



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

Análisis de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Recursos Naturales y Medio Ambiente	Recursos Hídricos	1.05.11 Oceanografía, Hidrología, Recursos hídricos

3. Duración del proyecto (meses)

12 meses

4. Tipo de proyecto

Individual	<input checked="" type="radio"/>
Multidisciplinario	<input type="radio"/>
Director de tesis pregrado	<input type="radio"/>

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	Laqui Vilca Wilber Fermín
Escuela Profesional	Ingeniería Agrícola
Celular	990088187
Correo Electrónico	wlaqui@unap.edu.pe

- I. Título (El proyecto de tesis debe llevar un título que exprese en forma sintética su contenido, haciendo referencia en lo posible, al resultado final que se pretende lograr. Máx. palabras 25)

Análisis de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba

- II. Resumen del Proyecto de Tesis (Debe ser suficientemente informativo, presentando -igual que un trabajo científico- una descripción de los principales puntos que se abordarán, objetivos, metodología y resultados que se esperan)

Los glaciares en muchos países y en Perú son considerados como fuentes importantes de agua para el abastecimiento de las poblaciones, agricultura, industria y conservación de los ecosistemas de alta montaña, por lo que, surge la necesidad de cuantificarlos y monitorearlos, ya que son indicadores directos de los



efectos del cambio climático. En razón a ello, este estudio propone analizar la dinámica de los cambios de la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba (CA) a partir de imágenes satelitales Landsat entre 1986 y 2015, con la finalidad de determinar las tendencias de los cambios de su cobertura. Los resultados del análisis de la evolución temporal del área glaciar permitirán conocer la existencia de tendencias en la pérdida de superficie glaciar.

- III. Palabras claves (Keywords) (Colocadas en orden de importancia. Máx. palabras: cinco)

Retroceso glaciar, cordillera, Apolobamba, Landsat, cambio climático

- IV. Justificación del proyecto (Describa el problema y su relevancia como objeto de investigación. Es importante una clara definición y delimitación del problema que abordará la investigación, ya que temas cuya definición es difusa o amplísima son difíciles de evaluar y desarrollar)

Los glaciares almacenan alrededor del 70% de las reservas de agua dulce y se estiman en 24 millones de km³ (Liu, Kinouchi, & Ledezma, 2013), aproximadamente un quinto de la población mundial depende de estos recursos (Rittger, Painter, & Dozier, 2013), por lo que, son considerado como una fuente importante de incremento de caudales de los cursos de agua y ríos en periodos de estiaje (Wang et al., 2015). Sin embargo, el continuo retroceso de los glaciares a nivel mundial, ha afectado considerablemente la disponibilidad de agua dulce para asegurar el desarrollo sostenible de los ecosistemas, poblaciones, agricultura e industria en regiones que dependen principalmente de agua producto del deshielo de los glaciares (Kaser, Juen, Georges, Gómez, & Tamayo, 2003; Liu et al., 2013; Rittger et al., 2013; Satir, 2016; Vuille, Kaser, & Juen, 2008). Además, cualquier disminución de la escorrentía glaciar a menudo también conduce a pérdidas económicas y consecuencias sociales negativas asociadas a ésta (Petrakov et al., 2016), tales como migraciones y asentamientos de las poblaciones (Takeuchi et al., 2014), principalmente en cuencas donde la contribución de los glaciares a los caudales de estiaje es importante.

Teniendo en consideración que las zonas de montañas han sido reconocidas como los entornos físicos especialmente sensibles donde el cambio climático podría tener repercusiones considerables en el régimen de escurrimiento de los ríos aguas abajo y la disponibilidad de agua (Beniston, 2012), este estudio permitirá mejorar el conocimiento de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar en la Cordillera Apolobamba, para determinar las tendencias de los cambios de la cobertura glaciar y conocer las implicancias de estos cambios en la disponibilidad hídrica.

- V. Antecedentes del proyecto (Incluya el estado actual del conocimiento en el ámbito nacional e internacional. La revisión bibliográfica debe incluir en lo posible artículos científicos actuales, para evidenciar el conocimiento existente y el aporte de la Tesis propuesta. Esto es importante para el futuro artículo que resultará como producto de este trabajo)

En Perú, Silverio & Jaquet, (2005) mediante sensoramiento remoto determinaron que la Cordillera Blanca en un periodo de 9 años (1987-1996) presentó una recesión glaciar de 43 km² equivalente a 6.7% y en 25 años (1970-1996) de 121 km² (15%). En la Cordillera Huaytapallana-Junin, entre 1976 y 2006 se redujo de 35.6 a 14.5 km², esto representó una pérdida del 59.4 % de superficie glaciar (Zubieta & Lagos, 2010), donde la mayoría de cambios está asociado con la separación de glaciares



y afloramientos rocosos, lo que acelerará aún más la desintegración de algunos glaciares en un futuro cercano, además de la formación de lagunas proglaciares (Zubieta & Guillermo, 2012). Asimismo, Suarez et al., (2015) determinaron que el glaciar Quisoquipina localizado en la Cordillera Vilcanota entre 1990 y 2010 el área de cobertura glaciar se redujo de 3.66 a 3.26 km², lo que representa una pérdida de 0.4 km² (10.9%).

VI. Hipótesis del trabajo (Es el aporte proyectado de la investigación en la solución del problema)

La pérdida de cobertura glaciar en la Cordillera Apolobamba en el periodo 1986-2015 muestran la existencia de una significativa tendencia al decrecimiento de la cobertura glaciar.

VII. Objetivo general

Analizar la dinámica de cambio de la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba en el periodo 1986-2015.

VIII. Objetivos específicos

- Estimar las áreas con cobertura glaciar y sin ella a partir de imágenes satelitales Landsat con resolución de 30 m.
- Determinar el volumen de los glaciares de la Cordillera Apolobamba utilizando el método VA Scaling para distintos valores de los parámetros k y γ propuestos en estudios anteriores.

IX. Metodología de investigación (Describir el(los) método(s) científico(s) que se empleará(n) para alcanzar los objetivos específicos, en forma coherente a la hipótesis de la investigación. Sustentar, con base bibliográfica, la pertinencia del(los) método(s) en términos de la representatividad de la muestra y de los resultados que se esperan alcanzar. Incluir los análisis estadísticos a utilizar)

9.1. Estimación del área de cobertura glaciar

La determinación de áreas con cobertura de nieve y hielo de aquellas áreas sin cobertura de nieve y nubosidad se efectuó a través del uso del Índice de Diferencia Normalizada de Nieve (NDSI) (Dozier, 1989), cuya ecuación describe la relación de la segunda banda (TM2, visible) y la quinta banda (TM5, infrarrojo-medio) de Landsat. El NDSI no sólo se utiliza para la detección de áreas con cobertura de nieve, sino también se aplica a estudios de determinación de áreas con cobertura de hielo (Silverio & Jaquet, 2005). Por lo que, el NDSI es el índice más popular para este tipo de estudios.

$$NDSI = \frac{(TM2 - TM5)}{(TM2 + TM5)} \quad (1)$$

9.2. Estimación del volumen glaciar

Para evaluar el volumen glaciar de la CA se utilizó la metodología denominada Cuantificación Volumen – Área (VA Scaling) desarrollada en 1960 como una relación empírica (Bahr, Meier, & Peckham, 1997). Esta metodología ha sido frecuentemente usada para estimaciones de volúmenes de glaciares (Frey et al., 2014; Petrakov et al., 2016). A pesar de sus desventajas esta estimación provee un método simple para estimar la magnitud y orden de los cambios de volumen de una

misma área glaciár. El cálculo del volumen de hielo como función del área se efectuó de acuerdo a la Ec. (2) que muestra la forma general de VA scaling.

$$V=kA^{\gamma} \quad (2)$$

Donde V es el volumen del glaciár, A es el área del glaciár y K y γ son dos parámetros de escala. Bahr et al. (1997) definió que $\gamma = 1.375$ para glaciares de montaña, Además, se utilizarán valores distintos de k y γ descritos en Petrakov et al. (2016).

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

- Bahr, D. B., Meier, M. F., & Peckham, S. D. (1997). The physical basis of glacier volume-area scaling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B9), 20355-20362. <https://doi.org/10.1029/97JB01696>
- Beniston, M. (2012). Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*, 412-413, 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.046>
- Dozier, J. (1989). Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28, 9-22. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90101-6)
- Frey, H., Machguth, H., Huss, M., Huggel, C., Bajracharya, S., Bolch, T., ... Stoffel, M. (2014). Estimating the volume of glaciers in the Himalayan–Karakoram region using different methods. *The Cryosphere*, 8(6), 2313-2333. <https://doi.org/10.5194/tc-8-2313-2014>
- Kaser, G., Juen, I., Georges, C., Gómez, J., & Tamayo, W. (2003). The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Perú. *Journal of Hydrology*, 282(1-4), 130-144. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00259-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00259-2)
- Liu, T., Kinouchi, T., & Ledezma, F. (2013). Characterization of recent glacier decline in the Cordillera Real by LANDSAT, ALOS, and ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 137, 158-172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.06.010>
- Petrakov, D., Shpuntova, A., Aleinikov, A., Kääb, A., Kutuzov, S., Lavrentiev, I., ... Usabaliev, R. (2016). Accelerated glacier shrinkage in the Ak-Shyirak massif, Inner Tien Shan, during 2003–2013. *Science of The Total Environment*, 562, 364-378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.162>
- Rittger, K., Painter, T. H., & Dozier, J. (2013). Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS. *Advances in Water Resources*, 51, 367-380. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.03.002>
- Satir, O. (2016). Comparing the satellite image transformation techniques for detecting and monitoring the continuous snow cover and glacier in Cilo mountain chain Turkey. *Ecological Indicators*, 69, 261-268. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.032>
- Silverio, W., & Jaquet, J.-M. (2005). Glacial cover mapping (1987–1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 95(3), 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.012>
- Suarez, W., Macedo, N., Montoya, N., Arias, S., Schauwecker, S., Huggel, C., ... Condom, T. (2015). Balance energético neto (2012-2014) y evolución temporal del nevado Quisoquipina en la región de Cusco (1990-2010), 4, 80-92.
- Vuille, M., Kaser, G., & Juen, I. (2008). Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale



circulation. *Global and Planetary Change*, 62(1-2), 14-28.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>

Wang, P., Li, Z., Zhou, P., Wang, W., Jin, S., Li, H., ... Wang, L. (2015). Recent changes of two selected glaciers in Hami Prefecture of eastern Xinjiang and their impact on water resources. *Quaternary International*, 358, 146-152.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.028>

Zubieta, R., & Guillermo, P. (2012). Estudio espacio temporal de cobertura glaciar de la cordillera Huaytapallana mediante percepción remota. En *Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro (Vol. I, p. 84)*. Lima: Instituto Geofísico del Perú. Recuperado a partir de <http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2012/maremexvol1.pdf>

Zubieta, R., & Lagos, P. (2010). Cambios de la superficie glaciar en la cordillera Huaytapallana: Periodo 1976 - 2006. En *cambio climático en la cuenca del río Mantaro: Balance de 7 años de estudio en la cuenca del Mantaro (p. 260)*. Lima: Instituto Geofísico del Perú. Recuperado a partir de <http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2010/libroCC.pdf>

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

Conocer la dinámica de la pérdida de cobertura glaciar y su tendencia son de fundamental importancia para planeamiento y manejo de los sistemas de recursos hídricos, siendo de utilidad para la toma de decisiones de entidades relacionadas con la gestión de los recursos hídricos.

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

Mejorar el conocimiento de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba a partir de sensoramiento remoto.

ii. Impactos económicos

La mejora del conocimiento de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar permitirá a las entidades públicas y privadas efectuar una adecuada planificación de su intervención con medidas de adaptación al cambio climático y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que son los causantes de la reducción de superficies glaciares.

iii. Impactos sociales

La mejora del conocimiento de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar permitirá que la población de la cuenca determine las prioridades de acceso a las fuentes de agua y la planificación del uso del agua en la cuenca.

iv. Impactos ambientales

La mejora del conocimiento de la dinámica de cambio de la cobertura glaciar permitirá que las entidades competentes efectúen acciones para la conservación de las fuentes de agua a través de una adecuada planificación del uso y aprovechamiento de los recursos hídricos.



XIII. Recursos necesarios (Infraestructura, equipos y principales tecnologías en uso relacionadas con la temática del proyecto, señale medios y recursos para realizar el proyecto)

Ejecutor
Apoyo de profesionales especialistas en el tema del proyecto de investigación y afines

MATERIALES DE CAMPO:
Sistema de posicionamiento global (GPS)
Cámara digital
Cuaderno de campo
Tablero
Fichas técnicas
Movilidad

MATERIALES DE GABINETE:
Computadora (procesar información)
Impresora y plotter
Hojas bond 75 gr.
Calculadora
Útiles de escritorio

SOFTWARE:
Software Arc GIS 10.5
QGIS
Google Earth PRO
Google Engine
Erdas
R y R Studio
Microsoft Excel 2013 394
Microsoft Word 2013

XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

La Cordillera Apolobamba se localizan en el extremo sur de la Cordillera de los Andes en Perú, en el departamento de Puno, entre las coordenadas 14°25' a 14°44' S y 69°13' a 69°32' W. La Cordillera es la divisoria de aguas entre las Regiones Hidrográficas del Atlántico y del Lago Titicaca.

XV. Cronograma de actividades

Actividad	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Elaboración del proyecto	X											
Presentación del proyecto	X											
Revisión bibliográfica	X	X	X									
Elaboración de instrumentos			X	X	X							
Aplicación de instrumentos				X	X	X	X	X	X			
Evaluación de resultados						X	X	X	X	X	X	X
Elaboración de artículo científico								X	X	X	X	X
Presentación de manuscrito												X
Someter manuscrito a revista indexada												X



XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S./.)	Cantidad	Costo total (S./.)
Papelería en general	Glb	800.00	1	800.00
Datos climáticos	Glb	500.00	1	500.00
Viáticos	Día	100.00	4	400.00
Gastos de transporte (trabajo de campo)	Glb	2,000.00	1	2,000.00
Computadora de alto rendimiento	Und	15,000.00	1	15,000.00
Memoria externa 3TB	Und	900.00	1	900.00
Adquisición de software	Glb	5,000.00	1	5,000.00
Capacitación en tema afín a la investigación	Und	3,000.00	1	3,000.00
TOTAL				27,600.00