

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Variables climáticas y cobertura nival del nevado
Sara Sara, región Ayacucho. Periodo 1985-2020.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO, EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES**

PRESENTADO POR:

Bach. ROCA NAJARRO, Joe Hugo

ASESORES:

Dr. CARRASCO BADAJOZ, Carlos Emilio

Lic. MONCADA SOSA, Wilmer Enrique

AYACUCHO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mi madre y hermanos, motivos de mi superación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y, dentro ella, a la Facultad de Ciencias Biológicas, la Escuela Profesional de Biología, al Área Académica de Ecología y Recursos Naturales y la plana docente, por cobijarme y compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación universitaria.

A la Asociación Pro Fauna Silvestre – Ayacucho y la División de Sistema de Información Geográfica – SIG, por sus precisos alcances para la concreción de la presente tesis.

A mis asesores, Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz y Lic. Wilmer Enrique Moncada Sosa, por la asesoría y el acompañamiento en las diferentes etapas que implicó la investigación.

Por último, mi gratitud a los mis amigos que me apoyaron y motivaron para finalizar el presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	8
2.3. Bases teóricas	9
2.3.1. Variables climáticas	9
2.3.2. Criósfera andina	9
2.3.3. Teledetección	10
2.3.4. Imágenes de satélite Landsat	12
2.3.5. Descripción de productos de imágenes satelitales Landsat 5 y 8	12
2.3.6. Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI)	14
2.3.7. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)	14
2.4. Marco legal	14
III. MATERIALES Y METODOS	17
3.1. Lugar de estudio	17
3.1.1. Ubicación política	17
3.1.2. Ubicación geográfica	17
3.2. Población y muestra	17
3.2.1. Población	17
3.2.2. Muestra	18
3.3. Metodología y recolección de datos	20
3.3.1. Descarga de información	20
3.3.2. Procesamiento de la información descargada	20
3.4. Análisis estadístico	24
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN	31

VI.	CONCLUSIONES	37
VII.	RECOMENDACIONES	39
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
	ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del satélite Landsat 5 TM.	13
Tabla 2. Características del satélite Landsat 8 OLI.	13
Tabla 3. Descripción de las bandas del satélite Landsat 5 Collection 2 level 2.	13
Tabla 4. Descripción de las bandas del satélite Landsat 8 Collection 2 level 2.	14
Tabla 5. Ubicación geográfica del nevado Sara Sara, provincias de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara, departamento de Ayacucho.	17
Tabla 6. Factores de escala, valores de relleno, tipo de datos y rango válido para los productos científicos Landsat Collection 2.	22
Tabla 7. Coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas.	23
Tabla 8. Coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas en formato CSV.	23
Tabla 9. Temperatura superficial del suelo (°C), precipitación acumulada (mm) en el área de influencia y área de cobertura nival (ha) del nevado Sara Sara del mes de junio, departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.	27
Tabla 10. Análisis de correlación de Pearson y Spearman del área de cobertura nival (ha) con temperatura superficial del suelo (°C) y precipitación acumulada (mm) del mes de junio.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del nevado Sara Sara, ubicado entre las provincias de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara, departamento de Ayacucho.	19
Figura 2. Diagrama de la metodología y recolección de datos para la temperatura superficial del suelo, precipitación acumulada y área de cobertura nival.	21
Figura 3. Modelo de interpolación de la precipitación mediante el método Kriging.	24
Figura 4. Diagrama para el análisis del coeficiente de correlación entre dos variables.	24
Figura 5. Tendencia del comportamiento de la temperatura superficial del suelo y precipitación acumulada del área de influencia y área de cobertura nival del nevado Sara Sara del mes de junio, departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.	29

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Portada del servidor USGS (2021).	49
Anexo 2. Ejecución de la función Shapiro.test en el programa Rstudio para determinar la normalidad de temperatura superficial del suelo, precipitación acumulada y área de cobertura nival.	50
Anexo 3. Gráfico de normalidad Q-Q Plot para la temperatura superficial del suelo (TSS).	51
Anexo 4. Gráfico de Normalidad Q-Q Plot para la precipitación acumulada (Ppa).	52
Anexo 5. Gráfico de Normalidad Q-Q Plot para el área de cobertura nival (ACN).	53
Anexo 6. Mapas de distribución espacial de la cobertura nival del nevado Sara Sara del mes de junio, departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.	54
Anexo 7. Mapas de distribución espacial de temperatura superficial del suelo en el área de influencia del nevado Sara Sara, del mes de junio departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.	58
Anexo 8. Modelo de R Script para la obtención de datos, a partir de la información descargada de la plataforma PISCO-SENAMHI.	62
Anexo 9. Datos de área de cobertura nival (ACN) del nevado Sara Sara, obtenidas del mes de junio correspondiente al NDSI > 0,4 (2015).	63
Anexo 10. Datos de temperatura superficial del suelo (TSS) del área de influencia del nevado Sara Sara, obtenidas del mes de junio (2015).	64
Anexo 11. Datos de precipitación acumulada (Ppa) del nevado Sara Sara, obtenidas del mes de junio (2015).	65
Anexo 12. Ejecución de la función Cor.test de Pearson en el Programa Rstudio, para la correlación entre las variables temperatura superficial del suelo y área de cobertura nival.	66
Anexo 13. Ejecución de la función Cor.test de Spearman en el Programa Rstudio, para la correlación entre las variables precipitación acumulada y área de cobertura nival.	67
Anexo 14. Vista panorámica del nevado Sara Sara, departamento Ayacucho (2021).	68

Anexo 15.	Investigador y amigos en el nevado Sara Sara, departamento Ayacucho (2021).	69
Anexo 16.	Matriz de consistencia.	70

RESUMEN

La reducción de los nevados en todo el mundo es un hecho preocupante, y en este sentido, la investigación realizada busca establecer la relación entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura nival del nevado Sara Sara, en el período 1985-2020. El área de estudio se encuentra entre las provincias de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara, al sur del departamento de Ayacucho. Para alcanzar este objetivo, se emplearon imágenes satelitales de Landsat 8 OLI y 5 TM, ambos del nivel 2 de la colección 2 descargados del servidor USGS, para determinar la temperatura superficial del suelo (TSS) y el área de cobertura nival (ACN), asimismo, se descargaron las imágenes ráster para la precipitación acumulada (Ppa) de la plataforma PISCO-Senamhi, posterior a ello, se aplicaron fórmulas de factor de escala, el Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI), la conversión de grados Kelvin a Celsius (para la banda térmica) y el método Kriging. Los resultados muestran una amplia variación en la TSS y Ppa, así como en el área de cobertura nival (ACN). Los datos de TSS presentan valores mínimos de 7,5; 9,3 y 9,2 °C de los años 1990, 2000 y 2013 respectivamente, y valores máximos 14,5; 14,8; 14,5; 14,4 y 14,5 °C de los años 2008, 2010, 2014, 2015 y 2019, datos de la Ppa que van desde 0,1 a 0,4 mm, así como valores altos de 5,3; 5,1 y 6,6 mm de los años 1998, 2013 y 2018, y la de ACN con valor mínimo de 13,4 ha en el año 1992 y valores máximos de 690,4; 638,5 y 698,9 ha en los años 1999, 2001 y 2013 respectivamente. Asimismo, la correlación de Pearson ($\alpha=0,05$) entre la TSS y la ACN fue negativa débil ($r= -0,3324174$) e indicando una falta de relación significativa ($p=0,07809$), en cuanto a la correlación de Spearman ($\alpha=0,05$) entre la Ppa y la ACN fue positiva débil ($r=0,3197044$) y también indicó una falta de relación significativa ($p=0,07809$). Estos resultados muestran que la reducción de la cobertura nival del nevado Sara Sara no puede atribuirse directamente a las variaciones en la temperatura y la precipitación. Sin embargo, estos hallazgos pueden ser útiles para futuras investigaciones y para la toma de decisiones relacionadas con la conservación de los nevados y su impacto en las comunidades y los ecosistemas cercanos.

Palabras Clave: Temperatura superficial del suelo, cobertura nival, precipitación, banda.

I. INTRODUCCIÓN

Los nevados y glaciares constituyen las principales reservas de agua dulce sustanciales de nuestro país y del mundo; además, son estimados como ecosistemas muy frágiles. Por tal razón, se les considera como importantes indicadores del cambio climático, ya que, ante cualquier situación ocasionada por factores diferentes, tienden a cambiar drásticamente. Con tristeza, los nevados del departamento de Ayacucho están pereciendo a causa de diversos factores climáticos y/o antrópicos. Al respecto, la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2019) indicó que el retroceso también se ve influenciado por factores geográficos y topográficos. En palabras de Santos (2016), la existencia de la nieve está vinculada a múltiples dinámicas y procesos en la superficie terrestre. Schauwecker *et al.* (2017), sostuvieron que los aerosoles que se depositan en las superficies glaciares disminuyen el albedo correspondiente, siendo una variable importante de aceleración de la fusión y el derretimiento glaciar. Por último, Ramos Alonso (2018) manifestó que los acontecimientos provocados por los fenómenos de El Niño y La Niña afectan la variabilidad de la precipitación y temperatura; por ende, también influyen indirectamente sobre los nevados.

En este trabajo se analiza la relación entre la temperatura superficial del suelo (en adelante TSS) y la precipitación acumulada (en adelante Ppa) con el área de cobertura nival (en adelante ACN) en el nevado Sara Sara, ubicado al sur del departamento de Ayacucho. La TSS y la Ppa son medidas de rango que representan elementos climáticos que varían de un año a otro. La cobertura nival se refiere a la capa de nieve que cubre la tierra en un momento dado y depende de la cantidad de nieve que cae. El estudio abarca el periodo comprendido entre 1985 y 2020.

En el estudio se empleó información proveniente de la percepción remota, tales como: datos de precipitación en formato ráster, obtenidos del servidor Pisco-

SENASA e imágenes de satélite descargadas del servidor USGS; de estos, se obtuvieron los respectivos datos para TSS, Ppa y ACN, y posteriormente su análisis estadístico. Cabe mencionar, que las herramientas de la percepción remota son muy importantes para este tipo de estudio; por ejemplo, el cambio de área a través de los años para determinar la cobertura nival, temperatura superficial del suelo, radiación, vegetación, humedad, entre otros. En la mayoría de estudios, afines al nuestro, no se cuenta con información adecuada o es muy limitada; prueba de ello, son las estaciones meteorológicas desactualizadas y/o muchas de ellas presentan vacío de información.

Por consiguiente, se analizó la influencia de la TSS y Ppa en relación con la dinámica espacio-tiempo del área de cobertura nival del nevado Sara Sara. El objetivo general buscó determinar la relación entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985-2020; este se desglosó en los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la temperatura superficial del suelo media en el área de influencia del nevado Sara Sara, periodo 1985-2020.
2. Determinar la precipitación acumulada en el área de influencia del nevado Sara Sara, periodo 1985-2020.
3. Estimar el área de la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1990-2020, mediante el uso del NDSI en imágenes Landsat.
4. Relacionar la temperatura superficial del suelo media con el área de la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985-2020.
5. Relacionar la precipitación acumulada con el área de la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985-2020.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En esta parte, presentamos investigaciones relacionadas con el presente estudio: El investigador Sáez Alveal (2018), determinó las variaciones de extensión y volumen de los glaciares Grey, Tyndall y Dickson, periodo 1995-2017, asimismo, si las variaciones se encuentran vinculadas con los efectos del cambio climático. Para ello, se utilizaron métodos automatizados de diferenciación de píxeles, como el índice de nieve de diferencia normalizada y la relación de bandas 3/5, así como combinación de bandas obtenidas a partir de imágenes de satélite Landsat, modelos digitales de elevación ASTER GLOBAL DEM V2, SRTM y WorldDEM, y datos climáticos. Los resultados revelaron que los glaciares estudiados habían retrocedido significativamente durante el período de estudio, y que esto estaba estrictamente relacionado con las variaciones en la temperatura y precipitación. Además, se demostró un aumento constante en las tasas de reducción de la mayoría de los glaciares, y se encontró una relación inversa con la temperatura y directa con la precipitación, siendo significativas con estaciones (DGA del Parque Nacional Torres del Paine – PNTP) cercanas y poco significativas con las lejanas. Useros Fernández (2013) se propuso estudiar las causas del cambio climático y saber la evolución de sus determinantes, que admite plantear —como hace el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio (IPCC)— escenarios posibles y de evolución climática general; esto, según componentes demográficos, tecnológicos y de gasto energético, así como sus efectos a nivel mundial. De manera que, el efecto invernadero ocasiona el incremento de la temperatura global, produciendo aumento en el nivel del mar, reducción de capas de nieve y hielo, pero también cambios de tendencia en la precipitación; en la cual, afectará a los sistemas naturales vinculados con el hielo, sistemas hidrológicos y calidad de las aguas, sistemas biológicos marinos, productividad agrícola y forestal.

En su investigación, Barriga Ávila (2019) se trazó como objetivo analizar el comportamiento de los glaciares centrales de Chile y definir su línea de base climática para proyectar posibles escenarios futuros de las variables climáticas a mediados del siglo XXI. Para lograrlo, se proyectaron escenarios optimistas y pesimistas de las concentraciones de gases de efecto invernadero para el año 2050, considerando las precipitaciones y temperaturas de 15 glaciares de la zona central. Se recopilaron y analizaron datos climáticos actuales utilizando el Modelo Climático Global WorldClim. Los resultados revelaron que los glaciares más expuestos a cambios significativos de temperatura y precipitación se encuentran en la parte sur de la región. Además, se observó que la altitud es un factor determinante en la temperatura y precipitación, y que afecta la línea de nieve, la cual, se desplaza a medida que la temperatura aumenta, provocando mayor precipitación en áreas que antes recibían nieve. Por lo tanto, se concluye que existe una relación importante entre la revisión teórica del marco conceptual y los resultados obtenidos, lo que permite inferir la validez del planteamiento inicial de la investigación.

En el estudio de Carrión y Olivares (2010), se analizó la respuesta del lago Greve y del Campo de Hielo Sur a las variaciones glaciológicas, lacustres y climáticas con el objetivo de determinar un posible vaciamiento del lago. Se examinaron las variaciones de cinco glaciares y se pronosticaron las tendencias climáticas en la región. Para el análisis, se utilizaron registros históricos y se procesaron imágenes satelitales (Landsat MSS, TM, ETM y Terra ASTER) y datos topográficos (IGM, 1975; SRTM, 2000 y CAMS, 2007) para examinar los cambios de elevación en los glaciares. Los resultados revelaron que el glaciar Greve, a 6160 m.s.n.m., retrocedió durante el periodo de 1945 a 2009, y se detectó un adelgazamiento en los glaciares Occidental y Greve, con tasas anuales de -3,40 m a-1 y -4 m a-1, respectivamente, en proporción al periodo de 1975 a 2007. Además, se encontró una disminución y adelgazamiento general de los glaciares, lo que se relacionó con las tendencias climáticas (temperatura y precipitación). Se identificaron cerca de 30 cuerpos de agua cuyas áreas han aumentado desde 1976. En el futuro, se espera un aumento en la temperatura y una disminución en la precipitación, lo que afectará a todo el sector y acentuará el retroceso y adelgazamiento de glaciares, permitiendo el vaciamiento del lago Greve.

Santos (2016) realizó un estudio exhaustivo para analizar la evolución de la cubierta nival y la temperatura de superficie en Sierra Nevada durante un período de 14 años hidrológicos entre 2000 y 2014. La investigación se apoyó en el uso

de imágenes de satélite, donde, se caracterizó la distribución de la nieve a diferentes escalas temporales (anual, estacional y mensual) y su influencia en los cambios de las temperaturas de la superficie terrestre (TST). Para una delimitación precisa de la cubierta nival, se examinaron y compararon diversos métodos propuestos por autores como Hall et al. (1987), Rott (1994) y Dozier (1989), en cuanto al cálculo de la TST, se utilizaron métodos propuestos por Qin *et al.* (2001), Barsi et al. (2005) y Cristóbal et al. (2009a). Los resultados logrados revelaron una elevada variabilidad en el comportamiento nival y el régimen térmico, que se manifestó de manera anual y estacional; debido a la fuerte dependencia de la nieve con respecto a los demás elementos climáticos, en particular la precipitación y la temperatura del aire. Y se verificó una tendencia al incremento de los valores estivales de la TST, lo que sugiere una relación con la disminución de la presencia de nieve en los suelos.

Treimun Ríos y Monsalve Tapia (2015) llevaron a cabo una investigación que utilizó técnicas geomáticas con métodos geoestadísticos, para analizar y caracterizar los cambios en la superficie y la temperatura superficial del Campo de Hielo Patagónico Norte (CHPN) en un enfoque espacio-temporal. Se utilizaron imágenes de satélite Landsat 5 y 8, la cobertura de contenido de vapor de agua en la atmósfera generada por el sensor MODIS-Terra y un modelo digital de elevación del terreno (MDE ASTER) para generar las variables utilizadas en el estudio. Los resultados mostraron una disminución significativa de la superficie del CHPN en un período de 14 años, de 2001 a 2014, en un total de 250 km² debido al retroceso de los glaciares Exploradores, Grosse, San Rafael, San Quintín y Steffen. Además, se encontró un aumento promedio de la temperatura superficial de 8 °C en el mismo período, que se estabilizó en los últimos cuatro años, pero con una disminución en la amplitud térmica superficial. Este aumento de temperatura afecta el balance de masas dentro del sistema glaciar y se observaron mayores retrocesos de los glaciares periféricos en el sector norte del CHPN, especialmente en los glaciares Grosse y Exploradores, donde se evidenció una mayor exposición de los estratos con roca desnuda, coincidiendo con el sector que mostró un mayor incremento de temperatura superficial.

De la misma forma, Cara *et al.* (2015) llevaron a cabo una investigación para analizar la evolución diaria, estacional e interanual de la cobertura nival en la cuenca alta del río Mendoza durante los 15 años que se dispone de imágenes MODIS (2000-2014). Se utilizó una metodología semiautomática que se basó en

la composición de imágenes de los satélites Terra y Aqua. Las series de cobertura de nieve obtenidas mostraron importantes variaciones estacionales, con un incremento en invierno (58 % de cobertura máxima en promedio) y una disminución significativa en verano. También se observó una importante variabilidad interanual, con claras diferencias entre años secos (por ejemplo, 2010 con un promedio de cobertura del 12 %) y nevadores (por ejemplo, 2005 con un promedio de cobertura anual del 32 %). Además, los mapas de cobertura nival revelaron una elevada concordancia espacial entre la ubicación de los glaciares en la cuenca alta del río Mendoza y los sectores de mayor persistencia de nieve durante el año. Estos sectores con mayor persistencia de nieve se encuentran en los sectores más elevados, protegidos y con menor insolación.

Díaz Aguilar et al. (2017) llevaron a cabo un análisis multitemporal de los cambios en la cobertura glaciar de los nevados Allin Capac y Chichi Capac, en Perú, entre 1975 y 2015. Para ello, utilizaron el método de clasificación supervisada para las imágenes de satélite Landsat 2 y el índice de diferencia normalizada de nieve para las imágenes de satélite Landsat 5 y 8. Los resultados indican una reducción drástica en la cobertura glaciar de ambos nevados, ya que, en 1975, el área cubierta por glaciares era de 52,3 km², mientras que en 2015 se redujo a 16,9 km², perdiendo un total de 35,6 km². En 1975, el 35% de la cobertura glaciar se encontraba por debajo de la cota de 5000 m.s.n.m., pero en 2015 solo representaba el 9% del área total cubierta por glaciares. Por lo tanto, en los últimos 40 años, la cobertura glaciar de los nevados Allin Capac y Chichi Capac ha disminuido en un 67%, lo que equivale a una reducción del 17% por década y una tasa promedio de 0,89 km² por año.

El estudio realizado por Ramos Alonso (2018), tuvo como objetivo determinar la evolución de la cobertura glaciar del nevado Coropuna, ubicado en el departamento de Arequipa, al sur del Perú, y su relación con las condiciones climáticas locales. Para ende, se emplearon imágenes de satélite de Landsat 5 TM y 8 OLI para el periodo de 1987 a 2015, con una frecuencia de cinco a seis años entre cada imagen, y se calculó el área del nevado mediante el índice NDSI. Además, se analizó la precipitación y la temperatura en 47 y 38 estaciones respectivamente, durante el periodo de 1965 a 2014. Los resultados indicaron que el área del nevado se redujo en 10,39 km² y su volumen en 0,73 km³. Asimismo, se identificaron notables diferencias en la distribución de la precipitación entre la parte baja y alta del valle donde se ubica el nevado, y se registraron tendencias

tanto a la baja como al alza en algunas estaciones evaluadas. En cuanto a la temperatura, la mayoría de las estaciones presentaron tendencias significativas y positivas. Por último, se establecieron relaciones entre las variables y diferentes índices climáticos, observándose correlaciones inversas entre los índices relacionados con ENSO y la precipitación, y correlaciones directas entre los valores de temperatura y la cobertura glaciar.

Los investigadores Moncada y Willems (2020b) se propusieron analizar la evolución temporal y espacial de la temperatura atmosférica local en la microcuenca Apacheta (Ayacucho) en los últimos 34 años. Para llevar a cabo su investigación, emplearon datos térmicos de la serie Landsat (sensores TM, ETM+ y TIRS) para determinar la temperatura superficial del suelo (TSS) durante el periodo 1985-2018. Según los resultados obtenidos, se observa una tendencia positiva de la TSS, con un aumento de 4,9 °C (equivalente al 27,5% de la TSS), siendo las tendencias más altas (5,8 °C) en las zonas nevadas (similar al 35,3% de la TSS en toda la microcuenca). Por consiguiente, se concluye que el 83,6% del comportamiento de la cubierta de nieve, derivado del NDSI, se debe a la TSS en la zona de nieve. Esto se debe a que, a medida que la TSS aumenta, la superficie de la zona de nieve disminuye.

Por último, Bautista Tenorio (2019) realizó un estudio sobre la dinámica espacio-temporal de la cobertura nival y la temperatura superficial terrestre en los nevados. Para ello, se analizaron 324 imágenes de satélite Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, abarcando desde 1984 hasta 2017, mediante el uso del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI). Los resultados revelaron que el nevado Portuguesa ha perdido 77,6 ha de cobertura nival, reduciéndose actualmente a solo 11,5 ha, lo que representa una pérdida del 87,1 % respecto al año 1984. De manera similar, el nevado Razuhuillca ha perdido aproximadamente 84,92 ha de cobertura nival, quedando con solo 0,08 ha en la actualidad, lo que implica una pérdida del 99,9 % respecto al año 1985. Además, se observó que la temperatura máxima superficial en el nevado Portuguesa ha aumentado en 3,4 °C en el periodo 1984-2017, mientras que la temperatura mínima ha aumentado en 5,4 °C. En el caso del nevado Razuhuillca, la temperatura máxima ha aumentado en 5,2 °C y la temperatura mínima en 4,7 °C en el mismo periodo. Asimismo, el análisis de correlación de Spearman reveló una correlación negativa significativa entre la cobertura nival y la temperatura máxima ($r_s=-0,542$) y la temperatura mínima ($r_s=-0,616$) en el nevado Portuguesa, y una correlación negativa significativa entre la

cobertura nival y la temperatura máxima ($r_s=-0,609$) y la temperatura mínima ($r_s=-0,430$) en el nevado Razuhuilca. Por tanto, se concluye que existe una relación directa significativa entre la temperatura superficial y la cobertura nival en ambos nevados.

Hasta este punto, los antecedentes que guardan relación con el presente trabajo de investigación. En seguida, se desarrolla el marco conceptual.

2.2. Marco conceptual

- **Temperatura.** Refiere a la “magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas [sic], mayor será la temperatura” (Rodríguez *et al.*, 2004, p.12).
- **Temperatura superficial.** Alude a la “temperatura radiante de la superficie terrestre, incluyendo hierba, suelo desnudo, carreteras, aceras, edificios y árboles, entre otros. La temperatura superficial se puede observar utilizando el espectro electromagnético, dónde, todo objeto emite radiación electromagnética en función de su temperatura” (GLOBE, 2005, p. 3)
- **Precipitación.** Es el retorno del agua atmosférica en forma líquida o sólida (Rodríguez *et al.*, 2004).
- **Cobertura nival.** Se refiere a la cantidad de tierra cubierta por nieve en un momento dado (EPA, 2016).
- **Glaciar.** Refiere a la “gruesa masa de hielo que se origina en la superficie terrestre por compactación y recristalización de la nieve, mostrando evidencias de flujo en el pasado o en la actualidad” (Ferrando, 2014, p. 1).
- **El formato netCDF.** Al respecto, se sostuvo: “Es un estándar abierto de intercambio de datos científicos multidimensionales que se utiliza con datos de observaciones o modelos, principalmente en disciplinas como la Climatología, la Meteorología y la Oceanografía” (Dominic, 2015, p. 12).
- **Banda.** Se definió de la siguiente manera: “Es una porción de longitudes de onda del espectro electromagnético. El satélite Landsat ETM+ tiene ocho bandas que recogen radiación de diferentes partes del espectro electromagnético” (USGS, 2021).
- **Pixel.** Es una “abreviatura de elemento de imagen. El área de tamaño mínimo en el suelo detectable por un dispositivo de detección remota. El tamaño varía según el tipo de sensor” (USGS, 2021).
- **Imagen satelital.** Se entiende que “es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos

sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y procesada convenientemente” (UCH, 2018, párrafo 1).

- **Nieve.** Refiere a la “precipitación de agua en estado sólido, en forma de copos de estructura cristalina, principalmente en forma de estrella o cristales hexagonales rameados” (Bomshoms *et al.*, 2018, p. 4).
- **Satélite.** Es “cualquier cuerpo, natural o artificial, en órbita alrededor de un planeta. Un satélite artificial es una nave espacial que orbita a otro cuerpo, como un planeta o el Sol” (USGS, 2021).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Variables climáticas

De acuerdo con Pabón *et al.* (1998), las variables climáticas refieren a:

Toda propiedad o condición de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado físico del clima en un lugar dado para un periodo de tiempo determinado, y se conoce con el nombre de elemento climático. Los principales elementos del clima son: la presión atmosférica, la temperatura, la velocidad y dirección del viento, la precipitación, el brillo solar y la nubosidad. Los fenómenos atmosféricos, tales como: la niebla, las tormentas eléctricas, los vendavales, la bruma y humo, también se consideran como elementos definidores del clima.

Asimismo, estos elementos se convierten en variables climatológicas cuando se obtienen sus valores cuantitativos o cualitativos, producto de sus registros y/o mediciones. Por lo general, las variables climatológicas tienen los mismos nombres que sus elementos, pero se diferencian de estos porque el elemento es la característica física en sí, mientras que la variable es su valoración. Asimismo, con el análisis del comportamiento de estas variables en el tiempo y en el espacio, es posible sacar conclusiones sobre el clima actual, el clima del pasado, las fluctuaciones climáticas de diversa escala, etc. (p. 35)

2.3.2. Criósfera andina

El término criósfera proviene del griego *kryos* = nieve, y alude a las áreas que contienen agua congelada; además, incluye zonas donde la temperatura desciende por debajo de 0°C, ya sea de manera estacional o permanente (Schoolmeester *et al.*, 2018). En la misma línea, Khromova (2010) mencionó lo siguiente:

La criósfera terrestre incluye zonas cubiertas de nieve, glaciares, calotas glaciares, inlandsis, hielo lacustre y fluvial, permafrost y suelo estacionalmente congelado. La criósfera desempeña una función importante para el clima, con muchas retroalimentaciones y vínculos directos que influyen en los flujos superficiales de energía y humedad, la formación de nubes, la precipitación y la circulación atmosférica y oceánica. (p. 1)

Teniendo en cuenta lo mencionado, es importante destacar que en los Andes el proceso de congelación y deshielo de la nieve y hielo tiene un impacto significativo en la hidrología y ecología de la región (Díaz *et al.*, 2003, citado por Schoolmeester *et al.*, 2018). En consecuencia, según EPA (2016), la cobertura nival:

Está influenciada por la cantidad de precipitación que cae en forma de nieve. La temperatura del aire también influye, porque determina si la precipitación cae como nieve o lluvia y afecta la velocidad a la que se derrite la nieve en el suelo. A medida que cambian los patrones de temperatura y precipitación, también puede cambiar el área total cubierta por nieve.

La capa de nieve no es solo algo que se ve afectado por el cambio climático; también ejerce una influencia sobre el clima. Debido a que la nieve es blanca, absorbe solo una pequeña parte de la luz solar que la golpea (del 10 al 20 por ciento en el caso de la nieve fresca) y refleja el resto de regreso al espacio. Por el contrario, las superficies más oscuras, como el suelo desnudo y el agua abierta, absorben la mayor parte de la energía que reciben y se calientan más rápidamente. De esta manera, la cantidad total de nieve afecta los patrones de calentamiento y enfriamiento sobre la superficie de la Tierra. Más nieve significa que más energía se refleja en el espacio, lo que resulta un enfriamiento, mientras que, menos nieve significa que se absorbe más energía en la superficie de la Tierra, lo que resulta un calentamiento. (p. 1)

2.3.3. Teledetección

Desde el punto de vista de Chuvieco (1995), la teledetección es una:

Técnica aplicada y como tal, muy dependiente del estado de desarrollo tecnológico existente en cada momento. No obstante, la teledetección espacial facilita, en algunos de esos casos, un apoyo muy conveniente para reducir los costes o el tiempo invertido en obtener resultados, ya que, permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. (p. 25)

En cuanto a los aspectos legales de la teledetección, supone la observación exterior de la superficie terrestre. El satélite, como es obvio, no ajusta su órbita a las fronteras nacionales, sino que adquiere imágenes de todo el globo. Esta adquisición de datos sobre un territorio soberano, puede implicar una violación de su espacio aéreo, además de poner en evidencia recursos de un país que podrían ser explotados abusivamente por terceros. Por esta razón, se ha puesto de manifiesto la necesidad de regular jurídicamente las acciones de la teledetección espacial.

Entonces, el Comité de Naciones Unidas para el Uso Pacífico del Espacio Exterior, intentó desarrollar unos principios legales que salven las tensiones entre Estados observados y observadores. Ello, se encuentra en el tratado sobre las actividades de exploración del espacio firmado en 1967, donde señala; "... el espacio exterior, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, no podrá ser objeto de apropiación internacional por reivindicación de soberanía, uso u ocupación, ni mediante ningún otro medio". Debido a ello, este convenio constituye el eje sobre el que se ha venido apoyando al derecho espacial en los últimos años. Las principales definiciones consagran un doble principio: es la libertad de exploración y uso del espacio exterior, y empleo en provecho común, sin posibilidad de apropiación por ningún estado. (pp. 37-38)

El empleo de la teledetección ofrece importantes ventajas, como señaló Chuvieco (1995):

- En lo que respecta a la cobertura global y periódica de la superficie terrestre, es posible obtener imágenes repetitivas de gran parte del planeta, incluso de áreas inaccesibles, gracias a las características orbitales de los satélites.
- La altitud orbital de los satélites les permite capturar imágenes de grandes extensiones de la superficie terrestre, lo que proporciona una visión extensa de los fenómenos geográficos.
- El hecho de que las imágenes se encuentren en formato digital permite su procesamiento más rápido con la ayuda de equipos especializados, lo que a su vez reduce los costos. Además, los resultados obtenidos pueden integrarse posteriormente con otro tipo de cartografía más convencional.
- La homogeneidad en la toma de datos es una ventaja significativa, ya que, la gran superficie se captura utilizando el mismo sensor en una

fracción de tiempo muy pequeña, lo que garantiza la coherencia necesaria para realizar estudios sobre áreas extensas.

- La información obtenida a través de los sensores electrónicos ópticos permite obtener imágenes de áreas no accesibles mediante fotografía convencional, utilizando bandas del espectro como el infrarrojo medio, térmico y microondas. Estas bandas proporcionan información valiosa para estudios medioambientales, permitiendo el registro de problemas que son imperceptibles al ojo humano.

Es importante destacar que la teledetección espacial no es una solución universal para detectar cualquier problema ambiental. Si bien esta técnica es complementaria a otras técnicas convencionales como la fotografía aérea, no reemplaza la importancia del trabajo de campo. La teledetección espacial es una técnica auxiliar útil en múltiples contextos, pero en algunos casos su aplicación puede ser discreta y solo utilizarse como un ensayo experimental. (pp. 41-42)

2.3.4. Imágenes de satélite Landsat

El primer satélite de Landsat fue lanzado en el año 1972, el cual cuenta con un registro de 50 años y se ha convertido en algo indispensable para la infraestructura nacional, el registro de único de décadas; al mismo tiempo, es una invaluable e incalculable herramienta para evaluar décadas de nuestros paisajes cambiantes, con muchos usos prácticos para nuestra vida y el respectivo sustento en varias décadas (USGS, 2021).

2.3.5. Descripción de productos de imágenes satelitales Landsat 5 y 8

a. Productos científicos de Nivel 2, de la Colección 2 de Landsat

Los productos científicos Landsat Nivel 2 “se generan a partir de entradas de Colección 2 Nivel-1, que cumplen con la restricción de Ángulo cenital solar $< 76^\circ$ e incluyen las entradas de datos auxiliares requeridas para generar un producto científicamente viable” (USGS, 2021). Las características de las imágenes de satélite Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI se describen en la tabla 1 y tabla 2, respectivamente:

Tabla 1. Características del satélite Landsat 5 TM.

Característica	Descripción
Participantes	NASA NOAA EOSAT DOI ESQS GE
Fecha de lanzamiento	1 de marzo de 1984
Comunicaciones	Enlace descendente directo con TDRSS Velocidad de datos: 85 Mbps Cuantización: 8 bits (256 niveles)
Sensores	Escáner multiespectral (MSS) Mapeador temático (TM)
Tamaño de la escenografía	170 km x 185 km (106 mi x 115 mi)
Vida útil	Un mínimo de 3 años

Fuente: Obtenido de EOS (2020).

Tabla 2. Características del satélite Landsat 8 OLI.

Característica	Descripción
Participantes	NASA DOI USGS Bus Espacial: Orbital Science Corp. Sensor Operational Land Imager (OLI): Ball Aerospace & Technologies Corp. Sensores Thermal Infrared: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA
Fecha de lanzamiento	11 de febrero de 2013
Comunicaciones	Conexión Directa con grabadoras de estado sólido (SSR) Velocidad de transmisión de datos: 384 Mbps en la frecuencia de la banda X; 260,92 Mbps en la frecuencia de la banda S.
Sensores	OLI TIRS
Tamaño de la escenografía	170 km x 185 km (106 mi x 115 mi)
Vida útil	Un mínimo de 5 años

Fuente: Obtenido de EOS (2020).

Se representan las características de las bandas de imágenes de satélite Landsat 5 TM en la Tabla 3 (USGS, 2020c, p. 4), mientras que en la Tabla 4 (USGS, 2020, p. 4) se describen las características de las bandas de imágenes del satélite Landsat 8 OLI.

Tabla 3. Descripción de las bandas del satélite Landsat 5 Collection 2 level 2.

Band Number	Band Description	Band Range (nm)	Resolution (m)
1	Blue	450-520	30
2	Green	520-600	30
3	Red	630-690	30
4	Near-Infrared (NIR)	760-900	30
5	Short Wavelength Infrared (SWIR) 1	1550-1750	30
6	Thermal Infrared	10400-12500	120
7	SWIR 2	2080-2350	30

Fuente: Obtenido de USGS (2020).

Tabla 4. Descripción de las bandas del satélite Landsat 8 Collection 2 level 2.

Band Number	Band Description	Band Range (nm)	Resolution (m)
1	Coastal Aerosol (Operational Land Imager (OLI))	435-451	30
2	Blue (OLI)	452-512	30
3	Green (OLI)	533-590	30
4	Red (OLI)	636-673	30
5	Near-Infrared (NIR) (OLI)	851-879	30
6	Short Wavelength Infrared (SWIR) 1 (OLI)	1566-1651	30
7	SWIR 2 (OLI)	2107-2294	30
8	Panchromatic	503 - 676	15
9	Cirrus	1363 - 1384	30
10	Thermal Infrared Sensor (TIRS) 1	10600-11190	100
11	TIR 2	11500 - 12510	100

Fuente: Obtenido de USGS (2020).

2.3.6. Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI)

El índice NDSI es una herramienta valiosa para el mapeo de nieve, ya que se basa en la diferencia de reflectancia entre el verde y el infrarrojo de onda corta (SWIR), que controla la varianza en dos bandas: una en el infrarrojo cercano o en el infrarrojo de onda corta y otra en las partes visibles del espectro. Debido a que la nieve es altamente reflectante en las partes visibles del espectro electromagnético y muy absorbente en el infrarrojo cercano (NIR) o en la parte infrarroja de onda corta del espectro, el índice NDSI permite detectar fácilmente la presencia de nieve en imágenes satelitales. Por otro lado, la mayoría de las nubes tienen una alta reflectancia en las mismas partes del espectro, lo que permite una buena separación entre la nieve y las nubes en las imágenes (EOS, 2020)

2.3.7. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

Es una agencia científica del Departamento Interior de los EE.UU., la cual, es de preferencia para obtener información sobre: como ayudar a solucionar los problemas complejos relacionados a los recursos naturales a través de los Estados Unidos y del mundo. Asimismo, es una agencia independiente que recopila, estudia, analiza y provee información científica sobre las condiciones concernientes a los recursos naturales (USGS, 2001).

2.4. Marco legal

El presente trabajo de investigación, se guía por el siguiente marco legal:

- *El Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluyendo la Luna y otros cuerpos celestes*, fue aprobado el 19 de diciembre de 1966 por la Asamblea General de las Naciones Unidas y se encuentra en el anexo de la

Resolución 2222 (XXI). Este tratado se abrió a la firma el 27 de enero de 1967 y entró en vigor el 10 de octubre de 1967 (ONU, 2002).

- Los *Principios relativos a la teleobservación de la Tierra desde el espacio*, aprobados el 3 de diciembre de 1986 —Resolución 41/65 de la Asamblea General (ONU, 2002).
- 5 USC 552 *Ley de Libertad de Información*, estatuto federal que permite a las personas solicitar acceso a los registros de la agencia federal, excepto en la medida que los registros se reclamen como exentos de divulgación, bajo una o más de las nueve (9) exenciones de la FOIA (Oficina de la Ley de Libertad de Información de USGS) (USGS, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

3.1.1. Ubicación política

Políticamente, el presente estudio se sitúa en las siguientes jurisdicciones:

Departamento : Ayacucho

Provincias : Parinacochas y Paúcar del Sara Sara

Distritos : Puyusca, Sara Sara y Pausa

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente, el nevado Sara Sara está ubicado en la siguiente coordenada, en universal transversal Mercator (UTM), tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Ubicación geográfica del nevado Sara Sara, provincias de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara, departamento de Ayacucho.

Lugar	Coordenadas (UTM)		Altitud (msnm)
	Este (X)	Sur (Y)	
Nevado Sara Sara	666882	8304641	4900 - 5505

Fuente: Coordenadas obtenidas a partir de Google Earth Pro (2021).

El nevado del Sara Sara, se encuentra en la superficie del volcán Sara Sara y con cobertura nival de manera estacional. Según Rivera *et al.* (2020), “el nevado Sara Sara, se encuentra ubicado a 250 km al sur este de la ciudad de Huamanga [sic], en la provincia de Parinacochas por el Este y en la provincia Paúcar del Sara Sara por el Oeste, en la cordillera Occidental de los Andes de América del Sur, en el Perú” (p. 12).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Las imágenes satelitales de Nivel 2, Colección 2 de Landsat 5 y Landsat 8, correspondientes al período 1985-2020, para el área de estudio; dichas imágenes conciernen al Path/Row: 005/071 y al Path/Row: 005/070. Asimismo, los datos de

precipitación fueron descargados de la plataforma Pisco-SENAMHI, también tocante al periodo 1985-2020.

Para las imágenes de Landsat 5, se emplearon los valores de reflectancia de las bandas 2 y 5, con una resolución espacial de 30 metros por pixel. Asimismo, se utilizó la banda térmica 6 para calcular la temperatura superficial del suelo (TSS), con una resolución espacial de 120 metros por pixel.

En el caso de las imágenes de Landsat 8, se consideraron los valores de reflectancia de las bandas 3 y 6, que presentan una resolución espacial de 30 metros por pixel. Además, se empleó la banda 10 correspondiente a la banda térmica para calcular la TSS, cuya resolución espacial es de 100 metros por pixel.

3.2.2. Muestra

La muestra está compuesta de 29 imágenes satelitales (08 de Landsat 8 y 21 de Landsat 5), correspondientes al mes de junio (época seca); en donde, los años 1985-1989, 2002 y 2012 no presentan imágenes satelitales; con respecto a los años 1998, 2007 y 2018 se tomaron las imágenes más cercanas al mes de junio. Es así que la información de la precipitación se trabajó de acuerdo con los años y al mes trabajado para las imágenes satelitales.

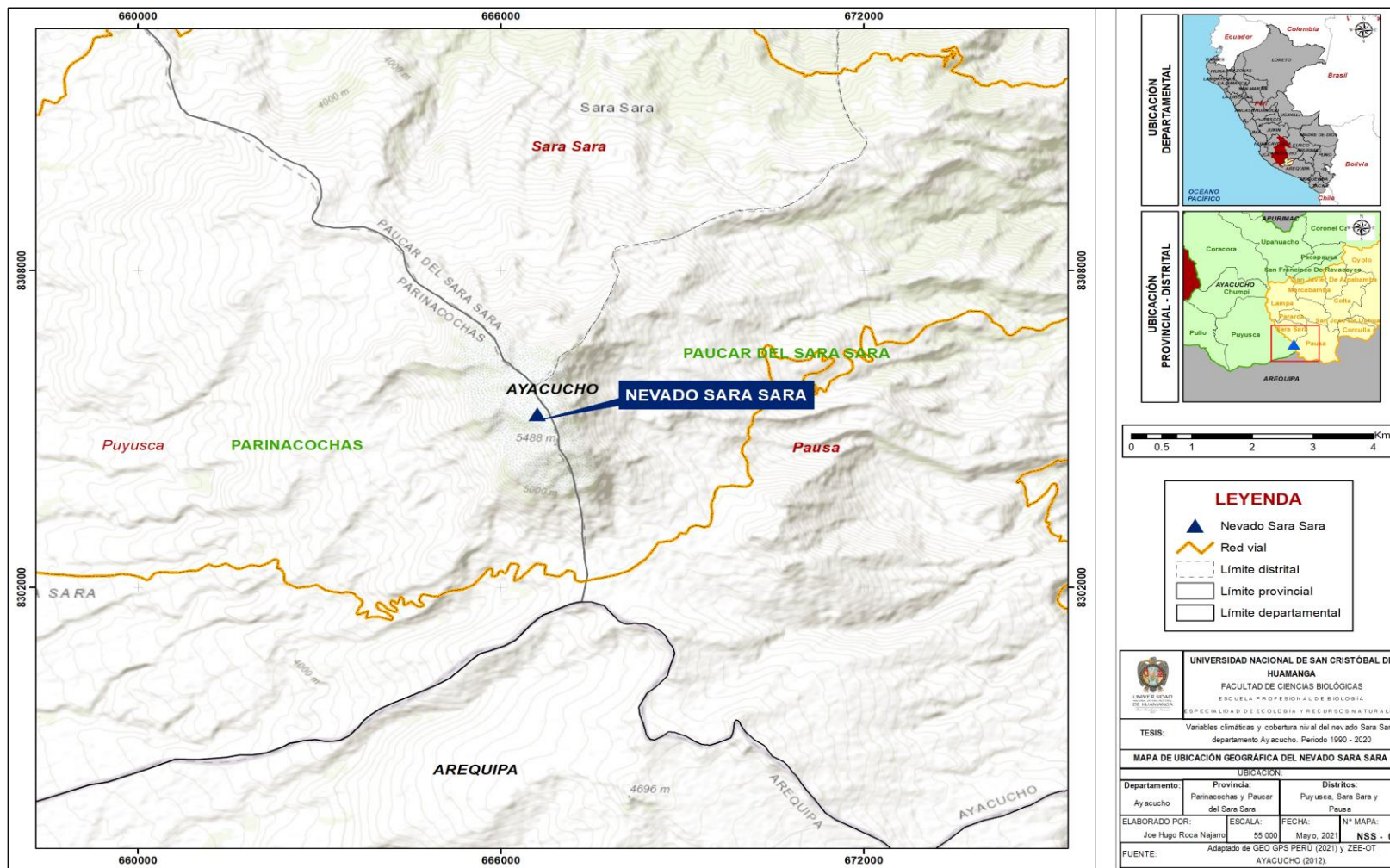


Figura 1. Ubicación geográfica del nevado Sara Sara, ubicado entre las provincias de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara, departamento de Ayacucho.

Para la selección y clasificación de imágenes de satélite se aplicaron los siguientes criterios:

- Disponibilidad de imágenes satelitales con una cobertura de nubes del 0% en el área de influencia del nevado Sara Sara.
- Elección del mes de junio, que es cuando generalmente se presenta una menor cantidad de nubes en la zona y se registra una mayor frecuencia de nevadas en la cordillera (Bomshoms Calvelo et al., 2018).

3.3. Metodología y recolección de datos

3.3.1. Descarga de información

3.3.1.1. Descarga de imágenes satelitales Landsat para la temperatura superficial del suelo y área de cobertura nival

Las imágenes satelitales de Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI para el mes de junio, se obtuvieron del servidor Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), del siguiente enlace: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

3.3.1.2. Descarga de datos para precipitación

La descarga de datos para la variable precipitación se realizó a partir del servidor PISCO-SENAMHI; el cual, fue recomendado por Aybar *et al.* (2017) para los trabajos de este tipo. El siguiente enlace lleva al sitio:

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/?Set-Language=es>.

Los datos descargados están en formato *netCDF file*, un paquete de datos que incluye imágenes en archivo ráster apilados de manera mensual, desde enero de 1981 a marzo de 2021, en la cual, se tomará solo los datos correspondientes al mes de junio.

3.3.2. Procesamiento de la información descargada

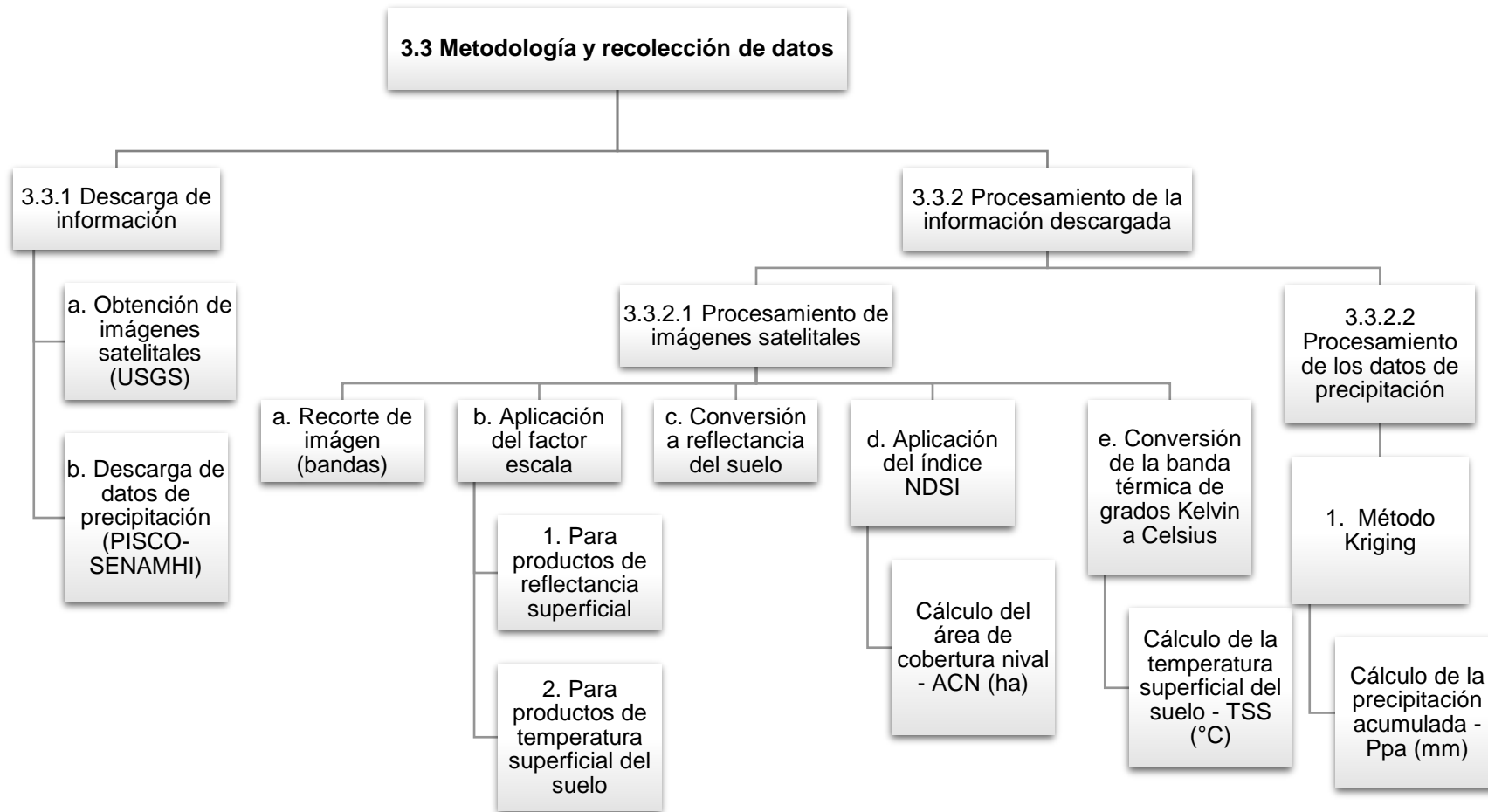


Figura 2. Diagrama de la metodología y recolección de datos para la temperatura superficial del suelo, precipitación acumulada y área de cobertura nival

3.3.2.1. Procesamiento de imágenes satelitales para la temperatura superficial del suelo y área de cobertura nival

Se trabajó con las bandas del satélite LANDSAT 8 OLI/TIRS C2 L2 (B3, B6 y B10, esta última corresponde a la banda térmica) y LANDSAT 5 TM C2 L2 (B2, B5 y B6, la banda térmica concierne a la B6). En este punto, el procedimiento fue:

- Recorte de banda. El recorte se realizó para todas las bandas mencionadas, empleando el programa ENVI 5.3.
- Factor de escala. Se aplicó un factor de escala a las bandas o productos de temperatura superficial y reflectancia de superficie del Landsat Nivel-2, de la Colección 2 empleando el programa ENVI Classic 5.3 (USGS, 2021). Tabla 6.

Tabla 6. Factores de escala, valores de relleno, tipo de datos y rango válido para los productos científicos Lansat Collection 2.

Producto Científico	Factor de escala	Valor de relleno	Tipo de datos	Rango válido
Reflectancia Superficial	0,0000275 + -0,2	0	Entero de 16 bits sin signo	1-65455
Temperatura de la Superficie	0,00341802 + 149,0	0	Entero de 16 bits sin signo	1-65455

Fuente: Obtenido de USGS (2021).

- Conversión a reflectancia del suelo. Luego de la aplicación del factor de escala, se procedió con realizar la conversión a reflectancia del suelo —solo para productos de Reflectancia Superficial — utilizando el programa ENVI Classic 5.3.

La fórmula para la conversión a reflectancia del suelo fue:

$$(b1 \text{ le } 0.0) * 0.0 + (b1 \text{ ge } 10000) * 1.0 + (b1 \text{ gt } 0.0 \text{ and } b1 \text{ lt } 10000) * \text{float}(b1) / 10000$$

- Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI). Se empleó este índice mediante el programa ENVI Classic 5.3, donde, según Dozier (1989) para la identificación de cobertura nival se extrae celdas de píxeles con valores mayores a 0,4 de NDSI, y la fórmula del NDSI es:

- Para Landsat 8 OLI: $(b3-b6)/(b3+b6)$
- Para Landsat 5 TM: $(b2-b5)/(b2+b5)$

Aplicado la fórmula del NDSI en el programa ENVI Classic 5.3, se exportaron los datos en formato Excel (ver anexo 9). Donde, se procedió con la suma total de píxeles correspondientes a la cobertura nival, para luego multiplicar por el tamaño del pixel equivalente a 0,09 ha, obteniendo el área de cobertura nival (ACN) en hectáreas (ha).

e. Conversión de grados Kelvin a Celsius. Se utilizó la banda térmica resultante de la sección b (productos de temperatura superficial del suelo), empleando la siguiente fórmula:

- $B10 - 273.15$

Fórmula de factor de conversión de grados Kelvin a Celsius (USGS, 2021).

Luego de la conversión en el programa ENVI Classic 5.3, se procedió con la exportación de datos en formato Excel (ver anexo 10), obteniendo así la temperatura superficial del suelo (TSS) en grados Celsius (°C).

3.3.2.2. Procesamiento de datos para precipitación

Primer paso, se usó el *shapefile* de las estaciones meteorológicas del Perú, obtenidas de GEO GPS PERÚ (<https://www.geogpsperu.com/2018/07/mapa-de-estaciones-hidrometeorologicas.html>). Capa que se cargó en el programa Qgis, donde, se calculó las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de las estaciones cercanas al nevado Sara Sara; dichas coordenadas se llevaron a la hoja de cálculo del programa Excel (Tabla 7) y se guardó en formato CSV delimitando por comas (Tabla 8).

Tabla 7. Coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas.

Nombre	X	Y
CARAVELI	-73.361	-15.771
CHAPARRA	-73.867	-15.75
TARCO	-73.75	-15.3
PAUSA	-73.333	-15.267
INCUYO	-73.567	-15.25
PULLO	-73.817	-15.217
LAMPA	-73.333	-15.183
CARHUANILLAS	-73.733	-15.133

Tabla 8. Coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas en formato CSV.

NN,XX,YY
X1,-73.361,-15.771
X2, -73.867,-15.75
X3,-73.75,-15.3
X4,-73.333,-15.267
X5,-73.567,-15.25
X6,-73.817,-15.217
X7,-73.333,-15.183
X8,-73.733,-15.133

Segundo paso, se procesó los datos de precipitación, en formato ráster, mediante el *software* RStudio y el uso de un *R Script* (Anexo 7) juntamente con las

coordenadas en formato CSV. Con dichas coordenadas se extrajo los datos de precipitación acumulada mensual para las respectivas estaciones meteorológicas (ver Anexo 11).

- a. Método Kriging. Es una “interpolación estadística de estimación de puntos, donde, la interpolación es un procedimiento utilizado para predecir los valores de las celdas en ubicaciones que carecen de puntos de muestra” (Childs, 2004, p. 1). En base a la interpolación, se estimó los valores de precipitación acumulada en el nevado Sara Sara a base de los datos obtenidos de Pisco-SENAMHI para las estaciones ya mencionadas. Dicha información fue procesada con el programa QGIS 3.22.9.

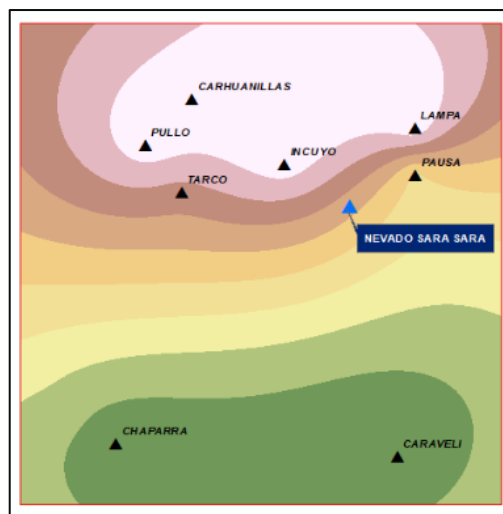
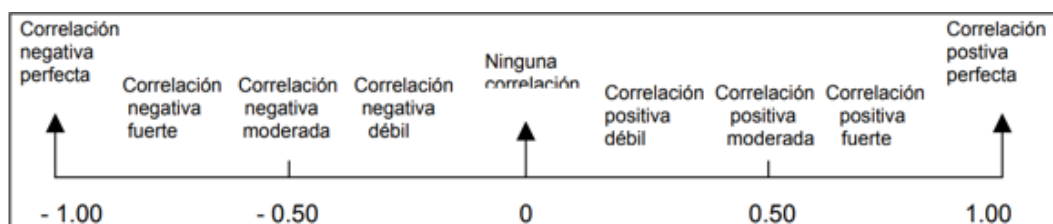


Figura 3. Modelo de interpolación de la precipitación mediante el método Kriging.

3.4. Análisis estadístico

Se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de las muestras con menos de 50 datos (Amat, 2016). Para medir la fuerza o nivel de relación entre dos o más variables aleatorias cuantitativas se utilizó la correlación de Pearson. Para variables que no siguen una distribución normal o que se miden en términos ordinales, se utilizó la correlación de Spearman para cuantificar la intensidad y dirección de la relación (Fallas, 2012). Cabe destacar que todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el software RStudio.



Fuente: Obtenida de Vila et al. (2011).

Figura 4. Diagrama para el análisis del coeficiente de correlación entre dos variables.

IV. RESULTADOS

Tabla 9. Temperatura superficial del suelo (°C), precipitación acumulada (mm) en el área de influencia y área de cobertura nival (ha) del nevado Sara Sara del mes de junio, departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.

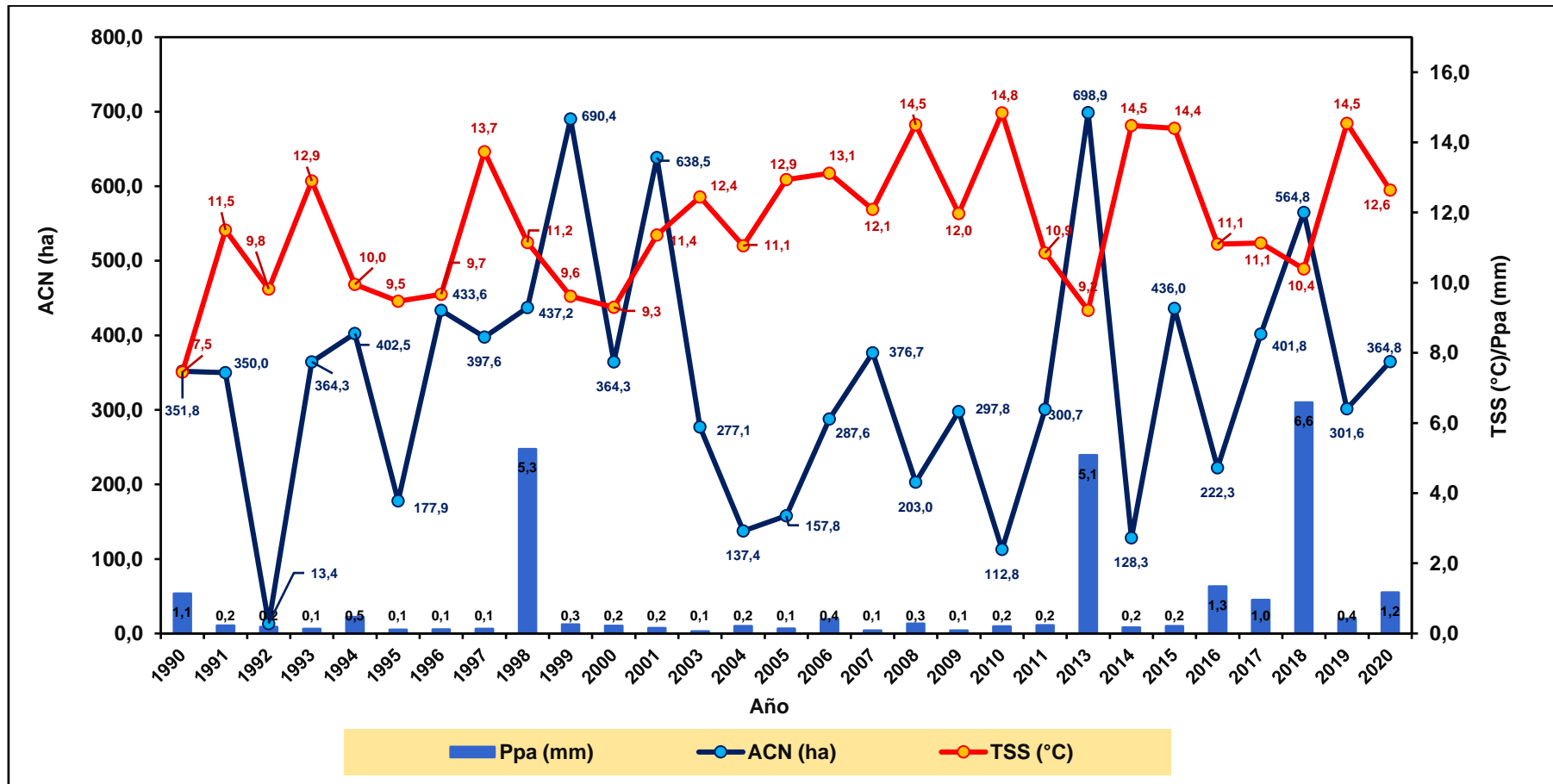
Año	TSS (°C)	Ppa (mm)	ACN (ha)
1990	7,5	1,1	351,8
1991	11,5	0,2	350,0
1992	9,8	0,2	13,4
1993	12,9	0,1	364,3
1994	10,0	0,5	402,5
1995	9,5	0,1	177,9
1996	9,7	0,1	433,6
1997	13,7	0,1	397,6
1998	11,2	5,3	437,2
1999	9,6	0,3	690,4
2000	9,3	0,2	364,3
2001	11,4	0,2	638,5
2003	12,4	0,1	277,1
2004	11,1	0,2	137,4
2005	12,9	0,1	157,8
2006	13,1	0,4	287,6
2007	12,1	0,1	376,7
2008	14,5	0,3	203,0
2009	12,0	0,1	297,8
2010	14,8	0,2	112,8
2011	10,9	0,2	300,7
2013	9,2	5,1	698,9
2014	14,5	0,2	128,3
2015	14,4	0,2	436,0
2016	11,1	1,3	222,3
2017	11,1	1,0	401,8
2018	10,4	6,6	564,8
2019	14,5	0,4	301,6
2020	12,6	1,2	364,8

Leyenda. TSS: Temperatura superficial del suelo, Ppa: Precipitación acumulada y ACN: Área de cobertura nival.

Tabla 10. Análisis de correlación de Pearson y Spearman del área de cobertura nival (ha) con temperatura superficial del suelo (°C) y precipitación acumulada (mm) del mes de junio.

Correlación	Variable dependiente		Variable independiente			
			TSS (°C)		Ppa (mm)	
			r	p-valor	r	p-valor
Pearson	ACN	Coeficiente de correlación	-0,3324174	0,07809	-	-
Rho de Spearman			-	-	0.3197044	0,09125

Leyenda. TSS: Temperatura superficial del suelo, Ppa: Precipitación acumulada y ACN: Área de cobertura nival.



Leyenda. TSS: Temperatura superficial del suelo, Ppa: Precipitación acumulada y ACN: Área de cobertura nival.

Figura 5. Tendencia del comportamiento de la temperatura superficial del suelo y precipitación acumulada del área de influencia y área de cobertura nival del nevado Sara Sara del mes de junio, departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.

V. DISCUSIÓN

Durante el periodo evaluado (1985-2020), se encontraron resultados heterogéneos en los tres primeros objetivos específicos. **a.** En relación a la temperatura superficial del suelo (TSS) (ver Tabla9), se registraron valores mínimos de 7,5; 9,3 y 9,2 °C en los años 1990, 2000 y 2013, respectivamente, y valores máximos de 14,5; 14,8; 14,5; 14,4 y 14,5 °C en los años 2008, 2010, 2014, 2015 y 2019. A lo largo del periodo evaluado, se observó una fluctuación de datos en la TSS media, sin una tendencia clara de incremento en el área de influencia del nevado Sara Sara. **b.** En cuanto a la precipitación acumulada (Ppa) (ver Tabla 9), la mayoría de los años evaluados presentaron valores que oscilaron entre 0,1 y 0,4 mm, aunque se registraron valores altos de 5,3; 5,1 y 6,6 mm en los años 1998, 2013 y 2018, respectivamente. También se observó una fluctuación de datos a lo largo del periodo evaluado. **c.** En relación al área de cobertura nival (ACN) (ver tabla 9), se registraron valores heterogéneos o muy variables, con un valor mínimo de 13,4 ha en el año 1992 y valores máximos de 690,4; 638,5 y 698,9 ha en los años 1999, 2001 y 2013, respectivamente. Al igual que en los otros objetivos específicos, se observó una fluctuación de datos a lo largo del periodo evaluado. Según Cara *et al.* (2015), la cobertura nival máxima en la cuenca del río Mendoza durante los últimos 15 años (2000-2014) ha sido muy variable, oscilando entre el 25 % de la superficie total en 2010 y el 60 % en el año 2005. Desde este último año hasta el 2014, se ha observado una reducción paulatina de los valores máximos de cobertura nival en la cuenca.

A este respecto, Sáez Alveal (2018) ha observado un aumento constante en las tasas de decrecimiento de la mayoría de los glaciares Grey, Tyndall y Dickson en los últimos años. Desde 1998 hasta 2017, se ha registrado una disminución de aproximadamente 10,87; 13,68 y 3,94 km² respectivamente. Asimismo, Treimun y Monsalve (2015) señalan que el Campo de Hielo Patagónico Norte (CHPN) ha

experimentado una importante reducción en su superficie entre 2001 y 2014, llegando a disminuir en promedio 130 km² en los primeros años del período analizado. A partir de 2005 hasta 2014, se ha registrado una disminución más leve, con una media de 110 km² de reducción. De acuerdo con el estudio de Díaz *et al.* (2017), se ha observado una disminución drástica en la superficie glaciar de los nevados Allin Capac y Chichi Capac. En concreto, en el año 1975 la extensión glaciar era de 52,3 km², mientras que en el año 2015 se redujo significativamente a 16,9 km², la cual, representa una pérdida total de 35,6 km². En relación con este tema, Bautista Tenorio (2020) afirma que la cobertura nival del nevado Portuguesa se redujo en 77,6 hectáreas durante el periodo de 1984 a 2017, lo que equivale a una disminución del 87,1 % en comparación con su extensión en 1984. Actualmente, la extensión nival de este nevado es de solo 11,5 hectáreas. Por otro lado, durante el mismo periodo de tiempo, el nevado Razhuillca experimentó una reducción aún más drástica, perdiendo aproximadamente 84,92 hectáreas de su cobertura nival, donde, a la actualidad, solo cuenta con una extensión nival de 0,08 hectáreas, lo que significa una disminución del 99,9 % en comparación con su extensión en 1985. Treimun y Monsalve (2015), el promedio de la temperatura superficial del sistema glaciar en el Campo de Hielo Patagónico Norte (CHPN) registró un aumento promedio de 10 °C durante el primer periodo de estudio (2001-2005). Sin embargo, en el periodo posterior (2005-2014), la temperatura superficial presentó una disminución media de 3 °C. Ibáñez *et al.* (2020), ha observado una anomalía en la temperatura durante los meses de junio a septiembre desde 1984 hasta 2014. En cuanto a la temperatura mínima, se ha mantenido una tendencia constante al aumento a lo largo de los dos tramos analizados, variando en cerca de 1 °C en el período de referencia para los meses seleccionados. En cuanto a la temperatura máxima, si bien se registró una tendencia negativa al principio, esto cambió drásticamente a partir de 2003, observándose una tendencia positiva que alcanzó un valor cercano a 1 °C al final del período de análisis. Desde el punto de vista de Schoolmeester *et al.* (2018), las temperaturas en los Andes han ido aumentando y existe evidencia de una amplificación por altitud, lo que significa que las temperaturas incrementan más rápidamente a medida que se eleva la altitud. De igual modo, Moncada y Willems (2020a) reportan que la temperatura superficial del suelo (TSS) en la microcuenca Apacheta ha presentado valores extremos desde 1985 hasta 2018, registrando un mínimo de -6 °C y un máximo de 38 °C. En promedio, se observa que los valores

bajos de TSS se dieron durante los años 1985, 1986, 1990 y 1991, 1994 a 1996, 2001 y 2007, en un rango de 8,8 a 15,2 °C. Los valores altos se presentaron durante los años 1987 a 1989, en 1992, 1993, 1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2005 y 2006, siendo del 2010 al 2018 los años con los valores más altos en comparación con los años anteriores, en un rango de 18,3 a 22,8 °C. Bautista Tenorio (2020) informa que durante el periodo de 1984 a 2017, se ha observado un aumento en la temperatura máxima superficial del nevado Portuguesa en 3,4 °C, mientras que la temperatura mínima ha aumentado en 5,4 °C. Por otro lado, el nevado Razuhuilca ha presentado un incremento en la temperatura máxima de 5,2 °C y un aumento de 4,7 °C en la temperatura mínima durante el periodo de 1985 a 2017. Schoolmeester *et al.* (2018) indica que la precipitación anual en la región es altamente variable y depende de la ubicación y actividad de El Niño. En cuanto a la cuenca Alto Mantaro, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMH (2016) reporta una tendencia no significativa de reducción en la precipitación durante los últimos 49 años, con disminuciones significativas en las estaciones Morococha (16%) y Malpaso (12%), ubicadas en el suroeste de la cuenca. Y de acuerdo con Suárez *et al.* (2020), la mayor precipitación acumulada se registró en el año 2018-2019 con 738,3 mm, mientras que la menor precipitación se presentó en el año 2016-2017 con 570,9 mm.

En relación a los dos últimos objetivos específicos, tenemos: **d.** Relacionar la temperatura superficial del suelo media con el área de cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1990-2020, tras el procesamiento y análisis de datos con el estadístico de correlación de Pearson $\alpha = 0,05$, (ver Tabla 10) los resultados revelan una relación inversa ($r = -0.3324174$) con grado de correlación negativa débil, donde: a mayor temperatura superficial del suelo, menor será el área de cobertura nival y viceversa. Por otro lado, se evidencia la inexistencia de una relación estadística significativa ($p = 0,07809$) entre ambas variables. Y **e.** Relacionar la precipitación acumulada con el área de cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1990-2020, la prueba estadística de correlación de Spearman $\alpha = 0,05$, (ver Tabla 10) revelan una relación directa ($r = 0.3197044$) con grado de correlación positiva débil, donde: a mayor precipitación acumulada, mayor será el área de cobertura nival y viceversa. Por otro lado, se evidencia la inexistencia de una relación estadística significativa ($p = 0,09125$) entre ambas variables. A juicio de Useros Fernández (2013), el aumento de la temperatura global tiene graves consecuencias en los sistemas naturales, como el incremento en el nivel

del mar, la disminución de las capas de nieve y hielo, y cambios en las tendencias de las precipitaciones. Estos efectos tienen impactos significativos en sistemas hidrológicos, la calidad del agua, la productividad agrícola y forestal, y en los sistemas biológicos marinos. Para Schoolmeester *et al.* (2018), en las últimas dos décadas se ha registrado una disminución generalizada de la cubierta de nieve en los Andes, debido al aumento de las temperaturas. Esta tendencia ha sido más pronunciada en la región central y las vertientes orientales de la cordillera. Es importante destacar que, en los Andes, los glaciares se encuentran por encima de la línea de nieve, que persiste durante todo el año y su formación depende de factores como la latitud, altitud y precipitación anual. Según Sáez Alveal (2018), durante el periodo 1998-2017, se observó una relación inversa significativa (95%) entre la temperatura y las coberturas glaciares Grey, Tyndall y Dickson, lo que indica que el retroceso de los glaciares se debe al aumento de la temperatura. Estos resultados son alarmantes y ponen de manifiesto el impacto del cambio climático en los glaciares de la región. Por su parte, Treimun y Monsalve (2015) encontraron que el aumento de la temperatura afecta significativamente el balance térmico de las masas de hielo en los glaciares Exploradores, Grosse, San Rafael, San Quintín y Steffen, durante el periodo 2001-2014. Al respecto, la ANA (2019) sostuvo que las proyecciones sobre la evolución de los frentes glaciares dependen de la fluctuación climática, porque al registrarse un incremento en la temperatura, de 2 °C a 4 °C, el proceso de retroceso glaciar también aumentará. Moncada y Willems (2020a) encontraron que la temperatura superficial de la nieve (TSSN) tiene una fuerte influencia directa en la cobertura nival (CN), donde la TSSN explica el 83,6 % de la variación en la CN en la microcuenca Apacheta entre 1985 y 2018. Además, observaron un progresivo incremento en la TSSN durante este periodo, lo que ha generado una reducción significativa de la CN en la zona. Bautista Tenorio (2019) realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de Spearman para examinar la relación entre la cobertura nival y las temperaturas mínimas y máximas en dos lugares diferentes: el nevado Razuhuillca y el nevado Portuguesa. En el caso del nevado Razuhuillca, se encontró una correlación negativa significativa (Spearman: -0,609) entre la cobertura nival y la temperatura máxima, así como una correlación negativa significativa (Spearman: -0,430) entre la cobertura nival y la temperatura mínima. En cuanto al nevado Portuguesa, se observó una correlación negativa significativa (Spearman: -0,542) entre la cobertura nival y la temperatura máxima, así como una correlación negativa

significativa (Spearman: -0,616) entre la cobertura nival y la temperatura mínima. Al respecto, Sáez Alveal (2018) menciona que las coberturas glaciares Grey, Tyndall y Dickson presentan una relación directa significativa con la precipitación durante el periodo 1998-2017, con un nivel de confianza del 95%. En otras palabras, las variaciones en la precipitación tienen un impacto estadísticamente significativo en estas coberturas glaciares. Ramos Alonzo (2018) encontró que el nevado ha experimentado una disminución del área de 10,39 km² y un volumen de 0,73 km³ debido a cambios en la temperatura y la precipitación. Además, se realizó una caracterización de la precipitación regional, evidenciando una marcada diferencia entre la precipitación en la parte baja y alta del valle donde se encuentra el nevado. En algunas estaciones evaluadas se observó una tendencia al aumento o disminución de la precipitación. En cuanto a la temperatura, la gran mayoría de las estaciones presentaron tendencias significativas y positivas. Barriga Ávila (2019) destacó que los glaciares que se encuentran en la parte sur, especialmente aquellos más expuestos a los cambios en la temperatura y la precipitación, son los más afectados. Asimismo, señaló que la altitud es un factor clave que influye en la temperatura y la precipitación, y puede perturbar la línea de nieve, la cual se desplaza a medida que aumenta la temperatura y se produce más precipitación en zonas donde anteriormente nevaba. Y, por su parte, Carrión Olivares (2010) detectó un retroceso y adelgazamiento general de glaciares, relacionado con tendencias climáticas (temperatura y precipitación).

A pesar de lo anterior, diversos autores previamente mencionados sugieren que un aumento significativo de la temperatura puede llevar a la disminución o extinción de los glaciares, mientras que una mayor o menor precipitación puede influir de manera significativa en los estudios de glaciares. En contraste, el nevado Sara Sara ha mantenido su cobertura nival hasta la actualidad, presentando un comportamiento variable. Se cree que factores como las bajas temperaturas y la recarga de nieve durante la época húmeda podrían ser las posibles causas de su capacidad para recuperarse y mantenerse a través del tiempo, a pesar de la fuerte radiación solar. De acuerdo con la ANA (2019), el retroceso también se ve influenciado por factores geográficos y topográficos, así como la exposición a los rayos solares, entre otros. Al respecto, Santos (2016) afirmó que la nieve juega un papel crucial en la superficie terrestre debido a su relación con múltiples dinámicas y procesos. En áreas de montaña, la nieve actúa como un importante reservorio de agua que se libera durante el periodo de fusión. Asimismo, presenta un efecto

regulador en el balance radiativo de la superficie, ya que su alto albedo limita la absorción de energía por parte del suelo, reflejando gran parte de la radiación incidente. Por tanto, una disminución en la extensión de la nieve se traduce en un aumento de la radiación absorbida y, como consecuencia, en un incremento de la temperatura de la superficie terrestre (TST o LST, por sus siglas en inglés, *Land Surface Temperature* en la nomenclatura internacional). Desde el punto de vista de Schauwecker *et al.* (2017), los aerosoles depositados en superficies glaciares son un posible indicador ambiental que disminuye el albedo correspondiente, lo que se convierte en una variable importante para acelerar la fusión y derretimiento glaciar (p. 13). A juicio de Ramos Alonzo (2018), la variabilidad de la precipitación en el área de investigación está influenciada por los índices El Niño 3.4, ONI y SOI, y se observa lo siguiente: durante los eventos de El Niño, la precipitación tiende a disminuir, mientras que durante los eventos de La Niña aumenta. Por otro lado, la variabilidad de la temperatura media, generada por la dinámica de los mismos índices, muestra un patrón opuesto: durante los eventos de El Niño, la temperatura tiende a incrementar, mientras que durante los eventos de La Niña disminuye. En conclusión, según el autor, existen múltiples factores que pueden provocar cambios significativos en los nevados y glaciares, tanto en sentido positivo como negativo.

VI. CONCLUSIONES

1. La temperatura superficial del suelo (TSS) en el área de influencia del nevado Sara Sara, cuenta con valores heterogéneos de valores mínimos de 7,5;9,3 y 9,2 °C de los años 1990, 2000 y 2013 respectivamente, y valores máximos 14,5; 14,8; 14,5; 14,4 y 14,5 °C de los años 2008, 2010, 2014, 2015 y 2019.
2. La precipitación acumulada (Ppa) en el área de influencia el nevado Sara Sara, en gran parte de los años evaluados muestran valores que van desde 0,1 a 0,4 mm, así como valores altos de 5,3; 5,1 y 6,6 mm de los años 1998, 2013 y 2018.
3. El área de cobertura nival (ACN) del nevado Sara Sara, presentan valores heterogéneos con valor mínimo de 13,4 ha en el año 1992 y valores máximos de 690,4; 638,5 y 698,9 ha en los años 1999, 2001 y 2013 respectivamente.
4. La relación entre la temperatura superficial del suelo (TSS) en el área de influencia y el área de cobertura nival (ACN) del nevado Sara Sara, según el coeficiente de correlación de Pearson ($\alpha = 0,05$) es negativa débil ($r = -0,3324174$); además, se evidencia la inexistencia de una relación estadística significativa ($p = 0,07809$) entre ambas variables.
5. La relación entre la precipitación acumulada (Ppa) del área de influencia y el área de cobertura nival (ACN) del nevado Sara Sara, según el coeficiente de correlación de Spearman ($\alpha = 0,05$) es positiva débil ($r=0,3197044$); además, indica la inexistencia de una relación estadística significativa ($p = 0,09125$) entre ambas variables.

VII. RECOMENDACIONES

- A los investigadores, realizar un estudio más completo que incluya variables como altitud, latitud, radiación solar, entre otras, para proporcionar una explicación más detallada de la situación cambiante en el área del nevado Sara Sara, teniendo en cuenta ambas estaciones y utilizando imágenes pancromáticas. Además, se debería medir la escorrentía generada por los nevados para obtener una comprensión más profunda y sustentable sobre la importancia de estos, ya que proporcionan una gran cantidad de agua a las comunidades cercanas y a los ecosistemas. De esta manera, se podrán obtener resultados más precisos y completos que contribuyan a una gestión adecuada y sostenible de los recursos naturales en la región.
- Sería conveniente que la Municipalidad provincial de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara instale una estación meteorológica cerca del nevado Sara Sara. Esto permitiría obtener datos climáticos más precisos y confiables, lo que resultaría de gran utilidad para determinar con mayor exactitud el comportamiento y la evolución del nevado. De esta manera, se podrían tomar medidas adecuadas para protegerlo y garantizar su preservación en el tiempo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amat Rodrigo, J. (2016). *Análisis de normalidad: Gráficos y contrastes de hipótesis con R*. https://www.cienciadedatos.net/documentos/8_analisis_normalidad
- ANA. (2019). Retroceso glaciar en la Cordillera Blanca 1948—2018. *Autoridad Nacional del Agua*. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3770>
- Aybar Camacho, C., Lavado Casamiro, W., Huerta Julca, A., Fernández Palomino, C., Vega Jácome, F., Sabino Rojas, E., & Felipe Obando, O. G. (2017). *Uso del Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico*. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-8.pdf>
- Barriga Ávila, N. C. (2019). *Escenarios futuros de una muestra de los glaciares más representativos de la zona central de Chile, a partir de sus variaciones climáticas* [Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173612>
- Bautista Tenorio, J. D. (2019). *Influencia de la temperatura superficial en la dinámica espacio temporal de la cobertura nival en los nevados Portuguesa y Razhuillca. Ayacucho*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Bomshoms Calvelo, M., Quispe Gutiérrez, N., & Quispe Vega, K. (2018). *Estudio de la frecuencia de nevadas en el Perú* (p. 56). SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-46.pdf>
- Cara, L., Masiokas, M., Viale, M., & Villalba, R. (2015). *Análisis de la Cobertura Nival de la Cuenca Superior del río Mendoza a partir de imágenes MODIS*. 41, 16.
- Carrión Olivares, D. A. (2010). *Análisis de un posible vaciamiento del lago Greve, Campo de Hielo Sur, en relación con distintos escenarios climáticos* [Universidad de Chile]. <http://antarticarepositorio.umag.cl/handle/20.500.11894/117>
- Childs, C. (2004). *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. Obtenido de ESRI Education Services: <https://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf>

- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda). <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Díaz Aguilar, R. D., Sanchez Larico, S. V., Lujano Laura, E., & Lujano Laura, A. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(3), 265-274. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.291>
- Dominic, R. (2015). *El uso de bases de datos climáticos netCDF con estructura matricial en el entorno de R*. 27: 11-37, 27.
- Dozier, J. (1989). Spectral signature of Alpine snow cover from LANDSAT Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 45, 9-22. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90101-6)
- EOS. (2020, septiembre 30). *Datos Geoespaciales Y Su Analítica Usando Servicios EOSDA*. <https://eos.com/es/>
- EPA. (2016). *Snow Cover*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/print_snow-cover-2016.pdf
- Fallas, J. (2012). *Correlación Lineal*. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/correlacion_lineal_2012.pdf
- Ferrando, F. (2014). *Análisis y propuesta de definición de «Glaciar»*. Departamento de Geografía –FAU- Universidad de Chile. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=18201&prmTIPO=DOCUMENTO>
- GLOBE. (2005). *Protocolo de Temperatura Superficial*. <https://www.globe.gov/documents/16257217/17240639/Protocols+de+Temperatura+Superficial/3bc6d996-de55-4c22-8a47-8160f6609b52>
- Ibañez Blancas, A. N., Miranda Corzo, A. X. & Álvarez Sánchez, E. (2020). Cambios en las áreas nevadas y tendencias en la cobertura de nieve para el 2030 en el sur del Perú. *Revista Redalyc*, 36(59). <https://www.redalyc.org/journal/721/72166221002/72166221002.pdf>
- Khromova, T. E. (2010). Cryosphere and Climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 13, 011001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/13/1/011001>

- MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú* (Primera).
<https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Moncada, W., & Willems, B. (2020a). Análisis espacial y temporal de la temperatura superficial en la microcuenca Apacheta mediante datos térmicos Landsat. *Ecología Aplicada*, 19(2), 93.
<https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1560>
- Moncada, W., & Willems, B. (2020b). Análisis espacial y temporal de la temperatura superficial en la microcuenca Apacheta mediante datos térmicos Landsat. *Revista de Teledetección*, 0(57), 51-63.
<https://doi.org/10.4995/raet.2020.13855>
- ONU. (2002). *Tratados y principios de las Naciones Unidas sobre el espacio ultraterrestre* (p. 75). Naciones Unidas.
<https://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11S.pdf>
- Pabón, J. D., Zea, J., León, G., Hurtado, G., González, O. C., & Montealegre, J. E. (1998). *La atmósfera, el tiempo y el clima*.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/medioambiente/cap3partel.pdf>
- PhD, A. D. (2019). *Métodos Cuantitativos*.
<https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/>
- PISCO - SENAMHI. (2021). *Conjunto de datos: SENAMHI HSR PISCO Prec v2p1 estable mensual*. Recuperado 10 de abril de 2021, de <http://iridl.ideo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/v2p1/.stable/.monthly/?Set-Language=es>
- Pita Fernández, S., & Pértega Díaz, S. (1991). *Relación entre variables cuantitativas*. 8.
- Ramos Alonzo, R. B. (2018). *Evolución de la cobertura glaciar del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3321>
- Restrepo B, L. F., & González L, J. (2007). *De Pearson a Spearman*.
<https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023034010.pdf>
- Rivera Porras, M. A., Cueva Sandoval, K. A., Le Pennec, J.-L., Vela Valdez, J., Samaniego Eguiguren, P., Manrique Llerena, N., & Soncco Calsina, Y. (2020). *Geología y evaluación de peligros del volcán Sara Sara (Ayacucho)* (INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; n° 78, p. 159). INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2992>

- Rodríguez Jiménez, R. M., Benito Capa, Á., & Portela Lozano, A. (2004). *Meteorología y climatología: Unidad didáctica*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. https://www.academia.edu/38729866/Meteorolog%C3%ADa_y_Climatolog%C3%ADa_Semana_de_la_Ciencia_y_la_Tecnolog%C3%ADa_2004_FUNDACIONESPA%C3%93N_ESPA%C3%91OLA_PARA_LA_CIENCIA_Y_LA_TECNOLOG%C3%8DA
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (2016), *Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo*, Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 250 pp.
- Sáez Alveal, N. (2018). *Estimación de los efectos del cambio climático en la extensión y volumen de los glaciares GREY, TYNDALL y DICKSON, en el periodo 1998—2017* [Universidad de Concepción]. <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3084/4/S%C3%A1ez%20Alveal.pdf>
- Santos, B. (2016). *Cubierta Nival y Temperaturas de Superficie en Sierra Nevada a través del tratamiento digital de imágenes de satélite* [Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/401437>
- Schauwecker, S., Kronenberg, M., & Cruz, R. (2017). *El futuro del clima y de los glaciares en el Perú*. Proyecto Glaciares. <https://www.proyectoglaciares.pe/wp-content/uploads/2018/05/Informe-Futuro-del-Clima-y-de-los-Glaciares-en-el-Peru.pdf>
- Schoolmeester, T., Johansen, K. S., Alfthan, B., Hesping, M., & Verbist, K. (2018). *El Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*. UNESCO y GRID-Arenda. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266209>
- Suarez, W.; Bello, C.; Cruz R.; Arias, S.; Zegarra, J & Brondi, F. (2022). *Evaluación del Balance de masa de un Glaciar Antártico: Glaciar Znosko*. Estudio Final. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI.
- Treimun R., J., & Monsalve T., R. (2015). *Análisis del comportamiento temporal de la superficie y la temperatura superficial del Campo de Hielo Patagónico Norte, Región de Aysén, Chile. Periodo 2001-2014*. https://www.researchgate.net/publication/321245301_Analisis_del_compo

rtamiento_temporal_de_la_superficie_y_la_temperatura_superficial_del_Campo_de_Hielo_Patagonico_Norte_Region_de_Aysen_Chile_Periodo_2001-2014

- UCH. (2018). *¿Qué son las imágenes satelitales?* Blog de la Universidad de Ciencias y Humanidades UCH. <http://blog.uch.edu.pe/ingenieria-electronica-con-mencion-en-telecomunicaciones/que-son-las-imagenes-satelitales/>
- Useros F., J. L. (2013). El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71-98.
- USGS (2001). *Ciencia, Sociedad, Soluciones: Una Introducción al USGS* (Archivo PDF). <https://pubs.usgs.gov/fs/2001/0107/report.pdf>
- USGS. (2021). *¿Cómo utilizo un factor de escala con los productos científicos Landsat Level-2?* Recuperado 10 de abril de 2021, de https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-a-scale-factor-landsat-level-2-science-products?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
- USGS. (2020). *Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI)—Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 Level 2 (L2) Data Format Control Book (DFCB)*. https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1328_Landsat8-9-OLI-TIRS-C2-L2-DFCB-v6.pdf
- USGS. (2020). *Landsat Thematic Mapper (TM) Collection 2 (C2) Level 2 (L2) Data Format Control Book (DFCB)* (p. 62).
- USGS. (2021). *Glosario de Landsat*. <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-glossary>
- Vila, A., Sedano, M., López, A., & A. Juan, Á. (2011). *Correlación Lineal y Análisis de Regresión*. 21.

ANEXOS

Anexo 1. Portada del servidor USGS (2021).

The image shows the EarthExplorer web interface. At the top left is the USGS logo with the tagline "science for a changing world". Below the logo, the text "EarthExplorer" and "Manage Criteria" is visible. On the right side of the top bar, there is a "Item Basket (22)" icon, and links for "Help", "Feedback", and "Logout [JHRN_LSK]".

The main interface is divided into two panels. The left panel is titled "1. Enter Search Criteria" and contains the following elements:

- A text box for "To narrow your search area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the help documentation), and/or choose a date range."
- A "Geocoder" section with a "KML/Shapefile Upload" button and a "Select a Geocoding Method" dropdown menu set to "Feature (GNIS)".
- A "Search Limits" section with a note: "The search result limit is 100 records; select a Country, Feature Class, and/or Feature Type to reduce your chances of exceeding this limit." Below this are "US Features" and "World Features" tabs.
- Form fields for "Feature Name" (with a note "(use % as wildcard)"), "State" (dropdown menu set to "All"), and "Feature Type" (dropdown menu set to "All").
- "Show" and "Clear" buttons.
- Buttons for "Polygon", "Circle", and "Predefined Area".
- Buttons for "Degree/Minute/Second" and "Decimal".
- A status message: "No coordinates selected."

The right panel is titled "Search Criteria Summary (Show)" and contains a "Clear Search Criteria" link. Below this is a world map showing the Americas, Europe, and Africa. A coordinate box in the top right of the map displays "(35° 44' 47\" N, 043° 25' 04\" W)".

Anexo 2. Ejecución de la función Shapiro.test en el programa Rstudio para determinar la normalidad de temperatura superficial del suelo, precipitación acumulada y área de cobertura nival.

```
# Para temperatura superficial de suelo (TSS)
shapiro.test(DF$TSS)
> shapiro.test(DF$TSS)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  DF$TSS
W = 0.96168, p-value = 0.3614

# Para precipitación acumulada (PP)
shapiro.test(DF$PP)
> shapiro.test(DF$PP)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  DF$PP
W = 0.51395, p-value = 1.093e-08

# Para área de cobertura nival (ACN)
shapiro.test(DF$Area_Nevado)
> shapiro.test(DF$Area_Nevado)

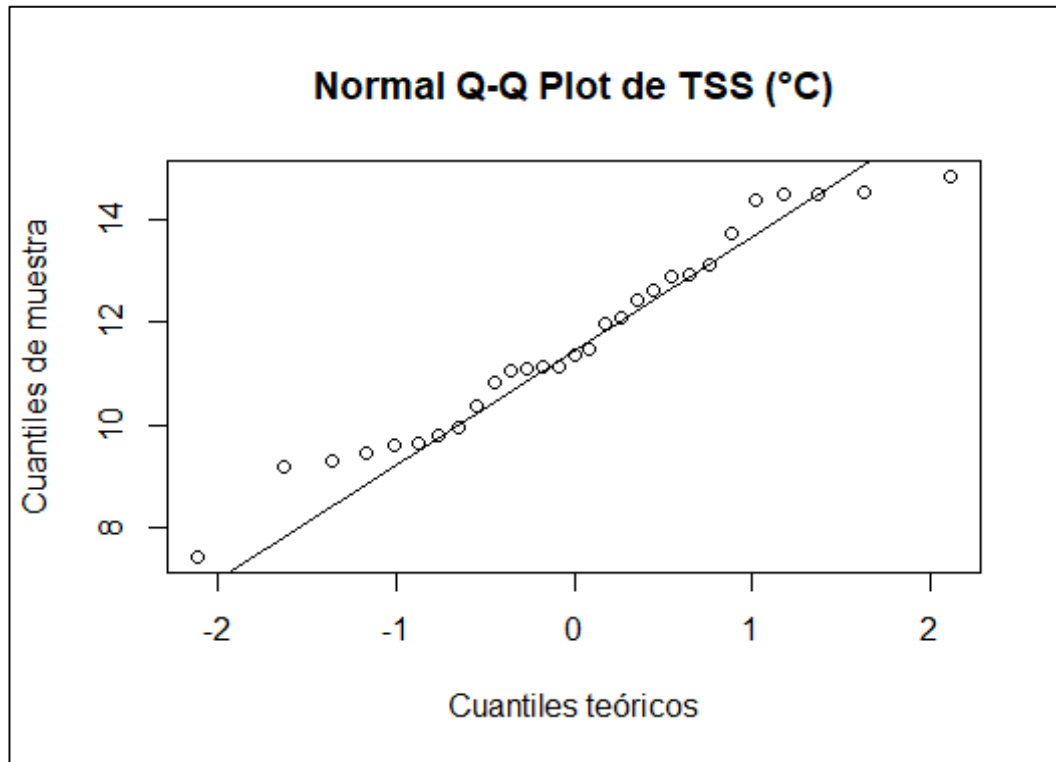
      Shapiro-Wilk normality test

data:  DF$Area_Nevado
W = 0.95842, p-value = 0.3003
```

Leyenda. TSS: Temperatura superficial del suelo, Ppa: Precipitación acumulada y ACN: Área de cobertura nival.

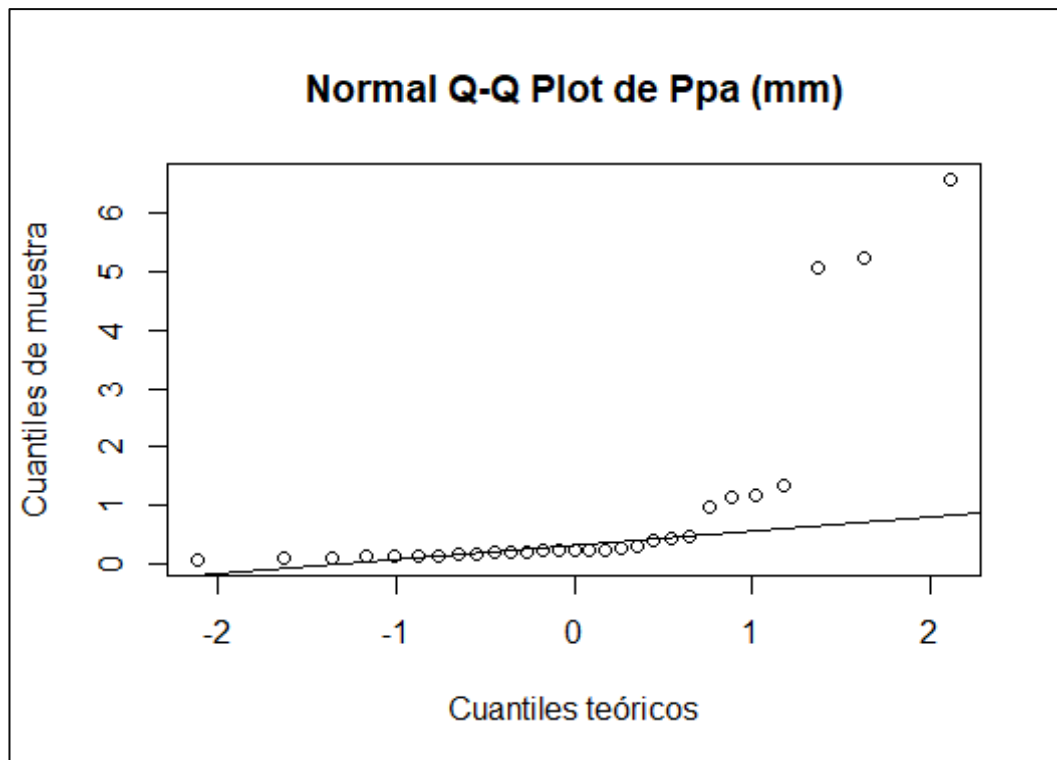
Nota: Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, ya que, se cuenta con $n \leq 50$.

Anexo 3. Gráfico de normalidad Q-Q Plot para la temperatura superficial del suelo (TSS).



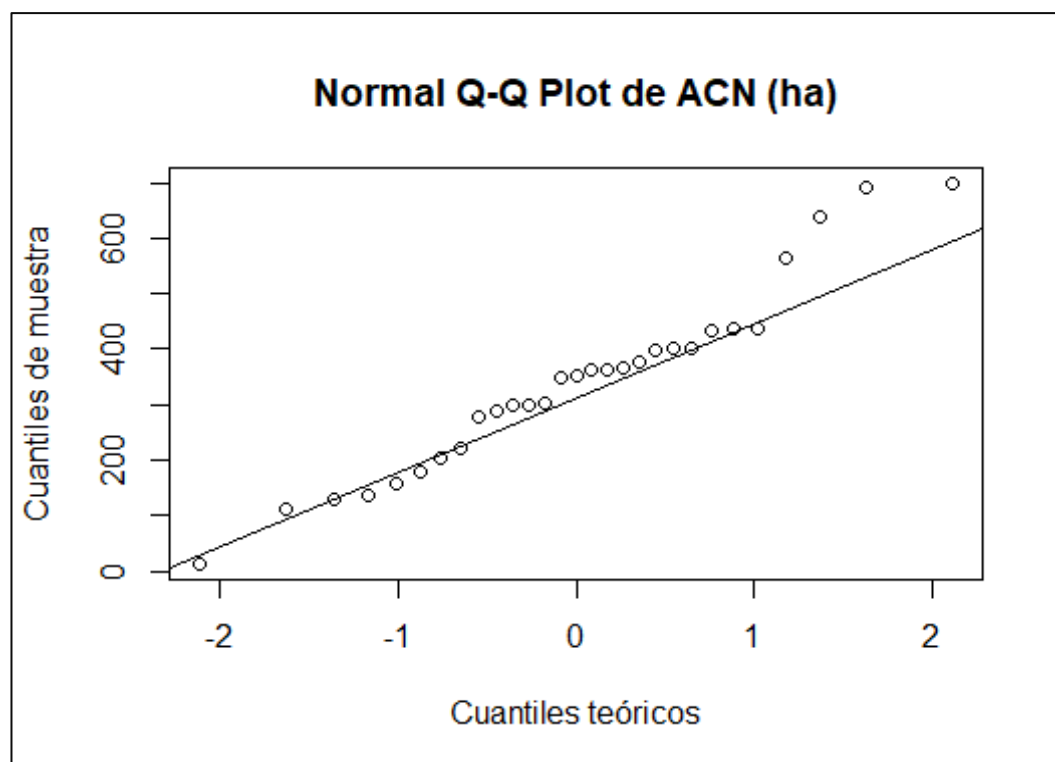
Nota: Los datos de TSS provienen de una distribución normal, a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Anexo 4. Gráfico de Normalidad Q-Q Plot para la precipitación acumulada (Ppa).



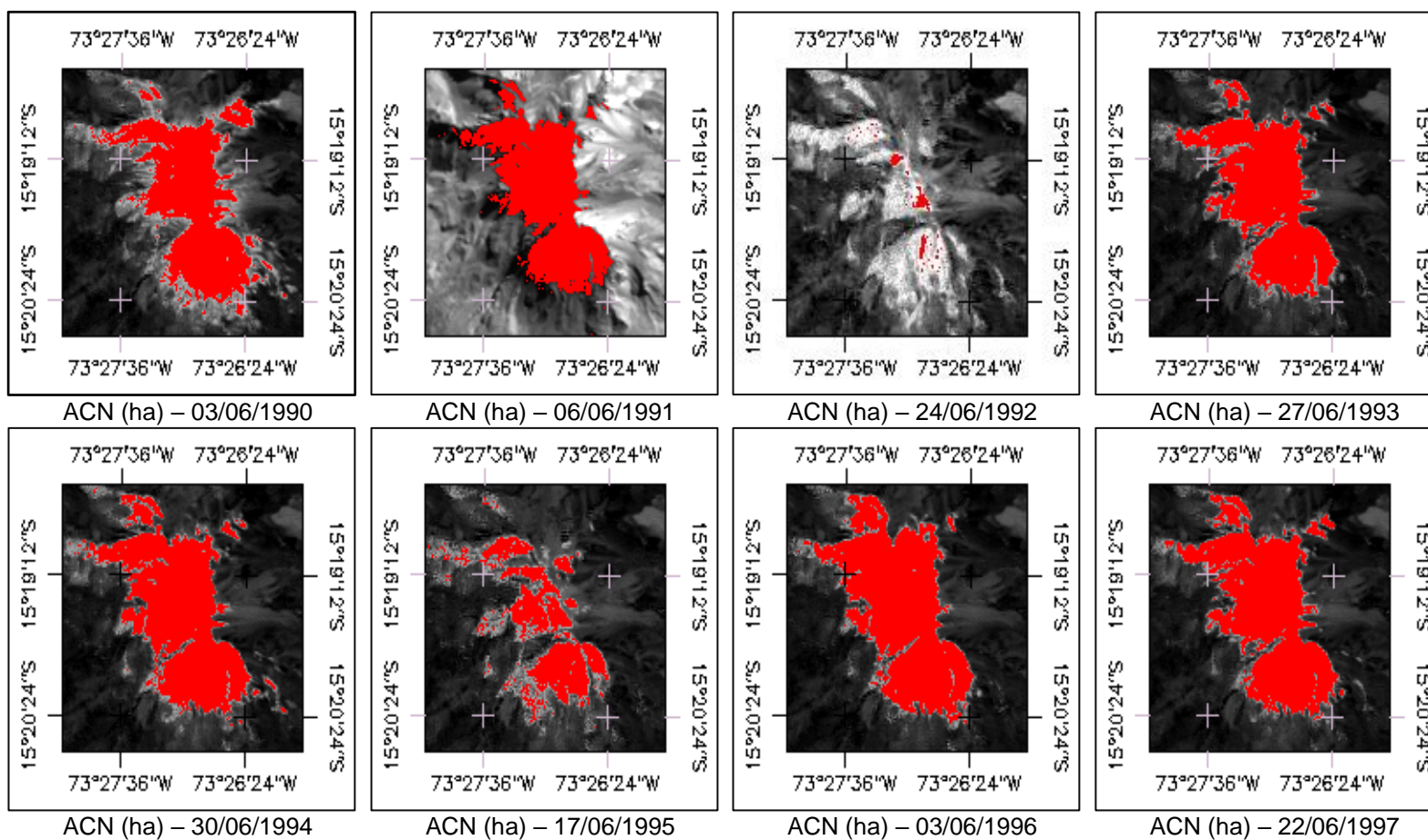
Nota: Los datos de Ppa provienen de una distribución no normal, a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

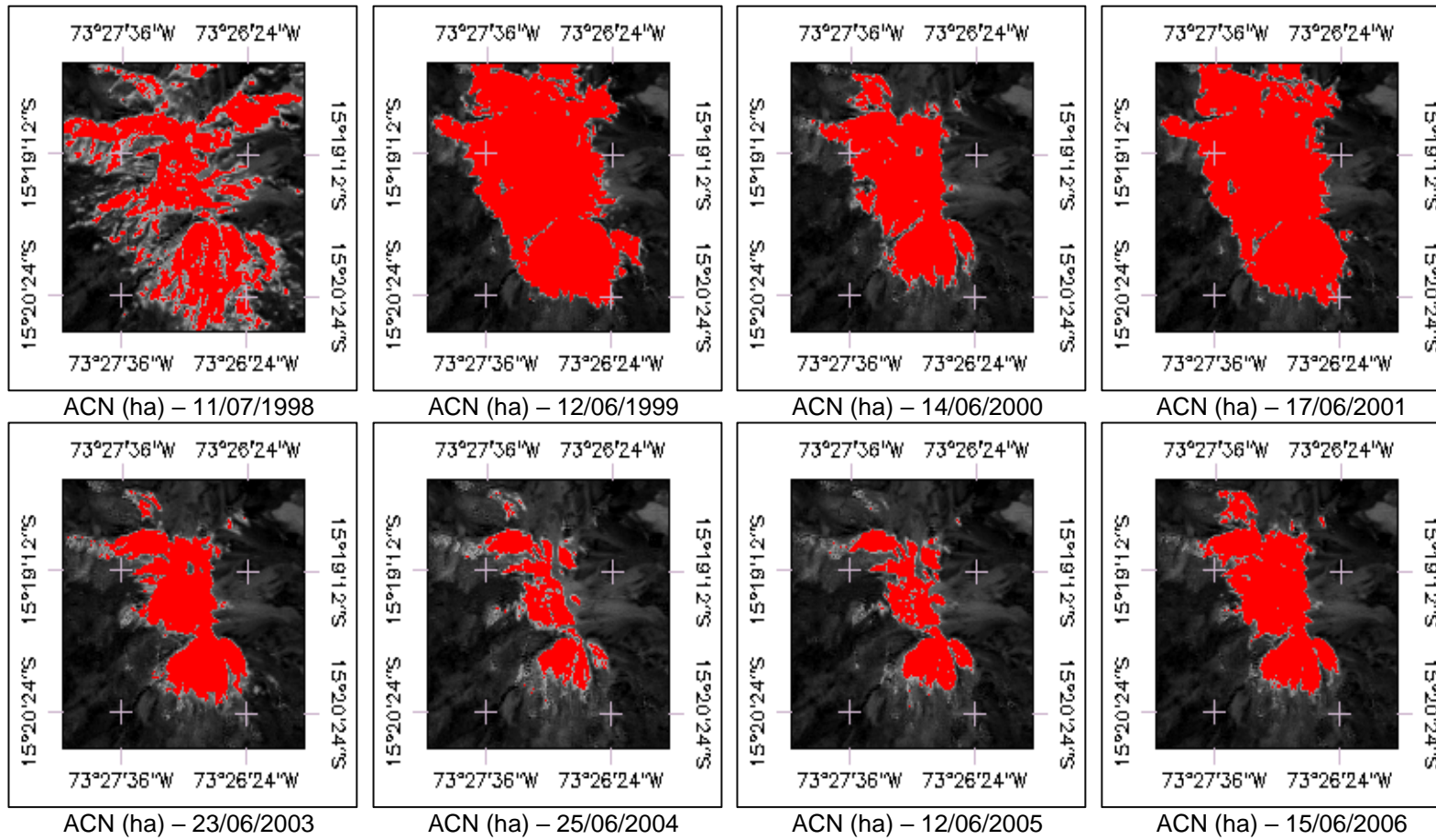
Anexo 5. Gráfico de Normalidad Q-Q Plot para el área de cobertura nival (ACN).

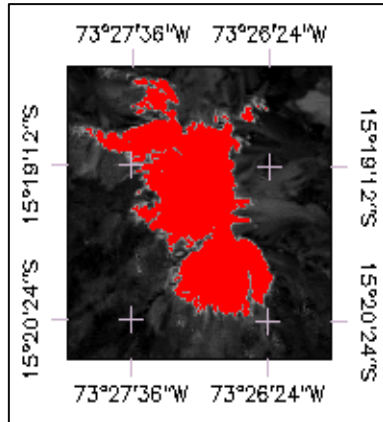


Nota: Los datos de ACN provienen de una distribución normal, a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

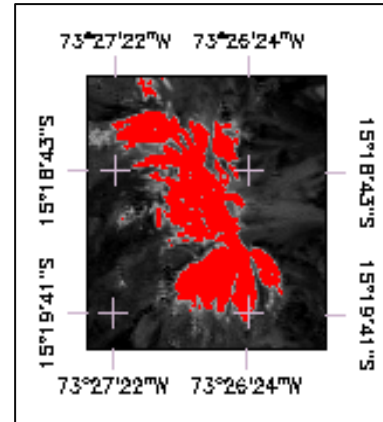
Anexo 6. Mapas de distribución espacial de la cobertura nival del nevado Sara Sara del mes de junio, departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.



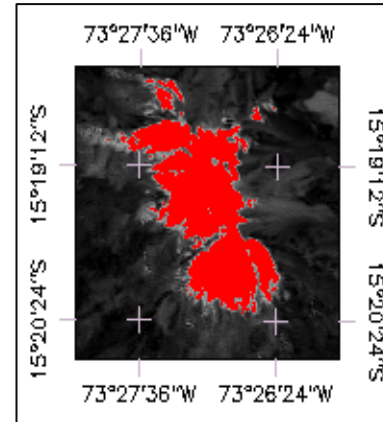




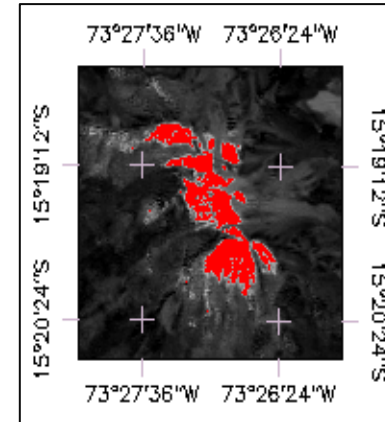
ACN (ha) – 04/07/2007



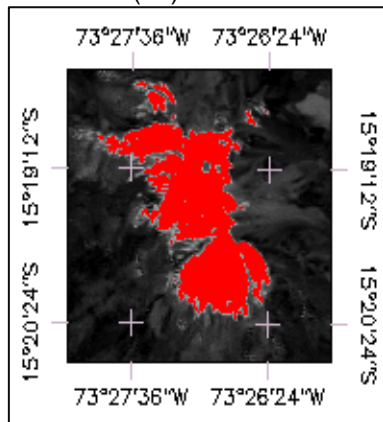
ACN (ha) – 04/06/2008



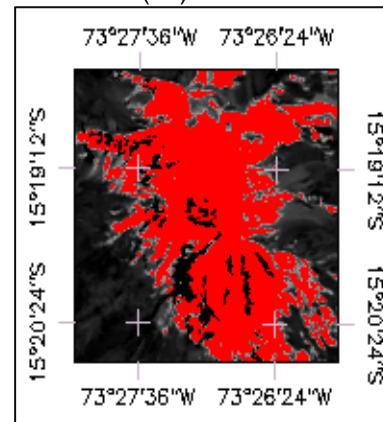
ACN (ha) – 23/06/2009



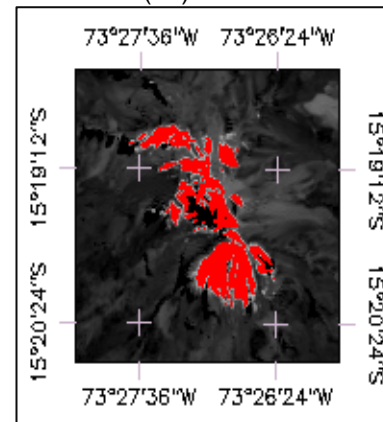
ACN (ha) – 26/06/2010



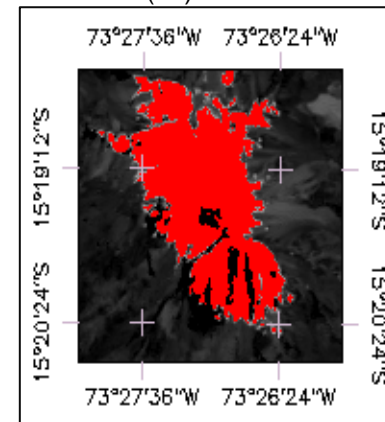
ACN (ha) – 29/06/2011



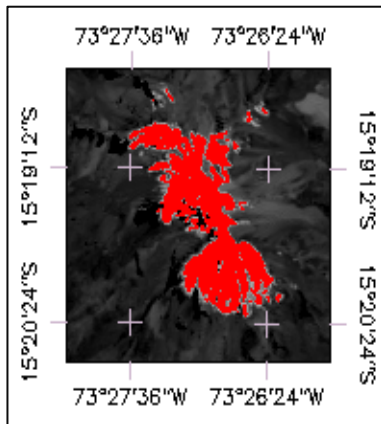
ACN (ha) – 18/06/2013



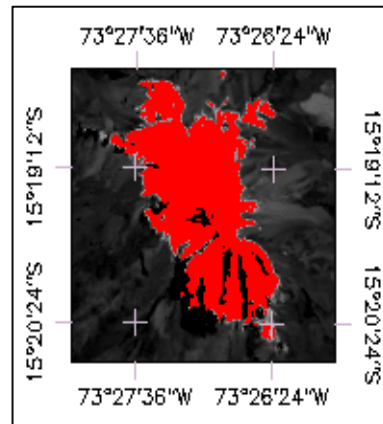
ACN (ha) – 21/06/2014



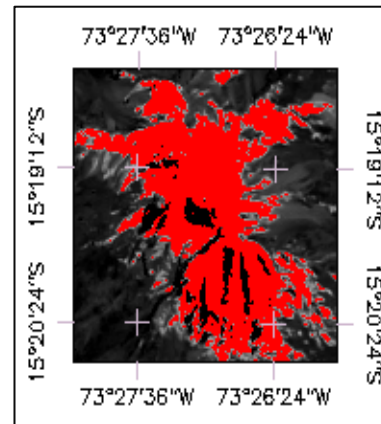
ACN (ha) – 24/06/2015



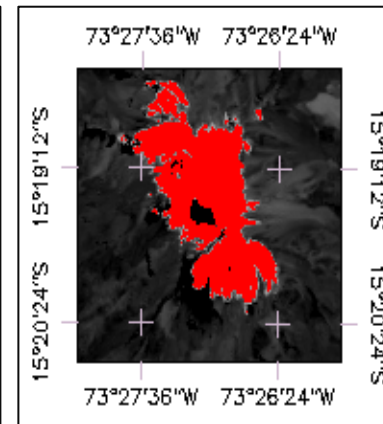
ACN (ha) – 26/06/2016



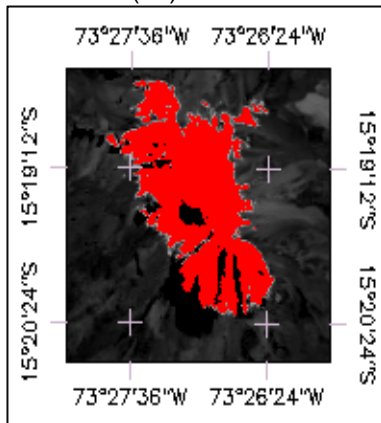
ACN (ha) – 13/06/2017



ACN (ha) – 02/07/2018



ACN (ha) – 19/06/2019

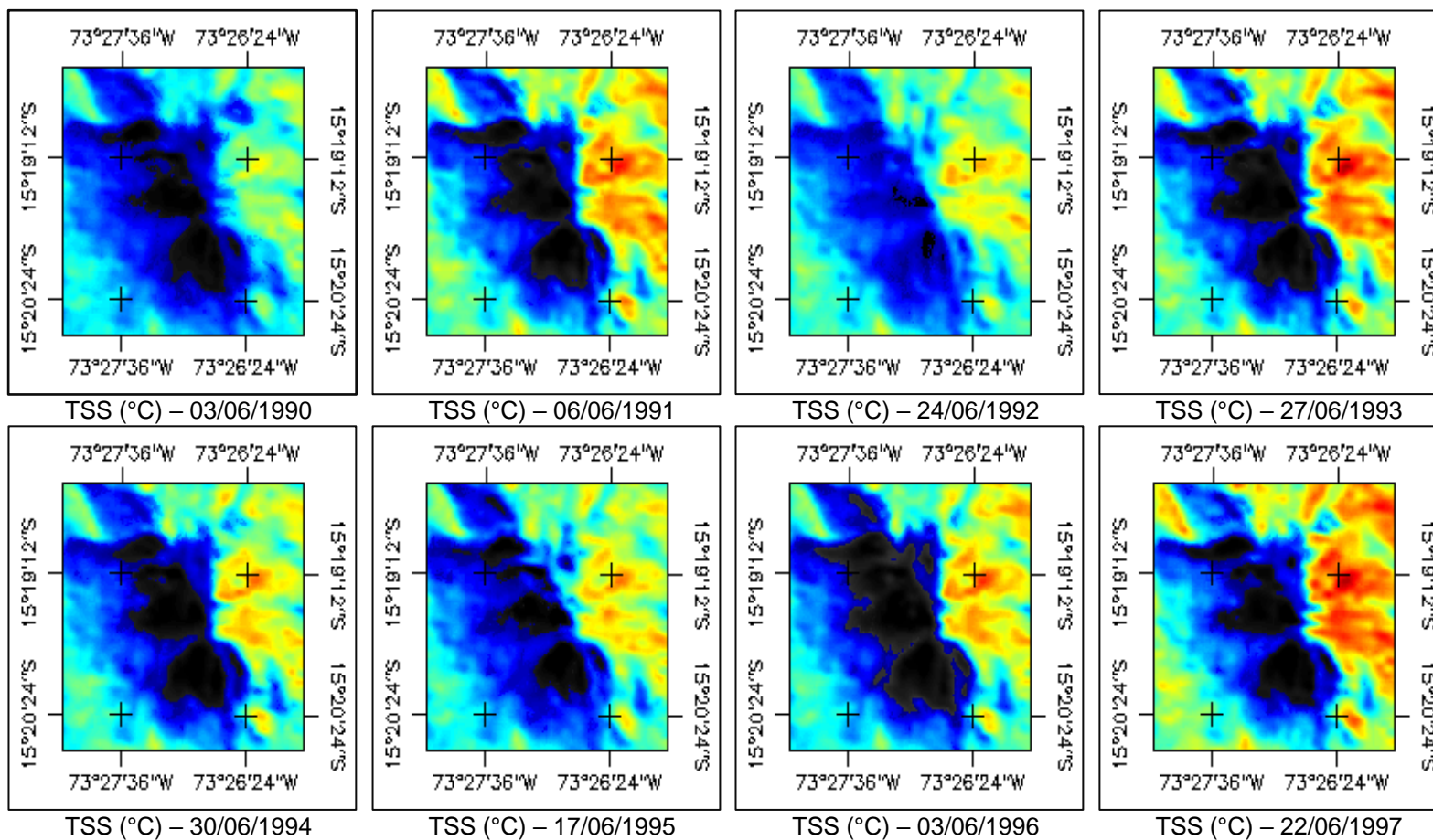


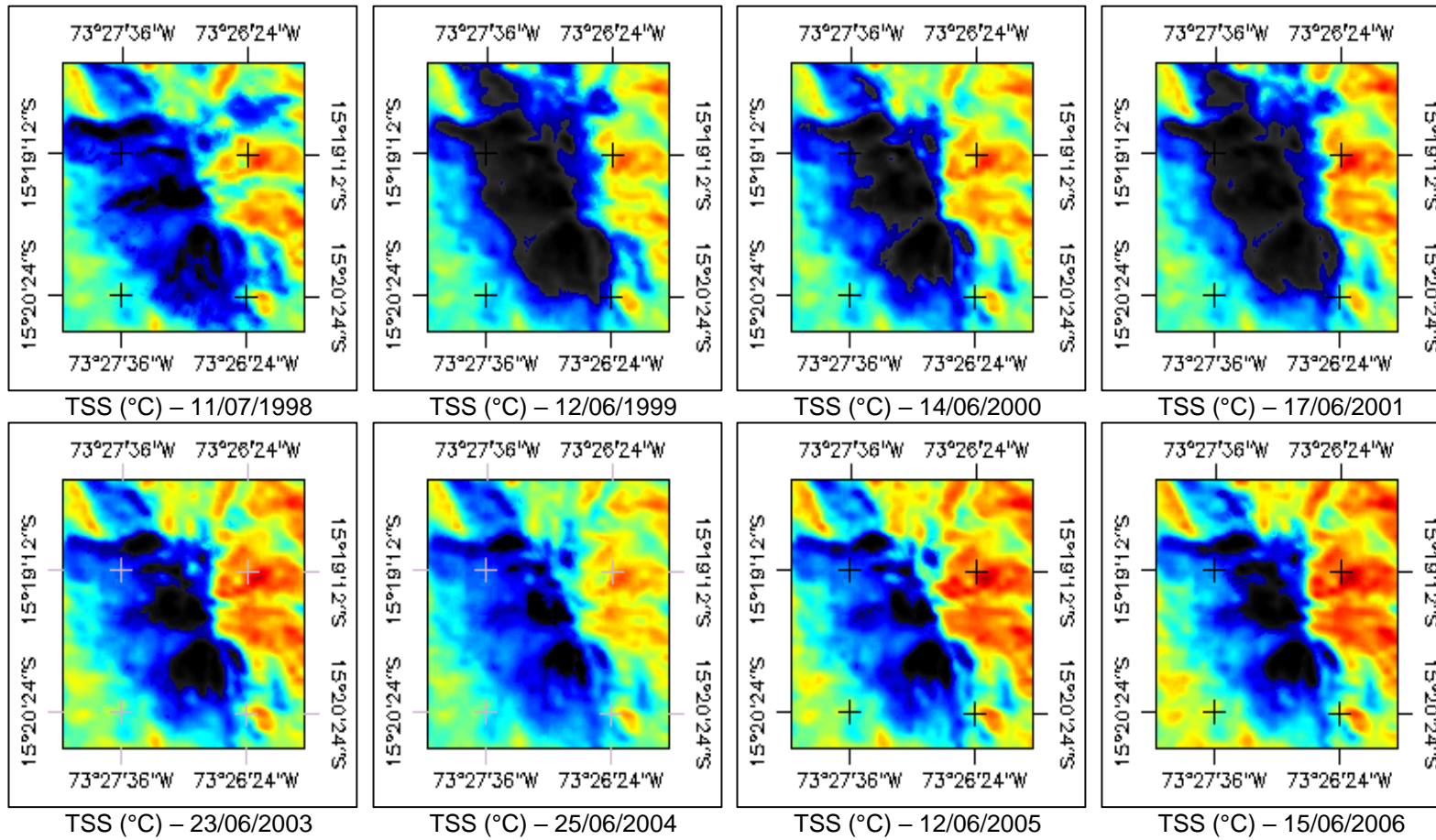
ACN (ha) – 21/06/2020

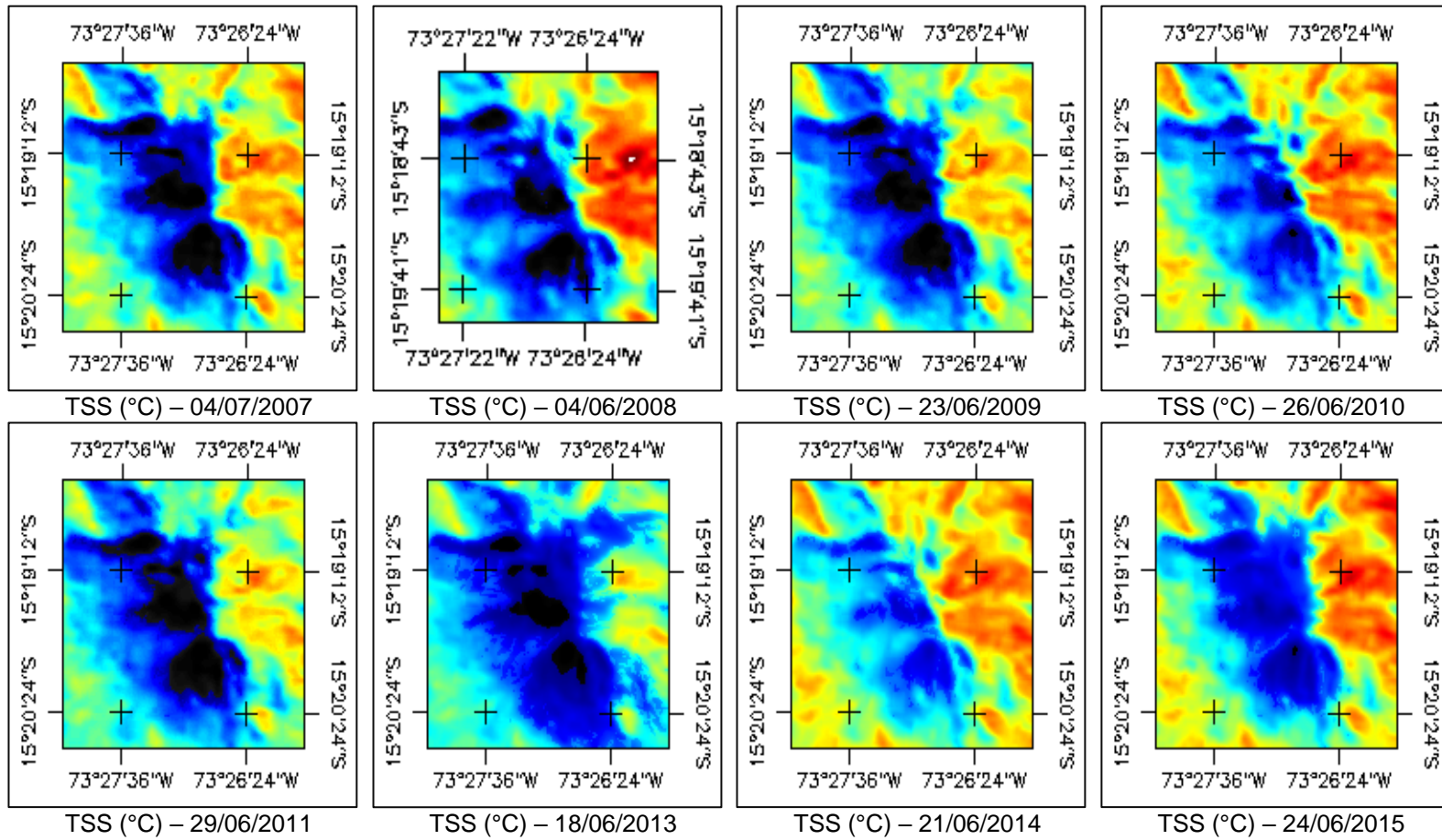
LEYENDA

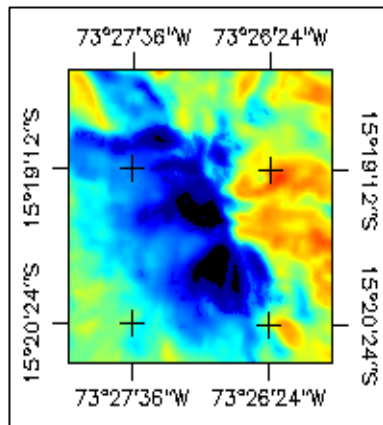
 Cobertura Nival

Anexo 7. Mapas de distribución espacial de temperatura superficial del suelo en el área de influencia del nevado Sara Sara, del mes de junio departamento Ayacucho, periodo 1985-2020.

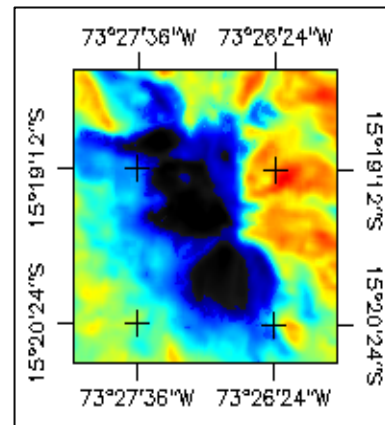




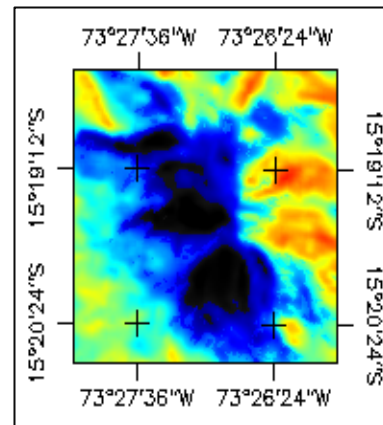




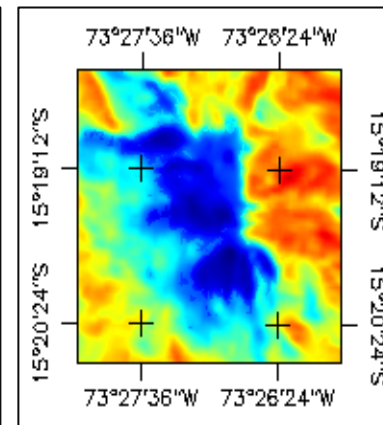
TSS (°C) – 26/06/2016



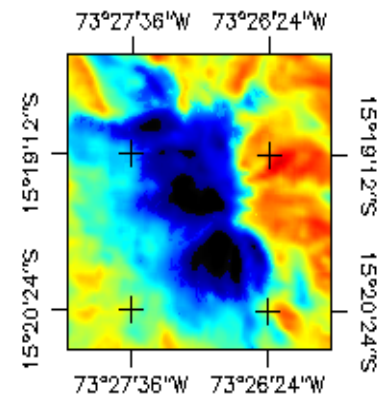
TSS (°C) – 13/06/2017



TSS (°C) – 02/07/2018

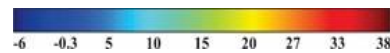


TSS (°C) – 19/06/2019



TSS (°C) – 21/06/2020

LEYENDA



Escala de valores de temperatura superficial del suelo – TSS.

Anexo 8. Modelo de R Script para la obtención de datos, a partir de la información descargada de la plataforma PISCO-SENAMHI.

```
# Autor: Adrian Huerta & Waldo Lavado

# Para la ruta de la carpeta donde están los datos descargados de Pisco y debe estar el archivo
".csv de las estaciones meteorológicas
setwd("F:/PROYECTO_2021/Program-R")

#install.packages("raster") # Se instaló el paquete
#install.packages("ncdf4") # Se instaló el paquete
library(raster) #cargar el paquete
library(ncdf4) #cargar el paquete

## Para leer el archivo long_lat.csv, de las de las estaciones: XX Longitud e YY Latitud
long_lat <- read.csv("Entrada/Longitud_Latitud/long_lat.csv", header = T)

### Ensamblamos los datos *.nc
raster_pp <- raster::brick("Entrada/Pisco_Pp/Prec.nc")

## Asignamos las coordenadas
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY

# Igualamos las proyecciones del raster y de los puntos a extraer
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)

# Extraccion de datos para Precipitacion
points_long_lat_pp <- raster::extract(raster_Pp[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]
data_long_lat_pp <- t(raster_Pp[points_long_lat_pp])
colnames(data_long_lat_pp) <- as.character(long_lat$NN)

# Para guardar los archivos y en csv
write.csv(data_long_lat_pp, "Salida/Pp/Prec.csv", quote = F)
```

Anexo 9. Datos de área de cobertura nival (ACN) del nevado Sara Sara, obtenidas del mes de junio correspondiente al NDSI > 0,4 (2015).

n.º	Npts	n.º	Npts
1	14	39	21
2	10	40	19
3	16	41	18
4	9	42	20
5	16	43	14
6	18	44	18
7	13	45	28
8	12	46	26
9	9	47	25
10	8	48	34
11	15	49	40
12	8	50	31
13	10	51	29
14	12	52	39
15	14	53	38
16	19	54	41
17	17	55	43
18	18	56	41
19	17	57	33
20	10	58	35
21	9	59	50
22	13	60	45
23	24	61	54
24	13	62	60
25	13	63	59
26	15	64	85
27	14	65	99
28	16	66	100
29	22	67	102
30	12	68	167
31	12	69	173
32	5	70	260
33	17	71	301
34	21	72	300
35	22	73	251
36	19	74	193
37	25	75	173
38	18	76	108

Leyenda. ACN: Área de cobertura nival y Npts: Número de puntos (la cantidad de puntos con presencia de nieve).

Fuente: Datos obtenidos a base de las imágenes de satélite descargados del servidor USGS (2021).

Anexo 10. Datos de temperatura superficial del suelo (TSS) del área de influencia del nevado Sara Sara, obtenidas del mes de junio (2015).

N°	TSS (°C) por pixel	N°	TSS (°C) por pixel	N°	TSS (°C) por pixel	N°	TSS (°C) por pixel	N°	TSS (°C) por pixel	N°	TSS (°C) por pixel
1	-6.24	44	0.75	87	7.74	130	14.73	173	21.72	216	28.70
2	-6.08	45	0.91	88	7.90	131	14.89	174	21.88	217	28.87
3	-5.91	46	1.08	89	8.06	132	15.05	175	22.04	218	29.03
4	-5.75	47	1.24	90	8.23	133	15.21	176	22.20	219	29.19
5	-5.59	48	1.40	91	8.39	134	15.38	177	22.37	220	29.35
6	-5.43	49	1.56	92	8.55	135	15.54	178	22.53	221	29.52
7	-5.26	50	1.73	93	8.71	136	15.70	179	22.69	222	29.68
8	-5.10	51	1.89	94	8.88	137	15.86	180	22.85	223	29.84
9	-4.94	52	2.05	95	9.04	138	16.03	181	23.02	224	30.00
10	-4.78	53	2.21	96	9.20	139	16.19	182	23.18	225	30.17
11	-4.61	54	2.38	97	9.36	140	16.35	183	23.34	226	30.33
12	-4.45	55	2.54	98	9.53	141	16.51	184	23.50	227	30.49
13	-4.29	56	2.70	99	9.69	142	16.68	185	23.67	228	30.65
14	-4.13	57	2.86	100	9.85	143	16.84	186	23.83	229	30.82
15	-3.96	58	3.03	101	10.01	144	17.00	187	23.99	230	30.98
16	-3.80	59	3.19	102	10.18	145	17.16	188	24.15	231	31.14
17	-3.64	60	3.35	103	10.34	146	17.33	189	24.32	232	31.30
18	-3.48	61	3.51	104	10.50	147	17.49	190	24.48	233	31.47
19	-3.31	62	3.68	105	10.66	148	17.65	191	24.64	234	31.63
20	-3.15	63	3.84	106	10.83	149	17.81	192	24.80	235	31.79
21	-2.99	64	4.00	107	10.99	150	17.98	193	24.97	236	31.95
22	-2.83	65	4.16	108	11.15	151	18.14	194	25.13	237	32.12
23	-2.66	66	4.33	109	11.31	152	18.30	195	25.29	238	32.28
24	-2.50	67	4.49	110	11.48	153	18.47	196	25.45	239	32.44
25	-2.34	68	4.65	111	11.64	154	18.63	197	25.62	240	32.60
26	-2.18	69	4.81	112	11.80	155	18.79	198	25.78	241	32.77
27	-2.01	70	4.98	113	11.96	156	18.95	199	25.94	242	32.93
28	-1.85	71	5.14	114	12.13	157	19.12	200	26.10	243	33.09
29	-1.69	72	5.30	115	12.29	158	19.28	201	26.27	244	33.25
30	-1.53	73	5.46	116	12.45	159	19.44	202	26.43	245	33.42
31	-1.36	74	5.63	117	12.61	160	19.60	203	26.59	246	33.58
32	-1.20	75	5.79	118	12.78	161	19.77	204	26.75	247	33.74
33	-1.04	76	5.95	119	12.94	162	19.93	205	26.92	248	33.90
34	-0.88	77	6.11	120	13.10	163	20.09	206	27.08	249	34.07
35	-0.71	78	6.28	121	13.26	164	20.25	207	27.24	250	34.23
36	-0.55	79	6.44	122	13.43	165	20.42	208	27.40	251	34.39
37	-0.39	80	6.60	123	13.59	166	20.58	209	27.57	252	34.55
38	-0.23	81	6.76	124	13.75	167	20.74	210	27.73	253	34.72
39	-0.06	82	6.93	125	13.91	168	20.90	211	27.89	254	34.88
40	0.10	83	7.09	126	14.08	169	21.07	212	28.05	255	35.04
41	0.26	84	7.25	127	14.24	170	21.23	213	28.22		
42	0.42	85	7.41	128	14.40	171	21.39	214	28.38		
43	0.59	86	7.58	129	14.56	172	21.55	215	28.54		

Leyenda. TSS: Temperatura superficial del suelo.

Fuente: Datos obtenidos a base de las imágenes de satélite descargados del servidor USGS (2021).

Anexo 11. Datos de precipitación acumulada (Ppa) del nevado Sara Sara, obtenidas del mes de junio (2015).

N°	Estaciones meteorológicas	Ppa (mm) – junio
1	CARAVELI	0.211
2	CHAPARRA	0.156
3	TARCO	0.108
4	PAUSA	0.205
5	INCUYO	0.187
6	PULLO	0.057
7	LAMPA	0.768
8	CARHUANILLAS	0.000

Leyenda. Ppa: Precipitación acumulada.

Fuente: Datos obtenidos a base de la información descargada del servidor Pisco-SENAMHI (2021).

Anexo 12. Ejecución de la función Cor.test de Pearson en el Programa Rstudio, para la correlación entre las variables temperatura superficial del suelo y área de cobertura nival.

```
# Correlación entre temperatura superficial del suelo (TSS) y área de cobertura nival (ACN)
cor.test(datos_tesis_2021$`TSS (°C)`, datos_tesis_2021$`ACN_(ha)`,
         method = "pearson", conf.level=0.95)

# Resultado de la correlación

> cor.test(datos_tesis_2021$`TSS (°C)`, datos_tesis_2021$`ACN_(ha)`,
+         method = "pearson", conf.level=0.95)

Pearson's product-moment correlation

data: datos_tesis_2021$`TSS (°C)` and datos_tesis_2021$`ACN_(ha)`
t = -1.8314, df = 27, p-value = 0.07809
95 percent confidence interval:
-0.62301888 0.03881756
sample estimates:
cor
-0.3324174
```

Leyenda. TSS: Temperatura superficial del suelo y ACN: Área de cobertura nival.

Anexo 13. Ejecución de la función Cor.test de Spearman en el Programa Rstudio, para la correlación entre las variables precipitación acumulada y área de cobertura nival.

```
# Correlación entre precipitación acumulada (Ppa) y área de cobertura nival (ACN)
cor.test(datos_tesis_2021$`Ppa_(mm)`, datos_tesis_2021$`ACN_(ha)`,
         method = "spearman", conf.level=0.95)

# Resultado de la correlación
> cor.test(datos_tesis_2021$`Ppa_(mm)`, datos_tesis_2021$`ACN_(ha)`,
+         method = "spearman", conf.level=0.95)

Spearman's rank correlation rho

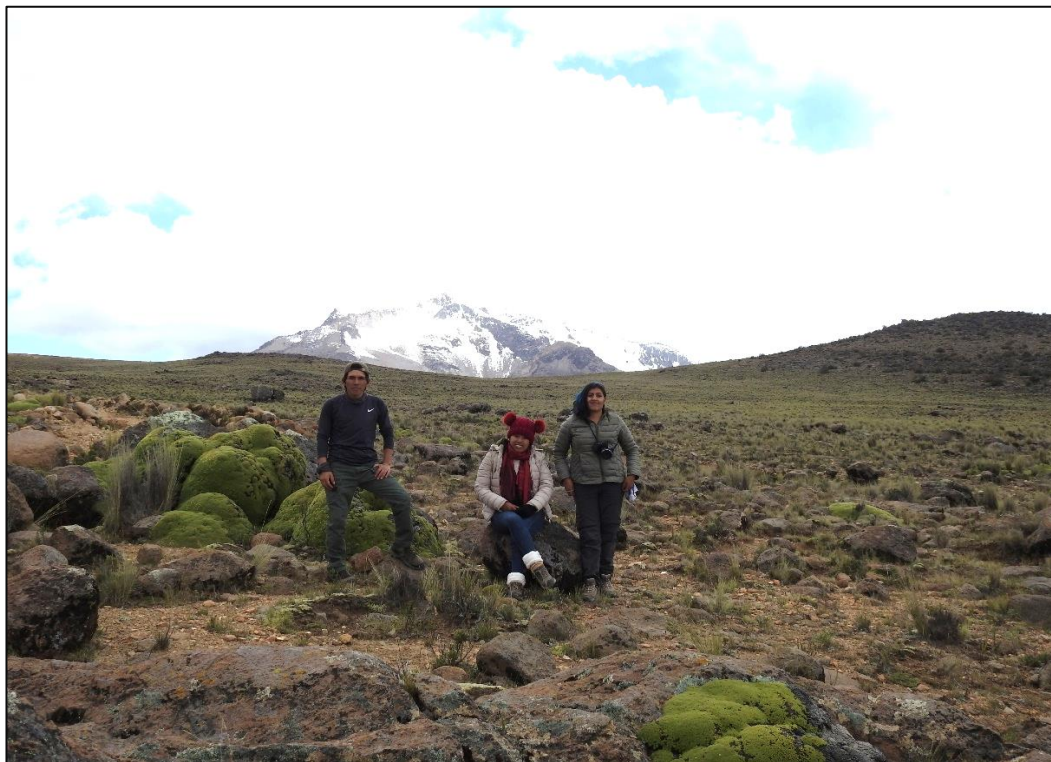
data: datos_tesis_2021$`Ppa_(mm)` and datos_tesis_2021$`ACN_(ha)`
S = 2762, p-value = 0.09125
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
0.3197044
```

Leyenda. Ppa: Precipitación acumulada y ACN: Área de cobertura nival.

Anexo 14. Vista panorámica del nevado Sara Sara, departamento Ayacucho (2021).



Anexo 15. Investigador y amigos en el nevado Sara Sara, departamento Ayacucho (2021).



Anexo 16. Matriz de consistencia.

Título Variables climáticas y cobertura nival del nevado Sara Sara, departamento Ayacucho. Periodo 1985 – 2020

Autor : Bach. Joe Hugo Roca Najarro

Asesores : Blgo. Carlos Emilio Carrasco Badajoz

: Lic. Wilmer Moncada Sosa

FORMULCIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO	MARCO TEÓRICO
Problema general ¿Cuál es la relación entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985 – 2020?	General Determinar la relación entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985 – 2020. Específico Determinar la temperatura superficial del suelo media en el área de influencia del nevado Sara Sara, periodo 1985 -2020. Determinar la precipitación acumulada en el área de influencia del nevado Sara Sara, periodo 1985 -2020. Estimar el área de la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985 -2020, mediante el uso del NDSI en imágenes Landsat. Relacionar la temperatura superficial del suelo media con el área de cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985 - 2020. Relacionar la precipitación acumulada con el área de cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985 -2020.	General La relación entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura nival del nevado Sara Sara, periodo 1985 – 2020, es significativa.	Variables Variables climáticas (Temperatura y precipitación) Cobertura nival Indicadores Temperatura superficial del suelo media (°C) Precipitación acumulada (mm) Área de cobertura nival (ha)	Se descargó imágenes satelitales del servidor USGS, luego se hizo los procesos necesarios en el programa ENVI, ello, para poder determinar la temperatura y el área de la cobertura glaciar. Después, mediante la fórmula de la temperatura superficial del suelo (TSS), se halló la temperatura requerida. La precipitación acumulada, se obtuvo de datos descargados del servidor PISCO - SENAMHI, que fue procesado con el programa Rstudio.	Antecedentes Internacional Nacional Local Marco conceptual Bases teóricas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

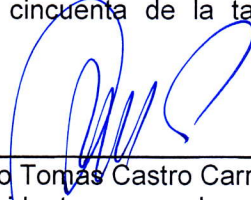
Bach. Joe Hugo Roca Najarro

R.D. N° 272-2022-UNSCH-FCB-D


En la ciudad de Ayacucho, siendo las dos de la tarde con treinta minutos del treinta de diciembre del año dos mil veintidós; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, presidido por el Dr. Segundo Tomás Castro Carranza (Presidente encargado y a su vez Miembro – 4to Jurado), Dr. Edwin Portal Quicaña (Miembro – Jurado), Dr. Oscar Roque Siguas (Miembro – Jurado), Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz (Miembro – Asesor) y actuando como secretario docente el Mg. Percy Colos Galindo; para presenciar la sustentación de tesis titulada “**Variables Climáticas y cobertura nival del nevado Sara Sara, región Ayacucho. Periodo 1985-2020**” presentado por el Bach. Joe Hugo Roca Najarro. El presidente encargado luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio al acto de sustentación, indicando al sustentante que dispone cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros – Jurados a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas al sustentante. Culminado esta etapa, el presidente invitó al sustentante y al público asistente a abandonar temporalmente el Auditorio para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones, cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR	EXPOSICIÓN	RESPUESTAS A PREGUNTAS	PROMEDIO
Dr. Edwin Portal Quicaña	14	15	15
Dr. Oscar Roque Siguas	14	15	15
Dr. Segundo Tomas Castro Carranza	16	14	15
PROMEDIO			15

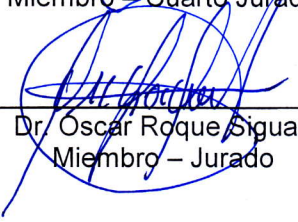
El sustentante alcanzó el promedio aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al Auditorio dando a conocer los resultados, e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las cuatro y cincuenta de la tarde; firmando al pie del presente en señal de conformidad.



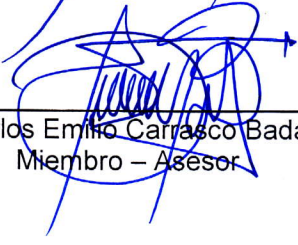
Dr. Segundo Tomás Castro Carranza
Presidente encargado
Miembro – Cuarto Jurado



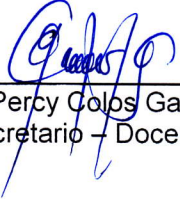
Dr. Edwin Portal Quicaña
Miembro – Jurado



Dr. Oscar Roque Siguas
Miembro – Jurado



Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz
Miembro – Asesor



Mg. Percy Colos Galindo
Secretario – Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS N° 07-
2023-FCB-D

Yo, SAÚL ALONSO CHUCHÓN MARTÍNEZ, Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: “**Variables climáticas y cobertura nival del nevado Sara Sara, región Ayacucho. Periodo 1985-2020**” presentado por el Bach. JOE HUGO ROCA NAJARRO; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 18%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSC-H.

En tal sentido, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 26 de mayo de 2023.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Saúl Alonso Chuchón Martínez

Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
DECANO

Variables climáticas y cobertura nival del nevado Sara Sara, región Ayacucho. Periodo 1985- 2020

por Joe Hugo Roca Najarro

Fecha de entrega: 29-may-2023 08:01p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2104880689

Nombre del archivo: OCA-_NAJARRO-_Joe-_Hugo-_pregrado_Tesis_-_2023-_TURNITIN_1.docx (4.98M)

Total de palabras: 9544

Total de caracteres: 50275

Variables climáticas y cobertura nival del nevado Sara Sara, región Ayacucho. Periodo 1985-2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	huajsapata.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	www.grafiati.com Fuente de Internet	1 %
10	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
11	Romero Galicia Jaime. "Sistema para el procesamiento e interpretacion de imagenes de satelite (SP11-SAT)", TESIUNAM, 1997 Publicación	1 %
12	grid.cld.bz Fuente de Internet	1 %
13	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
14	caelum.ucv.ve Fuente de Internet	<1 %
15	eos.com Fuente de Internet	<1 %
16	Villafuerte Galicia Ana Lilia. "La teleobservacion satelital como una nueva forma de espionaje y sus repercusiones en la seguridad nacional : una propuesta para celebrar un convenio internacional", TESIUNAM, 2006 Publicación	<1 %
17	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

18

Castro Miguel Rutilio. "Modelo espacial de probabilidad a la deforestación en bosques para el estado de Oaxaca", TESIUNAM, 2014

Publicación

<1 %

19

Esperón Rodríguez Manuel. "Vulnerabilidad de grupos funcionales frente al cambio climático : Región de las Grandes Montañas, Veracruz, México", TESIUNAM, 2015

Publicación

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo