

**Círculos de Investigación en Ciencia y Tecnología - Convocatoria 2015****INFORMACION DEL POSTULANTE**

Postulante **ÚBEDA PALENQUE JOSE**  
 DNI **001007536**  
 Correo **joseubeda@ucm.es**

**INFORMACIÓN GENERAL****Título****CÍRCULO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CRIOSFERA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES CENTRALES (CRYOPERU)**

Área prioritaria **CIENCIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
 Área de conocimiento **CIENCIAS NATURALES**  
 Sub-Área de conocimiento **CIENCIAS DE LA TIERRA Y MEDIOAMBIENTALES**  
 Disciplina **GEOCIENCIAS (MULTIDISCIPLINARIO)**

**Plan Financiero**Tipo de moneda **Soles**

Contrapartida (aporte del Solicitante) **511,140.00**  
 Monto solicitado a FONDECYT **1,499,694.00**

Localización del proyecto

Duración del proyecto

Fecha de inicio **05/2016** Fecha final **05/2019** Duración en **36**

**GESTIÓN ADMINISTRATIVA**

documento	postulante	email	tituloprofesional	tipoparticipante
10110638	<a href="#">CANCHO SEVERINO, RAUL</a>	rseverino@ingemet.gob.pe	Contabilidad	Coordinador Administrativo
09277627	<a href="#">VALDERRAMA MIRANDA, MARÍA DEL CARMEN</a>	mariavm68@ingemmet.gob.pe	CIENCIAS CONTABLES Y FINANZAS COROPORATIVAS	Contador General de la Entidad Solicitante

Experiencia en la gestión de fondos

Institución otorgante de fondos	Cargo o función	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre
GA-17. Observatorio Vulcanológico de INGEMMET	Jefe de la Unidad Financiera	2,897,043.00	01/01/2011	31/12/2014
GA17A. Geología y mapas de peligros de los volcanes Tutupaca y Yucamane	Jefe de la Unidad Financiera	557,518.00	01/01/2014	31/12/2014
GA17B. Geología y mapas de peligros de los volcanes Coropuna y Sara Sara	Jefe de la Unidad Financiera	5,717,023.00	01/01/2015	31/12/2017
GA-24A. Mapas Geomorfológicos y Cambio Climático	Jefe de la Unidad Financiera	777,259.00	01/01/2012	31/12/2014

Institución otorgante de fondos	Cargo o función	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre
GA24B. Desarrollar mapas geomorfológicos de las regiones Moquegua, Tacna, Cusco, Madre de Dios y Pu	Jefe de la Unidad Financiera	631,644.00	01/01/2014	31/12/2016
GA-25B. Mapas de Riesgos Geológicos por Regiones: Cusco y Apurímac	Jefe de la Unidad Financiera	309,948.00	01/01/2012	31/12/2013
GA-25C. Mapas de Riesgos Geológicos por Regiones: Huancavelica, Ayacucho e Ica. Etapa II	Jefe de la Unidad Financiera	711,672.00	01/01/2011	31/12/2012
GA-27A. Zona Sur, Etapa III Estudio Hidrogeológico de las cuencas de los ríos Ocoña y Caravelí	Jefe de la Unidad Financiera	1,340,328.00	01/01/2010	31/12/2012
GA-27B. Zona Sur, Etapa III Estudio Hidrogeológico de las cuencas del río Tambo	Jefe de la Unidad Financiera	1,234,311.00	01/01/2010	31/12/2012
GA-31A. Geodiversidad y patrimonio geológicos en el valle del Colca y Cotahuasi	Jefe de la Unidad Financiera	424,966.00	01/01/2011	31/12/2012
GA-41 Riesgos Geológico en zonas críticas en Perú	Jefe de la Unidad Financiera	264,594.00	01/01/2011	31/12/2012

## ENTIDADES INTEGRANTES DEL CÍRCULO

## Razón Social

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO-INGEMMET

Número de RUC	20112919377
Tipo de Institución	Instituto de Investigación
Rol de la Entidad	Solicitante
Régimen	Público
Fecha de Creación o Constitución	05/12/1978
Domicilio Fiscal	Av. Canadá 1470 San Borja, Lima 41 Perú
Teléfono	005116189800
Correo electrónico	lfidel@ingemmet.gob.pe
Página Web	www.ingemmet.gob.pe
Contrapartida o aporte (S/.)	1147199.5
Dependencia que participa en la propuesta	Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico- Proyecto GA51

## Representante legal

Nombres y Apellidos	Susana Gladis Vilca Achata
N° de Documento de Identidad	02406012
Cargo que desempeña	Presidenta del Consejo Directivo
Correo electrónico	svilca@ingemmet.gob.pe

## Antecedentes de la Entidad

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET realiza investigaciones geoambientales, geotécnicas, hidrogeológicas y de evaluación y monitoreo de peligros geológicos, incluyendo riesgos asociados a actividad geotectónica, volcánica y deslizamientos en masa. Su finalidad es contribuir con los organismos competentes en materia de ordenamiento territorial, planificación y desarrollo y seguridad física, así como en relación

con la conservación del patrimonio natural y cultural.

Líneas de investigación relacionadas con el proyecto:

- Realizar mapas de la geomorfología glaciaria, mediante el cartografiado de glaciares actuales y glaciares del pasado (paleoglaciares), deducidos de la geomorfología generada por la evolución de esas masas de hielo: morrenas, lechos rocosos pulidos, valles y circos glaciares.
- Estimación de las cronologías de las fases de avance o retroceso de los glaciares, mediante la realización de dataciones osmogénicas.
- Reconstrucción de los climas del pasado a partir de las evidencias de la evolución de los paleoglaciares y su comparación con los glaciares actuales. Comparación con otros datos
- Reconstrucción de los climas del pasado a partir de las evidencias de la evolución de los paleoglaciares y su comparación con los glaciares actuales. Comparación con otros datos indirectos (proxies) paleoclimáticos.
- Instalación y mantenimiento de redes de monitoreo de la temperatura del suelo para detectar la presencia de capas de suelo congelado (permafrost).
- Prospecciones geofísicas para determinar la profundidad y extensión del permafrost y sus variaciones en el espacio y el tiempo, como indicadores del cambio climático indirectos (proxies) paleoclimáticos.
- Instalación y mantenimiento de redes de monitoreo de la temperatura del suelo para detectar la presencia de capas de suelo congelado (permafrost).
- Prospecciones geofísicas para determinar la profundidad y extensión del permafrost y sus variaciones en el espacio y el tiempo, como indicadores del cambio climático.

## Fondos recibidos o administrados por la entidad

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
INGEMMET	GA-17. Observatorio Vulcanológico de INGEMMET	2897043	1/1/11 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
INGEMMET	GA17A. Geología y mapas de peligros de los volcanes Tutupaca y Yucamane	557518	1/1/14 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA17B. Geología y mapas de peligros de los volcanes Coropuna y Sara Sara	571702	1/1/15 12:00 AM	12/31/17 12:00 AM	
INGEMMET	GA-24A. Mapas Geomorfológicos y Cambio Climático.	777259	1/1/12 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA24B. Desarrollar mapas geomorfológicos de las regiones Moquegua, Tacna, Cusco, Madre de Dios y Puno	631644	1/1/14 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
INGEMMET	Mapas de Riesgos Geológicos por Regiones: Lima, Pasco, Junín. Etapa II	669393	1/1/11 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
INGEMMET	GA-25B. Mapas de Riesgos Geológicos por Regiones: Cusco y Apurímac	309948	1/1/12 12:00 AM	12/31/13 12:00 AM	
INGEMMET	GA-25C. Mapas de Riesgos Geológicos por Regiones: Huancavelica, Ayacucho e Ica. Etapa II	711672	1/1/11 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
INGEMMET	GA-27A. Zona Sur, Etapa III Estudio Hidrogeológico de las cuencas de los ríos Ocoña y Caravelí	1340328	1/1/10 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
INGEMMET	GA-27B. Zona Sur, Etapa III Estudio Hidrogeológico de las cuencas del río Tambo	1234311	1/1/10 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
INGEMMET	GA-31A. Geodiversidad y patrimonio geológicos en el valle del Colca y	424966	1/1/11 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
INGEMMET	GA-41. Riesgos Geológicos en zonas críticas en Perú	264594	1/1/11 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
INGEMMET	GA-42. Hidrogeología de la Cuenca del Río Rímac	1181150	1/1/12 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	proyecto: GA-43. Monitoreo de Fallas Activas y Deslizamientos	2217324	1/1/12 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA-44. Estudios de Riesgos Geológicos por Regiones: Cusco y Puno	357753	1/1/13 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA-44A. Desarrollar estudios de riesgos geológicos por regiones: Madre de Dios	297544	1/1/13 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA-44B. Desarrollar estudios de riesgos geológicos para la ciudad de Abancay, Apurímac	46989	1/1/14 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA-44C. Desarrollar estudios de riesgos geológicos para la ciudad de Arequipa	551940	1/1/15 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
INGEMMET	GA-45. Estudios de Riesgos Geológicos por Regiones: Arequipa y Moquegua	324076	1/1/13 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA-45A. Desarrollar estudios de riesgos geológicos por regiones: Tacna	304220	1/1/15 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
INGEMMET	GA-46. Patrimonio Geológico del Perú	238985	1/1/12 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA-47. Estudio Geoambiental e Hidrogeológico en la Región Puno	1566250	1/1/13 12:00 AM	12/31/15 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
INGEMMET	GA47A. Estudio Línea Base Geoambiental de la cuenca del río Tambo	168112	1/1/15 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
INGEMMET	GA48. Desarrollar estudios de hidrogeología de las cuencas de la región Puno	1338816	1/1/13 12:00 AM	12/31/15 12:00 AM	
INGEMMET	GA49. Desarrollar estudios de patrimonio geológico en la región Puno y Machu Picchu	331174	1/1/14 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA49A. Desarrollar estudios de patrimonio geológico en la Reserva Nacional San Fernando, Ica	295359	1/1/15 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
INGEMMET	GA50. Desarrollar estudios Neotectónicos de las regiones Arequipa y Moquegua	259530	1/1/13 12:00 AM	12/31/15 12:00 AM	
INGEMMET	GA50A. Desarrollar estudios neotectónicos de las regiones Arequipa, Moquegua y Tacna. Actualización del sistema de fallas de la Cordillera Blanca	247073	1/1/14 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
INGEMMET	GZA01. Estandarización y Apoyo Técnico a los Gobiernos Locales, Regionales y Nacional	1274226	1/1/12 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
INGEMMET	GA51. Desarrollar estudios sobre permafrost y redes criogénicas en los nevados Hualcan, Coropuna, Chachani y Misti	431154	1/1/14 12:00 AM	12/31/15 12:00 AM	

**Compromiso de la entidad para la ejecución de la propuesta**

El INGEMMET realizará un aporte económico total de: S/. 1.147.199,50 (238.845,00 s/ como aporte monetario y 908.354,50 como aporte no monetario), que corresponde a:

1) Recursos Humanos (no monetario): 720.000,00 s/, parte proporcional del sueldo, en función del tiempo de

dedicación al proyecto, del Director del Círculo e Investigador Principal Jose Úbeda Palenque (100%) y tres tesis de posgrado por determinar (100%).

2) Equipos y bienes duraderos (no monetario): 35.014,50 s/, como valoración de sensores de temperatura del aire y el suelo aportados por la institución.

3) Insumos y materiales (no monetario): 40.500,00 s/, como valoración del uso de licencias anuales del software ARC GIS.

4) Gastos varios: 351.685,00 s/, que incluyen un aporte monetario de 238.845,00 s/ (viáticos, combustible y otros gastos de campo) y aportes no monetarios de 112.840,00, que se desglosan en 87.840,00 s/ (uso de camionetas en las campañas de trabajo 2016-2018), y 25.000,00 s/ (publicación sobre la criosfera del Perú para divulgar los resultados de las investigaciones).

### Razón Social

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GEOGRAFÍA FÍSICA DE ALTA MONTAÑA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID (GFAM-UCM)

Número de RUC	Q-2818014-I
Tipo de Institución	Centro de Investigación
Rol de la Entidad	Asociada
Régimen	Público
Fecha de Creación o Constitución	30/09/2007
Domicilio Fiscal	Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.
Teléfono	51 958433475
Correo electrónico	davidp@ucm.es
Página Web	www.ucm.es/gfam
Contrapartida o aporte (S/.)	1397466
Dependencia que participa en la propuesta	Delegación de proyectos de investigación en Perú

### Representante legal

Nombres y Apellidos	David Palacios Estremera
Nº de Documento de Identidad	AAE595962
Cargo que desempeña	Director
Correo electrónico	davidp@ucm.es

### Antecedentes de la Entidad

La finalidad principal del Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña (GFAM) de la Universidad Complutense de Madrid (España), es evaluar el impacto del cambio climático en la parte de la criosfera que se encuentra en las montañas de la Tierra, en forma de glaciares, cubierta nival o capas de suelo congelado (permafrost). El interés se dirige tanto a la evolución de las masas de hielo, en escalas de décadas a decenas de miles de años, como a los riesgos naturales que implican la deglaciación y la interacción entre los glaciares y la actividad volcánica.

#### 2) Líneas de investigación:

- Dataciones de fases de avance y retroceso glaciar, por edades de exposición a la radiación cósmica, liquenometría y luminiscencia estimulada óptimamente (OSL).
- Monitoreo de la temperatura del aire y el suelo en áreas de alta montaña, que ha permitido detectar la presencia de permafrost en volcanes de la región Arequipa.
- Elaboración de simulaciones numéricas de flujos de lodo hípersaturados (lahares).

#### 3) Áreas de estudio:

- Balas latitudes: Cinturón Neovolcánico Mexicano, con la Universidad Autónoma de México, y Andes tropicales de Perú, con el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (desde 2004) y la Autoridad Nacional del Agua (desde 2012).
- Latitudes medias: Península Ibérica (Sanabria, Pirineos, Sistema Central y Sierra Nevada).
- Altas latitudes: tanto en el Hemisferio Norte (Islandia e Islas Svalbard), como en el Hemisferio Sur (Cordillera Darwin, Tierra de Fuego).

### Fondos recibidos o administrados por la entidad

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Ministerio de Educación y Ciencia (España)	Recursos hídricos y prevención de riesgos hidrovulcánicos en estratovolcanes tropicales activos	486	12/1/06 12:00 AM	9/30/09 12:00 AM	
Ministerio de Ciencia y Tecnología	Acción Integrada con Austria para el estudio del cambio climático en áreas de alta montaña	64800	12/30/07 12:00 AM	12/30/09 12:00 AM	
Ministerio de Ciencia y Tecnología (España)	Acción Integrada con Sudáfrica para el estudio del cambio climático en áreas de alta montaña	57600	12/30/07 12:00 AM	12/30/12 12:00 AM	
Ministerio de Ciencia e Innovación (España)	Impacto del cambio climático en las reservas hídricas sólidas y riesgos naturales asociados en estratovolcanes tropicales	648000	1/1/10 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Efectos medioambientales del la deglaciación: estudio de casos en ámbitos geográficos contrastados (CRYOCRISIS)	396000	1/1/13 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Evolución de la Criosfera en las Montañas Mediterráneas	90000	6/1/14 12:00 AM	6/1/17 12:00 AM	

Compromiso de la entidad para la ejecución de la propuesta

El GFAM se compromete a realizar un aporte económico total de: 1.397.466,00 s/. Dicho aporte (no monetario) se corresponde con:

- 1) Recursos Humanos (174.636 s/): parte proporcional del sueldo del Investigador Principal David Palacios Estremera, en función del tiempo de dedicación al proyecto (35%).
- 2) Equipos y bienes duraderos (53.730 s/): sensores data logger.
- 3) Insumos y materiales (432.000 s/): series de datos de proyectos anteriores 2004-2015.
- 4) Servicios de terceros (737.100 s/): descuento en el acelerador de partículas para las dataciones cosmogénicas, por acuerdos con el laboratorio.

#### Razón Social

DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALA

Número de RUC	
Tipo de Institución	Universidad
Rol de la Entidad	Asociada
Régimen	Público
Fecha de Creación o Constitución	31/03/1999
Domicilio Fiscal	Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá. 28827 Alcalá de



Teléfono	34918854933
Correo electrónico	dpto.fismat@uah.es
Página Web	http://www3.uah.es/fisymat/
Contrapartida o aporte (S/.)	132300
Dependencia que participa en la propuesta	Departamento de Física y Matemáticas

## Representante legal

Nombres y Apellidos	Miguel Angel Hidalgo Moreno
N° de Documento de Identidad	11789530Y
Cargo que desempeña	Director del Departamento
Correo electrónico	miguel.hidalgo@uah.es

## Antecedentes de la Entidad

1. Misión: impartir docencia de calidad en asignaturas y áreas afines y desarrollar trabajos y proyectos de investigación relacionados con las áreas de conocimiento de Física y Matemáticas.

## 2. Líneas de investigación:

## 2.1. Grupo de Física del Clima.

- Bajada a escala regional de la variabilidad climática con modelos dinámicos.
- Impactos de cambios en la variabilidad natural del clima.
- Predecibilidad del sistema climático.
- Procesos físicos del sistema climático.
- Variabilidad Natural y artificial del clima.

## 2.2. Grupo de Investigación del Espacio.

- Aplicación de la Inteligencia Artificial a los sistemas de control autónomo.
- Entorno de radiación.
- Lámina de corriente heliosférica.
- Meteorología espacial: Tormentas magnéticas.
- Nubes magnéticas.
- Software de Control en tiempo real para Sistemas Espaciales.

Soporte hardware en Ingeniería Espacial.

## 2.3. Grupo de Sistemas Cuánticos de Baja Dimensionalidad.

- Propiedades de transporte en sistemas electrónicos de baja dimensionalidad.

## 2.4. Space &amp; Astroparticle Group.

- Rayos cósmicos de ultra-alta y extremadamente alta energía.
- Materia Oscura.
- Desarrollo de instrumentación para misiones espaciales.
- Sistemas de computo GRID.

## 2.5. Grupo de Investigación en Física Ambiental

- Meteorología y micrometeorología polar.
- Estado térmico del permafrost.
- Evolución de la capa activa del permafrost.
- Intercambio de energía entre la capa límite atmosférica y permafrost.
- Criosfera Marciana.

## Fondos recibidos o administrados por la entidad

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Dirección General de Investigación (España)	Modificación de la variabilidad climática interanual por el cambio climático artificial	248292	10/1/06 12:00 AM	1/30/09 12:00 AM	
Junta de Comunidades de Castilla– La Mancha (España)	Señales climáticas interanuales e interdecadales: caracterización, impacto en Castilla-La Mancha	324495	5/22/05 12:00 AM	6/22/07 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (España)	Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España con modelos de alta resolución (ESCENA)	151740	1/1/09 12:00 AM	6/30/12 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Contribución española al observatorio espacial JEMEUSO	1960200	1/1/11 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
Comunidad Autónoma de Madrid (España)	SpaceTec: Desarrollo de nuevas tecnologías para instrumentación espacial en la Comunidad de Madrid (SpaceTec-CM)	24980	10/1/14 12:00 AM	9/30/18 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Contribución científica y Phase C (STM & CDR) de la cámara infrarroja de la misión espacial JEM-EUSO	505440	1/1/13 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Contribución española al observatorio Pierre Auger	1062864	1/1/10 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
SEP-CONACYT (México)	Telescopio de muones para el observatorio Pierre Auger	432000	9/1/09 12:00 AM	9/1/11 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Contribución española de la cámara infrarroja para la misión espacial JEMEUSO	1080000	7/1/09 12:00 AM	1/31/11 12:00 AM	
Ministerio de Educación y Ciencia (España)	Contribución española al r&d array de Auger Norte y al sistema de alimentación del Infill Amiga para Auger Sur	1080000	7/1/09 12:00 AM	1/31/11 12:00 AM	
Ministerio de Educación y Ciencia (España)	Detector de partículas energéticas para Solar Orbiter II	6882480	1/1/14 12:00 AM	12/31/15 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Nuevos retos en la ciencia de la interacción Sol-Tierra ante las necesidades tecnológicas de la Sociedad actual	365904	1/1/14 12:00 AM	12/31/16 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Solar Orbiter Energetic Particle Detector system management	7579440	1/1/12 12:00 AM	6/30/14 12:00 AM	
European Union	Enhancing prediction of tropical Atlantic climate and its impacts (PREFACE)	323979588	11/1/13 12:00 AM	10/30/17 12:00 AM	
Dirección General de Investigación, España	Contribución al observatorio de rayos cósmicos Perre Auger	481289	12/1/03 12:00 AM	11/30/06 12:00 AM	
Internacional Space Science Institute (ISSI)	The stages of Sun-Earth connection	129600	9/1/05 12:00 AM	12/31/06 12:00 AM	
Ministerio de Economía y Competitividad (España)	Estado termico del permafrost y evolucion de la capa activa en las estaciones de medida TSP y CALM-S, islas Livigston y Decepción (Antártida). Permaplanet	304920	1/1/10 12:00 AM	12/31/12 12:00 AM	
Dirección General de Investigación (España)	Estudio del clima en el Mediterráneo occidental con el modelo atmosférico regional REMO: validación de la simulación del clima actual y análisis de las proyecciones de cambio	348480	1/1/09 12:00 AM	12/31/11 12:00 AM	
Ministerio de Ciencia e Innovación (España)	Mantenimiento, control y análisis de datos de las experiencias TSPIPY y CALM-S (ANTPAS-IPY). Islas Livingston y Decepción. Campaña Antártica 2009-2010	108000	3/15/09 12:00 AM	11/15/10 12:00 AM	
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial-INTA (España)	Proyecto REMS	36000	2/13/08 12:00 AM	2/13/13 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Junta de Comunidades de Castilla– La Mancha (España)	Modos normales y extremos en la caracterización del cambio climático en la España central	3171520	1/1/06 12:00 AM	3/31/07 12:00 AM	

**Compromiso de la entidad para la ejecución de la propuesta**

El Departamento de Física y Matemáticas de la Universidad de Alcalá se compromete a realizar un aporte económico total (no monetario) de 132.300 s/., que corresponde a la parte proporcional del sueldo del Investigador Principal William Cabos Narváez (Recursos Humanos), en función del tiempo de dedicación al proyecto (35%).

**Razón Social****GUÍAS DE ESPELEOLOGIA Y MONTAÑA**

Número de RUC	G82150103
Tipo de Institución	Organismo No Gubernamental
Rol de la Entidad	Asociada
Régimen	Privado
Fecha de Creación o Constitución	23/09/1998
Domicilio Fiscal	Martínez Campos 39. 8º izquierda. Escalera A. 8010 Madrid
Teléfono	+34656408790
Correo electrónico	ong.gem@gmail.com
Página Web	<a href="https://onggem.wordpress.com/">https://onggem.wordpress.com/</a>
Contrapartida o aporte (S./.)	121729.8200000000069849193096160888671875
Dependencia que participa en la propuesta	Departamento de Ciencias de la Tierra

**Representante legal**

Nombres y Apellidos	Krzysztof Wandrasz Hodorowski
Nº de Documento de Identidad	53661977X
Cargo que desempeña	Presidente
Correo electrónico	ong.gem@gmail.com

**Antecedentes de la Entidad**

Promover la conservación de la naturaleza y el patrimonio cultural, mediante proyectos de investigación, educación ambiental y cooperación para el desarrollo.

**PRINCIPALES LÍNEAS DE TRABAJO**

1) Conservación de la Cueva del Reguerillo (Patones, Madrid, España). Es colaboración con el gobierno regional. - 1998-2004. Educación ambiental, en el marco de la iniciativa comunitaria LEADER II (Unión Europea). Actividades para concienciar a la sociedad sobre la protección del patrimonio natural y cultural que alberga la cueva en su interior.

- 2004-2009. Cerramiento de los accesos, prospección de arte rupestre y excavaciones arqueológicas y paleontológicas.

- 2009-2015: Vigilancia y conservación de los cerramientos.

También se realizaron otras excavaciones arqueológicas, en las regiones de Madrid y Castilla La Mancha.

2) Investigación del impacto del cambio climático en la criosfera de los Andes de Perú: En cooperación con el Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña (GAFM) de la Universidad Complutense de Madrid (UCM, España). En total se han organizado 11 campañas de investigación, todos los años entre 2004 y 2015.

3) Cooperación para el desarrollo: En paralelo a las campañas de investigación, se crearon bibliotecas y aulas de informática en comunidades del altiplano.

4) Programa de prácticas de estudiantes:

En las anteriores líneas de trabajo se ha promovido la participación de estudiantes de la UCM, en el marco de un convenio suscrito por la ONG y esa universidad.

**Fondos recibidos o administrados por la entidad**

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Junta de Castilla La Mancha (España)	Campaña de excavación arqueológica 2004 en el Abrigo del Palomar (Yeste, Albacete)	54000	8/1/04 12:00 AM	11/1/04 12:00 AM	
Junta de Castilla La Mancha (España)	Campaña de excavación arqueológica 2005 en el Abrigo del Palomar (Yeste, Albacete)	54000	8/1/05 12:00 AM	12/1/05 12:00 AM	
Junta de Castilla La Mancha (España)	Campaña de excavación arqueológica 2005 en el Abrigo del Palomar (Yeste, Albacete)	54000	8/1/06 12:00 AM	12/1/06 12:00 AM	
Comunidad de Madrid (España)	Evaluación del potencial arqueológico de los yacimientos pleistocenos en cuevas y abrigos localizados en la orla caliza de la Sierra Norte de la Comunidad de Madrid	216000	4/1/06 12:00 AM	7/31/06 12:00 AM	
Comunidad de Madrid (España)	Obras de protección y cerramiento de la Cueva del Reguerillo (Patones-Madrid)	396000	5/1/06 12:00 AM	8/1/06 12:00 AM	
Comunidad de Madrid (España)	Campaña de excavación arqueológica 2007 en el Abrigo del Monte (El Vellón, Madrid)	72000	7/1/07 12:00 AM	10/1/07 12:00 AM	
Comunidad de Madrid (España)	Plan Director de la Cueva del Reguerillo (Patones-Madrid)	324000	6/1/07 12:00 AM	11/1/07 12:00 AM	
Comunidad de Madrid (España)	Sondeos arqueológicos en los accesos al segundo y tercer piso y prospección de Arte Rupestre del Primer Piso. Cueva del Reguerillo (Patones-Madrid)	288000	5/1/07 12:00 AM	12/31/07 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S./)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Comunidad de Madrid (España)	Actuaciones arqueológicas en la Cueva del Reguerillo (Patones-Madrid). Prospección de Arte Rupestre del Primer Piso y sondeo arqueológico del Segundo Piso. Comunidad de Madrid.	144000	6/1/08 12:00 AM	12/31/08 12:00 AM	
Junta de Castilla La Mancha (España)	Campaña de excavación arqueológica 2008 en el Abrigo del Palomar (Yeste, Albacete)	43200	8/1/08 12:00 AM	11/30/08 12:00 AM	
Junta de Castilla La Mancha (España)	Campaña de excavación arqueológica 2009 en el Abrigo del Palomar (Yeste, Albacete)	36000	8/1/09 12:00 AM	12/1/09 12:00 AM	

**Compromiso de la entidad para la ejecución de la propuesta**

Guías de Espeleología y Montaña se compromete a realizar un aporte económico total no monetario de 121.729,82 s/., que corresponde con los siguientes conceptos:

- 1) Recursos humanos: parte proporcional del sueldo de la co-investigadora Yansa Tejada Mengíbar en función del tiempo de dedicación al proyecto (35%), 79.380,00 s/.
- 2) Insumos y materiales: fotografías aéreas, ortofotos e imágenes de satélite de las áreas de estudio, 42.349,82 s/.

**Razón Social**

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

Número de RUC	20520711865
Tipo de Institución	Instituto de Investigación
Rol de la Entidad	Colaboradora
Régimen	Público
Fecha de Creación o Constitución	13/03/2008
Domicilio Fiscal	Calle Diecisiete N° 355, Urb. El Palomar-San Isidro-Lima
Teléfono	(01) 224 329
Correo electrónico	nsantillan@ana.gob.pe
Página Web	www.ana.gob.pe
Contrapartida o aporte (S./)	435495
Dependencia que participa en la propuesta	Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos

**Representante legal**

Nombres y Apellidos	Juan Carlos Sevilla Gildemeister
N° de Documento de Identidad	00515466
Cargo que desempeña	Jefe
Correo electrónico	jsevilla@ana.gob.pe

**Antecedentes de la Entidad**

La Autoridad Nacional del Agua es un Organismo Técnico Especializado, adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego, creada por la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Agricultura, mediante Decreto legislativo N°

997. Es la institución responsable de dictar las normas y establecer los procedimientos para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. Tiene personalidad jurídica de derecho público interno y constituye un pliego presupuestal. Es la encargada de elaborar la Política Nacional de los Recursos Hídricos, a través del Plan Nacional de los Recursos Hídricos; a fin de ejecutar y promover las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible del recurso agua, por cuencas hidrográficas, y gestionar la calidad ambiental nacional estableciendo alianzas estratégicas con los gobiernos regionales, locales y el conjunto de actores sociales y económicos involucrados.

Actualmente la ANA es también la encargada de una dependencia de investigación directamente relacionada con los glaciares: la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de Huaraz (UGRH), que existe desde los años 40' del pasado siglo XX y cuenta con gran tradición y prestigio internacional. En el marco de los proyectos del Círculo de Investigación las ELAs deducidas de parámetros geomorfológicos (ELAg) y climáticos (ELAc) serán comparadas con las ELAs deducidas por la UGRH de las observaciones del balance de masa mediante el monitoreo de glaciares (ELAm).

**Fondos recibidos o administrados por la entidad**

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE).	"Glaciares 513: Adaptación al cambio climático y reducción de riesgos de desastres por el retroceso de los glaciares en la Cordillera de los Andes"	12453733			
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Plan Nacional de Recursos Hídricos	1449600			
fondos: Banco Mundial (BM) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).	Programa de Modernización de los Recursos Hídricos en seis cuencas piloto	64000000			
Corporación Andina de Fomento (CAF)	"Estudio de Disponibilidad Hídrica Integral para la Gestión del Agua en el Sistema Hídrico del Río Huancabamba, Ríos Tributarios y Traslases"	6449600			
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Proyecto: Regularización de los Derechos de Uso de Agua en Pequeñas Comunidades como parte de la Estrategia para la Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos	960000			

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
Banco Interamericano de Desarrollo (BID).	"Un Enfoque Integral para Evaluar el Valor Económico del Agua en Cuencas Hidrográficas Prioritarias del Perú"	1440000			

**Compromiso de la entidad para la ejecución de la propuesta**

La Autoridad Nacional del Agua se compromete a realizar un aporte económico total de 435.495 s/, que corresponde a los siguientes conceptos:

- 1) Recursos Humanos: sueldo de un tesista de posgrado por determinar (aporte no monetario), quien dedicará el 100% de su tiempo a realizar investigaciones sobre balance de masa glaciar en la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de nuestra institución, con sede en Huaraz.
- 2) Gastos varios: campañas de trabajo de campo 2016-2018, necesarias para realizar dichas investigaciones, incluyendo 272.295 s/. para viáticos, combustible y otros gastos (aporte monetario) y 73.200 s/ en concepto de uso de camionetas de nuestra entidad (aporte no monetario).

**Razón Social**

UNESCO

Número de RUC	20293181234
Tipo de Institución	Organismo No Gubernamental
Rol de la Entidad	Colaboradora
Régimen	Público
Fecha de Creación o Constitución	20/09/1995
Domicilio Fiscal	Av. Javier Prado Este No. 2465, San Borja, Lima, Perú
Teléfono	2242526
Correo electrónico	lima@unesco.org
Página Web	<a href="http://www.unesco.org/new/es/lima">http://www.unesco.org/new/es/lima</a>
Contrapartida o aporte (S/.)	0
Dependencia que participa en la propuesta	Sector Ciencias

**Representante legal**

Nombres y Apellidos	Magaly del Rocío Robalino Campos
N° de Documento de Identidad	Cédula RREE 115
Cargo que desempeña	Representante
Correo electrónico	m.robalino@unesco.org

**Antecedentes de la Entidad**

El principal objetivo de la UNESCO es contribuir al mantenimiento de la paz y la seguridad en el mundo promoviendo, a través de la educación, la ciencia, la cultura y la comunicación, la colaboración entre las naciones, a fin de garantizar el respeto universal de la justicia, el imperio de la ley, los derechos humanos y las libertades fundamentales que la Carta de las Naciones Unidas reconoce a todos los pueblos sin distinción de raza, sexo, idioma o religión. La oficina de la UNESCO en Lima promueve la cooperación internacional e interinstitucional en ese sentido.

**Fondos recibidos o administrados por la entidad**

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
---------------------------------	---------------------	-------------	-----------------	-----------------	-------------------------



Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
ECHO- European Union Directorate-General for Humanitarian Aid and Civil Protection /UNESCO	Fortalecimiento del Sistema Regional de Alerta ante tsunami en Chile, Colombia, Ecuador y Perú” en el marco del VII Plan de Acción DIPECHO	144880	1/7/11 12:00 AM	11/30/12 12:00 AM	
Embajada de Finlandia	El Impacto del Retroceso de los Glaciares en los Andes: Red Internacional Multidisciplinaria para Estrategias de Adaptación	60800	1/3/12 12:00 AM	12/30/13 12:00 AM	
UBRAF-Unified Budget, Results and Accountability Framework (UNAIDS)	Strengthening Comprehensive Sexuality Education in public sector management through multisectoral work	272000	1/3/12 12:00 AM	12/30/13 12:00 AM	
UNDP-United Nations Development Programme / MDG-Millennium Development Goals Fund (España)	Cultural industries project: An innovative tool for alleviating poverty in Peru	1953798	11/12/09 12:00 AM	6/30/13 12:00 AM	
ECHO- European Union Directorate-General for Humanitarian Aid and Civil Protection	Reduciendo el riesgo de desastres a través de la educación y la ciencia - DIPECHO	2116155	1/5/13 12:00 AM	12/30/14 12:00 AM	
Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC)	Development of local capacities to prepare for disaster risk management in view of climate change: Assistance to Manu National Park, a World Heritage site in Peru	1454544	7/15/10 12:00 AM	6/30/12 12:00 AM	

Institución otorgante de fondos	Título del proyecto	Monto (S/.)	Fecha de inicio	Fecha de cierre	Instituciones asociadas
AECID-Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo/UNDP United Nations Development Programme	Joint Programme- Andean Grains	337264	12/1/14 12:00 AM	12/31/14 12:00 AM	
AECID-Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo	Management of World Heritage Cities	384000	7/28/14 12:00 AM	6/30/16 12:00 AM	
AECID-Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo	Capacities for Climate Change Adaptation and Water Resources Management at Huascaran National Park	576000	7/28/14 12:00 AM	6/30/16 12:00 AM	
Ministry of Education (EEUU)	Strengthening Teachers Education Project- 1st Phase	3420887	8/1/14 12:00 AM	8/1/15 12:00 AM	

**Compromiso de la entidad para la ejecución de la propuesta**

La UNESCO se compromete a colaborar con la propuesta mediante las coordinaciones que realizará el Coordinador del Sector Ciencias de nuestra sede en Lima en relación con tres importante cuestiones:

- 1) Promover el asesoramiento de los expertos del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, con sede en París.
- 2) Relacionar el Círculo de Investigación con una Cátedra UNESCO sobre Criosfera y Cambio Climático, que organizará ciclos de conferencias, cursos de capacitación, exposiciones y otros eventos para difundir los resultados de las investigaciones.
- 3) Fomentar la realización de documentales y otras herramientas de divulgación.
- 4) Favorecer la transformación de los resultados de las investigaciones en instrumentos de educación ambiental, que sirvan a la vez para el desarrollo local de las comunidades andinas que habitan en las áreas de influencia de las áreas de estudio.

**AGENCIA INTERMEDIARIA**
**EQUIPO DE INVESTIGACIÓN**

Documento de identidad	Nombres y apellidos	Cargo que desempeña en la entidad	Tipo de investigador	Carta de presentación	Actividades principales en el proyecto	Nro horas semanales	% Dedicación
------------------------	---------------------	-----------------------------------	----------------------	-----------------------	--	---------------------	--------------

Documento de identidad	Nombres y apellidos	Cargo que desempeña en la entidad	Tipo de investigador	Carta de presentación	Actividades principales en el proyecto	Nro horas semanales	% Dedicación
001007536	ÚBEDA PALENQUE, JOS E	Investigador	Director del Circulo	Carta de presentación	Es la persona que ha concebido el Círculo de Investigación reuniendo a las instituciones e investigadores que ha tenido la oportunidad de conocer durante 11 años de carrera científica en los Andes Centrales de Perú. Conoce las áreas de estudio y realizara las tareas de coordinación entre los tres proyectos del Círculo de Investigación, de los que ha formulado dos ("ELAs glaciares" y "Permafrost Andes") y ha co-formulado el otro ("Simulaciones Climáticas REMO). Será Investigador Principal de "ELAs glaciares" y asesorará las tesis vinculadas con dicho proyecto. Además participará en el equipo de gestión administrativa.	40	100

Documento de identidad	Nombres y apellidos	Cargo que desempeña en la entidad	Tipo de investigador	Carta de presentación	Actividades principales en el proyecto	Nro horas semanales	% Dedicación
AAE595962	<b>PALACIOS ESTREMER, DAVID</b>	Catedrático de Geografía Física	Investigador principal	<b>Carta de presentación</b>	Investigador Principal en los proyectos "ELAs glaciares" y "Permafrost Andes", coordinará las actividades de investigación y asesorará los temas de tesis descritos en las memorias de los proyectos mencionados y la propuesta del Círculo de Investigación (ver memorias correspondientes)	14	35
488874443	<b>YOSHIKAWA, KENJI</b>	Investigador Colaborador	Investigador principal	<b>Carta de presentación</b>	Investigador Principal en el proyecto "Permafrost Andes", coordinará las actividades de investigación y asesorará los temas de tesis descritos en la memoria de dicho proyecto y la propuesta del Círculo de Investigación (ver memorias correspondientes)	14	35
06426196	<b>CABOS NARVAEZ, WILLIAM DAVID</b>	Profesor Titular	Investigador principal	<b>Carta de presentación</b>	Investigador Principal en el proyecto "Simulaciones Climáticas REMO", coordinará las actividades de investigación y asesorará los temas de tesis descritos en la memoria de dicho proyecto y la propuesta del Círculo de Investigación (ver memorias correspondientes)	14	35

Documento de identidad	Nombres y apellidos	Cargo que desempeña en la entidad	Tipo de investigador	Carta de presentación	Actividades principales en el proyecto	Nro horas semanales	% Dedicación
AAI730974	TEJADA MENGIBAR, YANSA	Investigadora experta en Geomática	Co-Investigador	Carta de presentación	Co-Investigadora en los proyectos "ELAs glaciares", "Permafrost Andes" y "Simulaciones Climáticas REMO", se encargará de asesorar todas las actividades de investigación y tesis académicas descritas en las memorias de los proyectos mencionados y la propuesta del Círculo de Investigación (ver memorias correspondientes) . La labor de asesoramiento estará centrada en cuestiones relacionadas con bases de datos de alta resolución, sistemas de información geográfica y geodesia, sobre las que es experta.	14	35

Documento de identidad	Nombres y apellidos	Cargo que desempeña en la entidad	Tipo de investigador	Carta de presentación	Actividades principales en el proyecto	Nro horas semanales	% Dedicación
467527895	BROMLEY , GORDON	Research Assistant Profesor	Otros profesionales o personal de apoyo	Carta de presentación	Asistente técnico para el proyecto "ELAs glaciares", realizará las tareas de investigación y asesorará los temas de tesis descritos en dicho proyecto y la propuesta del Círculo de Investigación (ver memorias correspondientes) . Sus tareas de investigación y asesoramiento académico estarán especialmente relacionadas con los métodos de reconstrucción de las ELAs y el establecimiento de cronologías basadas en edades de exposición de las superficies a la radiación cósmica.	14	35

Documento de identidad	Nombres y apellidos	Cargo que desempeña en la entidad	Tipo de investigador	Carta de presentación	Actividades principales en el proyecto	Nro horas semanales	% Dedicación
51-3848153	SEIN , DMITRY	Senior Researcher	Otros profesionales o personal de apoyo	Carta de presentación	Asistente técnico para el proyecto "Simulación Climáticas REMO", realizará las tareas de investigación y asesorará los temas de tesis descritos en dicho proyecto y la propuesta del Círculo de Investigación (ver memorias correspondientes) . Sus tareas de investigación y asesoramiento académico estarán especialmente relacionadas con la calibración del modelo climático empleando datos instrumentales, así como en la elaboración de simulaciones pasadas, presentes y futuras en los escenarios explicados en las mencionadas memorias.	14	35

## PROPUESTA DEL CÍRCULO

Título de la Propuesta del Círculo

Círculo de Investigación sobre Criosfera y Cambio Climático en los Andes Centrales (CRYOPERU)

Línea de Investigación de la Propuesta

El Círculo investigará el cambio climático y la criosfera, que incluye todas las formas en las que el agua puede encontrarse en estado sólido en las montañas: glaciares, glaciares rocosos, nieve y permafrost. Los proyectos tratarán sobre criosfera y cambio climático actual, el registro paleoclimático de la criosfera y la evolución de la criosfera durante las próximas décadas, con sus implicaciones respecto a las reservas hídricas y los riesgos naturales asociados al proceso de deglaciación.

Objetivo General de la propuesta

Consolidar una alianza científica que permita la transferencia de conocimiento y tecnología necesarios para que las instituciones peruanas se incorporen en las redes internacionales que investigan la criosfera y el cambio climático, en relación con dos aspectos principales:

1. El impacto del cambio climático durante las próximas décadas en la evolución de la criosfera y las reservas de agua sólida.
2. La información climática pasada, presente y futura que puede deducirse de la observación de la criosfera.

En una primera fase se van a ejecutar dos proyectos para investigar el cambio climático y los glaciares con dos perspectivas complementarias: geomorfológica y numérica. En una segunda fase se formularán

nuevos proyectos de investigación básica para incorporar el permafrost, los glaciares rocosos y la nieve. Con esa finalidad se pretende promover la continuidad del Círculo. más allá de la finalización de la vigencia de la presente propuesta (2019).

Vinculación de la propuesta a grupo de interes o población potencialmente beneficiaria

Los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) advierten que durante el siglo XXI s las reservas de agua almacenadas en los glaciares de los Andes Centrales experimentarán una notable reducción. También consideran que Perú es un país muy vulnerable al cambio climático, porque la mayor parte de la población está en ciudades de la costa y la empinada rampa que desciende desde la cordillera hasta el Océano Pacífico, una de las regiones más áridas de la Tierra (véanse los apartados “Justificación” y “Problema detectado”, en la memoria científica de los proyectos propuestos por el Círculo de Investigación). Como consecuencia de esos hechos, toda la población que habita en dichas regiones es potencialmente beneficiaria de los proyectos de investigación que desarrollará el Círculo CRYOPERU, que además de contribuir al conocimiento global del cambio climático proporcionará criterios científicos para decidir dónde y cómo implementar las estrategias de adaptación que deberán emprenderse durante las próximas décadas y representan un desafío complejo, porque implicarán periodos de planificación prolongados y su ejecución tendrá costes socioeconómicos y medioambientales muy elevados. Las propuestas del Círculo afrontarán los problemas planteados del siguiente modo:

- El proyecto sobre ELAs analizará las tendencias pasadas de los glaciares y las extrapolará hacia el futuro, para comprender como pueden evolucionar durante las próximas décadas las reservas de agua congelada, mediante la estimación de la distribución espacial y temporal del proceso de deglaciación.

- El proyecto sobre simulaciones climáticas REMO (REgional MOdel) realizará los primeros estudios de Suramérica para el proyecto internacional CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling EXperiment; <http://cordex.org/>). Se trata de un proyecto internacional para reducir a escala regional los modelos climáticos globales, contribuyendo a mejorar los escenarios de previsión del IPCC. Actualmente no existen modelos con suficiente resolución para conocer qué sucederá en Perú durante las próximas décadas. El Círculo contribuirá a solventar esa necesidad.

Por otra parte, la transferencia de conocimiento y tecnología que promoverán los proyectos tendrán un notable impacto en la formación de los recursos humanos de Perú, en el campo de Ciencias de la Tierra. Es esperable que ese impacto repercuta muy positivamente, tanto en las instituciones participantes como en el ámbito de las universidades y el resto del sistema nacional de I+D.

- Más adelante el Círculo formulará otro proyecto específico para investigar el permafrost, que que han sido recientemente detectado por las entidades promotoras y son un geoindicador muy sensible del cambio climático. Su presencia en algunas montañas del sur del país tiene gran interés, porque su desaparición puede alterar la escorrentía superficial y las líneas de flujo subterráneas, afectando al funcionamiento actual del sistema hidrológico.

Temas de tesis incorporadas a la propuesta

## 1. PROYECTO ELAs GLACIARES:

1.1. Estado de equilibrio o desequilibrio de los glaciares con el clima actual: determinación y comparación de ELAs deducidas de parámetros geomorfológicos (ELAg), climáticos (ELAc) o a través del monitoreo de glaciares (ELAm).

1.2. Dataciones de las fases de avance o retroceso de los glaciares, en escalas de cientos a decenas de miles de años, empleando métodos liquenométricos o cosmogénicos. Las técnicas de liquenometría consisten en el establecimiento de edades basadas en las tasas de crecimiento de especies primicolonizadoras de líquenes, como *Rhizocarpon geographicum*. Los métodos cosmogénicos se basan en la determinación de las edades de exposición de las superficies a la radiación cósmica, midiendo la presencia de isótopos como berilio-10 o cloro-36, entre otros.

1.3. Reconstrucciones paleoclimáticas para las fases de expansión de los glaciares.

1.4. Pronósticos sobre la evolución de los glaciares en las próximas décadas, basados en las tendencias de deglaciación observaciones de superficies (km<sup>2</sup>/año), ELAg y/o ELAc (m/año). Ponderación de las previsiones con los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (IPCC).

## 2. PROYECTO SIMULACIONES CLIMÁTICAS REMO:

2.1. Tratamiento de datos climáticos para la calibración de simulaciones REMO.



2.2. Simulaciones REMO para el presente.

2.3. Simulaciones REMO para el futuro y relación con los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero.

3. PROYECTO PERMAFROST ANDES (a formular en 2016):

3.1. Presencia o ausencia de permafrost y factores geográficos que controlan su distribución: altitud, orientación, litología...

3.2. Localización de nuevas áreas con potencial presencia de permafrost, empleando los factores previamente definidos y sistemas de información geográfica.

3.3. Monitoreo del permafrost como geoindicador del cambio climático actual.

4. TEMAS TRANSVERSALES: transferencia de conocimiento ciencia-sociedad, educación ambiental y el desarrollo local.

Relaciones de colaboración Interinstitucional

1. ANTECEDENTES:

El INGEMMET (Entidad Solicitante) y la ANA (Entidad Colaboradora), cooperan desde 2004 con el GFAM/UCM (Entidad Asociada), en investigaciones relacionadas directamente con la línea temática del Círculo. Hasta ahora fueron financiadas por recursos propios de las instituciones peruanas y 4 proyectos consecutivos del Plan Nacional de I+D del Gobierno de España, y se desarrollaron en el marco de convenios de cooperación actualmente vigentes, que han inspirado los objetivos y planes de trabajo de los proyectos del Círculo de Investigación.

El proyecto sobre Permafrost (que se formulará en 2016) surge del descubrimiento y seguimiento de permafrost en los volcanes Chachani y Coropuna (región Arequipa), una tarea que desarrollan conjuntamente las tres instituciones. El descubrimiento tienen gran interés científico por tratarse del único permafrost actualmente conocido en la zona tropical de la Tierra, encontrarse tan sólo unas décimas de grado por debajo del umbral de congelación (0°C) y constituir por esa razón un excelente geoindicador del cambio climático actual.

2. ESTRATEGIA PARA SOSTENER Y AMPLIAR LAS RELACIONES INTERINSTITUCIONALES E INTERNACIONALIZAR EL CÍRCULO

1. Propuesta para crear un Círculo de Investigación presentada al FONDECYT.

2. Proyecto "El calentamiento de las montañas: geocronología y efectos ambientales de la deglaciación en las áreas de alta montaña (DEGLACIATION)", recientemente presentado a la convocatoria 2016-2018 para proyectos I+D del Gobierno de España.

3. Propuesta para crear una red de intercambio Europa-Estados Unidos-Perú, que se presentará en 2016 al programa Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff Exchange (RISE-Unión Europea).

4. Nuevas propuestas que el Círculo presentará en Europa, Perú y Estados Unidos.

5. Participación indirecta de instituciones que aun no forman parte del Círculo: la propuesta inicial incluye tres expertos como personal sin relación laboral con las entidades que presentan la propuesta. Se trata de los siguientes investigadores:

1. Dimitry Sein, experto en simulaciones climáticas (Alfred Wegener Institut, Alemania).

2. Nikolay Koldunov, experto en simulaciones climáticas (Climate Service Center Germany, Alemania).

3. Gordon Bromley, experto en dataciones cosmogénicas (Climate Change Institute, Universidad de Maine, Estados Unidos).

La participación de dichos asistentes técnicos promoverá la cooperación científica de sus instituciones de origen con la presente propuesta, favoreciendo la internacionalización del Círculo de Investigación.

3. COLABORACIÓN ACADÉMICA DE LOS INVESTIGADORES DEL CÍRCULO

Los investigadores del Círculo asesorarán las 8 tesis incluidas en la propuesta, con tres fuentes diferentes de financiación:

1) INGEMMET: 1 tesis de doctorado y 2 de maestría (sobre ELAs y Permafrost).

2) ANA: 1 tesis de maestría (ELAs).

3) FONDECYT: 1 tesis de doctorado (transferencia ciencia-sociedad), 2 de maestría y 2 de pregrado (ELAs y simulaciones REMO).

Generación de derechos de propiedad intelectual y/o estrategia de transferencia de los resultados

Los procedimientos de la investigación no serán protegidos mediante patentes, para promover su

aplicación en trabajos sobre el cambio climático y los recursos hídricos. Sin embargo, la estrategia para transferir los resultados a la sociedad se considera de gran importancia, porque es esencial para proporcionar a los tomadores de decisiones información para planificar estrategias de adaptación al cambio climático. También es fundamental para fomentar la divulgación sobre las causas del calentamiento global y sus consecuencias durante las próximas décadas. Para asegurar la transferencia ciencia-sociedad se han presupuestado recursos materiales y humanos para desarrollar las siguientes líneas de actuación:

#### 1. CICLO ANUAL DE CONFERENCIAS Y CURSOS DE CAPACITACIÓN EN PERÚ

El Círculo organizará ciclos de conferencias, cursos de capacitación y actividades para divulgar los resultados de las investigaciones. Se realizarán coincidiendo con las estancias de los científicos extranjeros para participar en trabajos de campo, asesoramiento de tesis y reuniones de coordinación, estancias que suman 12 meses en total. Para asesorar en la consecución de estos fines se ha incluido a la UNESCO como entidad colaboradora del Círculo.

#### 2. CAPACITACIÓN EN EL EXTRANJERO

Se han presupuestado viajes al extranjero de tesis peruanos, para trabajar en los laboratorios donde se realizará el procesamiento de las muestras que datarán las fases de avance y retroceso de los glaciares. Dichas estancias suman 6 meses en total y pretenden promover la transferencia de conocimiento que permita al Círculo abordar a medio plazo la implementación de un laboratorio peruano para dataciones cosmogénicas.

#### 3. PLAN DE COMUNICACIÓN

Se han presupuestado partidas específicas para elaborar y desarrollar un Plan de Comunicación, que incluya la publicación periódica de notas de prensa, mejorar la gestión de la página web del proyecto (<http://cryoperu.pe/>) y gestionar su incorporación en las redes sociales. Además se ha previsto la producción de documentales sobre criosfera y cambio climático, como el que puede visualizarse en la página web del proyecto.

#### 4. PUBLICACIONES DE DIVULGACIÓN E INFORMES TÉCNICOS

El INGEMMET publicará boletines e informes técnicos que proporcionarán la información necesaria para la planificación de estrategias de adaptación al cambio climático. Como la publicación de dichos productos es una práctica habitual de esa institución, no se han incluido en el presupuesto de la propuesta. No obstante se ha presupuestado una publicación de divulgación sobre criosfera y cambio climático, que será distribuida gratuitamente en instituciones públicas y universidades de Perú y estará disponible en la web del Círculo de Investigación.

#### 5. EDUCACIÓN AMBIENTAL

Los resultados de las investigaciones serán transformados en contenidos para centros de educación ambiental, en el marco de un convenio de cooperación que se suscribirá con el Servicio de Áreas Naturales Protegidas por el Estado

### Proyectos

#### Título del Proyecto de Investigación

Círculo de Investigación sobre Criosfera y Cambio Climático en los Andes Centrales (CRYOPERU)

Tipo de Proyecto

Básica

Localización

null / null / null

Duración del proyecto

Fecha de inicio	04/2016	Fecha final	12/2018	Duración en	32
-----------------	---------	-------------	---------	-------------	----

Palabras clave

Cambio climático, glaciares, ELAs, dataciones cosmogénicas

Resumen del proyecto

Se pretende contribuir al conocimiento del cambio climático a escala global y evaluar el retroceso de los glaciares de Perú en las próximas décadas. Con ese fin, se analizarán glaciares actuales (reconocibles en fotografías aéreas o imágenes de satélite) y paleoglaciares (deducidos de las morrenas generadas por sus avances pasados). Las áreas de estudio están en la vertiente del Pacífico de los Andes, donde los

glaciares tienen mayor sensibilidad al cambio climático y son una reserva hídrica fundamental para la árida región de la costa. Para comprender como es la relación actual glaciares-clima se realizarán las siguientes acciones: a) Reforzar una red estaciones de alta montaña transferida por proyectos de investigación extranjeros; b) Calcular las altitudes de la línea de equilibrio o Equilibrium Line Altitudes de los glaciares (ELA), deducidas de su geomorfología (ELAg) y el clima (ELAc); c) Desarrollar simulaciones climáticas REMO con datos de estaciones convencionales.

#### Antecedentes

Entre 26 y 19 ka, la Tierra experimentó el mayor enfriamiento de los últimos 100 ka (1 ka=1000 años antes del presente). Entonces ocurrieron simultáneamente la última máxima expansión de los glaciares de montaña y los glaciares continentales de las altas latitudes (Norteamérica, Groenlandia, Eurasia y Antártida), y el mínimo nivel relativo del mar, con un descenso >100 m respecto al presente (Clark et al., 2009).

Después de 19 ka, la temperatura de la superficie del mar (TSM) muestra un comportamiento diferente en ambos hemisferios terrestres: el Hemisferio Sur se calentó progresivamente (Kaiser et al., 2005), pero el Hemisferio Norte experimentó fuertes enfriamientos con 1-2 ka de duración (Heinrich 1 y Younger Dryas), cuyas señales están reflejadas en la TSM al oeste de Europa en 16 ka y 12 ka (Bard et al., 2003). Dichos episodios fueron simultáneos a avances glaciares en los Andes Centrales (Zech et al., 2009; Kelly et al., 2012), a la aparición de plancton de agua dulce en el Lago Titicaca (Fritz et al., 2007) y a transgresiones de paleolagos en el altiplano boliviano (Blard et al., 2011). Son evidencias de un clima más húmedo, que sugieren que el enfriamiento del Hemisferio Norte pudo incrementar el desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZICT) y las precipitaciones sobre la cordillera andina. La tendencia posterior al calentamiento boreal parece haber provocado un aumento de la aridez, reflejado en la extinción del plancton de agua dulce, la desaparición de los paleolagos y la deglaciación de las montañas. Después de 10 ka, el calentamiento global sólo fue interrumpido por la Pequeña Edad del Hielo (PEH), la última fase con avances glaciares en todo el planeta. Los isótopos de oxígeno del glaciar Quelccaya (Thompson et al., 1986) sugieren que ocurrió entre 1500 y 1890. Coincidió con un periodo húmedo (Thompson et al., 1992), que también pudo estar relacionado con un mayor desplazamiento hacia el sur de la ZCIT (Sachs et al., 2009). El calentamiento global posterior (0,85°C en 1880-2012), se ha correlacionado con la emisión de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013) y ha tenido como consecuencia el retroceso de los glaciares en los Andes de Perú. Las previsiones sugieren que la tendencia se mantendrá en las próximas décadas e implicará la desaparición de muchos glaciares y una considerable reducción de los recursos hídricos (Vuille et al., 2008).

A pesar del amplio número de publicaciones existentes, todavía existen muchas incertidumbres, porque los trabajos sobre los Andes Centrales occidentales son limitados. Hasta ahora no había registros climáticos de alta montaña (>4500 m), apenas se han deducido reconstrucciones paleoclimáticas de la geomorfología glaciar, ni existen simulaciones climáticas a escala regional (presentes, pasadas o futuras). El proyecto contribuirá a solventar esas carencias, en diferentes áreas de estudio de los Andes Centrales occidentales, según se explica en los siguientes apartados.

#### Justificación

Como consecuencia de la influencia permanente del anticiclón del Pacífico, reforzado por la corriente marina fría de Humboldt, procedente de la Antártida, la costa de Perú es una de las regiones más áridas de la Tierra, con precipitaciones anuales <10 mm. Las precipitaciones que recibe la Sierra provienen de la Amazonía y están relacionadas con los ciclos estacionales de la ZCIT. La distribución de las precipitaciones está condicionada por la concurrencia de dos factores al sur de la latitud 9°S: la división de los Andes Centrales en dos cordilleras y la aparición del Altiplano, una meseta muy elevada (3700-4900 m) y extensa (hasta 700 km a 20°S), provoca que las masas de aire amazónicas que la cruzan pierdan gran parte de su contenido de humedad. Aunque en el Altiplano ocurren fenómenos convectivos favorecidos por la fuerte radiación solar, la recarga de las masas de aire no es suficientemente efectiva y la aridez se incrementa hacia el oeste y hacia el sur de los Andes Centrales, a medida que se aleja el área fuente de las precipitaciones y aumenta la influencia de la corriente de Humboldt.

A causa del contexto geográfico descrito, el retroceso de los glaciares será uno de los principales riesgos que afectarán a Perú durante las próximas décadas, por la importancia que las masas de hielo tienen como reserva hídrica para la costa del Pacífico, donde se concentra la mayor parte de la población del país. Por esa causa Perú se considera un país vulnerable a los efectos del cambio climático (IPCC, 2013).

La deglaciación de los Andes Centrales está relacionada con el calentamiento del Hemisferio Norte, que debilita el desplazamiento estacional de la ZCIT y reduce las precipitaciones sobre la cordillera. No obstante, la deglaciación no sucede simultáneamente, porque depende de diversos factores. A escala regional, de la altitud de cada montaña y su localización con respecto al área fuente de las precipitaciones, y a escala local, de la diferente insolación e innivación que reciben las masas de hielo en función de su orientación. Hacia el norte la insolación es mayor que hacia el sur y las laderas orientadas hacia la Amazonía reciben más precipitación que la vertiente del Pacífico, aunque el viento puede

redistribuir la nieve depositándola a sotavento de los relieves de las montañas.

Desde un punto de vista científico, el proyecto se justifica por el interés que tienen los glaciares tropicales como indicadores del cambio climático, en escalas de décadas a decenas de miles de años. Además se alinea con el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021, porque proporcionará instrumentos de análisis para contribuir al conocimiento de un problema que tiene gran interés para el desarrollo sostenible de Perú: la diferente respuesta de los glaciares al cambio climático, en función de los factores antes señalados, requiere comprender como sucederá la deglaciación en las próximas décadas

#### Problema identificado

La comunidad científica internacional (Vuille et al., 2008; IPCC, 2013), ha señalado que una de las consecuencias que tendrá el cambio climático durante el siglo XXI será la considerable reducción de las reservas de agua almacenadas en los glaciares de los Andes de Perú. Las estrategias de adaptación que las autoridades políticas deberán emprender durante las próximas décadas, implicarán largos periodos de planificación y ejecución, con costes socioeconómicos y medioambientales muy elevados. Por esas razones es necesario generar información, actualmente inexistente, para comprender el ritmo y la distribución territorial del proceso de deglaciación. Dicha información será esencial para priorizar la aplicación de las medidas de adaptación, dependiendo de cuándo sea afectado cada territorio. Este proyecto proporcionará criterios científicos para decidir dónde y cómo intervenir, en función de las tendencias pasadas observadas en los glaciares y su extrapolación a las próximas décadas.

#### Hipotesis (Supuesto)

El parámetro que mejor expresa la relación de los glaciares con el clima es la ELA (m), que varía con el tiempo en función de la temperatura y la precipitación. La ELA es una línea teórica que separa dos partes de un glaciar:

- Zona de acumulación, donde predominan procesos que producen ganancia de masa (inivación, redistribución eólica de la nieve o avalanchas).
- Zona de ablación: donde predominan fenómenos que causan pérdida de masa (fusión y sublimación).

Por definición, la elevación de la ELA encima de un glaciar provocará la desaparición de la zona de acumulación: el resto de la masa de hielo será zona de ablación y desaparecerá en el tiempo que el clima necesite para fundirla. Elaborar pronósticos de la elevación de la ELA equivale a prever el futuro de los glaciares, pero es necesario comprender el pasado y el presente de la relación glaciares-clima.

Úbeda (2011) diferenció dos tipos de ELA:

- ELA geomorfológica (ELAg): deducida de la altitud y forma de los glaciares.
- ELA climática (ELAc): indicada por las variables implicadas en el balance de masa.

En ese marco teórico, la ELAc sería una altitud potencial a la que tiende la ELAg, buscando el equilibrio de los glaciares con el clima. Basándose en la diferenciación ELAgELAc, propuso un modelo de la respuesta de los glaciares a los cambios del clima, en tres escenarios posibles:

a) Clima favorable a la expansión glaciar (ELAg>ELAc): avances glaciares por enfriamiento y/o mayor humedad.

- La ELAc responde inmediatamente al cambio climático, descendiendo por las vertientes hasta una altitud determinada por la temperatura y la precipitación.

- La respuesta de la ELAg es más lenta, porque requiere suficiente tiempo para que la nieve se transforme en hielo y el glaciar avance y alcance el nivel de la ELAc.

b) Glaciares en equilibrio con el clima (ELAg=ELAc): durante la culminación de la expansión, la ELAg y la ELAc se nivelan y el glaciar alcanza un estado de equilibrio con el clima, que se mantendrá mientras perduren las condiciones climáticas que lo propiciaron.

c) Clima favorable a la deglaciación (ELAg<ELAc): retroceso de los glaciares por calentamiento y/o incremento de la aridez.

- La ELAc asciende hasta una altitud determinada por la temperatura y la precipitación.

- La ELAg también tiende a elevarse, pero más lentamente, porque el clima necesita tiempo para fundir la masa de hielo.

Asumiendo el modelo descrito, el proyecto ensayará tres hipótesis:

1. El desnivel ELAg-ELAc indica el estado de equilibrio o desequilibrio de los glaciares con el clima actual.

2. El desnivel ELAg-paleoELAg indica el enfriamiento del clima cuando los paleoglaciares avanzaron.

3. El forzamiento del modelo actual de la ELAc permite:

- Estimar la paleoprecipitación durante la expansión de los paleoglaciares, aplicando el enfriamiento y buscando la precipitación que generó el equilibrio paleoELAg=paleoELAc.

- Elaborar pronósticos sobre la evolución futura de los glaciares.

#### Objetivos específicos

1. Caracterizar el clima actual, a escala regional, con datos de observatorios del SENAMHI, y a escala local, con registros de estaciones instaladas por el proyecto.

2. Realizar un diagnóstico de los glaciares actuales: superficies, ELAg y ELAc, y estado de equilibrio o desequilibrio con el clima.
3. Reconstruir los paleoglaciares y su registro paleoclimático: cronologías de fases de expansión y deglaciación, superficies, paleoELAg y paleoELAc, y enfriamiento y humedad del clima durante la culminación de los avances de las masas de hielo. Comparar los resultados con proxies paleoclimáticos, a escala regional y global.
4. Desarrollar modelos de la evolución de los glaciares en las próximas décadas, teniendo en cuenta las previsiones del IPCC sobre el calentamiento global, en los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero.
5. Elaborar simulaciones climáticas pasadas, presentes y futuras, para contrastarlas con los resultados obtenidos para alcanzar los objetivos específicos 1-4

Metodología de investigación / Plan experimental

NOTA: el sistema no admite algunos símbolos matemáticos y altera las fórmulas. Las potencias no aparecen como superíndices y las letras griegas han sido sustituidas por letras convencionales.

#### ÁREAS DE ESTUDIO:

Se han seleccionado las montañas que conservan glaciares actuales en los Andes Centrales occidentales, para analizar las variaciones debidas a la tendencia de la aridez a incrementarse hacia el sur:

1. Cordillera Blanca (al norte de la división de los Andes Centrales en dos cordilleras y la aparición de altiplano): Hualcán y cuenca glaciar de la laguna Parón.
2. Andes Centrales occidentales: Cordillera Central y Coropuna.

#### PROCEDIMIENTO EN CADA ÁREA DE ESTUDIO:

1. Caracterización del clima regional

Elaboración de diagramas bioclimáticos con datos del SENAMHI, adaptando la propuesta de Rivas Martínez (1987) para definir, además de las estaciones húmeda y seca, los periodos de acumulación y ablación glaciar.

2. Mapas geomorfológicos

Cartografía de glaciares actuales, morrenas depositadas por su expansión en el pasado y paleoglaciares durante dichos avances (deducidos de las morrenas y otras evidencias geomorfológicas).

3. Dataciones absolutas

Muestreo de superficies de bloques morrénicos y lechos rocosos pulidos, para datar las fases de avance y retroceso de los paleoglaciares (edades de exposición cloro-36 y berilio-10). El recuento de isótopos se realizará en un acelerador de partículas. Los resultados serán tratados en una hoja de cálculo (Schimmelpfennig, 2009) para estimar las edades de exposición que datarán las fases de avance o retroceso de los paleoglaciares.

4. Monitoreo del clima local y la temperatura del suelo

Instalación de sensores en diferentes altitudes y orientaciones de las montañas, para medir las temperaturas del aire y el suelo y la precipitación.

5. Modelos de la ELAg y la paleoELAg

Reconstrucción de la ELAg y la paleoELAg de glaciares y paleoglaciares por el método Area x Altitude Balance Ratio o AABR (Osmaston 2005), que ofrece mejores resultados (Benn et al. (2005):

5.1. Medición de la superficie de los glaciares y sus bandas altitudinales (curvas  $e=50$  m). En los paleoglaciares se reconstruirá la paleotopografía representando los valles llenos de hielo, como estarían cuando culminaron los avances. El resto del procedimiento es el mismo para la ELAg y la paleoELAg.

5.2. Reconstrucción de la ELAg por el método Area x Atitude o AA (Kurowski, 1891) resolviendo la ecuación propuesta por Sissons (1980):

$$ELAg = E(Z \cdot S) / ES \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

ELAg-ELA (m).  $E(Z \cdot S)$ -sumatorio de la altitud media de cada intervalo de altitud (m). ES-sumatorio de la superficie de cada intervalo de altitud del glaciar ( $m^2$ ).

5.3. Cálculo de la ELAg AABR: ponderando la ELAg Area x Atitude con diferentes valores de Balance Ratio (BR), que expresa la relación entre los gradientes de acumulación y ablación a lo largo del perfil longitudinal del glaciar.

5.4. Tabulación de las ELAg AABR en series vinculadas con los valores de BR usados en su estimación.

5.5. Cálculo de promedios y desviaciones típicas de cada serie.

5.6. Selección del promedio vinculado con la desviación típica menor, el valor más probable de la ELA o la paleoELA (Osmaston, 2005).

6. Modelo del enfriamiento del clima durante la expansión glaciar ( $^{\circ}C$ )

Resolviendo la ecuación propuesta por Úbeda (2011):

$$T = GTVa \cdot ELAg \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

T-enfriamiento del clima en la culminación del avance glaciar ( $^{\circ}C$ ). GTVa-gradiente térmico vertical del aire ( $^{\circ}C/m$ ). ELAg-desnivel ELAg-paleoELAg (m).

El valor GTVa se deducirá mediante la ecuación:

$GTVa=T/Z$  (Ecuación 3)

Donde:

$GTVa$ -gradiente térmico vertical del aire ( $^{\circ}C/m$ ).  $T$ -diferencia entre los promedios de las temperaturas del aire instalados en las estaciones más alta y más baja del mismo valle glaciar ( $^{\circ}C$ ).  $Z$ -desnivel entre dichas estaciones (m).

#### 7. Modelo actual de la ELAc

Elaboración de un modelo del perfil vertical del balance de masa de los glaciares actuales (mm) e identificación de la altitud donde se equilibra el balance de masa ( $b=0$  mm). Se usará la hoja de cálculo programada por Úbeda (2011) para resolver dos ecuaciones modificadas de Kaser et al. (2002); Klein et al. (1999) y Oerlemans et al., (1989), a lo largo del perfil longitudinal del valle glaciar:

$b=a-c$  (Ecuación 4)

$a=[Qr+(Tm/Lm) \cdot Cm(Ta-Ts)]$  (Ecuación 5)

Donde:

$b$ -balance de masa (mm).  $a$ -ablación (mm).  $c$ -acumulación (mm).  $Qr$ -energía disponible para la fusión en forma de radiación neta ( $MJ/m^2/día$ ).  $Tm$ -duración del periodo de ablación (días).  $Lm$ -calor latente de fusión ( $3,34 \cdot 10^5 J/kg$ ).  $Cm$ -coeficiente de masa transferida por calor sensible ( $1.5 MJ/m^2/día$ ).  $Ta$ -temperatura del aire.  $Ts$ -temperatura del suelo.  $10^5$  es 10 elevado a 5.

Los parámetros implicados en las ecuaciones 3 y 4 serán estimados del siguiente modo:

##### 7.1. Temperaturas del aire y el suelo ( $Ta$ y $Ts$ )

Extrapolando a las demás altitudes los promedios anuales de  $Ta$  y  $Ts$  en las estaciones instaladas en cada área de estudio. Se emplearán gradientes térmicos verticales del aire y el suelo ( $GTVa$  y  $GTVs$ ) calculados con la ecuación 3.

##### 7.2. Acumulación ( $c$ )

Asumiendo la equivalencia acumulación-precipitación, se emplearán los registros totales anuales de los pluviómetros de cada área de estudio, extrapolando los datos a las demás altitudes con un GPV deducido con la ecuación:

$GPV=P/Z$  (Ecuación 6)

Donde:

$GPV$ -gradiente de precipitación vertical (mm/m).  $P$ -diferencia en la precipitación total anual en las estaciones más alta y más baja del mismo valle glaciar (mm).  $Z$ -desnivel entre dichas estaciones (m).

##### 7.3. Energía disponible para la fusión en forma de radiación neta ( $Qr$ ) y duración del periodo de ablación ( $Tm$ )

Siguiendo los criterios de Klein et al (1999) se asumirá que en la altitud de la isoterma  $0^{\circ}C$  de  $Ta$ , la energía disponible para la fusión es nula ( $Qr=0 MJ/m^2/día$ ) y no existe la ablación ( $Tm=0$  días). Para estimar su valor en las demás altitudes se aplicará el  $GTVa$  (para  $Qr$ ) y el gradiente de ablación vertical  $GAV=0,4$  días/m, en ambos casos con signo positivo por debajo y negativo por encima del nivel de congelación (altitud de la isoterma  $0^{\circ}C$  de  $Ta$ ). La utilización del gradiente  $GAV=0,4$  días/m en el Coropuna (Úbeda, 2011) indicó  $Tm=180$  días en la estación localizada a menor altitud (4886 m). Es un resultado coherente con el régimen tropical del balance de masa, en el que la ablación sucede todo el año, pero sólo durante las 12 horas de insolación diurna.

##### 7.4. Calor latente de fusión ( $Lm$ ) y Coeficiente de masa transferida por calor sensible ( $Cm$ )

Se asumirá que  $Lm$  y  $Cm$  no varían y permanecen constantes en todas las altitudes (Klein et al (1999):

-  $Lm$  expresa el calor latente liberado durante la fusión del hielo y tiene un valor convencionalmente aceptado:  $3,34 \times 10^5 J/kg$ .

-  $Cm$  representa los efectos de la conducción del calor y el intercambio turbulento en la capa límite de la atmósfera en contacto con la superficie del glaciar (Kaser et al, 2002). El proyecto empleará el valor  $Cm=1,5 MJ/m^2/día$ , deducido por Kaser et al. (2002) de observaciones 1966-1967 en el glaciar Hintereisferner (Alpes). El valor  $Cm=1,5 MJ/m^2/día$  indicó la mejor correspondencia entre las estimaciones del balance de masa basadas en datos climáticos y las que se dedujeron de mediciones glaciológicas, y se ha considerado válido para glaciares tropicales (Kaser et al., 2002).

La resolución de las ecuaciones 4 y 5 proporciona un modelo del perfil vertical del balance de masa de los glaciares actuales. La ELAc se identificará en el modelo buscando la altitud donde  $b=0$  mm.

#### 7. Modelo de paleoELAc

El modelo actual de la ELAc servirá para reconstruir la paleoELAc:

7.1. En el nivel (m) de la estación más baja se aplicará el enfriamiento ( $^{\circ}C$ ) indicado por la ecuación 2.

7.2. Los valores  $QR$  y  $Tm$  se adecuarán al nuevo nivel de congelación.

7.3. Se identificará el valor de acumulación que genere el estado de equilibrio  $paleoELAg=paleoELAc$  definido en la hipótesis de la investigación.

#### 8. Modelo del impacto del calentamiento global en ELAc

El modelo actual de ELAc se empleará para analizar la evolución futura de la misma variable.

8.1. En el nivel (m) de la estación más baja se ensayarán los valores del calentamiento global ( $^{\circ}C$ ) deducidos por el IPCC para cada escenario de emisión de gases de efecto invernadero.

8.2. Los valores  $QR$  y  $Tm$  se adaptarán al nuevo nivel de congelación.

- 8.3. La ELAc futura se detectará identificando la altitud donde se equilibre el balance de masa ( $b=0$  m).
- 8.4. Los diferentes valores obtenidos para la ELAc futura (uno por escenario) se integrarán en los mapas de los glaciares actuales.
- 8.5. Se comprobará qué escenarios elevarían la ELAc futura sobre la altitud máxima de cada glaciar, provocando la desaparición de la zona de acumulación y el resto de la masa de hielo. Para estimar cuando podría suceder, se emplearán las proyecciones temporales de los escenarios del IPCC.
9. Comparación de los resultados
- 9.1. Presente:  
ELAg y ELAc: con la ELA obtenida mediante monitoreo de glaciares (ELAm) por la ANA, Entidad Colaboradora del proyecto.
- 9.2. Pasado:  
Enfriamiento y humedad del clima en el pasado (deducidos de los paleoglaciares): con observaciones instrumentales (IPCC) y proxies paleoclimáticos. Las dataciones cosmogénicas permitirán realizar las correlaciones cronológicas.
- 9.3. Futuro:  
Previsiones de la evolución futura de la ELAc: con modelos de predicción del calentamiento global, a escala regional y global.
- 9.4. Simulaciones por computadora:  
Los resultados obtenidos también se contrastarán con simulaciones climáticas REMO (Kotlarski et al., 2010), presentes, pasadas y futuras, que el Círculo desarrollará a través de otro proyecto.
10. Duración del proyecto:  
Obtener resultados durante su vigencia requiere descargar datos de los instrumentos cada 12 meses. Por ese motivo y para evitar trabajos de campo en la estación de las lluvias, el periodo de ejecución será 04/2016-04/2019 (36 meses).

#### Resultados esperados

### 1. RESULTADOS CIENTÍFICOS

#### 1.1. Diagnóstico de los glaciares actuales

Incluyendo para cada fecha, en función de las fotografías aéreas o imágenes de satélite analizadas:

- Superficies ( $\text{km}^2$ ).
- ELAs (m) deducidas de la geomorfología (ELAg) o el clima (ELAc).
- Tendencias de superficies ( $\text{km}^2/\text{año}$ ) y ELAs ( $\text{m}/\text{año}$ ) en escalas de décadas.
- Estado de equilibrio o desequilibrio de los glaciares con el clima actual, basado en el desnivel ELAc-ELAg (hipótesis 1).

#### 1.2. Análisis del registro glacial del cambio climático, en escalas desde un siglo hasta decenas de miles de años

Incluyendo para cada fase de avance de los paleoglaciares y el proceso de deglaciación:

- Dataciones cosmogénicas (edades de exposición de cloro-36 o berilio-10).
- Superficies ( $\text{km}^2$ ).
- PaleoELAs (m) deducidas de datos geomorfológicos (paleoELAg) o climáticos (paleoELAc).
- Tendencias de superficies ( $\text{km}^2/\text{ka}$ ) y paleoELAs ( $\text{m}/\text{ka}$ ) en escalas de siglos a decenas de miles de años ( $1 \text{ ka}=1000$  años).
- Evaluación del enfriamiento (hipótesis 2) y humedad (hipótesis 3a) del paleoclima, durante el estado de equilibrio paleoELAg=paleoELAc (escenario b definido en el marco teórico).
- Modelos integrando los resultados obtenidos por el proyecto con datos instrumentales (IPCC) y proxies paleoclimáticos a escala regional y global. Se incluirán las fases de enfriamiento o calentamiento de ambos hemisferios terrestres, y sus efectos en el mayor o menor desplazamiento hacia el sur de la ZCIT y la humedad del clima en los Andes de Perú.

#### 1.3. Pronósticos sobre la evolución de los glaciares durante las próximas décadas

Basados en las tendencias observadas en superficies y ELAg y en el forzamiento del modelo actual de la ELAc con las previsiones del calentamiento global del IPCC, para cada escenario de emisión de gases de efecto invernadero (hipótesis 3b).

#### 1.4. Simulaciones por súper-computación del clima y los glaciares a escala nacional, para el presente, el pasado y el futuro

- Simulación para el presente, con un forzamiento por re-análisis y otro por el modelo global ECHAM6-MPIOM.
- Simulaciones para el futuro (en tres escenarios).
- Simulación para el pasado (desde 1850).

### 2. INDICADORES DE RESULTADOS (apartado 1.4. de las bases del concurso)

- Se ha previsto publicar al menos 14 artículos en revistas científicas indexadas, 12 sobre las áreas de estudio, 1 de síntesis y 1 de las simulaciones.
- Se presentarán, como mínimo, 12 ponencias en congresos nacionales e internacionales, 6 en el Congreso Peruano de Geología y 6 en la European Geosciences Union General Assembly (ambos en 2018).

- Se espera que se realicen 14 tesis, 5 de pregrado y 9 de postgrado.
- Participan 13 tesistas y una gestora de CTI menores de 35 años. Recibirán capacitación internacional, aplicarán técnicas novedosas y participarán en la publicación final de los resultados.

### 3. SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

Finalizo el proyecto (2018) se mantendrá la red de estaciones. El interés de las series aumentará con el tiempo

Impacto de los resultados (Institucionales, Económicos y Ambientales)

#### 1. IMPACTO CIENTÍFICO

La evaluación del estado actual de equilibrio o desequilibrio de los glaciares con el clima, y el análisis de dicha relación en el pasado, servirán para comprender la evolución de los glaciares durante las próximas décadas. Los tres aspectos (presente, pasado y futuro) tienen gran interés científico para entender el cambio climático a escala regional y global. La hipótesis de la investigación, y la metodología para ensayarla, son uno de los resultados de proyectos internacionales que se han desarrollado en los Andes de Perú desde 2004. Los resultados del proyecto se compararán con el módulo glaciares de las simulaciones climáticas REMO (pasadas, presentes y futuras), generadas por otro proyecto del Círculo de Investigación y contribución de América del Sur al proyecto internacional CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment), una iniciativa internacional para reducir la escala de modelos climáticos globales. Para hacer posible dicha contribución, las simulaciones se realizarán en el dominio definido por CORDEX para la región de América del Sur, con la frontera oeste desplazada hasta 120°W, de manera que la región Niño1+2 quede en el interior del dominio. Con esta extensión las simulaciones tendrán 25 km de resolución.

#### 2. COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

En el proyecto participan 7 instituciones peruanas y 3 entidades españolas, además de la oficina de la UNESCO en Lima. La alianza podría consolidarse mediante su transformación en círculos de investigación, o formar un centro de excelencia dedicado a la investigación de los glaciares y el cambio climático. El proyecto es una oportunidad para la transferencia de conocimiento y fortalecimiento de capacidades que permitan a investigadores peruanos liderar las investigaciones y ampliar las áreas de estudio al resto del territorio nacional.

#### 3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO

Los resultados del proyecto contribuirán a priorizar la planificación y ejecución de las estrategias de adaptación al cambio climático, que Perú deberá emprender durante el siglo XXI (ver apartado Justificación).

#### Referencias Bibliográficas

- Bard, E., 2003. North-Atlantic Sea Surface Temperature Reconstruction. Data Contribution Series #2003-026. NOAA Paleoclimatology Program, EEUU.
- Benn, D.I., Owen, L.A., Osmaston, H.A., Seltzer, G.O., Porter, S.C., Mark, B.G., 2005. Reconstruction of equilibrium-line altitudes for tropical and sub-tropical glaciers. *Quaternary International* 138-139 (2005), 8-21.
- Blard, P.-H., Sylvestre, F., Tripathi, A.K., Claude, C., Causse, C., Coudraing, A., Condom, T., Seidel, J.-L., Vimeux, F., Moreau, C., Dumoulin, J.-P., Lavé, J., 2011. Lake highstands on the Altiplano (Tropical Andes) contemporaneous with Heinrich 1 and the Younger Dryas: new insights from 14C, U-Th dating and 18O of carbonates. *Quaternary Science Research* 30, 3973-3989.
- Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J.F., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S. W., Mc Cabe, A.M., 2009. The Last Glacial Maximum. *Science* 325, 710-714.
- Fritz, S.C., Baker, P.A., Seltzer, G.O., Ballantyne, A., Tapia, P., Cheng, H., Edwards, R.L., 2007. Lake Titicaca 370 KYr LT01-2B Sediment Database. Data Contribution Series #92-008. NOAA Paleoclimatology Program, EEUU.
- Hastenrath, S.L., 1985. *Climate and Circulation of the Tropics*. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland.
- Hasternath, S., Ames, A., 1995. Recession of Yanamaery glacier in Cordillera Blanca, Perú during the 20th century. *Journal of Glaciology* 41 (137), 191-196.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kaiser, J., Lamy, F., Ninnemann, U., Hebbeln, D., Arz, H.W., Stoner, J., 2005. Southeast Pacific High Resolution Alkenone SST Reconstruction. Data Contribution Series #2005-073. NOAA Paleoclimatology Program, EEUU.
- Kaser, G., Osmaston, H., 2002. *Tropical Glaciers*. Cambridge University Press, Cambridge (Reino Unido.).
- Kelly, M.A., Lowell, T.V., Applegate, P.J., Smith, C.A., Phillips, F.M., Hudson, M.A., 2012. Late glacial fluctuations of Quelccaya Ice Cap, southeastern Peru. *Geology* 40 (11), 991-994.
- Klein, A.G., Seltzer, G.O., Isacks, B.L., 1999. Modern and Last Local Glacial Maximum snowlines in the Central Andes of Peru, Bolivia, and Northern Chile. *Quaternary Research Reviews* 18, 3-84.
- Kotlarski, S., Jacob, D., Podzun, R., Paul, F., 2010. Representing glaciers in a regional climate model.



Climate Dynamics 34, 27–46.

Kurowski, L., 1891. Die Höhe der Schneegrenze. Geogr. Abh. 5 I (124), 119-160.

Oerlemans, J., Hoogendoorn, N.C., 1989. Mass-balance gradients and climatic change. Journal of Glaciology 35, 399-404.

Osmaston, H., 2005. Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation. Quaternary International 22–31, 138–139.

Rivas Martínez, S., 1987. Bioclimatología, Memoria del Mapa de series de vegetación de España. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, p. 268.

Sachs, J.P., Sachse, D., Smittenberg, R.H., Zhang, Z., Battisti, D.S., Golubic, S., 2009. Southward movement of the Pacific intertropical convergence zone AD 1400–1850. Nature Geoscience 554, 1-7.

Schimmelpfennig, I., 2009. Cosmogenic <sup>36</sup>Cl in Ca and K rich minerals: analytical developments, production rate calibrations and cross calibration with <sup>3</sup>He and <sup>21</sup>Ne. Tesis Doctoral. Université Paul Cezanne Aix-Marseille III - CEREGE, p. 342.

Sissons, J.B., 1980. The Loch Lomond advance in the Lake District, northern England. Transactions Royal Society Edinburgh. Earth Sciences. 71, 13-27.

Thompson, L., 1992. Quelccaya Ice Core Database. Data Contribution Series #92-008. NOAA Paleoclimatology Program, EEUU.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E.E., Dansgaard, W., Grootes, P.M., 1986. The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap. Science 234, 361-364.

Úbeda, J., 2011. El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevado Coropuna (cordillera occidental de los Andes, Sur del Perú). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, p. 558.

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G., Bradley, R.S., 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews 89, 79–96.

Zech, R., Smith, J., Kaplan, M.R., 2009. Chronologies of the Last Glacial Maximum and its Termination in the Andes (~10-55°S) based on Surface Exposure Dating, en: Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (Eds.), Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions, Developments in Paleoenvironmental Research. Springer, pp. 61-87.

Aporte FONDECYT (S/.)

817,234.00

Contrapartida de las entidades (S/.)

511,140.00

### Título del Proyecto de Investigación

Círculo de Investigación sobre Criosfera y Cambio Climático en los Andes Centrales (CRYOPERU)

Tipo de Proyecto

Basica

Localización

null / null / null

Duración del proyecto

Fecha de inicio	05/2016	Fecha final	05/2019	Duración en	36
-----------------	---------	-------------	---------	-------------	----

Palabras clave

Cambio climático, glaciares, regionalización, escenarios, simulación

Resumen del proyecto

El proyecto de investigación pretende evaluar el impacto del cambio climático en la evolución de los glaciares de Perú, desarrollando un modelo climático regional de alta resolución. En las simulaciones se prestará especial atención al clima de la vertiente del Pacífico de los Andes, por tratarse de una región de extrema aridez, donde los glaciares son una reserva hídrica fundamental para la población y sus actividades económicas (por ese motivo se considera vulnerable a los efectos del cambio climático). El proyecto utilizará el modelo climático regional REMO, que incorpora un módulo específico para glaciares. Los resultados esperados tendrán un evidente impacto socio-económico por contribuir a comprender la evolución futura de los recursos hídricos. Además, se generarán datos útiles para evaluar el impacto de la temperatura del aire y la precipitación en la biodiversidad, las actividades agrícolas y las energías renovables.

Antecedentes

Los glaciares tropicales son especialmente sensibles al cambio climático y en la vertiente del Pacífico de los Andes Centrales constituyen la principal reserva hídrica para la mayor parte de la población de Perú, que se concentra en las ciudades de la costa. El calentamiento global observado desde la revolución industrial (0,85°C en 1880-2012), al que contribuye la emisión de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013), ha tenido como consecuencia una acusada tendencia a la reducción de esas masas de hielo. Algunas previsiones sugieren que la tendencia se mantendrá durante las próximas décadas e implicará la desaparición de muchos glaciares y una considerable reducción de los recursos hídricos (Vuille et al., 2008).

A pesar del amplio número de publicaciones que han abordado ese problema, todavía existen muchas incertidumbres, porque los trabajos sobre los Andes Centrales occidentales han sido demasiado escasos. Debido a las dificultades que implica la complicada orografía regional, los registros climáticos son reducidos y el monitoreo de los recursos hídricos y los microclimas es muy limitado. Hasta ahora apenas había registros climáticos de alta montaña y la mayoría de los observatorios existentes están en el fondo de los valles. Por eso, los valores de la precipitación en esta región tienen una probabilidad elevada de estar subestimados, debido a la tendencia de la precipitación a aumentar con la altitud y la realización de los cálculos empleando registros de estaciones demasiado bajas (Winiger et al., 2005; Immerzeel et al., 2012; Palazzi et al., 2013; Maussion et al., 2013). Por esos motivos, la tarea de generar una base de datos en malla regular correcta a partir de los registros disponibles se enfrenta con grandes dificultades. Además, aunque en la actualidad también existen estimaciones deducidas de observaciones de satélites, la determinación de la contribución de la nieve presenta aún numerosas dificultades (Rasmussen et al., 2012).

Otra vía de investigación consiste en deducir variables climáticas mediante reanálisis globales. Para generar dichos reanálisis se usan modelos que representan el estado de la atmósfera, a los que se les aplican sofisticados métodos para incorporar datos que mantienen las variables modeladas dentro de una proximidad aceptable con respecto a las observaciones que asimilan. Estos modelos producen valores de precipitación físicamente consistentes (tanto en estado líquido como en forma de nieve), constituyendo por esa causa una alternativa válida a los datos instrumentales. Sin embargo, la resolución de los modelos globales es todavía demasiado pequeña. El proyecto internacional CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment; <http://cordex.org/>) pretende solventar ese problema, pero todavía no se han realizado simulaciones para Suramérica con la resolución que pretende el presente proyecto. Ese incremento de resolución será una de las contribuciones más importantes de nuestra propuesta.

#### Justificación

La franja costera de Perú y el norte de Chile es una de las regiones más áridas de la Tierra, con precipitaciones anuales <10 mm. La causa puede explicarse desde diferentes perspectivas estrechamente vinculadas entre sí:

- Desde un punto de vista geográfico, el origen de esa extrema aridez es el enfriamiento de la base de la troposfera generado por la transferencia de agua fría procedente del océano antártico.
- Desde el punto de vista de la física de la atmósfera, la causa es que el Pacífico suroccidental es una región donde los fenómenos de subsidencia inhiben la formación de las nubes que producen la precipitación.

En cualquier caso, como consecuencia de los fenómenos indicados, la red fluvial que drena la vertiente occidental de los Andes Centrales es la principal fuente de aprovisionamiento de agua dulce para varios millones de personas, que habitan en los núcleos de población que se encuentran en la rampa que enlaza topográficamente la cordillera y la costa del Pacífico. Por ese motivo, el retroceso de los glaciares como consecuencia del calentamiento global será uno de los principales riesgos que afectarán a Perú durante las próximas décadas y el país ha sido considerado un territorio vulnerable a los efectos del cambio climático (IPCC, 2013).

La investigación de la respuesta de los glaciares a la variabilidad climática y sus consecuencias en el balance hidrológico es uno de los principales retos que deberán afrontarse para formular las políticas de adaptación a los drásticos cambios que sucederán durante las próximas décadas. El desarrollo de simulaciones numéricas para modelar la evolución del clima es una de las alternativas tecnológicas que pueden contribuir a obtener la información necesaria para afrontar esos desafíos. Sin embargo, hasta ahora no se han ensayado modelos climáticos regionales de alta resolución para evaluar los efectos que tendrá el cambio climático en el balance de masa de los glaciares de los Andes de Perú. En ese sentido conviene señalar que la aplicación directa de modelos globales y regionales para afrontar el problema está limitada, porque la mayoría de simulaciones globales y regionales utilizan modelizaciones demasiado simples de los glaciares: son estáticas y no representan adecuadamente la interacción de esas masas de hielo con el resto de componentes del sistema climático.

El presente proyecto se justifica por el interés que tiene solventar las carencias mencionadas. Además se alinea con el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021, porque proporcionará instrumentos de análisis para contribuir al conocimiento de un problema que afecta al desarrollo sostenible de Perú: la dependencia de la

población y sus actividades económicas de las reservas de agua sólida que se conservan en la cordillera de los Andes requiere comprender como sucederá la deglaciación durante las próximas décadas.

#### Problema identificado

Las publicaciones científicas (Vuille et al. (2008); IPCC (2013) coinciden en señalar que a lo largo del siglo XXI el cambio climático provocará una drástica disminución de las reservas de agua congelada de la cordillera de los Andes. Los tomadores de decisiones deberán planificar políticas de adaptación que pueden requerir años de planificación y enormes presupuestos, y será necesario priorizar las áreas de intervención, en función del ritmo y la distribución territorial del proceso de deglaciación. Para afrontar esas cuestiones es preciso analizar la evolución reciente del clima regional, comprender como es el sistema climático actual y ensayar su posible evolución durante las próximas décadas. Dichos ensayos deben realizarse en los diferentes escenarios que pueden deducirse de la combinación de un complejo conjunto de factores naturales y antrópicos. Las simulaciones numéricas que propone el presente proyecto proporcionarán un instrumento adecuado para abordar ese problema.

#### Hipotesis (Supuesto)

El Círculo de Investigación desarrollará otro proyecto denominado "Análisis de las altitudes de la línea de equilibrio (ELA) presentes y pasadas, para evaluar el impacto del cambio climático y la evolución durante las próximas décadas de los glaciares de la vertiente del Pacífico de los Andes de Perú". Dicho proyecto se basa en las hipótesis de Úbeda (2011), explicadas en su correspondiente memoria, y necesita datos climáticos en los diferentes escenarios posibles del cambio climático. Sin embargo, la resolución de los modelos globales disponibles es demasiado pequeña. A través del presente proyecto, el Círculo de Investigación desarrollará modelos regionales REMO de alta resolución, que proporcionarán los datos necesarios para evaluar el impacto del cambio climático en la evolución futura de los glaciares. Los datos output de esos modelos climáticos regionales pueden ser usados offline (p.e. con el modelo de Úbeda, 2011), para estimar la influencia de las variaciones climáticas pasadas, presentes y futuras en el balance de masas de los glaciares (p.e., Mölg and Kaser, 2011; Wiltshire, 2014; Kapnick et al., 2014). El modelo climático regional REMO ha sido utilizado por otros proyectos para simular el clima presente y futuro en muchas regiones del globo. También se han realizado simulaciones para la región de América del Sur definida por el proyecto CORDEX. Sin embargo su resolución es considerablemente menor que la que pretende alcanzar el presente proyecto y la configuración de los modelos diferente. Por ejemplo, nosotros aplicaremos un modelo hidrológico acoplado al modelo atmosférico. No obstante, los resultados obtenidos por los ensayos previamente realizados demuestran que los modelos REMO son adecuados para la realización de las simulaciones climáticas que proporcionen los datos que requerirá el proyecto sobre ELAs glaciares. Además se empleará otra metodología, complementaria a la descrita anteriormente, en la que se utilizarán modelos climáticos que incluyen un módulo interactivo de parametrización de glaciares. Con ese módulo es posible generar información físicamente consistente del balance de masa de los glaciares, en regiones de las que se tienen datos escasos, como la cordillera de los Andes. Actualmente existen pocos modelos que incluyan una representación interactiva de los glaciares (p.e. Kotlarski et al., 2010; Collier et al., 2013). El módulo para glaciares REMO de Kotlarski et al. (2010) ha demostrado su utilidad en el estudio de glaciares de los Alpes Europeos (para el que fue desarrollado). También se ha aplicado con buenos resultados en el Himalaya, para simulaciones de tiempo presente (Kumar et al, 2015) y se planea utilizarlo para simulaciones de cambio climático. El presente proyecto también ensayará módulo para glaciares REMO para analizar los glaciares de los Andes de Perú.

#### Objetivos específicos

Al término del presente proyecto se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

1. Desarrollar una herramienta para elaborar simulaciones climáticas, calibrando el modelo REMO para la región Suramérica definida por el proyecto CORDEX, con la frontera oeste desplazada a 120°W para incluir la región Niño 1+2 .
2. Aplicar la herramienta desarrollada para realizar las siguientes simulaciones REMO:
  - 2.1. Clima del pasado cercano (1850-1960), sin módulo para glaciares.
  - 2.2. Clima presente:
    - 2.2.a) Sin módulo para glaciares para estudios de sensibilidad climática.
    - 2.2.b) Con módulo para glaciares para estudios de sensibilidad climática.
  - 2.3. Clima futuro, obteniendo datos climáticos útiles para estudios del impacto del cambio climático en los glaciares, los recursos hídricos, la biósfera y las energías renovables.
3. Integrar los resultados obtenidos con el módulo para glaciares en los ensayos realizados por el otro proyecto del Círculo de Investigación (ELAs glaciares).

#### Metodología de investigación / Plan experimental

##### 1. INTRODUCCIÓN

Las herramientas básicas para realizar proyecciones climáticas son los modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera, también conocidos por el acrónimo de su denominación en inglés

(AOGCM). Dichos modelos se desarrollan en un número reducido de centros internacionales de investigación climática. Estos modelos proporcionan, a grandes rasgos, las características de las proyecciones climáticas. Sin embargo, las proyecciones tienen una resolución espacial demasiado pequeña, que las hace poco útiles para su uso en aplicaciones que necesitan representar con mayor detalle el clima de una región. Un ejemplo claro de ese problema (en el que la resolución espacial es importante) son los modelos del impacto del cambio climático en los glaciares, como los que desarrollará el presente proyecto. En estos casos es necesario aplicar técnicas de regionalización a las proyecciones generadas por los modelos globales AOGCM, para aumentar su resolución espacial. En la regionalización dinámica, un modelo climático regional es ejecutado utilizando como condiciones de contorno laterales y de superficie en el océano (la temperatura de la superficie del mar) variables provenientes del modelo global cuya resolución se desea incrementar (bajar la escala o “downscaling”, en inglés).

En nuestro caso, la regionalización dinámica de las salidas del modelo global AOGCM ECHAM6-MPIOM se realizará empleando el modelo regional REMO (REgional MOdel). ECHAM6-MPIOM (Giorgetta et al, 2013) es el modelo AOGCM que utiliza el Instituto Max Planck de Meteorología (Hamburgo-Alemania) para elaborar simulaciones del cambio climático y estudios del clima global de la Tierra. En particular, ha sido utilizado para realizar las simulaciones con las que dicho instituto ha contribuido al proyecto CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) y al quinto informe del IPCC.

## 2. EL MODELO CLIMÁTICO REGIONAL REMO

Es un modelo climático de área limitada, en el que la ecuación de Navier-Stocks se resuelve numéricamente utilizando la aproximación hidrostática de (Jacob, 2009), en una malla tridimensional con las coordenadas horizontales rotadas. En su configuración estándar, cada celda de la malla está compuesta de fracciones que representan el suelo, la superficie cubierta por el agua y el hielo marino. De esa manera se consigue tener en cuenta la variabilidad relacionada con los tres tipos de superficie en una escala menor a la malla del modelo (<http://www.remo-rcm.de/>). Con dicha configuración REMO, como en otros modelos climáticos globales y regionales, los glaciares y la capa de hielo se representan con una máscara estática, que permanece constante en el tiempo.

REMO ha demostrado ser capaz de reproducir de forma bastante fiable los patrones climáticos regionales y ha sido aplicado en un gran número de estudios de cambio climático realizados distintas regiones del globo (p.e. Dominguez et al, 2013; Jimenez Guerrero et al, 2013; Jacob et al, 2013). En su configuración original REMO consta de la componente atmosférica, que está acoplada a un módulo interactivo de la superficie del suelo. Sin embargo, la tendencia actual en los modelos climáticos es añadir otros subsistemas del sistema climático. En el caso de REMO, se ha acoplado a un modelo oceánico tridimensional, se ha añadido un módulo interactivo de vegetación y se ha incluido un módulo hidrológico y otro módulo para glaciares. Debido su importancia para el presente proyecto, a continuación describiremos con mayor detalle el módulo REMO para glaciares.

## 3. MÓDULO REMO PARA GLACIARES

Kotlarski et al. (2010) desarrollaron una representación parametrizada de los glaciares que interacciona con las componentes atmosférica y superficie del suelo. El módulo representa los glaciares en una escala menor que la escala de la malla y calcula la energía y el balance de la masa en la fracción de la celda cubierta por el glaciar. Esta fracción puede aumentar o disminuir dinámicamente dependiendo del balance de masa simulado. Todos los glaciares que se encuentran en la misma celda de la malla se combinan en un simple cuboide de hielo que tiene dos capas, área (A) y altura (h), que cubren una fracción del área total de la celda. El balance de masa se verifica para todo el cuboide, una simplificación asumible porque los glaciares contiguos normalmente muestran una respuesta similar al mismo forzamiento climático (Cogley & Adams, 1998). El glaciar puede cubrirse de nieve aunque no se tiene en cuenta una posible realimentación entre la elevación de la superficie y el balance de masa.

El balance de energía para la fracción de una celda cubierta por glaciares, en función del paso del tiempo, se calcula resolviendo la fórmula:

$$QN + QH + QL + QG + QM = dQ_{\text{snow}}$$

Donde:

QN-Radiación neta, onda corta y onda larga (W/m<sup>2</sup>). QH-Flujo turbulento de calor sensible (W/m<sup>2</sup>). QL-Flujo turbulento de calor latente (W/m<sup>2</sup>). QG-Flujo del calor del suelo (W/m<sup>2</sup>). QM-Energía consumida por la fusión de la nieve o el hielo (W/m<sup>2</sup>). dQ<sub>snow</sub>/hielo-Cambio del contenido de calor en la capa superior de la nieve o el hielo (W/m<sup>2</sup>).

## 4. SIMULACIONES PROPUESTAS POR EL PRESENTE PROYECTO

El presente proyecto desarrollará una configuración REMO para reproducir de manera óptima el clima actual de Suramérica, y en particular el clima de los Andes de Perú. Con esa finalidad se realizarán simulaciones de sensibilidad con el modelo en condiciones de contorno “ideales”. Esas condiciones se incorporarán desde el Reanálisis ERA-Interim (Dee et al, 2011). Una vez obtenida la configuración

óptima, se llevarán a cabo dos simulaciones REMO, una empleando el módulo para glaciares y otra sin utilizar dicho módulo.

Con dichas simulaciones se realizarán dos operaciones: por una parte se forzará el modelo de la ELA obtenido por el otro proyecto del Círculo de Investigación (ELA glaciares) y por otra, se analizará el impacto en las masas de hielo del clima simulado, utilizando el módulo para glaciares. La misma configuración se utilizará para realizar simulaciones pasadas, presentes y futuras con el modelo REMO forzado por del modelo global ECHAM6-MPIOM.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

### 5.1. Configuración óptima de REMO

Se seleccionará el dominio adecuado y REMO será calibrado empleando datos instrumentales (registrados por estaciones meteorológicas). De ese modo se generará una herramienta de análisis que servirá como entorno operativo para realizar los siguientes experimentos:

### 5.2. Simulaciones para el presente:

5.2.1. Simulación para el presente con condiciones de contorno generadas por el reanálisis ERA-INTERIM (periodo 1980-2014), con resolución de 25 km sin módulo para glaciares.

5.2.2. Validación de la simulación con datos de CRU (Climate Research Unit), un concepto acuñado por la Universidad de East Anglia (Reino Unido), una de las principales instituciones relacionadas con el estudio del cambio climático. Los resultados de la simulación también se validarán con registros de la red de observatorios convencionales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y las estaciones instaladas por el Círculo de Investigación (en adelante denominados datos instrumentales de referencia).

5.2.3. Simulación para el presente con condiciones de contorno generadas por simulaciones para el presente, con el modelo ECHAM6-MPIOM (periodo 1960-2005), sin emplear el módulo para glaciares.

5.2.4. Validación de la simulación con datos de CRU y datos instrumentales de referencia.

5.2.5. Simulación para el presente con condiciones de contorno generadas por el reanálisis ERA-INTERIM (periodo 1980-2014), empleando el módulo para glaciares.

5.2.6. Validación de la simulación con datos de CRU y datos instrumentales de referencia.

5.2.7. Simulación para el presente, en condiciones de contorno generadas por el modelo ECHAM6-MPIOM (periodo 1960-2005), utilizando el módulo para glaciares.

5.2.8. Comparación de las simulaciones forzadas por ERA-INTERIM y ECHAM6-MPIOM, sin módulo para glaciares y con módulo para glaciares.

### 5.3. Simulaciones para el pasado cercano:

5.3.1. Simulación para el pasado cercano en condiciones de contorno generadas por simulaciones en tiempo presente con el modelo ECHAM6-MPIOM (periodo 1850-1960), sin aplicar el módulo para glaciares

### 5.4. Simulaciones para el futuro:

5.4.1. Simulación para el futuro con condiciones de contorno tomadas del modelo ECHAM6-MPIOM, según el escenario RPC 2.6 (periodo 2005-2050), empleando el módulo para glaciares.

5.4.2. Simulación para el futuro con condiciones de contorno generadas por el modelo ECHAM6-MPIOM según el escenario RPC 4.5 (periodo 2005-2050), utilizando el módulo para glaciares.

5.4.3. Simulación para el futuro con condiciones de contorno del modelo ECHAM6-MPIOM según el escenario RPC 8.5 (periodo 2005-2050), aplicando el módulo para glaciares.

5.4.4. Modelamiento sobre el estado de equilibrio o desequilibrio de los glaciares con el clima actual.

5.4.5. Modelamientos con el modelo de la ELA (proyecto ELAs glaciares) utilizando la salida de las simulaciones REMO sin el módulo para glaciares.

5.4.6. Modelamiento glaciares-clima para el presente.

5.4.7. Modelamiento glaciares-clima para el futuro.

### Resultados esperados

1. Configuración óptima del modelo climático REMO para la simulación del clima en la región para la región América del Sur, con la frontera oeste desplazada hasta 120°W para incluir la región Niño1+2 en el interior del dominio.

2. Simulaciones para el pasado, el presente y el futuro utilizando el modelo REMO. Validación de los resultados obtenidos con datos instrumentales de referencia:

2.1. Simulaciones para el pasado con REMO forzado por el modelo ECHAM6-MPIOM, sin emplear el módulo para glaciares.

2.2. Simulaciones para el presente:

2.2.1. Con REMO forzado por el modelo ERA-Interim, sin aplicar el módulo para glaciares.

2.2.2. Con REMO forzado por el modelo ECHAM6-MPIOM, sin utilizar el módulo para glaciares.

2.2.3. Con REMO forzado por el modelo ERA-Interim, empleando el módulo para glaciares.

2.2.4. Con REMO forzado por el modelo ECHAM6-MPIOM, aplicando el módulo para glaciares.

2.3. Simulaciones para el futuro con REMO, sin emplear el módulo para glaciares forzado por el modelo ECHAM6-MPIOM, en diferentes escenarios del CMIP5.

## Impacto de los resultados (Institucionales, Económicos y Ambientales)

Los resultados de las simulaciones climáticas REMO aportarán beneficios desde muchos puntos de vista:

### 1. IMPACTO CIENTÍFICO:

- 1.1. Contribuirán a estudiar los mecanismos y la evolución del clima en Suramérica, y en particular en Perú, territorio objetivo del proyecto.
- 1.2. Permitirán mejorar la comprensión de la evolución de los glaciares, en el presente, el pasado y durante las próximas décadas.
- 1.3. Proporcionarán datos físicamente consistentes para las áreas de estudio donde se carezca de observaciones, para investigar la evolución de los glaciares o para cualquier otra iniciativa que requiera información climática.
- 1.4. Las simulaciones para el futuro permitirán evaluar el impacto del cambio climático en los glaciares, en diferentes escenarios.

### 2. IMPACTO INSTITUCIONAL

Las simulaciones realizadas con el modelo estándar constituirán las primeras iniciativas de este tipo desarrolladas por instituciones peruanas, que realizarán la primera contribución de América del Sur al proyecto CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment), una iniciativa internacional para reducir la escala de modelos climáticos globales. Por otra parte, el proyecto contribuirá a la creación y el reforzamiento de las relaciones de cooperación entre las instituciones que inicialmente integrarán el Círculo, promoviendo la incorporación a la alianza científica de otras entidades.

### 3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL

Los resultados de las simulaciones REMO quedarán a disposición de las instituciones responsables de diseñar las estrategias de adaptación al cambio climático, proporcionando instrumentos de análisis e información útil para prevenir los efectos de ese proceso en los ecosistemas, los recursos hídricos, las actividades agrícolas y el aprovechamiento de las energías renovables.

## Referencias Bibliográficas

- Cogley, J. G., and W. P. Adams (1998). Mass balance of glaciers other than the ice sheets, *J. Glaciol.*, 44 (147). 315–325.
- Collier, E., T. Mölg, F. Maussion, D. Scherer, C. Mayer, and A. G. B. Bush (2013). High-resolution interactive modelling of the mountain glacier-atmosphere interface: An application over the Karakoram, *Cryosphere*, 7(3). 779–795, doi:10.5194/tc-7-779-2013.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137: 553–597. doi: 10.1002/qj.828
- Dominguez, M., R. Romera, E. Sanchez, L. Fita, J. Fernandez, P. Jimenez-Guerrero, J.P. Montalvo, W.D. Cabos, G. Liguori, M.A. Gaertner. Precipitation and temperature extremes under present climate over Spain from a set of high resolution RCMs. *Climate Research*. 2013
- Giorgetta, M. A., Jungclaus, J. H., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hollweg, H.-D., Ilyina, T., Kinne, S., Kornblueh, L., Matei, D., Mauritsen, T., Mikolajewicz, U., Mueller, W. A., Notz, D., Pithan, F., Raddatz, T., Rast, S., Redler, R., Roeckner, E., Schmidt, H., Schnur, R., Segschneider, J., Six, K., Stockhause, M., Timmreck, C., Wegner, J., Widmann, H., Wieners, K.-H., Claussen, M., Marotzke, J., & Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the coupled model intercomparison project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 572-597. doi: 10.1002/jame.20038
- Immerzeel, W. W., F. Pellicciotti, and A. B. Shrestha (2012). Glaciers as a proxy to quantify the spatial distribution of precipitation in the Hunza basin, *Mt. Res. Dev.*, 32(1). 30–38, doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00097.1.
- Jacob, D. (2009). *Regional Climate Models: Linking Global Climate Change to Local Impacts*; The Springer Encyclopedia of Complexity and Systems Science, pp. 7591–7602, Springer, Berlin, New York, doi:10.1007/978-0-387-30440-3\_449.
- Jacob, D.; Elizalde, A.; Haensler, A.; Hagemann, S.; Kumar, P.; Podzun, R.; Rechid, D.; Remedio, A.R.; Saeed, F.; Sieck, K.; Teichmann, C.; Wilhelm, C. Assessing the Transferability of the Regional Climate Model REMO to Different COordinated Regional Climate Downscaling EXperiment (CORDEX) Regions. *Atmosphere* 2012, 3, 181-199.
- Jiménez-Guerrero, P. J. P. Montávez, M. Domínguez, R. Romera, L. Fita, J., Fernández, W. D. Cabos, G. Liguori, M. A. Gaertner. Description of mean and interannual variability in an ensemble of RCM evaluation simulations

Kotlarski, S., D. Jacob, R. Podzun, and F. Paul (2010). Representing glaciers in a regional climate model, *Clim. Dyn.*, 34,27–46, doi:10.1007/s00382-009-0685-6.

Kumar, P., S. Kotlarski, C. Moseley, K. Sieck, H. Frey, M. Stoffel, and D. Jacob (2015). Response of Karakoram-Himalayan glaciers to climate variability and climatic change: A regional climate model assessment. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 1818–1825. doi: 10.1002/2015GL063392..

Majewski, D. (1991). The Europa-Modell of the Deutscher Wetterdienst, in *ECMWF Seminar on Numerical Methods in Atmospheric Models*, vol. 2, pp. 147–191, Reading, U.K. [ <http://www.pa.op.dlr.de/cleocd/dwdmod/s.htm>.]

Maussion, F., D. Scherer, T. Mölg, E. Collier, J. Curio, and R. Finkelburg (2013). Precipitation seasonality and variability over the Tibetan Plateau as resolved by the High Asia Reanalysis, *J. Clim.*, 27, 1910–1927. [Available at <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-D-13-00282.1>.

Palazzi, E., J. von Hardenberg, and A. Provenzale (2013). Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: Observations and future scenarios, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118,85–100, doi:10.1029/2012JD018697

Winiger, W., M. Gumpert, and H. Yamout (2005). Hydrological processes, *Hydrol. Process.*, 19, 2329–2338, doi:10.1002/hyp.5887.

Aporte FONDECYT (S/.)

334,680.00

Contrapartida de las entidades (S/.)

.00

### Título del Proyecto de Investigación

Círculo de Investigación sobre Criosfera y Cambio Climático en los Andes Centrales (CRYOPERU)

Tipo de Proyecto

Basica

Localización

AREQUIPA / null / null

Duración del proyecto

Fecha de inicio	05/2016	Fecha final	05/2019	Duración en	36
-----------------	---------	-------------	---------	-------------	----

Palabras clave

Permafrost tropical, Coropuna, Chachani, cambio climático

Resumen del proyecto

Se instalarán estaciones para el monitoreo permanente del permafrost encontrado en trabajos anteriores por los integrantes del Círculo de Investigación en los volcanes Coropuna y Chachani (región Arequipa). Esas capas de suelo congelado tienen gran interés científico, porque es el único permafrost actualmente conocido en la zona tropical de la Tierra, está tan sólo unas décimas de grado por debajo del umbral de congelación (0°C) y constituye por esa razón un excelente geoindicador del cambio climático. El proyecto pretende caracterizar el estado actual de las capas de suelo congelado para integrar al Círculo de Investigación en el sistema internacional de monitoreo de la temperatura del permafrost. De ese modo se definirán dos áreas-laboratorio que permitirán establecer las bases científicas y tecnológicas para formular futuros proyectos de investigación básica, ampliar las áreas de estudio a otras montañas de los Andes de Perú y elaborar una cartografía nacional del permafrost.

Antecedentes

El permafrost es cualquier roca, sedimento u otro material de la superficie terrestre (con excepción del hielo glaciar), cuya temperatura se mantiene por debajo del umbral de congelación (0°C) durante dos o más años (Yoshikawa, 2013). Esa definición general incluye amplios rangos de temperatura y espesor, desde el permafrost del Ártico, mucho más frío y grueso (hasta -10 ° C y más de 500 m de espesor), hasta el permafrost de las montañas de las regiones subárticas y tropicales (más caliente que -1°C y varios metros o menos de espesor).

El régimen de temperatura del permafrost es un geoindicador sensible de la variabilidad climática, en escalas desde décadas a siglos, así como de los cambios a largo plazo en el balance de energía de la superficie terrestre. El permafrost es un geoindicador porque la gama de variaciones interanuales de la temperatura (“noise” o “ruido”) disminuye significativamente con la profundidad de las capas de suelo congelado, mientras las variaciones en escalas de decenas de años o más largas (“signal” o “señal”) penetran a mayor profundidad y experimentan menor atenuación. Como resultado de ambos hechos, el

ratio señal/ruido se incrementa rápidamente a lo largo de la sección vertical y el suelo funciona como un filtro de la señal climática, convirtiendo los perfiles de temperatura vs profundidad en un instrumento útil para el estudio de los cambios pasados en la temperatura de la superficie del suelo. Lachenbruch y Marshall (1986) desarrollaron métodos de análisis para la interpretación de los perfiles de temperatura del permafrost para evaluar el cambio climático. En Alaska sus resultados mostraron un calentamiento general del permafrost de 2° a 4°C durante el último siglo.

Las oscilaciones en las temperaturas medidas en pozos (boreholes) excavados en el suelo pueden estar relacionadas con el cambio climático. El régimen térmico a poca profundidad de la corteza del planeta es un balance entre la temperatura de la superficie (que depende de la temperatura del aire) y el calor geotérmico (que fluye desde las partes más profundas de la Tierra). En una corteza homogénea idealizada, si la temperatura de la superficie es constante, la distribución de la temperatura del suelo es una función lineal de la profundidad. Sin embargo, si la temperatura de la superficie cambia con el tiempo, la temperatura del suelo se desvía de la distribución lineal, que se rige por el flujo de calor ( $q$ ) y la conductividad térmica ( $k$ ). Por ese motivo el estudio de la curvatura de los perfiles de temperatura vs profundidad proporciona información sobre la evolución de la temperatura en el pasado. En Yoshikawa (2013) puede encontrarse más información sobre los procedimientos de investigación del permafrost y la comparación de perfiles de temperatura vs profundidad en muchos lugares alrededor del mundo, incluyendo los volcanes Coropuna y Chachani (región Arequipa), donde los trabajos fueron realizados por los integrantes del Círculo de Investigación.

#### Justificación

Las regiones con permafrost ocupan aproximadamente una cuarta parte de la superficie terrestre. El permafrost juega un papel principal en el sistema hidrológico, debido a que es una capa impermeable y su presencia o ausencia puede modificar considerablemente el funcionamiento de los acuíferos. En los últimos años, la mayor parte de las investigaciones sobre el estado térmico del permafrost se realizaron en el Ártico y en la Antártida. Sin embargo se ha prestado menos atención a la presencia de permafrost en los Trópicos (entre 23.5°N y 23.5°S), donde como consecuencia del incremento de calor que caracteriza a las bajas latitudes, las capas de suelo congelado sólo aparecen en áreas de alta montaña por encima de 5000-5500 de altitud.

La presencia de permafrost en las regiones de alta montaña tropical es uno de los fenómenos naturales más sensibles al calentamiento global. En las regiones áridas de Trópicos la escasez de las precipitaciones impide la presencia de glaciares, que en otras regiones más húmedas constituyen una capa que funciona como aislante térmico y protege el permafrost. Por esa razón, en las montañas tropicales áridas que carecen de glaciares, el permafrost es inestable y la temperatura del suelo puede ser de tan sólo -1°C o incluso estar algunas unas décimas de grado por debajo del umbral de descongelación.

Por otra parte, la distribución del permafrost está fuertemente influenciada por factores locales como las formas del relieve, el tipo de suelo, la altitud o el flujo de calor geotérmico. En el Ártico, la ausencia de una capa orgánica superficial es un factor crítico que controla la degradación o el desarrollo del permafrost, siendo uno de los principales factores que provocan que en algunas regiones la presencia del permafrost sea discontinua. Por el contrario, donde el suelo contiene materia orgánica, esa capa protege el permafrost durante los meses del verano boreal, reduciendo la conductividad térmica. Además, en el invierno boreal, la capa orgánica se congela y conforma una zona de seguridad que también protege el permafrost. Sin embargo, en los Trópicos áridos el suelo carece de materia orgánica y las fluctuaciones estacionales de la temperatura del aire afectan sensiblemente la estabilidad del permafrost. Por esa razón, las observaciones detalladas sobre el permafrost tropical pueden proporcionar información precisa sobre la evolución del cambio climático actual. Como la comprobación esa hipótesis requiere un periodo de observación más amplio que la vigencia de la presente convocatoria, el proyecto pretende consolidar el monitoreo del permafrost en los volcanes Coropuna y Chachani a cargo de instituciones peruanas. De esa manera se crearán dos áreas-laboratorio, que servirán para formar los recursos humanos del Círculo de Investigación y definir la metodología que en futuros proyectos podría extender las investigaciones a otras montañas de los Andes Centrales.

#### Problema identificado

Las investigaciones realizadas desde 2004 por las entidades que ahora proponen el Círculo de Investigación, permitieron descubrir en 2010 permafrost en los volcanes Chachani y Coropuna (región Arequipa), donde la temperatura de esas capas de suelo congelado se encuentra tan sólo unas décimas de grado por debajo del umbral de congelación (0°C). Ese hecho convierte el permafrost en un geoindicador muy sensible al cambio climático. Su monitoreo durante los próximos años proporcionaría datos de gran interés científico para mejorar la comprensión del calentamiento global, además de tener gran importancia para conocer como podría modificar su posible desaparición al sistema hidrológico, del que depende el abastecimiento de agua para una población de más de un millón de habitantes (en la



ciudad de Arequipa y la Cuenca del Majes).

#### Hipotesis (Supuesto)

Muchas incógnitas rodean el régimen actual de la temperatura en las montañas tropicales. Una de los problemas más importantes a resolver, es en qué medida la temperatura del suelo depende del clima o del calor geotérmico. Se trata de una cuestión de gran interés, especialmente en regiones volcánicas activas como las áreas de estudio en las que se desarrollará el presente proyecto, los volcanes Chachani y Coropuna, donde recientemente se ha descubierto la presencia de permafrost (Andrés et al., 2015; Úbeda et al, 2015; Yoshikawa et al. 2014).

El crecimiento de la mayoría de los volcanes, como el Chachani y el Coropuna, está relacionado con la actividad volcánica en el pasado. Puede suponerse que el calor geotérmico proceda del magma, pero no se han realizado registros de la temperatura del suelo a suficiente profundidad para conocer el gradiente térmico vertical. De ese modo se obtendría información útil para conocer la actividad magmática, complementaria a otras observaciones vulcanológicas. El monitoreo térmico del aire y las capas superficiales del suelo (en profundidades 0-5 m), serviría para discriminar la influencia exógena y endógena, y proporcionaría datos climáticos de alta montaña que actualmente son escasos. Teniendo en cuenta las cuestiones señaladas, la investigación ensayaré las siguientes hipótesis:

1. Las mediciones de la temperatura a diferentes profundidades, en el interior de pozos excavados en el suelo, podrían servir para estimar la tasa de flujo del calor geotérmico y detectar cambios en la actividad volcánica. Si esa asunción es correcta, además de ayudar a comprender mejor la presencia o ausencia del permafrost, y los mecanismos que controlan su estabilidad, los perfiles de temperatura del suelo vs profundidad proporcionarían información sobre el riesgo volcánico.
2. La parte superior (cerca de la superficie) de los perfiles de temperatura del permafrost podrían ser útiles para evaluar el cambio climático reciente.
3. El registro de la temperatura actual del permafrost ofrecería importantes datos para archivar y contribuir a futuros estudios del clima.
4. La presencia de permafrost desempeña un papel muy importante en la disponibilidad de los recursos de agua para las comunidades adyacentes, porque funciona como una capa impermeable que permite la escorrentía superficial, Su desaparición podría provocar la disminución de los caudales superficiales causado por un incremento de las pérdidas por infiltración.
5. Las simulaciones climáticas REMO deben proporcionar datos adicionales para comprender las interacciones del permafrost con el clima, como sucede en el caso del módulo REMO para glaciares (ver memoria del proyecto "Simulaciones Climáticas"). La disponibilidad de datos precisos de la temperatura del permafrost podría servir para realizar los ensayos preliminares que justificasen la formulación de un proyecto de investigación básica para desarrollar un módulo REMO para permafrost.

#### Objetivos específicos

1. Instalar estaciones de monitoreo en tiempo real del permafrost encontrado en los volcanes Chachani y Coropuna, para mejorar la comprensión del papel del permafrost tropical como geoindicador del cambio climático global.
2. Evaluar como puede evolucionar el permafrost durante los próximos años y sus posibles repercusiones en el sistema hidrológico local y la población que habita en su cuenca vertiente.
3. Analizar la posible presencia de permafrost en otras áreas de estudio del proyecto "ELAs glaciares", que también se ha incluido en la propuesta del Círculo de Investigación.
4. Obtener una visión de conjunto sobre la presencia o ausencia de permafrost y su relación con el clima actual en los Andes de Perú, estableciendo las bases para el futuro desarrollo de un módulo REMO para permafrost, similar al módulo REMO para glaciares que el Círculo de Investigación empleará en el proyecto "Simulaciones Climáticas REMO".

#### Metodología de investigación / Plan experimental

##### 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto "Permafrost Andes" pretende definir dos áreas-laboratorio para establecer estaciones de monitoreo permanente que permitan acumular datos durante años, como vía para caracterizar el permafrost y sus relaciones con el clima y crear las condiciones propicias para formular

futuros proyectos de investigación con mayor ámbito de actuación. Por ese motivo la metodología del proyecto “Permafrost Andes” es relativamente sencilla, en comparación con los otros proyectos que va a ejecutar el Círculo de Investigación (“ELAs glaciares y Simulaciones Climáticas REMO”).

Los procedimientos se describen en los siguientes apartados:

## 2. CAMPAÑAS DE TRABAJO DE CAMPO:

- Durante las campañas de campo que realizará otro proyecto del Círculo de investigación (“ELAs glaciares”), el proyecto “Permafrost Andes” realizará perforaciones de pozos con 5 m de profundidad en las áreas de los volcanes Chachani y Coropuna donde los trabajos previos permitieron detectar la presencia de permafrost (Andrés de Pablo et al (2011c); Andrés de Pablo et al (2011a); Andrés de Pablo et al (2011b); Andrés de Pablo et al (2011c); Andrés de Pablo et al (2013); Andrés de Pablo et al (2014); Palacios et al (2009), Úbeda et al (2015).

- En el interior de los pozos perforados se instalarán sensores data logger para medir la temperatura del suelo a 0, 1, 2, 3, 4 y 5 m de profundidad, así como un sistema de telemetría vía satélite que transmitirá los datos en tiempo real.

- También se realizarán prospecciones geofísicas para conocer la distribución espacial del permafrost (3D) y realizar un seguimiento de su variabilidad interanual, como continuación de las campañas realizadas en el pasado Úbeda et al (2015).

- Además se recogerán muestras del permafrost y cursos de agua próximos, para determinar si existe vinculación isotópica entre las capas de suelo congelado y el sistema hidrológico que abastece a la población que habita en su cuenca vertiente.

## 3. TRABAJO DE LABORATORIO

3.1. Los registros realizados por los sensores data logger serán tratados para obtener los siguientes resultados:

- Series de datos para conocer los regímenes mensuales y anuales de la temperatura del suelo.
- Perfiles de temperatura del suelo vs profundidad para ensayar las hipótesis de la investigación.
- Establecimiento de las tendencias de la evolución del permafrost en escalas de años a décadas.

3.2. Por otra parte se realizarán los análisis isotópicos que permitan elaborar un modelo hidrológico para conocer en que medida el permafrost funciona como fuente del agua que abastece a las poblaciones próximas.

## 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados del proyecto “Permafrost Andes” se contrastarán con los datos generados por el proyecto “ELAs glaciares”: las cronologías del proceso de deglaciación permitirán conocer cuando desaparecieron los glaciares que recubrían las áreas con presencia actual de permafrost. Debido a que los glaciares funcionan como un aislante térmico que protege el permafrost de las fuentes de calor exógenas esa cuestión tiene gran interés para determinar cuando pudo comenzar el proceso de degradación que actualmente afecta a las capas de suelo congelado.

## 5. ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA METODOLÓGICA

Los procedimientos empleados y los resultados obtenidos serán evaluados con el fin de diseñar la metodología y la estrategia de investigación que permitan formular futuros proyectos de investigación básica para ampliar los estudios sobre permafrost al resto de los Andes de Perú.

### Resultados esperados

1. Estaciones gestionadas por instituciones peruanas para la observación permanente del permafrost descubierto en los volcanes Chachani y Coropuna, más allá de la finalización del periodo de vigencia de la presente propuesta.

2. Caracterización de la localización, estado actual y régimen estacional e interanual del permafrost

3. Previsiones sobre la evolución del permafrost durante las próximas décadas y su relación con el cambio climático y el calor geotérmico.

4. Obtención de un modelo hidrológico que permita conocer el papel que actualmente desempeña el

permafrost, en relación con dos aspectos que tienen gran interés socioeconómico: almacén que abastece los recursos hídricos y capa impermeable que evita las pérdidas por infiltración.

5. Evaluación de las consecuencias que tendría la desaparición del permafrost en el modelo hidrológico actual, una cuestión que tiene gran interés para implementar las medidas de adaptación que se consideren necesarias.

Impacto de los resultados (Institucionales, Económicos y Ambientales)

Actualmente se está implementando un sistema internacional para monitorear la temperatura del permafrost alrededor del mundo, con el fin de contribuir a las investigaciones sobre el cambio climático. Los datos obtenidos por esos esfuerzos serán difundidos a la comunidad científica a través del GTN-P y otros centros, incluyendo en Estados Unidos el Frozen Ground Data Center (FGDC) del National Snow and Ice Data Center (NSIDC). Esa información servirá para hacer un seguimiento directo del cambio climático sobre el terreno, así como para verificar las salidas de los modelos climáticos globales (GCM). En ese sentido es necesario señalar que el Círculo de Investigación CRYOPERU representa la oportunidad para contrastar, a escala regional, la información generada por el proyecto "Permafrost Andes" con los datos obtenidos por los otros proyectos que se han incorporado a la propuesta ("ELAs glaciares" y "Simulaciones Climáticas REMO"). Este esfuerzo coordinado proporcionará información crucial, no sólo para los científicos que estudian diversos aspectos de la criosfera, sino también para los tomadores de decisiones y el público en general. La Red Internacional de Observatorios de Permafrost (INPO) funcionará como un "sistema de alerta temprana", para avisar de las consecuencias negativas que puede tener el cambio climático en las montañas con presencia de permafrost, y apoyar y facilitar planificación, el desarrollo y la implementación de medidas de adaptación que permitan reducir esos impactos. El proyecto "Permafrost Andes" permitirá integrar a las instituciones peruanas en la red internacional INPO y capacitar a sus recursos humanos en las técnicas y procedimientos de investigación del permafrost. De ese modo se solventaría una necesidad básica, que se deduce de la absoluta falta de formación sobre esas cuestiones que actualmente afecta a las instituciones peruanas que se ocupan del cambio climático y los recursos hídricos, a pesar de tratarse de las entidades que deberían abordar las investigaciones sobre el permafrost.

Referencias Bibliograficas

- Andrés de Pablo, N., Palacios, D., Úbeda, J., Alcalá, J., 2014. Permafrost distribution and geothermal effects on Misti Volcano (Perú), En: Gómez, A., Salvador, F., Oliva, M., Salvá, M. (Eds.), Avances, métodos y técnicas en el estudio del periglaciario. Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 35-45.
- Andrés, N., Palacios, D., Úbeda, J., Alcalá, J., 2013. Distribución de Permafrost y efectos del calor geotérmico en el estratovolcán Misti (Perú), IV Congreso Ibérico de la I.P.A., Núria, Vall de Ribes (España).
- Andrés, N., Palacios, D., Úbeda, J., Alcalá, J., 2011a. Ground thermal conditions at Chachani volcano, Southern Peru. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 93, 151–162.
- Andrés, N., Palacios, D., Úbeda, J., Alcalá, J., 2011b. Relación entre las anomalías geotérmicas y la ausencia de formas glaciares y periglaciares en el volcán el Misti (sur de Perú). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N.º 57, 341-365
- Andrés, N., Palacios, D., Úbeda, J., Alcalá, J., 2011c. Medio periglacial, permafrost y riesgos naturales en un volcán tropical extinto: Nevado Chachani (sur de Perú). *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* XV, n.º . <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-376.htm>>. [ISSN: 1138-9788]. 376.
- Lachenbruch, A.H., Marshall, B.V.M., 1986. Changing Climate: Geothermal Evidence from Permafrost in the Alaskan Arctic. *Science* 7, Vol. 234, no. 4777 pp. 689-696. DOI: 10.1126/science.234.4777.689
- Palacios, D., Andrés, D., Úbeda, J., Alcalá, J., 2009. Permafrost and Periglacial Activity Distribution and Geothermal Anomalies in the Chachani and El Misti Volcanoes (Southern Peru), *Geophysical Research Abstracts*, pp. EGU2009-8014-2002.
- Úbeda, J., Yoshikawa, K., Pari, W., Palacios, D., Masías, P., Apaza, F., Ccallata, B., Miranda, R., Concha, R., Vásquez, P., Cruz, R., 2015. Geophysical surveys on permafrost in Coropuna and Chachani volcanoes (southern Peru). *Geophysical Research Abstracts* 17, EGU2015-12592-12592.
- Yoshikawa, K., Stanilovskaya, J., Palacios, D., Úbeda, J., Masías, P., Apaza, F., Schorghofer, N., Zamorano, J.J., 2014. Tropical mountain permafrost research and update, UCOP4 - 4th European Conference on Permafrost, Évora (Portugal), p. 317.
- Yoshikawa (2013). Permafrost in our time. Community-Based Permafrost Temperature Archive. Editado y compilado por Kenji Yoshikawa. Disponible en el enlace <https://cryoperu.files.wordpress.com/2014/12/yoshikawa-2013-permafrost-in-our-time.pdf>

Aporte FONDECYT (S/.)

163,601.00

Contrapartida de las entidades (S/.)

.00

## DOCUMENTOS SOLICITADOS

## Documentos Adjuntos

Anexo 1a - Presentación de Propuesta

[Anexo 1a Presentación propuesta y Director INGEMMET.pdf](#)

Anexo 1b - Designación Gestion Administrativa

[Anexo 1b Designación equipo gestión administrativa INGEMMET.pdf](#)

Anexo 2b - Compromiso de Asociación

[Anexo2b-compromiso de asociacion CRYOPERU.pdf](#)

Anexo 3 - Compromiso Entidad Colaboradora

[Anexo 3 Compromiso de colaboración CRYOPERU.pdf](#)

Anexo 4a - Presentación Equipo de Investigación

[Anexo 4a Presentación equipo de investigación.pdf](#)

Anexo 4b - Presentación de Investigadores (sín vínculo laboral)

[Anexo 4b Presentación investigadores sin relación laboral.pdf](#)

Anexo 5 - Declaración Jurada

[Anexo 5 Declaraciones juradas CRYOPERU.pdf](#)

Anexo 6 - Formato de Curriculum Vitae

[Anexo 6 CV Contadora y Coordinador CRYOPERU.pdf](#)

Propuesta del Circulo - Presupuesto detallado

[Presupuesto detallado Círculo de Investigación CRYOPERU.xls](#)

Información complementaria al proyecto (indicar el título del proyecto por cada complemento, 1 sólo archivo en PDF, máximo 5MB.)

[a. Resolución nombramiento representante legal INGEMMET Res. Suprema 017-2012-EM Ing. Vilca Presidenta.pdf](#)