona de cabecera. Haciendo una visión más exhaustiva, se aprecia como los glaciares Brecha Latour y Frondellas se han desplazado más, que el glaciar SE Balaitús.



Mapa 5. Perímetros glaciares en el macizo de Balaitús.

Como puede observarse, el glaciar de Frondellas, es el que mayor superficie ha ocupado a lo largo de los años. En la PEH, el glaciar de Frondellas ocupaba 10,50 ha, seguido de la Brecha Latour con 8,27 ha y el SE Balaitús con 2,73 ha. En el año 1946, el glaciar de Brecha Latour tenía una superficie de 6,48 ha, seguido de Frondellas con 5,97 ha, y el SE Balaitús 1,61 ha. En el año 1983, Frondellas tenía 4,87 ha, seguido de Brecha Latour con 4,32 ha, y el SE Balaitús con 0,88 ha.

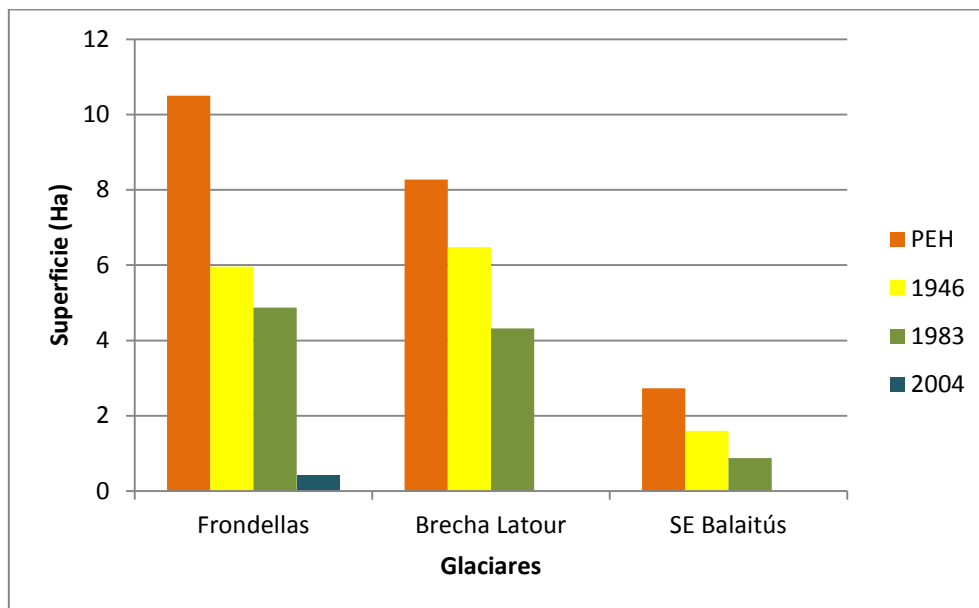


Figura 4. Evolución de los perímetros glaciares en el macizo de Balaitús. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.



Finalmente, el único resto glaciar existente en este macizo es el de Frondellas con 0,41 ha en el año 2004. Según (Chueca et al., 2002), a partir del año 1998, este glaciar pasó a categoría de Helero-Nevero. Según un estudio realizado por (Arenillas et al., 2008), este glaciar se extinguió en el periodo comprendido entre 2002 y 2007. El glaciar SE Balaitús y Brecha Latour lo hicieron antes (año 1992 aproximadamente).

Tal y como se observa en el gráfico, se ve como el glaciar de Frondellas, es el que ha ocupado mayores extensiones a lo largo de la historia, seguido de la Brecha Latour, y finalmente el SE Balaitús.

La extensión del hielo total en el macizo en el 2004 fue de 0,41 ha, frente a los 21,5 ha que ocupaba en la Pequeña Edad del Hielo (PEH).

De un modo más detallado, se describe a continuación cada uno de los tres glaciares estudiados en esta zona.

El **glaciar de Frondellas**, está orientado al Suroeste del pico Balaitús (3.144 m), el cual cobra importancia por ser el más alto de la zona. En relación con los otros dos glaciares, ha sido el que ha ocupado mayores extensiones a lo largo del tiempo, y del cual aún quedaban pequeños restos de hielo glaciar en el año 2004.

Este glaciar, ha pasado de 10,50 ha en la PEH, a 5,97 ha en 1946, y de 4,87 ha en 1983 a 0,41 ha en 2004. Por lo que, desde la Pequeña Edad del Hielo hasta el año 1946 disminuyó 4,53 ha; en el periodo de 1946-1983 perdió 1,1 ha; y finalmente en el periodo de 1983-2004 se redujo 4,46 ha. Por lo tanto, el periodo en el cual el hielo glaciar perdió más hectáreas, fue el comprendido entre la PEH y 1946. En la PEH este glaciar ocupó una longitud de 580 m aproximadamente. En el último periodo media tan solo 100 m de longitud.

Tabla 2. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Frondellas. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

PEH	PEH-1946	1946	1946-1983	1983	1983-2004	2004
10,50 (Ha)	4,53 (Ha)	5,97 (Ha)	1,1 (Ha)	4,87 (Ha)	4,46 (Ha)	0,41 (Ha)

El **glaciar de Brecha Latour**, se encuentra al Sureste del Balaitús. Este glaciar se llama así, por estar pegado al Pico Brecha Latour (2.972 m), localizado al Oeste.

El glaciar ha pasado de 8,27 ha en la PEH, a 6,48 ha en 1946, y a 4,32 ha en 1983. En el periodo comprendido entre la PEH-1946 el glaciar disminuyó 1,79 ha; y en el periodo de 1946-1983 disminuyó 2,16 ha. El periodo en el cual el hielo glaciar perdió más hectáreas, fue el de los años 1946-1983. Por lo que, en este último periodo, el hielo glaciar del helero, disminuyó considerablemente. En la PEH la longitud que ocupaba era de 400 m aproximadamente.

Tabla 3. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Brecha Latour. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

PEH	PEH-1946	1946	1946-1983	1983
8,27 (Ha)	1,79 (Ha)	6,48 (Ha)	2,16 (Ha)	4,32 (Ha)

El **glaciar SE Balaitús** se encuentra en la vertiente Sureste del Balaitús, más al Sur del glaciar Brecha Latour. Se encuentra al Este del pico Aguja Cadier (3.059 m). Este glaciar es el que ha ocupado menos hectáreas a lo largo de la historia en comparación con los otros dos glaciares.

Este glaciar ha pasado de 2,73 ha en la Pequeña Edad del Hielo, a 1,61 ha en 1946; y a 0,88 ha en 1983. El periodo en el cual se fundió más el hielo glaciar, es el comprendido entre la PEH-1946. En la PEH la longitud que ocupaba era de 220 m aproximadamente.

Tabla 4. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de SE Balaitús. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

PEH	PEH-1946	1946	1946-1983	1983
2,73 (Ha)	1,12 (Ha)	1,61 (Ha)	0,73 (Ha)	0,88 (Ha)

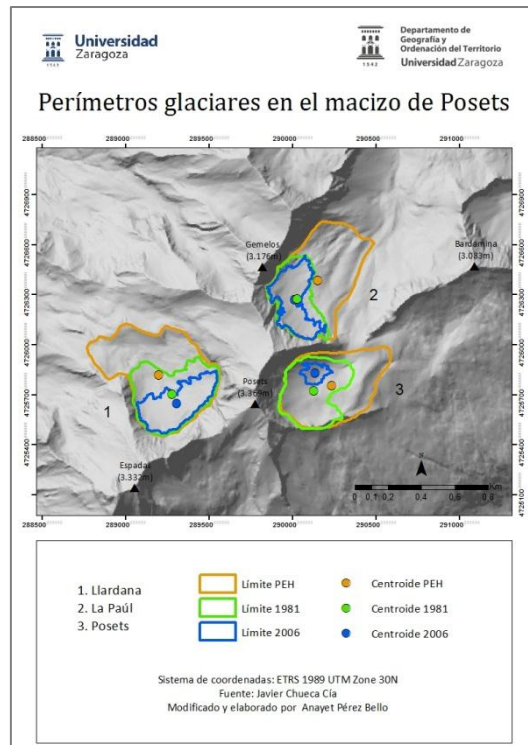
Por lo tanto, el glaciar que perdió más hectáreas en el periodo PEH-1946 fue el de Frondellas, seguido de Brecha Latour y SE Balaitús. En el siguiente periodo analizado (1946-1983) perdió más hectáreas el de Brecha Latour, seguido de Frondellas y SE Balaitús. Tal y como se ha comentado anteriormente, el último resto glaciar en desaparecer ha sido el de Frondellas entre los años 2002 y 2007 aprox.(Arenillas et al., 2008).

### 5.1.2 Perímetros glaciares en el macizo de Posets

En este apartado aparece representada la evolución de los glaciares del macizo de Posets, acompañado de un mapa, en el que están incluidos los tres glaciares: Llardana, La Paúl y Posets, además de añadirse el centroide de cada perímetro glaciar en cada periodo: PEH, 1981 y 2006, que como se ha comentado en el glaciar anterior, es de gran utilidad, ya que nos permitirá ver los movimientos que han mostrado los glaciares.

A rasgos generales, se puede ver como el centroide en el periodo PEH-1981 del glaciar La Paúl, es el que más se ha desplazado, seguido de Llardana y finalmente Posets. No obstante, en el periodo de 1981-2006, el centroide se ha desplazado más hacia la zona de cabecera en el glaciar de Posets, seguido de Llardana y La Paúl.

Como puede observarse, el glaciar de Llardana, es el que mayor superficie ha ocupado a lo largo de los años. En la PEH, el glaciar de Llardana ocupaba 31,48 ha, seguido de la Paúl con 27,33 ha y el de Posets con 23,01 ha. En el año 1981, el glaciar de Llardana tenía una superficie de 16,44 ha, el de La Paúl 10,95 ha, y el de Posets 13,70 ha. Finalmente, en el año 2006, el glaciar de la Llardana ocupaba 9,15 ha, el de la Paúl 7,86 ha, y el de Posets 1,5 ha. Según (Chueca et al., 2002), a partir de 1998, el glaciar de Posets pasó a categoría de Helero. La extensión actual (año 2006) del hielo en el total del macizo es de 18,51 ha, frente a los 81,82 ha que ocupaba en su fase inicial (PEH).



Mapa 6. Perímetros glaciares en el macizo de Posets.

De un modo más detallado, se describe a continuación cada uno de los tres glaciares estudiados en esta zona.

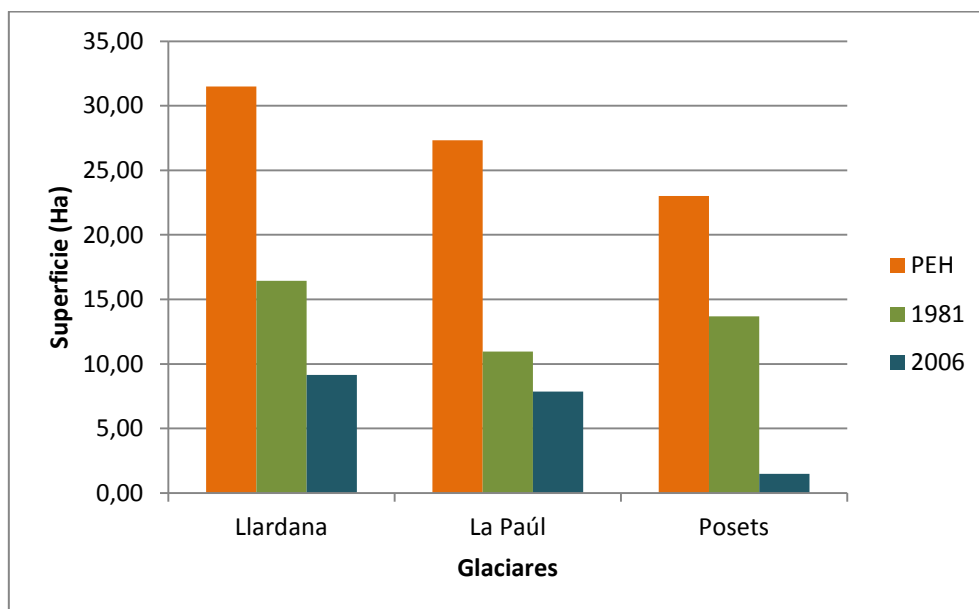


Figura 5. Evolución de los perímetros glaciares en el macizo de Posets.

El **glaciar de Llardana**, está orientado al Noroeste del Posets, localizado a una altura entre los 2.907 m y los 3.058 m. Hoy en día es uno de los glaciares con mayores extensiones en este macizo. Actualmente, según Serrano et al., 2002 *“la parte más baja de este glaciar, está*

*cubierta con clastos en superficie aflorando desde el lecho por grietas transversales de cizalla*". Aparecen también grietas glaciares "transversales", que muestran cómo se va moviendo el glaciar.

El glaciar de Llardana, ha pasado de 31,48 ha en la PEH, a 16,44 ha en 1981 y 9,15 ha en 2006. Por lo que, desde la PEH hasta el año 1981 disminuyó 15,04 ha; y en el periodo de 1981-2006 disminuyó 7,29 ha. Su longitud actual es inferior a 500 m. En la PEH llegó a ocupar una longitud de 800 m aproximadamente.

Tabla 5. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Llardana. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

PEH	PEH-1981	1981	1981-2006	2006
31,48 (Ha)	15,04 (Ha)	16,44 (Ha)	7,29 (Ha)	9,15 (Ha)

El **glaciar de La Paúl**, se encuentra en la vertiente Noreste del Posets, ubicado actualmente a una altura de 2.886 m y 3.155 m. Según Martínez de Pisón et al.1992 *"es un glaciar de circo colgado con forma lenticular que en la actualidad presenta un frente cortado a bisel hasta los 3.000 m"*. Su zona interior está formada por pequeños tapices de derrubios y un sistema de grietas.

El glaciar de La Paúl, ha pasado de 27,33 ha en la PEH, a 10,95 ha en 1981 y 7,86 ha en 2006; por lo que, desde la PEH hasta el año 1981 disminuyó 16,38 ha; en el periodo de 1981-2006 se redujo 3,09 ha. En la PEH la longitud que ocupaba era de 700 m aproximadamente, y ahora es inferior a 500 m.

Tabla 6. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de La Paúl. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

PEH	PEH-1981	1981	1981-2006	2006
27,33 (Ha)	16,38 (Ha)	10,95 (Ha)	3,09 (Ha)	7,86 (Ha)

El **glaciar de Posets**, se encuentra en el NE del pico Posets, al sur del glaciar de La Paúl, ubicado actualmente a una altura de 3.039 m y 3.117 m. Hoy en día, posee un núcleo de hielo que no tiene grietas. Éste es más pequeño que el de La Paúl, al que superaba en 1981 (13,7 ha Posets frente a 10,95 ha La Paúl). Según Serrano et al., 2002 *"en la actualidad, los restos de hielo más bajos se ubican entre los 3.070 m-3.100 m"*

El glaciar de Posets, ha pasado de 23,01 ha en la PEH, a 13,70 ha en 1981 y 1,50 en 2006; por lo que, desde la PEH hasta el año 1981 se rebajó a 9,31 ha; finalmente, en el periodo de 1981-2006 disminuyó 12,20 ha. En la PEH, este glaciar medía unos 700m, y ahora tan solo es de unos 150 m.

Tabla 7. Datos de superficie calculados en los periodos de estudio para el glaciar de Posets. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

PEH	PEH-1981	1981	1981-2006	2006
23,01 (Ha)	9,31 (Ha)	13,70 (Ha)	12,2 (Ha)	1,50 (Ha)

Por lo tanto, el glaciar que perdió más hectáreas en el periodo PEH-1981 fue el de La Paúl, seguido de Llardana y Posets. Finalmente el último periodo (1981-2006) que perdió mayores hectáreas fue el de Posets, seguido de Llardana y La Paúl. Actualmente (año 2006) el glaciar que posee mayores dimensiones, es el de Llardana.

## 5.2 Orientaciones en los macizos glaciares

Las orientaciones son fundamentales para conocer la dirección hacia la que va la pendiente y para cuestiones relacionadas con la radiación solar. Cada punto cardinal tiene unos valores comprendidos de 0 a 360, por lo que dependiendo de la dirección, tomaran unos valores u otros. Sin embargo, las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente tienen un valor de -1.

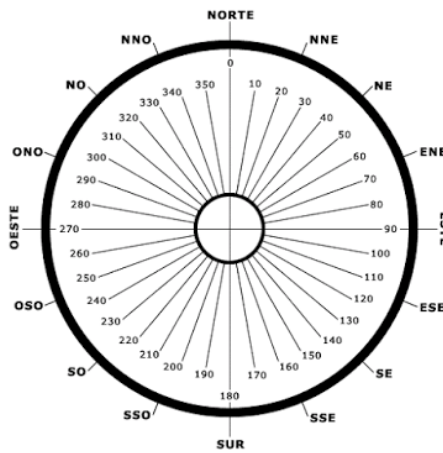


Figura 6. Direcciones de orientación. Fuente: humbertsanz.com



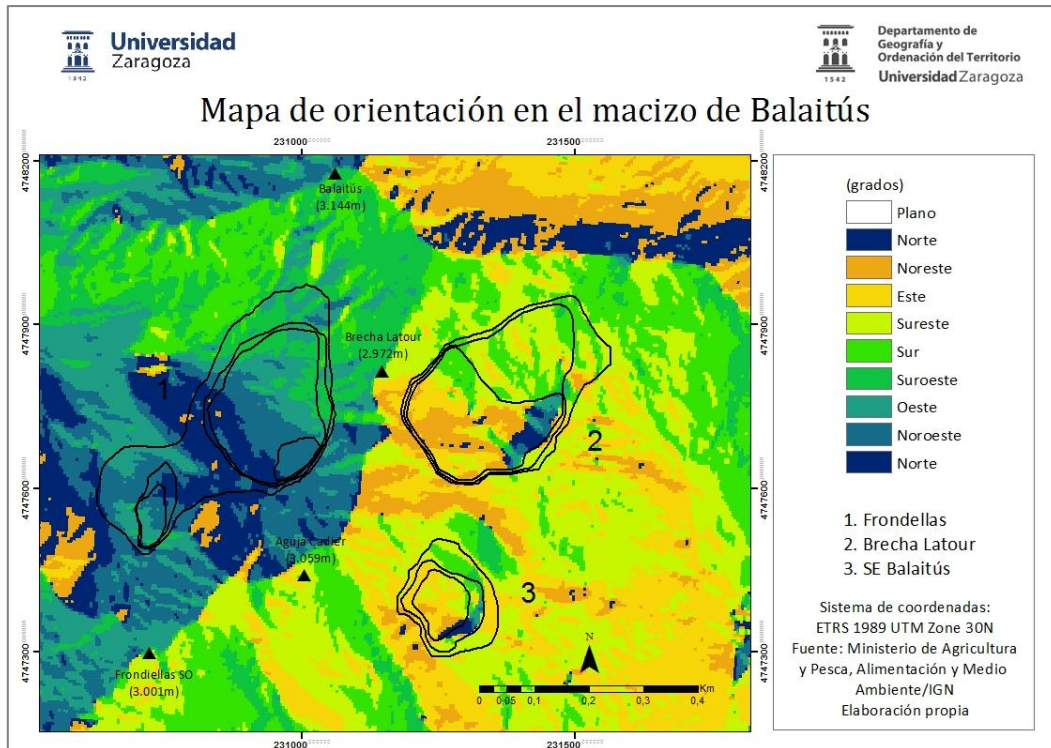
Figura 7. Puntos cardinales con sus grados correspondientes. Fuente: ArcGis.

La orientación juega un papel fundamental, ya que al tratarse de un lugar de alta montaña, se podrá ver las zonas de solana y las de umbría, para ver si se verifica o no la hipótesis de partida:

$H_0$ : Los glaciares orientados en laderas sur, han sido los primeros en desaparecer.

### 5.2.1 Orientaciones en el macizo de Balaitús

Se observa, cómo hay unas zonas con tonos más oscuros y otras con tonos más claros. Haciendo alusión únicamente a los cuatro puntos cardinales se puede ver, que el Norte está representado de un color azul oscuro, el Sur verde, el Este naranja y el Oeste verde oscuro. Esto no quiere decir, que se vayan a utilizar solo esas direcciones.



Mapa 7. Mapa de orientación en el macizo de Balaitús.

A simple vista, se ve como el glaciar de Frondellas está orientado hacia el Norte, Oeste, Noroeste y Noreste. En cambio, los glaciares Brecha Latour y SE Balaitús toman una dirección más hacia el Sur-Sureste, y en menor medida Noreste.

Haciendo un análisis más exhaustivo de cada glaciar, se puede ver lo siguiente:

#### Frondeilas

Dentro del perímetro correspondiente a la PEH, la zona superior toma una orientación Sur (es probable que el hielo desapareciese más rápido en esa zona, por tener esa orientación), en menor medida este sector está orientado al Oeste. En este periodo la zona baja del glaciar, tiene una orientación Norte, Noroeste, Oeste.

En el perímetro correspondiente al año 1946, se ve cómo prácticamente todo el resto glaciar está orientado al Sur, y en menor medida al Oeste. En cambio, la parte de glaciar que se encuentra en la parte posterior toma una orientación Norte, Noroeste.

En el año 1983, la zona septentrional está orientada al Oeste, Noroeste, Norte, y en muy poca medida al Sur. El perímetro correspondiente a este mismo año, pero localizado en la zona meridional del mapa, tiene una orientación Oeste, Noroeste.

El último resto glaciar dado en el año 2004, posee una orientación Noroeste, y una pequeña proporción Norte.

### Brecha Latour

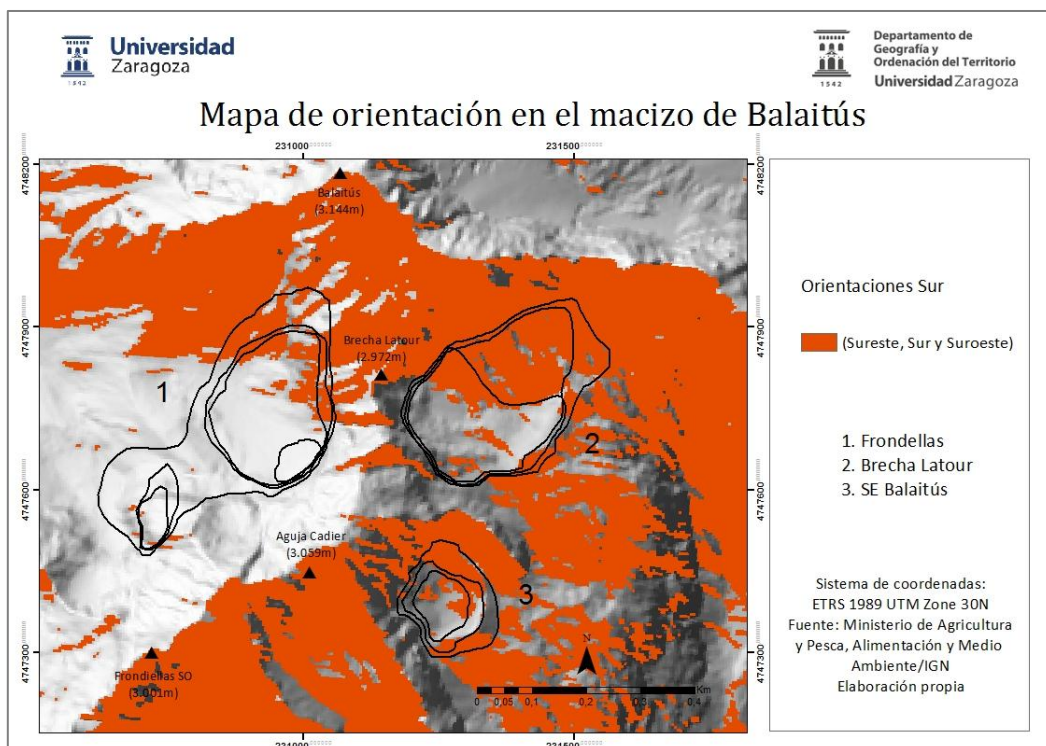
El perímetro correspondiente a la PEH toma una orientación Sur, y Este aunque en menor proporción. En el año 1946 se observa que tiene una orientación generalmente Sur y Sureste, y solo algunas zonas están orientadas al Este, como ocurría en el periodo anterior. En 1983, este glaciar toma una orientación mayoritariamente Noreste, Este, Sur, y Norte y Noroeste.

Por lo tanto, se observa que gran parte del glaciar está orientado al Sur, por lo que la orientación cobra un papel muy importante para verificar o no la hipótesis de partida.

### SE Balaitús

En la Pequeña Edad del Hielo, el sector superior y el más meridional, toman una orientación únicamente Sur, en cambio ambos lados una orientación Este. En el año 1946 la orientación es igual a la anterior, sin embargo, a esta se le añaden las orientaciones Norte y Noroeste en su zona más meridional. Finalmente, en el último periodo correspondiente al año 1983, predominan las orientaciones Este, seguida de la Sur y en muy poca medida la Noreste. Por lo tanto, se observa que la mayor parte del glaciar estaba orientada al Este y Sur.

En el mapa 8 se muestran las orientaciones Sur (Sureste, Sur y Suroeste), para aceptar o rechazar la hipótesis de partida.



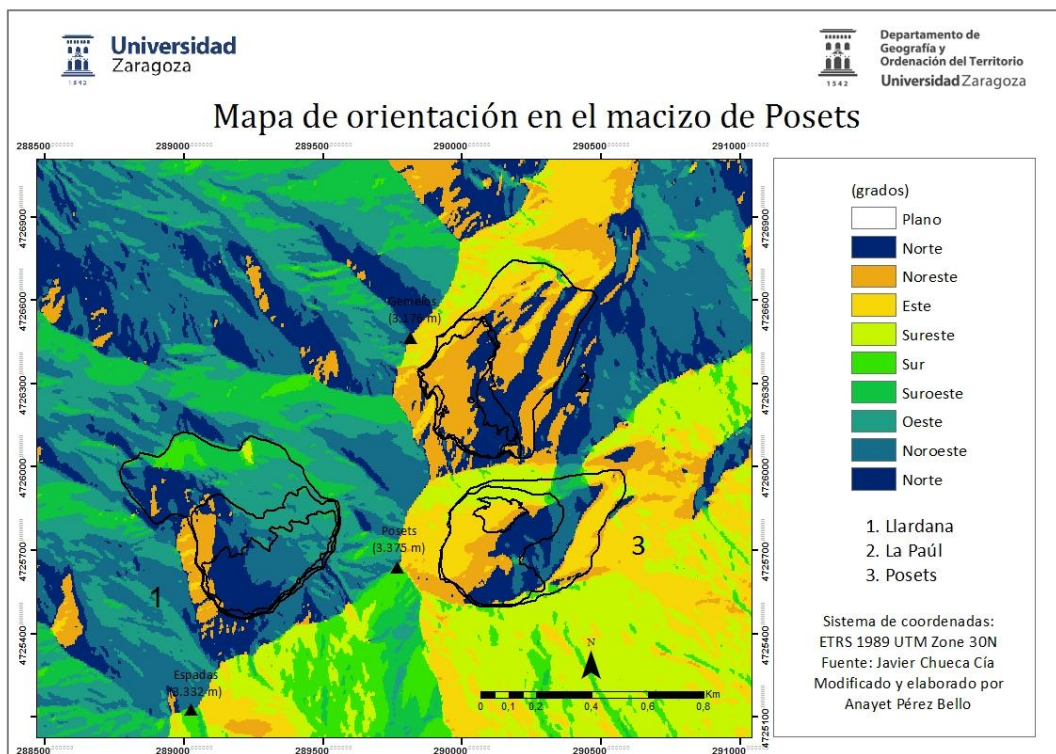
Mapa 8. Mapa de orientación Sur en el macizo de Balaitús.



Tal y como se observa, la hipótesis no se confirma 100%. En el caso del glaciar Brecha Latour, sí que podría afirmarse dicha hipótesis, ya que se ve como los perímetros correspondientes a la PEH y 1946 son los orientados al Sur. En el glaciar de SE Balaitús, sí que vemos como el primer perímetro en desaparecer correspondiente a la PEH, es el que está orientado al Sur. No obstante, el glaciar de Frondellas, sí que tiene una zona que se ve muy clara, orientada hacia el Norte del perímetro glaciar que toma una orientación Sur. El resto de los perímetros glaciares no están orientados hacia el Sur.

### 5.2.2 Orientaciones en el macizo de Posets

A simple vista, se observan dos zonas diferentes. Una con tonos más verdosos y azulados en el glaciar de Llardana, y otra con tonos más marrones y amarillos, en los glaciares de La Paúl y Posets. En el mapa se puede ver, como el glaciar de Llardana está orientado al NO, el de La Paúl al NE y Posets al E, sin embargo, a continuación se muestra un análisis más exhaustivo en cada perímetro glaciar, donde se pueden ver pequeñas diferencias.



Mapa 9. Mapa de orientación en el macizo de Posets.

#### Llardana

En la PEH el glaciar de Llardana está orientado mayoritariamente al Oeste en su zona derecha y al Norte en la izquierda. A este le sigue una orientación Sur en su parte Septentrional; y en menor medida NO y NE. En el año 1981 predomina la orientación Oeste, seguida de la Noroeste, Norte y Noreste. Finalmente, en el año 2006 el glaciar de Llardana toma una orientación Noroeste, Norte y Oeste.



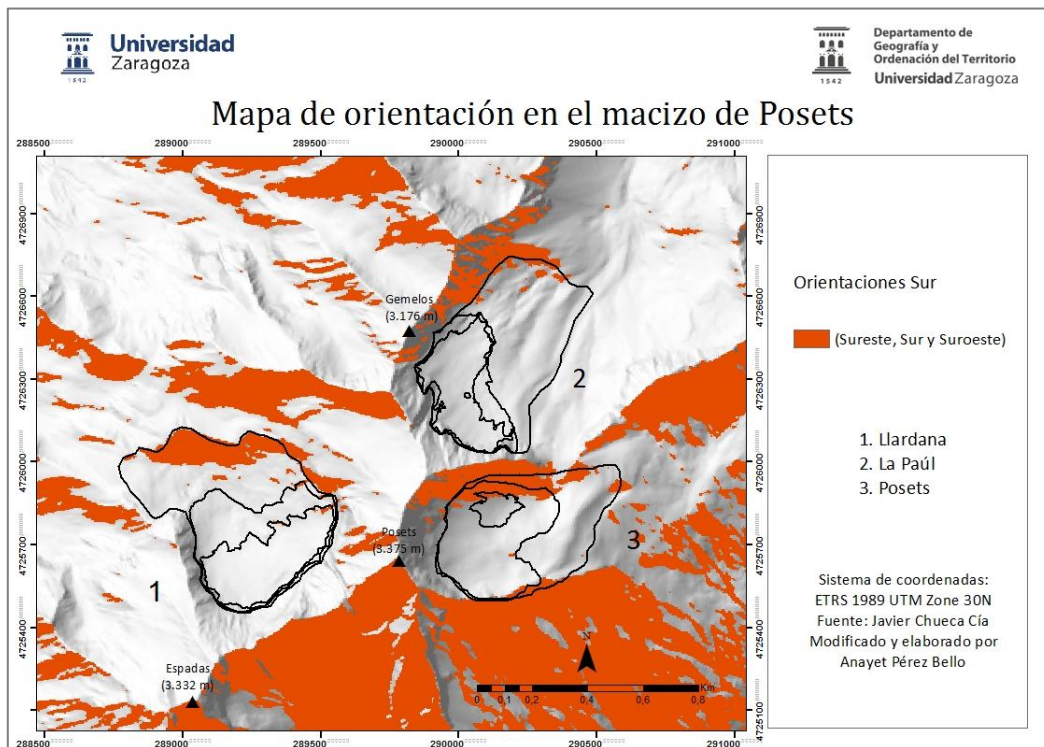
## La Paúl

En La Paúl, el perímetro glaciar correspondiente a la PEH, la orientación que más abunda es la Norte y Noroeste, seguida de la Este, y en menor medida la Sur. En el año 1981 toma una orientación Norte en prácticamente todo el perímetro (parte oriental del mapa), y Este (parte occidental del mapa). El último resto glaciar correspondiente al 2006, tiene una dirección Noreste y Norte.

## Posets

En el periodo correspondiente a la PEH, se ve como el glaciar de Posets, tiene todas las orientaciones, sin embargo, la mayor es la Este y Noroeste. Tan solo una parte tiene orientación Sur (parte septentrional del mapa). En 1981 resaltan las orientaciones Norte, Este y Noreste. Finalmente, en el último año, en el helero domina la orientación Este y Noreste.

Igual que en el macizo de Balaitús, en el mapa 10 se muestran las orientaciones Sur, para ver si se verifica o no la hipótesis de partida.



Mapa 10. Mapa de orientación Sur en el macizo de Posets.

La hipótesis de partida no se verifica en este caso con los glaciares de Posets, ya que no están orientados al Sur. Solo encontramos unas pequeñas zonas en el glaciar de Llardana, seguido del helero de Posets y muy poco en La Paúl.

### 5.3 Pendientes en los macizos glaciares

La cartografía resultante de pendientes va a ser fundamental para ver si los glaciares que se encuentran en zonas con fuerte pendiente, han sido los primeros en desaparecer, es decir, para verificar o no nuestra hipótesis de partida:

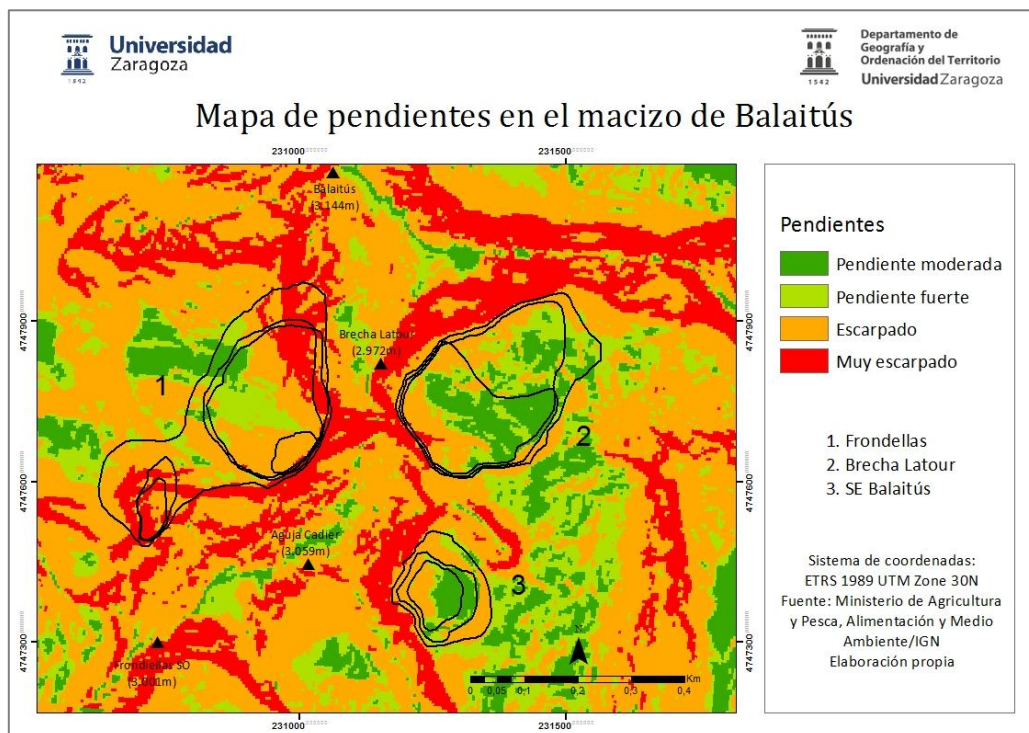
H<sub>1</sub>: Las zonas con fuerte pendiente (escarpadas), son las primeras en las que ha desaparecido el hielo glaciar.

En la leyenda de los mapas, aparecen 4 clases con unos valores expresados en porcentaje: pendientes moderadas (de 0% a 21%), pendientes fuertes (de 21,1% a 30%), pendientes escarpadas (de 30,1% a 55%) y pendientes muy escarpadas (más de 55,1%).

#### 5.3.1 Pendientes en el macizo de Balaitús

Como se aprecia en el mapa 11, al tratarse de una zona de alta montaña de relieves con gran energía, las pendientes más frecuentes se encuentran entre el 30,1% a 55%, o lo que es lo mismo, escarpadas. El siguiente grupo dominante, son aquellas pendientes muy escarpadas, es decir, las superiores al 55,1%.

Centrándonos únicamente en las pendientes de los perímetros glaciares, se observa como las pendientes no son homogéneas. A simple vista, se aprecia cómo en el glaciar de Frondellas, las pendientes dominantes son las escarpadas, seguidas de las muy escarpadas y en menor medida de pendientes fuertes. No obstante, en el glaciar Brecha Latour, dominan las pendientes moderadas, seguidas de las escarpadas y las pendientes fuertes. En el caso del glaciar SE Balaitús, dominan las pendientes escarpadas, seguidas de las moderadas y por último las fuertes.



Mapa 11. Mapa de pendientes en el macizo de Balaitús

Haciendo un análisis más detallado de cada glaciar se aprecia lo siguiente:

### **Frondeillas**

En la PEH en el glaciar de Frondeillas, el grupo más frecuente de clases de pendiente son las comprendidas entre el 30,1% a 55%, donde se engloban las pendientes escarpadas. Éstas se encuentran prácticamente en todo el perímetro correspondiente a este periodo. A este grupo le siguen las pendientes muy escarpadas, localizadas al N-S del perímetro glaciar (mapa 11). El último grupo del que encontramos pequeñas zonas para este periodo, es el de pendientes moderadas y las fuertes. En el año 1946 el comportamiento es igual que en el periodo anterior. En el año 1983 vuelven a dominar las escarpadas, a estas le siguen las muy escarpadas, las fuertes y en una pequeña porción las moderadas. El último resto glaciar existente en el año 2004, se corresponde con pendientes escarpadas.

### **Brecha Latour**

En el glaciar de Brecha Latour, el primer grupo dominante en la Pequeña Edad del Hielo, se corresponde a pendientes moderadas y fuertes, y en menor medida escarpadas. En el siguiente periodo abundan las escarpadas, moderadas y fuertes. Y finalmente en el año 1983 las dominantes son las moderadas, seguidas de las escarpadas, las fuertes y tan solo una pequeña porción de las muy escarpadas.

### **SE Balaitús**

Por último, en el glaciar SE Balaitús, el grupo más frecuente de clases de pendiente en la PEH es el de las escarpadas, y muy poca proporción de las fuertes y moderadas. En el año 1946 esto cambia, dominando las moderadas, seguidas de las escarpadas y las fuertes. Finalmente en el año 1983, dominan las moderadas y escarpadas, y en menor medida las fuertes.

En este caso, la hipótesis  $H_1$  no se verifica del todo. Cada glaciar muestra un comportamiento diferente. Podría decirse que se cumple en el caso de Frondeillas y SE Balaitús en la PEH, ya que se encontraban en zonas escarpadas, y en algún caso muy escarpadas. Sin embargo, en el caso de Frondeillas, el último resto glaciar (helero-nevero) existente en el año 2004 aún se conservaba, a pesar de encontrarse en una zona escarpada.

En las gráficas siguientes (figura 9, 10 y 11), se pueden observar las alturas máximas y mínimas que tienen estos glaciares en diferentes periodos. En el eje de ordenadas se expresa la altitud en metros, y en el eje de abscisas los periodos (PEH, 1946, 1983 y 2004).

La figura 9 hace alusión al glaciar de Frondeillas. Como puede observarse, la tendencia de este glaciar ha sido disminuir en su parte alta y aumentar en su zona baja. En relación a la parte alta del glaciar, lo ha hecho de una forma suave desde la PEH hasta 1983, en cambio, en el último periodo comprendido entre 1983-2004, el sector alto del glaciar ha descendido bruscamente (106 m aproximadamente).

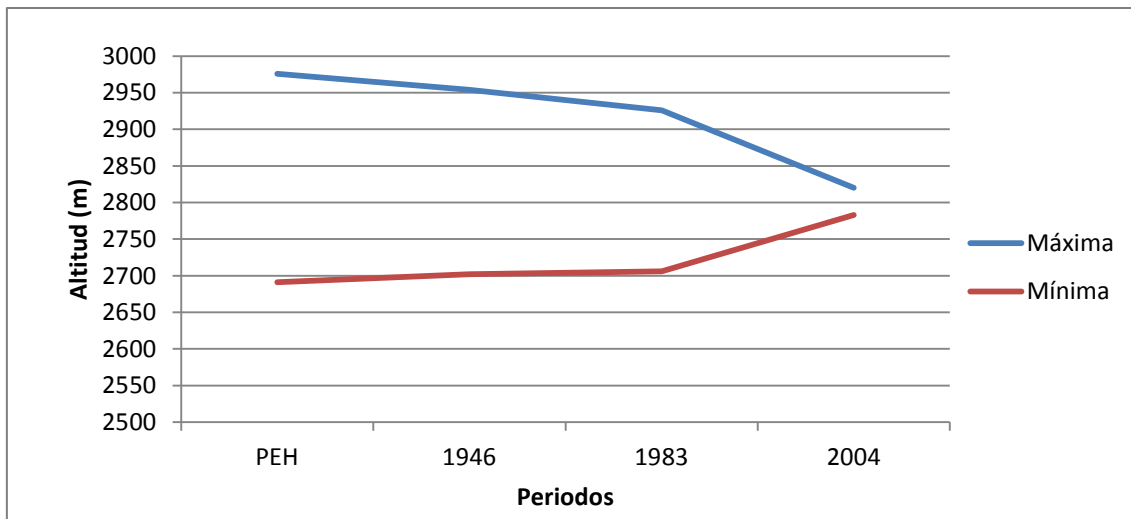


Figura 8. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Frondellas en la PEH, 1946 y 1983. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

En relación a la mínima se ve como la tendencia a aumentar ha sido suave, ésta la ha hecho más suave que la zona alta del glaciar. A partir del año 1983, es cuando ha aumentado fuertemente por su zona baja. La altura máxima a la que se encuentra este glaciar en su parte alta es de 2.976 m en la PEH, y la mínima de 2.820 m en el año 2004. En cambio, la parte más baja del glaciar tiene su máxima en el año 2004 con 2.783 m, y la mínima en la PEH con 2.691 m. Por lo tanto, la zona alta del glaciar se ha fundido más rápida que la parte baja.

En la figura 9 se ve como el comportamiento del glaciar de Brecha Latour ha sido prácticamente homogéneo. La máxima se encuentra a 2.903 m y dentro de ésta, la más baja a 2.894 m, por lo que se ve claramente que ha sido más o menos estable.

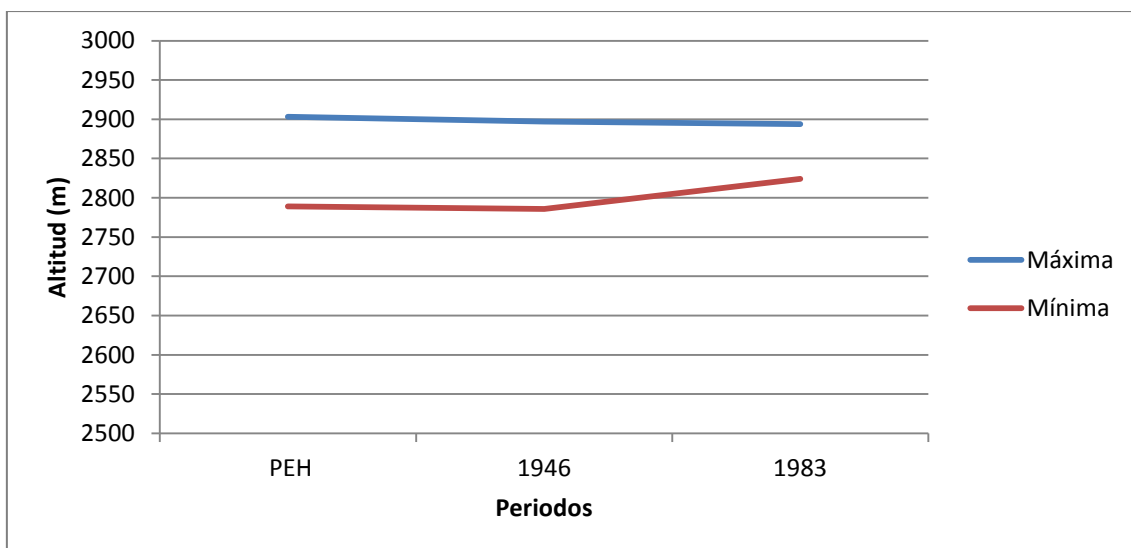


Figura 9. Alturas máximas y mínimas en el glaciar Brecha Latour en la PEH, 1946 y 1983. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

En el caso de la mínima el comportamiento es igual desde la PEH hasta 1946, sin embargo, a partir de 1946 hasta 1983, el glaciar se empieza a fundir más rápidamente por su parte baja, encontrándose a los 2.824 m.

Finalmente la figura 10 representa el glaciar SE Balaitús. Éste al igual que el caso anterior, configura un comportamiento uniforme. La parte alta del glaciar se funde más lenta que la baja.

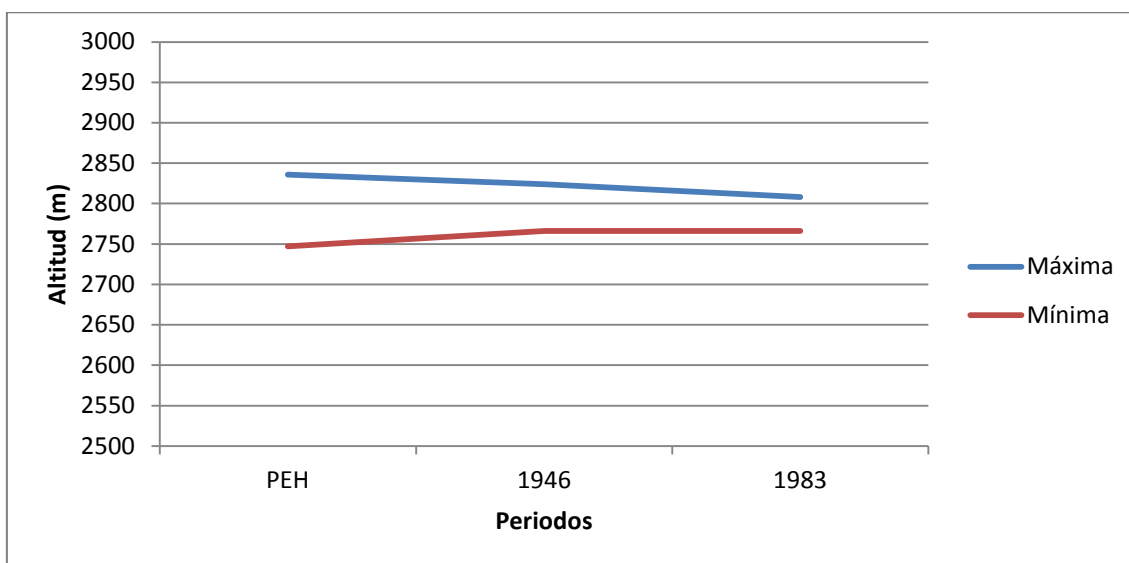


Figura 3. Alturas máximas y mínimas en el glaciar SE Balaitús en la PEH, 1946 y 1983. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

A diferencia de los otros glaciares, este glaciar a partir del año 1946 se estanca en su zona baja, sin embargo, la zona alta del glaciar se sigue fundiendo. La altura máxima es de 2.836 m en la PEH, en cambio la mínima, se encuentra a 2.766 m en 1946 y 1983.

Como se recoge en la tabla 8, el glaciar de Frondellas ha sido el que más alto se ha encontrado siempre (casi los 3.000m), seguido de Brecha Latour y SE Balaitús.

Tabla 8. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Frondellas Brecha Latour y SE Balaitús en la PEH, 1946 y 1983. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

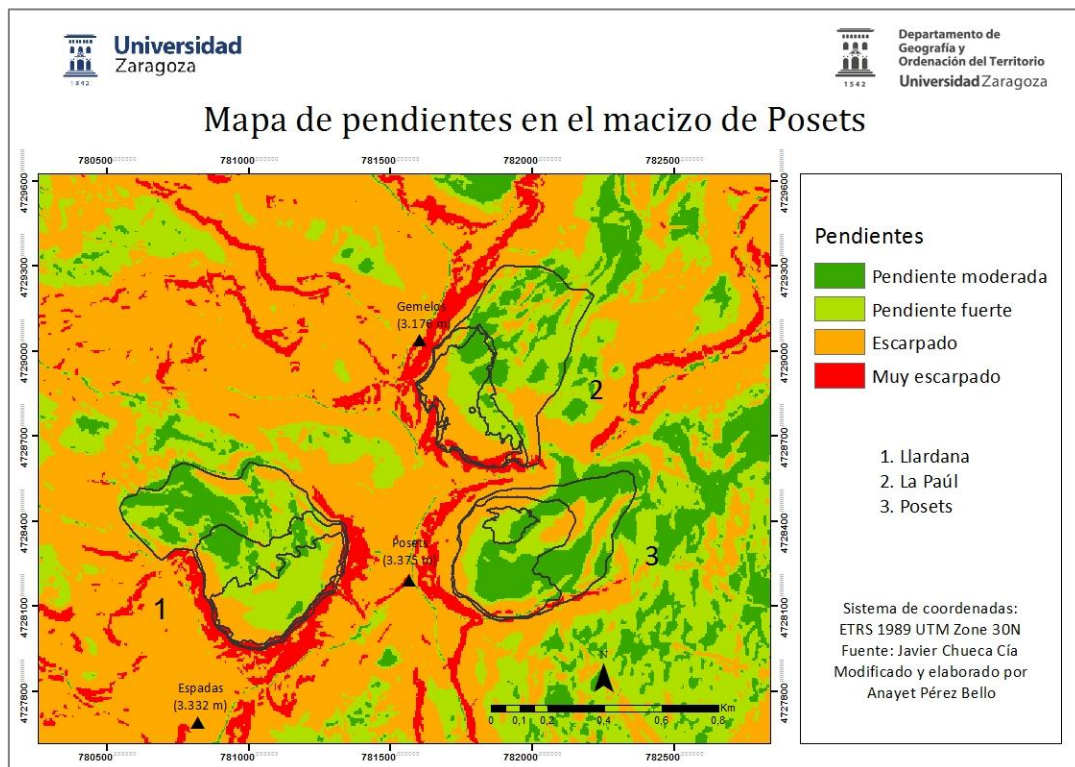
Glaciares	Periodos	Máxima (m)	Mínima (m)
Frondellas	PEH	2976	2691
	1946	2954	2702
	1983	2926	2706
	2004	2820	2783
Brecha Latour	PEH	2903	2789
	1946	2897	2786
	1983	2894	2824
SE Balaitús	PEH	2836	2747
	1946	2824	2766
	1983	2808	2766

Por lo tanto, el comportamiento que muestran estos glaciares es muy diferente. El glaciar que tiene un comportamiento muy dispar es el de Frondellas, ya que cuando el glaciar disminuye por la parte alta, aumenta en la zona baja. Esto no ocurre igual en el glaciar de Brecha Latour, en el que se ve que cuando disminuye la zona alta, lo hace la baja, aunque a partir de 1946 la zona baja comienza a aumentar. En el glaciar SE Balaitús hasta 1946 se ve que disminuye por arriba, y aumenta por abajo, en cambio como se ha comentado antes a partir de 1946 el comportamiento es igual en toda la zona baja del glaciar. En vista de estos valores, la tendencia ha sido mala.

### 5.3.2 Pendientes en el macizo de Posets

Al igual que en los glaciares de Balaitús, las pendientes dominantes son las escarpadas. A estas les siguen las pendientes moderadas y fuertes. Centrándonos en los tres glaciares, se ve cómo el comportamiento en todos es muy similar.

El primer fragmento glaciar en desaparecer, se corresponde con pendientes moderadas, es decir, las que van de 0% a 21%. El perímetro del año 1981, es prácticamente igual que el anterior.



Mapa 12. Mapa de pendientes en el macizo de Posets.

Si hacemos una descripción más detallada de cada glaciar se observa lo siguiente:

#### Llardana

En la PEH, el grupo más frecuente de clases de pendiente son las comprendidas entre 0% a 21%, donde se engloban las pendientes moderadas. Éstas se encuentran en la parte Oeste del perímetro glaciar. A este grupo le siguen las pendientes fuertes, localizadas al Este del



perímetro, y en menor medida las escarpadas, ubicadas al Norte. En el año 1981, el grupo dominante son las pendientes fuertes, seguidas de las moderadas y en menor medida las escarpadas. En el último perímetro glaciar (año 2006), cobran importancia las pendientes fuertes, seguidas de las escarpadas y, una pequeña zona con pendientes moderadas. Por lo tanto, en este caso se ve como el último resto glaciar preexistente, se encuentra en una zona con pendientes comprendidas entre el 21,1% a 30%, es decir, que el hielo glaciar desapareció antes en zonas con menor pendiente.

### **La Paúl**

En el glaciar de La Paúl, el primer grupo dominante en la Pequeña Edad del Hielo, se corresponde con pendientes fuertes, moderadas y en menor medida escarpadas. En el año 1981, las pendientes fuertes también son las que más dominan, seguidas de las escarpadas y en menor proporción las moderadas. Finalmente, se ve cómo en el año 2006, las pendientes escarpadas son las que más abundan, seguidas de las fuertes y las moderadas. Aquí también se ve un claro ejemplo, de que este glaciar se ha conservado en una pendiente escarpada.

### **Posets**

Por último, en el glaciar de Posets, el grupo más frecuente de clases de pendiente en la PEH y el año 1981 son las moderadas, seguidas de las escarpadas y las fuertes. En el caso de este glaciar, se ve cómo el último periodo glaciar preexistente en la actualidad, se localiza en pendientes fuertes y moderadas, es decir, en pendientes comprendidas entre 0% a 30%.

Por lo tanto, la hipótesis  $H_1$  no se cumple. Sí que es cierto, que ha habido zonas ubicadas en pendientes comprendidas entre 21,1%-30% (fuertes), pero no han sido las dominantes.

Finalmente, viendo los resultados, se puede decir que, en el año 2006 el glaciar que aún se conserva, a pesar de estar ubicado en una zona con mayor pendiente (escarpado), es el de La Paúl, y con menor pendiente el de Llardana y Posets.

Por lo tanto, no todas las zonas en las que desapareció primero el hielo glaciar, han sido las de mayor pendiente (escarpada), ya que actualmente perduran glaciares ubicados en pendientes más fuertes. Por lo tanto la hipótesis de partida no se verifica.

A continuación, se muestran unos gráficos (figura 11, 12, 13) que representan las alturas máximas y mínimas que tienen los glaciares de Llardana, La Paúl y Posets en la PEH, y los años 1981 y 2006. En el eje de ordenadas (y) aparece la altitud expresada en metros, y en el eje de abscisas (x) los diferentes periodos. Los tres glaciares se han mantenido siempre a una altura superior a los 3.000 m.

En la figura 12 queda representado el glaciar de Llardana. A simple vista, se ve como la tendencia de este glaciar ha sido disminuir en su parte alta, y aumentar en la baja, como ocurría en el glaciar de Frondellas (figura 8).

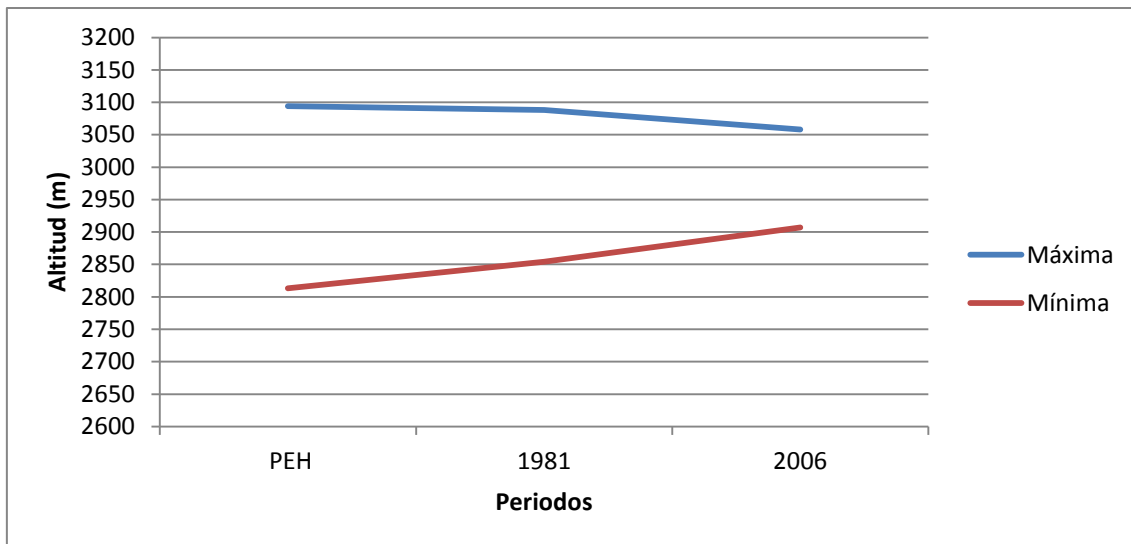


Figura 4. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Llardana en la PEH, 1981 y 2006. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

La zona máxima del glaciar disminuye suavemente. Se mantiene prácticamente estable en el primer periodo (PEH-1981), pero de 1981 en adelante comienza a disminuir algo más. Sin embargo, la zona mínima del glaciar aumenta más bruscamente.

En la figura 12 aparece representado el glaciar La Paúl. El comportamiento de este glaciar es muy diferente al anterior. Se ve como la máxima se mantiene siempre a una altura de 3.155 m, sin embargo, las mínimas en el glaciar varían.

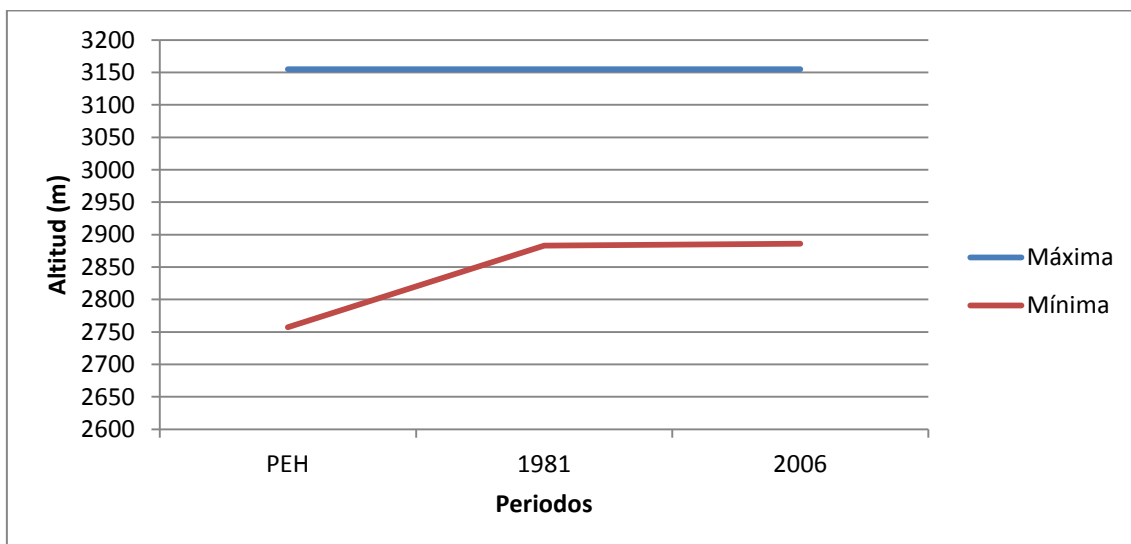


Figura 5. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de La Paúl en la PEH, 1981 y 2006. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

Desde la PEH hasta 1981 el glaciar ha aumentado por su parte baja, pasando de 2.757 m en la PEH, a 2.883 m en el año 1981, por lo que ha aumentado 126 m. No obstante, a partir de ese último año hasta el último periodo, la mínima se ha mantenido muy estable.



Finalmente en la figura 13 queda representado el glaciar de Posets. Se ve como el comportamiento del glaciar hasta el año 1981 es igual, mostrando un cambio a partir de ese año.

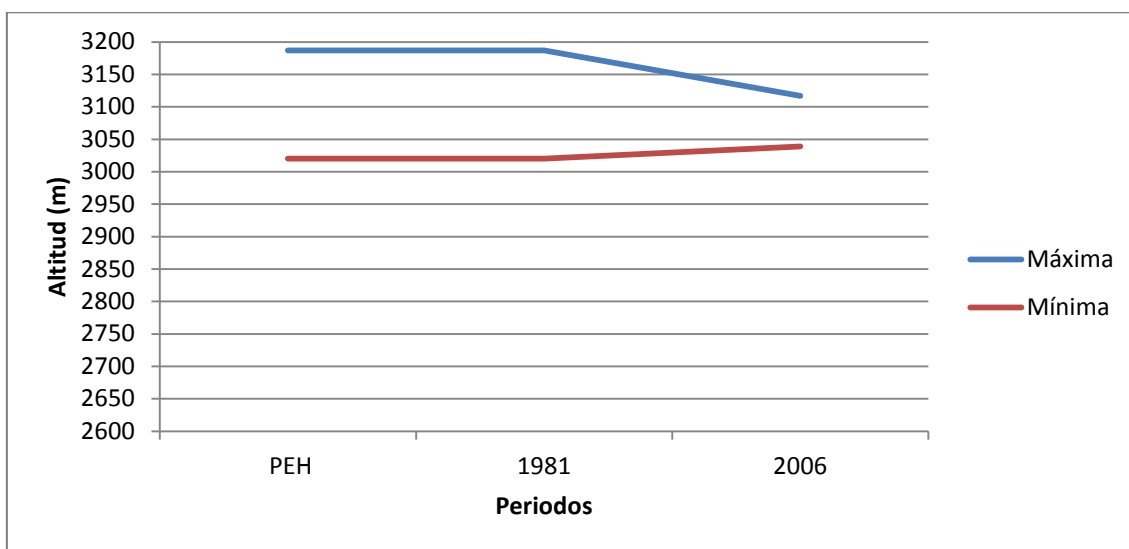


Figura 6. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Posets en la PEH, 1981 y 2006. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

La máxima del glaciar en el periodo PEH-1981 se encuentra a 3.187 m, y la mínima a 3.020 m. A partir de 1981 hasta 2006 la parte alta del glaciar, comienza a disminuir más fuerte que la mínima, que empieza a aumentar suavemente.

Tal y como se ha visto en las figuras anteriores, el comportamiento de cada glaciar no ha sido homogéneo. El glaciar que se ha encontrado siempre a mayor altura ha sido el de Posets, seguido de La Paúl y Llardana (figura 14). Es probable que actualmente se sigan manteniendo estos perímetros glaciares ya que, a estas alturas, las temperaturas son más bajas y el glaciar se mantiene, debido a las precipitaciones en forma de nieve.

Figura 74. Alturas máximas y mínimas en el glaciar de Llardana, La Paúl y Posets en la PEH, 1981 y 2006. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

Glaciares	Periodos	Máxima	Mínima
Llardana	PEH	3094	2813
	1981	3088	2854
	2006	3058	2907
La Paúl	PEH	3155	2757
	1981	3155	2883
	2006	3155	2886
Posets	PEH	3187	3020
	1981	3187	3020
	2006	3117	3039

Dado que la orientación y las pendientes no han sido dos factores condicionantes al completo en la regresión de estos glaciares, se va a analizar la radiación solar.

## 5.4 Radiación solar en los macizos glaciares

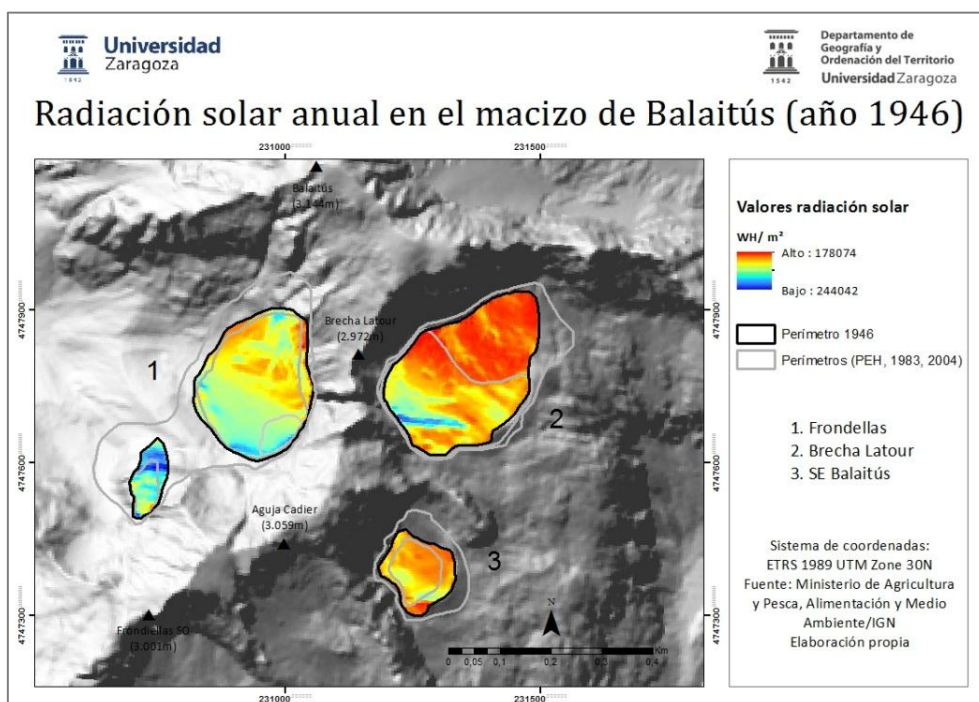
En este apartado, se muestran los mapas con las variaciones de radiación solar recibida en cada perímetro glaciar en los macizos de Balaitús y Posets a lo largo de todo el año, y de verano, acompañada de unas tablas que expresan la radiación solar media. La radiación solar en verano se ha añadido, ya que es la estación del año en la que se recibe mayor radiación solar, no obstante, la radiación solar anual será la predominante, ya que abarca las cuatro estaciones del año. Por ello, en todas las tablas, la radiación solar anual será más alta que la de verano, ya que la de verano solo abarca tres meses, en cambio la anual cubre los doce meses.

En el análisis no se ha podido llevar a cabo la radiación solar de la Pequeña Edad del Hielo, ya que el programa ArcGis no permite realizar estos cálculos. Además, se realizó la búsqueda de otros estudios de este periodo pro tampoco se tuvo éxito alguno.

### 5.4.1 Radiación solar en el macizo de Balaitús

En el mapa 13, aparece representada la radiación solar durante el año 1946 en los glaciares de Balaitús. Los valores de radiación están expresados en  $\text{WH}/\text{m}^2$ . Se ve, cómo el glaciar de Brecha Latour, es el que más radiación solar ha recibido (tabla 8), destacando en su zona más septentrional. Tal y como se ha comentado anteriormente, la orientación de esta glaciar es Sur (mapa 8), por lo que los rayos solares han incidido más en esta zona.

El siguiente glaciar que muestra abundantes valores de radiación solar es el SE Balaitús, con una media de  $1.431.919 \text{ WH}/\text{m}^2$  (tabla 8). Este muestra un comportamiento prácticamente homogéneo en su distribución de radiación solar. Aunque es cierto que en la zona meridional, se ve una franja donde la radiación solar es más abundante.



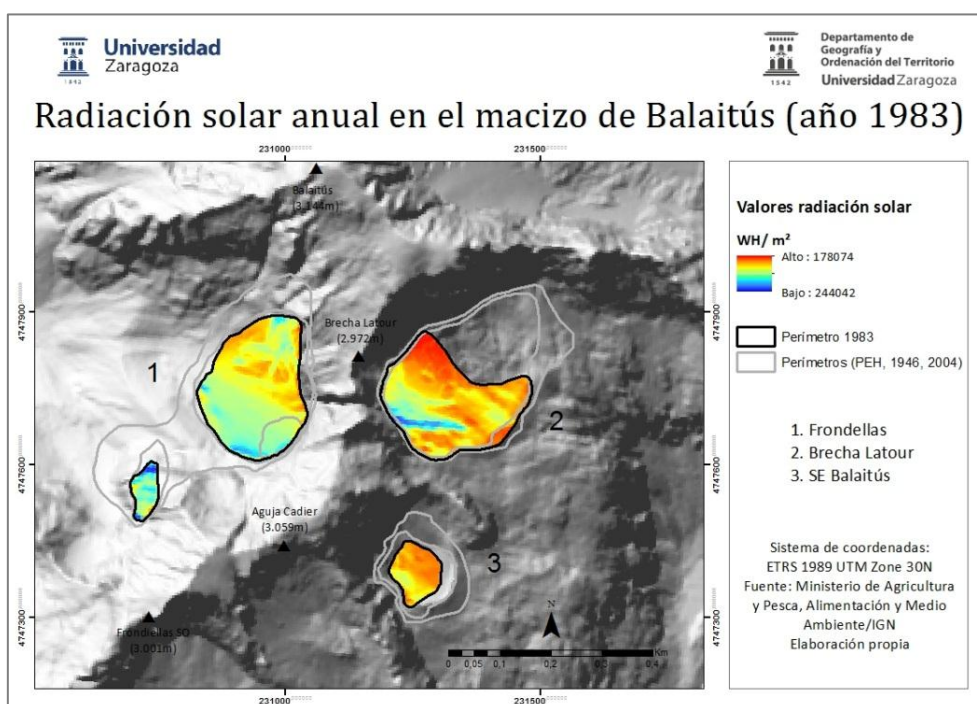
Mapa 13. Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 1946).

En cambio el glaciar de Frondellas, es el que menos radiación solar muestra. En este glaciar se ven dos partes claramente diferenciadas. Las zonas orientadas al Sur (mapa 8), es decir, en el glaciar la zona más septentrional, es donde la radiación solar es más fuerte, que en las zonas meridionales del glaciar.

Tabla 9. Radiación solar media anual y de verano (WH/m<sup>2</sup>) de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en el año 1946. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

1946	Media anual (WH/m <sup>2</sup> )	Media verano (WH/m <sup>2</sup> )
Frondellas	1.091.313	429.799
Brecha Latour	1.472.978	552.314
SE Balaitús	1.431.919	545.306

En el mapa 14 se puede observar la radiación solar anual en el año 1983 en los glaciares de Balaitús. La diferencia con el caso anterior (mapa 13), es que los valores de radiación solar por lo general han aumentado, pero de una forma muy suave. El único glaciar en el que los valores de radiación solar han disminuido, ha sido el de Brecha Latour (116.727 WH/m<sup>2</sup> diferencia).



Mapa 14. Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 1983).

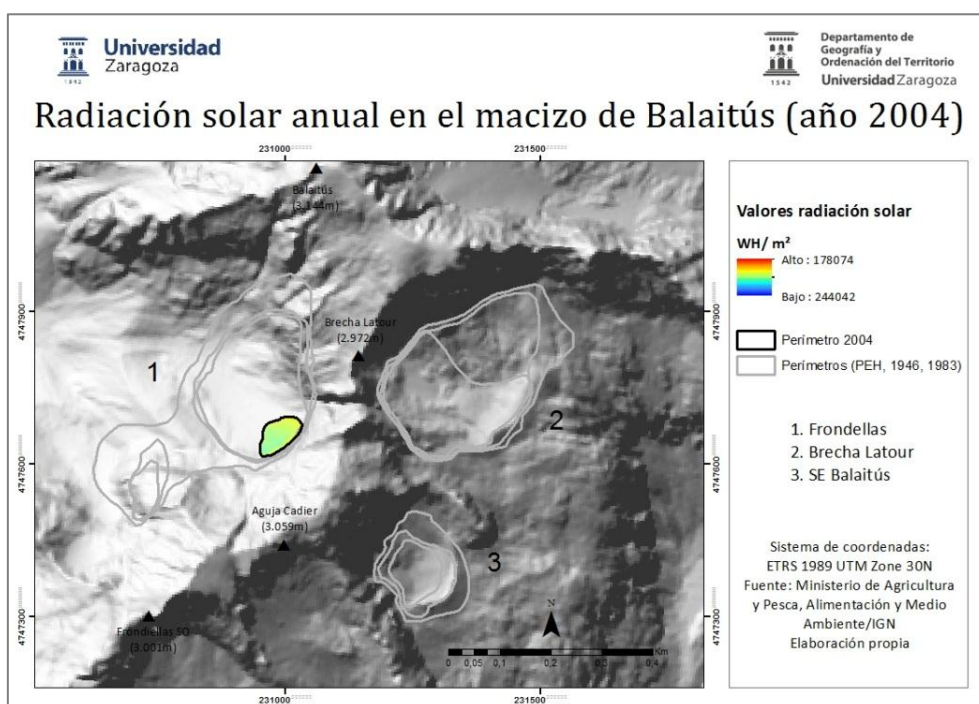
En el periodo anterior el glaciar de Brecha Latour, era el que presentaba unos valores de radiación solar más altos. En este año no ocurre así, ya que el que valor más alto se da en el glaciar SE Balaitús. Se puede decir que, hasta el momento el glaciar de Frondellas, sigue siendo el glaciar con menores valores de radiación solar.

Tal y como se mencionaba anteriormente, esto se ha podido deber a la orientación de los glaciares, ya que Brecha Latour y SE Balaitús, están orientados mayoritariamente al Sur.

Tabla 10. Radiación solar media anual y de verano (WH/m<sup>2</sup>) de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en el año 1983. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

1983	Media anual (WH/m <sup>2</sup> )	Media verano (WH/m <sup>2</sup> )
Frondellas	1.118.075	442.798
Brecha Latour	1.356.251	523.608
SE Balaitús	1.437.569	547.882

Finalmente, el mapa 15 hace alusión a la radiación solar anual en el año 2004 en los glaciares de Balaitús. Se puede observar, como todos los perímetros glaciares han desaparecido, menos un único resto glaciar en Frondellas. En su fase inicial este glaciar contaba con 10,50 ha (PEH), en el último año tan solo quedan 0,41 ha (2004), por lo que el glaciar, ha perdido prácticamente toda su superficie (10,09 ha).



Mapa 15. Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 2004).

Tal y como en el periodo anterior la media de radiación solar había aumentado, en este año no ocurre lo mismo. En comparación con los dos periodos comentados anteriormente, este ha sido el único año en el que el glaciar ha mostrado valores de radiación solar más bajos (tabla 11). Esta zona preexistente, está orientada al Noroeste-Norte. Esto es un factor clave, que muestra como esta zona en la que la radiación solar incidente es mínima, siga manteniéndose el hielo glaciar (año 2004). Actualmente este glaciar se ha extinguido (las imágenes se pueden ver en los ANEXOS del trabajo). Es probable que se fundiera primero la zona del glaciar septentrional, porque se ve que posee los valores más altos de radiación y, finalmente la zona más meridional, ya que contiene los valores de radiación más bajos.

Tabla 11. Radiación solar media anual y de verano (WH/m<sup>2</sup>) de los glaciares Frondellas, Brecha Latour y SE Balaitús en el año 2004. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.

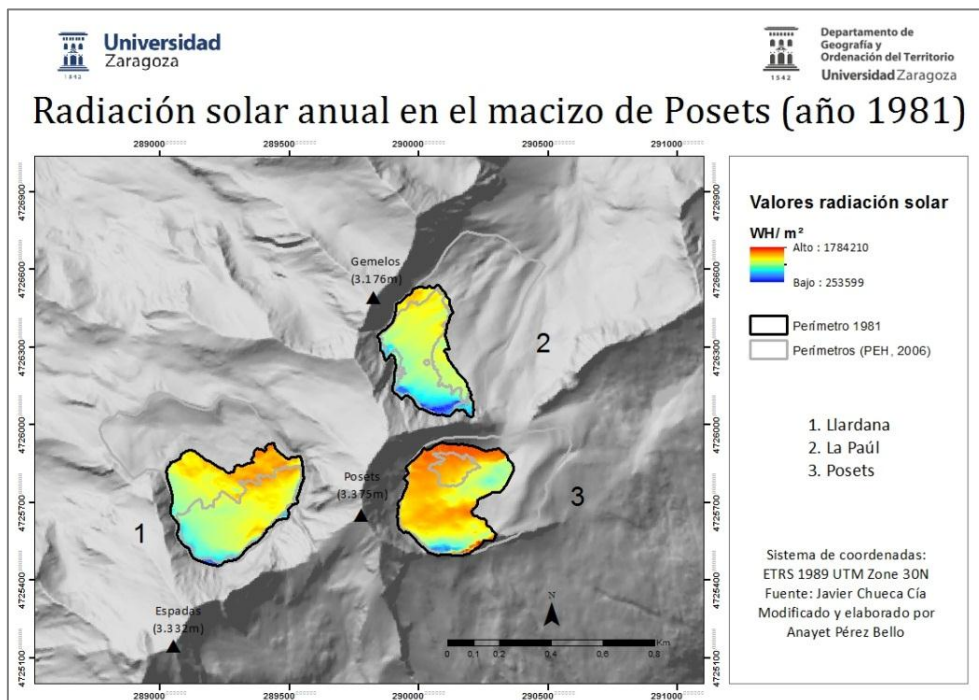
2004	Media anual (WH/m <sup>2</sup> )	Media verano (WH/m <sup>2</sup> )
Frondellas	1.087.552	451.979
Brecha Latour	-	-
SE Balaitús	-	-

Por lo tanto, se ha visto como los valores de radiación solar dependiendo del periodo estudiado han variado. En el caso del año 1946 el glaciar que mostraba valores más altos era el de Brecha Latour, en cambio en el año 1981 lo hacía el SE Balaitús.

Volviendo a retomar la hipótesis de partida: Los perímetros glaciares donde se ha fundido más rápido el hielo, se corresponden con zonas que han recibido mayor radiación solar; vemos que la hipótesis se cumple solo en el caso del glaciar Brecha Latour, ya que se ha visto que ha mostrado valores más altos en el año 1946 que en 1983. En cambio Frondellas y SE Balaitús, han tenido valores más altos en el último periodo.

#### 5.4.2 Radiación solar en el macizo de Posets

En el mapa 16 se expresan los valores de radiación solar anual en los glaciares de Posets en el año 1981. A simple vista, se ve que el glaciar de Posets, es el que mayor radiación solar ha recibido en ese año. A este le sigue el de Llardana y La Paúl (tabla 12).



Mapa 16. Radiación solar anual en el macizo de Posets (año 1981).

En el perímetro glaciar correspondiente a Posets, se puede observar cómo los valores de radiación solar anual son altos prácticamente en todo el glaciar. Sin embargo, en la zona septentrional del glaciar se ven los valores más altos, ya que está orientado al Sur (mapa 10).



En cambio, los valores más bajos de radiación solar se localizan al Este y Sur del glaciar (visto en el mapa) en la zona meridional, ya que están orientados al Norte-Noreste (mapa 9).

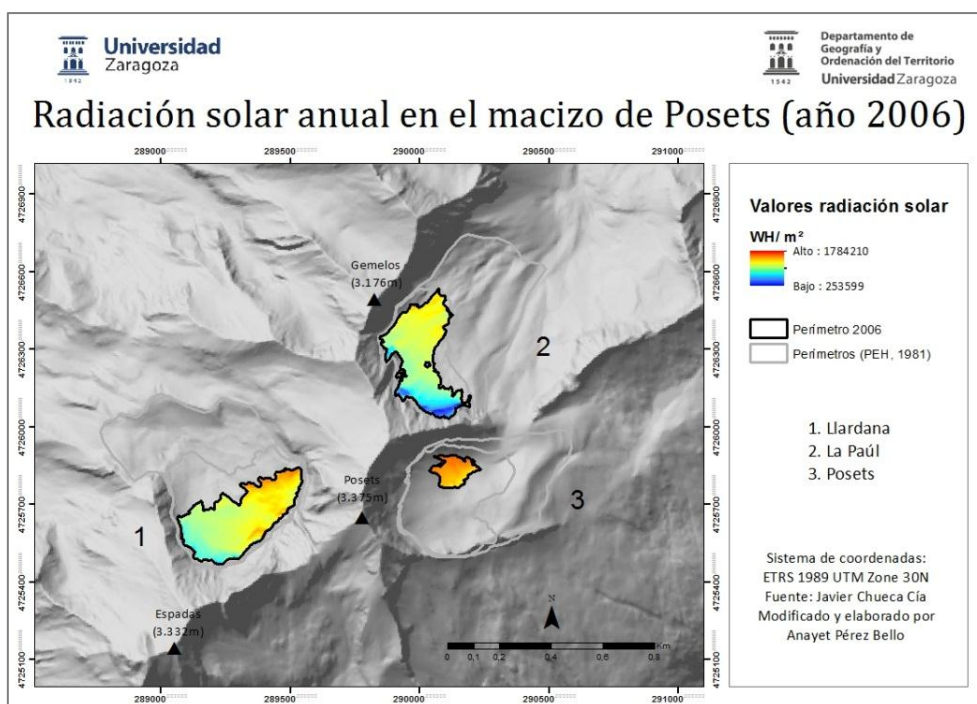
En el glaciar de Llardana el valor más alto de radiación solar, se encuentra en la parte superior derecha del perímetro; en cambio los valores más bajos están situados en la zona occidental, ya que están orientados al Norte, Noreste y Noroeste (mapa 9).

Finalmente, el glaciar de La Paúl es el que contiene los valores de radiación solar más bajos (tabla 12). En este glaciar los valores mínimos, están ubicados en la zona baja del perímetro, correspondiente con laderas orientadas al Norte (mapa 9). No obstante, haciendo alusión únicamente a la zona del glaciar que desaparece en este periodo, se ve cómo los valores más altos de radiación solar, se encuentran en la parte superior correspondientes a laderas Este, en cambio los más bajos, se encuentran en orientaciones Norte.

Tabla 12. Radiación solar media anual y de verano ( $WH/m^2$ ) de los glaciares Llardana, La Paúl y Posets en el año 1981. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

1981	Media anual ( $WH/m^2$ )	Media verano ( $WH/m^2$ )
Llardana	1.176.747	479.077
La Paúl	1.033.263	433.968
Posets	1.338.414	526.105

El mapa 17 hace alusión al último periodo del cual aún encontramos restos glaciares. Se ve cómo se sigue manteniendo el mismo orden en cuanto a los valores de radiación solar, ya que los más altos siguen siendo los de Posets, seguido de Llardana y La Paúl.



Mapa 17. Radiación solar anual en el macizo de Posets (año 2006).

Es posible que el glaciar de Posets, al mostrar valores de radiación solar tan altos (tabla 13) sea el primero en desaparecer. De las 23,01 ha que encontrábamos en la Pequeña Edad del Hielo,

tan solo quedan 1,50 ha actualmente (21,51 ha pérdida). En este glaciar es probable, que se fundirá antes por la zona septentrional, ya que está orientado al Sur. Este glaciar debido a sus características, ha pasado a la categoría de helero (Chueca et al., 2002).

Tabla 13. Radiación solar media anual y de verano ( $\text{WH/m}^2$ ) de los glaciares Llardana, La Paúl y Posets en el año 2006. Fuente: Javier Chueca Cía. Elaboración propia.

2006	Media anual ( $\text{WH/m}^2$ )	Media verano ( $\text{WH/m}^2$ )
Llardana	1.162.856	476.065
La Paúl	1.028.240	431.325
Posets	1.496.409	570.179

Por lo tanto, haciendo alusión a la hipótesis de partida, en este caso no se cumple en todos los glaciares. Podría decirse que en el caso de los glaciares de Llardana y La Paúl sí que se cumple, ya que han sido dos perímetros que en el año 1981, han mostrado valores más altos de radiación solar que en el año 2006, en cambio en el glaciar de Posets, los valores son más altos en el año 2006 que en 1981.

## 6. Conclusiones

La elaboración de este estudio ha permitido cartografiar los perímetros glaciares y, analizar una serie de factores condicionantes en su regresión, como han sido las orientaciones, las pendientes y la radiación solar; además de verse acelerado por el cambio climático.

Ambos macizos montañosos se encuentran en zonas de alta montaña de relieves con gran energía, ubicados a partir de 3.000 m de altitud. En el caso del macizo de Balaitús, los glaciares se encontraban muy próximos a los tres mil metros, mientras que en Posets ya sobrepasaban esa altitud. Esto es un factor clave, ya que a estas altitudes las temperaturas son más bajas, las cuales permiten mantener las nieves y los hielos, gracias a la precipitación en forma de nieve; además de ubicarse en pequeños circos orientados casi siempre a umbría, donde la importancia de la ablación por procesos de fusión queda reducida al minimizarse los aportes de radiación solar (Chueca, 1996).

Tal y como se ha visto en los resultados, los glaciares en estas dos zonas ocuparon dimensiones muy diferentes. Por lo general, estos glaciares no abarcaron grandes extensiones en comparación con los grandes glaciares del resto del mundo (Perito Moreno, Petermann, Lambert,...). No obstante, la PEH supuso una época muy importante para la reactivación de los glaciares en el Pirineo aragonés. Los glaciares correspondientes al macizo de Posets, llegaron a ocupar mayores superficies glaciares (prácticamente tres veces más) que los glaciares de Balaitús. Actualmente solo se mantienen los glaciares de Llardana y La Paúl, y el helero de Posets (macizo de Posets), no obstante, los glaciares del macizo de Balaitús ya están extintos (se pueden consultar en las imágenes 8, 9, 10, 11, 12 y 13 del ANEXO de este trabajo). Primero lo hizo el SE Balaitús y Brecha Latour, y finalmente Frondellas.



Retomando las hipótesis planteadas al comienzo del trabajo, se ha observado que las hipótesis no son homogéneas en ambos macizos montañosos. En relación a las orientaciones se ha visto como en el caso de los glaciares de Balaitús estaban orientados al Sur, en cambio los de Posets estaban orientados más hacia el Norte.

En relación a las pendientes se ha observado que se confirma la hipótesis para los glaciares Frondellas y SE Balaitús (macizo Balaitús) ya que fueron los primeros perímetros en desaparecer, aunque el último resto glaciar existente en el glaciar de Frondellas también estaba localizado en una zona escarpada, en cambio en los glaciares de Posets, no se ha cumplido, ya que éstos se encontraban en pendientes moderadas y fuertes.

También se ha visto como la radiación solar ha favorecido la regresión de estos glaciares. Ésta fue mayor en los glaciares de Balaitús (no podemos olvidarnos que estos perímetros estaban ubicados en gran parte en orientaciones Sur), concretamente en el periodo de 1946 en Brecha Latour, y en el periodo de 1983 en el SE Balaitús. En el caso de los glaciares de Posets, la radiación en los dos periodos mantuvo el mismo orden, siendo los mayores en Posets, seguido de Llardana y finalmente La Paúl.

Tal y como ocurrió en periodos anteriores, los glaciares Llardana, La Paúl y el helero de Posets desaparecerán en cuestión de muy pocos años (años 2050-2060), como lo ha hecho el de Balaitús u otros glaciares del Pirineo aragonés, como son el del Alba, Taillón, Literola,... quedando tan solo en el terreno marcas y materiales glaciares (tills y morrenas) que las generaciones futuras no podrán ver.

Haciendo alusión únicamente a los glaciares de Posets, ya que son los que actualmente perduran, es posible que desaparecerán primero las zonas que van a recibir más radiación solar y, por último, las que menos radiación solar reciben. Lo hará primero el helero de Posets, ya que actualmente (año 2006) ocupa 1,5 ha, debido a que está expuesto en una zona de solana y, que ha sido el glaciar que menos dimensiones ha ocupado siempre. De este glaciar, acabará desapareciendo primero, la zona Norte debido a que recibe mayor radiación solar que la Sur (mapa 9), a este le seguirá el de Llardana y por último el de Posets, ya que como se ha comentado antes el orden de máxima radiación solar ha sido así. Sin embargo, esto no quiere decir, que vaya a ocurrir exactamente así, porque el glaciar de Llardana ocupa más superficie que el de La Paúl, y puede que aunque muestre los valores más altos de radiación solar, se mantenga por que ocupe mayores dimensiones.

Podría ampliarse el tiempo en que tardase en desaparecer, si se cubriesen de materiales (clastos) los glaciares, que evitarían así que incidiese directamente la radiación solar en el hielo. Además si disminuyesen las temperaturas y, aumentasen las precipitaciones en forma de nieve, favorecerían la conservación de estos glaciares. Esto no quiere decir, que aumentase su espesor, simplemente serviría para mantenerlos y, evitar esta pérdida tan acelerada.

A la vista de estos valores, la magnitud del retroceso experimentado por los glaciares actuales es evidente y dramática.

## 7. Bibliografía

### 7.1 Fuentes bibliográficas

- Alonso, M.J., Sesé, C., (1988): *Historia de la Tierra y de la Vida*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid. pp.90-91.
- Biarge, F; García Ruiz, J.M<sup>a</sup> y Biarge, A (2001): *Roca viva. El modelado del paisaje pirenaico*. Colección el Patrimonio Natural Altoaragonés. Diputación de Huesca, pp.134-143.
- Chueca, J (1996): *Estimación de la radiación incidente en el glaciar del Aneto (Pirineo central): repercusiones en su proceso de desarrollo y deglaciación*.pp.183-190.
- Chueca, J. y Julián, A (2006): *La degradación reciente de los glaciares del Pirineo español: datos de pérdida de superficie durante el periodo de observación 1981/2005-2006*. Boletín Glaciológico Aragonés, 7: 9-182.
- Chueca, J y Julián, A (2008): *Dinámica de los glaciares del Pirineo aragonés: resultados de la campaña glaciológica del año 2009*. Boletín Glaciológico Aragonés 9: 9-115.
- Chueca, J y Julián, A (2010): *Dinámica de los glaciares del Pirineo aragonés: resultados de la campaña glaciológica del año 2011*. Boletín glaciológico aragonés. Universidad de Zaragoza, N<sup>o</sup>11, pp. 9, 68, 182.
- Chueca, J y Julián, A (2009): *8340 Glaciares permanentes*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Universidad de Zaragoza, pp.1-52.
- Chueca, J., Julián, A y Biarge, F (2002): *Los glaciares pirenaicos aragoneses. Evolución. Fotografías 1880-1999*. Libro-Catálogo. Diputación de Huesca, pp.12-26, 174-176.
- Chueca, J., Peña Monné, J.L., Lampre Vitaller, F., García Ruiz, J.M y Martí Bono, C (1998): *Los glaciares del pirineo aragonés: estudio de su evolución y extensión actual*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio; Universidad de Zaragoza, pp.84-86.
- Chueca, J y Lampre, F (1994): *Los Glaciares Altoaragoneses*. Cuadernos Altoaragoneses de trabajo 21. Diputación de Huesca, pp. 7-9.
- Cuadrat, J.M (2002): *El clima de Aragón*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza, pp.1-12.
- Cuadrat, J.M y Fernanda Pita, M<sup>a</sup> (2011): *Climatología*. Ediciones Cátedra. Madrid. pp. 351.
- Francés Mahamud, M (2008): *Control general de los glaciares del Pirineo Español. Año hidrológico 2007-2008*. Ingeniería, 75, S.A. pp.3-5, 13-15.
- Grove, J.M (1988): *The Little Ice Age*, Methuen, London, 498pp.
- Julián, A., Chueca, J., Peña, J. L., López-Moreno, J. I. & Lapeña, A., (2001): *Dinámica de los glaciares del Pirineo aragonés: resultados de la campaña glaciológica del año 1999*, Boletín Glaciológico Aragonés 2: 13-36.
- Mart, C y García, J.M (1994): *El glaciarismo surpirenaico: Nuevas aportaciones*. Geoforma Ediciones. Logroño, pp. 21-22.
- Monterroso, M.F (2016): *Estimación del retroceso glaciar en el Parque Nacional Natural de los Nevados-PNNN- a través del uso de imágenes ópticas e interferometría*

- diferencial-Dinsar (2010-2015)*. Informe final de investigación. Universidad Católica de Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. pp.1-153.
- Ochoa, T (2011): *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. Editorial Kimpres Ltda. pp.281
  - Serrano, E., Agudo, C y González Trueba, J.J (2002): *La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogenéticas glaciares en el Macizo del Posets (Pirineo Aragonés)*. Dpto. Geografía. Universidad de Valladolid. Dpto. Geografía, Urbanismo y O.T. Universidad de Cantabria.
  - Serrano, E., y González, J.J (2004): *El método AAR para la determinación de paleo-elas: Análisis metodológico y aplicación en el macizo de Valdecebollas (Cordillera Cantábrica)*. Dpto: Geografía. Universidad de Valladolid. Dpto. Geografía, Urbanismo y O.T. Universidad de Cantabria.
  - Serrano, E., González Trueba, J.J y Sanjosé, J.J (2011): *Dinámica, evolución y estructura de los glaciares rocosos de los Pirineos*. Cuadernos de Investigación Geográfica, Nº37 (2), pp.145-163.
  - Serrano Cañadas, E., Martínez de Pisón Stampa, E y Agudo Garrido, C (2000): *El medio periglacial de alta montaña en el Pirineo central: aportaciones recientes*. Instituto de Estudios Turolenses, pp. 47-58.

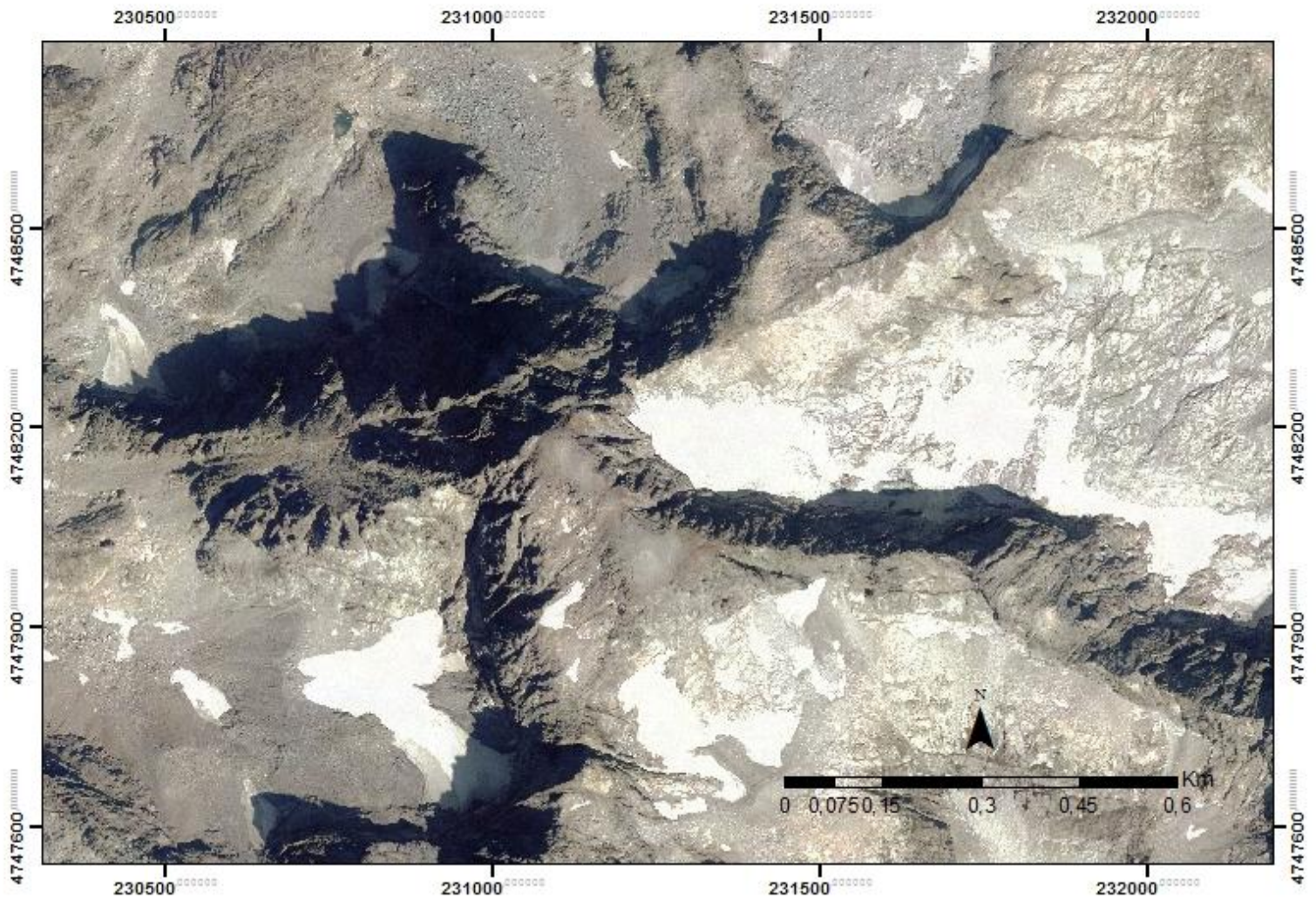
## 7.2 Sitios Webs



- Climatología de Ordesa y Monte Perdido. Guía Digital Ainsa [online] Available at: [http://www.ainsa.es/climatologia\\_ordesa.php](http://www.ainsa.es/climatologia_ordesa.php)
- Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas. El programa ERHIN (1984-2008), [online] Available at: [http://www.mapama.gob.es/en/agua/publicaciones/Libro\\_ERHIN\\_tcm11-190926.pdf](http://www.mapama.gob.es/en/agua/publicaciones/Libro_ERHIN_tcm11-190926.pdf)
- Desaparición de glaciares pirenaicos españoles. Cambio climático a la vista (Septiembre 2004), [online] Available at: [http://estaticos.elmundo.es/especiales/2007/02/ciencia/cambioclimatico/documentos/glaciares\\_pirineo.pdf](http://estaticos.elmundo.es/especiales/2007/02/ciencia/cambioclimatico/documentos/glaciares_pirineo.pdf)
- El Cenozoico. La era de los mamíferos (Mayo de 2016), [online] Available at: <https://es.scribd.com/doc/316511636/Eras-Geologicas-M14S3>
- Historia del clima de la Tierra (Octubre 2010), [online] Available at: [http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/historia\\_del\\_clima\\_de\\_la\\_tierra\\_anton\\_urriarte.pdf](http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/historia_del_clima_de_la_tierra_anton_urriarte.pdf)
- Inventario de glaciares del Perú (Julio 2014) [online] Available at: [http://commons.sdsu.edu/INVENTARIO\\_GLACIARES\\_ANA.pdf](http://commons.sdsu.edu/INVENTARIO_GLACIARES_ANA.pdf). Pag.9
- (MAPAMA, 2006) [online] Available at: [http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Superficies\\_y\\_dimensiones\\_macizos\\_glaciares\\_1946-2005\\_tcm7-193116.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Superficies_y_dimensiones_macizos_glaciares_1946-2005_tcm7-193116.pdf)
- Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos. Espacios Naturales Protegidos (2003) [online] Available at: [http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Documentos/%C3%81reas/RedNaturaArag%C3%B3n/EspaIntegrRedNaturArag/EspaciosNaturalesProtegidos/MONUM\\_GLACIARES.PDF](http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Documentos/%C3%81reas/RedNaturaArag%C3%B3n/EspaIntegrRedNaturArag/EspaciosNaturalesProtegidos/MONUM_GLACIARES.PDF)

- Tabla cronoestratigráfica internacional. Sociedad Geológica de España. [online] Available at: <http://www.igeo.ucm-csic.es/igeo/noticias/237-nueva-tabla-cronoestratigr%C3%A1fica-es-espa%C3%B1ol>
- Temperature of Planet Earth (2015) [online] Available at: [http://gergs.net/2015/06/updating-the-geological-temperature-plot/all\\_palaeotemps/](http://gergs.net/2015/06/updating-the-geological-temperature-plot/all_palaeotemps/)
- Tiempo (2012), [online] Available at: <http://www.tiempo.com/ram/498/meteorologia-ii-los-movimientos-de-la-tierra-en-el-espacio-y-la-radiacion-solar-como-causas-del-rompecabezas-meteorologico/>
- Uriarte Antón: *La desecación del Mediterráneo*. Departamento de Geografía. Universidad el País Vasco (Marzo 2012), [online] Available at: <http://www.tiempo.com/ram/911/la-desecacin-del-mediterrneo/>

## **8. Anexos**

# Mapa de localización del área de estudio (Macizo de Balaitús)



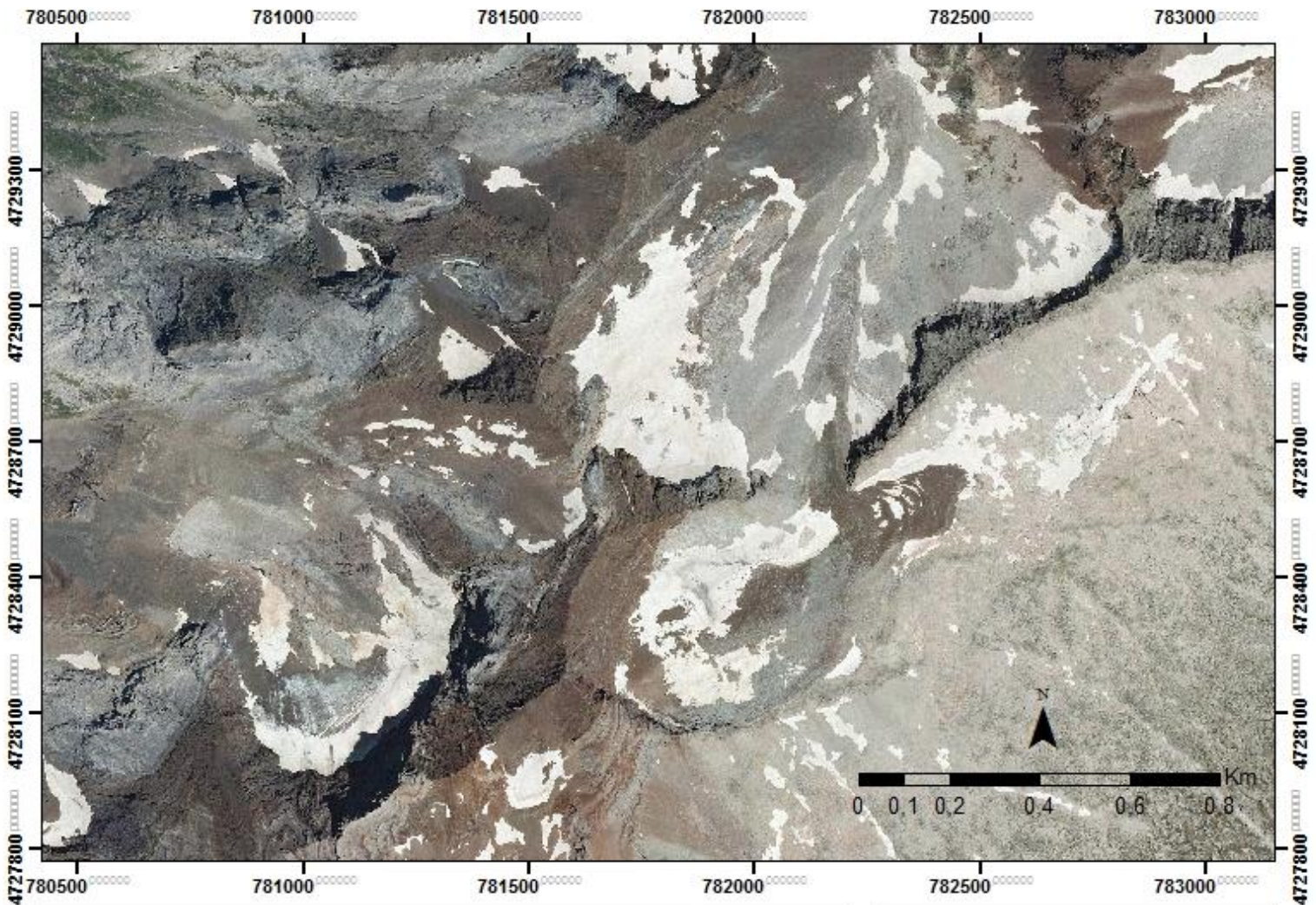
-  Área de estudio
-  Comarcas


Sistema de coordenadas:  
ETRS 1989 UTM Zone 30N  
Fuente: IGN  
Elaboración propia






# Mapa de localización del área de estudio (Macizo de Posets)



 Área de estudio

 Comarcas

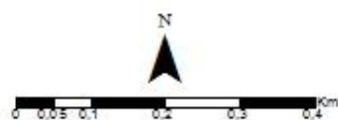
Sistema de coordenadas:  
ETRS 1989 UTM Zone 30N  
Fuente: IGN  
Elaboración propia



# Geomorfología en los circos glaciares de Balaitús

## Leyenda

- +— Crestas
- >— Collados
- ▲ Picos principales
- Divisoria topográfica menor
- Límites circo glaciar
- ➔ Rocas pulidas y aborregadas
- Canal de aludes
- Till y arcos morrenicos
- ▨ Canchal
- ▨ Till actual y subactual
- ▭ Cubeta glaciar
- ▭ Glaciar
- ▭ Glaciar helero

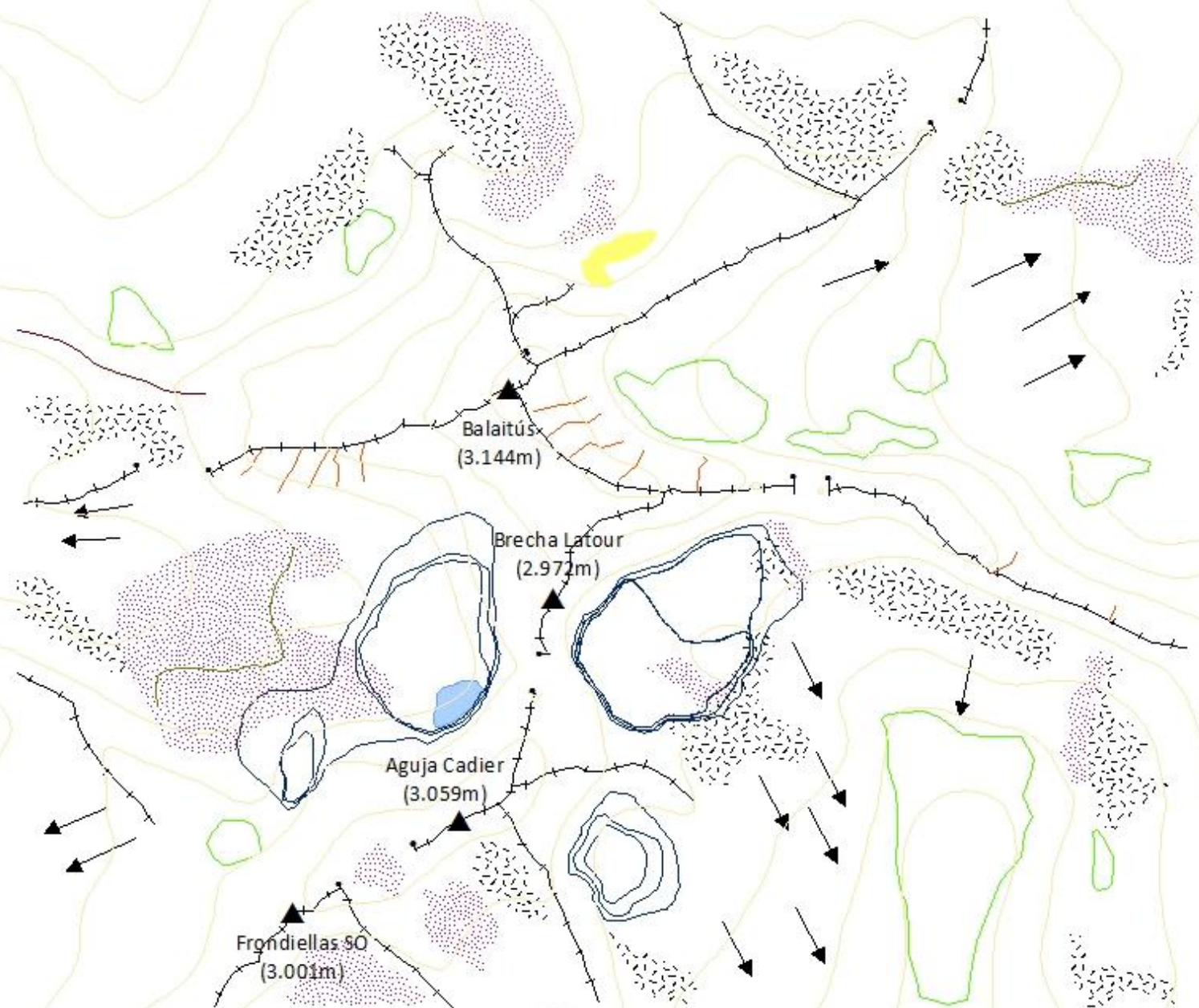


Sistema de coordenadas:  
ETRS 1989 UTM Zone 30N

Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca,  
Alimentación y Medio Ambiente/IGN  
Elaboración propia



Departamento de  
Geografía y  
Ordenación del Territorio  
Universidad Zaragoza





# Geomorfología en los circos glaciares de Posets

## Legenda

- +— Crestas
- Collados
- ▲ Picos principales
- \* Ponor
- Divisorias topográficas menores
- Límites circo glaciares
- ▶ Rocas pulidas y aborregadas
- Canal de aludes
- Till y arcos morrenicos
- ▨ Canchal
- ▨ Till actual y subactual
- ▨ Zonas con gelifluxión
- ▨ Gelifluxión más canchales
- Glaciar
- Glaciar helero
- Conos proglaciares
- Red fluvial

N

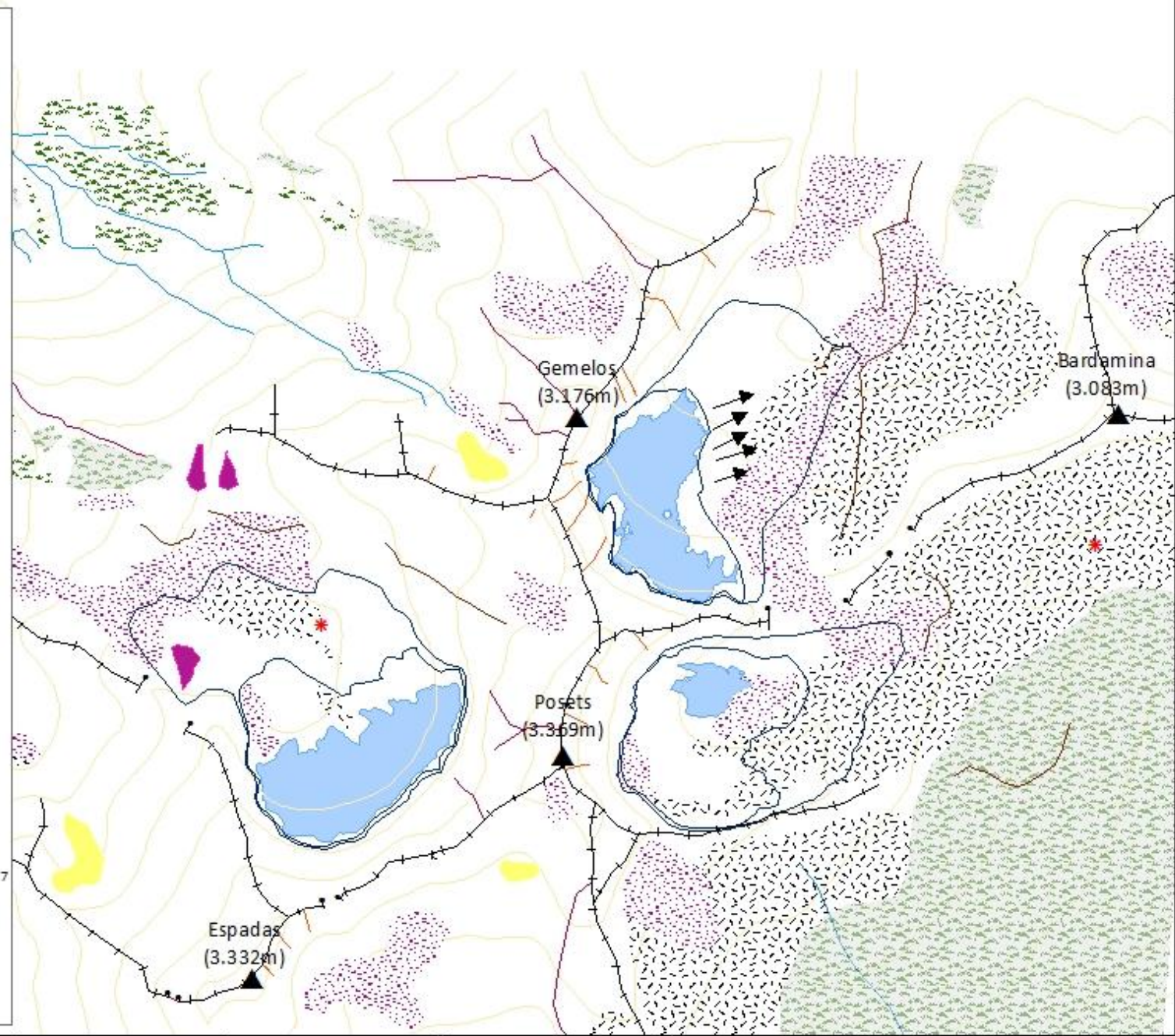
0 0.050.1 0.2 0.3 0.4 Km

ETRS 1989 UTM Zone 30N

Fuente: E.Serrano, C.Agudo y J.J.González  
(La deglaciación de la alta montaña. Morfología,  
evolución y fases morfogenéticas glaciares en el  
Macizo de Posets "Pirineo Aragonés"). Curso: 2016-2017  
Modificado y elaborado por Anayet Pérez Bello

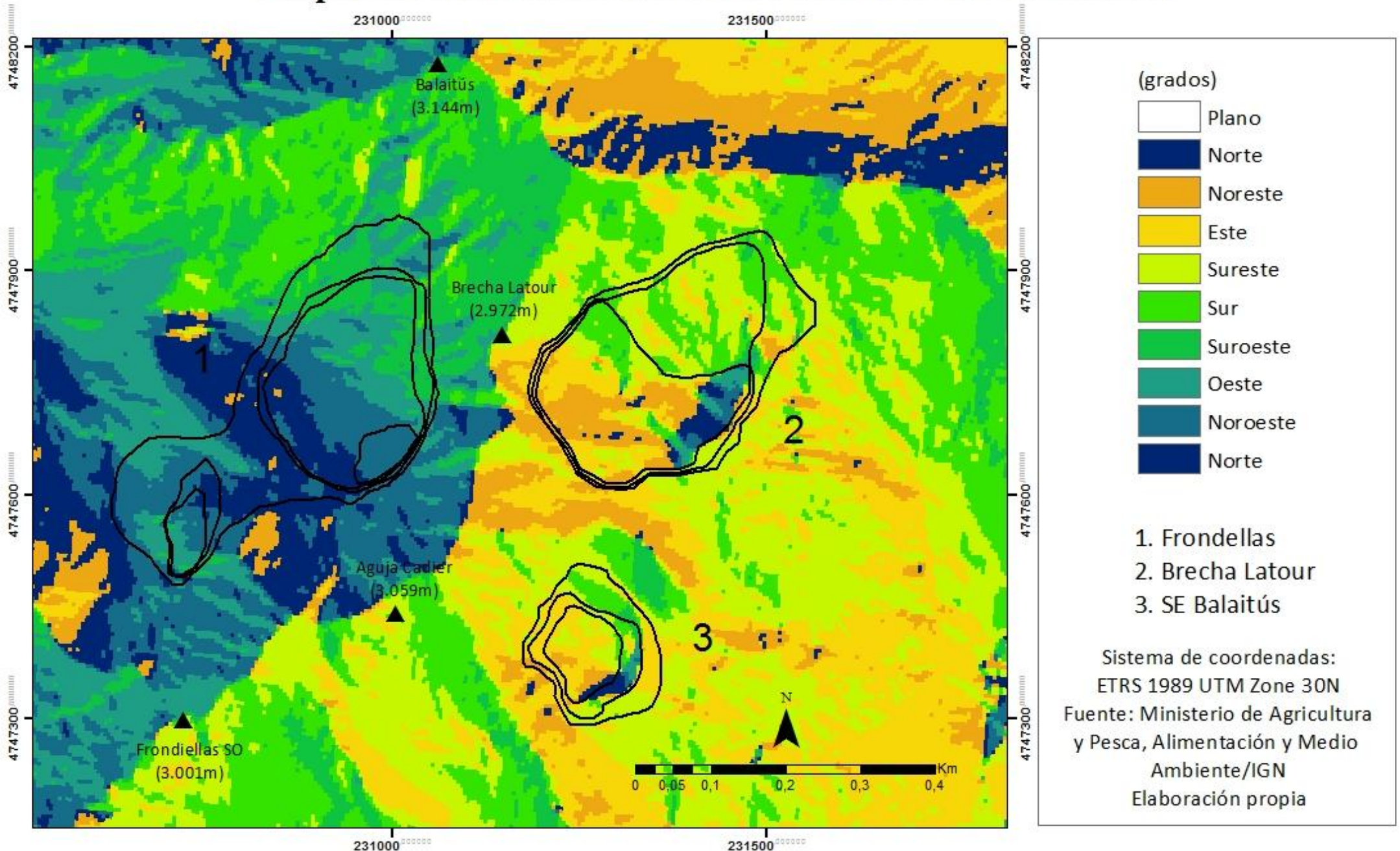


Departamento de  
Geografía y  
Ordenación del Territorio  
Universidad Zaragoza



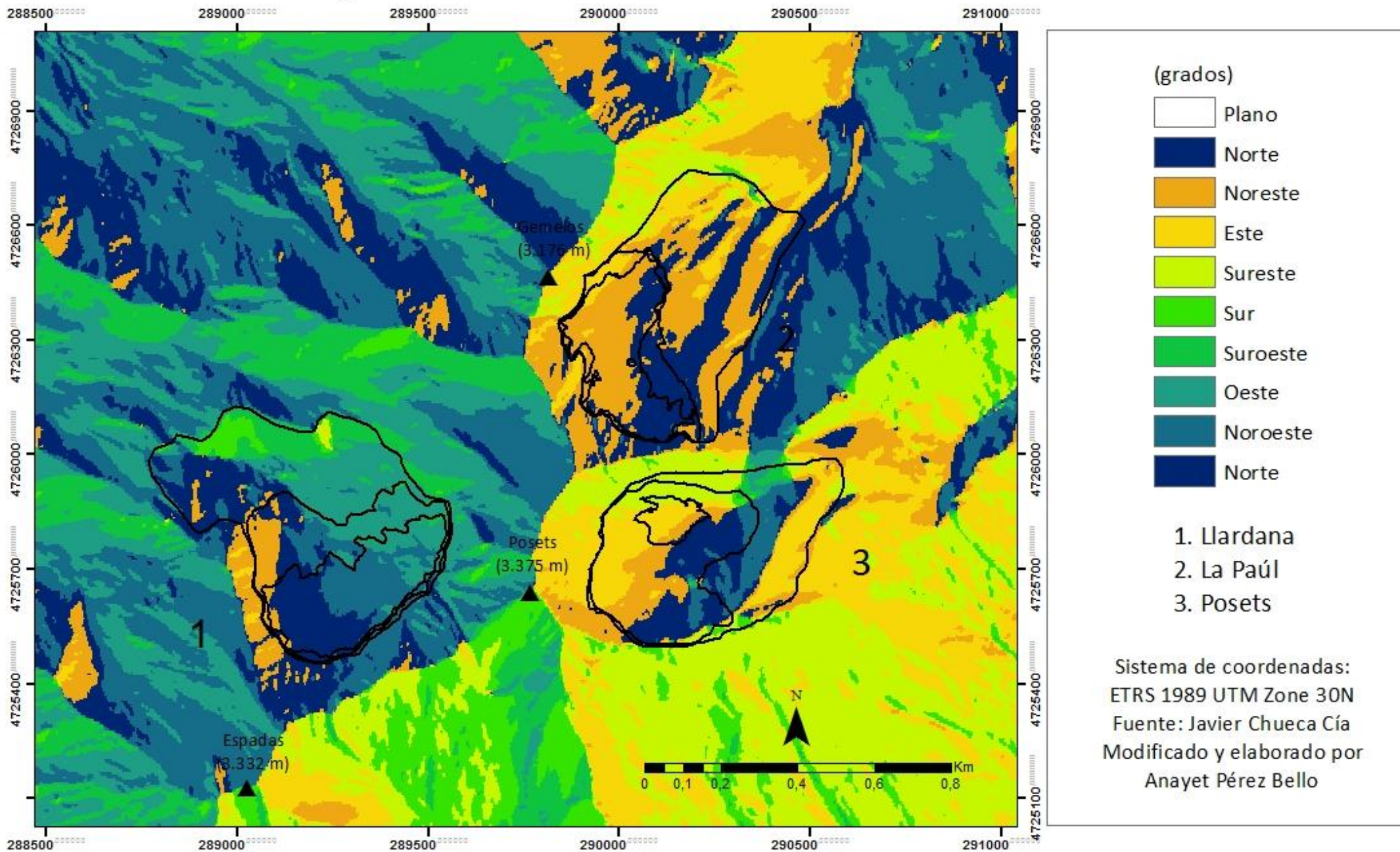


# Mapa de orientación en el macizo de Balaitús



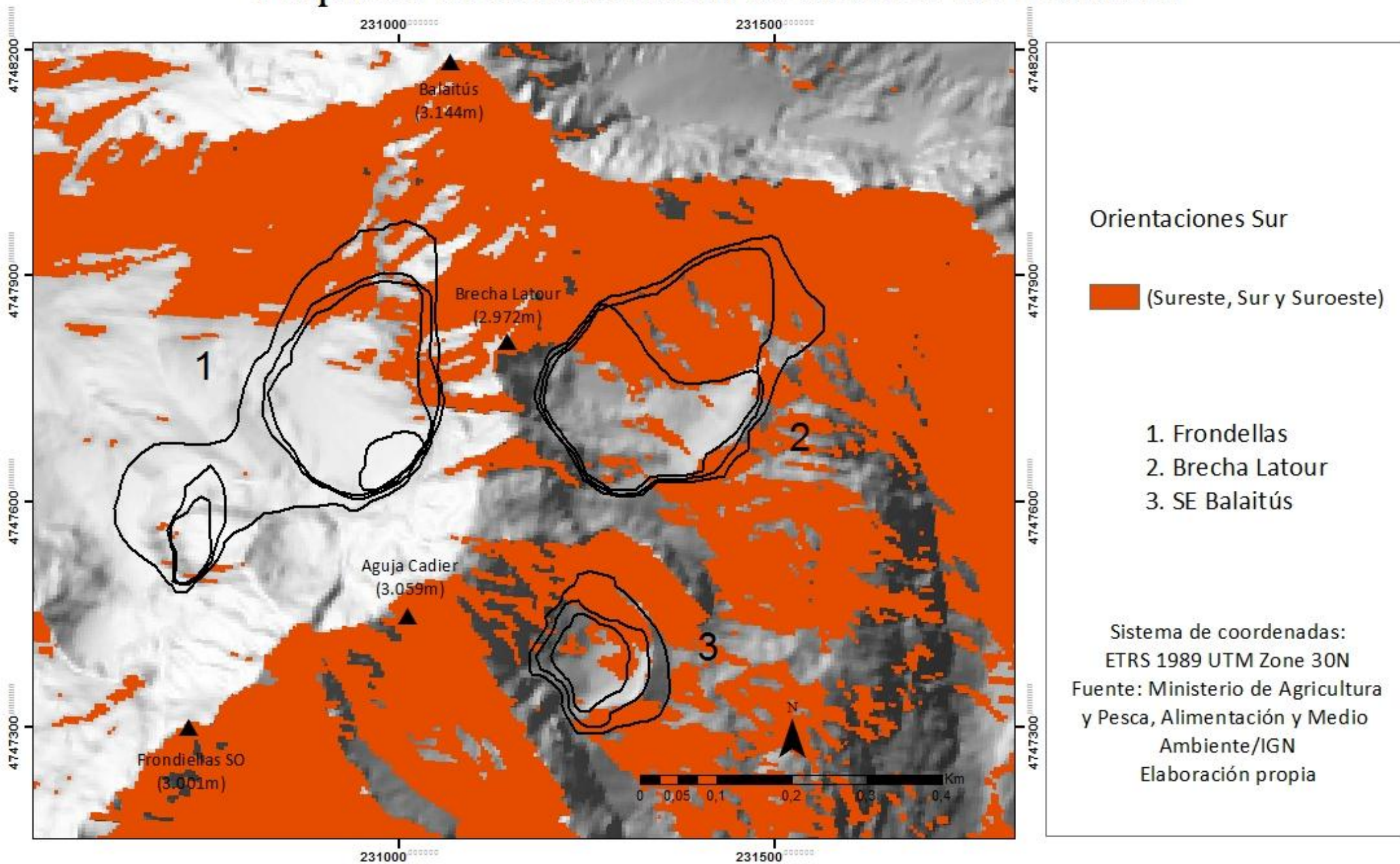


## Mapa de orientación en el macizo de Posets



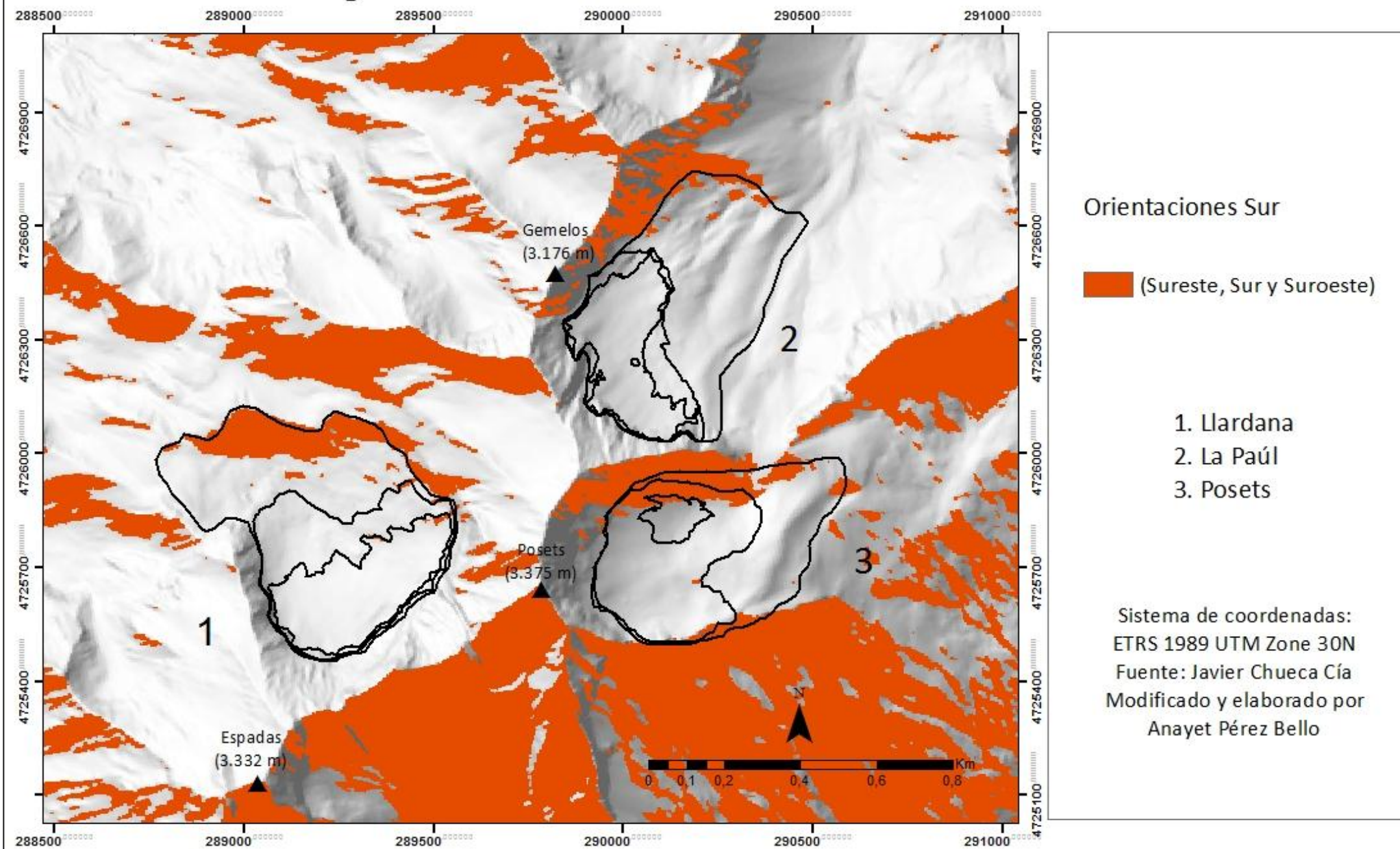


## Mapa de orientación en el macizo de Balaitús



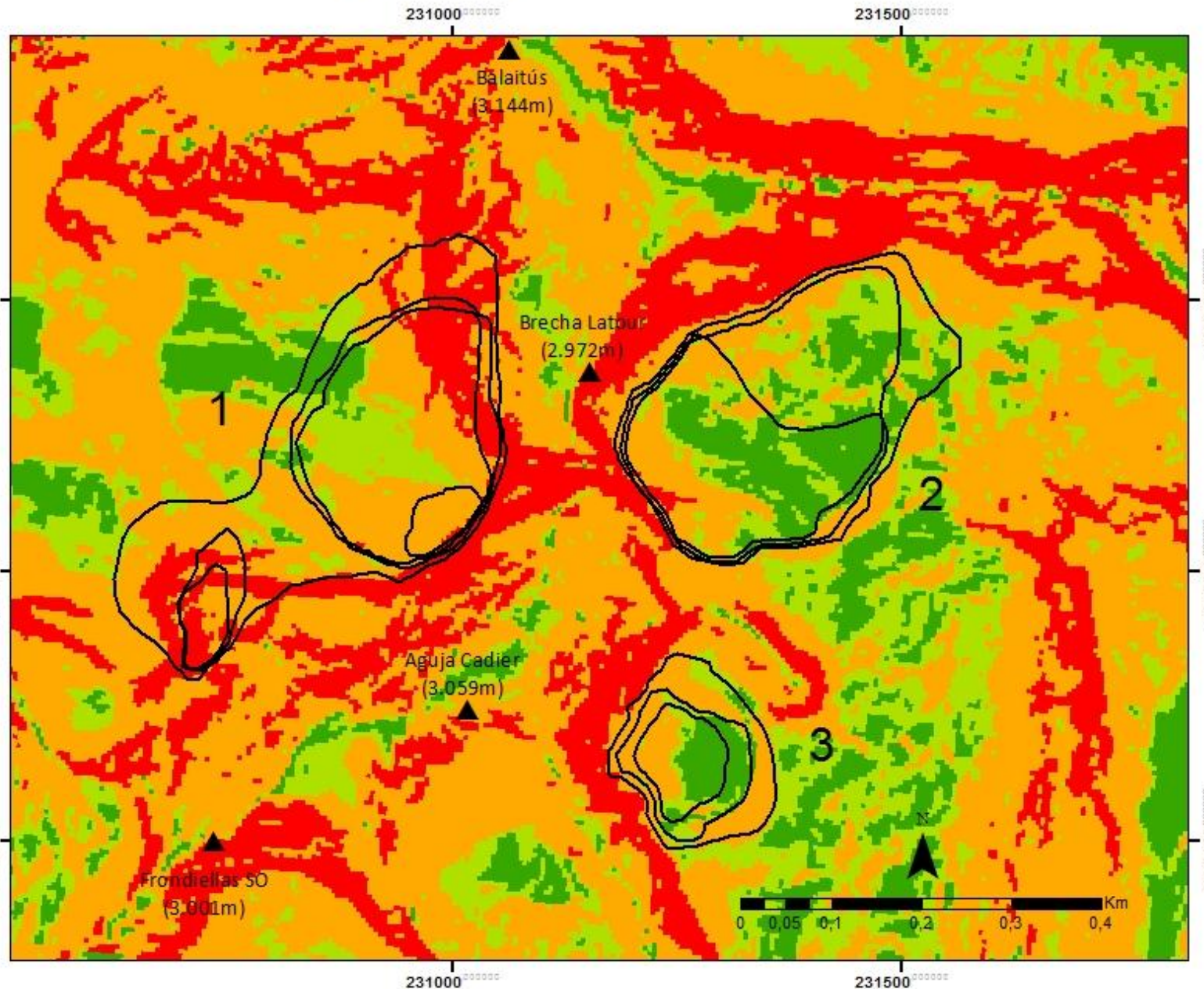


# Mapa de orientación en el macizo de Posets









# Mapa de pendientes en el macizo de Balaitús



## Pendientes

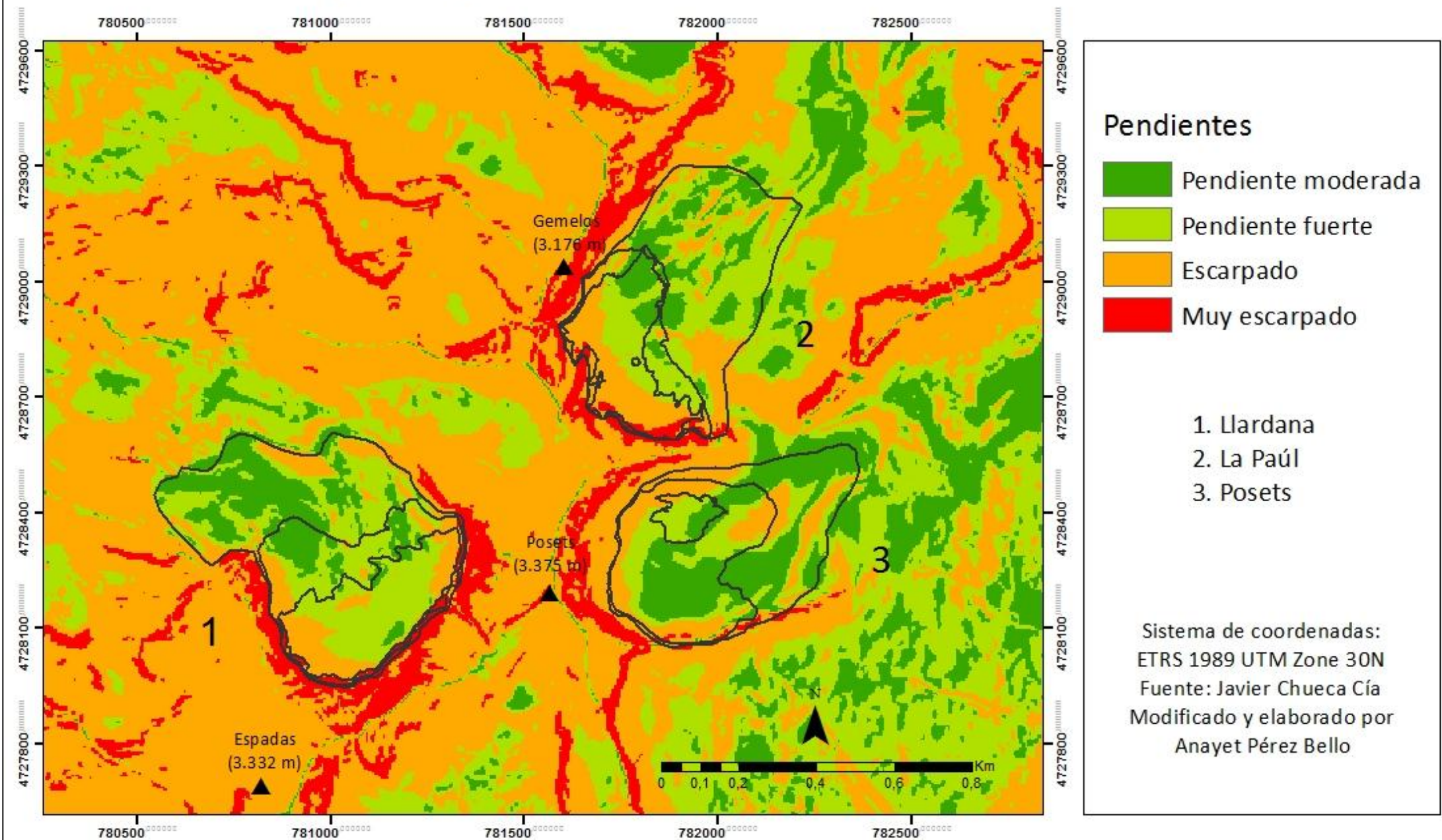
-  Pendiente moderada
-  Pendiente fuerte
-  Escarpado
-  Muy escarpado

1. Frondellas
2. Brecha Latour
3. SE Balaitús

Sistema de coordenadas:  
ETRS 1989 UTM Zone 30N  
Fuente: Ministerio de Agricultura  
y Pesca, Alimentación y Medio  
Ambiente/IGN  
Elaboración propia

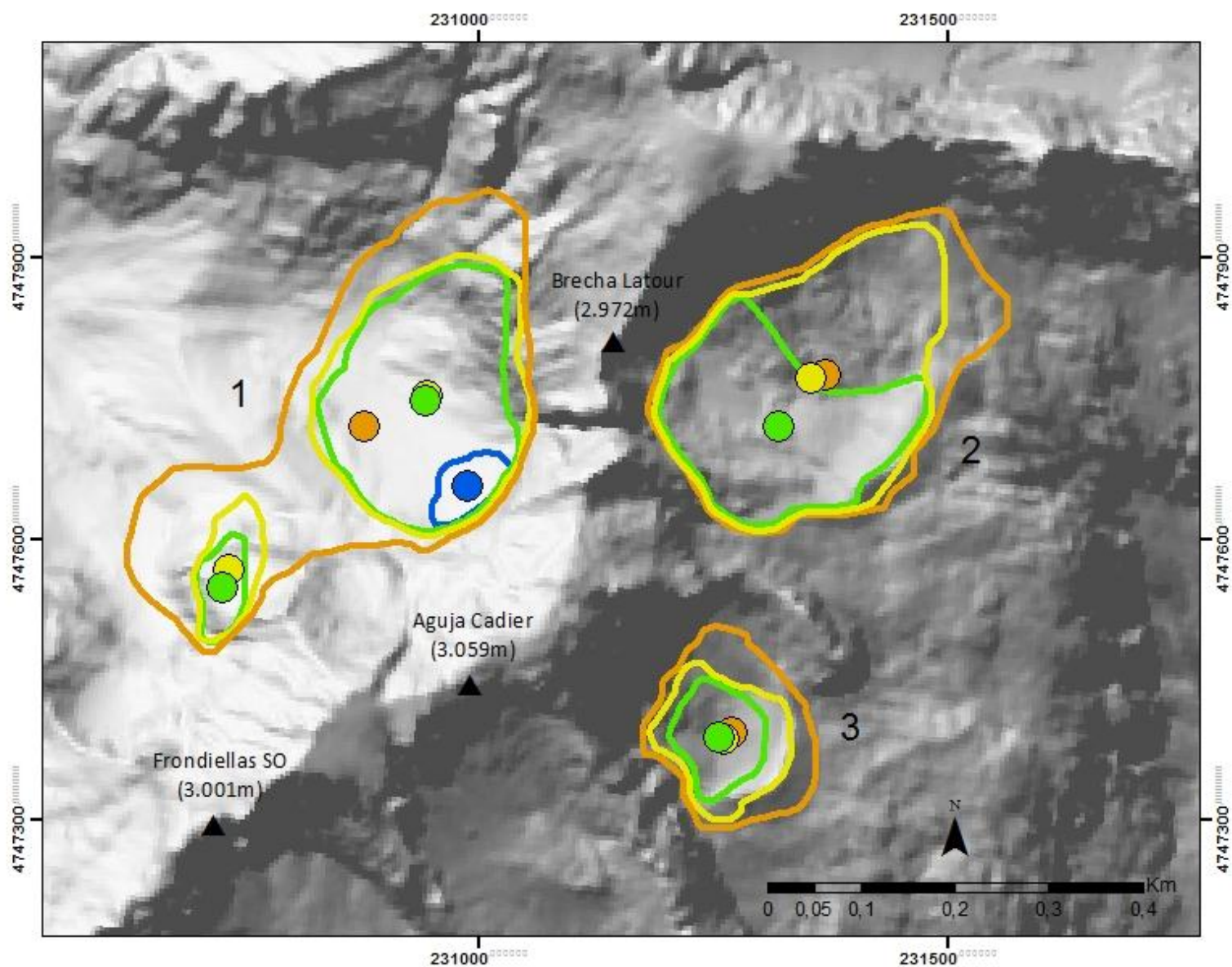


# Mapa de pendientes en el macizo de Posets





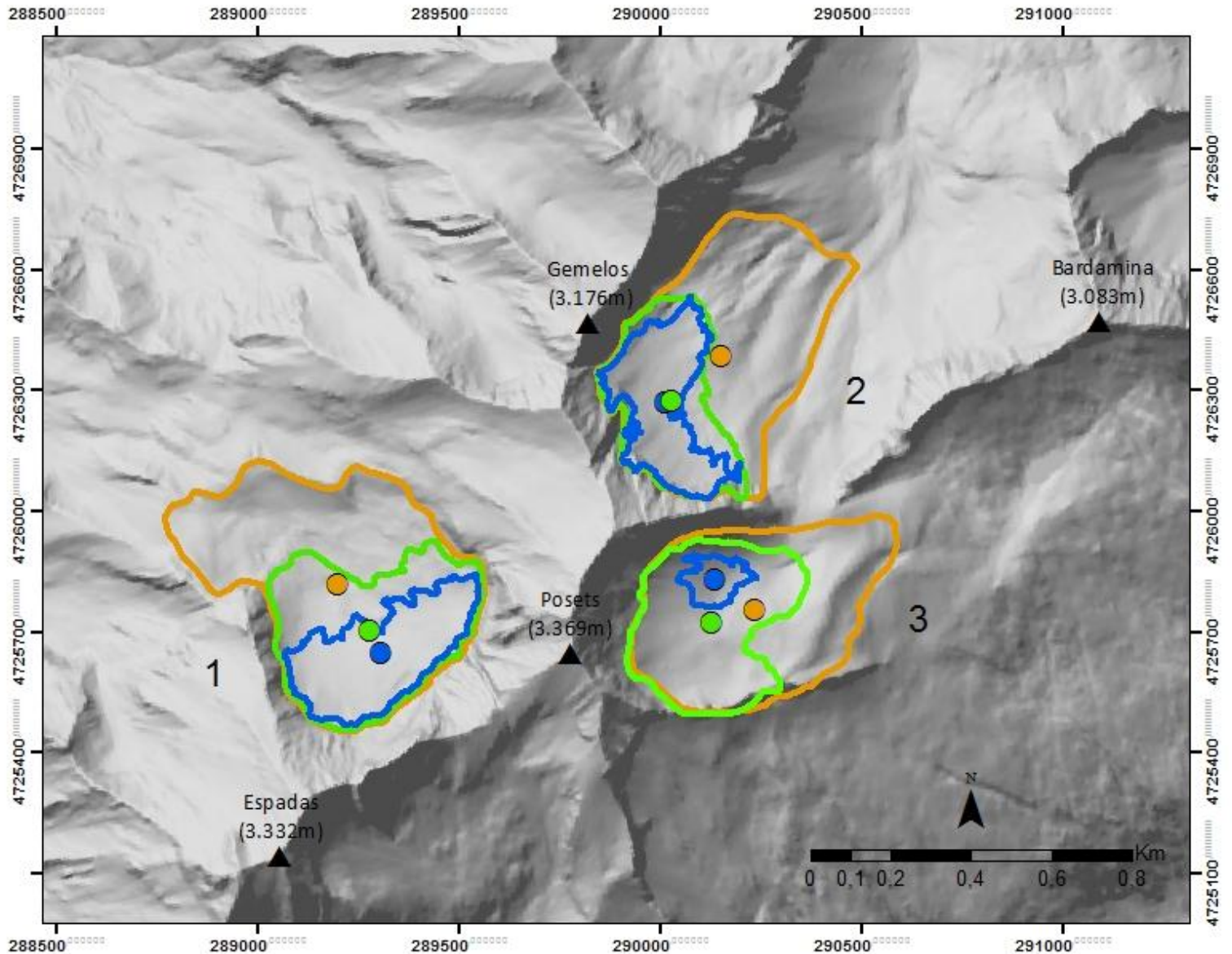
# Perímetros glaciares en el macizo de Balaitús



1. Frondellas	 Límite PEH	 Centroide PEH
2. Brecha Latour	 Límite 1946	 Centroide 1946
3. SE Balaitús	 Límite 1983	 Centroide 1983
	 Límite 2004	 Centroide 2004

Sistema de coordenadas: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación  
 y Medio Ambiente/IGN  
 Elaboración propia

# Perímetros glaciares en el macizo de Posets



1. Llardana  
 2. La Paúl  
 3. Posets



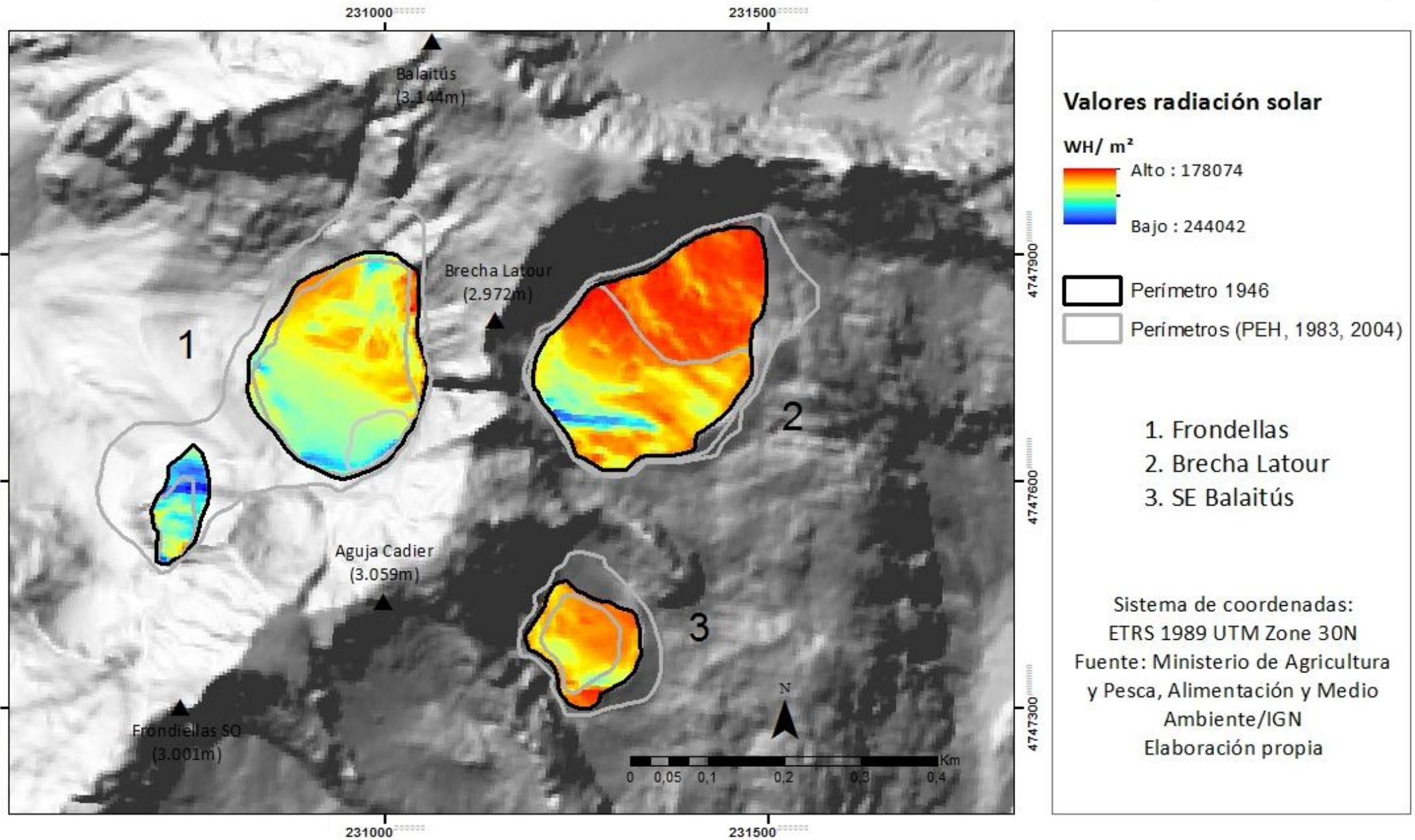
Límite PEH  
 Límite 1981  
 Límite 2006

Centroide PEH  
 Centroide 1981  
 Centroide 2006

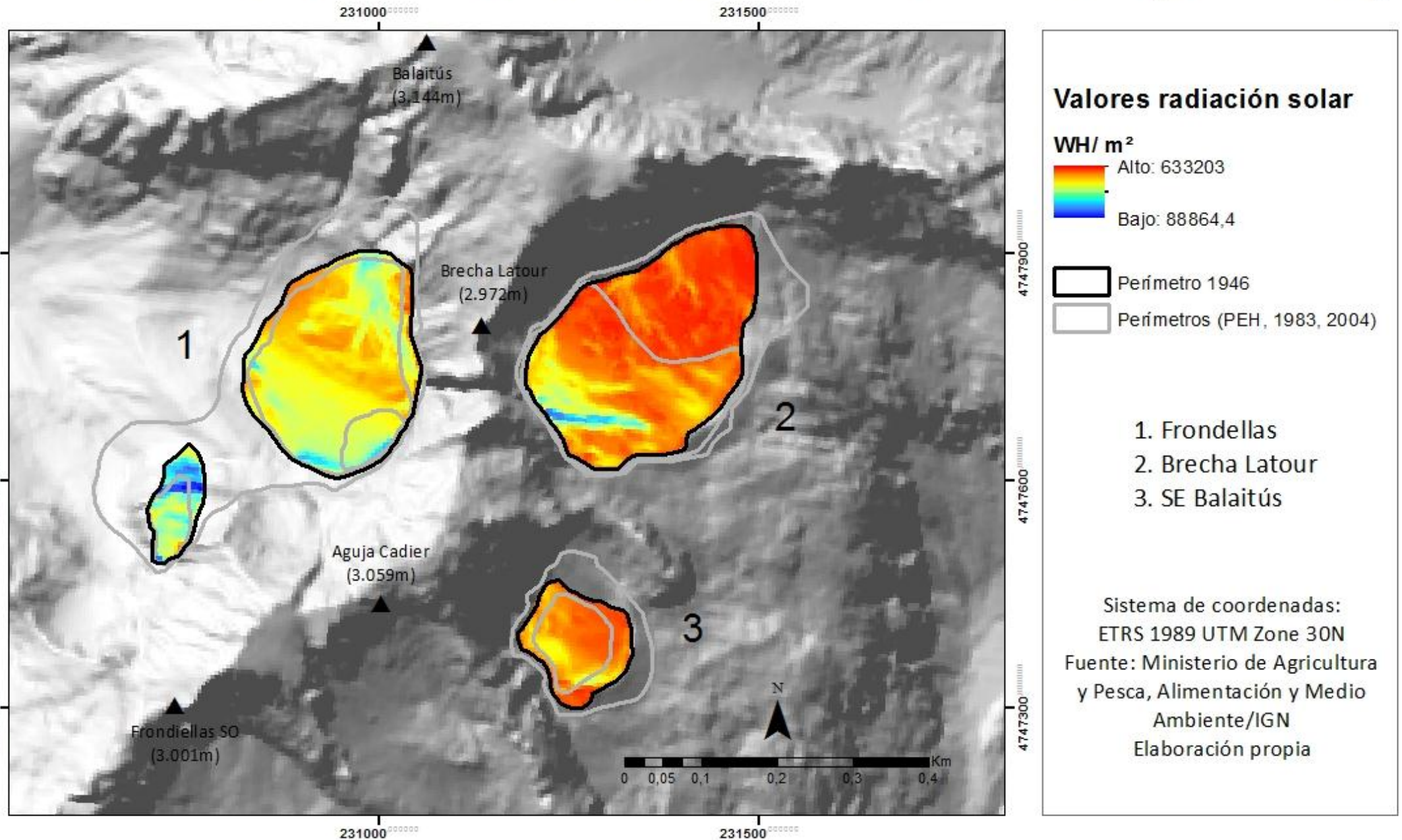
Sistema de coordenadas: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Fuente: Javier Chueca Cía  
 Modificado y elaborado por Anayet Pérez Bello



# Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 1946)

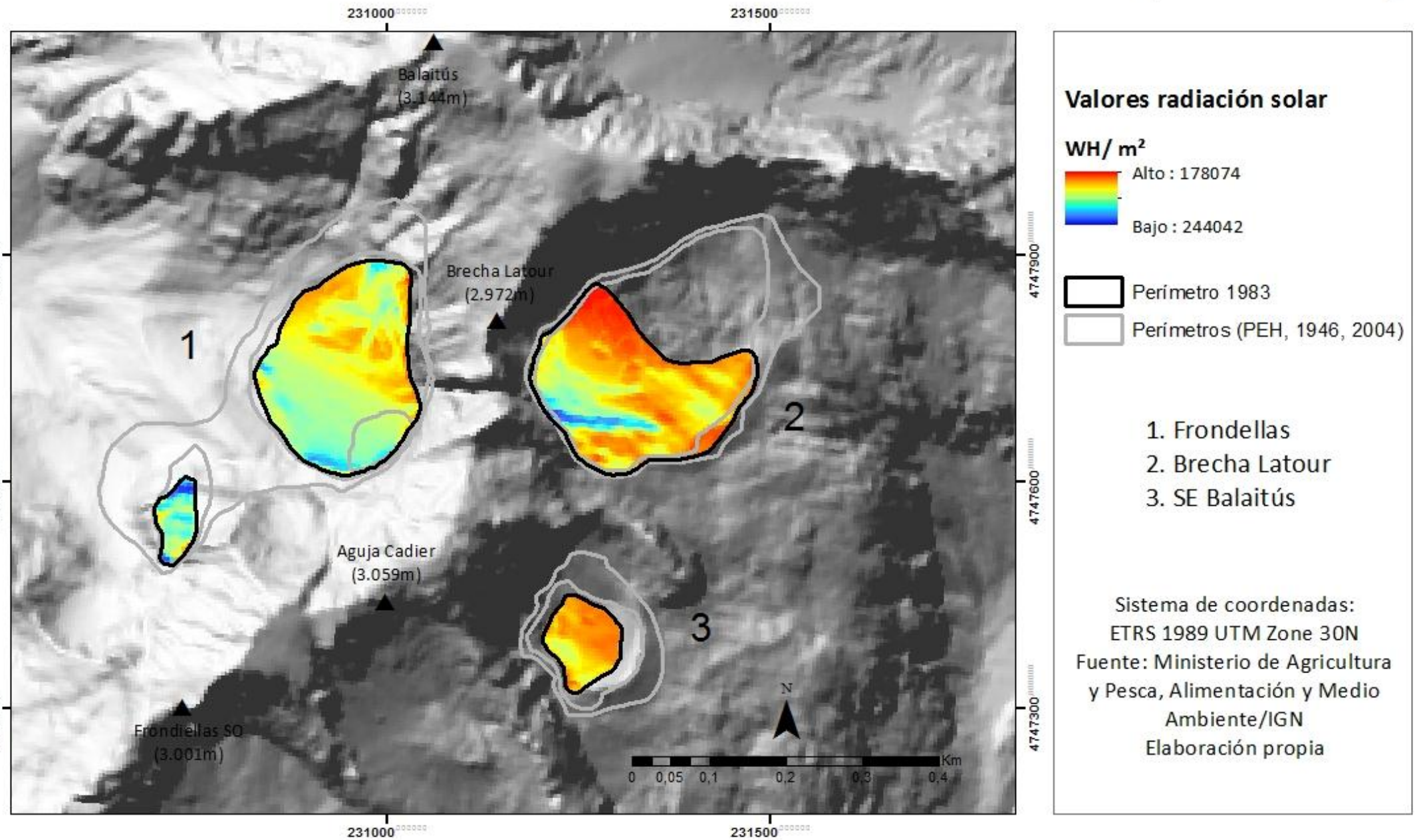


# Radiación solar de verano en el macizo de Balaitús (año 1946)

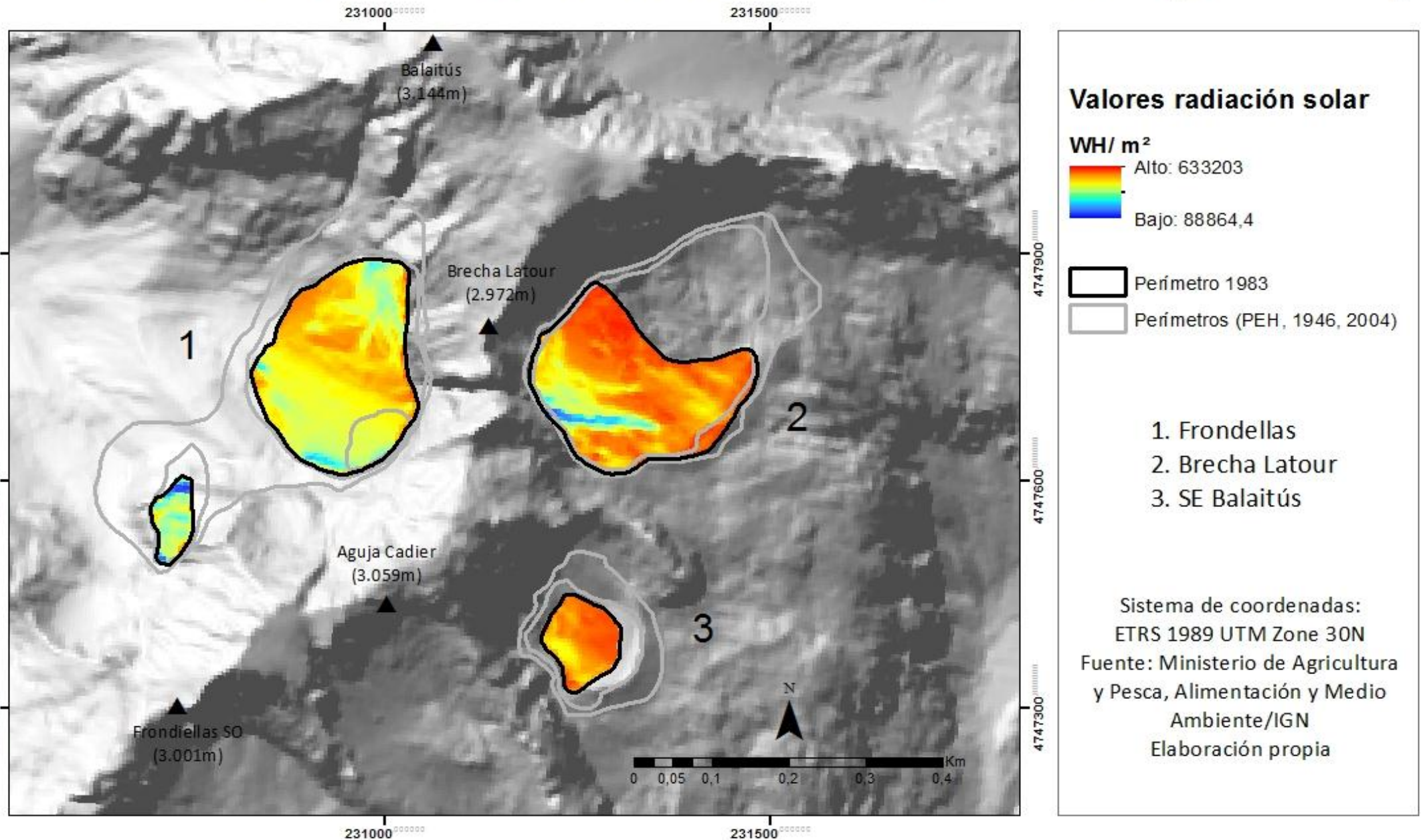




# Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 1983)

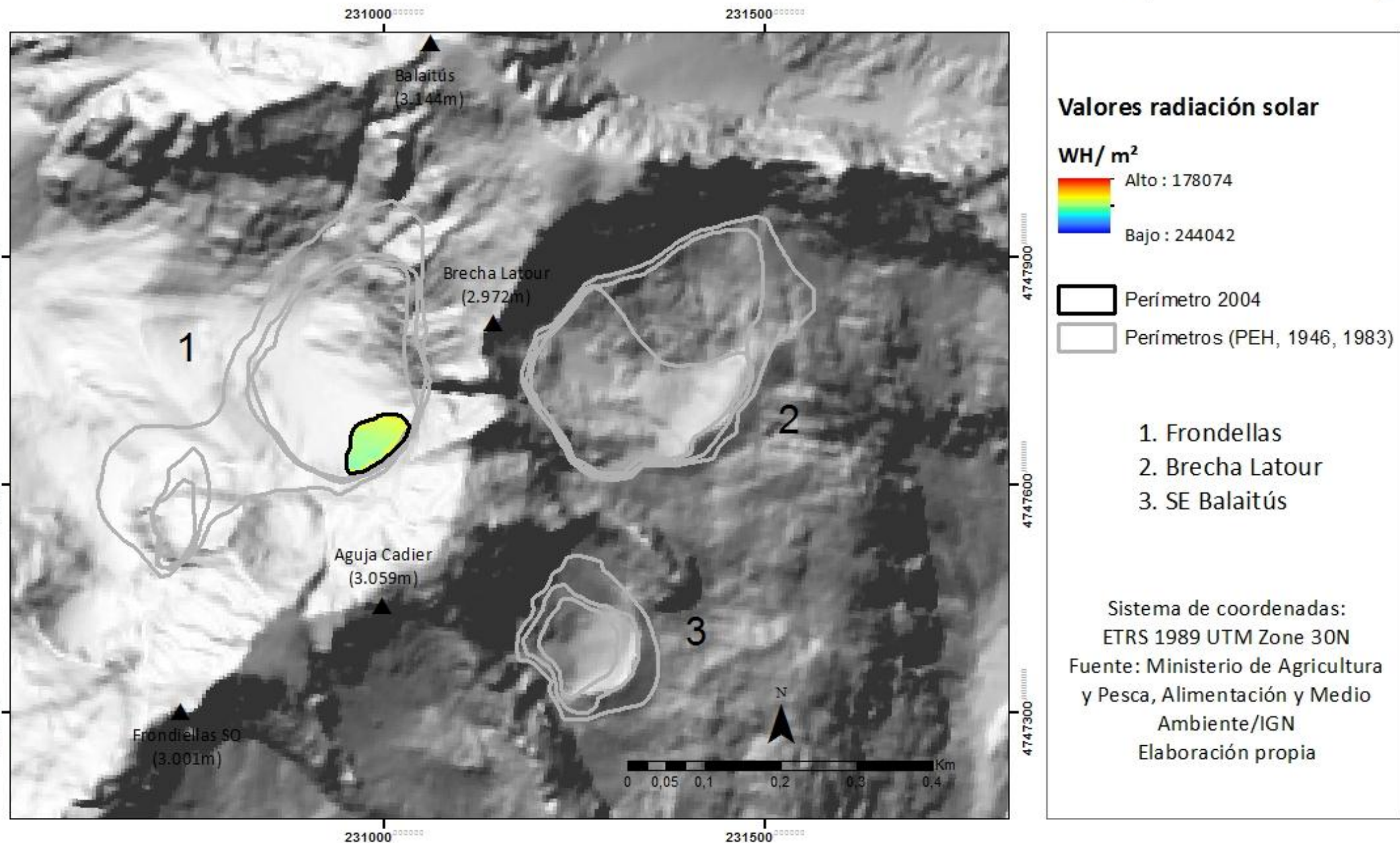


# Radiación solar de verano en el macizo de Balaitús (año 1983)

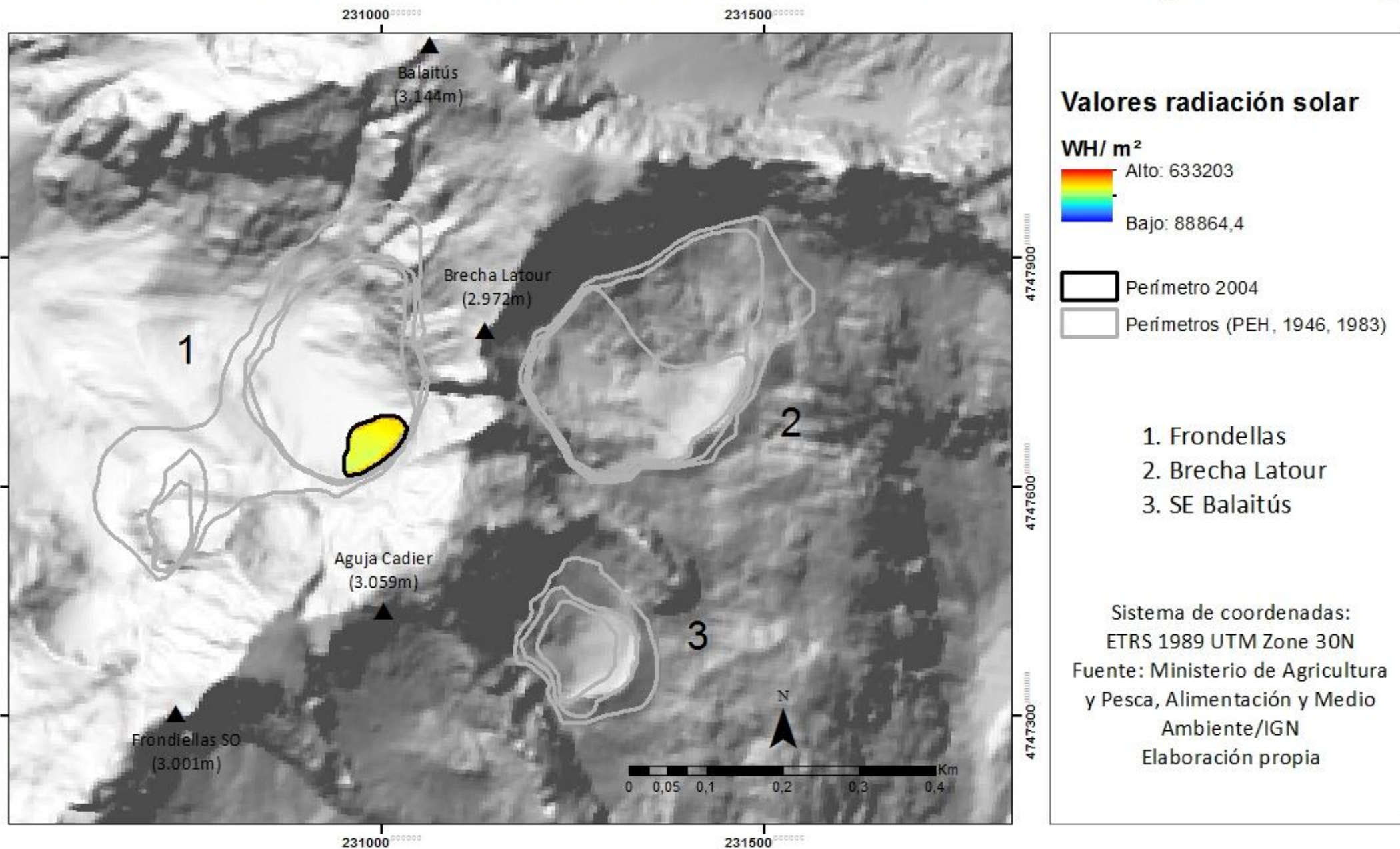




# Radiación solar anual en el macizo de Balaitús (año 2004)

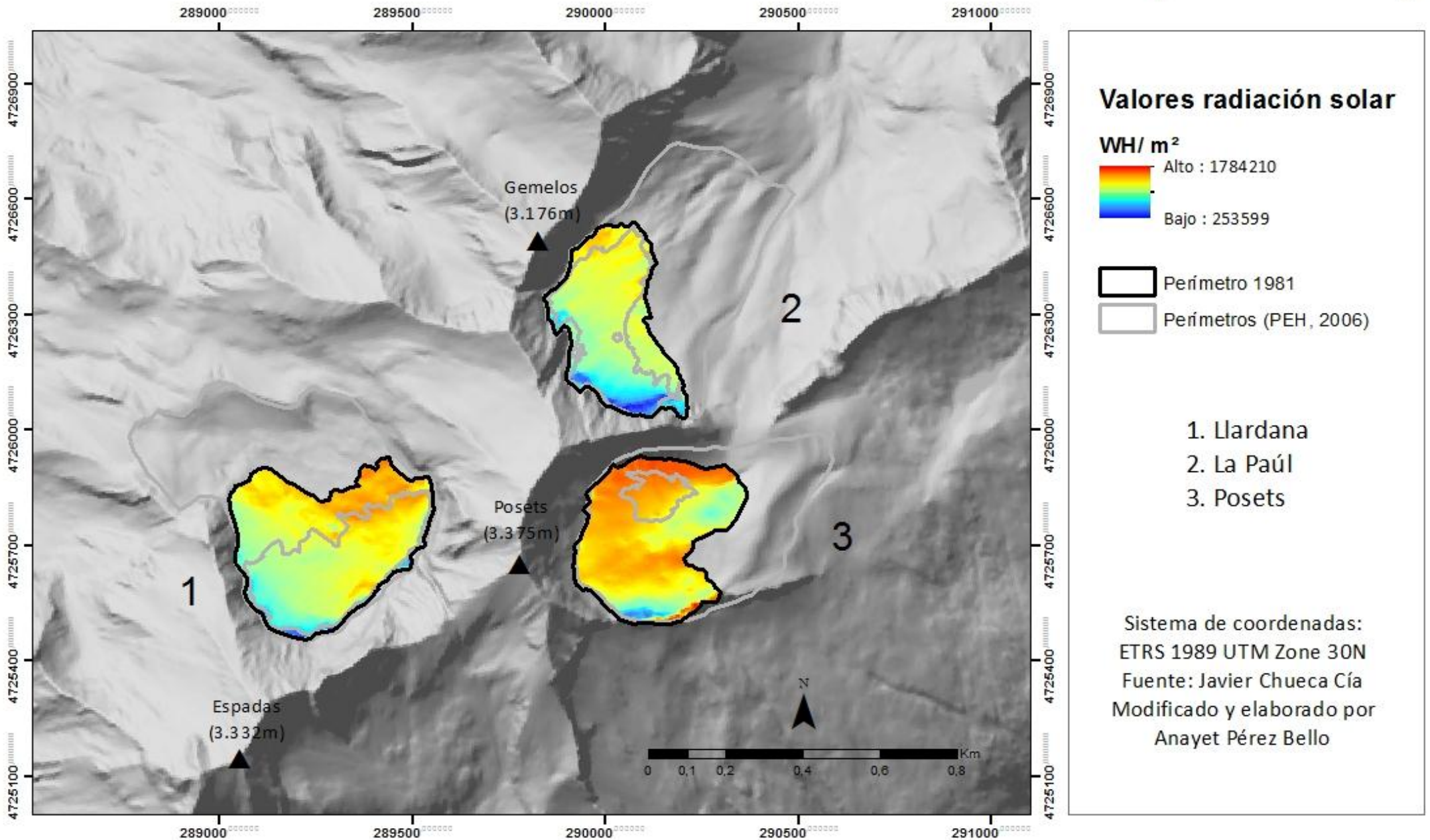


# Radiación solar de verano en el macizo de Balaitús (año 2004)

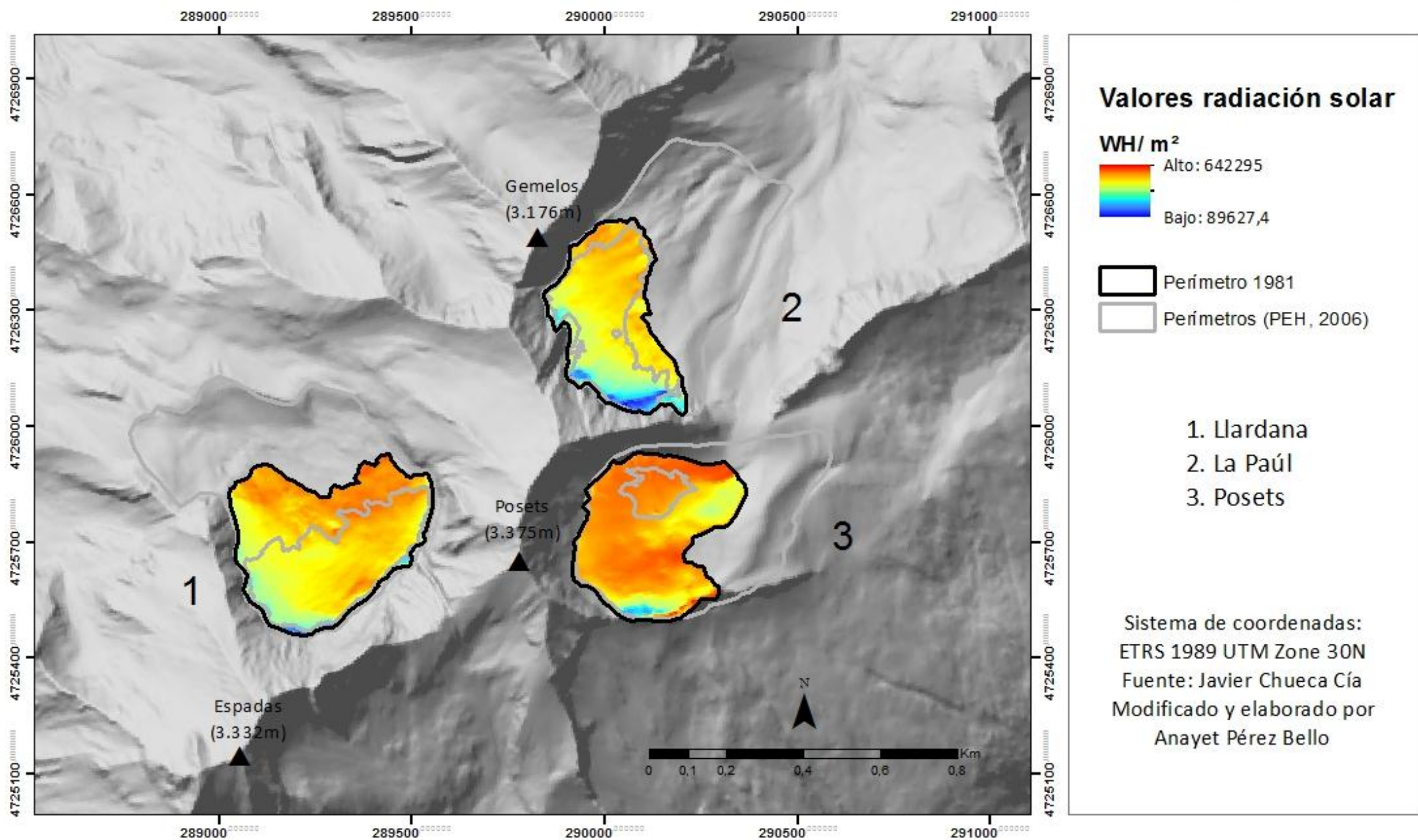




# Radiación solar anual en el macizo de Posets (año 1981)

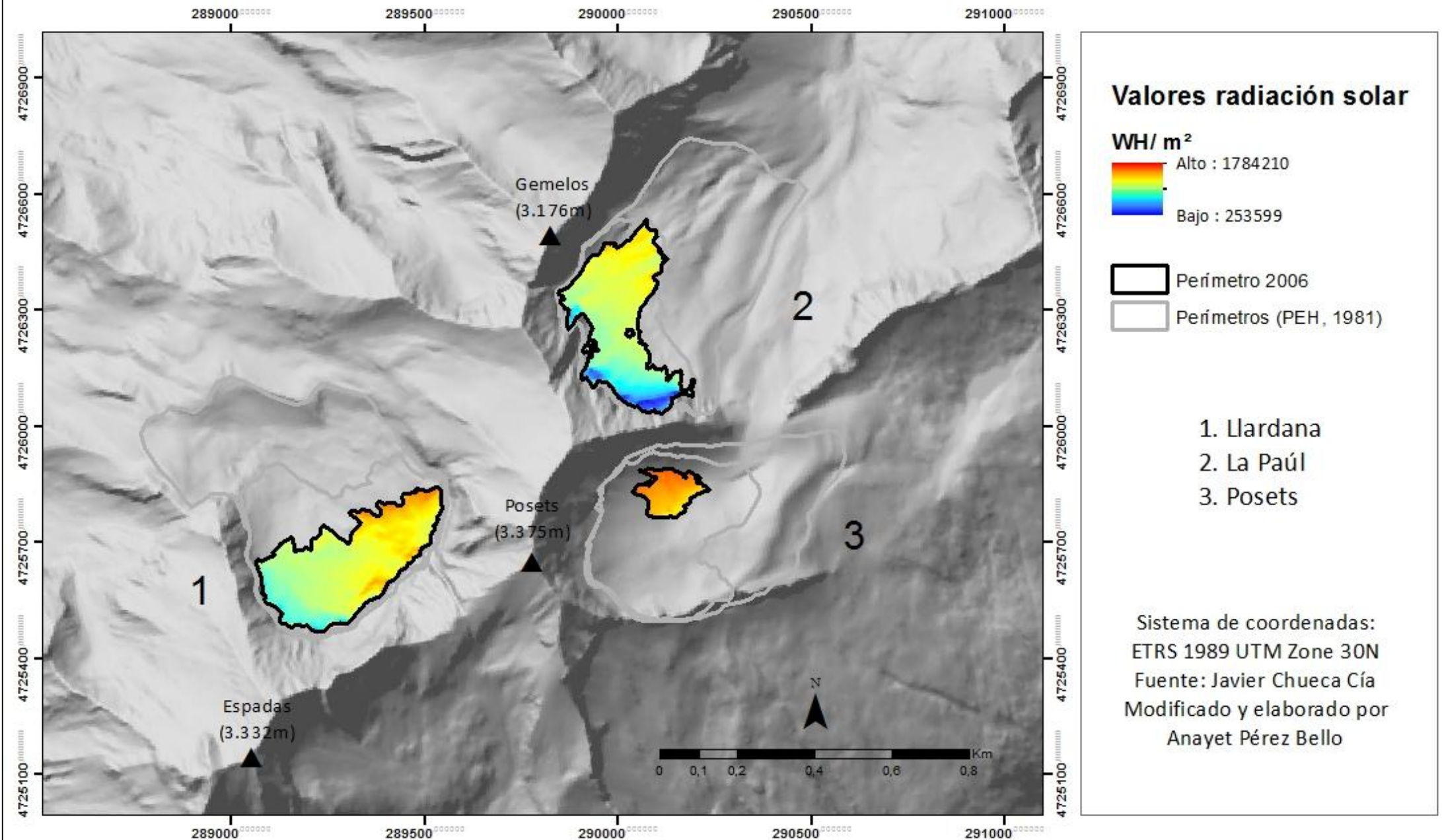


# Radiación solar de verano en el macizo de Posets (año 1981)

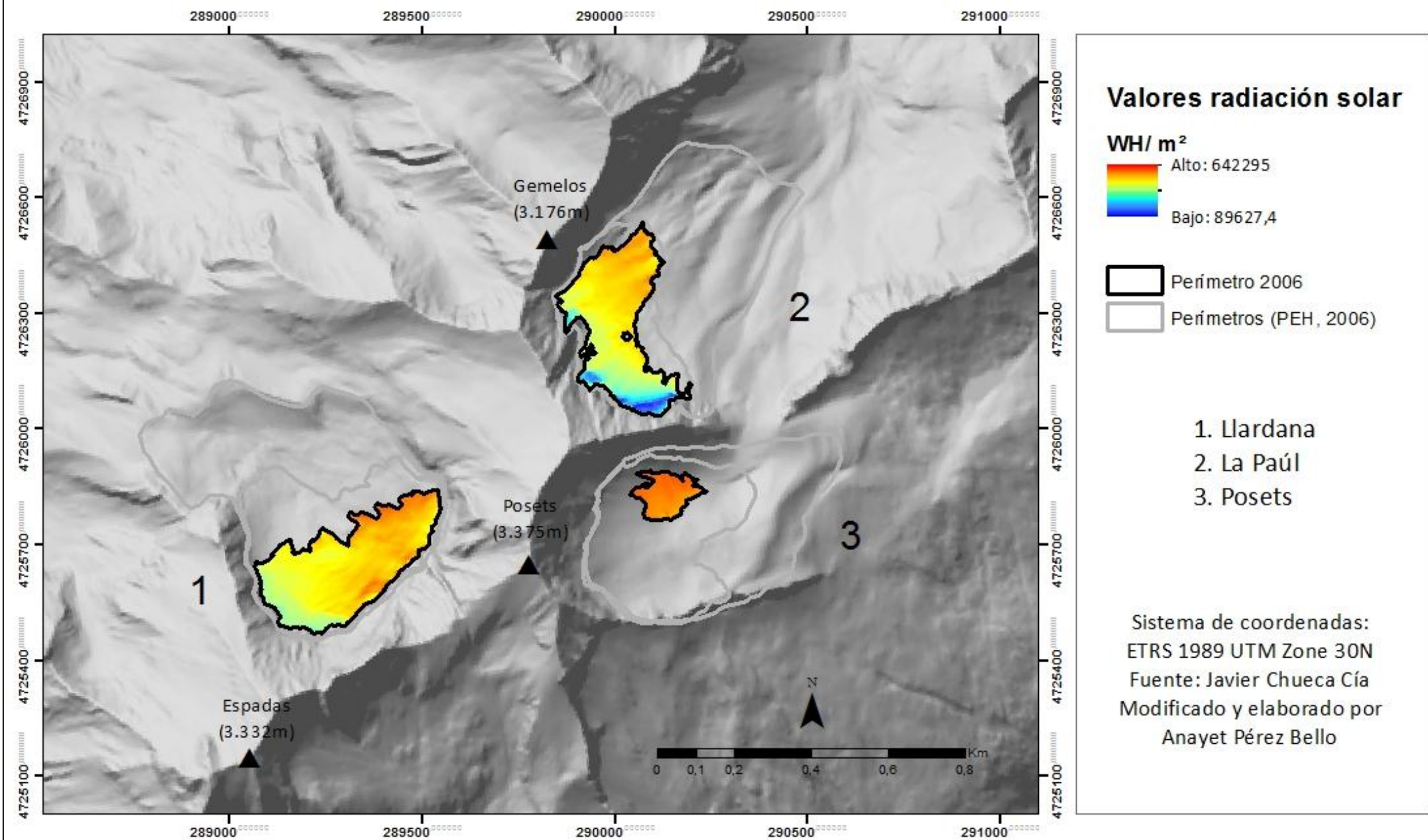




# Radiación solar anual en el macizo de Posets (año 2006)



# Radiación solar de verano en el macizo de Posets (año 2006)





## GLACIARES DE BALAITÚS (EXTINTOS)



Imagen 8. SE Balaitús (septiembre 2002). Fuente: [http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control\\_general\\_de\\_los\\_glaciares\\_del\\_Pirineo\\_espa%C3%B1ol\\_tcm7-193115.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control_general_de_los_glaciares_del_Pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf)



Imagen 9. SE Balaitús (octubre 2008). Fuente: [http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control\\_general\\_de\\_los\\_glaciares\\_del\\_Pirineo\\_espa%C3%B1ol\\_tcm7-193115.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control_general_de_los_glaciares_del_Pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf)



Imagen 10. Frondellas (septiembre 2003). Fuente: [http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control\\_general\\_de\\_los\\_glaciares\\_del\\_Pirineo\\_espa%C3%B1ol\\_tcm7-193115.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control_general_de_los_glaciares_del_Pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf)



Imagen 11. Frondellas (octubre 2008). Fuente: [http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control\\_general\\_de\\_los\\_glaciares\\_del\\_Pirineo\\_espa%C3%B1ol\\_tcm7-193115.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control_general_de_los_glaciares_del_Pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf)



Imagen 12. Brecha Latour (septiembre 2002). Fuente:  
[http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control\\_general\\_de\\_los\\_glaciares\\_del\\_Pirineo\\_espa%C3%B1ol\\_tcm7-193115.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control_general_de_los_glaciares_del_Pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf)

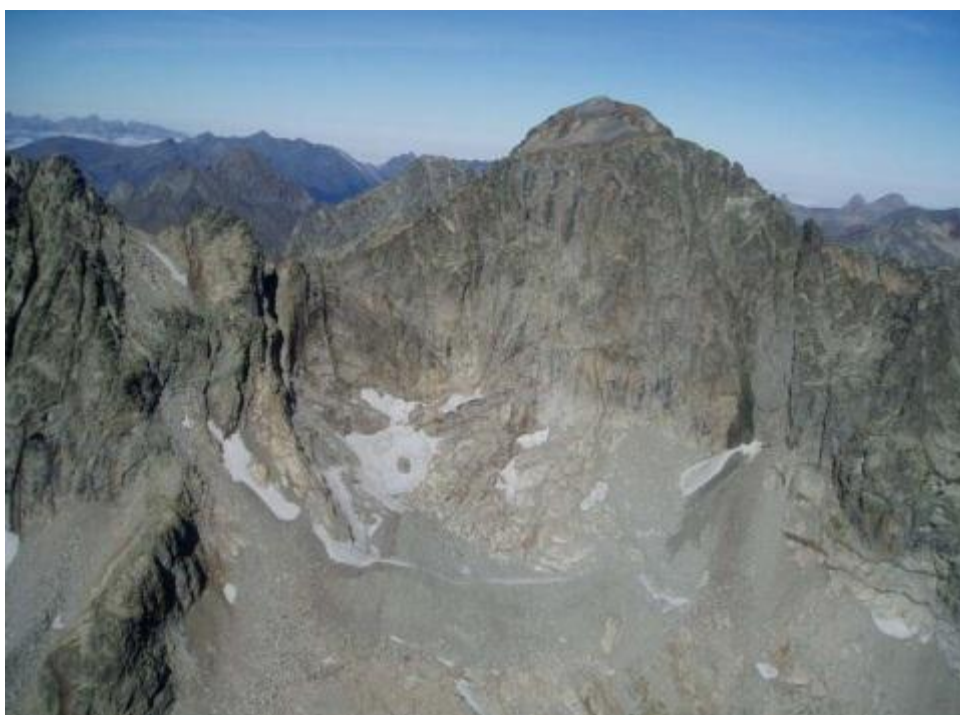


Imagen 13. Brecha Latour (octubre 2008). Fuente:  
[http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control\\_general\\_de\\_los\\_glaciares\\_del\\_Pirineo\\_espa%C3%B1ol\\_tcm7-193115.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Control_general_de_los_glaciares_del_Pirineo_espa%C3%B1ol_tcm7-193115.pdf)