

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRIA EN CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE**



**TESIS**

---

**EVALUACIÓN DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL  
RECURSO HIDRICO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS  
AÑOS 2013 - 2019**

---

**Presentado por la Bachiller en  
Ciencias Agrarias**

**BRIGGITTE      MAGDA      MACERA  
PALOMINO**

Para optar el Grado Académico de  
**MAESTRO EN CAMBIO CLIMÁTICO  
Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**ASESOR:**

**MGT. NILTON M. MONTOYA JARA**

**CUSCO-PERÚ**

**2022**

## DEDICATORIA

Al Alto y Sublime, por ser más que un Dios, un Padre, a mi madre Magda, mis hermanas, por su apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente investigación se realizó gracias al Proyecto RAHU “Water security And climate cHange adaptation in PerUvian glacier-fed river basins”, financiado por el Fondo Newton –Paulet, a través de NERC (Natural Environment Research Council.) y Fondecyt.

Un agradecimiento especial al Mgt. Nilton Montoya por haber asesorado la presente investigación y por su apoyo constante.

A la escuela de Postgrado a la Maestría en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible por todas las enseñanzas impartidas.

A mis amigas y compañeros de la maestría por todos esos momentos buenos y malos que pudimos afrontar.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
RESUMEN .....	11
SUMÁRIO .....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPITULO I .....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. Situación Problemática .....	16
1.2. Formulación del Problema .....	18
1.3. Justificación de la Investigación .....	19
1.4. Objetivos de la Investigación .....	20
CAPITULO II .....	21
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	21
2.1. Bases Teóricas .....	21
2.2. Marco Conceptual (Palabras Clave) .....	57
2.3. Antecedentes Empíricos de la Investigación (Estado Del Arte) .....	59
CAPITULO III .....	70
HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	70
3.1. Hipótesis .....	70
3.2. Identificación de Variables e Indicadores.....	70
3.3. Operacionalización de Variables.....	71
CAPITULO IV .....	72
METODOLOGÍA .....	72
4.1. Ámbito de Estudio: Localización Política y Geográfica .....	72
4.2. Tipo y Nivel de Investigación .....	74
4.3. Unidad de Análisis .....	75
4.4. Técnicas de Recolección de Información.....	75
4.4.1. Realizar el Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar de los Glaciares Suyuparina y Quisoquipina.....	77
4.4.2. Establecer la Correlación Entre El Retroceso Glaciar y la Generación de Caudales en la Cuenca Alayripampa .....	81

4.4.3. Realizar la Identificación y Descripción de Reservas de Agua, (Bofedales) en la Cuenca Glaciar Alayripampa .....	103
4.4.4. Metodología de Otros Análisis Realizados Según las Variables de la Cuenca Glaciar Alayripampa .....	115
4.5. Técnicas Para Demostrar la Verdad o Falsedad de la Hipotesis Planteadas .....	117
CAPITULO V .....	121
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	121
5.1. Procesamiento, Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados ..	121
5.1.1. Resultados de Otros Análisis Realizados Según las Variables de la Cuenca Glaciar Alayripampa .....	128
5.2. Pruebas de Hipótesis .....	133
5.2.1. Hipótesis General .....	134
5.2.2. Hipótesis Específicas .....	134
CONCLUSIONES .....	146
RECOMENDACIONES .....	147
BIBLIOGRAFIA .....	148
ANEXOS .....	154

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Características de Landsat 8</i> .....	35
<b>Tabla 2</b> <i>Bandas de Landsat 8</i> .....	36
<b>Tabla 3</b> <i>Índices más Citados para la Evaluación de Coberturas Asociadas a los Humedales –Agua, Suelo y Vegetación</i> .....	55
<b>Tabla 4</b> <i>Umbrales de Separación de Humedales Alto Andinos Mediante Índices Espectrales en imágenes Landsat 8 OLI, agosto 2016</i> .....	56
<b>Tabla 5</b> <i>Identificación de Variables e Indicadores</i> .....	70
<b>Tabla 6</b> <i>Operacionalización de Variables</i> .....	71
<b>Tabla 7</b> <i>Estaciones Meteorológicas Escogidas, Variable-Precipitación</i> .....	83
<b>Tabla 8</b> <i>Completación de Datos de Precipitación</i> .....	84
<b>Tabla 9</b> <i>Datos Completados -Precipitación</i> .....	85
<b>Tabla 10</b> <i>Estaciones Meteorológicas Escogidas, Variable-Temperatura Máxima</i> .....	88
<b>Tabla 11</b> <i>Completación de Datos de Temperatura Máxima</i> .....	90
<b>Tabla 12</b> <i>Datos Completados Estación Sicuani, Variable Temperatura Máxima</i> .....	91
<b>Tabla 13</b> <i>Estaciones Meteorológicas Escogidas, Variable-Temperatura Mínima</i> .....	95
<b>Tabla 14</b> <i>Completación de Datos Estación Sicuani, Variable Temperatura Mínima</i> .....	97
<b>Tabla 15</b> <i>Datos Completados Estación Sicuani, Variable Temperatura Mínima</i> .....	98
<b>Tabla 16</b> <i>Asignación de Puntuación Según los Datos Obtenidos de Laboratorio y Observación de Campo</i> .....	110
<b>Tabla 17</b> <i>Composición de Bandas para Identificación de Bofedales</i> .....	111
<b>Tabla 18</b> <i>Índices más citados para evaluar coberturas asociadas a los humedales (agua, suelo y vegetación)</i> .....	112
<b>Tabla 19</b> <i>Índices NDVI y TCG</i> .....	114
<b>Tabla 20</b> <i>Variables Climáticas de la Cuenca Alayripampa</i> .....	115
<b>Tabla 21</b> <i>Resultados del Procesamiento del Área Glaciar de la Cuenca Alayripampa</i> .....	121

<b>Tabla 22</b> <i>Resultados del Procesamiento del Área Glaciar de los Glaciares Suyuparina y Quisoquipina</i> .....	123
<b>Tabla 23</b> <i>Caudales generados por año desde 1964 al 2019</i> .....	125
<b>Tabla 24</b> <i>Caudal Generado en la Cuenca Alayripampa en los años 2013 - 2019</i> .....	125
<b>Tabla 25</b> <i>Área de Cobertura de los Índices NDVI y TCG</i> .....	127
<b>Tabla 26</b> <i>Datos de la Estación SENAMHI, Promedio de Temperatura y Precipitación de los Años 1964-2019, Área Glaciar y el Área Bofedal</i> .....	129
<b>Tabla 27</b> <i>Datos de la Estación SENAMHI, Promedio de Temperatura y Precipitación de los Años 2013-2019, Área Glaciar y el Área Bofedal</i> .....	130
<b>Tabla 28</b> <i>Datos de la Estación Quelcaya, Promedio de Temperatura y Precipitación de los Años 2014-2019, Área Glaciar y el Área Bofedal</i> .....	131
<b>Tabla 29</b> <i>El área glaciar calculada mediante el índice NDSI</i> .....	135
<b>Tabla 30</b> <i>Estadísticas descriptivas Área Glaciar</i> .....	135
<b>Tabla 31</b> <i>El área del bofedal calculada mediante el índice NDVI</i> .....	140
<b>Tabla 32</b> <i>Estadísticas descriptivas Área Bofedal NDVI</i> .....	141
<b>Tabla 33</b> <i>Área Bofedal NDVI en Km2</i> .....	143
<b>Tabla 34</b> <i>Estadísticas descriptivas Área Bofedal TCG</i> .....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Distribución de los Glaciares Tropicales en el Mundo</i> .....	26
<b>Figura 2</b> <i>Cordillera del Vilcanota</i> .....	30
<b>Figura 3</b> <i>Partes de un Glaciar 01</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Partes de un Glaciar 02</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Cordillera Nevadas –Glaciares en la Región del Cusco</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Evolucion de los Glaciares Inventariados en el año 1970-Region Cusco</i> .....	32
<b>Figura 7</b> <i>Percepción Remota/Teledetección</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Regiones del Espectro Electromagnético</i> .....	35
<b>Figura 9</b> <i>Combinaciones de Bandas RGB de Imágenes Satelite Landsat y Sentinel</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Ciclo del Agua</i> .....	42
<b>Figura 11</b> <i>Ciclo Hidrológico en la Region Andina</i> .....	42
<b>Figura 12</b> <i>Agua-Suelo-Vegetacion en un Bofedal</i> .....	48
<b>Figura 13</b> <i>Bofedal Alto Andino</i> .....	52
<b>Figura 14</b> <i>Bofedal en el Ambito de la Cordillera Vilcanota</i> .....	52
<b>Figura 15</b> <i>Procesos a Tener en Cuenta en los Bofedales</i> .....	53
<b>Figura 16</b> <i>Ubicación del Área de Estudio</i> .....	73
<b>Figura 17</b> <i>Tipo y Nivel de Investigación</i> .....	74
<b>Figura 18</b> <i>United States Geological Survey</i> .....	76
<b>Figura 19</b> <i>Flujo: Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar de la Cuenca Alayripampa</i> .....	77
<b>Figura 20</b> <i>Imagen espectral, descargada de la USGS</i> .....	78
<b>Figura 21</b> <i>Banda 06 de la Cuenca Alayripampa</i> .....	79
<b>Figura 22</b> <i>Banda 03 de la Cuenca Alayripampa</i> .....	79
<b>Figura 23</b> <i>Map Algebra en el calculo del NDSI</i> .....	80
<b>Figura 24</b> <i>Área Calculada-Indice NDSI</i> .....	80
<b>Figura 25</b> <i>Recorrido del Rio Alayripampa</i> .....	82
<b>Figura 26</b> <i>Cálculos con Ecuaciones de Regresion Lineal Simple, Variable- Precipitación</i> .....	83
<b>Figura 27</b> <i>Coeficiente de Determinación-Estacion Sicuani, Variable- Precipitación</i> .....	86



<b>Figura 28</b> <i>Coeficiente de Determinación-Estación Ccatcca, Variable-Precipitación.....</i>	86
<b>Figura 29</b> <i>Coeficiente de Determinación- Estación Macusani, Variable-Precipitación.....</i>	87
<b>Figura 30</b> <i>Analisis de Doble Masa, Variable-Precipitación .....</i>	87
<b>Figura 31</b> <i>Ecuación de Influencia en el Área de Estudio, Variable-Precipitación.....</i>	88
<b>Figura 32</b> <i>Cálculos con Ecuaciones de Regresion Lineal Simple, Temperatura Máxima. ....</i>	89
<b>Figura 33</b> <i>Análisis de Doble Masa, Variable Temperatura Máxima.....</i>	92
<b>Figura 34</b> <i>Ecuación de Regresión Estacion Sicuani, Variable Temperatura Máxima .....</i>	92
<b>Figura 35</b> <i>Ecuación de Regresión Estacion Ccatcca, Variable Temperatura Máxima .....</i>	93
<b>Figura 36</b> <i>Ecuación de Regresión Estacion Macusani, Variable Temperatura Máxima .....</i>	93
<b>Figura 37</b> <i>Ecuación de Regresión Estacion Macusani, Variable Temperatura Máxima .....</i>	94
<b>Figura 38</b> <i>Ecuación de Influencia, Variable Climática Temperatura Máxima ...</i>	94
<b>Figura 39</b> <i>Cálculos con Ecuaciones de Regresion Lineal Simple, Temperatura Mínima .....</i>	96
<b>Figura 40</b> <i>Analisis de Doble Masa Estacion Sicuani, Variable Temperatura Mínima .....</i>	99
<b>Figura 41</b> <i>.Ecuacion de Regresion, Estacion Sicuani- Variable Temperatura Mínima .....</i>	99
<b>Figura 42</b> <i>Ecuacion de Regresion, Estacion Ccatcca- Variable Temperatura Mínima. ....</i>	100
<b>Figura 43</b> <i>Ecuacion de Regresion, Estacion Macusani- Variable Temperatura Mínima. ....</i>	100
<b>Figura 44</b> <i>Ecuandion de Influencia, Variable Temperatura Mínima.....</i>	101
<b>Figura 45</b> <i>Caudales Generados, Modelo Hidrologico Lutz Scholz .....</i>	102
<b>Figura 46</b> <i>Bofedal de la Cuenca Alayripampa .....</i>	104
<b>Figura 47</b> <i>Barreno de 4"en la Cuenca Alayripampa .....</i>	105

<b>Figura 48</b> <i>Muestras de Turba, Obtenidas del Bofedal de la Cuenca Alayripampa</i> .....	105
<b>Figura 49</b> <i>Especies de Flora en el Bofedal de la Cuenca Alayripampa</i> .....	106
<b>Figura 50</b> <i>Número de Muestras Obtenidas del Bofedal</i> .....	106
<b>Figura 51</b> <i>Transecto Ubicación de los Núcleos</i> .....	107
<b>Figura 52</b> <i>Alteraciones en el Paisaje del Bofedal</i> .....	108
<b>Figura 53</b> <i>Conectividad Hidrológica-Bofedal Alayripampa 1</i> .....	109
<b>Figura 54</b> <i>Conectividad Hidrológica-Bofedal Alayripampa 2</i> .....	109
<b>Figura 55</b> <i>Procesos en R Studio con las Imágenes LandSat</i> .....	113
<b>Figura 56</b> <i>Procesos en Rstudio para la Obtención de los Índices NDVI y TCG</i> .....	113
<b>Figura 57</b> <i>Procesos realizados en Argis, “Reclassify”, en donde se ponen los límites numéricos.</i> .....	114
<b>Figura 58</b> <i>Datos de Precipitación –Estación Quelcaya</i> .....	115
<b>Figura 59</b> <i>Datos de Temperatura –Estación Quelcaya</i> .....	116
<b>Figura 60</b> <i>Retroceso Glaciar Cuenca Alayripampa.</i> .....	122
<b>Figura 61</b> <i>Retroceso Glaciar Quisoquipina</i> .....	123
<b>Figura 62</b> <i>Retroceso Glaciar Suyuparina</i> .....	124
<b>Figura 63</b> <i>Caudales Generados en la Cuenca Alayripampa</i> .....	126
<b>Figura 64</b> <i>Resultados Índice NDVI km<sup>2</sup></i> .....	126
<b>Figura 65</b> <i>Resultados Índice TCG</i> .....	127
<b>Figura 66</b> <i>Climatograma Cuenca Alayripampa</i> .....	128
<b>Figura 67</b> <i>Correlación entre las variables de la Cuenca Alayripampa, Promedio de Temperatura y Precipitación Estación SENAMHI de los Años 1964-2019</i>	132
<b>Figura 68</b> <i>Correlación entre las variables de la Cuenca Alayripampa, Promedio de Temperatura y Precipitación Estación SENAMHI de los Años 2013-2019.</i>	132
<b>Figura 69</b> <i>Correlación entre las variables de la Cuenca Alayripampa, Promedio de Temperatura y Precipitación Estación Quelcaya de los Años 2014-2019.</i>	133
<b>Figura 70</b> <i>Grafica de Valores Individuales de Glaciar Km<sup>2</sup></i> .....	136
<b>Figura 71</b> <i>Retroceso Glaciar VS Caudal Generado</i> .....	137
<b>Figura 72</b> <i>Grafica de Valores Individuales Área Bofedal NDVI Km<sup>2</sup></i> .....	141
<b>Figura 73</b> <i>Gráfica de Valores Individuales Área Bofedal TCG Km<sup>2</sup></i> .....	144

## RESUMEN

El tema investigado es de un tipo mixto ya que se ha hecho un análisis numérico (determinando el retroceso glaciar, generación de caudales, análisis de vegetación) y la descripción cualitativa del bofedal en el área de estudio. El área de la cuenca glaciar es 55.19 Km<sup>2</sup>, ubicado en los distritos de Checacupe y Pitumarca, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco, La investigación abarca tres componentes: 1° Cuenca glaciar (retroceso glaciar, se identificó mediante imágenes satelitales, con el cálculo del índice NDSI); la cuenca; las imágenes obtenidas de Landsat 8-OLI y TIRS desde el año 2013 al 2019; en la cual se hizo el análisis del retroceso de los glaciares: Quisoquipina y Suyoparina; con un área glaciar promedio  $\bar{x}$ = 8.93 Km<sup>2</sup> y existe retroceso glaciar del 2014 al 2019 en comparación al año 2013. 2° Caudal (Generación de caudales, método Lutz Scholz, adaptado para la sierra peruana), los años considerados son desde 1964 al 2019, se utilizó los datos para los años en estudio; de la cual se generó caudales que van de 0.87 a 1.01 m<sup>3</sup>/s; y existe una relación lineal moderada entre el retroceso glaciar y el caudal generado. 3° Bofedal (Análisis de vegetación en campo y mediante imágenes satelitales con los cálculos de los índices de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y TCG (Tasseled CAP vegetation)); el total de muestras recolectadas, núcleos obtenidos del bofedal en campo fue de 30, y las imágenes consideradas, son las mismas utilizadas en el primer componente, con una media de 8.00 Km<sup>2</sup> de área bofedal según índice NDVI; y que hay un incremento el área bofedal entre los años 2014 al 2019 en comparación al año 2013.

## SUMÁRIO

O assunto investigado é do tipo misto, uma vez que uma análise numérica (determinação do recuo glacial, geração de fluxo, análise da vegetação) e a descrição qualitativa da zona úmida na área de estudo foram realizadas. A área da bacia glacial é de 55.19 Km<sup>2</sup>, localizada nos distritos de Checacupe e Pitumarca, Província de Canchis, Departamento de Cusco, A pesquisa abrange 03 componentes: 1° bacia Glaciar (retiro glacial, foi identificado por imagens de satélite, com o cálculo do índice NDSI); a bacia; imagens obtidas de Landsat 8-OLI e TIRS do ano 2013 - 2019; na qual foi feita uma análise específica nas geleiras: Quisoquipina e Suyoparina ; com uma área média de geleira  $\bar{x}$ = 8.93 Km<sup>2</sup> e há retiro glacial de 2014 - 2019 comparado a 2013. 2° Fluxo (geração de fluxo, método Lutz Scholz, adaptado para as terras altas peruanas), os anos considerados são de 1964 - 2019, e tomando dados para os anos em estudo; dos quais foram gerados fluxos entre 0.87 a 1.01 m<sup>3</sup>/s; e há uma relação linear moderada entre o recuo glacial e o fluxo gerado. 3° Bofedal (Análise da vegetação em campo e através de imagens de satélite com cálculos dos índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e TCG (Tasseled CAP vegetacional)); o total de amostras coletadas, testemunhos obtidos do bofedal em campo foi de 30, e as imagens consideradas são as mesmas utilizadas no primeiro componente, com média de 8.00 Km<sup>2</sup> de área bofedal segundo o índice NDVI; e que há um aumento da área bofedal entre 2014 e 2019 em relação a 2013.

***Palabras Claves***

- Cuenca Glaciar Alayripampa.
- Retroceso Glaciar.
- Índice NDSI (Normalized Difference Snow Index).
- Generación de Caudales “Método Lutz Scholz”.
- Área Bofedal.
- Índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).
- Índice TCG (Tasseled CAP Vegetacion).

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al estudio del retroceso glaciar y sus implicancias del recurso hídrico en la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019. Este retroceso glaciar se puede definir como consecuencia del incremento del CO<sub>2</sub>, y esto por la quema de combustibles fósiles (Larraín, 2010).

Por lo que es de importancia conocer la situación de los recursos más vulnerables de este cambio climático.

Para analizar estas situaciones problemáticas que a pesar que se tiene insuficiente información, en la misma realidad que se observa en las visitas de campo, donde se ve claramente el desplazamiento del área glaciar, la fusión glaciar y el caudal proveniente de la misma, así mismo se observa los cambios del nivel de agua superficial en tiempos de lluvia y en tiempos de secas y la situación del estado del bofedal.

La investigación de esta problemática ambiental se realizó por el interés de conocer como se está dando este retroceso glaciar en los últimos años y de como esto influencia en el recurso hídrico en la cuenca glaciar.

(Schauwecker et al., 2014) citada por (Molina et al., 2015), pág.4 sostiene que “la tasa de retroceso glaciar en los últimos 30 a 40 años todavía corresponde a condiciones climáticas alrededor de finales del siglo XX, según el estudio realizado de balance de masa en los Andes Tropicales, en este periodo prevaleció un aumento significativo de la temperatura superficial terrestre, no dado en la última década, la cual indica una disminución en la tasa de este aumento en los Andes Tropicales”.

(Molina et al., 2015) menciona que “la relación balance de masa glaciar, recurso hídrico y los habitantes de la cuenca del río Vilcanota están conectados, por lo que los habitantes de este valle sufrirán las consecuencias en el futuro. Por esto es importante conocer estas conexiones”.

(INAIGEM, 2018) menciona que en los Ecosistemas de Montaña; en la Cordillera Vilcanota se presentan siete ecosistemas que ofrecen servicios dentro de los cuales se encuentran los bofedales. Como beneficio que se recibe de la naturaleza; por la conexión que se tiene con los glaciares presentes en la cuenca Alayripampa y el recurso hídrico es de importancia también su estudio.

En el ámbito académico, como estudiante de la maestría en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible, verso el interés por desarrollar la presente investigación; que se abarca tres componentes, análisis; cálculo del retroceso glaciar mediante imágenes satelitales, mediante índice NDSI, generar caudales y cálculo del área bofedal mediante índices NDVI y TCG. De las cuales se hizo los cálculos correspondientes, y las correlaciones respectivas, mencionadas en las conclusiones.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Situación Problemática

El presente trabajo de investigación presenta la evaluación del retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico de la cuenca glaciar del Alayripampa. Ya que en la actualidad se tiene poca información al respecto sobre esta cuenca glaciar y de cómo el cambio climático está afectando a estas cuencas que son reservas de agua y de gran importancia para la población.

Este tema es de interés porque, como también menciona la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) que, los glaciares constituyen las reservas sólidas de agua dulce y por su gran sensibilidad al cambio climático, los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima. (Villanueva Ramirez, 2011), pag.230).

Y el Perú por ser un país que tiene una mayor cantidad de glaciares tropicales en el mundo; en el estado peruano (como se encuentra dentro de la región del paralelo del sur) donde se halla áreas glaciares importantes, a causa de las grandes elevaciones que presenta la Cordillera de los Andes con altitudes sobresalientes a los 6 000 msnm. Estas áreas vienen experimentando un dramático proceso de ablación y retroceso debido a los efectos del cambio climático a escala regional y mundial". (Villanueva Ramirez, 2011), pág. 230). (Castillo Avalos, 2015).

La cuenca Vilcanota-Urubamba constituye la cuenca más importante de la región Cusco. Ya que tiene la función de vaso colector de las aguas provenientes de las cuencas principales; el Ausangate y el Salkantay.



(Francou et al., 2013), explica que los glaciares de los Andes están en un claro retroceso y esto se debe a los efectos del calentamiento global y cambio climático y que la desglaciación ha sido significativa en la última mitad del siglo XX, presentando una disminución de los glaciares tropicales en un 30 % a 50 % y en algunos casos se han reportado su desaparición. Es por ello la importancia de su estudio y de su efecto en la actualidad y en el tiempo pág. 11.

Dentro de la cuenca Vilcanota-Urubamba se encuentra la sub cuenca Salcca con 2 239 Km<sup>2</sup>, (CONAM, 2007) pág. 10 .Esta sub cuenca es de gran importancia y uno de los principales aportantes del recurso hídrico de la cuenca Vilcanota-Urubamba.

Dentro de esta sub cuenca del Salcca se encuentra la micro cuenca Alayripampa que es el área de estudio, y dentro de esta misma se encuentran los glaciares Suyoparina y Quisoquipina de la cual se tiene alguna información, pero limitada, que nos ayudó a ejecutar y concluir el tema de tesis presentado.

Así mismo según la clasificación Otto Pfafstetter, una cuenca es aquella que no tiene flujo concentrado de entrada aguas arriba, pero sí de salida aguas abajo. La cuenca en estudio se encuentra en la cabecera de cuenca del ALA Sicuani.

En cuanto a la evaluación del retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca del Alayripampa, no hay suficiente información.

Ante esta situación es importante conocer el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar Alayripampa; por la importancia hidrológica, agropecuaria, social y económica que representa esta cuenca; este estudio permitirá saber de la situación que en la que se encuentra

la cuenca glaciar Alayripampa, el retroceso glaciar existente, su influencia en el bofedal y en la generación de caudales.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Poco conocimiento de la evaluación del retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar de Alayripampa?

Ante la problemática del cambio climático y el grado de desglaciación que existe en la cordillera de los Andes y en todo el mundo, es importante realizar estudios de las reservas de agua natural y su comportamiento ante este cambio climático, para poder tomar acciones y respuestas adecuadas ante esta situación.

### **a) Problema General**

Escasa evaluación del retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar de Alayripampa en los años 2013 - 2019.

### **b) Problemas Específicos**

1. Insuficiente información de mapas que reflejen la situación del retroceso glaciar en la cuenca Alayripampa.
2. Insuficiente información entre la relación del retroceso glaciar y el agua de escurrimiento en la cuenca Alayripampa.
3. Insuficiente información sobre la identificación y descripción de reservas de agua, (bofedales) en la cuenca glaciar Alayripampa.

### **1.3. Justificación de la Investigación**

“La investigación científica se concibe como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno; es dinámica, cambiante y evolutiva” (R. Sampieri, Collado, & Lucio, 2006).

Es por ello que para el problema central identificado toda la revisión bibliográfica correspondiente al tema es de importancia por lo que nos llevara a resolver el problema.

Identificado, así como el diagnóstico realizado en la zona de estudio es de gran importancia, para conocer la realidad en la situación actual.

Esta investigación en primer lugar es conveniente para conocer el estado actual del retroceso glaciar y de la situación del recurso hídrico en la cuenca glaciar de Alayripampa.

En segundo lugar es de importancia para todas las cuencas glaciares existentes en la región del Cusco, ya que se encuentran en las mismas condiciones.

Y en tercer lugar es de importancia para todos nosotros, los que vivimos en la región del Cusco, ya que un porcentaje del agua dulce que consumimos proviene de los glaciares.

Y de la importancia de los glaciares, ya que en el Cusco tiene glaciares tropicales que no solo tiene gran importancia a nivel regional, sino internacional como uno de los indicadores del cambio climático.

## **1.4. Objetivos de la Investigación**

### **a) Objetivo General**

Determinar el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.

### **b) Objetivos Específicos**

1. Realizar el análisis multitemporal del retroceso glaciar de la cuenca Alayripampa (glaciares Suyuparina y Quisoquipina).
2. Establecer la correlación entre el retroceso glaciar y la generación de caudales en la cuenca Alayripampa.
3. Realizar la identificación y descripción de reservas de agua, (bofedales) en la cuenca glaciar Alayripampa.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.1. Bases Teóricas

El tema desarrollado trata de la evaluación del retroceso glaciar y la implicancia que tiene éste en cuanto al recurso hídrico (bofedal, generación de caudales) en la cuenca Alayripampa, y el predominio de la temperatura y precipitación en este retroceso glaciar.

Como la tesis abarca tres componentes:

1. Cuenca glaciar (retroceso glaciar, mediante imágenes satelitales, índice NDSI).
2. Caudal (Generación de caudales, método Lutz Scholz).
3. Bofedal (Análisis de vegetación en campo y mediante imágenes satelitales índices NDVI y TCG)

A continuación, se hará referencia al marco teórico del primer componente.

#### 1° Cuenca glaciar

##### ***Cambio Climático Actual***

Con lo mencionado en la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (Poveda J, 2010) “el cambio climático es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

La 5ª Información de Apreciación del IPCC (2013) hace mención que el retroceso glaciar es un hecho que se está dando a nivel de toda la tierra y esto se está produciendo por el acrecentamiento de la temperatura; asimismo, los países que han tenido las más grandes tasas de disminución son: el oeste canadiense y norte americano, Europa central y en las latitudes bajas. En estos territorios más de 600 glaciares se han extinguido en las últimas décadas. “En tanto que los glaciares que aún perduran han sufrido una reducción de su área y volumen” (Poveda J, 2010).

### ***Cambio Climático y sus Evidencias en el Retroceso Glaciar***

“Es el cambio en el estado del clima que puede ser identificado mediante cambios en la media y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste por un periodo largo” (Calizata Llatasi, 2018).

El clima ha cambiado a lo largo de la historia de la tierra y cambiará en el futuro, estos cambios se deben a muchos procesos tanto naturales como antropogénicos (forzamientos climáticos); así tenemos que las placas tectónicas y cambios en la geometría de la órbita de la tierra alrededor del sol influyen en el clima a escalas de tiempo de milenios o más; cambios en la concentración de gases efecto invernadero o en la escorrentía de agua dulce a los océanos afectan el clima a escala de siglos a milenios y cambios en la irradiación solar o erupciones volcánicas, que emiten aerosoles a la atmosfera, influyen en el clima en escalas de tiempo de años a décadas (Ramos Mamani, 2018) pág. 20.

Es importante mencionar que el proceso de derretimiento acelerado de los glaciares ha sido provocado por un incremento en la temperatura media del orden de 0.6 °C y de acuerdo a estimaciones que fueron realizadas a través de

modelos climáticos, se estima que de continuar las proporciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> las temperaturas medias a nivel mundial podrían incrementarse hasta 5 °C para finales del siglo (Ramirez, 2008) pág. 59.

El ejemplo más contundente, sobre el impacto de los cambios climáticos actuales es el caso del Glaciar Chacaltaya (Ramirez, 2008) pág. 54; el cual prácticamente ha desaparecido en esta situación se encuentran los glaciares el Broggi ubicado en la cordillera blanca, que desde el año 1932 al 2004; así como el glaciar Qori Kalis que habiendo hecho un análisis mediante la fotografía desde el año 1978 al 2005, el glaciar Pastoruri que desde el 2004 al 2006 han tenido un retroceso drástico (Iju Fukushima, 2009).

De acuerdo a estos estudios, se sabe que para el caso de Bolivia, el clima hace 18 000 años durante el periodo del “Ultimo Máximo Glaciar” era más frío y más húmedo respecto a las condiciones actuales (Ramirez, 2008) pag.53; esto mismo se puede considerar que hubo ocurrido en nuestro área de estudio, ya que se encuentra en la zona de los llamados glaciares tropicales; así como los de Bolivia.

### ***Contexto del Cambio Climático***

Son situaciones de posibles condiciones futuras del clima “temperatura, precipitación y otros fenómenos climatológicos”. En cuanto a nuestra investigación, se tomará en cuenta la precipitación y temperatura para la generación de caudales y su correlación con el retroceso glaciar.

### ***Impactos del Cambio Climático en los Glaciares Tropicales***

Los glaciares del mundo se encuentran en retroceso desde el final de la Pequeña Edad de Hielo (periodo comprendido entre los años 1315 a 1850,

donde se produjo un inesperado periodo de glaciación en la que abruptamente la temperatura promedio de la tierra bajo en 4 °C cubriendo gran parte de los polos Ártico, Antártico, vastos territorios de Europa, Norteamérica y Sudamérica con nieve, estas glaciaciones modificaron el rumbo de la historia de la humanidad.); alrededor del año 1850 (Escobedo Silva, 2018) pág.36 y 96.

Empero, en las últimas décadas este avance se está activando a un ritmo sin precedentes, resultante del “cambio climático”, que percibe el sistema ecológico en toda la tierra en la actualidad, en particular en aquellos que se ubican en latitudes tropicales. De acuerdo al pronóstico del IPCC en su información presentada el año 2014, las temperaturas al término del siglo XXI incrementarán al menos entre 1 °C y 2 °C. Este informe indica también que aumentos de la temperatura de 4 °C podrían causar la desaparición de casi todos los glaciares de la tierra (IPCC, 2014).

Aunque los glaciares de todo el mundo están retrocediendo, en los Andes Tropicales la ocurrencia de este retroceso, además, coincide con la escasez del recurso hídrico así como de elevadas densidades poblacionales (Bradley et al., 2006) mencionado por (Lavado-Casimiro, Silvestre, & Pulache, 2010) esto lleva a tener una necesidad urgente de generar conciencia y fortalecer el manejo y gestión del recurso hídrico.

Vergara et al. (2007), citado por (Cuadros Diaz, 2018) pág. 12 .Menciona que “un estudio realizado en el Cañón del Pato, en el Río Santa en Perú concluyó una reducción del 50 % de escorrentía de glaciares resultaría en una disminución del poder energético anual de aproximadamente 20 %”.



“Esto tendría implicancias económicas pues será necesario cambiar gran parte de la matriz energética de estos países, lo cual puede resultar poco práctico o económicamente inviable” (Bradley et al., 2006), mencionado por (Cuadros Díaz, 2018) pág. 12.

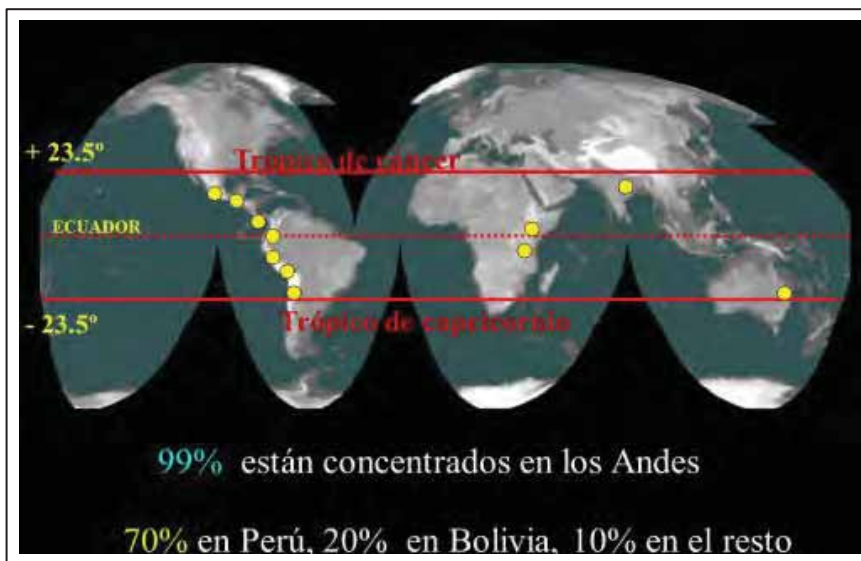
“Los investigadores de los glaciares de los Andes Centrales, mencionan que existe no solo un retroceso sino un acelerado retroceso en los últimos 25 años, siendo la pérdida de masa el 25 % mayor para los glaciares pequeños”. (Comunidad Andina, 2008) pag.19.

Esto mismo se afirma que el 80 % de los recursos hídricos se originan en las vertientes occidentales de los Andes y de que muchas ciudades están localizadas a más de los 2 500 m.s.n.m, de la cual también menciona que se ha perdido el 22 % de la superficie glaciar en los últimos 30 años; así como el incremento temporal de caudales seguido de la disminución drástica de volumen de agua disponible (Iju Fukushima, 2009) pag.5.

“Otro punto importante para tomar en cuenta el retroceso glaciar es el cambio de clima que comenzó alrededor de 1730 - 1750, antes que la humanidad tenga una influencia en el clima y su calentamiento” (Francou et al., 2013) pag.11.

## Figura 1

### *Distribución de los Glaciares Tropicales en el Mundo*



Fuente: Inventario de Glaciares y Lagunas Región Cusco-2014-(Santillana Portilla, 2014).

(Lonnie T.) citado por (Santillana Portilla, 2014) menciona que “entre las latitudes  $30^\circ$  N y S, se encuentra 50 % de la superficie terrestre y se originan; monzones, huracanes y el fenómeno El Niño, y según y que es un motor climático del mundo”.

“Y como se observa en la figura 01 que del 99 % de glaciares tropicales, el 70 % se encuentra en el Perú”. (Santillana Portilla, 2014)

### ***Escenarios climáticos en la Región Cusco –Foro Regional de Glaciares por (Lavado C., 2014)***

- Calentamiento en promedio (aumento de la  $T^\circ$  en  $\sim 1^\circ$  2030 y  $3^\circ$  2070).
- Retroceso de los glaciares.
- Precipitación no hay un patrón claro, pero los extremos seguirán aumentando.
- Cambios de usos de suelo impactaran en la escorrentía de sus principales ciudades (urbanización).

- Implementar medidas de adaptación no solo para el cambio climático. (Lavado C., 2014) pág.41.

## **Glaciares**

### ***Glaciares: Características y Conceptos Generales***

La Criósfera representa a todas las formas de hielo que en forma natural existen en el planeta, una de las cuales son los glaciares (Ferrando, 2014) citado por (Cuadros Diaz, 2018) sostiene que, este término es ampliamente utilizado y en diferentes escenarios, definir a un glaciar es un poco difícil por los diversos modos que los autores toman, desarrollan este concepto y por los distintos escenarios climáticos y geográficos en los cuales tienen lugar. Por esta causa, hay diferentes explicaciones en torno a la precisión de un glaciar.

La Global Terrestrial Observing System de la FAO, define un glaciar como, una masa de hielo en la superficie terrestre, que fluye pendiente abajo (por deformación interna y por deslizamiento en la base), y restringida por la topografía del entorno (por ejemplo las laderas de un valle o las cumbres que lo rodean); la topografía del lecho es la mayor influencia en la dinámica y pendiente de la superficie de un glaciar.

“El glaciar se mantiene por la acumulación de nieve en las cotas altas, balanceada por la fusión a cotas bajas o por la descarga al mar” (IPCC, 2001).

Finalmente, según el PNUMA, define un glaciar como “una masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo por efecto de la gravedad (mediante deformación interna y/o deslizamiento de su base), constreñida por el esfuerzo interno y por el rozamiento en sus lados y en su base” (Cuadros Diaz, 2018)

### ***Formación de las Cordilleras Glaciares***

- Las cordilleras glaciares y su formación está asociada al origen de la Cordillera de los Andes. La Cordillera de los Andes, a su vez, está asociada con la geodinámica de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. La placa tectónica de Nazca se desplaza con dirección de Oeste a Este y se subduce por debajo de la placa tectónica Sudamericana; este punto de convergencia se da en la margen occidental del continente sudamericano, donde se genera el levantamiento de la superficie dando origen a la Cordillera de los Andes y su impresionante relieve morfológico. La Cordillera de los Andes es la característica orográfica más importante del territorio nacional, el cual permite la formación de diversos climas y la generación de las regiones naturales en el país.
- La Cordillera de los Andes es una cadena de montañas que se extiende a lo largo de la zona occidental de América del Sur, que ocupan un área aproximada de 3.37 millones de km<sup>2</sup> que circunda la costa del océano.
- La ubicación geográfica de los Andes está comprendido entre los “11° de latitud N y los 55° de latitud S”, que es parte de los estados de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina.
- La Cordillera de los Andes tiene, en el territorio peruano, un rumbo general aproximado de Noroeste a Sureste (conocido también como «Rumbo Andino»), donde las altas montañas han sido intensamente afectadas por las condiciones climáticas globales. Muestra de ello es la formación de las cordilleras glaciares del Perú, cuya conformación morfológica actual es el resultado de los procesos del modelado andino por efectos, principalmente,

de la Glaciación del Cuaternario que afectó a toda la Tierra y de la competencia de las rocas que forman parte del basamento rocoso.

Los aspectos geológicos, geomorfológicos y climáticos han sido la causa de la formación inicial de veinte cordilleras glaciares, ahora reducida a dieciocho por efecto de la severidad del cambio climático, todas estas características de la formación de las cordilleras glaciares son mencionadas por (INAIGEM, 2018).

### ***Distribución de las 19 Cordilleras Nevadas en el Perú***

- De (INAIGEM, 2018), ver Anexo “CORDILLERAS GLACIARES DEL PERÚ”.

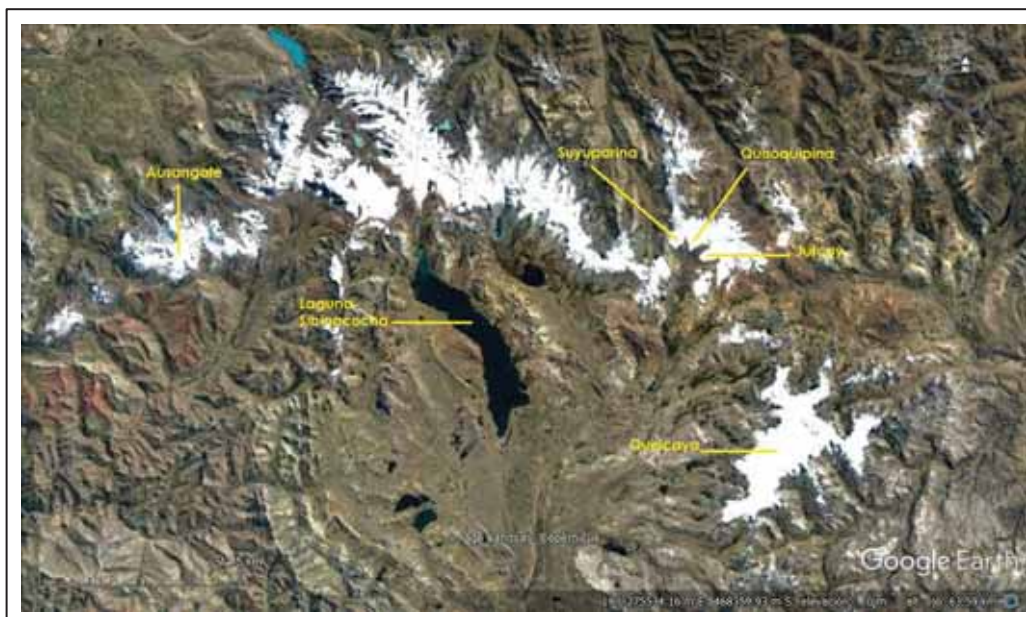
#### **Cordillera Vilcanota**

La Cordillera Vilcanota, ubicada al sur del Perú Figura 02. Dicha Cordillera es la segunda cordillera glacial más grande del país, con una superficie glacial de 279.4 km<sup>2</sup> en 2009 (ANA-UGRH, 2014) y un rango altitudinal entre 4 700 y 6 300 m.s.n.m. En la Cordillera Vilcanota se localiza el glaciar Quelccaya, y se ubica en el trópico sur. En medio de esta cordillera se sitúa la laguna Sibinacocha, que es de procedencia de un glaciar y utilizado para la generación hidroeléctrica de la planta Machu Picchu I/II (190 MW) y Santa Teresa I (98 MW) río abajo. Los glaciares de la Cordillera Vilcanota drenan hacia varias trayectorias en dirección norte y noroeste en los ríos Paucartambo, Vilcanota y Urubamba; hacia el noreste en los ríos Corani, San Gabán; y en dirección sureste en el Lago Titicaca.

“El río Vilcanota tiene una alta importancia socio-económica y sus aguas se utilizan entre otras para la producción hidroeléctrica, la agricultura y el consumo privado” (Kronenberg et al., 2016) pag.21.

## Figura 2

### *Cordillera del Vilcanota*



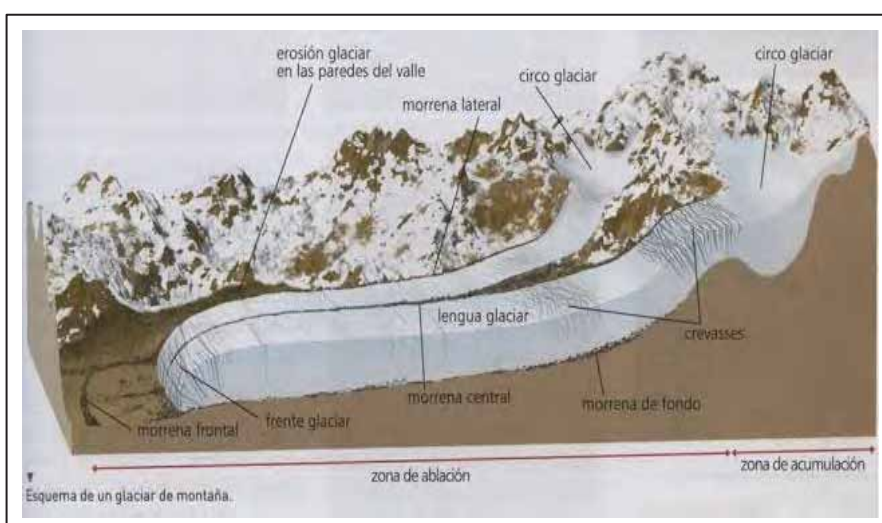
Fuente: Google Earth 2020

## Partes de un Glaciar

Para el estudio de los glaciares es necesario conocer las partes de un glaciar, ver figuras 03 y 04 se observa las partes de un glaciar.

## Figura 3

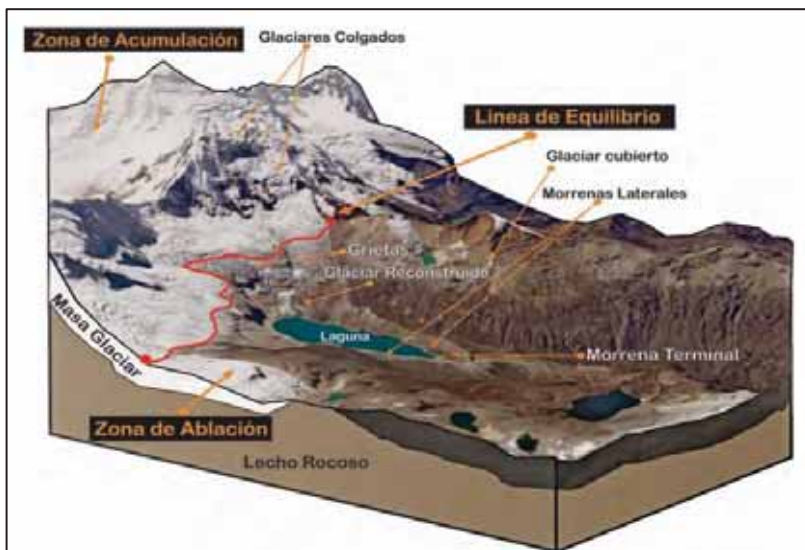
### *Partes de un Glaciar 01*



Fuente: (Quintanar Harce, 2022)

**Figura 4**

*Partes de un Glaciar 02*



Fuente:(INAIGEM, 2017)

- **Zona de acumulación:** “es aquella superficie con cantidad de nieve y hielo acumulada a lo largo de un año hidrológico; y que proporciona información acerca de la cantidad de precipitación sólida depositada en el glaciar durante un año hidrológico” (Francou, 2004 y Pouyaud, 2008), citado por (INAIGEM, 2017).
- **Zona de ablación:** “es la zona del glaciar donde predominan los procesos de fusión (pérdida de hielo en forma líquida), evaporización, sublimación y desprendimiento de masas de hielo. (Francou, 2004 y Pouyaud, 2008) mencionado por (INAIGEM, 2017).
- **Altura de la Línea de Equilibrio (ELA):** “Es una línea hipotética que distingue la zona de acumulación de la zona de ablación. En esta primera zona, se da la ganancia, aporte glaciar, predominan los procesos de ganancia, que propician la conservación de la nieve y su transformación en hielo; en la segunda zona, se da la pérdida, prevalecen la fusión y la sublimación que favorecen la pérdida de masa glaciar” (Ubeda,2010) citado por (INAIGEM, 2017).

### ***Cordilleras Nevadas que Forman Parte de la Región Cusco***

Según el (Santillana Portilla, 2014) “existen 06 cordilleras nevadas que son parte de la región Cusco, de las 05 se ubican en el límite con los departamentos de Puno, Arequipa y Apurímac”, ver figura 05 y 06.

#### **Figura 5**

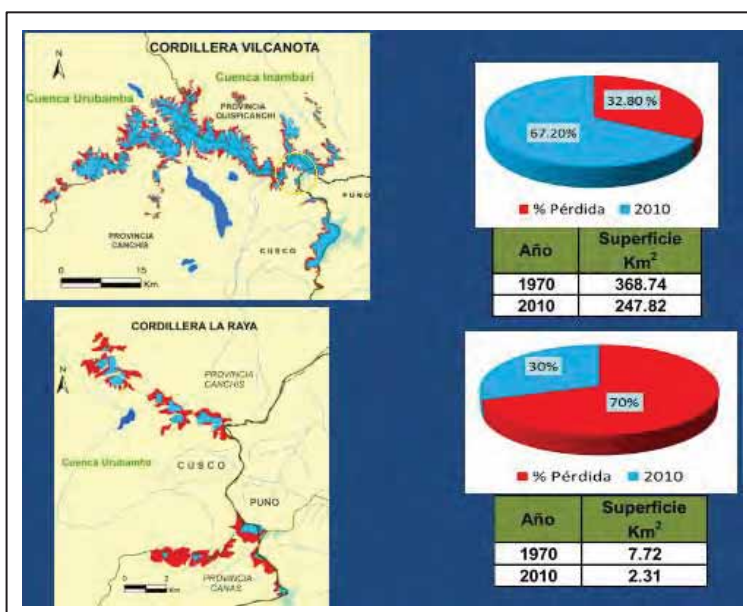
*Cordillera Nevadas –Glaciares en la Región del Cusco*



Fuente: Inventario de Glaciares y Lagunas región Cusco 2014.

#### **Figura 6**

*Evolución de los Glaciares Inventariados en el año 1970-Region Cusco*



Fuente: Inventario de Glaciares y Lagunas región Cusco 2014.



(Santillana Portilla, 2014), menciona que “Cusco desde el 1970 al 2010, hubo una reducción del 39.8 %; por lo que estas investigaciones tienen que continuar a lo largo de los años para hacer el monitoreo correspondiente y tomar las medidas necesarias”.

### **Teledetección**

La teledetección o percepción remota ('Remote Sensing'), es el método científico que constituye un extenso conjunto de saberes y tecnologías utilizadas para la observación, estudio y la explicación de fenómenos terrestres y atmosféricos. Las fuentes primordiales de información son las mediciones y las imágenes obtenidas esto con la ayuda de plataformas aéreas y espaciales; la teledetección supone la adquisición de información a distancia, sin contacto directo con el objeto estudiado, esto implica la presencia de información entre el objeto observado y el objeto captado. El portador de esta información es la radiación electromagnética, esta puede ser emitida por el objeto o proceder de otro cuerpo y haber sido reflejada por este (Gonzales et al., 2013) citado por (Ramos Mamani, 2018) pag.12.

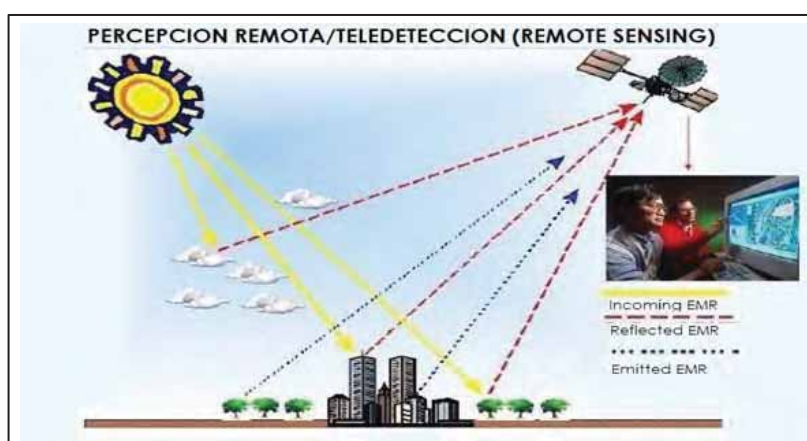
Todas las sustancias, materia, cuerpos (“planetas, seres vivos, objetos inanimados”) difunden radiación electromagnética; la cuantía y clase de esta radiación emitida por los cuerpos penden esencialmente de su temperatura. Los recientes métodos de teledetección, a diferencia de los presentes en los inicios del acrecentamiento de estas tecnologías, han probado un acelerado desarrollo, en especial en la última década, siendo una tecnología indispensable en el seguimiento de diversos avances que repercuten en la superficie terrestre y

atmósfera adyacente, de gran conmoción, básicamente para el planeta tierra, como puede ser el “cambio climático, la deforestación, la desertificación”, entre otros. Así, existen sistemas de satélites operacionales que muestrean prácticamente todas las regiones del espectro electromagnético, con resoluciones espaciales desde 0.5 a 5.0 m (Gonzales et al., 2013) mencionado por (Ramos Mamani, 2018) pag.12.

La teledetección también se define como; la ciencia y técnica, que consiste en la obtención de información de algún objeto sin haber realizado contacto físico directo con este, en el concepto común la observación se realiza desde arriba a partir de un sensor transportado en aviones o bordo de satélites, y la información se detecta por radiación electromagnética (Luz visible, infrarroja, ultravioleta, radiación y otros). (Remote sensing of glaciers Techniques for topographic spatial and thermatic mapping of glacier, 2010, pág. 1) citado por (Escobedo Silva, 2018).

### Figura 7

#### *Percepción Remota/Teledetección*

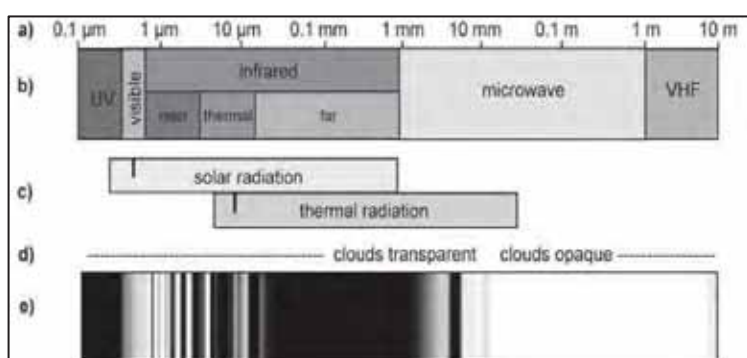


Fuente: (Escobedo Silva, 2018).

“En la naturaleza se encuentra dos fuentes de radiación electromagnética; la radiación solar y la radiación térmica (Radiación de Planck), que se emiten por dos cuerpos que tienen una temperatura superior al cero absoluto” (Remote sensing of glaciers Techniques for topographic spatial and thermatic mapping of glacier, 2010, pag.2) citado por (Escobedo Silva, 2018).

## Figura 8

### Regiones del Espectro Electromagnético



Fuente: (Pellikka & Rees, 2010, pág. 2)(Escobedo Silva, 2018).

## Imágenes Satelitales

### Landsat 8 Oli Tirs

Para el presente trabajo se utilizó las imágenes Landsat 8, obtenidas del satélite LDCM (Landsat Data Continuity Mission) desde el año 2013 y que según su descripción integra un “radiómetro de barrido multicanal OLI (Operational Land Imager) y un radiómetro infrarrojo de dos canales TIRS (Thermal Infrared Sensor)”. Las imágenes cartográficas tienen una precisión que es de 12 m o superior y la resolución espacial de las imágenes con TIRS es de 100 m; en la cual proporciona una combinación de 8 bandas de longitud de onda infrarroja.

## Tabla 1

### Características de Landsat 8

Participantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA</li> <li>• DOI USGS</li> </ul>
---------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bus Espacial: Orbital Science Corp.</li> <li>• Sensor Operational Land Imager (OLI): Ball Aerospace Technologies Corp.</li> </ul>
Fecha de Lanzamiento	11 de febrero del 2013
Vehículo	Cohete Atlas-V
Lugar	Base de la Fuerza Aérea Vandenberg , California
Orbita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de Referencia Mundial-2 (WRS-2), sistema Path/Row.</li> <li>• Órbita sincrónica con el Sol a una altitud de 705 km (438 mi).</li> <li>• Ciclo de 233 órbitas; cubre todo el globo cada 16 días (excepto las latitudes polares más altas).</li> <li>• Inclinación de 98,2° (ligeramente retrógrado).</li> <li>• Realiza un giro completo a la Tierra cada 98.9 minutos.</li> <li>• Hora de travesía ecuatorial: 10:00 a.m. +/- 15 minutos</li> </ul>
Sensores	OLI y TIRS

Fuente: (AOS DATA, 2022)

**Tabla 2***Bandas de Landsat 8*

Sensor	Band number	Nombre de la banda	Wavelength (µm)	Resolution (m)	Band Applications
OLI	1	Costera (Coastal)	0.43 - 0.45	30	Análisis costeros y de aerosoles
OLI	2	Azul	0.45 - 0.51	30	Cartografía batimétrica, que diferencia el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la vegetación de coníferas
OLI	3	Verde	0.53 - 0.59	30	Enfatiza los picos de máxima vegetación, que son útiles para calcular el vigor de las plantas
OLI	4	Roja	0.63 - 0.67	30	Distingue las laderas de vegetación
OLI	5	Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30	Destaca el contenido de biomasa y las costas
OLI	6	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1.57 - 1.65	30	Analiza la humedad del suelo y de la vegetación; penetra a través de nubes finas
OLI	7	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2.11 - 2.29	30	Optimiza la lectura de la humedad d el suelo y la vegetación y la penetración a través de nubes finas
OLI	8	Pancromática (Pan)	0.50 - 0.68	15	Resolución de 15 metros, definición de imagen más nítida

OLI	9	Cirros (Cirrus)	1.36 - 1.38	30	Mejor detección de la contaminación en cirros
TIRS	10	Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10.60 - 11.19	30 (100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo
TIRS	11	Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11.50 - 12.51	30 (100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo

Fuente: (AOS DATA, 2022)

### ***NDSI = Normalized Difference Snow Index***

“El índice NDSI es una medida de la magnitud relativa de la diferencia de reflectancia entre el rango visible del espectro (verde) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), y que controla la varianza de dos bandas (una que se da en el infrarrojo cercano o en el infrarrojo de onda corta y otra en las partes visibles del espectro); y esto nos ayuda en la distinción de nieve y así poder generar mapas”. (<https://eos.com/es/ndsi/>).

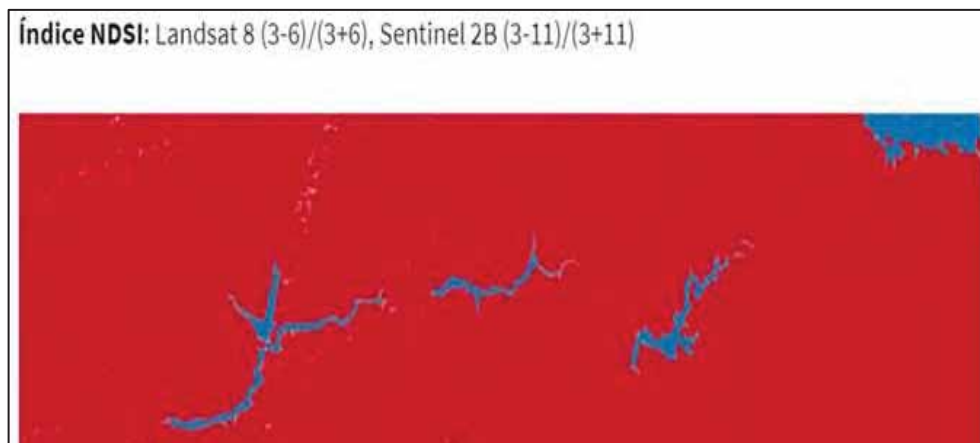
El glaciar tiene una propiedad espectral, que presenta una “alta reflectancia en el espectro visible (verde) y muy baja en el infrarrojo medio infrarrojo de onda corta; lo que permite utilizar datos de las imágenes de varias bandas (multiespectrales)”. En el caso particular de la obtención y análisis de la cobertura glaciar se aplica el Normalized Difference Snow Index “NDSI”. (Dosier, 1989; Burns & Nolin, 2014) referido por (INAIGEM, 2017).

Este algoritmo según (Racoviteanu et al., 2008), mencionado por (INAIGEM, 2017); “es robusto, fácil de emplear y menos sensible a las variaciones del albedo a diferencia de uso de ratios de bandas, y se muestra en la siguiente ecuación”.

$$NDSI = \frac{Banda_{visible} - Banda_{Infrarojo}}{Banda_{visible} + Banda_{Infrarojo}}$$

## Figura 9

### *Combinaciones de Bandas RGB de Imágenes Satélite Landsat y Sentinel*



Fuente: (GISANDBEERS, 2017)

### ***Sistema de Información Geográfica SIG; y su Importancia en el Estudio de los Glaciares***

El SIG es una herramienta para la investigación y muy útil; en esta investigación se tomó en cuenta para el Cálculo del índice NDSI y para el cálculo de áreas obtenidas de los índices TCG y NDVI, para el área de bofedales.

Teixeira (1995) citado por (Zubieta Barragán, 2013), propone la definición de un SIG como: “Conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios) perfectamente integrados, de tal manera que se haga posible la recolección, almacenamiento, procesamiento y el análisis de datos georreferenciados, así como la producción de información generada de su aplicación”.

### **Otras Anomalías Que Influyen En El Retroceso Glaciar**

(Perry et al., 2014) citado por (Drenkhan, Guardamino, Huggel, & Frey, 2018) menciona que “la cuenca Urubamba-Vilcanota; está región particularmente influenciada por anomalías interanuales de El Niño Oscilación

del Sur (ENSO) con un mayor transporte de humedad hacia el este durante El Niño y con regímenes de flujo mejorado del oeste seco durante La Niña”.

(cf. Vuille et al., 2008b) citado por (Drenkhan et al., 2018), menciona que; “estas anomalías tienen un impacto en el balance de masa de los glaciares en los Andes peruanos con un derretimiento potencialmente fuerte debido a una mayor ablación durante El Niño y un balance de masa más estable o incluso positiva durante La Niña”. No obstante, la señal y la magnitud de ENSO en los glaciares no siempre son claras y diferenciables de otras características climáticas importantes Sin embargo, para parte superior de la cuenca Vilcanota-Urubamba y dentro de nuestro período de estudio, Thompson et al. (2017) identificaron una relación consistente de balance de masa negativo relacionada con e.g. el último El Niño 2015/16. En general, se observan tendencias de temperatura positivas en una magnitud de aproximadamente 0.1 a 0.4 ° C / década (1965 - 2009) en la cuenca Vilcanota- Urubamba tanto de la estación (SENAMHI, 2009) como de los datos de re análisis de NCEP / NCAR, mencionado por (Salzmann et al., 2013), estos autores son citados por (Drenkhan et al., 2018).

En el estudio realizado en la evaluación glaciar actual y futura nos dan de ejemplo, que el período de estudio incluye los últimos eventos fuertes de El Niño 1991/92, 1997/98, 2009/10 y 2015/16. Sin embargo, los impactos directos en las tasas observadas de reducción de glaciares y desarrollo de lagos no pueden atribuirse claramente con los intervalos de observación de 6 años aplicados. Además, como se indicaron anteriormente, el tiempo de respuesta de los glaciares se retrasa y, por lo tanto, una interpretación lineal de los cambios anuales en la extensión de los glaciares y lagos podría ser engañosa.

“En resumen, se necesitan más investigaciones que incluyan conjuntos de datos más amplios y detallados para comprender y posiblemente confirmar los efectos climáticos y morfológicos locales sobre los posibles cambios a mediano y largo plazo en las tendencias de contracción de los glaciares” (Drenkhan et al., 2018).

El fenómeno El Niño en el Pacífico central produce menos lluvia, (Takhachi, 2014).

En un estudio realizado en el glaciar Antisana, ubicado en Ecuador, manifiestan que la respuesta de los glaciares a las variaciones de temperatura al Este del Pacífico no experimenta un retraso significativo, se estableció un desfase de tres meses entre la ocurrencia de anomalías de temperatura a nivel del mar (SST) y la respuesta de los glaciares en el Ecuador, este hecho sugiere que existe una relación directa entre el fenómeno ENSO y la fusión de los glaciares ubicados sobre las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes Ecuatorianos (Francou et al., 2004) citado por (Cáceres et al., 2006).

En cuanto a la Cordillera Blanca en Perú, los vínculos entre ENSO y el balance de masa de los glaciares son similares a los de Bolivia, con la SSTa (Sea Surface Temperature Anomalies) está ejerciendo el control predominante a gran escala sobre las variaciones interanuales del balance de masa. Por lo general, los eventos de El Niño dan como resultado anomalías negativas en el balance de masa y La Niña en señales por encima del promedio. “Sin embargo, estas teleconexiones son espacialmente inestables y se han observado eventos ENSO con efectos inversos sobre el balance de masa de los glaciares” (Vuille et al., 2008b), citado por (Rabatel et al., 2013).



A continuación, se hará referencia al marco teórico del segundo componente

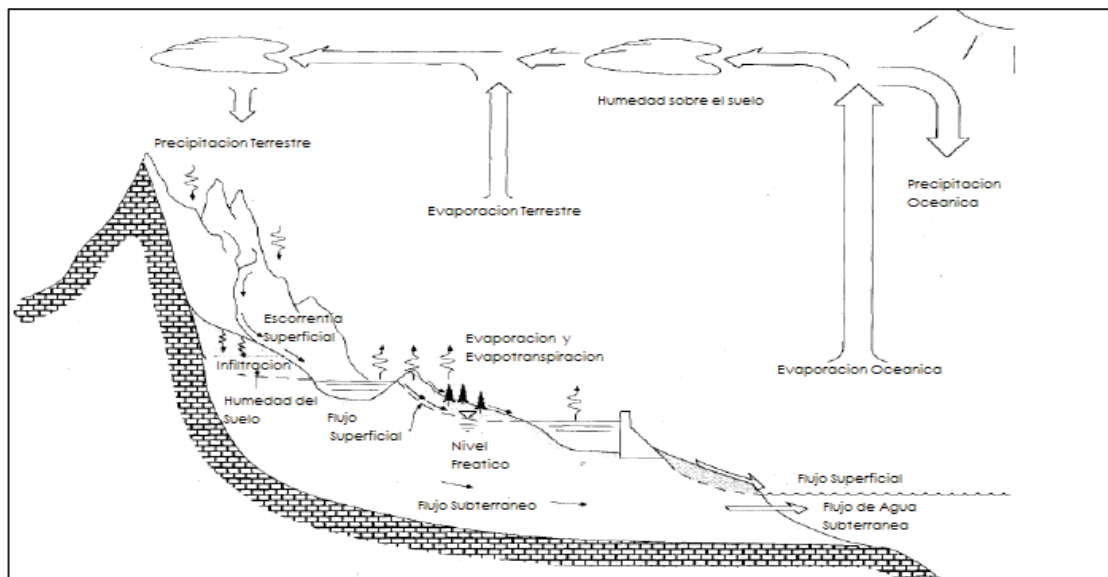
## **2° Caudal**

### **La Hidrología En Relación A Las Cuencas Glaciares**

#### **El Ciclo Hidrológico**

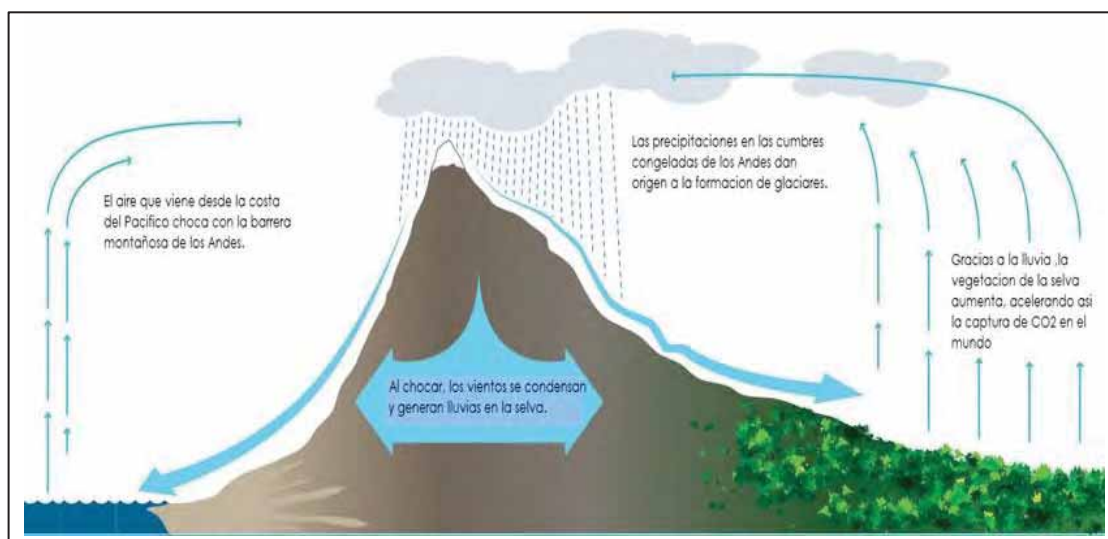
(Chow, 1959), citado por (Zubieta Barragán, 2013) comenta lo siguiente: El estudio de los recursos hídricos se relaciona con el agua del planeta tierra: su repartición, circulación, sus cualidades físicas y químicas, su interrelación con el ecosistema y con los seres vivos y en particular con la humanidad. Se considera que la hidrología comprende todas las ciencias hídricas. Y se define como “el estudio del ciclo hidrológico”, ver Figura 10. Que es la posición central de la hidrología. Que no tiene comienzo ni fin y sus procesos y que sucede en forma incesante: el agua se vaporiza desde la superficie terrestre y de los océanos y vuelve al ambiente; el vapor de agua se traslada y se alza hasta que condense y precipita sobre la tierra y los océanos. El agua que se precipita o que puede ser detenida por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, escurrir por el suelo como flujo subsuperficial y descargar en ríos como escorrentía superficial.

Ciclo del agua con balance promedio global anual en unidades relativas de un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre.

**Figura 10****Ciclo del Agua**

Fuente: Modelado Hidrológico Distribuido de la Cuenca Amazónica Peruana Utilizando Precipitación Obtenida por Satélite.

“El agua que se infiltra puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde brota en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora” (Chow, 1959), citado por (Zubieta Barragán, 2013).

**Figura 11****Ciclo Hidrológico en la Región Andina**

Fuente: (COMUNIDAD ANDINA, 2010).

### **Pluviometría En La Región Andina**

La precipitación promedio anual de la región del Altiplano es próximo a 700 mm (promedio de 7 estaciones meteorológicas en la región entre 2005 - 2010, Perry et al., 2013), que de igual manera se corrobora por la estación meteorológica en Lampa. Perry et al., 2013 hallaron que la humedad que genera la precipitación proviene principalmente de la cuenca Amazónica. Como la Cordillera Vilcanota está ubicada en una zona con grandes gradientes de precipitación de este a oeste, la precipitación medida en estaciones ubicadas en el altiplano probablemente subestima la precipitación en el glaciar Suyuparina, mencionado por (Molina et al., 2015).

En la región del Cusco, se presenta dos estaciones bien caracterizadas; una de ellas es una estación seca caracterizada por presentar poca precipitación (abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre). En estos meses, gran parte del caudal proviene de la fusión de los glaciares , (Molina et al., 2015).

“Si los glaciares desaparecen, ya no existiría ese almacenamiento y - probablemente – el agua del río Vilcanota y sus afluentes sería muy escaso durante la estación seca” (Molina et al., 2015).

### ***Caudales en las Cuencas Glaciares***

La Cordillera del Vilcanota, la segunda más extensa del Perú con 279.4 km<sup>2</sup> (Autoridad Nacional del Agua, 2012), tiene una importancia económica y social en la región del Cusco; almacena el agua proveniente de la fusión glaciar en la laguna de Sibinacocha que posteriormente es utilizada para regular los

caudales de la central hidroeléctrica de Machu Picchu durante los periodos de estiaje, y permite la existencia de pastizales permanentes para la producción de auquénidos (alimenta a más de 15 000 cabezas de alpaca), durante todo el año, mencionado por (Suarez W., Macedo N., Montoya N., Arias S., Schauwekcer S., Huggel C., Rohrer M., 2015).

### ***Generación de Caudales –Método Lutz Scholz***

Este modelo hidrológico fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el escenario de la “Cooperación Técnica de la Republica de Alemania a través del Plan Meris II”.

Este modelo hidrológico es “combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para un año promedio (Balance Hídrico-Modelo determinístico) y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano –Modelo Estocástico)”.

Este modelo hidrológico se establece por la falta de anotaciones, registros de caudales en la región de la sierra del Perú, el modelo se fomentó teniendo como importancia los parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas que hayan podido ser obtenidos a por medio de evaluaciones cartográficas y de campo; los parámetros más relevantes del modelo son los coeficientes para determinar la “precipitación efectiva de escurrimiento , retención y agotamiento de las cuencas”; el procedimiento que siguió el experto Lutz Scholz fue:

1. Examino los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas en medio de Cusco, Huancavelica, Junín y Cajamarca y comenzó a calcular los parámetros esenciales para puntualizar los fenómenos de la escorrentía en promedio.

2. Estableció un compuesto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en estas cuencas que están a falta de información hidrométrica. Y empleando los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca correspondiente y los modelos parciales, es posible calcular los caudales mensuales.
3. Permite la generación de caudales para un periodo extendido en el punto de captación proyectada por un cálculo combinado (la precipitación efectiva con las descargas del mes anterior por un proceso markoviano) y calibrando el modelo integral por aforos ejecutados (Gamarra Chuquicusma, 2018) pág. 22.

El modelo de Lutz Scholz es utilizado para generar los caudales medios mensuales extendidos a todo el territorio nacional, los estudios realizados con fines de obtener el potencial hídrico de las cuencas hidrográficas por las entidades estatales – ANA (Autoridad Nacional del Agua) y SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) (Soto Najarro, 2015) pág. 4.

### ***Otras Anomalías en Cuanto al Recurso Hídrico***

Según los autores (p. Ej. y Pizarro, 1985; Aceituno, 1988; Vuille et al., 2000; Garreaud y Aceituno, 2001) citados (Rabatel et al., 2013) mencionan lo siguiente; la situación actual de los glaciares en los Andes Tropicales; en escalas de tiempo interanuales, el grado de variación de la precipitación ha sido descrita en muchos estudios y existe un acuerdo general en que una fracción significativa de esta variabilidad está relacionada con el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO). Estos estudios concluyeron que “los años de El Niño (fase cálida de ENSO) tienden a ser cálidos y secos, mientras que los años de La Niña (fase fría

de ENSO) están asociados con condiciones frías y húmedas en el Altiplano”. No obstante, las características climáticas de La Niña / El Niño no son homogéneas en toda la región de los Andes tropicales. Incluso en la escala de un país, las consecuencias de un evento de El Niño pueden variar considerablemente, por ejemplo, entre la costa norte de Perú y la región sur del Altiplano peruano.

Según los investigadores (Urrutia y Vuille, 2009; Minvielle y Garreaud, 2011) mencionados por (Morales et al., 2012), sostienen lo siguiente, los resultados de los “modelos climáticos globales y regionales” expresan que el incremento de las emisiones de gases que ocasionan el “efecto invernadero” agravará las condiciones secas en el Altiplano hasta finales del siglo XXI. Gran parte de los modelos climáticos pronostican un incremento de la corriente de agua del oeste sobre el Altiplano, lo que inducirá una disminución en el traslado de masas de aire húmedo desde el este. Los modelos climáticos estiman una reducción de las precipitaciones en el Altiplano del 10 al 30 % a lo largo del siglo XXI. Dado que la variabilidad ENSO es un factor clave que afecta los patrones de precipitación en el Altiplano, las reconstrucciones de precipitación de alta resolución de los Andes Centrales pueden proporcionar información valiosa sobre cómo las teleconexiones ENSO afectan el Altiplano bajo diferentes condiciones climáticas globales. Por otro lado, nuestra reconstrucción, junto con los registros sensibles de ENSO en todo el mundo, ayudará a comprender la dinámica espacial de las teleconexiones ENSO en todo el mundo y, en consecuencia, mejorará la previsibilidad de ENSO.

Sin embargo, no se comprende enteramente los probables impactos y teleconexiones de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) al clima regional. Estudios que con anterioridad se realizaron no encontraron una relación clara entre

cambios de temperatura o precipitación y eventos ENSO (Salzmann et al., 2013; SENAMHI, 2009) referido por (Molina et al., 2015)

A continuación, se hará referencia al marco teórico del tercer componente

### **3° Bofedal**

#### **Humedales**

Los humedales son áreas, zonas donde el principal factor controlador de este ecosistema es el agua que controla la existencia vegetal y animal relacionada a él.

Los humedales surgen donde la napa freática se encuentra en las superficies terrestres o próximas a ella o donde la tierra está recubierta por aguas profundas.

En el artículo 1.1 de la Convención de Ramsar se entiende también por humedales a las extensiones de marismas, pantanos y turberas , o superficies cubiertas de aguas , sean estas de régimen natural o artificial , permanentes o temporales , estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas , incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda a seis metros. (Ramsar, 2006) pag.9.

Asimismo, se ha encontrado que la mayoría de bofedales son alimentados por alguna fuente subterránea de agua, además de la precipitación; y, dependiendo de su posición en la cuenca, recibirá un mayor aporte de agua, o será más estacional (Cooper et al., 2010; Salvador et al., 2015; Polk, 2016) citado por (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### ***Términos y Definiciones Referente a los Humedales- Bofedales***

**Humedal:** Capa freática sobre (o muy cerca).

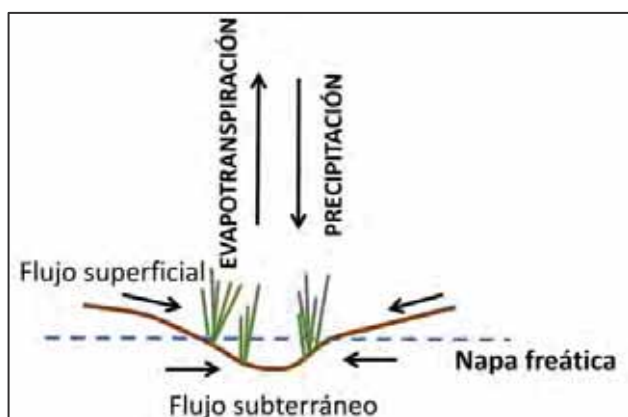
**Turba:** Suelo orgánico, con al menos 30 % de materia orgánica.

**Turbera:** Modelo de humedal que retiene al menos 30 – 40 cm turba.

**Bofedal** : Clase de humedal altoandino que exhibe vegetación hidromorfica y comúnmente reúne turba. Saturado de agua estacional o permanente (MINAM) referido por (Fuentealba D., 2019)

### **Figura 12**

*Agua-Suelo-Vegetacion en un Bofedal*



Fuente: Modificado de Novistki 1979 (Fuentealba D., 2019).

### ***Cambio Climático, Ecosistemas Acuáticos, Referido a Humedales***

Los efectos ecológicos del “cambio climático” está supeditado enormemente de la tasación y dimensión de la variación entre dos factores ambientales críticos: (1) temperatura y, (2) la disponibilidad hídrica a partir de la precipitación y la escorrentía. Estos dos elementos regulan numerosos procesos ambientales; en los ecosistemas acuáticos, directa e indirectamente, las variaciones en la naturaleza son considerables ya que es de importancia para



muchos ecosistemas acuáticos. La temperatura regula claramente los procesos de vida vitales y una mudanza en el régimen térmico (temperaturas extremas, tiempo de duración y las tasas estacionales de cambio de temperatura) puede regular directamente la tasación del crecimiento y reproducción de las especies. Ya que las especies acuáticas y de humedales se adaptan a rangos de temperaturas, el “calentamiento global” modificará los probables rangos geográficos de especies en el hemisferio norte, hacia el norte y en las regiones de montaña a una mayor altitud. Del mismo modo, en la parte más meridional (o elevación más baja) del presente geográfico el rango de muchas especies se volverá inadecuado (Poff et al., 2002) mencionado por (Ramos Mamani, 2018) pag.36.

### ***Los Humedales Alto Andinos (HAA), También Conocidos como Bofedales***

(Tapia & Flores, 1984; Alzerreca et al., 2001; Squeo et al., 2006) citados por (García & Otto, 2015) pág. 2, mencionan que “los HAA son ecosistemas que se encuentran vinculados de manera perenne o temporal a la presencia de agua, ya sea de la proveniente de lluvias, quebradas, aguas subterráneas, deshielo de glaciares o fusión de nieve”.

Según cita (García & Otto, 2015)pág. 2, que los HAA “juegan un rol vital en la formación de las cuencas andinas al proveer servicios ecosistémicos vitales como: agua, regulación hídrica, hábitat de flora y fauna generalmente endémica y refugio de aves migratorias” (Convención de Ramsar & Grupo de Contacto EHAA, 2008).

“Por otra parte, se conoce muy poco sobre la relación de los HAA con la hidrología y climatología a nivel local y regional” (Otto et al., 2011) referido por (Garcia & Otto, 2015) pág. 2.

(Garcia & Otto, 2015) pág. 2, cita lo siguiente “aunque los modelos climáticos en la región Andina aún tienen mucha incertidumbre, se pronostica un aumento de la temperatura” (Díaz et al., 2003).

(Garcia & Otto, 2015) pág. 2, refiere que “la teledetección a través del análisis de las imágenes capturadas por los satélites de observación terrestre, han demostrado ser de una herramienta única para generar información espacial sobre HAA” (Quiroz & Saatchi, 1999; Postigo et al., 2008; Otto et al., 2011; García & Lleellish, 2012).

Otto et al. (2011), usaron imágenes de los satélites Landsat y MODIS, y a través de índices espectrales encontraron la distribución espacial y temporal de los HAA localizados en la región sur del Perú, dentro de la ecorregión Puna seca, mencionado por (Garcia & Otto, 2015) pág. 2.

Según (Bury et al., 2013), citado por (Cuadros Diaz, 2018) pág.12; menciona que “los bofedales alto andinos que no sean suministrados por un flujo continuo de agua se encuentran en riesgo de fragmentación con una consecuente pérdida de la biodiversidad, lo cual ya ha sido observado en el valle de Quilcayhuanca, en Perú”.

Según (Ocaña Vidal, 2017) pag.38; los humedales altoandinos se ubican en los fondos de valle fluvio-glaciar, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales. Se sustentan del agua proveniente de la fusión

de los glaciares, del afloramiento del agua subterránea (manantial) y de la precipitación pluvial.

Los suelos se mantienen inundados constantemente, así lo menciona (Ocaña Vidal, 2017) pag.38; con ligeras oscilaciones en el periodo seco y se han constituido a partir de materiales parentales de origen fluvio-glacial, glacial, aluvial y coluvio-aluvial localizados en las depresiones de las superficies planas y con una ligera inclinación.

“La poca disponibilidad de oxígeno debido al drenaje pobre favorece la acumulación de un grueso colchón orgánico proveniente de raíces muertas de las plantas y la materia orgánica en el suelo provoca un escaso drenaje del mismo ayudando así al mantenimiento de humedad”. (Ocaña Vidal, 2017) pag.38.

Los bofedales llamados también turberas, vegas andinas, oconales (del quechua oqo que significa mojado), cenegales, humedales y otros, son una clase de pradera nativa poco amplia con una humedad constante, vegetación perennemente verde y de alta capacidad productiva.

“Se caracterizan por localizarse en suelos hidromorfos húmedos o empapados donde se maximiza la utilización del agua, la producción forrajera es continua, mantienen una carga animal apreciable, principalmente alpacas y otros herbívoros en pastoreo mixto y generalmente continuo” (Alzérreca, 1988) (Enciso Ortiz, 2017) pag.17.

**Figura 13***Bofedal Alto Andino*

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

**Figura 14***Bofedal en el Ámbito de la Cordillera Vilcanota*

Fuente: (INAIGEM, 2018).

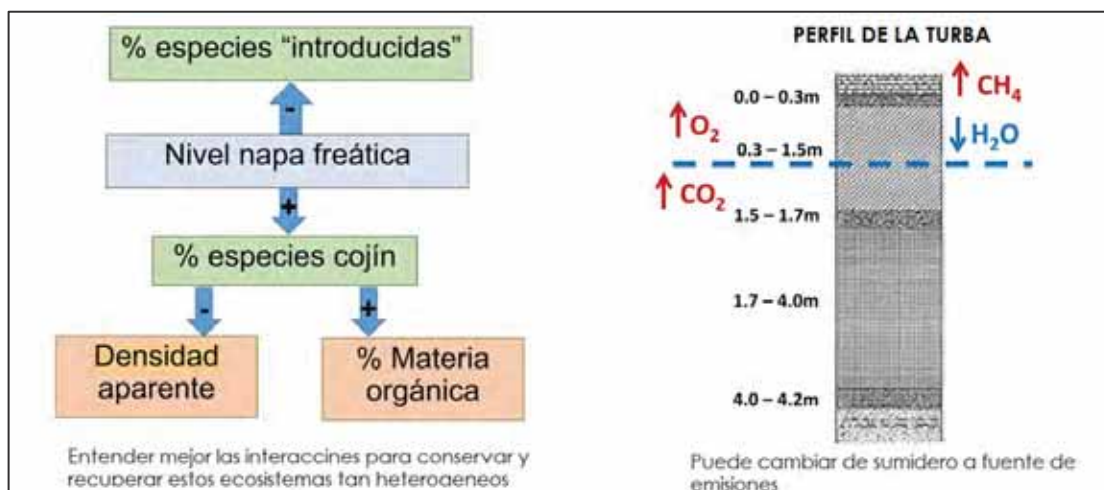
### Procesos Ecológicos en los Bofedales

La roca madre es importante en cuanto a la calidad del agua pocos estudios manifiestan que el tipo de roca madre que bordea el área de bofedal, es la que incide en mayor medida en las características de la calidad del agua (“pH, conductividad eléctrica y nutrientes”) [Cooper et al., 2010] citado por (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019) refiere que “el desarrollo de acumular turba se da en el tiempo donde la velocidad con que se añade material vegetal muerto al suelo, es mayor a la velocidad de descomposición. Si la napa freática está cerca de la superficie, saturando el suelo, se hace más lento el proceso de descomposición porque se reduce la disponibilidad de oxígeno en el suelo, y se favorece la descomposición anaeróbica” (Biancalani y Avagyan, 2014. Urbina y Benavides, 2015).

### Figura 15

#### Procesos a Tener en Cuenta en los Bofedales



Fuente:(Fuentelba D., 2019).

### ***Indicadores del Estado del Ecosistema del Bofedal***

“Los indicadores son componentes del ecosistema que pueden ser observados y medidos, y que se relacionan con uno o más atributos” (Pyke et al., 2002) citado por (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

“Para el desarrollo de la presente tesis y en específico para este tercer componente se utilizó la Guía de la Evaluación del Ecosistema de Bofedal” elaborado por (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019) se puede ver en Anexo D.

### ***Índice de Vegetación Diferencia Normalizada –NDVI***

Este índice se basa en la diferencia entre la máxima absorción de radiación en el rojo a causa de los pigmentos clorofílicos y la máxima reflexión de radiación en el “IR” cercano debido a la estructura celular de la hoja y de que el suelo desnudo es carente de estos mecanismos, no muestra una diferencia espectral que es dramática el rango de variación queda comprendido entre -1 y +1 (Lamolda, 2008), citado por (Ramos Mamani, 2018).

(Ramos Mamani, 2018), Menciona también lo siguiente; este índice de vegetación justifica su aplicación debido a las diferencias en el comportamiento espectral entre la vegetación verde saludable, la vegetación muerta o senescente, y los suelos secos desnudos (Ponce, 2010). Para realizar el cálculo se utilizan las “bandas del rojo (R) e infrarrojo cercano (IRC)”. Zonas de alto vigor (densidad vegetal) tienen una gran reflectividad (respuesta) en el infrarrojo cercano y una menor reflectividad en el rojo. El índice se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

(Oyola, 2009) citado por (Ramos Mamani, 2018) menciona lo siguiente; “que cuando el valor se aproxima a 1 está señalando una vegetación vigorosa y sana, los valores próximos a cero se vincula con un suelo fraccionado a desprovisto, valores negativos comúnmente corresponden a nubes o cuerpos de agua”. Mediante el empleo de este índice se podrá identificar diferentes grados de cobertura vegetal.

“Los métodos más aplicados para evaluar específicamente humedales altoandinos son los índices espectrales, tales como: el índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI” (Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019) pag.2.

(Wilson et al., 2016; Mohammadi et al., 2017) citado por (Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019) refiere lo siguiente; “que el índice NDVI es ampliamente usado para evaluar el vigor de la vegetación, según la densidad y salud de la vegetación”.

“Algunos autores han aplicado técnicas de análisis espectral para caracterizar humedales altoandinos, como el caso del NDVI, que ha sido aplicado para identificar humedales perennes y temporales, donde los valores de los umbrales están asociados a los periodos de precipitación” (Otto et al., 2011) ; fue validado obteniendo resultados significativos (García, 2015; Aduato y Bram, 2015) pag.3, citado por (Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019).

### Tabla 3

*Índices más Citados para la Evaluación de Coberturas Asociadas a los Humedales –Agua, Suelo y Vegetación*

Nombre Índice	Ecuación	Propiedad Medida	Autor
LSWI	$(\text{NIR}-\text{SWIR}) / (\text{NIR}+\text{SWIR})$	Humedad en la vegetación	Xiao et al., 2002
NDWI	$\text{Green}-\text{NIR} / (\text{Green}+\text{NIR})$	Aguas abiertas	McFeeters, 1996

NDVI	$(\text{NIR-Red}) / (\text{NIR+Red})$	Verdor de la vegetación	Rouse et., 1973
EVI	$(\text{NIR-Read}) / (\text{NIR} + 6\text{Read} - 7.5 \text{Blue} + 1)$	Biomasa	Huete et al., 2002
SAVI	$((\text{NIR} - \text{Read}) / (\text{NIR} + \text{Read} + 1)) / (1 + L)$	Verdor de la vegetación	Huete et al., 1987
TCG	$-0.2941 \text{Blue} - 0.2430 \text{Green} - 0.5424 \text{Read} + 0.7276 \text{NIR} + 0.713 \text{SWIRI} - 0.1608 \text{SWIRII}$	Coberturas terrestres	Muhammad et I, 2014

Fuente: (Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019).

Por otro lado (Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019) citan a los siguientes autores: Adauto y Bram (2015), revelaron que los valores de los umbrales asociados a los humedales altoandinos generados a partir de NDVI, evaluado en periodos de escasa precipitación, procesado en una imagen Landsat 8 OLI, se ubican entre los rangos de 0.5022 a 0.9428. (Otto et al., 2011).

#### Tabla 4

##### *Umbral de Separación de Humedales Alto Andinos Mediante Índices Espectrales en imágenes Landsat 8 OLI, agosto 2016*

Índice	Humedales	Otras Coberturas	Valor Min-Max
LSWI	0.745 a 0.950	1.000-0.745; 0.950-1.000	-1.000 a 1.000
NDWI	-1.000 a -0.620	-0.620 a 1.000	-1.000 a 1.000
NDVI	0.395 a 1.000	-1.000 a 0.395	-1.000 a 1.000
EVI	0.300 a 0.774	-0.181 a 0.300	-0.181 a 0.774
SAVI	0.250 a 0.537	-1.471 a 0.250	-0.171 a 0.537
TCG	0.120 a 0.292	-0.305 a 0.120	-0.305 a 0.292

Fuente:(Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019).

#### **Índice Tasseled CAP of Greenness-TCG**

La “transformación Tasseled Cap (Kauth-Thomas)” está planeada para examinar y representar las modificaciones que se dan en la vegetación y en la expansión urbana esto captados por varios sistemas de sensor de satélite. Se conoce como la “transformación Tasseled Cap” debido de qué manera se distribuye los datos en forma gráfica. Fue desarrollada por “R. J. Kauth y G. S en 1976. Thomas del Instituto de Investigación Medioambiental de Michigan (ERIM).



En el documento (Kauth y Thomas, 1976)". Esta transformación se ha utilizado para hacer un seguimiento, para el análisis y la representación cartográfica de la vegetación para apoyar una gran diversas actividades que están relacionadas con la vegetación. Descrito en la página web (<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/tasseled-cap-transformation.htm>).

(Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019) refiere en este párrafo lo siguiente; el TCG también es el resultado de la suma ponderada de las bandas que participan en este proceso y fue diseñado para evaluar los patrones progresivos de crecimiento de los cultivos (Kauth y Thomas, 1976), aplicado en diferentes programas satelitales y para Landsat 8 OLI, (Baig et al.), donde se obtiene un nuevo componente mediante un mecanismo de reducción de datos que permite mejorar la interoperabilidad de la estructura de datos espectrales, obteniendo como resultado las características físicas del paisaje en clases (Crist, 1985; Gao et al., 2012).

Para ver la ecuación del TCG, ver la tabla N° 03 y para los umbrales de separación ver la tabla N° 04.

## **2.2. Marco Conceptual (Palabras Clave)**

Cuenca Glaciar Alayripampa: Parte de los glaciares tropicales que se encuentran en la Cordillera Vilcanota, ubicada en los distritos de Pitumarca y Checacupe- Provincia de Canchis- Departamento Cusco.

**Retroceso Glaciar:** (Silva 2018) pág. 96, refiere; es un hecho global a causa del incremento de la temperatura; además. Los glaciares del mundo se encuentran en retroceso desde el final de la Pequeña Edad de Hielo, alrededor

del año 1850 (Escobedo Silva, 2018). Aun así, en las últimas décadas este avance del retroceso glaciar está incrementando a una proporción sin igual, a efecto del “cambio climático” que percibe actualmente el planeta, en especial en aquellos países que se localizan en los paralelos tropicales.

**Índice NDSI:** Es un índice que mide la diferencia de reflectancia entre el “rango visible del espectro (verde) y el infrarrojo de onda corta (SWIR)”. Examina la varianza de dos bandas (“una en el infrarrojo cercano o en el infrarrojo de onda corta y otra en las partes visibles del espectro”). Este proceso es eficaz para la identificación de nieve.

**Generación de Caudales “Método Lutz Scholz”:** Es un modelo hidrológico combinado (determinístico-estocástico), la estructura determinística para calcular caudales mensualizados en un año promedio (Balance Hídrico-Modelo determinístico) y la estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano –Modelo Estocástico).

**Bofedal:** Clase de humedal altoandino que expone una vegetación hidromórfica y que normalmente acumula turba. Colmado de agua estacional o permanente.

**Índice NDVI (Normalized Difference Vegetación Index):** El índice se fundamenta en la diferencia que existe entre la máxima absorción de radiación que se da en el rojo a razón de los pigmentos clorofílicos y la máxima reflexión de radiación que se da en el IR (infrarrojo) cercano esto se debe al sistema celular de la hoja y de que la superficie del suelo desnudo es carente de estos procedimientos y no presenta una diferencia espectral que queda comprendido entre los rangos -1 y +1.

**Índice TCG (Tasseled CAP Vegetacion):** Está proyectada para detallar y representar modificaciones de la vegetación y el contexto urbano, detectado por un variado sistema de sensores. Es la suma ponderada de las bandas (Blue, Green, Red, NIR, SWIRI y SWIRII) que participan en este procesamiento, fue diseñado para evaluar las muestras progresivas de crecimiento de los cultivos.

### **2.3. Antecedentes Empíricos de la Investigación (Estado Del Arte)**

#### **1° Cuenca glaciar (retroceso glaciar, mediante imágenes satelitales, índice NDSI) y Otros Conceptos de la Glaciología**

(INAIGEM, 2018) Menciona que “en la Zona Sur: Está conformada por las cordilleras Ampato, Huanzo, Chila, Vilcabamba, La Raya, Urubamba, Vilcanota, Carabaya y Apolobamba. La pérdida de glaciares en esta zona es elevada, convirtiéndose en la segunda zona de los Andes peruanos con mayor reducción de superficie glaciar”. Así, se registra en promedio una pérdida de 59.68 %; esta reducción afecta directamente a ciudades de los departamentos de Arequipa, Puno, Apurímac y Cusco, y de forma indirecta a ciudades como Moquegua, Nazca, Tacna e Ilo.

(Avalos et al., 2011) Menciona que; las cumbres andinas están en el sur de la cuenca, donde se inicia la cuenca vertiente del Urubamba, relacionada a las mesetas andinas conocidas como punas que se ubican por encima de los 3800 msnm; entre las más importantes está la meseta de Yauri y de Sivinacocha (ubicada en Cusco). Estas mesetas se caracterizan por presentar una configuración ligeramente ondulada debido a la presencia de antiguas acumulaciones glaciares o morrenas y también al modelado de las rocas debido a la acción erosiva de las aguas de escorrentía superficial producto de las

precipitaciones o de la fusión de los glaciares, de las nieves permanentes o aquellas nieves que se forman en las noches en áreas periglaciares.

(Salzmann et al., 2013) refiere que los “glaciares de la Cordillera Vilcanota proporcionan agua para la región de Cusco, relativamente densamente poblada. Para el Cordillera Vilcanota, solo se encuentran disponibles muy pocos datos climáticos y glaciares a largo plazo (escala decenal)”. Esto es notable en vista de su tamaño e importancia socioeconómica (por ejemplo, Vergara et al. 2007).

(Molina et al., 2015) hace mención que “la Cordillera Vilcanota concentra aproximadamente el 20 % de los glaciares del territorio peruano, (UGRH, 2014); así como entre 1988 y 2010, el área glaciar ha disminuido alrededor de 4 km<sup>2</sup> por año, de aproximadamente 360 km<sup>2</sup> a 270 km<sup>2</sup>” (-25%, Hanshaw & Bookhagen, 2014).

(INAIGEM, 2018) menciona que la Cordillera Vilcanota es la segunda cordillera glaciar más grande del Perú luego de la Cordillera Blanca. Los glaciares se encuentran dispersos a lo largo de 95 km de noroeste a sureste y se extiende 60 km de este a oeste, formando los glaciares un arco. Dentro de la cordillera encontramos en su mayoría glaciares de tipo montaña, adheridos a los flancos de las laderas, seguida de los de tipo hielo cubierto y valle glaciar.

La cima más alta de la cordillera montañosa es el nevado Ausangate con 6 372 m.s.n.m.

Los glaciares más representativos de la Cordillera Vilcanota son: Ausangate, Cuncapata,

Sorañaño, Quelcaya, Japupunta, Jatunhuma, Chumpe, Pucca Orcco, Ananta, Pata Ananta y Huayruro.

(INAIGEM, 2018) refiere que la “Cordillera Vilcanota cubre una superficie glaciar total de 255.44 km<sup>2</sup> en el 2016, que incluye área glaciar cubierto de escombros con 11.56 km<sup>2</sup> (4.53 %) y área glaciar libre de detritos o escombros con 243.88 km<sup>2</sup> (95.47 %)”.

Considerando los datos registrado en los inventarios al 2016, se obtiene una tasa de retroceso 4.47 km<sup>2</sup>/año. Con este dato se estimaría que los glaciares de la Cordillera Vilcanota desaparecerían en el año 2075, de continuar la tendencia actual.

(INAIGEM, 2018) menciona que “en 1997 se realizó un nuevo inventario parcial en cuencas seleccionadas en las cordilleras Blanca, Raura, Central, Huaytapallana, Huagoruncho y Vilcanota. Tomando como base el inventario parcial, se realizó una proyección a nivel nacional con respecto a las demás cordilleras”.

“El material básico de trabajo fueron las imágenes del satélite LANDSAT tomadas en el período 1995 - 1997, obteniendo un área de cobertura glaciar de 14.99 km<sup>2</sup> para la Cordillera La Viuda” (CONAM, 2001).

(INAIGEM, 2018) hace referencia que; entre los años 2003 al 2014, se efectuó el tercer inventario de glaciares y lagunas realizado por la UGRH, en base al procesamiento de imágenes satelitales SPOT, ASTER, LANDSAT y LISS III de diecinueve cordilleras del Perú (se incluyó a la Cordillera Volcánica que en la actualidad es considerada extinta, aunque con acumulación estacional de nieve). Se obtuvo una cubierta glaciar de 279.40 km<sup>2</sup> y 374 glaciares para la Cordillera Vilcanota (ANA, 2014).

Brecher y Thompson (1993) citado por (Francou et al., 2013) sostienen que; En la Cordillera de Vilcanota, en Quelccaya, observaron un incremento de 1 a 10 de las pérdidas entre 1963 - 1978 y 1991 - 2005, mientras que Salzman et al. (2013) miden una regresión de 30 % en área y 45 % en volumen de los glaciares desde 1985. (Racoviteanu et al., 2007) citado por (Francou et al., 2013) menciona que se encuentran cifras comparables entre 1962 y 2000 en el Coropuna, al sur del Perú, del orden de 26 % de desaparición de las superficies glaciares. Todo indica que en los macizos del Perú han desaparecido entre un cuarto y un tercio de sus glaciares durante el último tercio del siglo 20.

(Drenkhan et al., 2018) menciona que en el período de estudio, las áreas de glaciares disminuyeron sustancialmente en un 37.3 % de 226.1 km<sup>2</sup> en 1998 a 141.7 km<sup>2</sup> en 2016. Esto corresponde a una pérdida promedio anual de 1.3% que es comparable a otros estudios en la región de Vilcanota-Urubamba, como Veettil y de Souza (2017) con 1.2 % año para 1975 - 2015 y Hanshaw y Bookhagen (2014) con 1.4 % año para 1988 - 2010. Nuestros resultados son levemente más bajos que los de Salzman et al (2013) quienes calcularon 1.6 % año para 1985 - 2006 en la Cordillera Vilcanota y por encima del promedio del Inventario Nacional de Glaciares para todo el Perú (1.1 % año para 1970 - 2010) (ANA, 2014a). La contracción global de los glaciares es claramente detectable durante todo el período de estudio y para las cuatro cadenas montañosas, aparentemente con una tendencia decreciente que solo se interrumpe por un período de derretimiento intenso 2004 - 2010 y una fuerte desaceleración posterior. Esta tendencia general de desaceleración del retroceso también ha sido confirmada para el período 1996 - 2006 en la Cordillera Vilcanota por

Salzmann et al. (2013) y para el período 2010 - 2014 en la Cordillera Vilcabamba por Guardamino y Drenkhan (2016).

## **2° Caudal (Generación de caudales, método Lutz Scholz) y Otros Conceptos Relacionados a la Hidrología**

(INAIGEM, 2018) hace mención que “en el ámbito de la Cordillera Vilcanota se ubica en las regiones hidrográficas del Amazonas y el Titicaca; siendo las cuencas Urubamba, Inambari y la intercuenca Alto Madre de Dios, en la vertiente del Amazonas, y Azángaro, en la cuenca del Titicaca”.

(INAIGEM, 2018) menciona que “la laguna Sibinacocha es el recurso hídrico más considerable en el ámbito”. En la actualidad represa un volumen mayor a 100 hm<sup>3</sup>. El volumen de agua regulada alimenta al río Salcca, que a su vez recibe agua de los ríos Pumanuta y Putto hasta llegar al río Vilcanota. También forma parte el río Chilcamayu, que aguas abajo, cambia de nombre a Pitumarca, y más al norte, se integra el río Tinquimay. Los ríos son un conjunto de caudales dependientes de la fusión glaciar. De este modo se configura el esquema hidrográfico más importante para el departamento del Cusco. La Cordillera Vilcanota provee el recurso primordial para el desarrollo social y económico, particularmente en los meses de estiaje (mayo a septiembre).

(Molina et al., 2015) hace mención que en el río Vilcanota-Urubamba tiene su origen en la Cordillera Vilcanota y aporta de forma considerable a los recursos hídricos regionales. El recurso hídrico que aflora en la Cordillera de Vilcanota abastece de agua al gran valle del río Vilcanota, este valle es fundamental, puesto que concentra el 75 % de la población del Departamento del Cusco, es decir, 900 000 habitantes (INEI 2007) y el 82 % de terrenos de cultivo.

(INAIGEM, 2018) menciona que “la Cordillera Vilcanota se ubica en la Cordillera Oriental y se caracteriza por tener una morfología de montañas altas cuyo drenaje se orienta a la unidad hidrográfica del río Amazonas. Ver Anexo H Ubicación Cordillera Vilcanota”.

(Molina et al., 2015) hace referencia que la relación balance de masa glaciar, recurso hídrico y los habitantes de la cuenca del río Vilcanota están conectados, debido a que los habitantes del valle son los afectados y que en el futuro éstos padecerán las consecuencias, de ahí la relevancia del balance de masa en la cuenca glaciar Suyuparina. En la región del Cusco, hay dos estaciones bien diferenciadas; una estación seca, comprende abril a noviembre y la estación lluviosa de diciembre a marzo. En la estación seca gran parte del caudal procede del derretimiento de los glaciares. Si los glaciares se disiparen, ya no existiría ese almacenaje de agua y quizá el agua existente en el río Vilcanota y sus ríos tributarios sería escasa en la estación seca.

### ***Otros Conceptos Relacionados a la Generación de Caudales***

(INAIGEM, 2018) hace referencia que; según los datos grillados del proyecto PISCO, la temperatura media anual es entre los 10 °C y 12 °C para zonas ubicadas alrededor de los 3 000 a 3 500 m.s.n.m., seguidamente los valores van disminuyendo entretanto se incrementa la altitud llegándose a tener, por sobre los 4 500 m.s.n.m., una temperatura media anual de alrededor de 6 °C (Lavado, et al., 2016).

(Salzmann et al., 2013) menciona que; el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) mantiene una red de estaciones climáticas en la zona de Cusco. Varios registros comienzan en 1965, pero



muchas estaciones fueron cerradas mientras tanto. La mayoría tiene varias brechas importantes en los datos, y muchas de las estaciones incluso habían estado fuera de servicio durante varios años durante la época políticamente inestable de la década de 1980. Hay 30 estaciones ubicadas en el área de la Cordillera Vilcanota a altitudes superiores a los 4 000 m s.n.m., y varias de ellas incluso por encima de los 4 300 m.s.n.m., casi correspondientes a la elevación de los extremos glaciares más bajos de la Cordillera Vilcanota. Todas las estaciones climáticas proporcionan la temperatura del aire medida a las 07/13/19h, la temperatura del aire mínima y máxima y las sumas de precipitación diarias o semidiarias. Un pequeño número de estaciones también proporciona otras variables, incluido el punto de rocío, la presión del aire o la velocidad y dirección del viento. Además, también hay algunas estaciones de precipitación en la zona.

(Molina et al., 2015) hace referencia que “en la Cordillera Vilcanota está situada en un área climática compleja, en el límite sur de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT) y por lo tanto entre patrones climáticos tropicales y subtropicales” (Salzmann et al., 2013).

(Molina et al., 2015) hace referencia que en la región del Cusco, se caracteriza por una estación húmeda en el verano austral (de diciembre a marzo) y una estación seca durante el resto del año. La lluvia promedio anual de la región altiplánica es con proximidad de 700 mm (obtenido de 7 estaciones entre los años 2005 al 2010), y esta humedad proviene de la cuenca Amazónica. Perry et al., 2013. Como la Cordillera Vilcanota está ubicada en una zona con grandes gradientes de precipitación de este a oeste, la precipitación medida en

estaciones ubicadas en el altiplano probablemente subestima la precipitación en el glaciar Suyuparina.

(Molina et al., 2015) “indica que las tendencias en la temperatura varían estacionalmente y son diferentes entre temperatura máxima y mínima”.

“Se ha reportado por ejemplo que temperatura mínima diaria aumenta más fuerte que la temperatura máxima diaria” (Salzmann et al., 2013) La estación meteorológica de Lampa (15.4°S, 70.4°W, 3 900 msnm, 180 km al sur-sureste de la Cordillera Vilcanota) muestra un aumento de 0.16°C por década entre 1966 y 2009.

(Molina et al., 2015) menciona que todavía no se entienden completamente los posibles impactos y teleconexiones de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) al clima regional. Estudios previos no encontraron una relación clara entre cambios de temperatura o precipitación y eventos ENSO (Salzmann et al., 2013; SENAMHI, 2009).

(Kronenberg et al., 2016), Juen et al. (2007) mencionan que, utilizan la precipitación mensual para calcular el albedo. Teniendo como resultado para la Cordillera Vilcanota muestran que la correlación incrementa si incorporamos la precipitación de los meses precedentes. Conforme a los estudios realizados, una disminución de la precipitación puede suscitar una considerable reducción del albedo, surgiendo también un incremento de energía asequible para la ablación. En el análisis realizado por los investigadores toda precipitación ha sido estimada como nieve. No obstante, es una síntesis importante, ya que asimismo hay presencia de precipitaciones líquidas como las encontradas en la estación de Murmurani a 5 050 m.s.n.m. (Poremba et al. 2015), y el nivel de congelación es

crítico para el albedo (Schauwecker et al., 2016). Entretanto la absorción de la radiación incidente en onda corta incrementará con la disminución del albedo, la cuantía de ésta misma acrecentará en un escenario más seco.

### **3° Bofedal (Análisis de vegetación en campo y mediante imágenes satelitales índices NDVI y TCG) y Otros Conceptos Relacionados**

(INAIGEM, 2018), pag.272 menciona que en los Ecosistemas de Montaña; en la Cordillera Vilcanota se presentan siete ecosistemas que ofrecen servicios ecosistémicos considerables dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, bosque de montaña, bosque de montaña altimontano, bosque de montaña basimontano, bosque de montaña montano, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2017). Estos ecosistemas ofrecen servicios que se orientan más a la regulación hídrica, sostenimiento de la biodiversidad, captura de carbono, belleza paisajística y conformación de suelos, y otros.

El pajonal andino, ocupa el 53.5 % del territorio seguido del conjunto de bosques andinos (7.5 %) y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas resaltando el bofedal con el 5%.

(INAIGEM, 2018) pag.260 indica que los bofedales están constituidos por especies vegetales propias de ambientes húmedos, de carácter permanente o temporal, y constituyen fuentes de forraje durante los periodos de sequía. En la constitución florística predominan especies de aspecto de almohadillado, como: “*Distichia muscoides*, *Plantago rigida*, *Oxycloe sp.*, y especies como *Calamagrostis ovata*, *C. eminens* y *C. rigescens*”. Junto a estas especies se

encuentran otras de importancia secundaria, como “*Hypochaeris taraxacoides*, *Werneria pygmaea*, *Alchemilla diplophylla* y *Cotula mexicana*”.

Son considerables asimismo los totorales y juncales que son poblaciones vegetales que crecen al borde de los lagos y donde predomina mayormente por *Schoenoplectus californicus* y *Karinia mexicana*.

### **Otros Conceptos Relacionados con la Investigación**

#### **Geología y Geomorfología**

(INAIGEM, 2018) hace mención que en la parte septentrional de la Cordillera Vilcanota sobresalen afloramientos de rocas metamórficas precámbricas constituidas por gneis y anfibolitas. Sobreyaciendo se tienen rocas sedimentarias paleozoicas conformadas por areniscas, cuarcitas, metareniscas, pizarras con nódulos calcáreos e intercalación de areniscas y lutitas micáceas. Estas formaciones fueron intruídas por secuencias graníticas, siendo cubiertas posteriormente por depósitos cuaternarios de origen glaciar.

(INAIGEM, 2018) menciona que hacia la parte meridional de la cordillera, afloran rocas sedimentarias cretácicas compuestas por calizas y areniscas principalmente. Sobreyaciendo, se tienen rocas sedimentarias cenozoicas conformadas por conglomerados, areniscas rojas intercaladas con limoarcillitas y lodolitas y secuencias volcano- sedimentarios. También existen intrusivos de naturaleza riolítica habiendo sido cubiertos por depósitos cuaternarios tipo glaciofluvial. Estructuralmente, se visualizan plegamientos de anticlinales, sinclinales y sobre escurrimientos como resultado de la geodinámica de las placas tectónicas.

## **Ecosistema de Montaña**

(MINAM, 2017) citado por (INAIGEM, 2018) menciona que “en la Cordillera Vilcanota se presentan siete ecosistemas que ofrecen servicios ecosistémicos considerables dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, bosque de montaña, bosque de montaña altimontano, bosque de montaña basimontano, bosque de montaña montano, matorral arbustivo y pajonal andino”.

## CAPITULO III

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### a) Hipótesis General

Determinando el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico, se conocerá el estado de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.

##### b) Hipótesis Específicas

1. Se conocerá la situación del retroceso glaciar de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.
2. Se conocerá la correlación entre el retroceso glaciar y el caudal generado en la cuenca Alayripampa.
3. Se conocerá las reservas de agua (bofedales), el área; la situación de la vegetación y de los suelos.

#### 3.2. Identificación de Variables e Indicadores

**Tabla 5**

*Identificación de Variables e Indicadores*

Variable	Indicadores	Unidades
Retroceso glaciar.	Mediante índice NDSI (imágenes satelitales)	Km <sup>2</sup>
Caudales generados.	Caudales	m <sup>3</sup> /s /mensuales
Variación de la precipitación y temperatura.	Precipitación	mm/mensuales
	Temperatura	°C/mensuales
Área de reservas de agua (bofedal).	Mediante índice NDVI y TCG(imágenes satelitales)	m <sup>2</sup>

### 3.3. Operacionalización de Variables

**Tabla 6**

*Operacionalización de Variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Unidades
Retroceso glaciar.	Imágenes satelitales por año (2013 - 2019)	Análisis de interpretación, de imágenes satelitales del 2013 - 2019, mediante el índice NDSI.	Imágenes satelitales Landsat.	Km <sup>2</sup>
Caudales generados.	Datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) de las estaciones meteorológicas del SENAMHI	Se hizo el análisis de las variables climatológicas de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de; Sicuani, Ccatcca y Macusani. Con los datos obtenidos se procedió al cálculo de la generación de caudales mediante el método de Lutz Scholz, esto a la salida de la cuenca glaciar.	Caudales	m <sup>3</sup> /s /mensuales
Variación de la precipitación y temperatura.	Información de las estaciones meteorológicas del SENAHMI.	Interpretación y análisis de datos climatológicos precipitación y temperatura mensual desde el año 2013 - 2019 para la cuenca glaciar Alayripampa.	Precipitación Temperatura	mm/mensual °C/mensual
Área de reservas de agua (bofedal).	Imágenes satelitales	Análisis de interpretación, de imágenes satelitales, mediante los índices NDVI y TCG.	Imágenes satelitales Landsat	m <sup>2</sup>

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1. **Ámbito de Estudio: Localización Política y Geográfica**

La cuenca glaciar Alayripampa se ubica en los distritos de Pitumarca y Checacupe- Provincia de Canchis- Departamento Cusco.

Está ubicado en la zona UTM 19S entre las coordenadas 290 000 y 300 000 Este y 8 462 000 y 8 476 000.

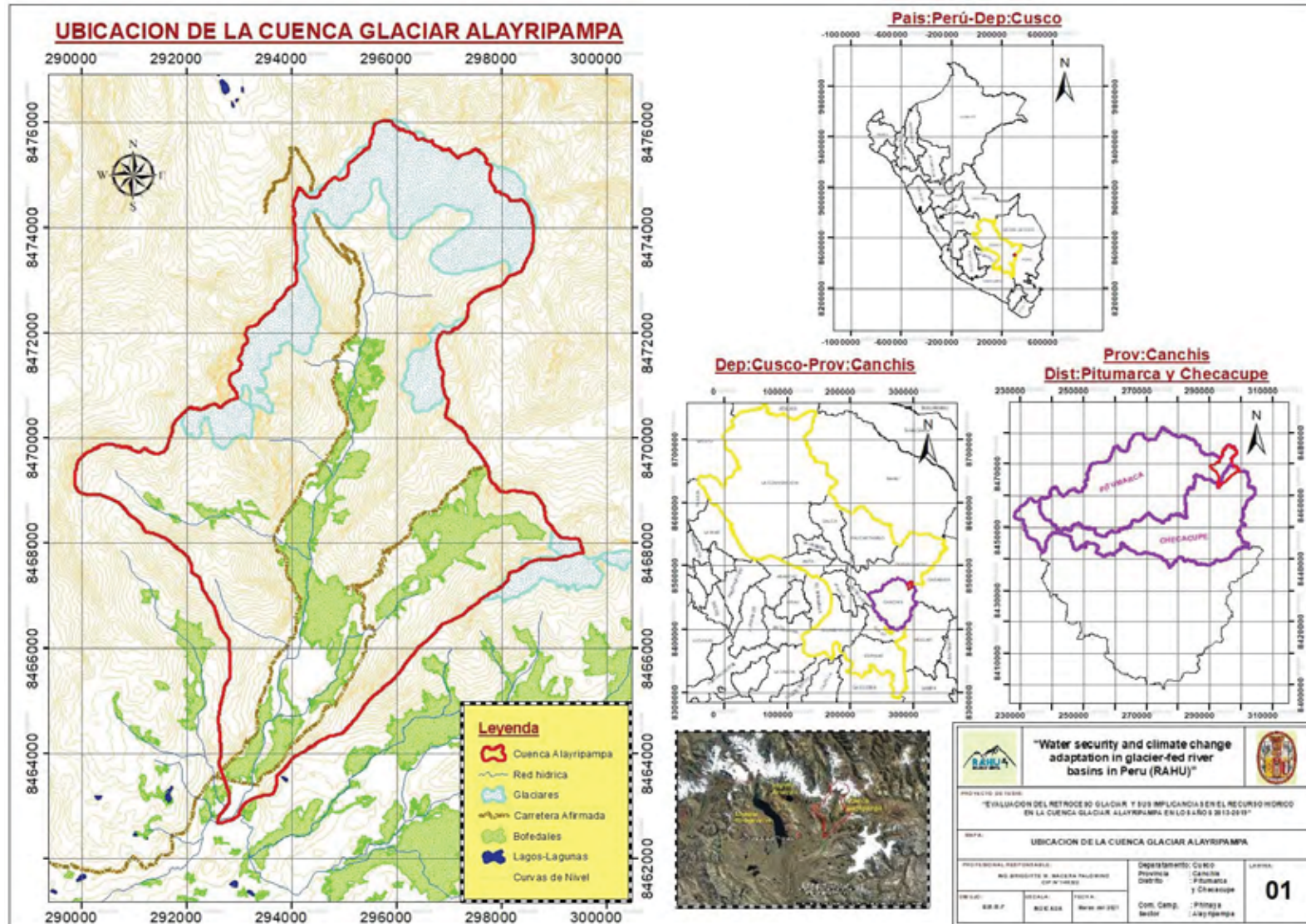
#### **Ubicación Geográfica:**

- Superficie : 55.19 km<sup>2</sup>
- Latitud Sur : entre los paralelos 13° 54'00" y 13° 46' 30".
- Longitud oeste : entre meridianos 70° 50'30" y 70° 56' 30".



Figura 16

Ubicación del Área de Estudio

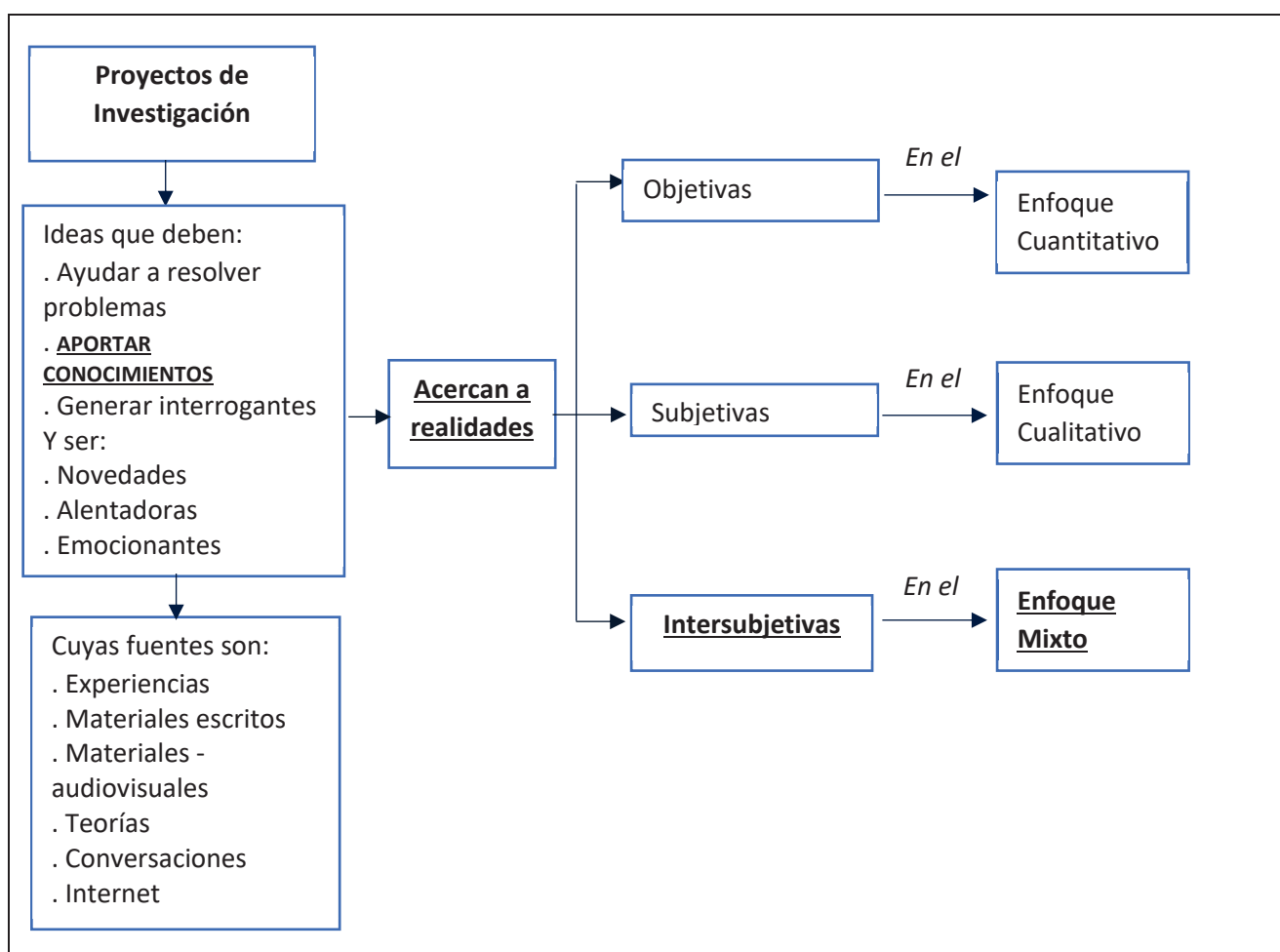


## 4.2. Tipo y Nivel de Investigación

Según (H. Sampieri, 2014), pag.56; “los proyectos de investigación surgen bajo los criterios que se muestra en la figura N°17, en el presente proyecto la idea surgió con el fin de Aportar Conocimientos, y acercan a realidades Objetivas en el Enfoque Mixto”.

**Figura 17**

*Tipo y Nivel de Investigación*



Se ha tomado en cuenta que la presente investigación es tipo Mixto, ya que se ha hecho un análisis numérico (determinando el retroceso glaciar, generación de caudales, análisis de vegetación) y la descripción cualitativa del bofedal en el área de estudio.

### 4.3. Unidad de Análisis

La unidad de análisis ha sido la cuenca glaciar Alayripampa ubicada entre los distritos de Pitumarca y Checacupe de la Provincia de Canchis Departamento de Cusco.

La cual abarca tres aspectos en su investigación:

- 1° Cuenca glaciar (retroceso glaciar, mediante imágenes satelitales, índice NDSI).
- 2° Caudal (Generación de caudales, método Lutz Scholz).
- 3° Bofedal (Análisis de vegetación en campo y mediante imágenes satelitales índices NDVI y TCG); la población en estudio es el área vegetal que existe en el bofedal.

### 4.4. Técnicas de Recolección de Información

La investigación realizada abarca tres componentes:

- 1° Cuenca glaciar (retroceso glaciar, mediante imágenes satelitales, índice NDSI).
- 2° Caudal (Generación de caudales, método Lutz Scholz).
- 3° Bofedal (Análisis de vegetación en campo y mediante imágenes satelitales índices NDVI y TCG).

**1° La cuenca glaciar en selección;** se ha elegido esta cuenta por el acceso que se tiene a la misma ya que existe una carretera (vía Checacupe-Pitumarca) que cruza la cuenca glaciar Alayripampa así mismo es accesible a los glaciares; Suyuparina y Quisoquipina (se encuentran va entre 110 a 350 metros de accesibilidad) esto ha permitido hacer estudios por diferentes

investigadores. A pesar de que determinamos el retroceso glaciar mediante imágenes, hemos tomado en cuenta esta cuenca glaciar, también por accesibilidad al bofedal en estudio.

En cuanto a la selección de las imágenes satelitales, escogimos las imágenes del satélite LANDSAT 8-OLI y TIRS, por tener el registro de imágenes satelitales, desde el año 2013. Lo descargamos de la USGS “Science for a Changing World”, se puede observar en la siguiente figura.

### Figura 18

*United States Geological Survey*



Fuente: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Esto nos sirvió para definir el “Índice Normalizado de Diferencia de Nieve” (NDSI).

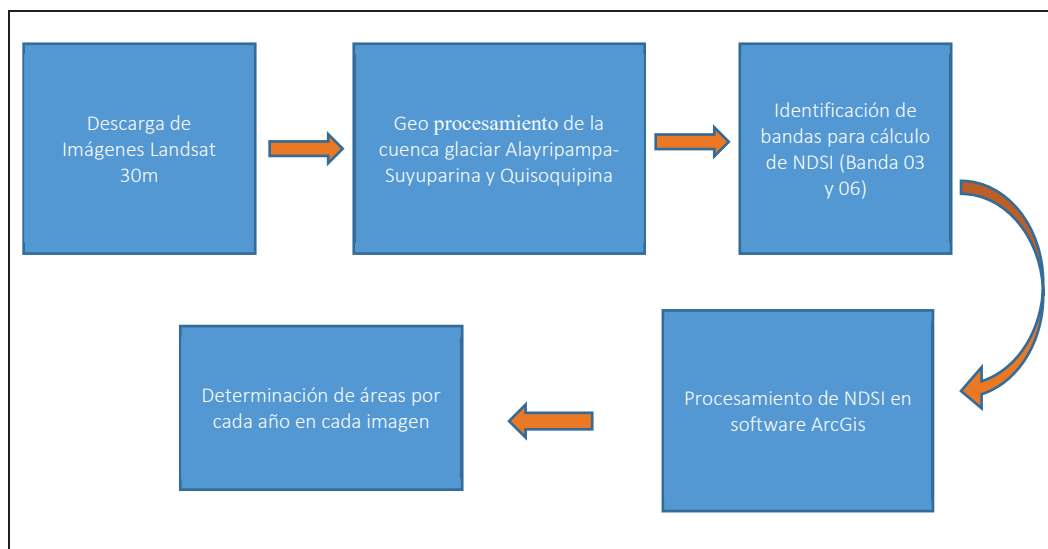
Para lo cual se realizó el siguiente proceso:

#### 4.4.1. Realizar el Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar de los Glaciares Suyuparina y Quisoquipina.

El proceso realizado para este objetivo se muestra en el siguiente flujo.

##### Figura 19

Flujo: Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar de la Cuenca Alayripampa



##### a) Descarga de Imágenes Landsat 30 m.

La descarga se hizo de la USGS (Science for a Changing world) teniendo en cuenta la época de seca entre los meses de mayo-agosto, desde el 2013 al 2019 se hizo más de una descarga y se escogieron las imágenes más óptimas y limpias para el cálculo del NDSI.

##### b) Geoprocesamiento

Para realizar el geoprocesamiento utilizamos el “Manual Metodológico de Inventario Nacional de Glaciares”.

En la cual tomamos el ítem 7.1 Glaciar Blanco: Para poder obtener la cobertura glaciar, a través de la teledetección, se debe tener en cuenta las firmas

espectrales que caracterizan y reflejan una cobertura terrestre según las regiones del espectro electromagnético. (INAIGEM, 2017).

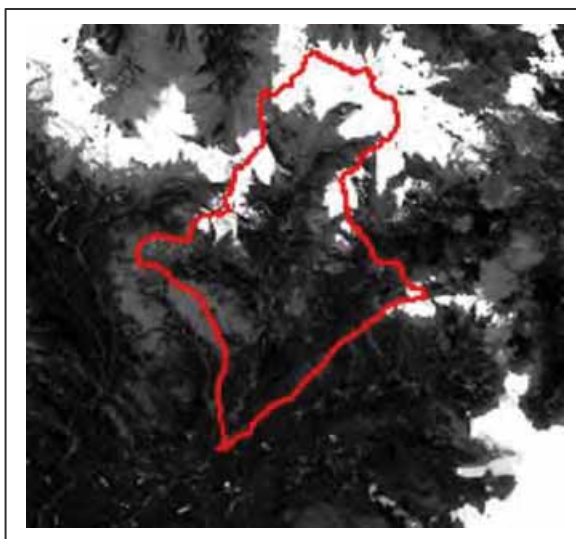
A partir de las imágenes satelitales corregidas realizamos el mapeo de la cobertura glaciar mediante el siguiente método.

### c) Índice Normalizado de Diferencia

Como ya se mencionó anteriormente para la obtención y análisis de la cobertura glaciar se aplicará el Normalized Difference Snow Index (NDSI) para la obtención del área glaciar por año.

#### **Figura 20**

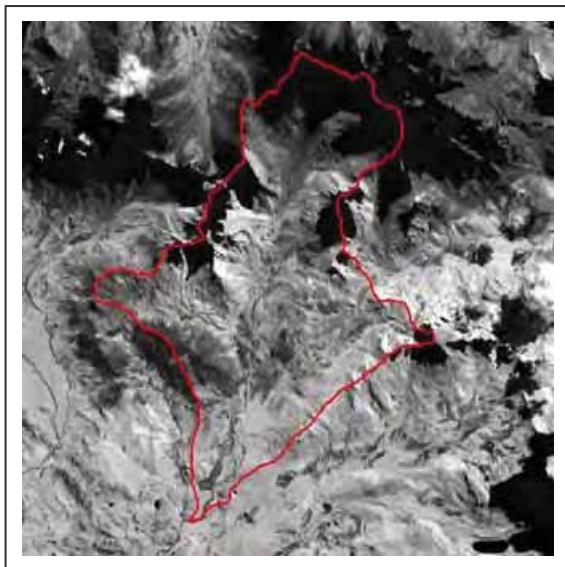
*Imagen espectral, descargada de la USGS*



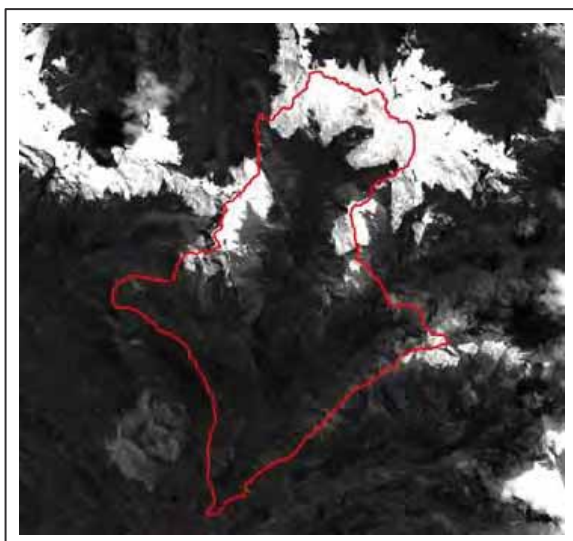
Identificación de bandas para cálculo de NDSI (Banda 03 y 06).

**Figura 21**

*Banda 06 de la Cuenca Alayripampa*

**Figura 22**

*Banda 03 de la Cuenca Alayripampa*

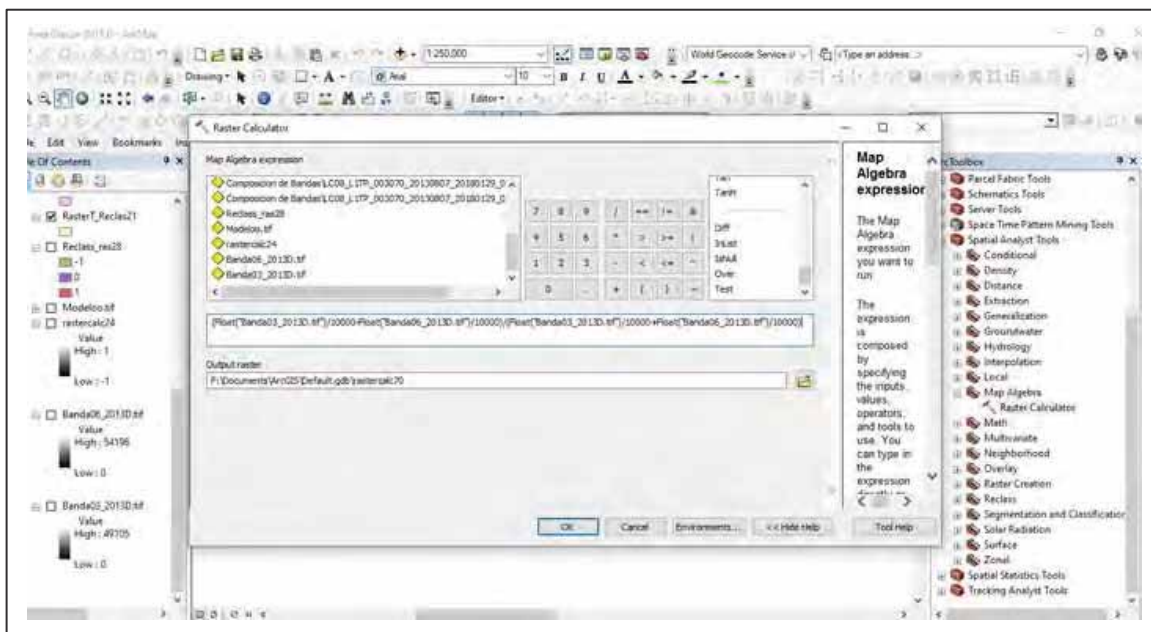


Haciendo la selección de estas bandas realizamos el siguiente proceso, según el manual (INAIGEM, 2017).

En el campo Map Algebra expression se seleccionan las bandas correspondientes y en el campo en blanco se escribe la función matemática del NDSI.

Figura 23

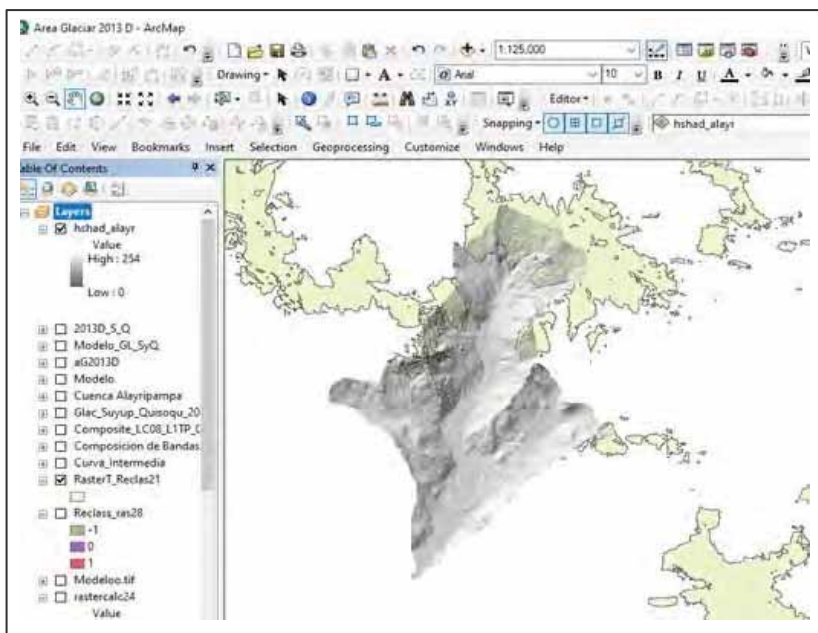
Map Algebra en el cálculo del NDSI



Y obtenemos el área calculada como se muestra en la siguiente figura.

Figura 24

Área Calculada-Índice NDSI



Este proceso se hizo para todos los años desde 2013 hasta el 2019 como se muestra en el Anexo I, "MAPAS DEL RETROCESO GLACIAR DE LA



CUENCA ALYRIPAMPA”, mapas 02 al 16 desde el 2013 - I al 2019 - II; de las cuales también se obtuvieron áreas glaciares según el cálculo realizado para cada año.

2° Caudal; en cuanto a la generación de caudales se hizo por el método de Lutz Scholz; es un modelo hidrológico compuesto ya que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico-Modelo determinístico) y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal; este modelo se desarrolló para la sierra peruana , entre los años 1964 - 1980, en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del proyecto especial Plan MERIS Cusco.

En síntesis, es un modelo que permite la determinación de caudales medios mensuales para un año promedio y la extensión de caudales para periodos extendidos.

#### ***4.4.2. Establecer la Correlación Entre El Retroceso Glaciar y la Generación de Caudales en la Cuenca Alayripampa***

Para determinar el caudal generado en la cuenca Alayripampa (un caudal se genera a nivel de una cuenca, subcuenca o microcuenca), para ello se regionalizó los datos de la precipitación promedio, la temperatura máxima y mínima promedio; mediante la regresión lineal simple realizado en el software HIDROESTA, el río que tiene su origen en esta cuenca glaciar se denomina río Alayripampa, la cual nace en la cabecera de cuenca y su trayecto y aporte en el bofedal que se encuentra en esta cuenca así como el curso que sigue y en el punto de salida de esta cuenca es donde se hizo la regionalización y generación

de caudales; así mismo en este trayecto del río Alayripampa es donde se puede hacer los aforos para la medición del caudal, para mayor detalle se puede observar la siguiente figura, el panel fotográfico y los mapas que se encuentran en el ítem anexos.

### Figura 25

#### *Recorrido del Rio Alayripampa*



Fuente: Google Earth 2019.

#### **A. Generación de la Precipitación en la Cuenca Alayripampa**

Para la generación de la precipitación se obtuvo los datos del SENAMHI desde los años 1964 - 2019.

Para determinar con qué estaciones se iba a tener en cuenta se hizo los cálculos con la regresión lineal simple en el software HIDROESTA.

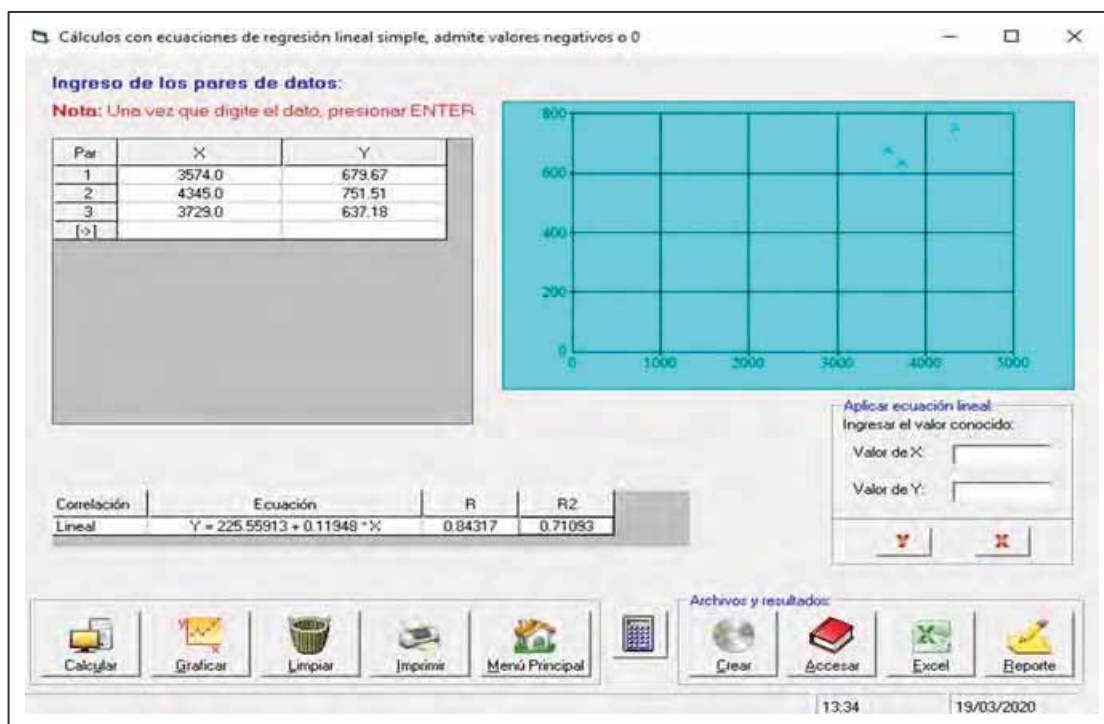
**Tabla 7**

*Estaciones Meteorológicas Escogidas, Variable-Precipitación*

Estaciones	Altitud m.s.n.m	Precipitación mm
Sicuani	3574.0	679.67
Pomacanchi	3200.0	813.78
Ccatcca	3729.0	637.18
Macusani	4345.0	751.51
Acomayo	3160.0	834.25

**Figura 26**

*Cálculos con Ecuaciones de Regresión Lineal Simple, Variable-Precipitación*



Y como se observa la figura N° 26, el proceso analizado presenta un  $r^2=0.71093$ , la cual nos muestra que hay un alto grado de correlación entre las estaciones de; Sicuani, Ccatca y Macusani.

## A.1 Completación de Datos de las Estaciones Meteorológicas de la Variable Climática “Precipitación”

La completación de datos de la precipitación, se hizo en el software “SIH”.

Ver Anexo L “GENERACIÓN DE PRECIPITACION EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA”.

**Tabla 8**

*Completación de Datos de Precipitación*

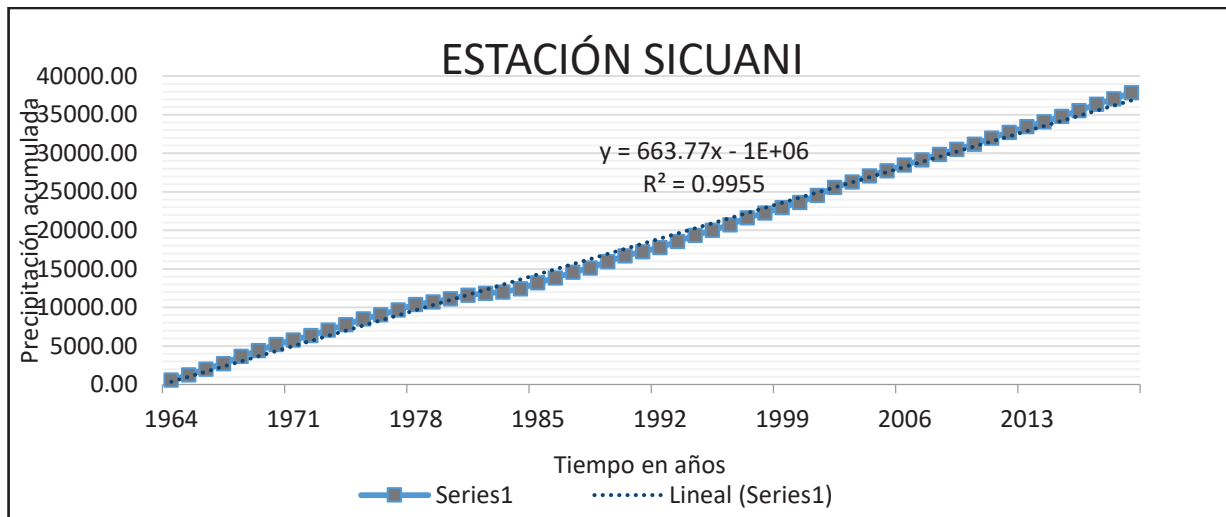
	Latitud	14	15	13		Distrito	Sicuani							
	Longitud	71	14	14		Provincia	Canchis							
	Altitud	3574				Region	Cusco							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
1985													0.00	
1986	131.20	52.10	45.30	3.00	0.00									
1987				49.80	2.90	1.30	11.20	0.50	2.50	24.90	132.10	155.30		
1988	143.80	94.90	120.60	87.40	4.00	0.00	0.00	0.00	3.40	17.00	18.70	57.20	547.00	
1989	183.40	108.20	168.50	76.50	16.10	10.20	0.00	12.00	50.30	51.70	46.90	130.80	854.60	
1990	127.10	104.80	71.20	33.80	1.50	25.20	0.00	9.00	11.20	128.80	90.50	130.30	733.40	
1991	93.30	76.30	87.50	53.30	18.10	14.40	0.00	0.00	12.70	44.90	43.70	70.40	520.60	
1992	99.20	61.40						19.50	19.10	62.80	96.80	53.60		
1993	163.00	87.10	116.20	57.40	0.00	1.20	2.00	9.80	26.70	66.00	136.40	114.10	779.90	
1994	127.50	143.80	128.40	74.90	18.80	0.30	0.00	1.20	9.30	50.50	81.00	127.40	763.10	
1995	107.40	105.20	131.30	64.40	3.10	1.20	2.80	0.00	16.60	36.00	92.30	117.00	677.30	
1996	121.30	112.00	155.50	42.70	16.30	0.00	0.00	12.00	24.50	54.20	61.60	115.70	715.80	
1997	226.70	173.80	176.90	49.90	3.50	0.00	5.20	15.20	8.90	45.50	135.50	64.60	905.70	
1998	102.30	131.00	97.80	15.50	0.00	0.00	0.00	5.60	1.70	92.20	73.60	92.70	612.40	
1999	133.30	145.40	83.40	85.70	17.60	3.20	0.30	0.00	44.10	24.40	38.50	127.20	703.10	
2000	110.40	180.00	121.90	15.60	7.20	6.00	4.40	1.70	18.60	76.40	25.20	92.60	660.00	
2001	213.00	158.10	176.90	55.30	25.90	1.20	13.90	10.50	34.70	48.30	76.20	134.40	948.40	
2002	154.70	205.20	145.70	126.40	32.90	0.00	26.10	4.70	37.40	75.90	87.30	141.50	1037.80	
2003	129.20	131.80	160.00	59.60	18.70	6.60	0.00	8.00	1.60	37.50	27.20	125.50	705.70	
2004	162.60	191.00	80.40	47.00	7.60	8.20	4.20	12.00	51.60	28.90	92.40	98.40	784.30	
2005	66.30	178.80	120.30	44.90	4.50	0.00	2.70	0.00	7.60	48.30	75.00	93.40	641.80	
2006	151.20	120.80	92.80	99.00	3.30	5.70	0.00	10.30	23.30	45.40	111.30	102.00	765.10	
2007	115.80	86.90	174.40	45.10	5.30	0.00	9.00	0.00	15.20	60.70	77.00	73.70	663.10	
2008	137.30	133.50	117.90	21.60	7.00	0.70	0.60	0.60	2.60	84.10	61.60	149.00	716.50	
2009	89.80	140.60	85.80	37.60	5.70	0.00	6.20	0.00	11.10	32.20	129.00	121.10	659.10	
2010	161.00	95.80	118.00	48.40	2.60	0.00	0.00	5.70	2.40	62.80	46.60	125.10	668.40	
2011	107.60	118.40	156.40	132.70	14.40	2.90	4.40		51.90	25.30	29.00	131.90	774.90	



## A.2. Análisis de Doble Masa para la Cuenca Glaciar Alayripampa

**Figura 27**

*Coefficiente de Determinación-Estación Sicuani, Variable-Precipitación*



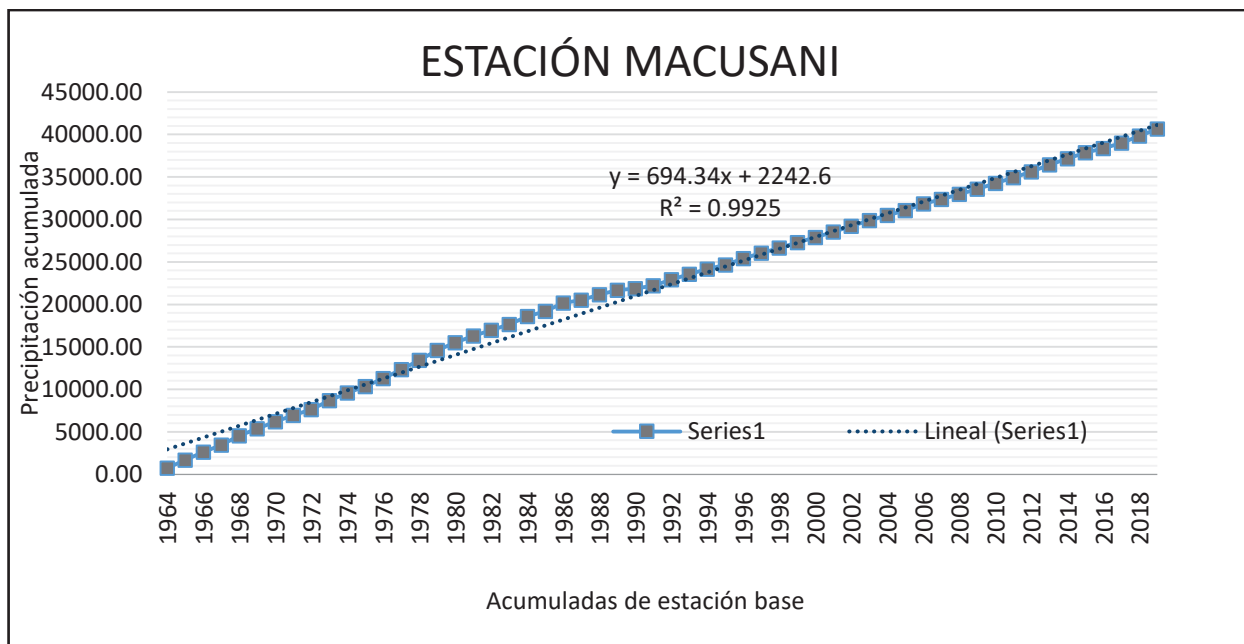
**Figura 28**

*Coefficiente de Determinación-Estación Ccatcca, Variable-Precipitación.*



**Figura 29**

*Coeficiente de Determinación- Estación Macusani, Variable-Precipitación.*



**Figura 30**

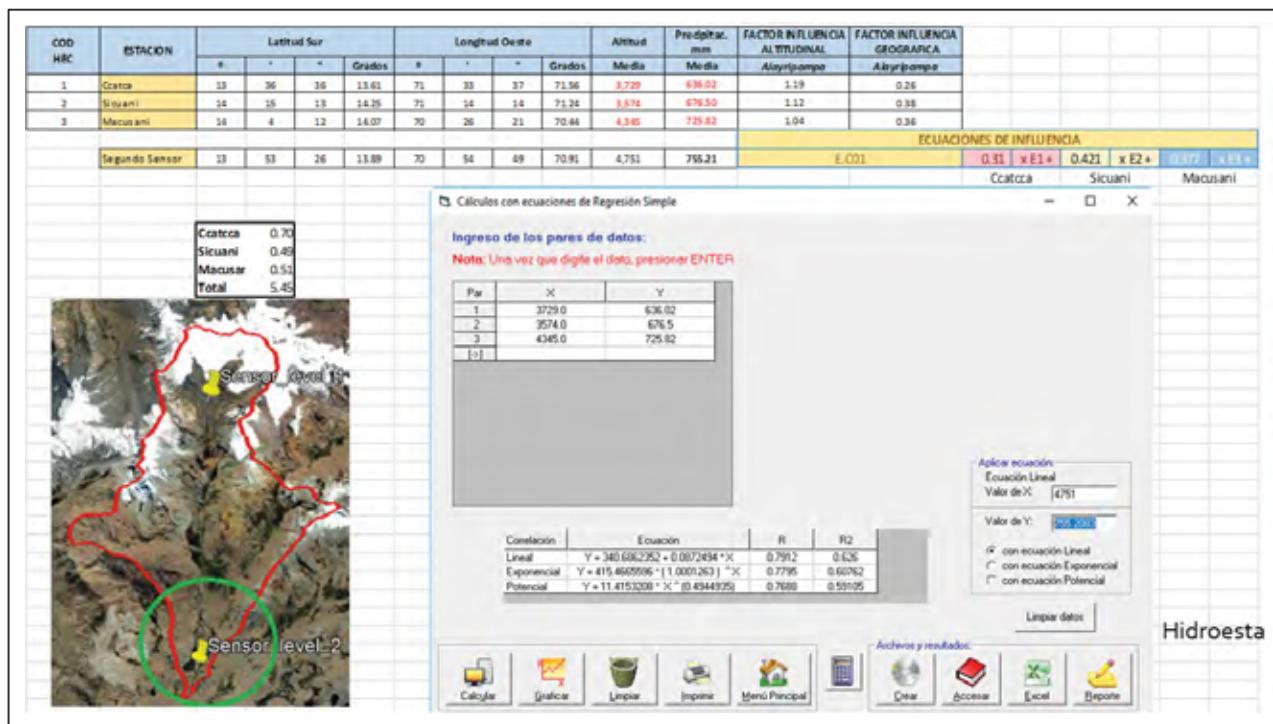
*Análisis de Doble Masa, Variable-Precipitación*



**A.3 Ecuación de Influencia en el Área de Estudio-Cuenca Alayripampa, Variable climática “Precipitación”**

**Figura 31**

*Ecuación de Influencia en el Área de Estudio, Variable-Precipitación*



**B. Generación de la Temperatura Máxima en la Cuenca Glaciar Alayripampa**

De igual manera que para la generación de la precipitación en la cuenca glaciar Alayripampa se hizo con los datos obtenidos del SENAMHI desde los años 1964 - 2019. La correlación entre las estaciones meteorológicas se hizo de igual manera que para la precipitación, en el software “HIDROESTA”.

**Tabla 10**

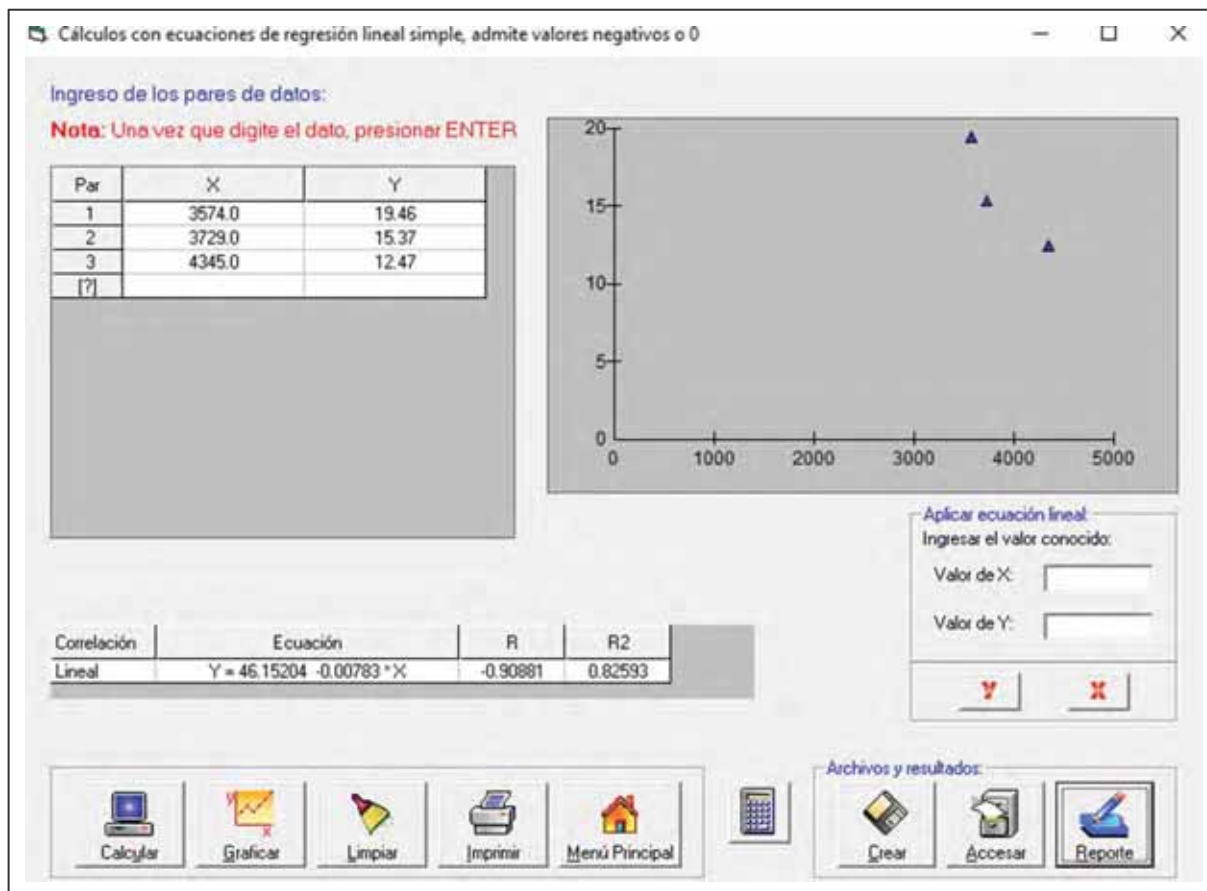
*Estaciones Meteorológicas Escogidas, Variable-Temperatura Máxima*

Estaciones	Altitud m.s.n.m	Temperatura Máxima Promedio °C
Sicuaní	3574.0	19.46
Ccatca	3729.0	15.37
Macusani	4345.0	12.47



Figura 32

Cálculos con Ecuaciones de Regresión Lineal Simple, Temperatura Máxima.



Y como se puede observar la figura N° 32, el proceso analizado presenta un  $r^2 = 0.82593$ , la cual nos muestra que hay un alto grado de correlación entre las estaciones de; Sicuani, Ccatca y Macusani.

### B.1 Competición de Datos de Temperatura Máximas de las Estaciones Meteorológicas.

La completación de datos se hizo en el software "Rstudio", mediante el método de la completación de datos. Estos procesos también se realizaron para la estación de Ccatca y Macusani. Ver Anexo P "SCRIPTS RSTUDIO".

Tabla 11

## Completación de Datos de Temperatura Máxima

ESTACIÓN METEREOLÓGICA DE SICUANI													
	<b>Latitud</b>	14	15	13		<b>Distrito</b>	Sicuani						
	<b>Longitud</b>	71	14	14		<b>Provincia</b>	Canchis						
	<b>Altitud</b>	3574				<b>Region</b>	Cusco						
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Total</b>
1964	19.52	18.53	17.72	18.81	17.35	18.39	16.99	18.15	19.53	19.23	18.04	17.66	18.33
1965	18.34	17.40	17.05	18.12	18.13	17.44	17.48	19.27	19.33	21.24	20.64	18.21	18.55
1988		19.63	18.71	18.67	19.55	18.30							
1989							18.54	19.37		21.37	20.35	20.86	
1990	18.65	19.23	19.50	19.66									
1991	19.41	19.81	18.98	19.63	19.88	18.52	18.28	20.05	20.15	20.45	19.75	18.83	19.48
1992	19.15	19.69						18.46	20.60	20.63	20.45	19.83	
1993	18.28	19.14	18.04	19.28	19.77	19.76	18.85	19.61	19.96	20.70	20.15	19.25	19.40
1994	18.06	18.31	19.09	18.65	19.15	18.72	19.12	20.21	21.12	21.21	20.59	19.79	19.50
1995	19.25	19.49	18.02	20.15	20.72	19.36	20.08	21.96	21.37	22.85	21.43	20.10	20.40
1996	18.21	18.65	19.88	19.35	19.61	18.87	19.27	19.63	21.43	22.12	20.78	18.79	19.72
1997	18.06	17.99	18.92	19.45	19.20	19.67	19.34	18.95	21.47	22.38	20.49	21.07	19.80
1998	20.79	20.93	21.03	21.42	20.63	18.96	19.60	20.59	21.86	20.61	20.31	19.64	20.53
1999	19.03	16.74	17.48	18.57	18.68	18.82	17.71	19.91	19.98	19.73	21.47	19.65	18.98
2000	17.31	17.19	17.88	19.68	19.77	18.11	17.73	19.32	20.83	19.15	21.69	18.86	18.96
2001	16.90	17.14	18.17	18.39	18.38	18.46	17.80	19.07	20.47	20.41	21.03	19.94	18.85
2002	19.12	17.73	18.59	18.16	18.15	18.09	16.05	19.00	19.71	19.77	20.05	19.52	18.66
2003	18.43	19.11	18.59	19.19	19.18	19.37	18.85	19.41	20.65	22.05	21.89	20.19	19.74
2004	18.56	18.77	19.08	19.50	19.09	17.57	17.54	18.15	19.34	20.85	21.03	19.75	19.10
2005	19.74	19.16	20.29	20.49	20.50	19.63	19.45	20.66	20.28	20.06	20.50	19.97	20.06
2006	18.43	19.40	19.15	19.24	19.16	18.55	19.01	19.82	21.16	20.84	19.55	19.61	19.49
2007	19.52	18.99	18.46	19.60	19.46	19.87	18.03	20.14	20.17	20.74	20.93	19.84	19.65
2008	17.59	18.65	18.69	19.65	19.21	19.05	19.48	20.59	21.29	20.50	21.40	18.99	19.59
2009	18.87	18.40	19.17	19.97	19.87	19.68	18.54	20.39	21.37	22.53	20.71	19.92	19.95
2010	18.78	19.35	20.19	20.49	19.85	20.11	20.11	21.34	22.23	21.33	20.79	18.65	20.27
2011	18.57	17.01	18.07	19.05	19.29	19.13	17.98		19.74	20.80	22.09	18.60	
2012	18.56	17.36	18.64	18.49	19.45	18.69	19.31	20.50	21.31	21.09	21.26	18.52	19.43
2013	18.66	18.94	19.45	20.32	19.81	18.25	18.54	19.51	21.66	20.90	21.69	19.29	19.75
2014	18.95	19.71	19.63	19.92	19.36	20.21	18.95	19.81	19.90	21.15	22.02	20.72	20.03
2015	18.63	19.10	19.66	18.56	18.81	20.15	19.14	20.49	21.41	21.39	21.51	19.89	19.90
2016	21.09	20.10	21.58	20.67	20.54	19.61	19.81	20.45	21.63	19.96	21.50	20.70	20.64
2017	19.45	19.32	18.45	19.11	18.29	19.97	20.52	21.03	20.67	20.62	21.02	20.30	19.90
2018	18.43	18.83	18.46	19.68	19.58	17.38	17.90	18.48	21.03	19.05	21.07	20.50	19.20
2019	19.14	18.79	19.35	19.75	19.54	20.02	19.72	21.50	21.23	21.42	20.13	20.31	20.08
<b>Promedio</b>	<b>18.68</b>	<b>18.72</b>	<b>19.08</b>	<b>19.49</b>	<b>19.30</b>	<b>18.89</b>	<b>18.65</b>	<b>19.64</b>	<b>20.46</b>	<b>20.67</b>	<b>20.61</b>	<b>19.44</b>	<b>19.46</b>
<b>N° de datos</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>19.46</b>

**B2. Datos completados, Temperatura Máxima: Estos procesos se realizaron para la estación de Ccatca y Macusani.**

Tabla 12

*Datos Completados Estación Sicuani, Variable Temperatura Máxima*

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SICUANI													
<b>Latitud</b>	14	15	13	<b>Distrito</b> Sicuani									
<b>Longitud</b>	71	14	14	<b>Provincia</b> Cuzco									
<b>Altitud</b>	3574	<b>Región</b> Cuzco											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
<b>1964</b>	19.52	18.53	17.72	18.81	17.35	18.39	16.99	18.15	19.53	19.23	18.04	17.66	18.33
<b>1965</b>	18.34	17.40	17.05	18.12	18.13	17.44	17.48	19.27	19.33	21.24	20.64	18.21	18.55
<b>1991</b>	19.41	19.81	18.98	19.63	19.88	18.52	18.28	20.05	20.15	20.45	19.75	18.83	19.48
<b>1992</b>	19.15	19.69	19.00	19.00	19.24	18.89	18.64	18.46	20.60	20.63	20.45	19.83	19.46
<b>1993</b>	18.28	19.14	18.04	19.28	19.77	19.76	18.85	19.61	19.96	20.70	20.15	19.25	19.40
<b>1994</b>	18.06	18.31	19.09	18.65	19.15	18.72	19.12	20.21	21.12	21.21	20.59	19.79	19.50
<b>1995</b>	19.25	19.49	18.02	20.15	20.72	19.36	20.08	21.96	21.37	22.85	21.43	20.10	20.40
<b>1996</b>	18.21	18.65	19.88	19.35	19.61	18.87	19.27	19.63	21.43	22.12	20.78	18.79	19.72
<b>1997</b>	18.06	17.99	18.92	19.45	19.20	19.67	19.94	18.95	21.47	22.38	20.49	21.07	19.80
<b>1998</b>	20.79	20.93	21.03	21.42	20.63	18.96	19.60	20.59	21.86	20.61	20.31	19.64	20.53
<b>1999</b>	19.03	16.74	17.48	18.57	18.68	18.82	17.71	19.91	19.98	19.73	21.47	19.65	18.98
<b>2000</b>	17.31	17.19	17.88	19.68	19.77	18.11	17.73	19.32	20.83	19.15	21.69	18.86	18.96
<b>2001</b>	16.90	17.14	18.17	18.39	18.38	18.46	17.80	19.07	20.47	20.41	21.03	19.94	18.85
<b>2002</b>	19.12	17.73	18.59	18.16	18.15	18.09	16.05	19.00	19.71	19.77	20.05	19.52	18.66
<b>2003</b>	18.43	19.11	18.59	19.19	19.18	19.37	18.85	19.41	20.65	22.05	21.89	20.19	19.74
<b>2004</b>	18.56	18.77	19.08	19.50	19.09	17.57	17.54	18.15	19.34	20.85	21.03	19.75	19.10
<b>2005</b>	19.74	19.16	20.29	20.49	20.50	19.63	19.45	20.66	20.28	20.06	20.50	19.97	20.06
<b>2006</b>	18.43	19.40	19.15	19.24	19.16	18.55	19.01	19.82	21.16	20.84	19.55	19.61	19.49
<b>2007</b>	19.52	18.99	18.46	19.60	19.46	19.87	18.03	20.14	20.17	20.74	20.93	19.84	19.65
<b>2008</b>	17.59	18.65	18.69	19.65	19.21	19.05	19.48	20.59	21.29	20.50	21.40	18.99	19.59
<b>2009</b>	18.87	18.40	19.17	19.97	19.87	19.68	18.54	20.39	21.37	22.53	20.71	19.92	19.95
<b>2010</b>	18.78	19.35	20.19	20.49	19.85	20.11	20.11	21.34	22.23	21.33	20.79	18.65	20.27
<b>2011</b>	18.57	17.01	18.07	19.05	19.29	19.13	17.98	19.72	19.74	20.80	22.09	18.60	19.17
<b>2012</b>	18.56	17.36	18.64	18.49	19.45	18.69	19.31	20.50	21.31	21.09	21.26	18.52	19.43
<b>2013</b>	18.66	18.94	19.45	20.32	19.81	18.25	18.54	19.51	21.66	20.90	21.69	19.29	19.75
<b>2014</b>	18.95	19.71	19.63	19.92	19.36	20.21	18.95	19.81	19.90	21.15	22.02	20.72	20.03
<b>2015</b>	18.63	19.10	19.66	18.56	18.81	20.15	19.14	20.49	21.41	21.39	21.51	19.89	19.90
<b>2016</b>	21.09	20.10	21.58	20.67	20.54	19.61	19.81	20.45	21.63	19.96	21.50	20.70	20.64
<b>2017</b>	19.45	19.32	18.45	19.11	18.29	19.97	20.52	21.03	20.67	20.62	21.02	20.30	19.90
<b>2018</b>	18.43	18.83	18.46	19.68	19.58	17.38	17.90	18.48	21.03	19.05	21.07	20.50	19.20
<b>2019</b>	19.14	18.79	19.35	19.75	19.54	20.02	19.72	21.50	21.23	21.42	20.13	20.31	20.08
<b>Promedio</b>	<b>18.68</b>	<b>18.72</b>	<b>19.07</b>	<b>19.44</b>	<b>19.29</b>	<b>18.89</b>	<b>18.65</b>	<b>19.65</b>	<b>20.46</b>	<b>20.67</b>	<b>20.61</b>	<b>19.44</b>	<b>19.47</b>
<b>N° de días</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	

### B.3 Análisis de Doble Masa

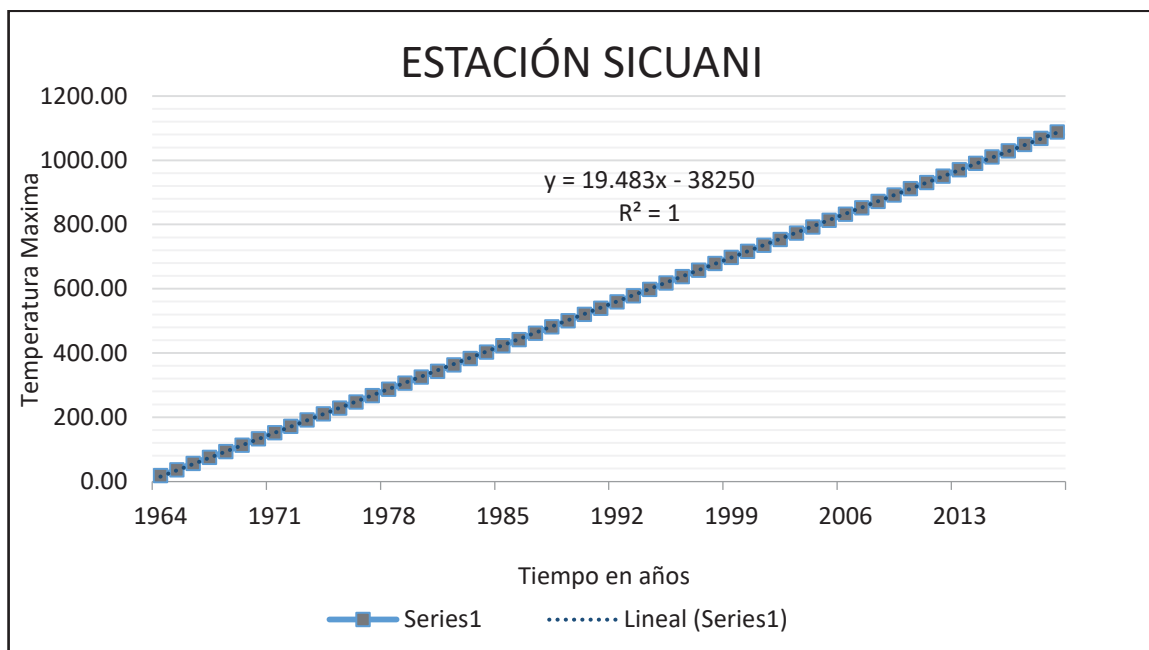
Figura 33

*Análisis de Doble Masa, Variable Temperatura Máxima.*



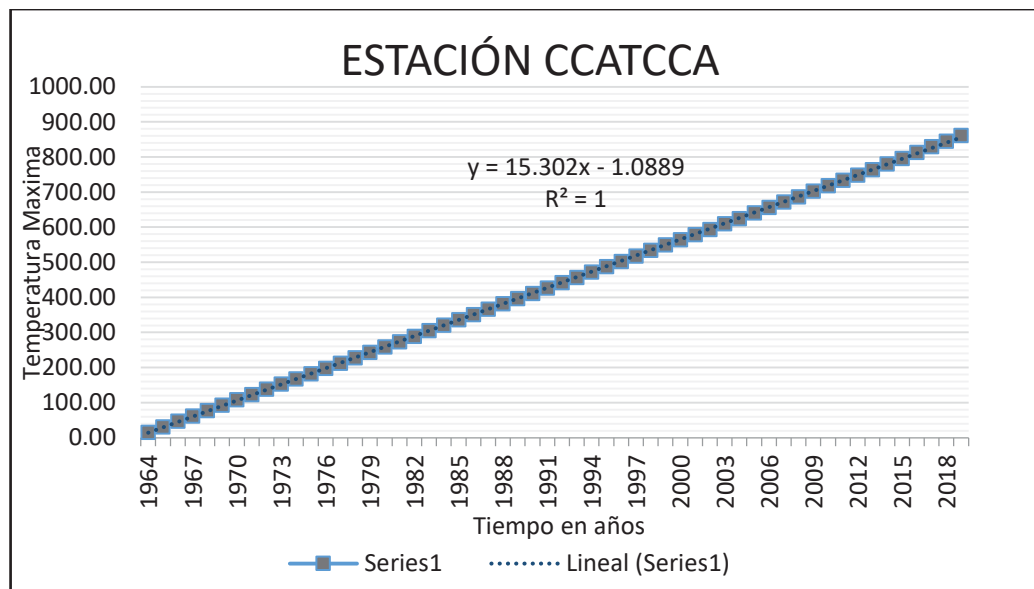
Figura 34

*Ecuación de Regresión Estación Sicuani, Variable Temperatura Máxima*

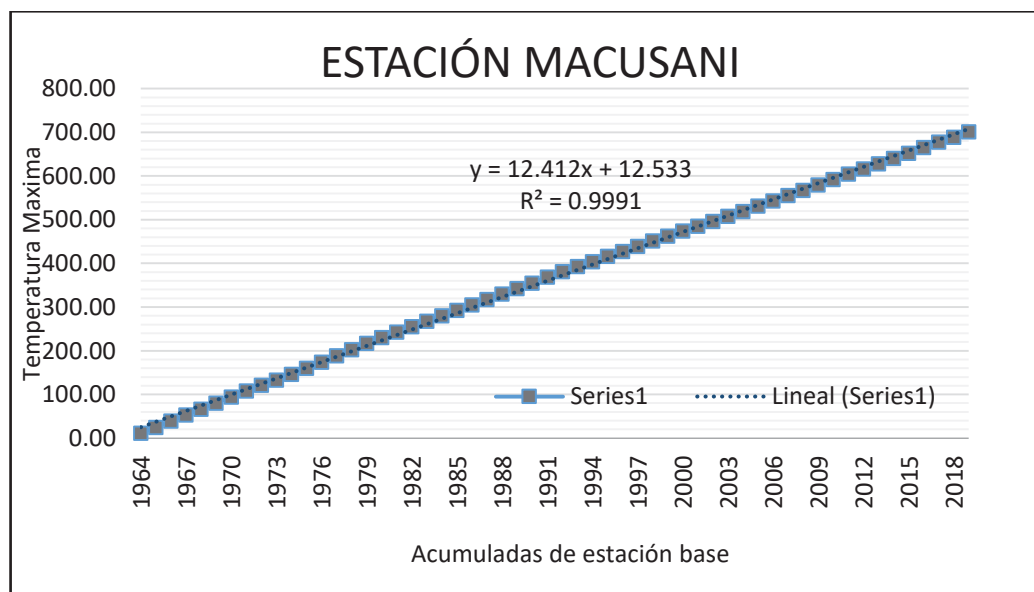


**Figura 35**

*Ecuación de Regresión Estación Ccatcca, Variable Temperatura Máxima*

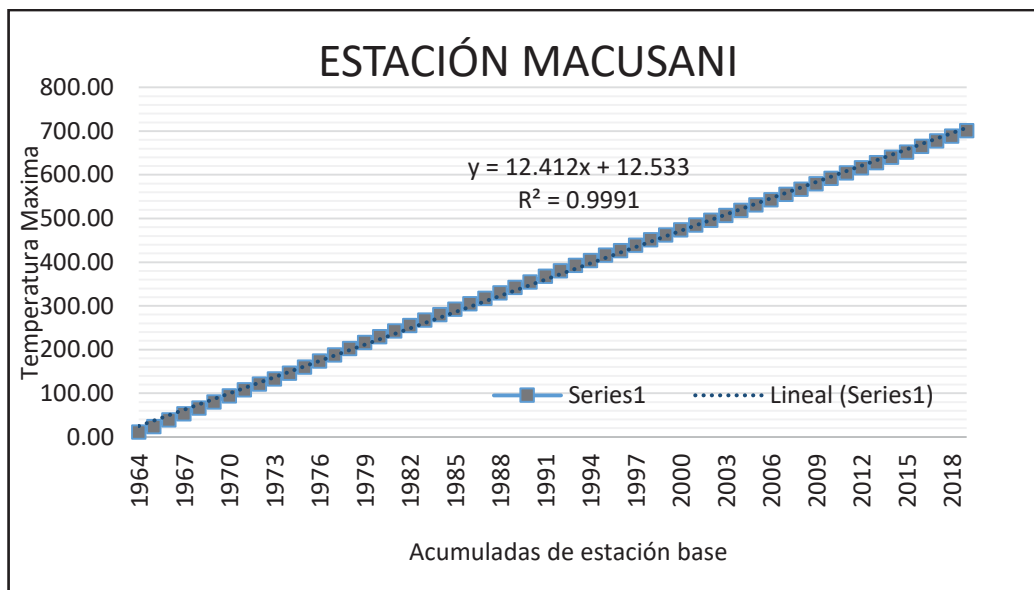
**Figura 36**

*Ecuación de Regresión Estación Macusani, Variable Temperatura Máxima*



**Figura 37**

*Ecuación de Regresión Estación Macusani, Variable Temperatura Máxima*



**B.4 Ecuación de Influencia en el Área de Estudio-Cuenca Alayripampa, variable climática “Temperatura Máxima”**

**Figura 38**

*Ecuación de Influencia, Variable Climática Temperatura Máxima*

COD HIC	ESTACION	Latitud Sur			Longitud Oeste			Altitud	Temp Max °C	FACTOR INFLUENCIA ALTITUDINAL	FACTOR INFLUENCIA GEOGRAFICA											
		º	'	"	Grados	º	'					"	Grados									
1	Ccatcca	13	36	36	83.61	71	31	37	71.56	4.728	22.37	0.58	0.26									
2	Sicuaní	14	15	13	84.25	71	54	14	71.24	3.574	19.47	0.46	0.38									
3	Macusani	14	4	12	84.07	70	26	21	70.44	4.843	12.52	0.72	0.36									
Segundo Sensor											13	51	26	83.89	70	54	49	70.91	4.751	8.97	0.15	0.174

Ccatcca	0.70
Sicuaní	0.49
Macusani	0.51
Total	5.45

Calculos con ecuaciones de regresión lineal simple, admite valores negativos o 0

Ingreso de los pares de datos:

**Nota:** Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Par	X	Y
1	3728.0	15.37
2	3574.0	19.47
3	4345.0	12.52
[?]		

Aplicar ecuación lineal:  
Ingresar el valor conocido:

Valor de X: 4751

Valor de Y: 8.9712

### C. Generación de la Temperatura Mínima en la Cuenca Glaciar Alayripampa

De igual manera que para la generación de la precipitación en la cuenca glaciar Alayripampa se hizo con los datos obtenidos del SENAMHI desde los años 1964 - 2019. La correlación entre las estaciones meteorológicas se hizo de igual manera que para la precipitación, en el software “HIDROESTA”.

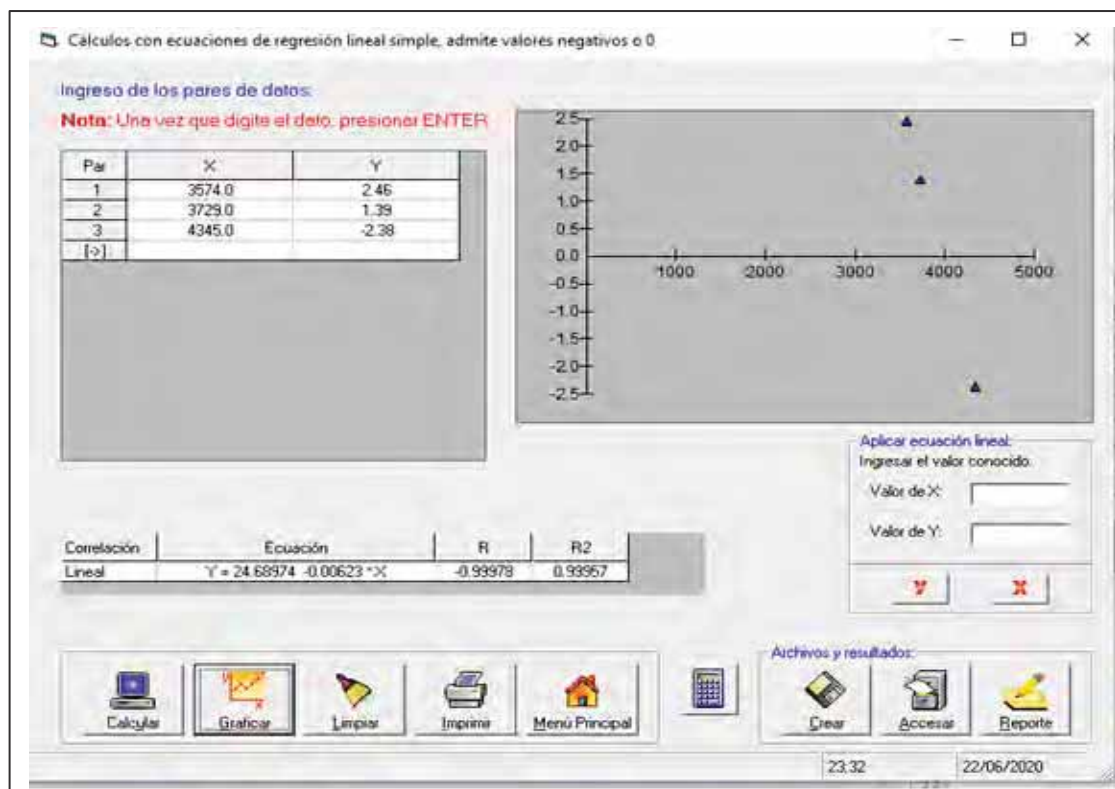
**Tabla 13**

*Estaciones Meteorológicas Escogidas, Variable-Temperatura Mínima*

Estaciones	Altitud m.s.n.m	Temperatura Mínima Promedio
Sicuaní	3574.0	2.46
Ccatcca	3719.0	1.39
Macusani	4345.0	-2.38

Figura 39

*Cálculos con Ecuaciones de Regresión Lineal Simple, Temperatura Mínima*



Y como se puede observar la figura N° 39, el proceso analizado presenta un  $r^2 = 0.99957$ , la cual nos muestra que hay un alto grado de correlación entre las estaciones de; Sicuani, Ccatca y Macusani.

### **C.1 Completación de Datos de Temperatura Mínima de las Estaciones Meteorológicas**

La completación de datos se hizo en el software "Rstudio", mediante el método "completación de datos". Estos procesos también se realizaron para la estación de Ccatca y Macusani. Ver Anexo N "GENERACIÓN DE TEMPERATURA MÍNIMA EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA".



Tabla 14

Completación de Datos Estación Sicuani, Variable Temperatura Mínima

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SICUANI														
		Latitud:	14	15	13	Dirtrite: Sicuani								
		Longitud:	71	14	14	Provincia: Canchis								
		Altitud:	3574			Departament: Curco								
Año	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1984	1984	2.43	2.52	1.81	0.06	0.52								
1985	1985													
1986	1986													
1987	1987													
1988	1988		5.08	6.03	4.40	0.61	-3.72							
1989	1989													
1990	1990	6.05	4.62	4.27	2.88									
1991	1991	6.23	5.65	5.10	3.30	0.24	-1.29	-3.83	-2.51	1.46	3.90	4.28	4.83	2.28
1992	1992	6.11	5.31											
1993	1993	5.90	5.41	6.02	4.75	0.72	-3.76	-1.74	-0.70	2.95	4.66	5.40	6.09	2.98
1994	1994	6.18	4.94	5.19	5.25	0.81	-2.93	-3.51	-1.95	3.50	4.16	5.95	6.26	2.82
1995	1995	6.47	5.79	6.47	3.82	-0.47	-2.14	-1.80	-0.07	2.33	5.03	5.67	5.08	3.02
1996	1996	6.19	6.34	5.53	4.44	1.35	-3.29	-3.33	0.99	2.19	4.54	5.61	6.54	3.09
1997	1997	6.51	6.53	5.49	3.04	-0.35	-3.51	-2.48	1.04	3.54	4.70	5.79	6.23	3.04
1998	1998	7.23	7.71	6.06	3.53	-2.83	-2.20	-4.36	-0.87	0.48	4.90	4.98	4.83	2.46
1999	1999	6.03	6.77	6.32	4.61	0.79	-4.22	-4.58	-2.56	0.84	3.59	2.73	4.93	2.10
2000	2000	6.48	6.03	4.75	2.57	-0.78	-2.73	-2.88	0.10	1.45	4.16	2.80	4.96	2.24
2001	2001	6.37	6.32	6.36	2.95	0.25	-2.23	-2.23	-2.14	2.32	4.54	5.11	5.12	2.73
2002	2002	5.72	6.85	6.55	4.33	0.18	-1.31	-0.83	-0.77	2.36	5.03	5.73	6.42	3.36
2003	2003	6.74	6.46	5.99	3.26	0.10	-3.61	-4.21	-0.89	0.54	1.67	3.61	5.84	2.13
2004	2004	6.80	5.58	4.74	3.05	-2.21	-3.25	-3.35	-1.43	2.65	4.07	4.75	5.41	2.23
2005	2005	5.68	6.21	5.58	2.95	-2.11	-5.33	-3.32	0.43	2.92	4.83	4.34	5.78	2.33
2006	2006	5.92	5.99	5.97	3.67	-3.22	-2.41	-4.99	-0.57	0.56	3.81	4.49	4.81	2.00
2007	2007	6.42	6.24	5.80	3.97	0.12	-3.81	-2.54	-2.25	2.38	3.19	3.71	4.86	2.34
2008	2008	7.04	5.06	4.10	2.57	-1.95	-3.49	-4.30	-2.13	0.02	4.32	4.34	5.58	1.76
2009	2009	6.23	6.35	5.89	3.05	-0.90	-5.17	-3.48	-3.00	1.21	2.65	6.05	6.10	2.08
2010	2010	6.69	6.93	6.23	2.75	-0.21	-2.49	-3.98	-3.08	0.52	3.79	3.81	5.85	2.23
2011	2011	5.59	6.79	5.94	3.57	-1.39	-3.85	-3.64		2.85	3.15	4.22	5.30	
2012	2012	5.95	5.72	5.10	4.14	-2.01	-3.72	-4.90	-4.83	-0.49	3.64	5.25	6.95	1.73
2013	2013	6.09	6.87	6.11	1.51	-0.03	-2.27	-3.74	-2.15	-0.24	4.07	4.33	5.91	2.21
2014	2014	5.61	5.00	4.43	2.52	-0.88	-2.50	-2.59	-2.10	2.95	3.91	4.20	5.68	2.19
2015	2015	5.72	5.41	5.65	4.63	0.95	-2.97	-4.43	-1.97	2.02	1.95	5.00	5.15	2.26
2016	2016	5.93	6.99	4.92	3.86	-1.77	-4.54	-4.92	-2.65	0.24	4.24	2.90	4.90	1.68
2017	2017	6.07	5.01	6.10	4.74	1.88	-2.91	-4.10	-2.42	3.04	3.71	4.14	5.70	2.58
2018	2018	5.49	6.51	6.25	2.16	-2.00	-3.03	-3.50	-0.43	0.67	4.68	5.07	4.08	2.16
2019	2019	5.88	6.46	6.08	4.23	-0.52	-3.43	-3.85	-3.72	0.85	2.45	5.96	6.00	2.20
<b>Promedio</b>	<b>Promedio</b>	<b>5.71</b>	<b>5.69</b>	<b>5.28</b>	<b>3.31</b>	<b>-0.33</b>	<b>-2.75</b>	<b>-2.99</b>	<b>-0.86</b>	<b>2.03</b>	<b>3.89</b>	<b>4.51</b>	<b>5.25</b>	<b>2.46</b>
<b>N° de datos</b>	<b>N° de datos</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>56.00</b>	<b>2.46</b>

**C2. Datos completados, Temperatura Mínima:** Estos procesos se realizaron para la estación de Ccatca y Macusani. Ver Anexo N “GENERACIÓN DE TEMPERATURA MÍNIMA EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA”.

**Tabla 15***Datos Completados Estación Sicuani, Variable Temperatura Mínima*

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SICUANI													
Latitud:	14	15	13	Distrito: Sicuani									
Longitud:	71	14	14	Provincia: Canchis									
Altitud:	3574			Departamento: Cusco									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1964	5.20	5.91	5.53	4.23	1.15	-2.24	-2.64	1.01	3.23	4.01	3.47	4.56	2.79
1965	5.85	6.29	5.19	4.33	-0.42	-5.37	-4.69	-0.88	3.31	5.47	5.65	6.28	2.58
2006	5.92	5.99	5.97	3.67	-3.22	-2.41	-4.99	-0.57	0.56	3.81	4.49	4.81	2.00
2007	6.42	6.24	5.80	3.97	0.12	-3.81	-2.54	-2.25	2.38	3.19	3.71	4.86	2.34
2008	7.04	5.06	4.10	2.57	-1.95	-3.49	-4.30	-2.13	0.02	4.32	4.34	5.58	1.76
2009	6.23	6.35	5.89	3.05	-0.90	-5.17	-3.48	-3.00	1.21	2.65	6.05	6.10	2.08
2010	6.69	6.93	6.23	2.75	-0.21	-2.49	-3.98	-3.08	0.52	3.79	3.81	5.85	2.23
2011	5.59	6.79	5.94	3.57	-1.39	-3.85	-3.64	-0.95	2.85	3.15	4.22	5.30	2.30
2012	5.95	5.72	5.10	4.14	-2.01	-3.72	-4.90	-4.83	-0.49	3.64	5.25	6.95	1.73
2013	6.09	6.87	6.11	1.51	-0.03	-2.27	-3.74	-2.15	-0.24	4.07	4.33	5.91	2.21
2014	5.61	5.00	4.43	2.52	-0.88	-2.50	-2.59	-2.10	2.95	3.91	4.20	5.68	2.19
2015	5.72	5.41	5.65	4.63	0.95	-2.97	-4.43	-1.97	2.02	1.95	5.00	5.15	2.26
2016	5.93	6.99	4.92	3.86	-1.77	-4.54	-4.92	-2.65	0.24	4.24	2.90	4.90	1.68
2017	6.07	5.01	6.10	4.74	1.88	-2.91	-4.10	-2.42	3.04	3.71	4.14	5.70	2.58
2018	5.49	6.51	6.25	2.16	-2.00	-3.03	-3.50	-0.43	0.67	4.68	5.07	4.08	2.16
2019	5.88	6.46	6.08	4.23	-0.52	-3.43	-3.85	-3.72	0.85	2.45	5.96	6.00	2.20
Promedio	5.72	5.70	5.29	3.32	-0.34	-2.75	-2.99	-0.87	2.03	3.89	4.52	5.26	2.40
N° de datos	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	

**C.3 Análisis de Doble Masa en la Cuenca Glaciar Alayripampa**

Figura 40

Análisis de Doble Masa Estación Sicuani, Variable Temperatura Mínima



Figura 41

Ecuación de Regresión, Estación Sicuani- Variable Temperatura Mínima



**Figura 42**

*Ecuación de Regresión, Estación Ccatcca- Variable Temperatura Mínima.*



**Figura 43**

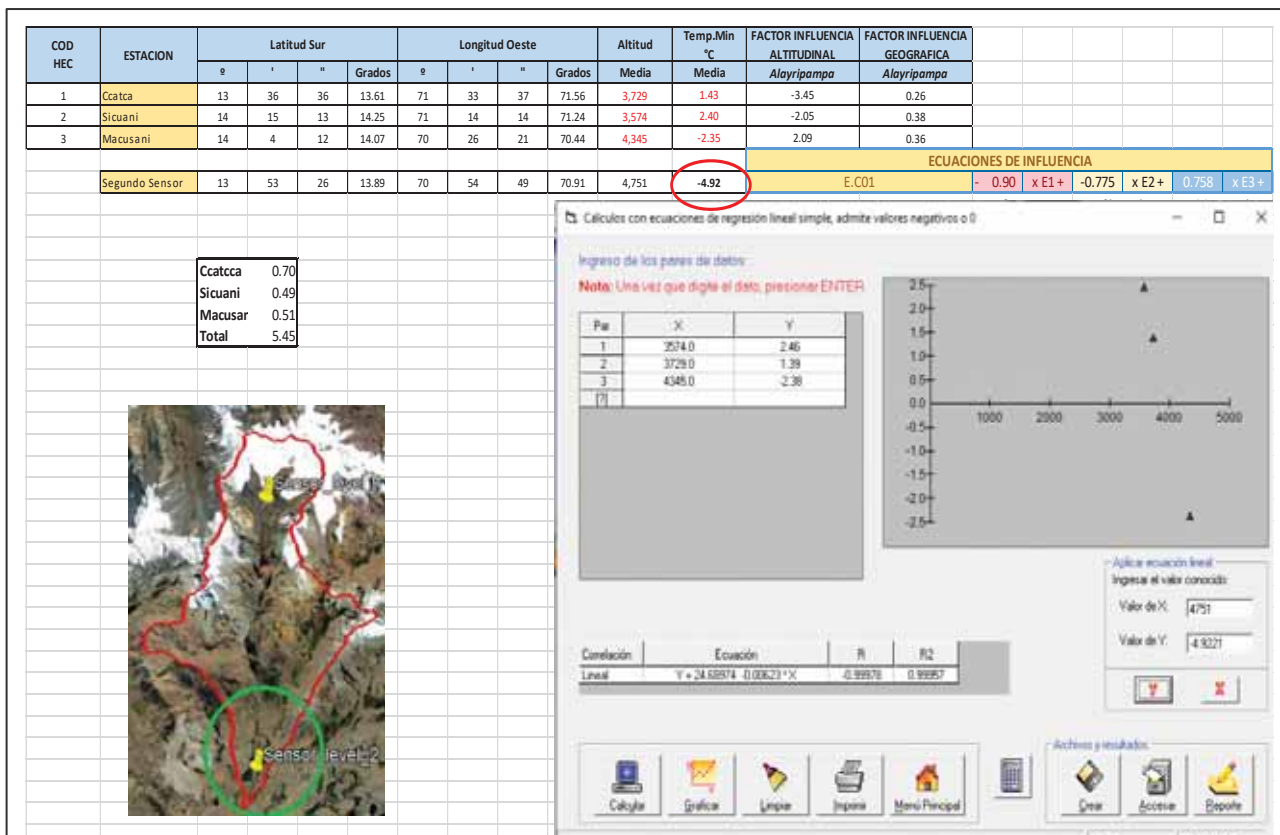
*Ecuación de Regresión, Estación Macusani- Variable Temperatura Mínima.*



**C.4 Ecuación de Influencia en el Área de Estudio-Cuenca Alayripampa, variable climática “Temperatura Mínima”**

**Figura 44**

*Ecuación de Influencia, Variable Temperatura Mínima.*



**D. Generación de Caudales en la Cuenca Alayripampa**

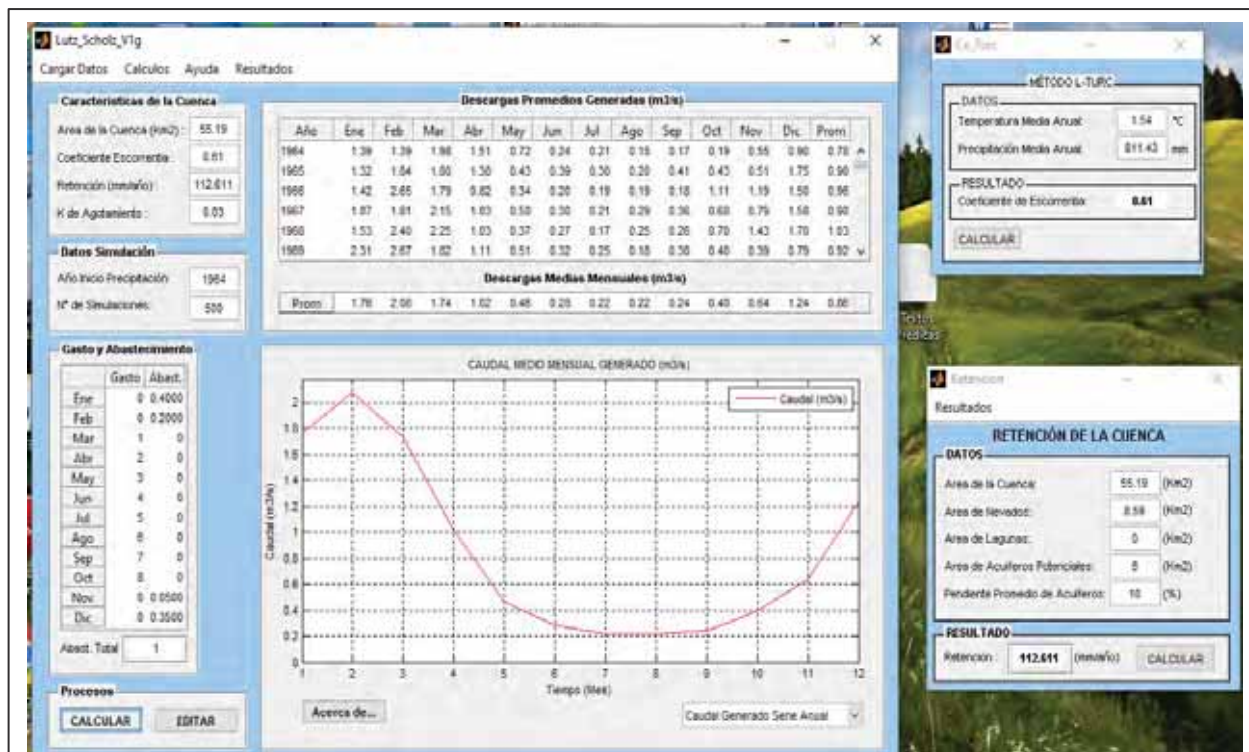
Para generar los caudales utilizaremos la precipitación y temperatura generada en los ítems anteriores. Utilizamos el “modelo hidrológico de Lutz Scholz”, que posibilita determinar los caudales medianos mensuales con respecto a un año promedio y cuando no se tiene información completa es posible aplicar este método.

**D.1 Procesos realizados en el modelo hidrológico de Lutz Scholz**

En la siguiente figura se observa los procesos realizados para la generación de caudales. Ver Anexo O “GENERACIÓN DE CAUDALES METODO HIDROLÓGICO DE LUTZ SCHOLZ”

Figura 45

*Caudales Generados, Modelo Hidrológico Lutz Scholz*



**3° Bofedal;** en cuanto al bofedal en estudio se hizo dos tipos de selección; análisis de la vegetación mediante la observación directa en la cual se hizo la toma de muestras del bofedal mediante un barreno de 4", y selección de muestras en campo y así mismo se hizo "Análisis de Vegetación" mediante observación de imágenes satelitales .

La primera, análisis de la vegetación mediante observación directa mediante la toma y selección de muestras en campo que se hizo en relación a la guía emitida por el (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019) mediante un transecto a lo largo de la cuenca glaciar; en la cual se hizo tomando en cuenta según los siguientes indicadores:

a. *La condición del agua:* esto en cuanto a la napa freática.

- b. *El estado del suelo*: profundidad de la turba, materia orgánica superficial y signos de erosión.
- c. *EL estado de la biota*: abundancia de especies nativas y cobertura vegetal viva.
- d. *Alteraciones en el paisaje*: Presencia de elementos de degradación, constatar los elementos de degradación presentes en el bofedal y sus alrededores.

La segunda, selección de imágenes, se hizo uso de las mismas imágenes utilizadas para la determinación del índice "NDSI", en este tercer punto del estudio del bofedal utilizamos las imágenes para la determinación del análisis de vegetación, mediante los índices NDVI Y TCG, para su respectiva comparación de ambos índices y su comparación con el trabajo de campo realizado.

En cuanto al análisis de vegetación en campo se obtuvo en total 30 muestras de 06 núcleos, se obtuvo diferentes muestras por cada núcleo, se puede observar la profundidad de cada muestra en la figura 50.

La selección de la muestra se hizo por el especialista en bofedales Ing. Jan R. Baiker, tomando en cuenta la fisiografía misma del bofedal, tomando en cuenta el estado del agua, el estado del suelo, el estado de la biota y de las modificaciones del paisaje; esto mediante un transecto.

#### ***4.4.3. Realizar la Identificación y Descripción de Reservas de Agua, (Bofedales) en la Cuenca Glaciar Alayripampa***

Para la identificación de las reservas de agua, se realizó dos trabajos el 1° el trabajo de campo, análisis de la vegetación mediante la observación, recojo de muestras del bofedal con barreno de 4", para identificar el estado del bofedal, el 2° trabajo realizado fue la utilización de las imágenes satelitales descargadas

de la USGS (Science for a Changing World) para el análisis de vegetación según los índices NDVI y TCG.

### **A. Del 3.1 Identificación de Reservas de Agua-Bofedales Mediante Observación-Recojo de Muestras**

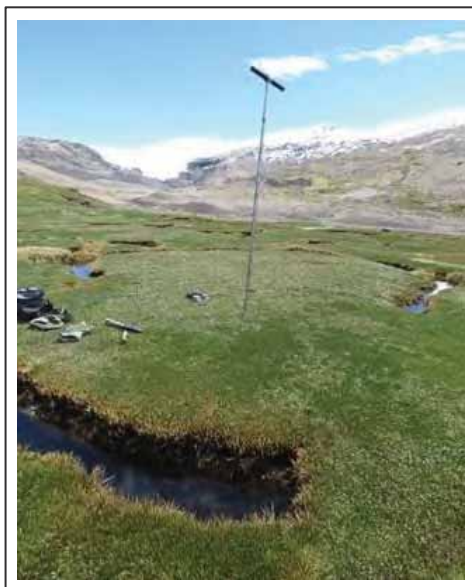
Para ello utilizamos el manual “Ecosistema de Bofedal Guía de Evaluación” (MINAM, 2019).

**a. La condición del agua:** esto en cuanto a la napa freática.

Se analiza tomando en cuenta la superficie del suelo como referencia.

#### **Figura 46**

*Bofedal de la Cuenca Alayripampa*



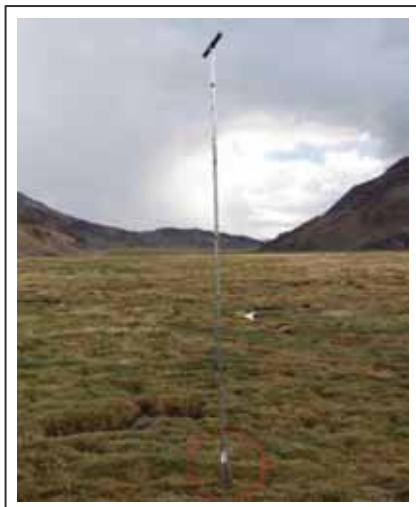
**b. La condición del suelo:** En la cual se evalúa la profundidad de la turba, la materia orgánica superficial, la densidad aparente en el horizonte superficial y signos de erosión.

Profundidad de la turba: Las muestras se sacó con el barreno de 4” y se midió con la wincha.



**Figura 47**

*Barreno de 4" en la Cuenca Alayripampa*

**Figura 48**

*Muestras de Turba, Obtenidas del Bofedal de la Cuenca Alayripampa*



Fuente: Ing. Jan Bayker.

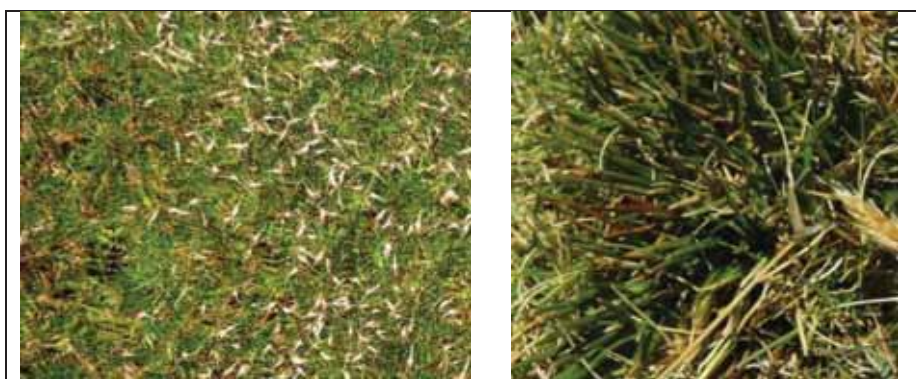
**c. Materia orgánica superficial:** Se determinó del resultado del “Análisis de fertilidad y caracterización”, de las muestras obtenidas en campo, Ver Anexo J “ANALISIS DE FERTILIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS DE LOS NÚCLEOS”.

**d. Densidad aparente en el horizonte superficial:** Se determinó del resultado del “Análisis de fertilidad y caracterización”, de las muestras obtenidas en campo, Ver Anexo J “ANALISIS DE FERTILIDAD Y CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS DE LOS NÚCLEOS”.

- e. Signos de erosión:** Teniendo en cuenta la guía analizamos los signos de erosión según el trabajo de campo y según el cuadro “Descripción del Grado de Erosión del Área Evaluada” del Anexo D.
- f. La condición de la biota:** abundancia de especies nativas y cobertura vegetal viva. Mediante un transecto.

### Figura 49

#### *Especies de Flora en el Bofedal de la Cuenca Alayripampa*



Nota: Nombre científico: *Oreobolus obtusangulus*-Fuente: Fotografía propia.

En cuanto al análisis de vegetación en campo se obtuvo en total 30 muestras de 06 núcleos, se obtuvo diferentes muestras por cada núcleo, se puede observar la profundidad de cada muestra en la siguiente figura.

### Figura 50

#### *Número de Muestras Obtenidas del Bofedal*

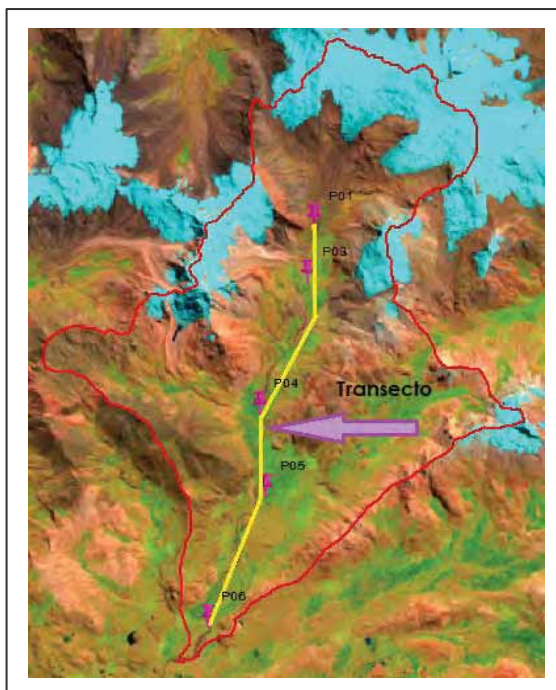
Cuenca	Alayripampa					
	P1 cm.	P2 cm.	P3 cm.	P4 cm.	P5 cm.	P6 cm.
Ubicación de núcleos (toma de muestras del bofedal)	0 - 50	0 - 50	0 - 50	0 - 50	0 - 50	0 - 50
	50 - 100		50 - 100	50 - 100	50 - 100	50 - 100
	100 - 150		100 - 150	100 - 150	100 - 150	100 - 150
	150 - 166		150 - 200	150 - 200	150 - 200	150 - 200
			200 - 250	200 - 250		200 - 250
			250 - 300			250 - 300
			300 - 350			
			350 - 400			
			400 - 450			
			450 - 500			

La selección de la muestra se hizo por el especialista en bofedales Ing. Jan R. Baiker, tomando en cuenta la fisiografía misma del bofedal, tomando en cuenta la condición del agua, la condición del suelo, la condición de la biota y de las alteraciones del paisaje.

La ubicación de los núcleos y el transecto, se puede observar en la siguiente figura.

### Figura 51

#### *Transecto Ubicación de los Núcleos*



En la cual no se ha considerado la P02 ya que fue una sola muestra y no representaba un punto referencial del bofedal y se tomó en cuenta en la figura 50, solo para su secuencia.

**g. Alteraciones en el paisaje:** Presencia de factores de degradación: Evidencias de factores de degradación presentes en el bofedal y sus alrededores.

**h. Presencia de factores de degradación:** Se observa los factores de degradación que se encuentra en el bofedal, esto se realizó según el Cuadro “Muestra de categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad”, del Anexo D.

**Figura 52**

*Alteraciones en el Paisaje del Bofedal*



**i. Conectividad Hidrológica:** Se evalúa si a unos 500 m. si hay alguna estructura o construcción que altere o que ha modificado el curso natural del agua hacia el bofedal; esto se realizó según el cuadro del mismo nombre del Anexo D.

**Figura 53**

*Conectividad Hidrológica-Bofedal Alayripampa 1*

**Figura 54**

*Conectividad Hidrológica-Bofedal Alayripampa 2*



Según el documento “Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal”, se hizo el cálculo del valor ecológico, ver Anexo D “ECOSISTEMA DE UN BOFEDAL” en el cuadro “Formato para el llenado y comparación de los valores de referencia y la unidad muestral para el cálculo del valor ecológico de un bofedal” y el cuadro “Cálculo Promedio de los Indicadores de las Parcelas de Evaluación” según esta información se hizo el llenado y comparación de los valores de referencia y la unidad muestral para el cálculo del valor ecológico; así



Este análisis se hizo en base a la observación del trabajo de campo y los datos obtenidos de los resultados del laboratorio.

A pesar de que no se pudo tomar los datos de la conductividad eléctrica, podemos clasificar el bofedal que se encuentra en la cuenca Alayripampa en la escala de “bueno”. Este resultado se obtuvo como referencia del Anexo D, del cuadro “Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal”.

## **B. Identificación de Reservas de Agua-Bofedales Mediante Imágenes Satelitales.**

Para esto utilizamos la composición de bandas 6 - 5 - 4 de las imágenes espectrales descargadas, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*Composición de Bandas para Identificación de Bofedales*

para crear una composición de bandas (landsat en ArcGIS).

Color natural	4 3 2
Falso color (urbano)	7 6 4
Color infrarrojo (vegetación)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetración atmosférica	7 6 5
Vegetación saludable	5 6 2
Tierra/agua	5 6 4
Natural con remoción atmosférica	7 5 3
Infrarrojo de onda corta	7 5 4
<b>Análisis de vegetación</b>	<b>6 5 4</b>

Fuente: <https://mappinggis.com/2015/05/como-descargar-imagenes-landsat/>

### **B.1 Obtención de Índices NDVI y TCG en la Identificación de Bofedales**

NDVI= índice diferencial de vegetación normalizado.

TCG= Tasseled CAP Vegetacion

“Estos índices espectrales son utilizados para la identificación de humedales alto andinos.” (Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, 2019).

Ver la siguiente tabla.

**Tabla 18**

*Índices más citados para evaluar coberturas asociadas a los humedales (agua, suelo y vegetación)*

Nombre índice	Ecuación	Propiedad medida	Autor
LSWI	$(\text{NIR}-\text{SWIR}) / (\text{NIR}+\text{SWIR})$	Humedad en la vegetación	Xiao et., 2002
NDWI	$(\text{Green}-\text{NIR}) / (\text{Green}+\text{NIR})$	Aguas abiertas.	McFeeters, 1996
NDVI	$(\text{NIR}-\text{Red}) / (\text{NIR}+\text{Red})$	Verdor de la vegetación.	Rouse et al., 1973
EVI	$(\text{NIR}-\text{Red}) / (\text{NIR}+6\text{Red}-7.5\text{Blue}+1)$	Biomasa	Huete et al., 2002
SAVI	$((\text{NIR}-\text{Red}) / (\text{NIR}+\text{Red}+1)) (1+L)$	Verdor de la vegetación	Huete et al., 1987
TCG	$-0.2941\text{Blue} - 0.2430\text{Green} - 0.5424\text{Red} + 0.7276\text{NIR} + 0.713\text{SWIRI} - 0.1608\text{SWIRII}$	Coberturas terrestres	Muhammad et al, 2014

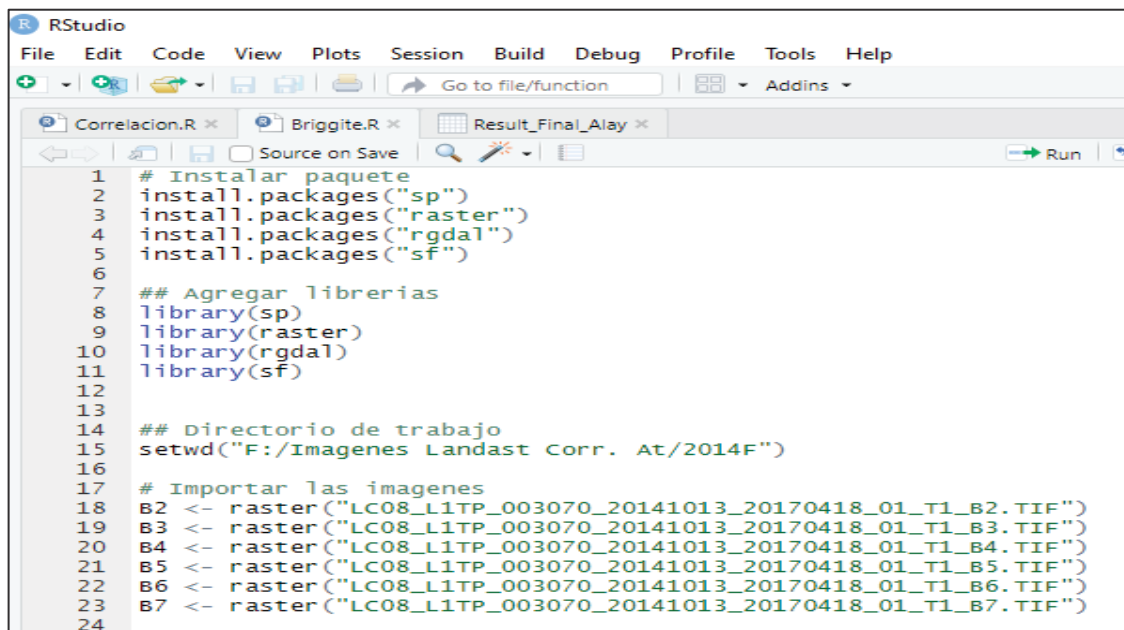
Fuente: Evaluando el desempeño de índices espectrales para identificar humedales alto andinos, 2019).

Para la obtención del NDVI y el TCG, realizamos el proceso en el software “Rstudio”, mediante un script, como se muestra en la siguiente *figura*.



Figura 55

Procesos en R Studio con las Imágenes LandSat



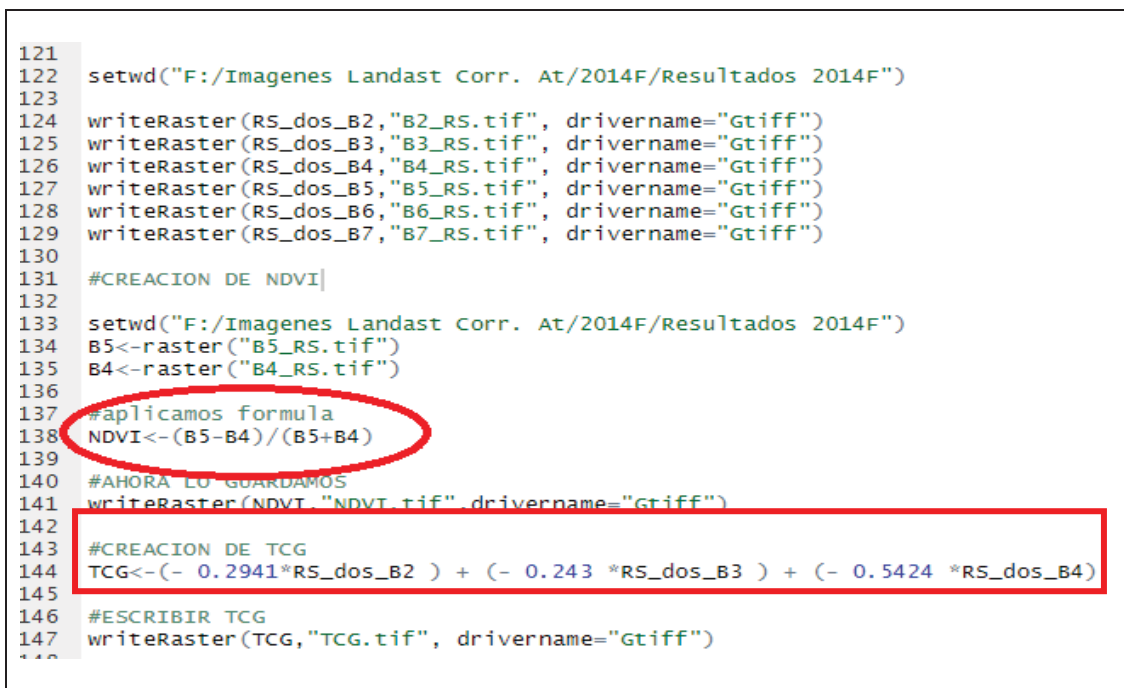
```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Correlacion.R x Briggite.R x Result_Final_Alay x
Source on Save Run
1 # Instalar paquete
2 install.packages("sp")
3 install.packages("raster")
4 install.packages("rgdal")
5 install.packages("sf")
6
7 ## Agregar librerias
8 library(sp)
9 library(raster)
10 library(rgdal)
11 library(sf)
12
13
14 ## Directorio de trabajo
15 setwd("F:/Imágenes Landast Corr. At/2014F")
16
17 # Importar las imagenes
18 B2 <- raster("LC08_L1TP_003070_20141013_20170418_01_T1_B2.TIF")
19 B3 <- raster("LC08_L1TP_003070_20141013_20170418_01_T1_B3.TIF")
20 B4 <- raster("LC08_L1TP_003070_20141013_20170418_01_T1_B4.TIF")
21 B5 <- raster("LC08_L1TP_003070_20141013_20170418_01_T1_B5.TIF")
22 B6 <- raster("LC08_L1TP_003070_20141013_20170418_01_T1_B6.TIF")
23 B7 <- raster("LC08_L1TP_003070_20141013_20170418_01_T1_B7.TIF")
24

```

Figura 56

Procesos en Rstudio para la Obtención de los Índices NDVI y TCG



```

121
122 setwd("F:/Imágenes Landast Corr. At/2014F/Resultados 2014F")
123
124 writeRaster(RS_dos_B2,"B2_RS.tif", drivename="Gtiff")
125 writeRaster(RS_dos_B3,"B3_RS.tif", drivename="Gtiff")
126 writeRaster(RS_dos_B4,"B4_RS.tif", drivename="Gtiff")
127 writeRaster(RS_dos_B5,"B5_RS.tif", drivename="Gtiff")
128 writeRaster(RS_dos_B6,"B6_RS.tif", drivename="Gtiff")
129 writeRaster(RS_dos_B7,"B7_RS.tif", drivename="Gtiff")
130
131 #CREACION DE NDVI|
132
133 setwd("F:/Imágenes Landast Corr. At/2014F/Resultados 2014F")
134 B5<-raster("B5_RS.tif")
135 B4<-raster("B4_RS.tif")
136
137 #aplicamos formula
138 NDVI<-(B5-B4)/(B5+B4)
139
140 #AHORA LO GUARDAMOS
141 writeRaster(NDVI,"NDVI.tif", drivename="Gtiff")
142
143 #CREACION DE TCG
144 TCG<-(- 0.2941*RS_dos_B2 ) + (- 0.243 *RS_dos_B3 ) + (- 0.5424 *RS_dos_B4)
145
146 #ESCRIBIR TCG
147 writeRaster(TCG,"TCG.tif", drivename="Gtiff")
148

```

Los índices de separación de coberturas por imágenes Land-Sat 8 OLI, se observa en la siguiente tabla.

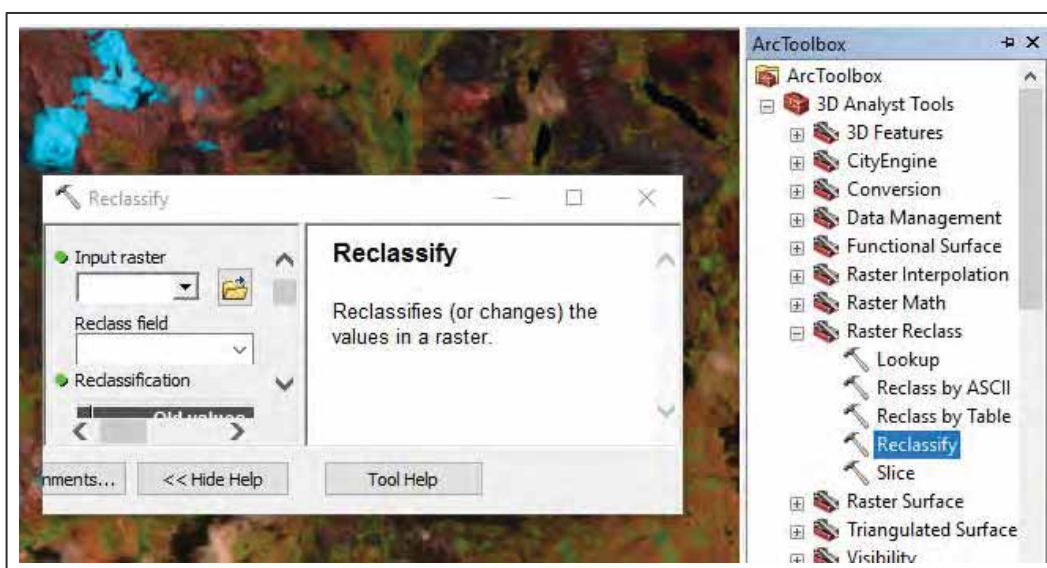
**Tabla 19***Índices NDVI y TCG*

Índice	Humedales	Glaciares	Vegetación Gramínea	Otras coberturas	Valor Min - Max
LSWI	0.745 a .0950	0.950 a 1.000	0.448 a 0.745	-1.000 a 0.488	-1.000 a 1.000
NDVI	-0.620 a -1.000	0.000 a 0.350	-0.310 a -0.620	0.350 a 1.000,0 a -0.310	-1.000 a 1.000
NDVI	0.395 a 1.000	-0.700 a -0.200	0.070 a 0.395	-0.200 a 0.070, -0.100 a 0.700	-1.000 a 1.000
EVI	0.300 a 0.774	-0.042 a -0.003	0.075 a 0.300	-0.18 a -0.04,-0.003 a 0.075	-0.181 a 0.774
SAVI	0.2500 a 0.537	-0.471 a -0.140	0.038 a 0.225	-0.140 a 0.038	-0.471 a 0.537
TCG	0.120 a 0.292	-0.305 a -0.240	0.005 a 0.120	-0.240 a 0.005	-0.305 a 0.292

Fuente: Evaluando el desempeño de índices espectrales para identificar humedales alto andinos, 2019.

**Figura 57**

Procesos realizados en Argis, "Reclassify", en donde se ponen los límites numéricos.

**Procesos obtenidos para cada año 2013-2019**

Ver Anexo K "MAPAS DE ÁREA DE BOFEDAL POR AÑOS SEGÚN INDICES NDVI Y TCG" Mapas N° 17 al 31.

#### 4.4.4. Metodología de Otros Análisis Realizados Según las Variables de la Cuenca Glaciar Alayripampa

##### A. Generación del Climatograma de la Cuenca Glaciar Alayripampa

Esto se realizó con los datos de las estaciones de Ccatca, Macusani y Sicuani de los años 1964 - 2019.

Promedio de valores medios de las variables climáticas de la cuenca Alayripampa.

**Tabla 20**

*Variables Climáticas de la Cuenca Alayripampa*

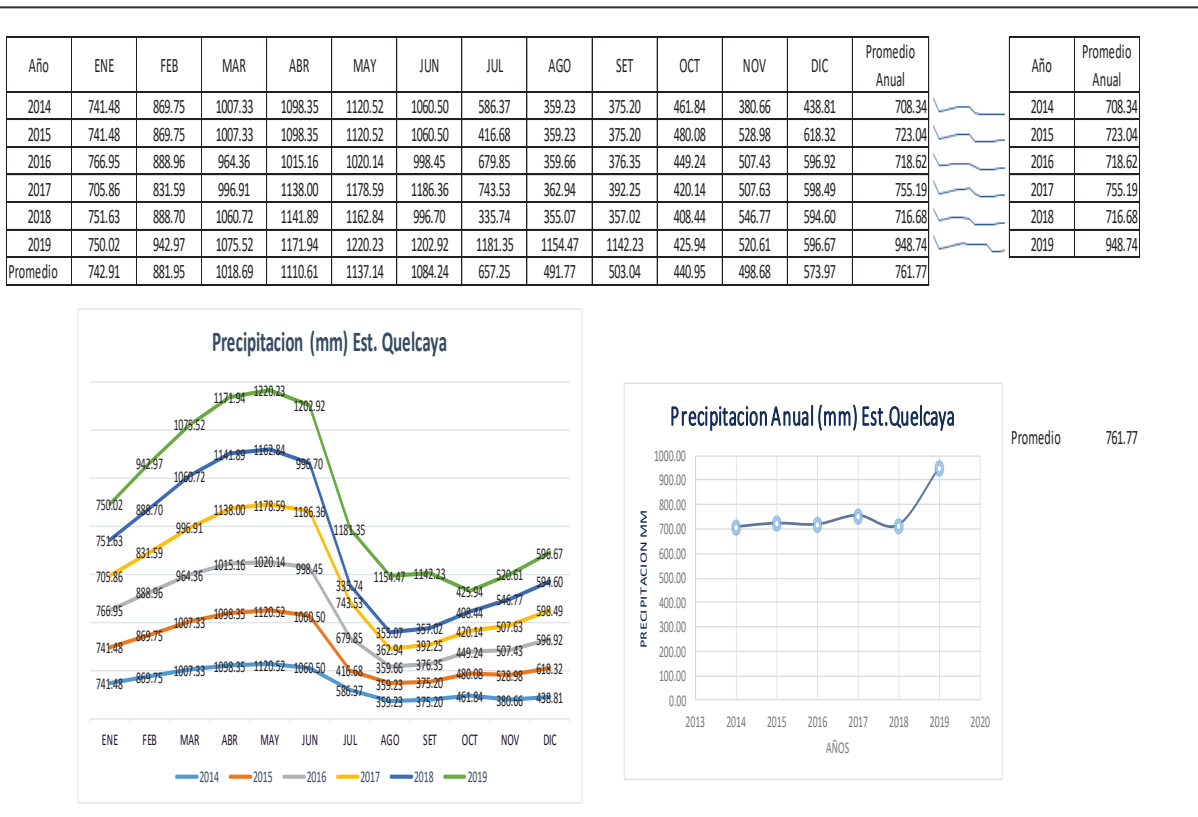
Promedios Variables Climáticas de la Cuenca Alayripampa												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	144.40	141.21	121.30	49.68	10.78	4.52	5.87	11.01	21.36	51.56	70.20	123.31
Temp.Max.(°C)	8.57	8.48	8.66	8.94	9.09	8.99	8.76	9.11	9.27	9.41	9.48	8.91
Temp.Min.(°C)	-7.19	-7.16	-6.97	-5.13	-2.23	-1.02	-0.88	-3.01	-5.25	-6.49	-6.75	-6.98
Temp.Min.(Dato + bajo)	-9.93	-10.84	-10.10	-7.96	-6.27	-4.65	-4.51	-5.64	-9.28	-8.93	-9.92	-10.48

##### B. Precipitación Obtenidas de la Estación Quelcaya

Habiendo examinado los datos con el método de Grubs y completar los datos con Rstudio se elaboró la siguiente figura.

**Figura 58**

*Datos de Precipitación (mm) –Estación Quelcaya*



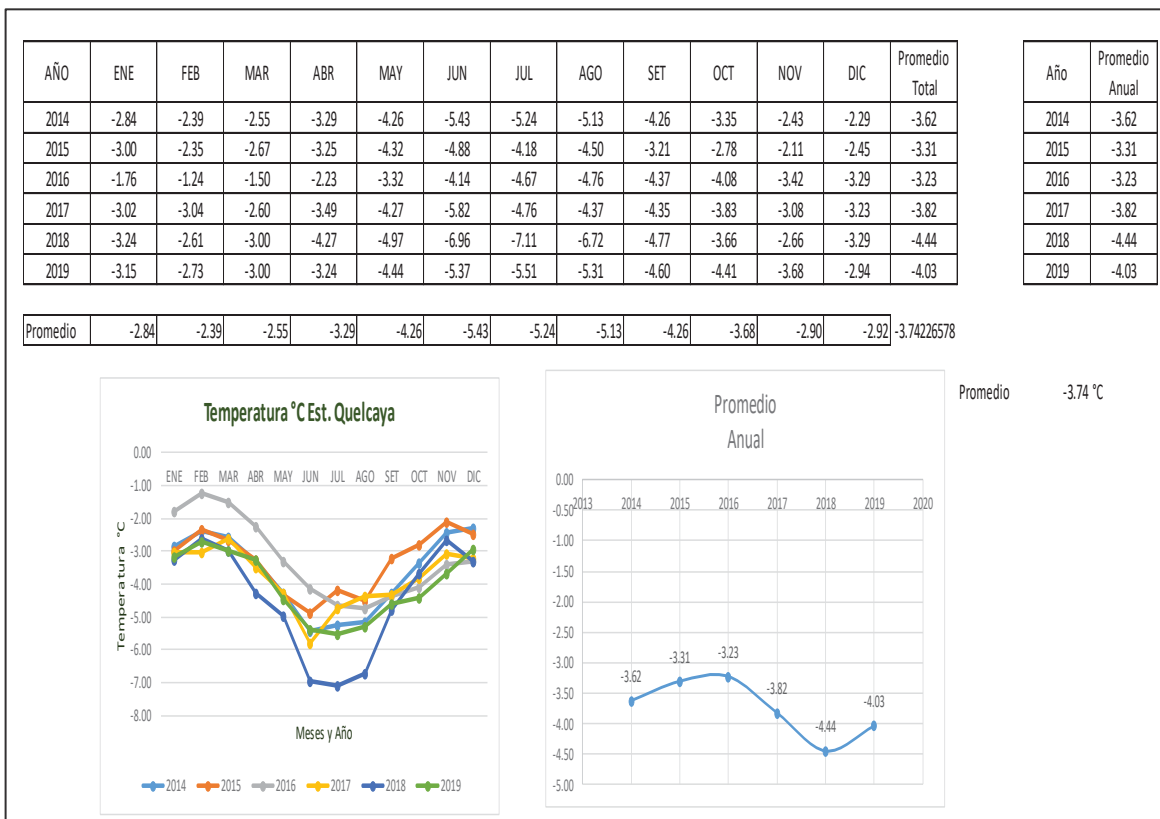
Fuente: Datos -Sr. Backer Perry,

### C. Temperatura Obtenidas de la Estación Quelcaya

Los datos analizados con el método de Grubs y completar los datos con Rstudio se obtuvo la siguiente figura.

**Figura 59**

*Datos de Temperatura –Estación Quelcaya*



Fuente: Datos -Sr. Backer Perry,

De los datos analizados de la Estación Meteorológica de Quelcaya se obtuvo los promedios para la temperatura  $-3.74\text{ }^{\circ}\text{C}$  y precipitación de 761.77 mm.

#### 4.5. Técnicas Para Demostrar la Verdad o Falsedad de la Hipótesis Planteadas

Para precisar la verdad o falsedad de las hipótesis antes planteadas aplicaremos pruebas estadísticas utilizando el MINITAB 18, para todos los casos.

Para hacer uso del MINITAB 18, tenemos que tener en cuenta la base teórica en nuestro caso haremos uso de la prueba “T student” e “Hipótesis de Correlación”.

Minitab es un software estadístico, diseñado para efectuar funciones estadísticas básicas y avanzadas. El cual une lo amigable de la utilización de Microsoft Excel que tiene la amplitud de efectuar los análisis estadísticos. Minitab es constantemente usado con la implantación de metodologías de mejora de procesos Six Sigma.

**Prueba T student:** La prueba T-student como es una prueba estadística para probar la hipótesis en estudio con muestras pequeñas  $< 30$ ; es la que utilizaremos para analizar dos de las hipótesis específicas de la presente investigación la primera y la tercera hipótesis específicas:

1. Se conocerá la situación del retroceso glaciar (área glaciar) de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.
2. Se conocerá las reservas de agua (bofedales), el área; la situación de la vegetación y de los suelos.

Para ambas hipótesis aplicaremos los pasos mencionados en la literatura <https://estadisticaeninvestigacion.wordpress.com/distribucion-t-de-student/>.

1. **Paso 1:** Plantear la hipótesis nula “ $H_0$ ” y la hipótesis alternativa “ $H_a$ ”.
2. **Paso 2:** Determinar el nivel de significancia.
3. **Paso 3:** Prueba muestral, se hace el cálculo de la media y la desviación estándar en base a la muestra.
4. **Paso 4:** Se hace uso de la distribución T de Student para estimar la probabilidad de error.
5. **Paso 5:** En base a los cálculos obtenidos; se acepta o rechaza la hipótesis alternativa.

**Hipótesis de Correlación:** El análisis de correlación, consta en el cálculo de la media, el nivel de correlación y el resultado de análisis, para decidir si es admisible el grado de asociación.

“Así mismo está fuertemente relacionado con el análisis de regresión, ya que la medición de la correlación, depende del modelo de regresión. Por ejemplo, cuando se selecciona un modelo lineal simple, se habla de correlación lineal simple” (Villon Bejar, n.d.)

En donde se aplica el coeficiente de correlación; que es el estadístico que posibilita medir el grado de asociación de dos a más variables linealmente relacionadas.

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

r= coeficiente de correlación.

La cuantía de r va entre “-1 y 1”, muestra los variados grados de asociación. Si X y Y son independientes:  $S_{XY} = COV(x, y) = 0$ , luego  $r = 0$

### **Prueba de Hipótesis de Correlación**

#### **a. 1ro Debemos tener en cuenta**

H0:  $\rho = 0$  (No existe una correlación lineal).

H1:  $\rho \neq 0$  (Existe una correlación lineal).

**b. Estadístico de Prueba:  $r$**

**c. Valores Críticos: Tabla V.C del coeficiente de Correlación  $r$  de Pearson.**

**d. Y en la conclusión definiremos**

Si:  $|r| >$  al Valor Crítico  $\rightarrow$  Rechace  $H_0$

Si:  $|r| \leq$  al Valor Crítico  $\rightarrow$  No Rechace  $H_0$



## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Procesamiento, Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

En la presente investigación como se tiene tres componentes, el procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados se hará en ese orden, teniendo en cuenta los objetivos específicos.

1. Realizar el análisis multitemporal del retroceso glaciar de la cuenca Alayripampa (glaciares Suyuparina y Quisoquipina).
2. Establecer la correlación entre el retroceso glaciar y la generación de caudales en la cuenca Alayripampa.
3. Realizar la identificación y descripción de reservas de agua, (bofedales) en la cuenca glaciar Alayripampa.

#### **1. Realizar El Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar de la Cuenca Alayripampa (Glaciares Suyuparina Y Quisoquipina).**

Después de haber realizado los procedimientos ya mencionados de la obtención del NDSI, se procesó todos los resultados obtenidos en el Arcgis para presentar los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 21**

*Resultados del Procesamiento del Área Glaciar de la Cuenca Alayripampa*

Años	Área Glaciar Km <sup>2</sup>
2013	9.41
2014	9.19
2015	9.15
2016	8.63
2017	8.74
2018	8.76
2019	8.59

**Figura 60**

*Retroceso Glaciar Cuenca Alayripampa.*



Según el análisis de imágenes; en comparación del año 2013; el año 2014 hubo una reducción del área glaciar en 2.32 %, el año 2015 un retroceso de 0.04 %, el año 2016 un retroceso de 5.49 % este drástico retroceso se atribuye ya que entre el año 2015 y 2016 se produjo el fenómeno EL NIÑO y fue uno de los más fuertes que se produjo en los últimos años aun denominado “El súper Niño”; y según Thompson et al. Identificaron una relación consistente de balance de masa negativo relacionado con el fenómeno El Niño de este año; el 2017 se observa el incremento de área glaciar en 1.10 % en comparación al 2016; el año 2018 un incremento de 0.28 % en comparación al año 2017 y el año 2019 se observa una reducción del área glaciar de 1.87 %; y el promedio del retroceso glaciar desde 2013 hasta el 2019 es de 1.49 % por año.

Así mismo en la siguiente tabla y en las siguientes figuras 61 y 62 se muestran los resultados de los glaciares Suyoparina y Quisoquipina, esta

información se obtuvo del análisis específico realizado para estos glaciares mediante la herramienta "Clip"(Arcgis) de la cuenca Alayripampa.

**Tabla 22**

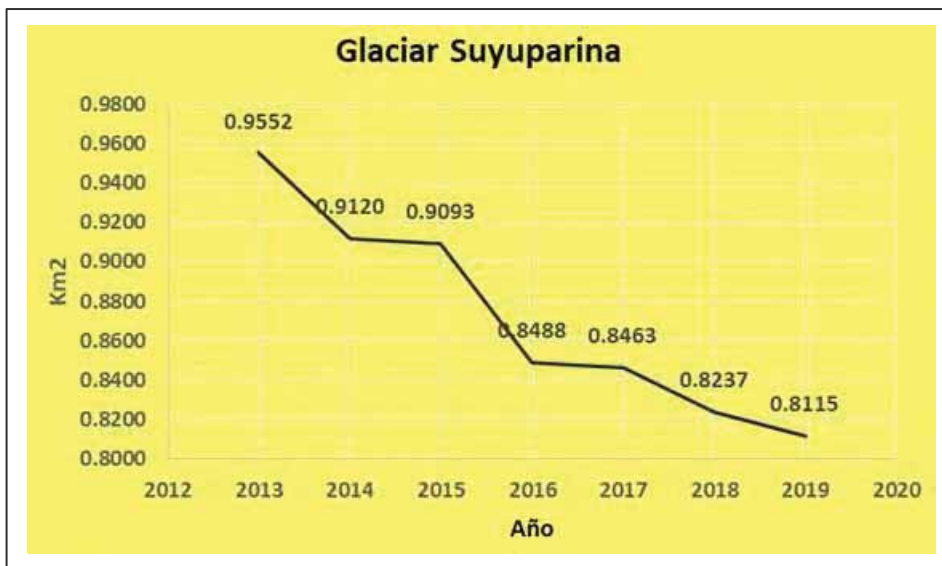
*Resultados del Procesamiento del Área Glaciar de los Glaciares Suyuparina y Quisoquipina*

Km <sup>2</sup>		
Año	Quisoquipina	Suyuparina
2013	3.0715	0.9552
2014	3.0293	0.9120
2015	3.0335	0.9093
2016	2.9782	0.8488
2017	2.9842	0.8463
2018	2.9699	0.8237
2019	2.9613	0.8115

**Figura 61**

*Retroceso Glaciar Quisoquipina*



**Figura 62***Retroceso Glaciar Suyuparina*

## 2. Establecer la Correlación Entre el Retroceso Glaciar y la Generación de Caudales en la Cuenca Alayripampa.

Para la obtención de estos caudales generados, se hizo todo el proceso mencionado en la metodología; la regionalización de las variables meteorológicas de precipitación, temperatura media de las estaciones meteorológicas de; Macusani, Sicuani y Ccatca, y de los datos ingresados en el programa de Lutz Scholz; en la siguiente tabla se observa todos los resultados obtenidos desde 1964 hasta el 2019, siendo de interés los caudales generados desde el 2013 al 2019, para su respectivo análisis.

**Tabla 23***Caudales generados por año desde 1964 al 2019*

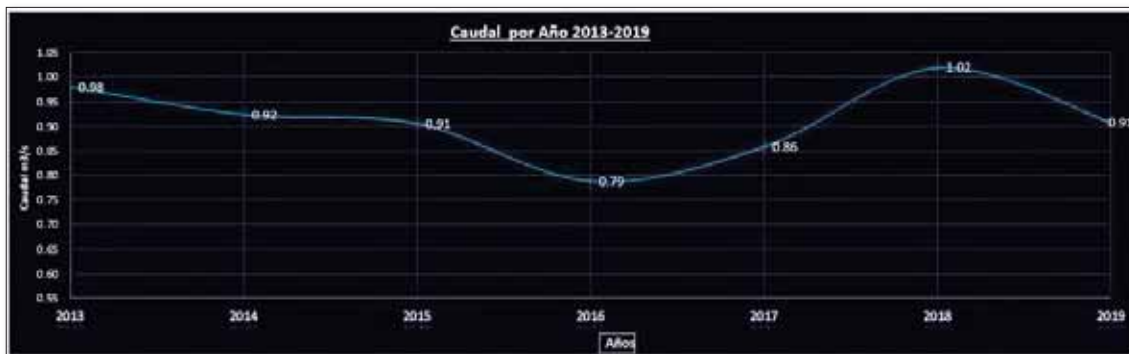
CAUDAL MEDIO MENSUAL GENERADO - SERIE PROMEDIO (m3/s)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1964	1.3875	1.3892	1.9777	1.5088	0.7208	0.2415	0.2140	0.1537	0.1706	0.1909	0.5487	0.8962	0.7833
2007	1.5877	1.4967	1.8021	1.0165	0.3618	0.1759	0.1441	0.1270	0.1564	0.4609	0.7866	0.9817	0.7581
2008	1.8745	1.9370	1.5938	0.7860	0.3692	0.2638	0.2416	0.1238	0.1775	0.5299	0.6297	1.3860	0.8261
2009	1.3639	1.9512	1.3349	0.6808	0.3414	0.2327	0.2128	0.1332	0.1593	0.2340	1.0682	1.4556	0.7640
2010	2.4168	2.0112	1.5758	0.7714	0.4145	0.2994	0.1555	0.1270	0.1799	0.3513	0.3386	1.2575	0.8249
2011	1.5854	2.2530	2.2534	1.7425	0.7188	0.3498	0.2192	0.1689	0.4313	0.2433	0.2456	1.0985	0.9425
2012	1.5731	2.4322	1.6528	0.8316	0.4936	0.3345	0.2444	0.1795	0.1651	0.1700	0.3571	1.7808	0.8512
2013	2.3274	2.4439	1.6214	0.7786	0.3468	0.1806	0.1486	0.1763	0.2314	0.6063	0.9395	1.9653	0.9805
2014	2.8703	2.6186	1.3202	0.6148	0.3466	0.1967	0.2217	0.2123	0.3295	0.3113	0.3950	1.6547	0.9243
2015	2.1731	2.0320	1.5387	1.4049	0.6919	0.3291	0.2054	0.2086	0.2180	0.2890	0.4479	1.3270	0.9055
2016	1.6744	2.7866	1.1104	0.9387	0.4169	0.2703	0.3041	0.2758	0.3485	0.3917	0.3313	0.6157	0.7887
2017	1.4690	1.6528	1.6342	1.2649	0.7252	0.4384	0.2105	0.2789	0.2750	0.4602	0.9578	0.9270	0.8578
2018	1.5765	2.3823	2.5449	1.1441	0.5134	0.3421	0.2851	0.3267	0.1983	0.8552	1.1784	0.8932	1.0200
2019	1.7960	2.3930	1.5770	0.7052	0.3351	0.3054	0.1581	0.1180	0.1136	0.1503	0.9681	2.2672	0.9073
Total	1.7643	2.0773	1.7355	1.0207	0.4633	0.2823	0.2192	0.2163	0.2414	0.3962	0.6426	1.2364	0.8580

**Tabla 24***Caudal Generado en la Cuenca Alayripampa en los años 2013 - 2019*

Año	Área Glaciar Km <sup>2</sup>	Caudal m <sup>3</sup> /s
2013	9.4107	0.98
2014	9.1920	0.92
2015	9.1508	0.91
2016	8.6343	0.79
2017	8.7378	0.86
2018	8.7645	1.02
2019	8.5886	0.91

**Figura 63**

*Caudales Generados en la Cuenca Alayripampa*



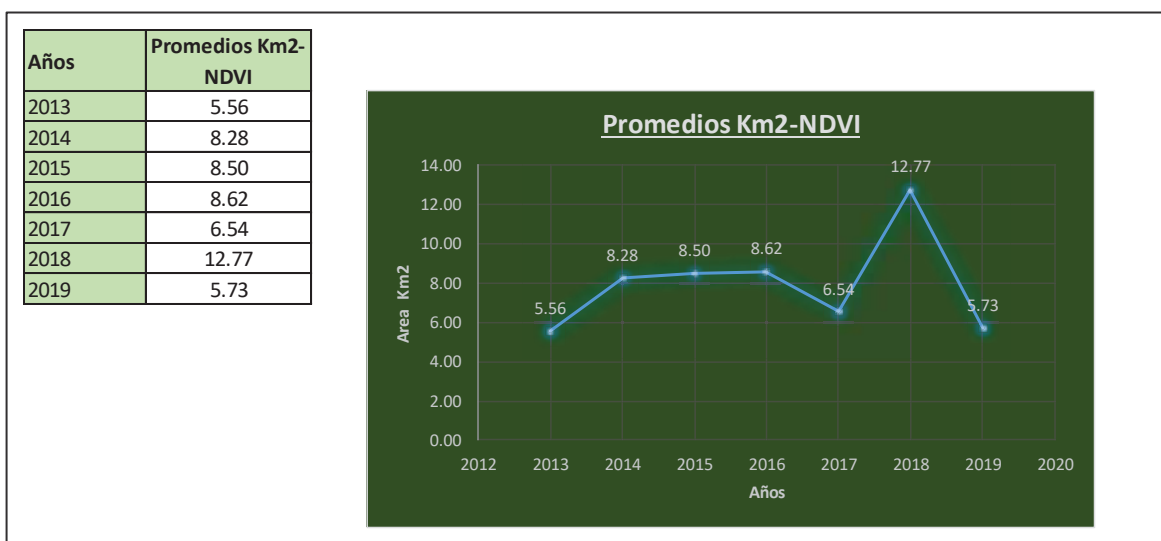
**3. Realizar la Identificación y Descripción de Reservas de Agua, (Bofedales) en la Cuenca Glaciar Alayripampa.**

De todos los procesos realizados tanto para el cálculo del índice NDVI y el índice TCG, se muestra a continuación todos los resultados obtenidos.

**B.2 Resultados de NDVI Km<sup>2</sup>**

**Figura 64**

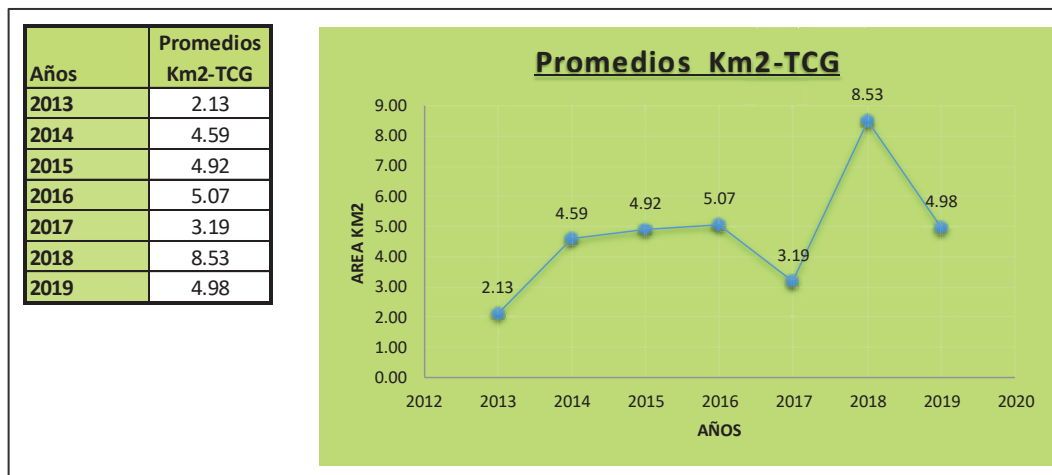
*Resultados Índice NDVI km<sup>2</sup>*



### B.3 Resultados de TCG Km<sup>2</sup>

**Figura 65**

*Resultados Índice TCG*



Como se puede observar en las figuras 64 y 65 de los índices NDVI y TCG, existe un incremento del área bofedal desde el 2013 hasta el 2016, en el año 2017 ocurre un decrecimiento, y teniendo un incremento dinámico el año 2018 y volviendo a un nivel estándar para el año 2019.

**Tabla 25**

*Área de Cobertura de los Índices NDVI y TCG*

UBICACIÓN NUCLEOS NDVI							UBICACIÓN NUCLEOS TCG						
N°de Nucleos	1	3	4	5	6	Sub Total	N°de Nucleos	1	3	4	5	6	Sub Total
2013-I	1	1	1	1	1	5	2013-I	0	0	1	0	0	1
2014-I	1	1	1	1	1	5	2014-I	0	1	1	0	0	2
2014-II	1	1	1	1	1	5	2014-II	0	1	1	0	1	3
2015-I	1	1	1	1	1	5	2015-I	0	1	1	0	1	3
2015-II	1	1	1	1	1	5	2015-II	0	0	1	0	1	2
2016-I	1	1	1	1	1	5	2016-I	0	0	1	0	1	2
2016-II	1	1	1	1	1	5	2016-II	1	1	1	0	1	4
2016-III	1	1	1	1	1	5	2016-III	0	0	1	0	1	2
2017-I	1	1	1	1	1	5	2017-I	0	0	1	0	1	2
2017-II	1	1	1	1	1	5	2017-II	0	0	1	0	1	2
2018-I	1	1	1	1	1	5	2018-I	1	1	1	0	1	4
2018-II	1	1	1	1	1	5	2018-II	1	0	1	0		2
2019-I	1	1	1	1	1	5	2019-I	0	1	1	1	1	4
2019-II	1	1	1	1	1	5	2019-II	0	0	1	0	0	1
2019-III	1	1	1	1	1	5	2019-III	0	1	1	0	1	3
<b>TOTAL</b>						<b>75</b>	<b>TOTAL</b>						<b>37</b>

En cuanto al trabajo de campo realizado se hizo una comparación con los procesos realizados en la obtención de los índices NDVI y TCG, se puso un valor

1, esto representa si el área del bofedal obtenida con los índices es igual a la toma de muestras en campo; en donde:

El valor "01" representa: si coincide el área vegetal obtenida por el índice con la observación en campo por la toma de muestra de los núcleos.

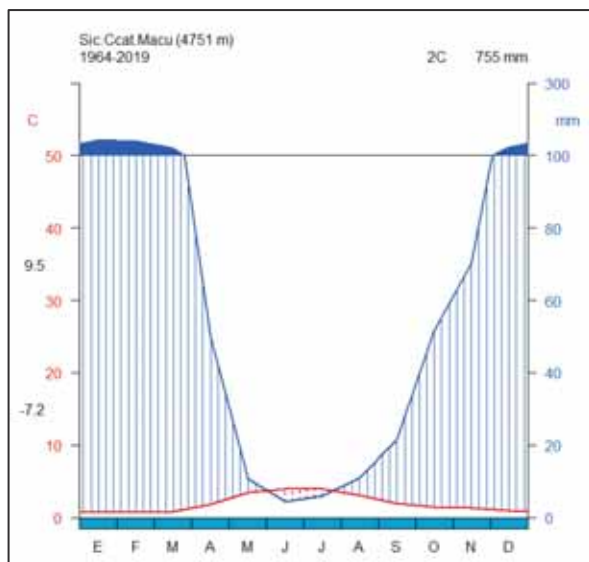
El valor "0" representa: no coincide el área vegetal obtenida por el índice con la observación en campo por la toma de muestra de los núcleos.

Y podemos concluir con una puntuación de 75, que el índice NDVI, representa mejor la obtención del área vegetal (bofedal) en la cuenca glaciar Alayripampa.

### **5.1.1. Resultados de Otros Análisis Realizados Según las Variables de la Cuenca Glaciar Alayripampa**

**Figura 66**

*Climatograma Cuenca Alayripampa*



Según los datos secundarios obtenidos de las estaciones de Ccatca, Sicuani y Macusani del SENAMHI y haber hecho el proceso de regionalización,



para el punto de ubicación del Sensor 2 (Ubicado en el puente, salida de la cuenca Alayripampa) de las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima; se obtuvo como promedio para los años 1964 - 2019 una temperatura de 2 °C y precipitación 755 mm; según el climatograma que recopila información de más de 30 años se puede observar en los meses de junio y julio son meses más secos; y los meses de abril, mayo, agosto, setiembre y octubre son meses donde se presenta lluvias moderadas y en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo las lluvias son abundantes.

Y para los años 2013 - 2019 los promedios para temperatura 1.54 °C y precipitación de 811.43 mm.

#### **D. Resultado de todos los procesos realizados con los datos obtenidos de las estaciones SENAMHI y Quelcaya**

A continuación se observa la siguiente tabla los resultados finales de las variables climáticas de precipitación y temperatura media, generación de los caudales para los años respectivos, el área glaciar y el área bofedal según los índices NDVI y TCG.

**Tabla 26**

*Datos de la Estación SENAMHI, Promedio de Temperatura y Precipitación de los Años 1964 - 2019, Área Glaciar y el Área Bofedal.*

Años	Área Glaciar Km <sup>2</sup>	PP mm.	Tem.Med °C	Q=m <sup>3</sup> /s	Área Bof. NDVI Km <sup>2</sup>	Área Bof. TCG Km <sup>2</sup>
2013	9.41	877.04	1.25	0.86	5.56	2.13
2014	9.19	749.99	1.90	0.78	8.28	4.59
2015	9.15	790.48	1.21	0.80	8.50	4.92
2016	8.63	639.46	2.16	0.79	8.62	5.07
2017	8.74	805.40	1.26	0.82	6.54	3.19
2018	8.76	886.53	1.36	1.00	12.77	8.53
2019	8.59	931.12	1.64	0.91	5.73	4.98
Promedio	8.93	811.43	1.54	0.85	8.00	4.77

Código para Rstudio: Result\_Final\_Alay1.

Con un área glaciaria promedio de 8.93 Km<sup>2</sup>, con un área bofedal promedio de 8.00 Km<sup>2</sup> según índice NDVI, con un área bofedal promedio de 4.77 Km<sup>2</sup> según índice TCG y con la regionalización de los datos de las estaciones de Ccatca, Sicuani y Macusani se obtuvo para los años 2013 - 2019 los promedios de temperatura media de 1.54 °C y precipitación de 811.43 mm; obteniendo un caudal promedio de 0.85 m<sup>3</sup>/s; esta generación de caudales se hizo teniendo en cuenta todos los datos de las variables climáticas desde el año 1964 hasta el 2019 y se extrajo esta información desde los años 2013 al 2019.

**Tabla 27**

*Datos de la Estación SENAMHI, Promedio de Temperatura y Precipitación de los Años 2013 - 2019, Área Glaciaria y el Área Bofedal.*

Años	Área Glaciaria Km <sup>2</sup>	PP mm.	Tem.Med °C	Q=m <sup>3</sup> /s	Área Bof. NDVI Km <sup>2</sup>	Área Bof. TCG Km <sup>2</sup>
2013	9.41	877.04	1.25	0.98	5.56	2.13
2014	9.19	749.99	1.90	0.92	8.28	4.59
2015	9.15	790.48	1.21	0.91	8.50	4.92
2016	8.63	639.46	2.16	0.79	8.62	5.07
2017	8.74	805.40	1.26	0.86	6.54	3.19
2018	8.76	886.53	1.36	1.02	12.77	8.53
2019	8.59	931.12	1.64	0.91	5.73	4.98
Promedio	8.93	811.43	1.54	0.91	8.00	4.77

Código para Rstudio: Result\_Final\_Alay2.

Con un área glaciaria promedio de 8.93 Km<sup>2</sup>, con un área bofedal promedio de 8.00 Km<sup>2</sup> según índice NDVI, con un área bofedal promedio de 4.77 Km<sup>2</sup> según índice TCG y con la regionalización de los datos de las estaciones de Ccatca, Sicuani y Macusani se obtuvo para los años 2013 - 2019 los promedios de temperatura media de 1.54 °C y precipitación de 811.43 mm; obteniendo un

caudal promedio de 0.91 m<sup>3</sup>/s; esta generación de caudales se hizo exclusivamente con los datos de las variables climáticas desde el año 2013 al 2019.

**Tabla 28**

*Datos de la Estación Quelcaya, Promedio de Temperatura y Precipitación de los Años 2014 - 2019, Área Glaciar y el Área Bofedal*

Años	Área Glaciar Km <sup>2</sup>	PP mm.	Tem.Med °C	Q=m <sup>3</sup> /s	Área Bof. NDVI Km <sup>2</sup>	Área Bof. TCG Km <sup>2</sup>
2014	9.19	708.34	-3.62	1.17	8.28	4.59
2015	9.15	723.04	-3.31	1.08	8.50	4.92
2016	8.63	718.62	-3.23	1.07	8.62	5.07
2017	8.74	755.19	-3.82	0.93	6.54	3.19
2018	8.76	716.68	-4.44	1.04	12.77	8.53
2019	8.59	948.74	-4.03	1.21	5.73	4.98
Promedio	8.84	761.77	-3.74	1.08	8.41	5.21

Código para Rstudio: Result\_Final\_Alay3.

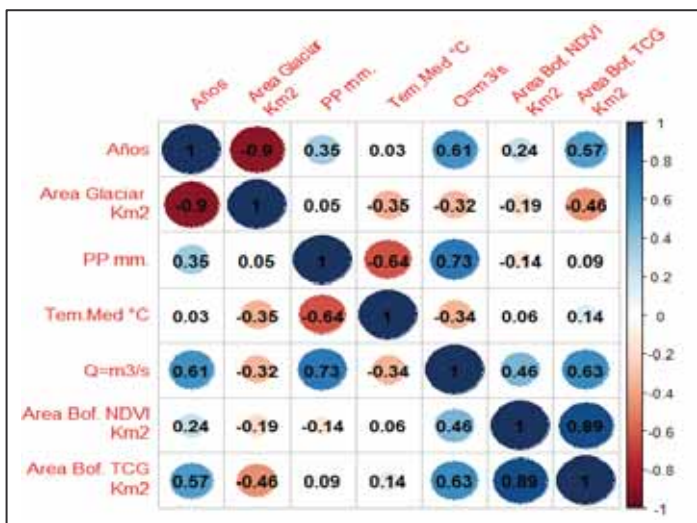
Con un área glaciar promedio de 8.84 Km<sup>2</sup>, con un área bofedal promedio de 8.41 Km<sup>2</sup> según índice NDVI, con un área bofedal promedio de 5.21 Km<sup>2</sup> según índice TCG y con los datos obtenidos de la estación Quelcaya los promedios de temperatura media de -3.74 °C y precipitación de 761.77 mm; obteniendo un caudal promedio de 1.08 m<sup>3</sup>/s; esta generación de caudales se hizo con los datos de las variables climáticas de la estación Quelcaya desde el año 2014 al 2019.

#### **E. Correlación entre las Variables de la Cuenca Glaciar Alayripampa**

Con toda la información obtenida tanto de las estaciones meteorológicas del SENAMHI y Quelcaya y descritas en las tablas 26, 27 y 28 a continuación se muestran en las siguientes figuras N° 67, 68 y 69 el proceso de correlación entre todas las variables estudiadas en la cuenca Alayripampa.

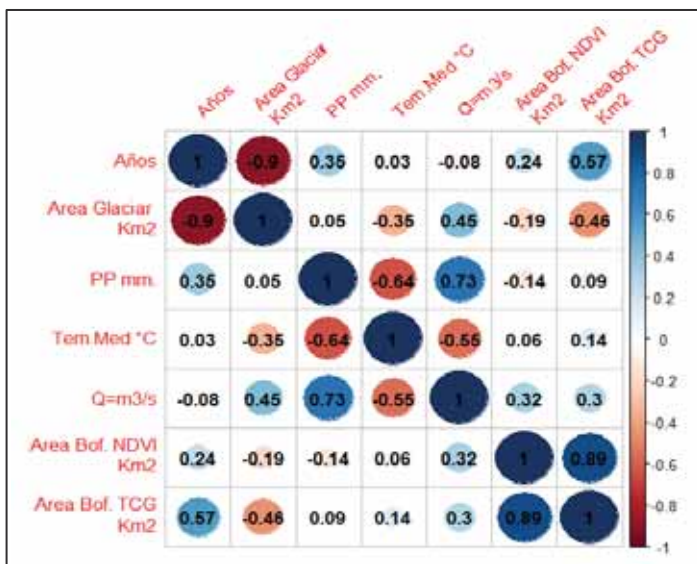
**Figura 67**

*Correlación entre las variables de la Cuenca Alayripampa, Promedio de Temperatura y Precipitación Estación SENAMHI de los Años 1964 - 2019*



**Figura 68**

*Correlación entre las variables de la Cuenca Alayripampa, Promedio de Temperatura y Precipitación Estación SENAMHI de los Años 2013 - 2019*

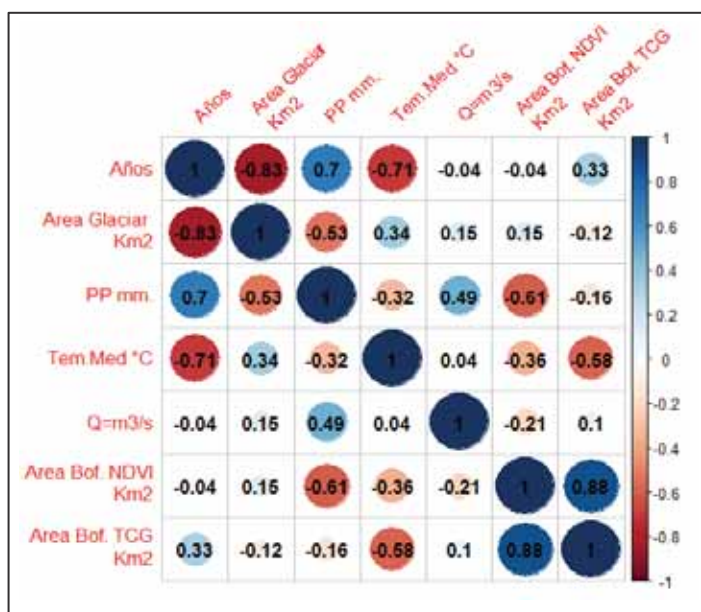


De la figura N° 68 se muestra los procesos de correlación entre las variables estudiadas en la cuenca Alayripampa para conocer el comportamiento de éstos mismos en los años de estudio.

- Existe una correlación positiva moderada, con un  $r = 0.73$  entre la precipitación y el caudal generado.
- Existe una correlación negativa moderada, con un  $r = -0.55$  entre la temperatura y el caudal generado.
- Existe una correlación negativa mínima, con un  $r = -0.19$  entre el área glaciar y el área bofedal según el índice NDVI.
- Existe una correlación positiva mínima, con un  $r = 0.32$  entre el caudal generado y el área bofedal según el índice NDVI.

### Figura 69

*Correlación entre las variables de la Cuenca Alayripampa, Promedio de Temperatura y Precipitación Estación Quelcaya de los Años 2014 - 2019*



### 5.2. Pruebas de Hipótesis

Para nuestra investigación la hipótesis general y específica son las siguientes:

### **5.2.1. Hipótesis General**

Determinando el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar Alayripampa se conocerá la correlación existente en la cuenca glaciar en los años 2013 - 2019.

### **5.2.2. Hipótesis Específicas**

1. Se conocerá la situación del retroceso glaciar de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.
2. Se conocerá la correlación entre el retroceso glaciar y el caudal generado en la cuenca Alayripampa.
3. Se conocerá las reservas de agua (bofedales), el área; la situación de la vegetación y de los suelos.

Primero analizaremos las hipótesis específicas y después analizaremos la hipótesis general.

**1° Prueba de hipótesis específica:** Se conocerá la situación del retroceso glaciar de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.

La prueba estadística aplicada para la primera hipótesis específica es la prueba "T student"

Los pasos 1 al 5, se hizo con el programa MINITAB 18.

- Los pasos seguidos para esta hipótesis son los siguientes:
  - a. Paso 1: Plantear la hipótesis nula "H0" y la hipótesis "Ha".

El promedio de retroceso glaciar en el año 2013 es de 9.41 Km<sup>2</sup>, por lo que se hará la comparación del retroceso glaciar de los años 2014 al 2019 con

respecto a este año 2013, para determinar si existe o no un retroceso glaciar, esto veremos en los procesos y cálculos realizados como sigue:

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 9.41$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu < 9.41$

Para más detalle ver Anexo E “CÁLCULOS EN MINITAB 18 PARA LOS TRES COMPONENTES”.

- b. Paso 2: El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , para investigaciones.
- c. Paso 3: Evidencia muestral, calculamos la media y la desviación estándar.

$\bar{x} =$	8.9255
$\sigma =$	0.3206

- d. Paso 4: Se calculó la T-student mediante MINITAB 18 ;  $T = -4.00$

El área glaciar calculada mediante el índice NDSI, se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 29**

*El área glaciar calculada mediante el índice NDSI*

Años	Área Glaciar Km <sup>2</sup>
2013	9.41
2014	9.19
2015	9.15
2016	8.63
2017	8.74
2018	8.76
2019	8.59

**Tabla 30**

*Estadísticas descriptivas Área Glaciar*

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para $\mu$
7	8.926	0.321	0.121	8.629 , 9.222

Fuente: Minitab 18

$\mu$ : media de Glaciar Km2

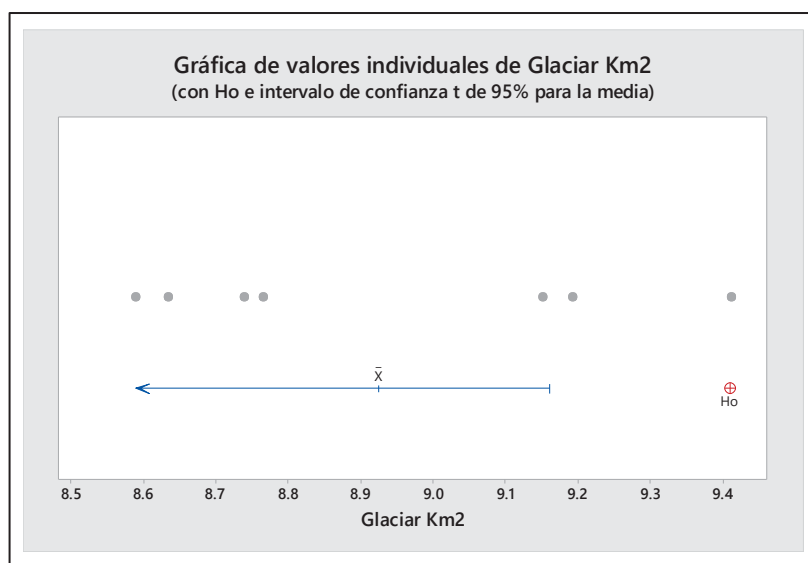
Hipótesis nula  $H_0: \mu = 9.41$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu < 9.41$

Valor T	Valor p
-4.00	0.007

### Figura 70

Grafica de Valores Individuales de Glaciar Km<sup>2</sup>



Fuente: Minitab 18

e. Paso 5:

Como se puede observar en los resultados y el valor de significancia es de  $\alpha = 0.05$  y con  $GL = 7 - 1$ ,  $GL = 6$ ; obtenemos de la tabla T student un valor de 1.943.

Los valores obtenidos de MINITAB 18,  $T = -4.00$  que se encuentra en la zona de rechazo de la " $H_0$ ".

La probabilidad de error " $p$ " = 0.007, es menor a el valor de significancia  $\alpha = 0.05$



Por lo que aceptamos la hipótesis alterna “Ha”;  $H_1: \mu < 9.41$

Y podemos concluir que los demás valores, es decir los demás años en comparación al 2013 que presenta un  $\bar{x} = 9.41$ , son menores y por lo tanto podemos afirmar que hay un retroceso glaciar en los años 2014 - 2019.

**2° Prueba de hipótesis específica:** Se conocerá la correlación entre el retroceso glaciar y el caudal generado en la cuenca Alayripampa.

La prueba estadística aplicada para la segunda hipótesis específica es la prueba “Hipótesis de Correlación”

Estos cálculos se puede observar en el Anexo E“CÁLCULOS EN MINITAB 18 PARA LOS TRES COMPONENTES”.

**a. Paso 1: Planteamos la hipótesis.**

Hipótesis Nula  $H_0: \rho = 0$  (No hay una correlación lineal).

Hipótesis Alterna  $H_1: \rho \neq 0$  (Hay una correlación lineal).

**b. Paso 2: Determinamos la variable de dependiente e independiente.**

Variable Independiente: Retroceso Glaciar en  $\text{Km}^2$ .

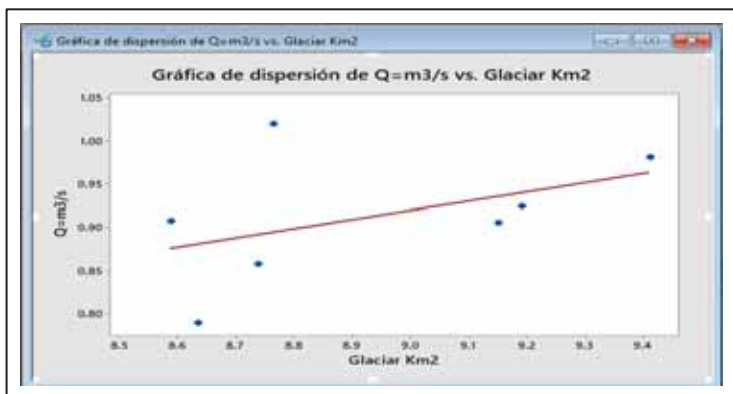
Variable Dependiente : Caudal Generado en  $Q = \text{m}^3/\text{s}$

Para detalle de los cálculos ver Anexo E

**c. Paso 3: Seleccionamos la gráfica de dispersión con regresión.**

**Figura 71**

*Retroceso Glaciar VS Caudal Generado*



Fuente: Minitab 18

**d. Paso 4: Realizamos los procesos para el obtención de  $r$  (Correlación de Pearson) y el valor  $p$ . ver Anexo E “CÁLCULOS EN MINITAB 18 PARA LOS TRES COMPONENTES”.**

**e. d. Paso 5: Valores obtenidos  $r$  (Correlación de Pearson) y el valor  $p$ .**

Correlación de Pearson	0.446
Valor $p$	0.315

**f. Paso 6: Concluimos**

Como los valores de la correlación van entre -1 a 1; el valor obtenido en el proceso realizado es de: 0.446 el grado de asociación entre la variable independiente  $X$  (Retroceso Glaciar en  $\text{Km}^2$ .) y la variable dependiente  $Y$  (Caudal Generado en  $Q=\text{m}^3/\text{s}$ ); existe una relación lineal moderada entre las variables.

Además el Valor Crítico; con una significancia de 0.05 %, con  $GL = 7-2$   $GL= 5$ , obtenemos de la tabla un  $VC= 2.571$  y  $r = 0.446$  y aun como dice en la literatura si:  $|r| \leq$  al Valor Crítico No Rechace  $H_0$ .

Valor  $p > \alpha$ : La correlación no es estadísticamente significativa; entonces con los valores obtenidos podemos concluir que el valor  $p = 0.315 > 0.05$ . Si el

valor  $p$  es mayor que el nivel de significancia, entonces usted no puede concluir que la correlación es diferente de 0.

Y una vez que haya habido un derretimiento considerable del área glaciar en la cuenca Alayripampa, probablemente los caudales disminuirán por el grado de correlación que existe entre ambas variables, no obstante el ciclo hidrológico continuara y probablemente habrá una disposición hídrica limitada, por lo cual es necesario realizar un monitoreo anual de los caudales que presenta la cuenca Alayripampa.

**3° Prueba de hipótesis específica: Se conocerá las reservas de agua (bofedales), el área; la situación de la vegetación y de los suelos.**

La prueba estadística aplicada para la tercera hipótesis específica es la prueba "T student".

Para el análisis de esta hipótesis hicimos el uso de dos índices el índice NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y TCG (Tasseled CAP Vegetacion).

### ***NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada).***

Los pasos 1 al 5, se hizo con el programa MINITAB 18; primero haremos para el índice NDVI en área de  $\text{Km}^2$ ; ver Anexo E "CÁLCULOS EN MINITAB 18 PARA LOS TRES COMPONENTES".

- *Los pasos seguidos para esta hipótesis son los siguientes:*
  - a. *Paso 1: Plantear la hipótesis nula "H0" y la hipótesis "Ha".*

El promedio de área bofedal según el índice NDVI en el año 2013 es de 5.56 Km<sup>2</sup>, por lo que se hará la comparación del área bofedal de los años 2014 al 2019 con respecto a este año 2013, para conocer si existe un incremento o reducción del área bofedal, esto veremos en los procesos y cálculos realizados como sigue:

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 5.56$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 5.56$

b. Paso 2: El nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , para investigaciones.

c. Paso 3: Evidencia muestral, calculamos la media y la desviación estándar.

$\bar{x} =$	8.0011
$\sigma =$	2.47

d. Paso 4: Se calculó la T-student mediante MINITAB 18 ;  $T = 2.61$

El área del bofedal calculada mediante el índice NDVI, se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 31**

*El área del bofedal calculada mediante el índice NDVI*

Años	Área Bof. NDVI Km <sup>2</sup>
2013	5.56
2014	8.28
2015	8.50
2016	8.62
2017	6.54
2018	12.77
2019	5.73

**Tabla 32***Estadísticas descriptivas Área Bofedal NDVI*

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
7	8.001	2.472	0.934	6.185

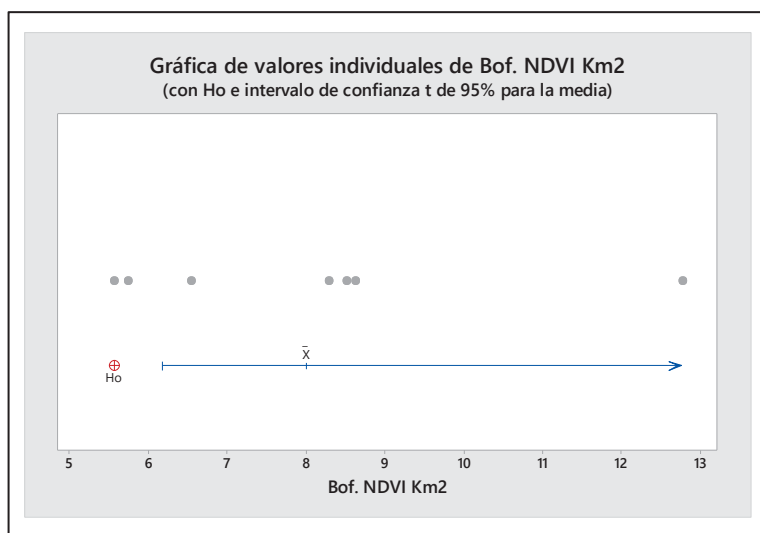
Fuente: Minitab 18

 $\mu$ : media de Bof. NDVI Km<sup>2</sup>

Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 5.56$ Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 5.56$ 

Valor T	Valor p
2.61	0.020

**Figura 72***Gráfica de Valores Individuales Área Bofedal NDVI Km<sup>2</sup>*

Fuente: Minitab 18

e. Paso 5:

Como podemos observar en los resultados y el valor de significancia es de  $\alpha = 0.05$  y con  $GL = 7-1$ ,  $GL = 6$ ; obtenemos de la tabla T student un valor de 1.943.

Los valores obtenidos de MINITAB 18,  $T = 2.61$  que se encuentra en la zona de rechazo de la "H0".

La probabilidad de error "p" = 0.02, es menor a el valor de significancia  $\alpha = 0.05$

Por lo que aceptamos la hipótesis alterna "Ha";  $H_1: \mu > 5.56$

Y podemos concluir que los demás valores, es decir los demás años en comparación al 2013 que presenta un  $\bar{x} = 5.56$ , son mayores y por lo tanto podemos afirmar que hay un incremento del área del bofedal en los años 2014 - 2019, según el índice NDVI.

### ***TCG (Tasseled CAP Vegetacion)***

Los pasos 1 al 5, se hizo con el programa MINITAB 18; primero haremos para el índice TCG en área de Km<sup>2</sup>.

- *Los pasos seguidos para estas hipótesis son los siguientes:*
  - a. *Paso 1: Plantear la hipótesis nula "H0" y la hipótesis "Ha".*

El promedio de área bofedal según el índice TCG en el año 2013 es de 2.13 Km<sup>2</sup>, por lo que se hará la comparación del área bofedal de los años 2014 al 2019 con respecto a este año 2013, para conocer si existe un incremento o reducción del área glaciario, esto veremos en los procesos y cálculos realizados como sigue:

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 2.13$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 2.13$

b. Paso 2: El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , para investigaciones.

c. Paso 3: Evidencia muestral, calculamos la media y la desviación estándar.

$\bar{x} =$	4.771
$\sigma =$	1.990

d. Paso 4: Se calculó la T-student mediante MINITAB 18 ;  $T = 3.51$

El área del bofedal calculada mediante el índice TCG, se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 33**

*Área Bofedal NDVI en Km<sup>2</sup>*

Años	Área Bof. TCG Km <sup>2</sup>
2013	2.13
2014	4.59
2015	4.92
2016	5.07
2017	3.19
2018	8.53
2019	4.98

En la siguiente tabla se observa el resumen del área bofedal (Km<sup>2</sup>) desde el 2013 - 2019 en el programa MINITAB 18, según el índice TCG; ver Anexo E "CÁLCULOS EN MINITAB 18 PARA LOS TRES COMPONENTES".

**Tabla 34**

*Estadísticas descriptivas Área Bofedal TCG*

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
7	4.771	1.990	0.752	3.310

Fuente: Minitab 18, Elaboración propia.

$\mu$ : media de Bof. TCG Km<sup>2</sup>

Prueba

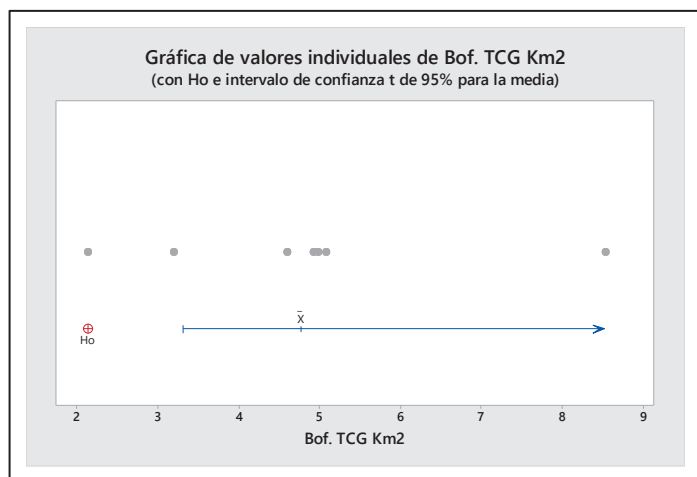
Hipótesis nula  $H_0: \mu = 2.13$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 2.13$

Valor T	Valor p
3.51	0.006

### Figura 73

*Gráfica de Valores Individuales Área Bofedal TCG Km<sup>2</sup>*



e. Paso 5:

Como podemos ver en los resultados y el valor de significancia es de  $\alpha=0.05$  y con  $GL=7-1$ ,  $GL=6$ ; obtenemos de la tabla T student un valor de 1.943.

Los valores obtenidos de MINITAB 18,  $T=3.51$  que se encuentra en la zona de rechazo de la "H0".

La probabilidad de error "p" = 0.006, es menor a el valor de significancia  $\alpha=0.05$



Por lo que aceptamos la hipótesis alterna “Ha”;  $H_1: \mu > 2.13$

Y podemos concluir que los demás valores, es decir los demás años en comparación al 2013 que presenta un  $\bar{x} = 2.13$ , son mayores y por lo tanto podemos afirmar que hay un incremento del área del bofedal en los años 2014 - 2019, según también el índice TCG.

## CONCLUSIONES

1. Habiendo aplicado la prueba T-student; que los años 2014 - 2019 en comparación al año 2013, que presenta un  $\bar{x} = 9.41 \text{ Km}^2$ , son menores y por lo tanto se afirma que hay un retroceso glaciar en los años 2014 - 2019.
2. Aplicando la correlación de Pearson y con un  $r$  de 0.446 se determinó que el grado de asociación entre la variable independiente X (Retroceso Glaciar en  $\text{Km}^2$ .) y la variable dependiente y (Caudal Generado en  $\text{Q}=\text{m}^3/\text{s}$ ); presenta una relación lineal moderada entre ambas variables.
3. Aplicando la prueba de T-student se concluye que tanto para el índice NDVI y TCG; que los años 2014 - 2019 en comparación al 2013 que presenta un  $\bar{x} = 5.56 \text{ Km}^2$  y un  $\bar{x} = 2.13 \text{ Km}^2$  respectivamente son mayores y por lo tanto se afirma que hay un incremento del área del bofedal en los años 2014 - 2019.

-Se concluye que el índice NDVI, es el índice que mejor se desempeñó en cuanto a la determinación del área del bofedal.

-El ecosistema bofedal de la cuenca Alayripampa se encuentra en una escala de "Bueno".

## RECOMENDACIONES

- Realizar un balance energético de los glaciares de la cuenca glaciar Alayripampa, para conocer los aportes y salidas de energía al sistema de los glaciares.
- Realizar un estudio hidrogeológico del bofedal que se encuentra en la cuenca glaciar Alayripama.
- Realizar un monitoreo de los bofedales que se encuentran en las cuencas glaciar y de los que no tienen aporte glaciar, para realizar las comparaciones respectivas.

## BIBLIOGRAFIA

- Avalos, G., Cubas, F., Oria, C., Días, A., Quispe, N., Rosas, G., ... Guerra, S. (2011). *ATLAS CLIMATICO Precipitación y Temperatura del Aire*. 161.
- Cáceres, B., Francou, B., Favier, V., Bontron, G., Maisncho, L., Tachker, P., ... Chazarin, J.-P. (2006). El Glaciar 15 del Antisana. Diez años de investigaciones glaciológicas. *Memorias de La Primera Conferencia Internacional de Cambio Climático: Impacto En Los Sistemas de Alta Montaña.*, 1(November), 4.
- Calizata Llatasi, E. E. (2018). Modelamiento De La Desglaciación De Los Nevados De La Cuenca Del Rio Santa Y Su Impacto En Los Recursos Hídricos. *Tesis*, 1, 1–175.
- Castillo Avalos, Y. A. (2015). *Caracterizacon de la Hidrologia Glaciar de la Cuenca del Rio Mipo Mediante la Implementacion de un Modelo Glacio-Hidrologico Semi-Distribuido Fisicamente Basado*. 1, 2–4.
- Comunidad Andina. (2008). *El Cambio Climático no tiene fronteras - IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COMUNIDAD ANDINA*. 40.
- COMUNIDAD ANDINA. (2010). *El Agua de los Andes*. 3–44.
- CONAM. (2007). *Corredor Puno-Cusco*.
- Cuadros Diaz, S. F. (2018). Estimacion de la Perdida del Area Glaciar en la Cuenca de la Laguna Parón-Parque Nacional Huascarán (Cordillera Blanca). *[Tesis Para Titulo Profesional UNALM]*  
[Http://Repositorio.Lamolina.Edu.Pe/Bitstream/Handle/20.500.12996/3835/Cuadros-Diaz-Sandra-Flor.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y](http://Repositorio.Lamolina.Edu.Pe/Bitstream/Handle/20.500.12996/3835/Cuadros-Diaz-Sandra-Flor.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y).

- Drenkhan, F., Guardamino, L., Huggel, C., & Frey, H. (2018). Current and future glacier and lake assessment in the deglaciating Vilcanota-Urubamba basin, Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*, 169(November 2017), 14. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.07.005>
- Enciso Ortiz, B. (2017). Hidrogeología en Bofedales Alto Andinos con Fines de Aprovechamiento Hídrico en la Comunidad Rosaspata Vinchos – Ayacucho 2015. [Tesis Para Optar Título Profesional UNSCH]<https://1library.Co/Document/Zx27ol4q-Hidrogeologia-Bofedales-Aprovechamiento-Hidrico-Comunidad-Rosaspata-Vinchos-Ayacucho.Html>.
- Escobedo Silva, F. (2018). Evaluación del Retroceso de los Glaciares Llamawasi, Yawarmaki, Q´Elwaq´Ocha y Ch´Akilq´Asa y su Relación con la Disponibilidad Hídrica De Las Cuencas de los Ríos Lechería y Colorado Limatambo-Cusco. [Tesis de Maestría, UNSAAC]. <Http://Repositorio.Unsaac.Edu.Pe/Handle/20.500.12918/4567>, 2, 295.
- Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J. E., Silvestre, E. E., Ginot, P., ... Mendoza, J. (2013). Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático. *Comunidad Andina*, (JANUARY), 98. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1255.4082>
- Fuentealba D., B.-I. (2019). *Bofedales: características y su importancia frente al cambio climático*.
- Gamarra Chuquicusma, H. R. (2018). Aplicación Del Modelo Hidrológico Lutz Scholz Para Determinar Caudales Medios Mensuales En La Sub Cuenca Del Rio Quiroz. [Tesis Para Optar Título Profesional-Universidad Nacional de

Piura]. <https://Repositorio.Unp.Edu.Pe/Bitstream/Handle/UNP/1278/AGR-GAM-CHU-18.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y>.

- García, E., & Otto, M. (2015). Caracterización Ecohidrológica De Humedales Alto Andinos Usando Imágenes De Satélite Multitemporales En La Cabecera De Cuenca Del Río Santa, Ancash, Perú. *Ecología Aplicada*, 14(1–2), 115. <https://doi.org/10.21704/rea.v14i1-2.88>
- Iju Fukushima, A. P. (2009). *Adaptación al Impacto del retroceso acelerado de los glaciares en los Andes Tropicales - PRAA*. 11.
- INAIGEM. (2017). Manual Metodológico de Inventario Nacional de Glaciares. *Instituto Nacional de Investigación En Glaciares y Ecosistemas de Montaña*.
- INAIGEM. (2018). Las Cordilleras Glaciares del Perú. *Ministerio Del Ambiente*, 1(9), 354.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. In *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- Kronenberg, M., Schauwecker, S., Huggel, C., Salzmann, N., Drenkhan, F., Giráldez, C., ... Rohrer, M. (2016). ¿Cuál es el futuro del caudal de las cuencas glaciadas de los Andes Centrales? *Congreso Latinoamericano de Hidráulica XXVII*, (September), 433.
- Larraín, S. T. (2010). *Glaciares, Agua y Biodiversidad*. 64(2010).
- Lavado-Casimiro, W., Silvestre, E., & Pulache, W. (2010). *Tendencias en los extremos de lluvias cerca a la ciudad del Cusco y su relación con las*

*inundaciones de enero del 2010 Extreme rainfall trends around Cusco and its relationship with the Floods in January 2010. 98(2), 89–98.*

Lavado C., W. (2014). *Escenarios Climáticos en la Región Cusco.*

MINAM. (2019). *Ecosistema de bofedal Guía de evaluación.* 61.

Ministerio del Ambiente-MINAM. (2019). *Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal.*

Molina, E., Schauwecker, S., Huggel, C., Haerberli, W., Cochachin, A., Condom, T., ... Sikos, F. (2015). Iniciación de un monitoreo del balance de masa en el glaciar Suyuparina, Cordillera Vilcanota, Perú. *Climate Change in the Tropical Andes*, 2(October), 1–14.

Morales, M. S., Christie, D. A., Villalba, R., Argollo, J., Pacajes, J., Silva, J. S., ... Gamboa, C. C. S. (2012). Precipitation changes in the South American Altiplano since 1300 AD reconstructed by tree-rings. *Climate of the Past*, 8(2), 653–666. <https://doi.org/10.5194/cp-8-653-2012>

Ocaña Vidal, J. V. *Análisis situacional del bofedal de origen glaciar en la Quebrada de Santa Cruz, una mirada desde el INAIGEM Huaraz 2016.* , (2017).

Poveda J, G. (2010). Efectos del Cambio Climático y la Deforestación sobre los Recursos Hídricos en Colombia. *Geociencias.*

Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., ... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1), 81–102. <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>

- Ramirez, E. (2008). *Impactos del Cambio Climatico y Gestion del Agua sobre la Disponibilidad de Recursos Hidricos para las Ciudades de la Paz y el Alto*. 2(3).
- Ramos Mamani, C. S. (2018). Variación Espacio-Temporal de los Ecosistemas de Humedales Altoandinos en el Anexo de Chalhuanca del Distrito de Yanque (Caylloma, Arequipa) entre los Años 1986-2016. [Tesis Para Optar Título Profesional,UNSA].  
[Http://Repositorio.Unsa.Edu.Pe/Bitstream/Handle/UNSA/7163/BIramacs.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y](http://Repositorio.Unsa.Edu.Pe/Bitstream/Handle/UNSA/7163/BIramacs.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y).
- Ramsar, S. de la C. de. (2006). Manual de la Convención de Ramsar 4a . edición. *Secretaría de La Convención de Ramsar, Gland (Suiza).*, 4a. ed., 124.
- Salzmann, N., Huggel, C., Rohrer, M., Silverio, W., Mark, B. G., Burns, P., & Portocarrero, C. (2013). Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes. *Cryosphere*, 7(1), 103–118. <https://doi.org/10.5194/tc-7-103-2013>
- Sampieri, H. (2014). *Metodologia de la Investigacion 6ta Edicion*.
- Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (2006). Metodologia de la investigacion 4ta Edicion. In *Edición McGraw-Hill*.
- Santillana Portilla, N. A. N. del A. (2014). *Inventario de Glaciares y Lagunas: Lagunas Region Cusco*. (1), 22.
- Saravia Aponte, J ; Ospina Noreña, J. E. (2019). *Evaluando el desempeño de*



- índices espectrales para identificar humedales alto andinos* (p. 14). p. 14.
- Soto Najarro, D. (2015). Calibración del Modelo Lutz Scholtz y Generación de Caudales Extendidos Aplicado a la Cuenca del Río Chacco. *Tesis*, 118.
- Suarez W., Macedo N., Montoya N., Arias S., Schauwecker S., Huggel C., Rohrer M., C. T. (2015). Balance energético neto (2012-2014) y evolución temporal del nevado Quisoquipina. *Revista Peruana Geo Atmosférica Rpga - Senamhi.*, 4(4), 80–92.
- Takhachi, K.-I. (2014). *Generación de modelos climáticos para el Pronóstico de la Ocurrencia del Fenómeno EL Niño*. 1, 1–16.
- USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*.
- Villanueva Ramirez, R. (2011). Los impactos del cambio climático en las funciones hidrológicas de la cuenca del río Santa. *Folleto Informativo 02, 1ra Edición, Corporación Globalmark*, 24.
- Villon Bejar, M. (n.d.). *Hidrología Estadística*. 217.
- Zubieta Barragán, R. (2013). *Modelado Hidrológico Distribuido De La Cuenca Amazonica Peruana Utilizando Precipitación Obtenida Por Satélite*.

**ANEXOS**

## A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

### Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	MARCO TEORICO	VARIABLES INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Problema General</b> Escasa evaluación del retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar de Alayripampa en los años 2013 - 2019.</p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Insuficiente información de mapas que reflejen la situación del retroceso glaciar en la cuenca Alayripampa.</li> <li>➤ Insuficiente información entre la relación del retroceso glaciar y el agua de escurrimiento en la</li> </ul>	<p><b>Objetivos Generales</b> Evaluar el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realizar el análisis multitemporal del retroceso glaciar de la cuenca Alayripampa (glaciares Suyuparina y Quisoquipina).</li> <li>➤ Establecer la correlación entre el retroceso glaciar y la generación de</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General</b> Determinando el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico, se conocerá el estado de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.</p> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se conocerá la situación del retroceso glaciar de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.</li> <li>➤ Se conocerá la correlación entre el retroceso glaciar y el caudal</li> </ul>	<p>Referencia ITEM BIBLIOGRAFIA</p>	<p><b><u>Variables</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retroceso glaciar.</li> <li>2. Caudales Generados.</li> <li>3. Variación de la precipitación y temperatura.</li> <li>4. Área de reservas de agua (bofedal).</li> </ol> <p><b><u>Indicadores</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Imágenes (definición del área glaciar en m<sup>2</sup>).</li> <li>2. Caudales (m<sup>3</sup>/s. /día).</li> </ol>	<p><b>Ámbito de Estudio:</b> Cuenca glaciar Alayripampa; Distritos de Pitumarca y Checacupe-Provincia de Canchis-Departamento Cusco.</p> <p><b>Tipo y Nivel de Investigación:</b> Enfoque Mixto; enfoque Cualitativo y Cuantitativo.</p> <p><b>Relación</b> Evaluación del retroceso glaciar y sus implicancias del recurso hídrico en la cuenca Alayripampa→ Realizar el análisis multitemporal de la cuenca Alayripampa → Establecer la correlación entre el retroceso glaciar y la generación de caudales en la cuenca Alayripampa.→ Realizar la identificación y descripción de reservas de</p>

<p>cuenca Alayripampa.</p> <p>➤ Insuficiente información sobre la identificación y descripción de reservas de agua, (bofedales) en la cuenca glaciar Alayripampa.</p>	<p>caudales en la cuenca Alayripampa.</p> <p>➤ Realizar la identificación y descripción de reservas de agua, (bofedales) en la cuenca glaciar Alayripampa.</p>	<p>generado en la cuenca Alayripampa.</p> <p>➤ Se conocerá las reservas de agua (bofedales), el área; la situación de la vegetación y de los suelos.</p>		<p>3. Precipitación (mm/día) y temperatura (°C/día).</p> <p>4. Imágenes satelitales.</p>	<p>agua, (bofedales) en la cuenca glaciar Alayripampa.</p>
---	--	--	--	--	--

## B. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

### Instrumentos de Recolección de Información

Variable	Técnica de Recolección	Indicador	Instrumento	Fuente de Información	Dato	Unidad de Medida
Retroceso del área glaciar.	Observación documental	Variación del retroceso del área glaciar en los años 2013 - 2019. Mediante índice NDSI	Imágenes satelitales Landsat.	Imágenes Landsat 8 OLI TIRS descargadas de la USGS.	Bandas Espectrales	Km <sup>2</sup>
Caudales Generados	Observación documental y Observación Monumental	Variación de los caudales generados en los años 2013-2019.	Datos de: - Precipitación. - Temperatura. -Área de la cuenca. - Alayripampa. -Área Glaciar.	Modelo Hidrológico de Lutz Scholz.	Caudales	m <sup>3</sup> /s.
Variación de la precipitación.	Observación documental	Variación de la precipitación en los años 2013 - 2019.	Datos, series históricas de precipitación.	SENAMHI	Precipitación	mm.
Variación de la Temperatura	Observación documental	Variación de la temperatura en los años 2013 - 2019.	Datos, series históricas de temperatura.	SENAMHI	Temperatura	°C.
Área de reservas de agua (bofedal).	Observación documental y Observación Monumental	Variación del área bofedal en los años 2013 - 2019. Mediante índices NDVI y TCG	Imágenes satelitales Landsat.	Imágenes Landsat 8 OLI TIRS descargadas de la USGS.	Bandas Espectrales	Km <sup>2</sup>

### C. MEDIOS DE VERIFICACIÓN

HIPÓTESIS	Medios de Verificación														
<b>Hipótesis General</b>															
Determinando el retroceso glaciar y sus implicancias en el recurso hídrico en la cuenca glaciar Alayripampa se conocerá la correlación existente en la cuenca glaciar en los años 2013 - 2019.															
<b>Hipótesis Específicas</b>															
<p>1. Se conocerá la situación del retroceso glaciar de la cuenca glaciar Alayripampa en los años 2013 - 2019.</p>	<p>Se aplicó la prueba de T-student</p> <table border="1" data-bbox="618 657 1273 831"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Desv.Est.</th> <th>Error estándar de la media</th> <th>Límite superior de 95% para <math>\mu</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>8.926</td> <td>0.321</td> <td>0.121</td> <td>8.629,9.222</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="818 877 1073 947"> <thead> <tr> <th>Valor T</th> <th>Valor p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-4.00</td> <td>0.007</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Concluimos</b>, que los demás valores, es decir los demás años en comparación al 2013 que presenta un <math>\bar{x} = 9.41</math>, son menores y por lo tanto podemos afirmar que hay un retroceso glaciar en los años 2014 - 2019.</p>	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para $\mu$	7	8.926	0.321	0.121	8.629,9.222	Valor T	Valor p	-4.00	0.007
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para $\mu$											
7	8.926	0.321	0.121	8.629,9.222											
Valor T	Valor p														
-4.00	0.007														
<p>2. Se conocerá la correlación entre el retroceso glaciar y el caudal generado en la cuenca Alayripampa.</p>	<p>Se aplicó es la prueba "Hipótesis de Correlación".</p> <p><b>Correlación: Glaciar Km2; Q=m3/s</b></p> <p><b>Correlaciones</b></p> <p>Correlación de Pearson 0.446 Valor p 0.315</p> <p><b>Concluimos :</b> Como los valores de la correlación van entre -1 a 1; el valor obtenido en el proceso realizado es de: 0.446 el grado de asociación entre la variable independiente X (Retroceso Glaciar en Km2.) y la variable dependiente Y (Caudal Generado en Q=m3/s); existe una relación lineal moderada entre las variables. Además el Valor Critico; con una significancia de 0.05%, con GL =7-2 GL=5, obtenemos de la tabla un VC=2.571 y <math>r = 0.446</math> y aun como dice en la literatura si: <math> r  \leq</math> al Valor Critico No Rechace H0. Valor <math>p &gt; \alpha</math>: La correlación no es estadísticamente significativa; entonces con los valores obtenidos podemos concluir que el valor <math>p = 0.315 &gt; 0.05</math>. Si el valor p es mayor que el nivel de significancia, entonces usted no puede concluir que la correlación es diferente de 0.</p>														

3. Se conocerá las reservas de agua (bofedales), el área; la situación de la vegetación y de los suelos.

**INDICE NDVI:** Se aplicó la prueba de T-student.

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
7	8.001	2.472	0.934	6.185

Valor T	Valor p
2.61	0.020

**Concluimos**, que los demás valores, es decir los demás años en comparación al 2013 que presenta un  $\bar{x} = 5.56$ , son mayores y por lo tanto podemos afirmar que hay un incremento del área del bofedal en los años 2014 - 2019, según el índice NDVI.

**INDICE TCG:** Se aplicó la prueba de T-student.

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
7	4.771	1.990	0.752	3.310

Valor T	Valor p
3.51	0.006

**Concluimos**, que los demás valores, es decir los demás años en comparación al 2013 que presenta un  $\bar{x} = 2.13$ , son mayores y por lo tanto podemos afirmar que hay un incremento del área del bofedal en los años 2014 - 2019, según también el índice TCG.

#### D. ECOSISTEMA DE UN BOFEDAL

Esto según la guía: "Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal".

Los indicadores del ecosistema del bofedal son:

##### a) Índices de la Situación del Agua

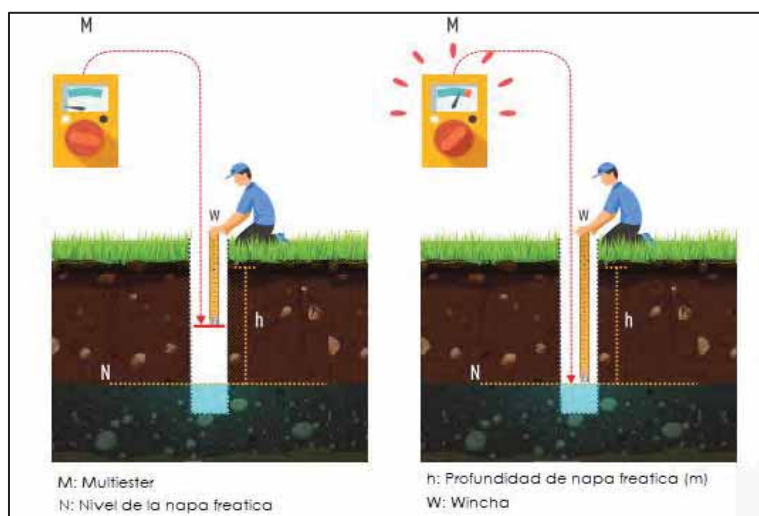
- Nivel de la napa freática durante la época seca: Relacionado a la profundo que se encuentra la napa freática y aprovechando la superficie el suelo como referencia y se sugiere realizar la medición en la época seca.

## Fase de Campo

En el área muestral se realiza un hoyo en la turba hasta hallar agua, que se ejecuta con un barreno de 4" de Ø.

Se recomienda utilizar una wincha acoplada a un voltímetro (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### Multiester Conectado a la Wincha, Usada para Medir el Nivel de la Napa Freática



Fuente:(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019) pag.32.

- **Conductividad eléctrica:** Se indica cuanta concentración de iones hay en el agua; cuando el pH es alcalino y con valores altos indica que hay problemas de salinidad y cuando el pH es ácido y con valores altos puede indicar que hay altas concentraciones de metales ; y en ambos casos indica que hay problema en la calidad del agua(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

## Fase de Campo



Con un multiparámetro se mide en donde se hizo el hoyo o en alguna poza superficial y que será corregida de acuerdo a la temperatura del aire (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

b) Indicador de la Condición el Suelo

- **Profundidad de turba:** Identificar a que profundidad se desaparece la turba y a que profundidad se halla el suelo mineral o base rocosa; esto ayuda a identificar el volumen de almacenamiento de agua y carbono que presenta el bofedal. En la cual se puede identificar, a turbas más profundas, bofedales más antiguos, no es un indicador certero por ello, es que se debe cruzar la información de la profundidad de la napa freática con la profundidad de la turba, para reconocer si hay alteraciones en la hidrología del bofedal (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### ***Fase de Campo***

Se hace uso del barreno y se cava un hoyo, en el que se mide la capa freática, se examina lo profundo de la turba; si la capa freática es muy externa, se sugiere hacer otro hoyo para evaluar la profundidad de la turba.

La turba se reconoce por ser material vegetal (principalmente raíces) en desarrollo de la pudrición, y que pueden tener o no tener un mal olor.

Si aparecen capas de suelo mineral color gris, el hoyo debe ser más profundo, ya que es común que estas capas de suelo gris sean intermedias y debajo se encuentren capas de turba enterradas (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Materia orgánica superficial:** La acumulación de la materia orgánica en el horizonte superficial del suelo refleja la capacidad de acumulación de carbono que tiene la turba; y a valores más altos, mayor almacén de carbono tendrá el bofedal (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### ***Fase de Campo***

Se recomienda que la parte inicial extraída con el barreno sea utilizada como muestra para evaluar la materia orgánica.

Es fundamental mencionar que a diferencia de la roca madre, la muestra de la turba se tome de un mismo punto, puesto que la turba no se puede juntar homogéneamente esto con el fin de sacar la muestra característica. Cada muestra es puesta en una bolsa sellada y codificada para ser llevada al laboratorio. (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Densidad aparente en la capa superficial:** Esto nos indica la capacidad de almacenamiento de agua que hay en la turba; se mide en la capa superficial, a valores más bajos de la densidad, mayor capacidad de almacenamiento, y a valores muy altos de la densidad aparente, indican problemas de compactación de la Vegetación superficial, probablemente por el pisoteo del ganado (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

Las densidades de las partículas minerales usualmente se encuentran en el rango de entre 2.5 a 2.8 g/cm<sup>3</sup>, mientras que las partículas orgánicas presentan usualmente menos que 1.0 g/cm<sup>3</sup> (USDA, 1999) pág. 63.

### ***Fase de Campo***

Par tomar la muestra se requiere de un cilindro metálico de volumen conocido como se muestra en la imagen. Se elimina la vegetación superficial en el área que se va a muestrear. Se introduce el cilindro metálico en la capa exterior de la turba a unos 4 ó 5 cm de la parte superficial y se verifica que la muestra comprenda toda el área del cilindro, y luego se debe poner en una bolsa sellada y codificada para llevar al laboratorio.

### **Como Tomar una Muestra para Determinar la Densidad Aparente**



Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Signos de erosión:** Es un indicador cualitativo, se evalúa visualmente de los procesos de la erosión hídrica de la turba. Estos procesos son provocados generalmente por el pisoteo del ganado, que eliminan la Vegetacion superficial dejando la turba expuesta, y su erosión se fomenta cuando hay flujos de agua superficial (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### ***Fase de Campo***

Se observa con cuidado la zona y se identifica la descripción que mejor explique lo observado en el siguiente cuadro:

## Descripción del Grado de Erosión del Área Evaluada

<b>A:</b>	Menos del 10 % del área presenta señales de erosión laminar superficial y desplazamiento del mantillo.
<b>B:</b>	Se percibe indicios de erosión laminar superficial en menos del 25 % del área, y pocas evidencias de alteraciones (vegetación seca, removida y/o pudriéndose) en la superficie de la vegetación de cojín.
<b>C:</b>	Se presenta una profunda erosión laminar, creando surcos y zanjas en alrededor del 15 % del área, y/o se evidencia formación de parches (cojines fraccionados); presencia de vegetación seca, removida o podrida en la superficie de la vegetación de cojín, en al menos 20 % del área.
<b>D:</b>	Se aprecia una severa erosión superficial de la vegetación del cojín en al menos el 25 % del área; se han formado parches y el nivel del curso de agua está a 10 cm o más profundidad, en relación a la superficie del suelo con vegetación de cojín. 0 al menos 25 % del área presenta la formación de surcos y depresiones profundas.

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### c) Indicadores de la Condición de la Biota

- **Abundancia de especies nativas:** La cantidad de especies nativas que se encuentra en toda la cobertura vegetal, es un óptimo indicador de la condición ecológica en el bofedal (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019) pag.20.

## Especies que se Encuentran en los Bofedales

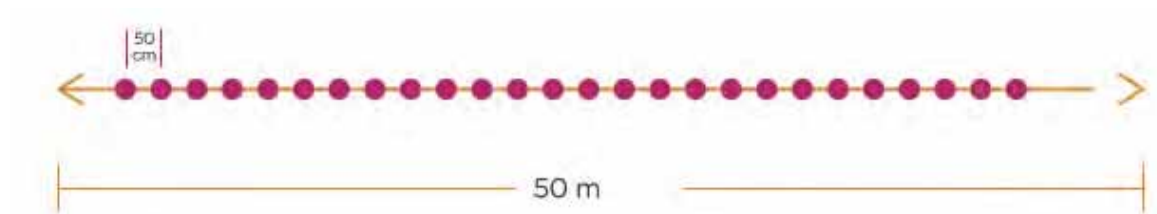


Fuente:(Fuentealba D., 2019).

### **Fase de Campo**

Se aplica el procedimiento de la intercepción de 100 puntos y se evaluá en un transecto de 50 m.

### **Transecto que Servirá para la Medición de Variables**



Fuente:(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

Para determinar la abundancia de las especies nativas, se debe realizar una lista Mínima de especies dominantes y representativas encontradas en los bofedales(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### **Identificación de Especies Nativas**



Fuente:(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Riqueza de especies:** Esta referida a la cantidad de especies como la flora presentes en una muestra determinada, como expresión de la diversidad (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### ***Fase de Campo***

Se incluyen toda la flora, de musgos y líquenes y sobre todo diferenciar cuantas especies hay en el bofedal evaluado. (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### **Identificación de la Riqueza de Especies**



Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Cobertura vegetal viva:** Está estrechamente relacionado con la protección que da la vegetación a la turba, evitando procesos de erosión; mientras más extensa es la cobertura vegetal, mayor es la protección de la turba.

### ***Fase de Campo***

Usando el transecto como base se valora visualmente la cobertura vegetal con la ayuda de un cuadrado de 1x1 dividido en 4 (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

## Identificación de Cobertura Vegetal Viva



Fuente:(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Biomasa aérea:** Referido a la capacidad de producción primaria del ecosistema. Este indicador en sí mismo es un servicio eco sistémico, que se ve reducido especialmente cuando el sitio está siendo pastoreado(Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

d) Indicativo sale de los Cambios en el Paisaje

- **Existencia de factores de deterioro (degradación, amenazas) en el bofedal:**  
Evidencia de factores de degradación existentes en el bofedal y su entorno.

### ***Fase de Campo***

Para este análisis se observan muestras de factores de degradación que se hallen en el bofedal y/o en sus contornos; a cada factor se le da un indicador para discriminar un gradiente de abundancia y su intensidad, ver el siguiente cuadro.

## Muestra de categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad

<b>A:</b>	Se presenta uno o ningún factor de degradación, en baja abundancia e intensidad.
<b>B:</b>	Se presenta dos factores de degradación en baja abundancia e intensidad o un factor con abundancia baja e intensidad alta, o viceversa, alta abundancia y baja intensidad.
<b>C:</b>	Se muestra dos factores de degradación con alta intensidad o alta abundancia.
<b>D:</b>	Se exhibe tres o más factores de degradación en cualquier grado o se presenta un factor de degradación con alta abundancia y alta intensidad.

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

- **Conexión hidrológica del bofedal:** Determina si existe una infraestructura u otras demostraciones de que se están alterando el curso del agua que debería arribar directamente al bofedal en estudio; como puede ser tomas de agua, canales, construcción de carretera, explotaciones mineras cercana, morrenas en las laderas cercanas etc. Los cambios en los puntos lejanos del bofedal causaran alteraciones de manera indirecta son más difíciles de evaluar (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

### ***Fase de Campo***

Para fichar algunas infraestructura o alguna otra modificación o intervención se evaluará en el entorno cercano al bofedal a unos 500 m, infraestructuras que hayan alterado el curso natural del agua, para una óptima descripción, ver el siguiente cuadro.

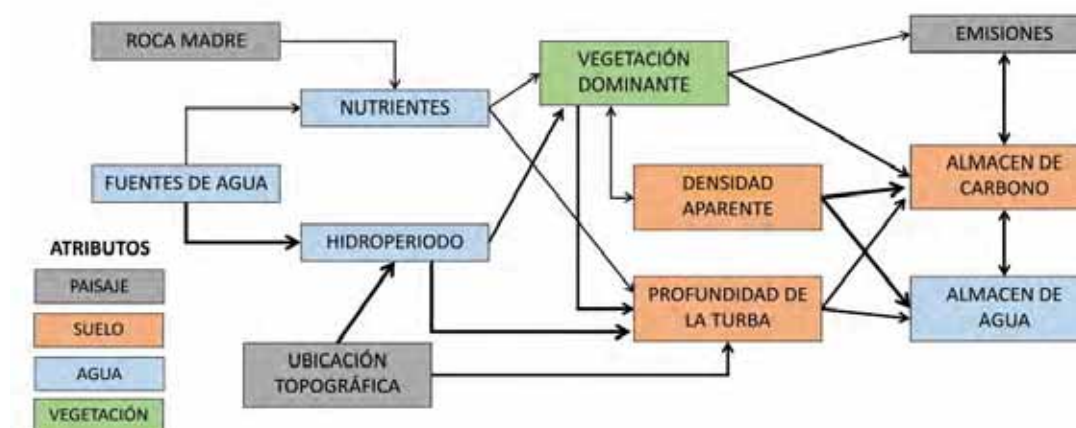


## Conectividad Hidrológica

<b>A:</b>	No se ha encontrado ningún problema o alteración en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal.
<b>B:</b>	La presencia de carreteras o infraestructura han cambiado la permeabilidad del agua hacia el bofedal, pero no la cantidad de agua que entra. Se han encontrado fuentes de nutrientes, minerales y/o contaminantes en las partes altas de la quebrada (alteraciones de la calidad de agua).
<b>C:</b>	Se encuentran tomas de agua o canales que funcionan estacionalmente, o carreteras que reducen la cantidad de agua que entra al bofedal. Hay presencia de morrenas grandes, indicándola pérdida significativa de masa glaciar.
<b>D:</b>	Se encuentran carreteras y tomas de agua o canales permanentes que desvían y eliminan la entrada de agua de estas fuentes hacia el bofedal.

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019)

## Interacciones que se Dan en un Bofedal



Fuente:(Fuentealba D., 2019)

## Servicios Ecosistémicos de los Humedales

Los servicios ecosistémicos que brindan los humedales pueden variar debido a que cada humedal es ecológicamente único y los beneficios que puedan brindar a la humanidad también cambian debido a las percepciones humanas y la ubicación particular del humedal (Mitsch & Gosselink, 2015)(Ramos Mamani, 2018).

“Los humedales altoandinos” están vinculado primordialmente al suministro de agua, las funciones esenciales y servicios ambientales están asociados a los recursos hídricos

(almacenaje y regularcaudales, producción hidroeléctrica, y otros) y muchas ciudades dependen de estos servicios fundamentales (“Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008”). Además de estos servicios, estos cumplen funciones ecológicas como hábitat de una alta biodiversidad, provisión de productos de subsistencia vinculado a la producción de pasturas naturales para actividades pecuarias de camélidos sudamericanos, desarrollo de ecoturismo, etc., los cuales los convierten en ecosistemas de enorme importancia estratégica para cientos de miles de personas (Gil, 2011)(Ramos Mamani, 2018).

### Evaluación de un Bofedal

En los siguientes cuadros se observa de cuáles son los criterios que se toma en cuenta para la evaluación de los bofedales.

### Formato para el llenado y comparación de los valores de referencia y la unidad muestral para el cálculo del valor ecológico de un bofedal

ATRIBUTOS	INDICADORES	VALORES DE REFERENCIA (VR)		UNIDAD MUESTRAL (UM)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua 39.6%	Napa freática en época seca (cm)	<5	30.8		
	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<52	8.8		
Condición del suelo 24.5%	Profundidad de turba (cm)	>200	9.2		
	Materia orgánica (%)	>75	8.9		
	Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	<0.2	3.5		
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2.9		
Condición de la biota 19.9%	Especies nativas (%)	>80	8.7		
	Riqueza de especies (n.º especies / área)	>10	3.1		
	Cobertura vegetal viva (%)	100	3		
	Biomasa aérea ( $\text{kg MS}/\text{ha}$ )	>1000	5.1		
Alteraciones en el paisaje 16.0%	Presencia de factores de degradación	A	8		
	Conectividad hidrológica	A	8		
Sumatoria		---	100		
Escala 1-10		---	10		
Estado del Ecosistema (valor ecológico)		---	Muy bueno		

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

## Cálculo Promedio de los Indicadores de las Parcelas de Evaluación

INDICADORES	UM <sub>1</sub>	UM <sub>2</sub>	UM <sub>3</sub>	...	UM <sub>n</sub>	VALOR PROMEDIO
	VALOR					
Napa freática en época seca	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	...	N <sub>n</sub>	$(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n)/n$
Conductividad eléctrica	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	...	C <sub>n</sub>	$(C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)/n$
Profundidad de turba	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	...	T <sub>n</sub>	$(T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n)/n$
Materia orgánica	Mo <sub>1</sub>	Mo <sub>2</sub>	Mo <sub>3</sub>	...	Mo <sub>n</sub>	$(Mo_1 + Mo_2 + Mo_3 + \dots + Mo_n)/n$
Densidad aparente	Da <sub>1</sub>	Da <sub>2</sub>	Da <sub>3</sub>	...	Da <sub>n</sub>	$(Da_1 + Da_2 + Da_3 + \dots + Da_n)/n$
Signos de erosión	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	...	E <sub>n</sub>	$(E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n)/n$
Especies nativas	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	...	N <sub>n</sub>	$(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n)/n$
Riqueza de especies	Sp <sub>1</sub>	Sp <sub>2</sub>	Sp <sub>3</sub>	...	Sp <sub>n</sub>	$(Sp_1 + Sp_2 + Sp_3 + \dots + Sp_n)/n$
Cobertura vegetal viva	Cv <sub>1</sub>	Cv <sub>2</sub>	Cv <sub>3</sub>	...	Cv <sub>n</sub>	$(Cv_1 + Cv_2 + Cv_3 + \dots + Cv_n)/n$
Biomasa aérea	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	...	B <sub>n</sub>	$(B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n)/n$
Presencia de factores de degradación	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	...	D <sub>n</sub>	$(D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n)/n$
Conectividad hidrológica	Ch <sub>1</sub>	Ch <sub>2</sub>	Ch <sub>3</sub>	...	Ch <sub>n</sub>	$(Ch_1 + Ch_2 + Ch_3 + \dots + Ch_n)/n$

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

## Formato para Determinar el Puntaje del Valor Promedio Obtenido

INDICADORES	VALOR PROMEDIO	
	VALOR	PUNTAJE
Napa freática en época seca	$(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n)/n$	P <sub>1</sub>
Conductividad eléctrica	$(C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)/n$	P <sub>2</sub>
Profundidad de turba	$(T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n)/n$	P <sub>3</sub>
Materia orgánica	$(Mo_1 + Mo_2 + Mo_3 + \dots + Mo_n)/n$	P <sub>4</sub>
Densidad aparente	$(Da_1 + Da_2 + Da_3 + \dots + Da_n)/n$	P <sub>5</sub>
Signos de erosión	$(E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n)/n$	P <sub>6</sub>
Especies nativas	$(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n)/n$	P <sub>7</sub>
Riqueza de especies	$(Sp_1 + Sp_2 + Sp_3 + \dots + Sp_n)/n$	P <sub>8</sub>
Cobertura vegetal viva	$(Cv_1 + Cv_2 + Cv_3 + \dots + Cv_n)/n$	P <sub>9</sub>
Biomasa aérea	$(B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n)/n$	P <sub>10</sub>
Presencia de factores de degradación	$(D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n)/n$	P <sub>11</sub>
Conectividad hidrológica	$(Ch_1 + Ch_2 + Ch_3 + \dots + Ch_n)/n$	P <sub>12</sub>
VALOR RELATIVO		$\sum_{i=1}^{12} P_i$
Escala 1-10		V
Estado del Ecosistema (valor ecológico)		EE

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

Los puntajes de los indicadores se demuestran en el siguiente cuadro.

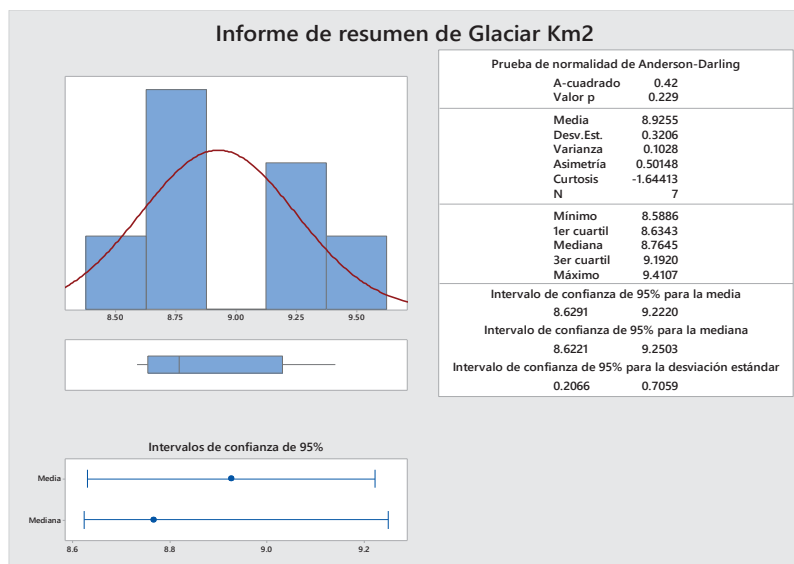
## Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal

ESCALA	VALOR RELATIVO (%)	ESTADO DEL ECOSISTEMA
[0 - 2>	[0 - 20>	Muy pobre
[2 - 4>	[20 - 40>	Pobre
[4 - 6>	[40 - 60>	Regular
[6 - 8>	[60 - 80>	Buena
[8 - 10]	[80 - 100]	Muy buena

Fuente: (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2019).

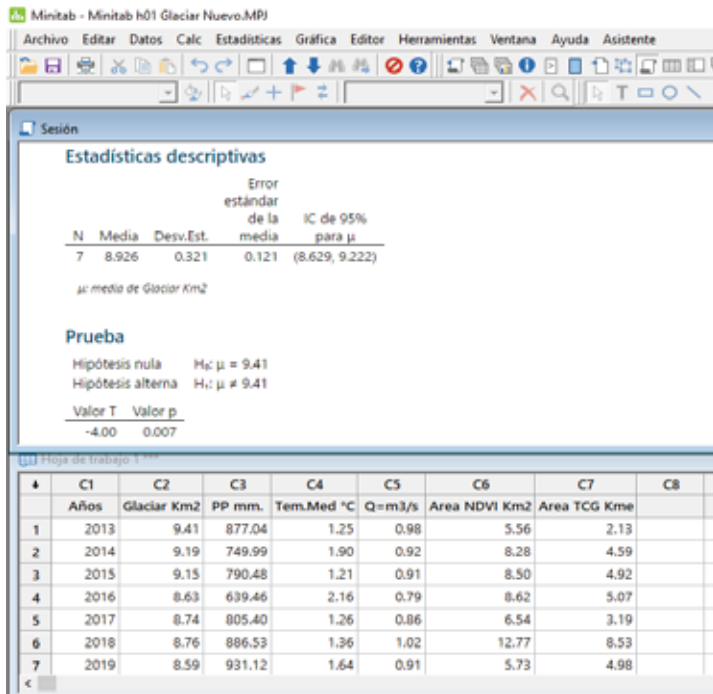
## E. CÁLCULOS EN MINITAB 18 PARA LOS TRES COMPONENTES

### Informe Resumen Glaciar en Km<sup>2</sup>, Prueba de Normalidad de Anderson-Darling



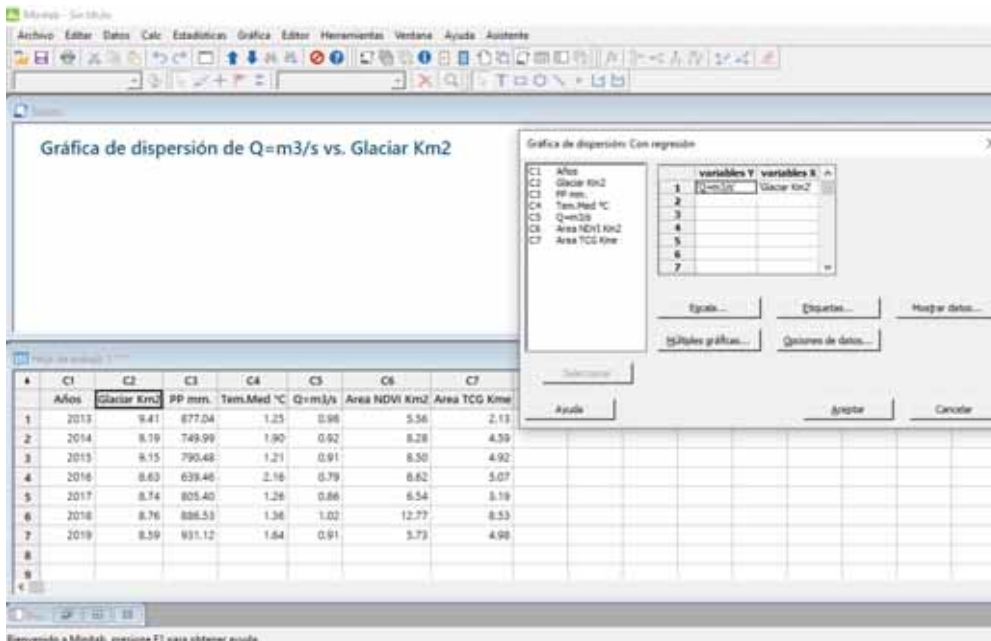
Fuente: Minitab 18

## Cálculo de T de Student –Área Glaciar Km<sup>2</sup> Calculo de T de Student –Área Glaciar Km<sup>2</sup>



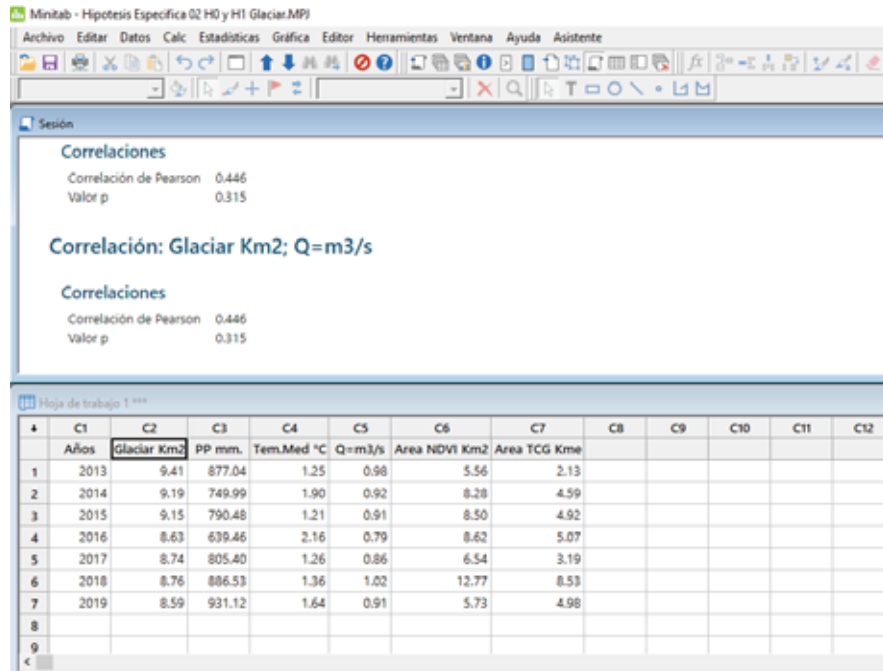
Fuente: Minitab 18

## Correlación entre las Variables Retroceso Glaciar vs Caudal Generado



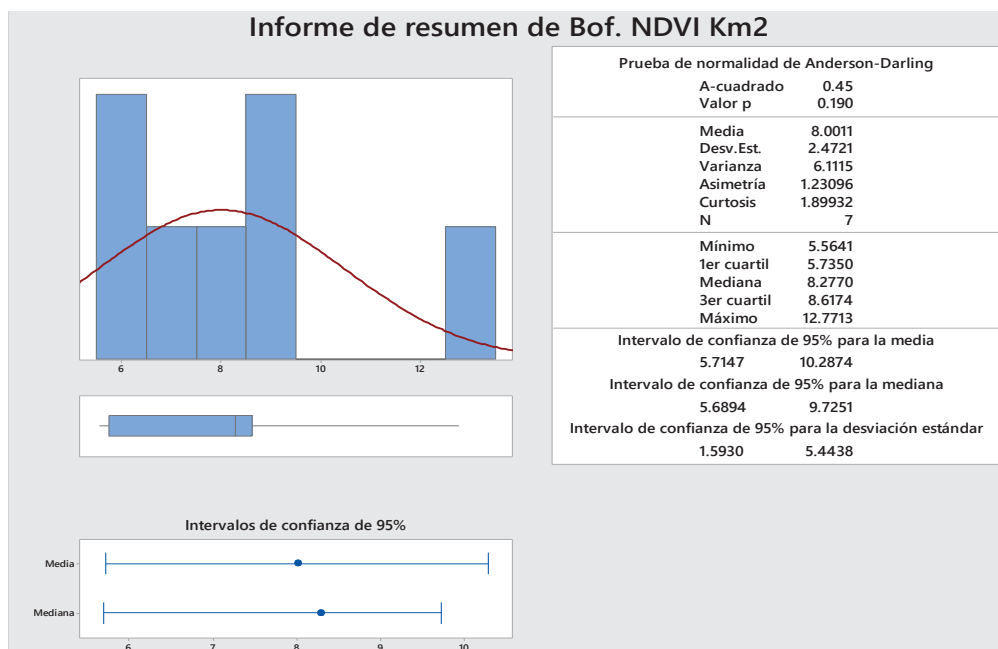
Fuente: Minitab 18

## Valores Obtenidos de “r” y “p”



Fuente: Minitab 18

## Informe de Resumen del Bofedal Índice NDVI Km<sup>2</sup>



Fuente: Minitab 18

## Calculo de T de Student –Área Bofedal, Índice NDVI Km2- A

Estadísticas básicas

- Mostrar estadísticos descriptivos...
- Almacenar estadísticos descriptivos...
- Resumen gráfico...
- Z de 1 Muestra...
- t de 1 Muestra...**
- t de 2 muestras...
- t pareada...
- 1 Proporción...
- 2 Proporciones...
- Tasa de Poisson de 1 muestra...
- Tasa de Poisson de 2 muestras...
- 1 varianza...
- 2 varianzas...
- Correlación...
- Covarianza...
- Prueba de normalidad...
- Prueba de valores atípicos...
- Prueba de bondad de ajuste para Poisson...

**Prueba**

Valor T	Valor p
2.61	0.020

Años	Glaciar Km2	PP mm.	Q=m3/s	Bof. NDVI Km2	Bof.
2013	9.41	877.04	1.13	5.56	
2014	9.19	749.99	1.00	8.28	
2015	9.15	790.48	1.03	8.50	4.92
2016	8.63	639.46	0.91	8.62	5.07
2017	8.74	805.40	1.04	6.54	3.19
2018	8.76	886.53	1.18	12.77	8.53
2019	8.59	931.12	1.15	5.73	4.98

Fuente: Minitab 18

## Calculo de T de Student –Área Bofedal, Índice NDVI Km2- B

t de una muestra para la media

Una o más muestras, cada una en una columna

Bof. NDVI Km2

Realizar pruebas de hipótesis

Meda hipotética: 5.56

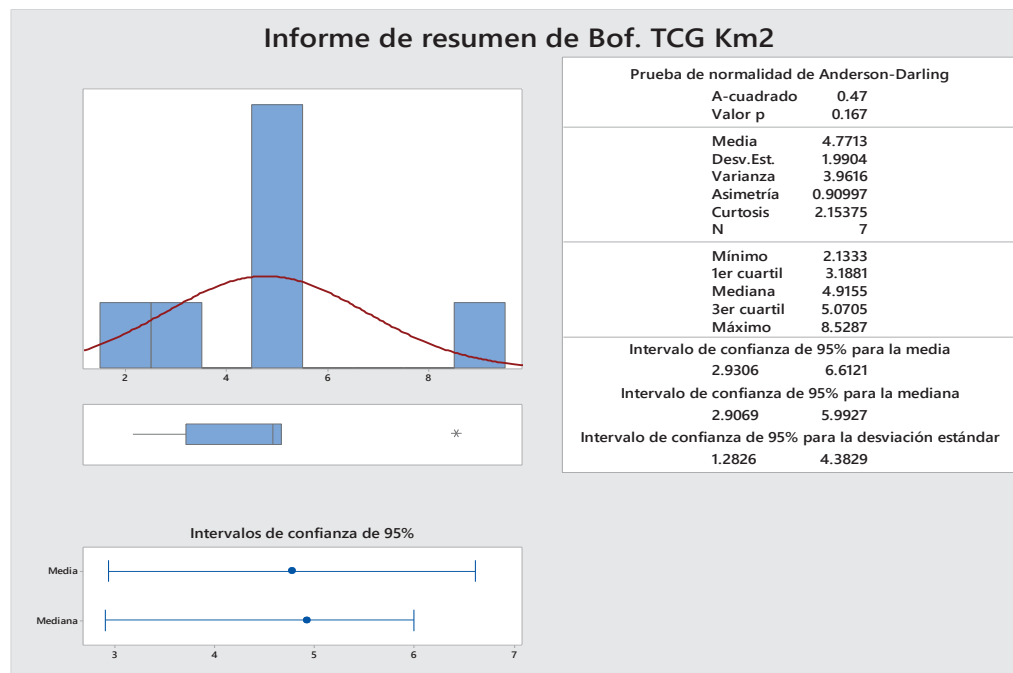
**Prueba**

Valor T	Valor p
2.61	0.020

Años	Glaciar Km2	PP mm.	Q=m3/s	Bof. NDVI Km2	Bof. TCG Km2
2013	9.41	877.04	1.13	5.56	2.13
2014	9.19	749.99	1.00	8.28	4.59
2015	9.15	790.48	1.03	8.50	4.92
2016	8.63	639.46	0.91	8.62	5.07
2017	8.74	805.40	1.04	6.54	3.19
2018	8.76	886.53	1.18	12.77	8.53
2019	8.59	931.12	1.15	5.73	4.98

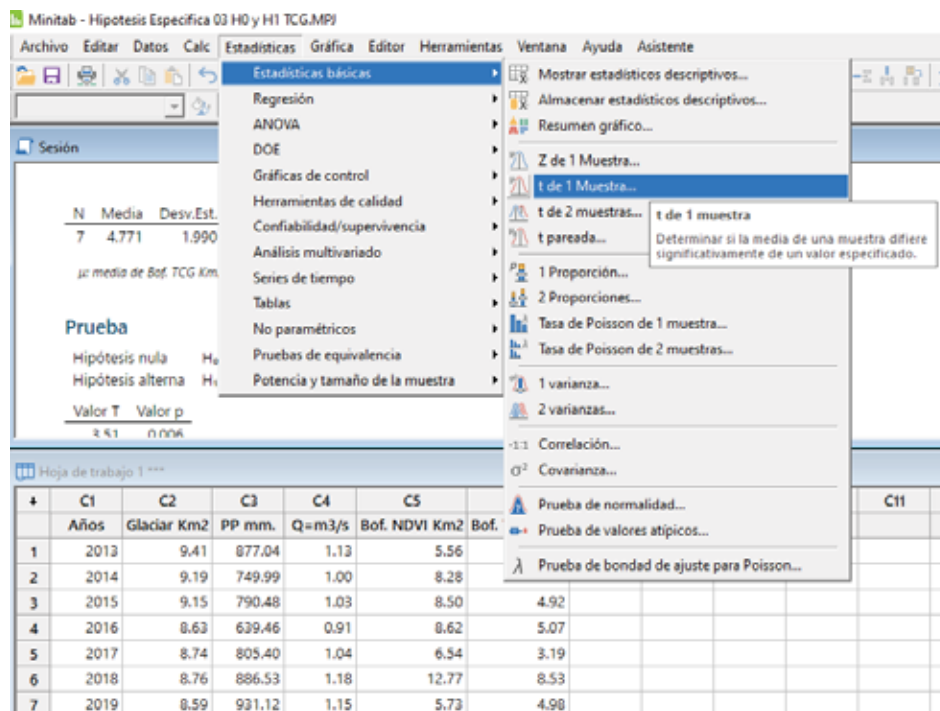
Fuente: Minitab 18

## Informe de Resumen del Bofedal Índice TCG Km<sup>2</sup>



Fuente: Minitab 18

## Cálculo de T de Student –Área Bofedal, Índice TCG Km<sup>2</sup>- A



Fuente: Minitab 18



## Calculo de T de Student –Área Bofedal, Índice TCG Km<sup>2</sup>- B

Minitab - Hipotesis Especifica O1 H0 y H1 TCG.MPJ

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Editor Herramientas Ventana Ayuda Asistente

Seleccionar

N	Media	Dev.Est.	estándar de la media	inferior de 95% para $\mu$
7	4.771	1.590	0.752	3.310

$\mu$ : media de Bof. TCG Km2

**Prueba**

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 2.13$   
 Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 2.13$

Valor T Valor p  
 3.51 n.n.c.c.

t de una muestra para la media

Una o más muestras, cada una en una columna

Bof. TCG Km2

Realizar prueba de hipótesis

Media (hipótesis): 2.13

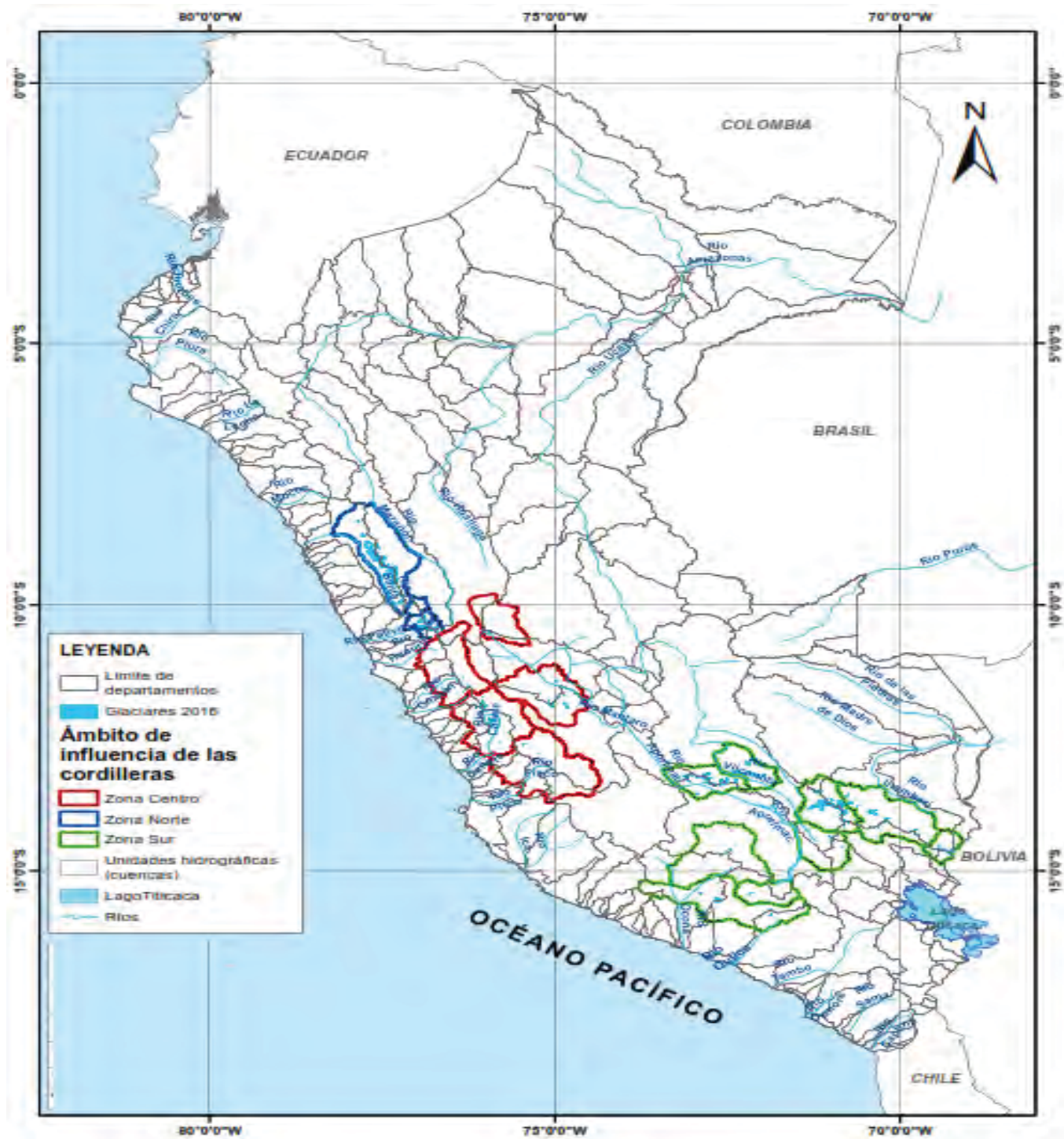
Seleccionar Opciones... Gráficas... Ayuda Aceptar Cancelar

Hoja de trabajo 1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Años	Glaciar Km2	PP mm.	Q=m3/s	Bof. NDVI Km2	Bof. TCG Km2
1	2013	9.41	877.04	1.13	5.56	2.13
2	2014	9.19	749.99	1.00	8.28	4.50
3	2015	9.15	790.48	1.03	8.50	4.92
4	2016	8.63	639.46	0.91	8.62	5.07
5	2017	8.74	805.40	1.04	6.54	3.19
6	2018	8.76	886.53	1.18	12.77	8.53
7	2019	8.59	931.12	1.15	5.73	4.98

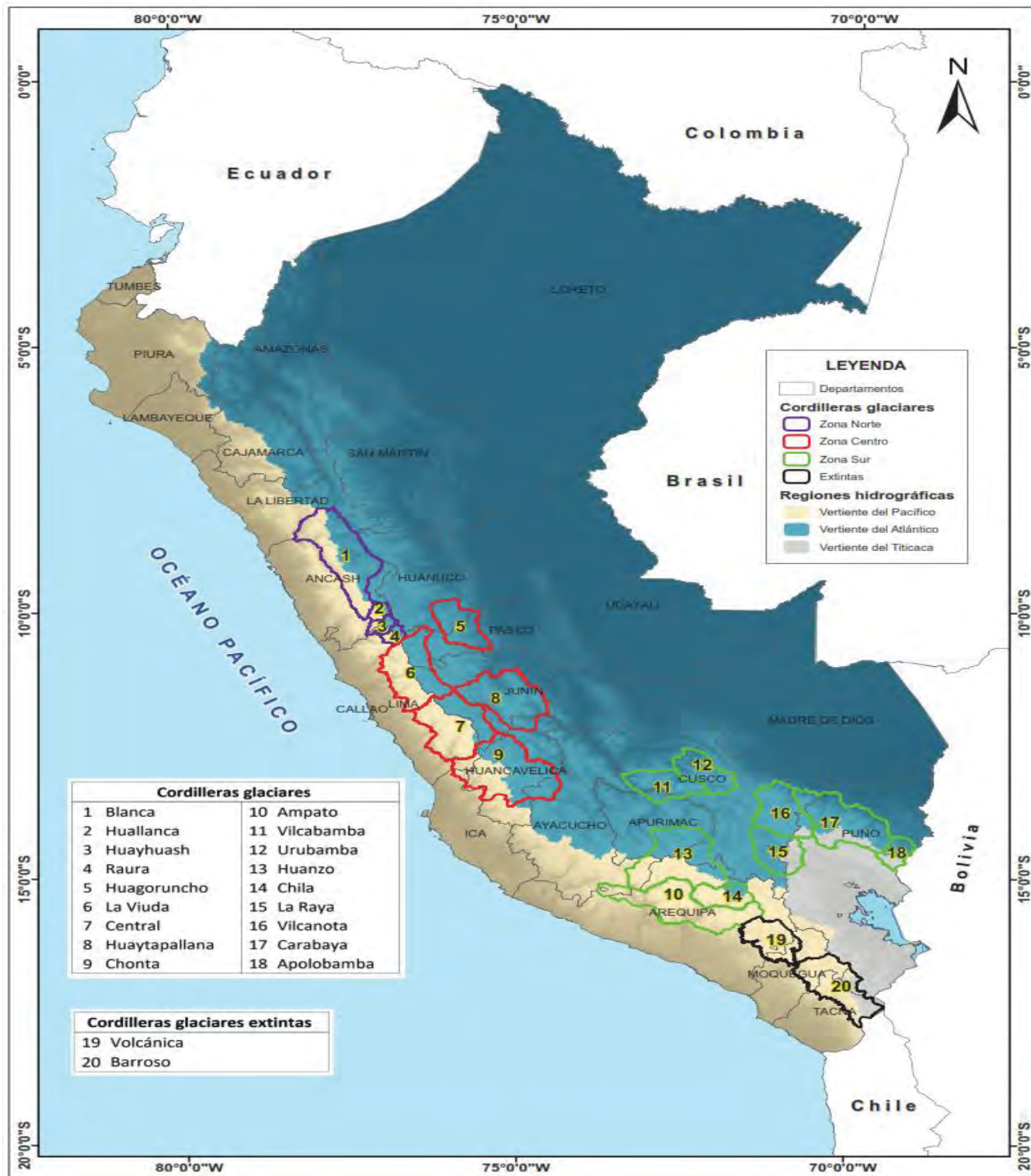
Fuente: Minitab 18

## F. CORDILLERAS GLACIARES DEL PERÚ



Fuente: INAIGEM

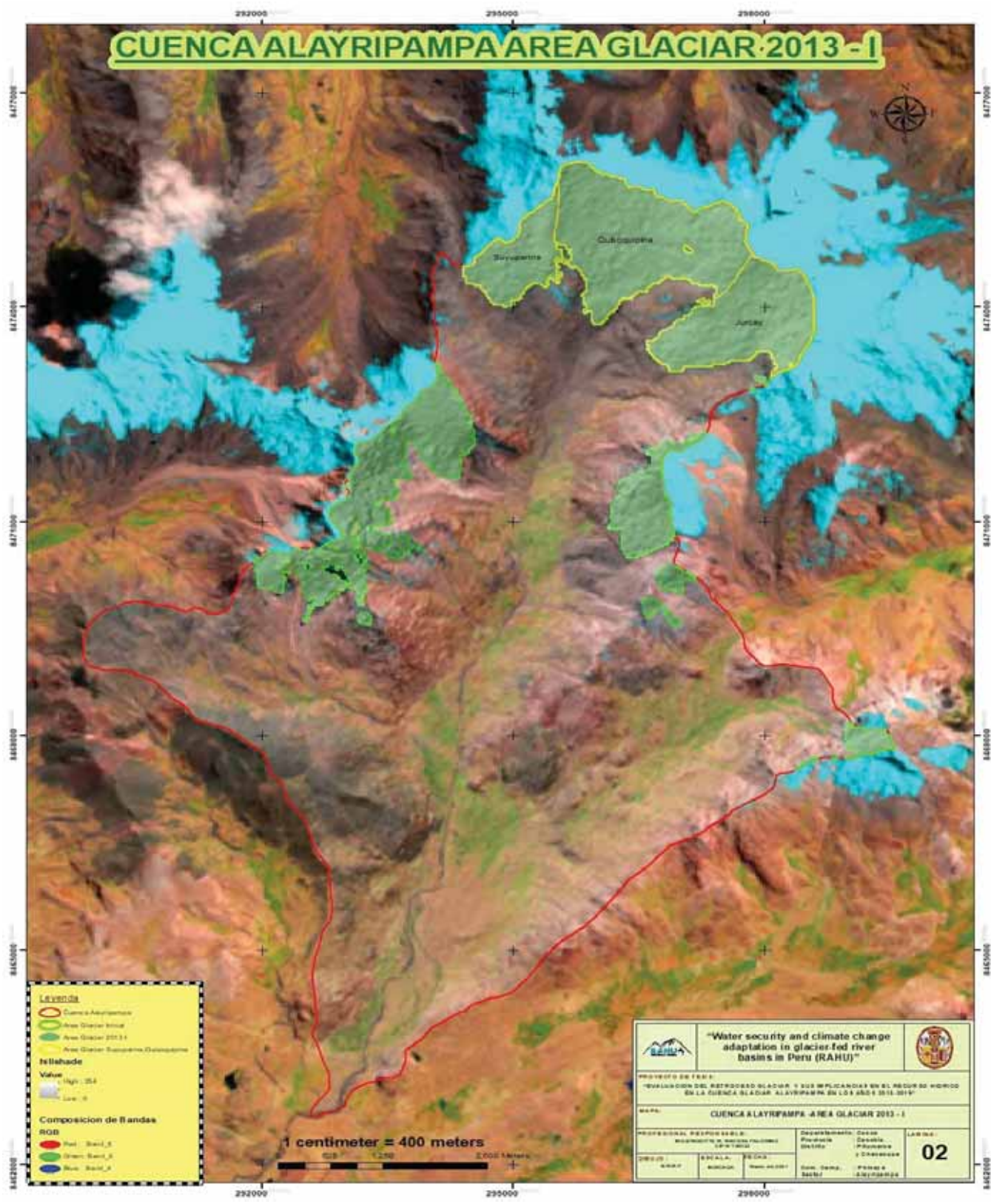
## G. UBICACIÓN DEL AMBITO DE INFLUENCIA DE LAS CORDILLERAS GLACIARES DEL PERÚ

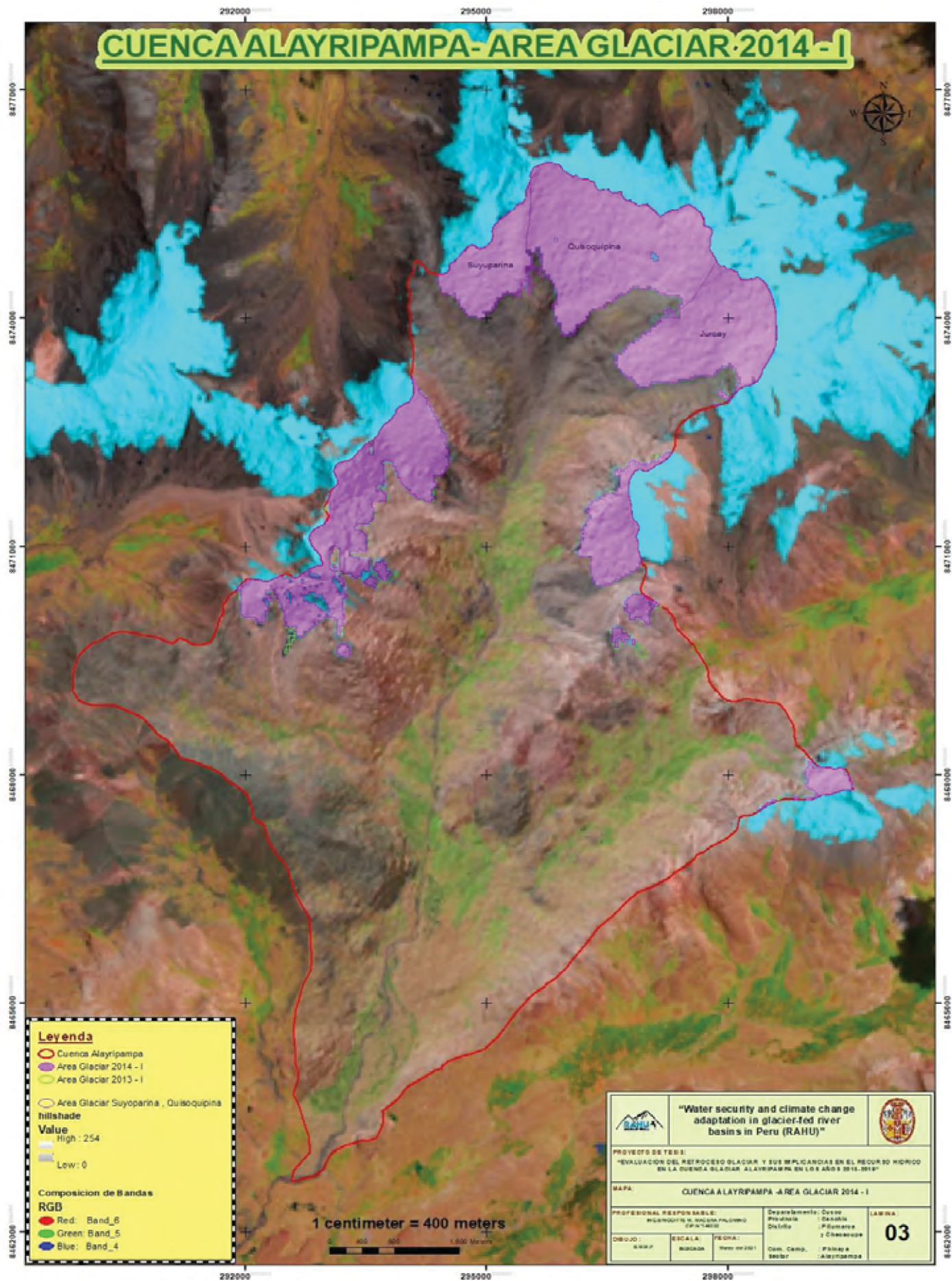


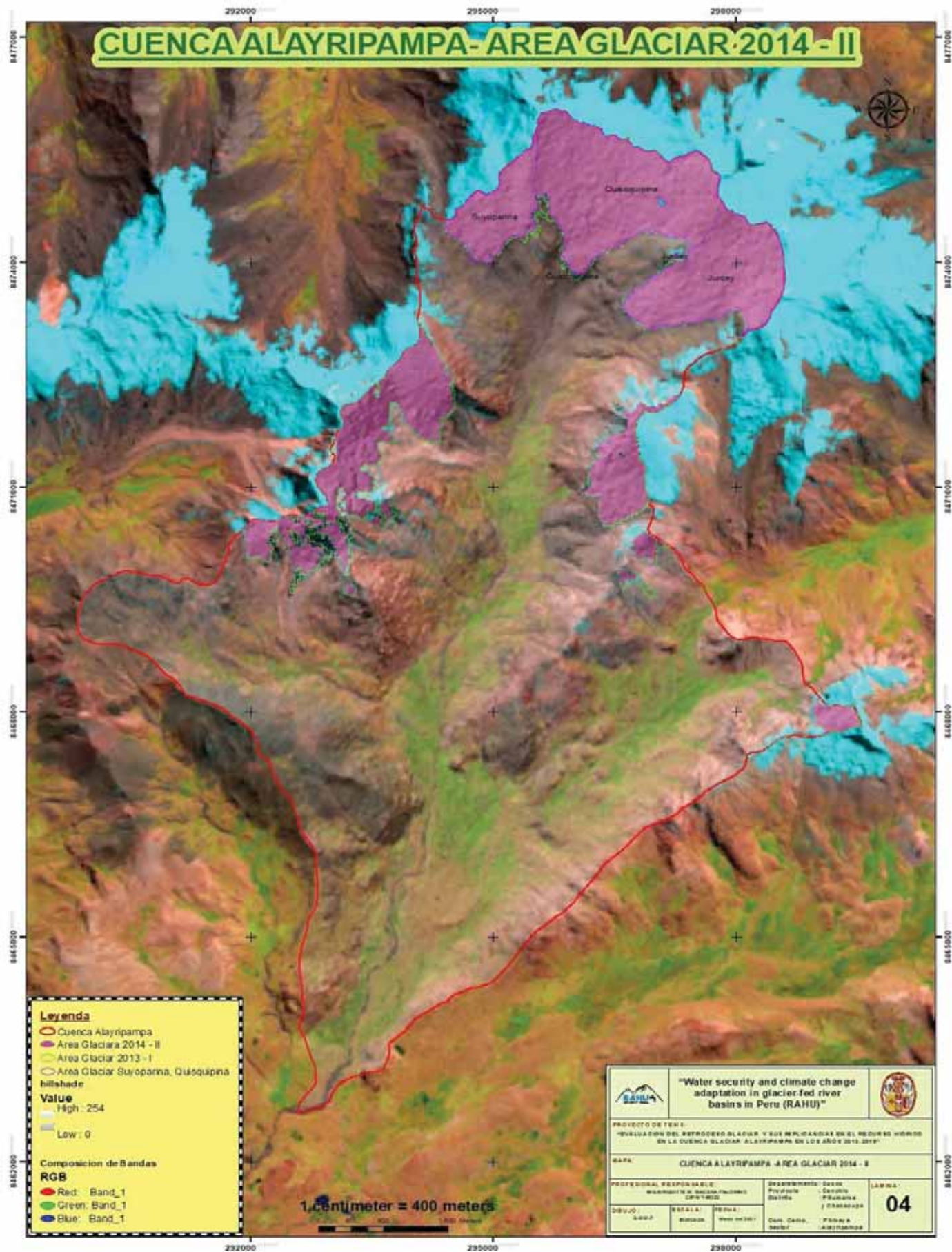
Fuente: INAIGEM

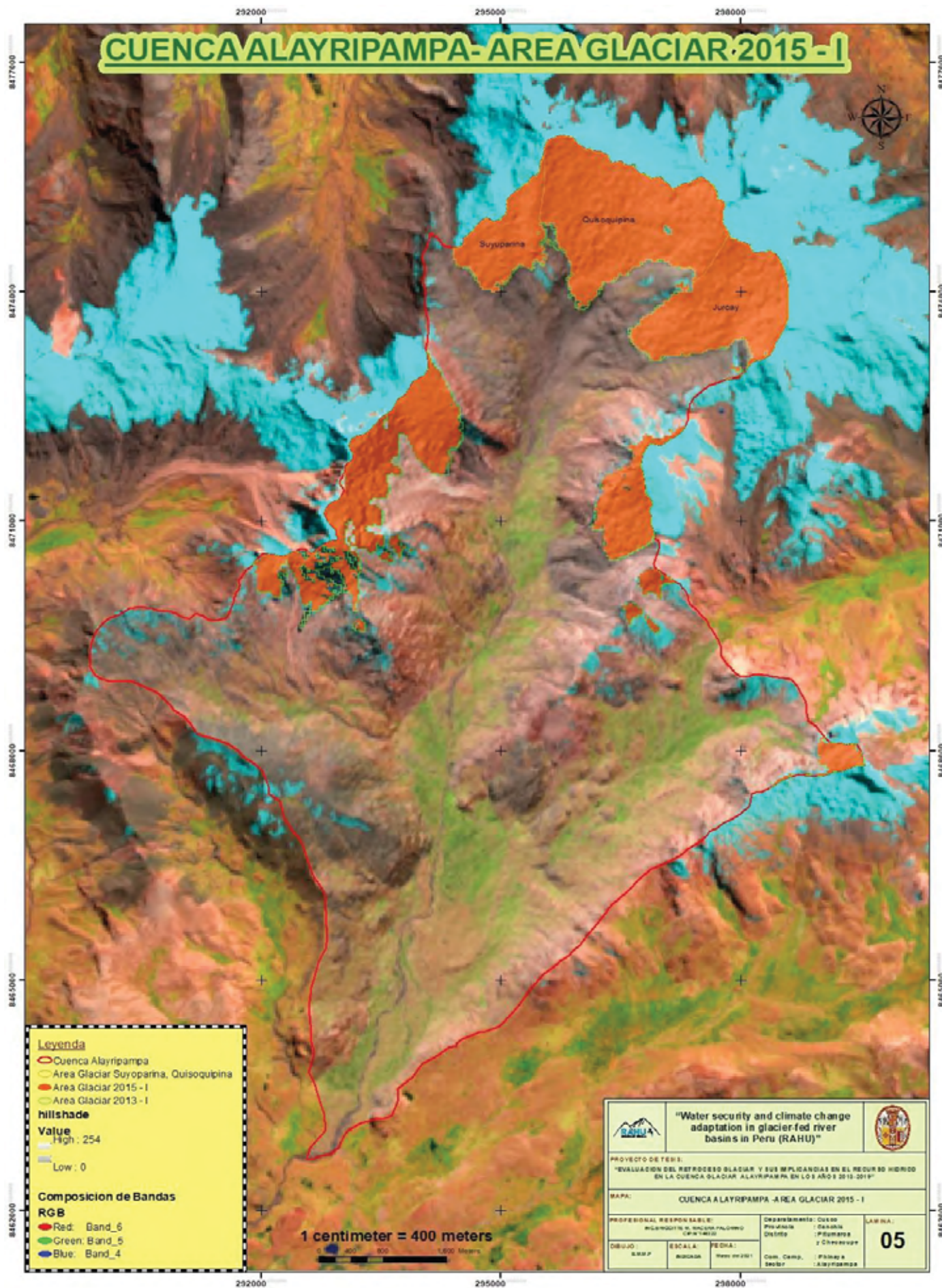


# I. MAPAS DEL RETROCESO GLACIAR DE LA CUENCA ALYRIPAMPA









# CUENCA ALAYRIPAMPA - AREA GLACIAR 2015 - I

**Legenda**

- Cuenca Alayripampa
- Area Glaciar Suyupama, Quisoquipina
- Area Glaciar 2015 - I
- Area Glaciar 2013 - I

**hillshade**

**Value**

- High : 254
- Low : 0

**Composicion de Bandas**

**RGB**

- Red: Band\_6
- Green: Band\_5
- Blue: Band\_4

1 centimeter = 400 meters

<span style="font-size: small;">"Water security and climate change adaptation in glacier fed river basins in Peru (RAHU)"</span>	
PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL RECURSO HIDRICO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS AÑOS 2013-2015"	
MAPA: CUENCA ALAYRIPAMPA - AREA GLACIAR 2015 - I	
PROFESIONAL RESPONSABLE: ING. GUSTAVO N. SANCHEZ PALMERO UPEL - Tarma	
DEPARTAMENTO: Cusco PROVINCIA: Canchis DISTRITO: Píscos y Chivay y Chivay y Chivay	
LAMINA: <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">05</span>	
DIBUJO: S.M.P.	ESCALA: 1:40000
FECHA: 05/05/2015	
Con. Camp. Sector: Píscos y Chivay - Alayripampa	





# CUENCA ALAYRIPAMPA- AREA GLACIAR 2015 - II

**Legenda**

- Cuenca Alayripampa
- Area Glaciar Suyoparina, Quisoquipina
- Area Glaciar 2015 - II
- Area Glaciar 2013 - I

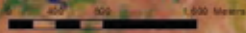
**hillshade**  
**Value**  
 High : 254  
 Low : 0

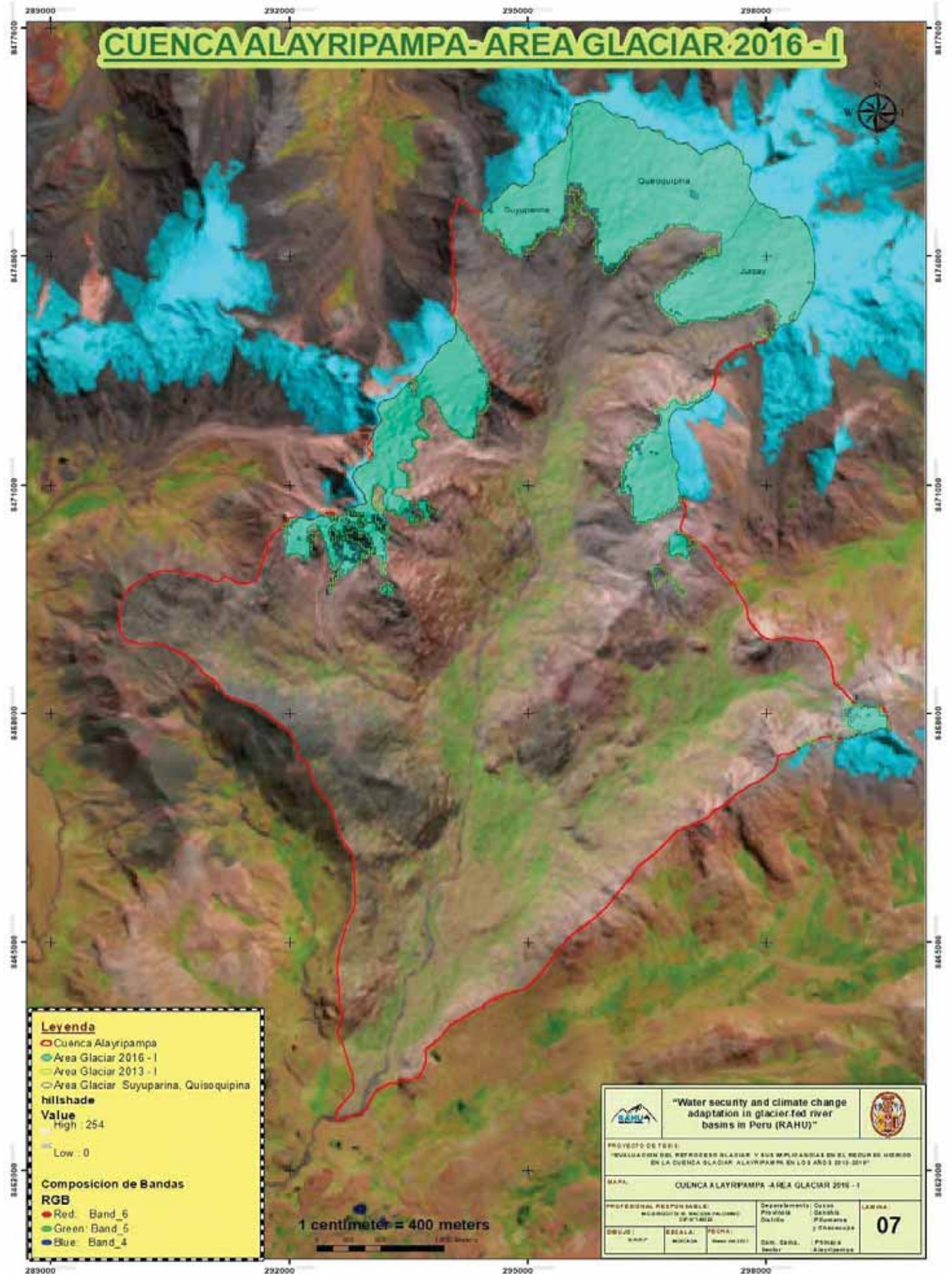
**Composicion de Bandas RGB**

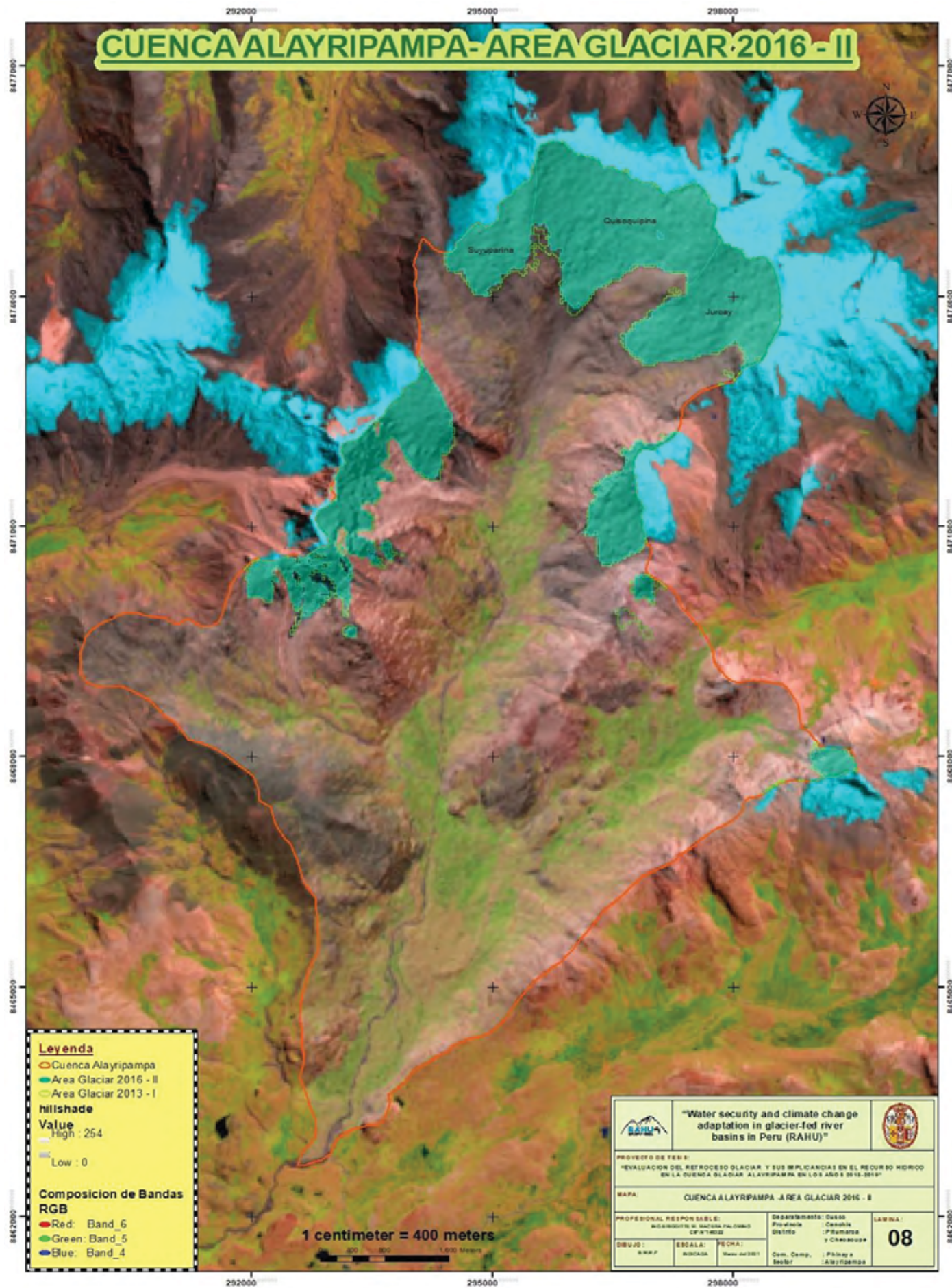
- Red: Band\_6
- Green: Band\_5
- Blue: Band\_4

		<b>"Water security and climate change adaptation in glacier-fed river basins in Peru (RAHU)"</b>		
PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL RECURSO HIDRICO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS AÑOS 2013-2015"				
MAPA: CUENCA ALAYRIPAMPA - AREA GLACIAR 2015 - II				
PROFESIONAL RESPONSABLE: ROSARIO M. SACRAMENTO UPELIMA		Departamento: Cuzco Provincia: Quispacancha Distrito: OREANDETE		<b>LAMINA:</b>  <span style="font-size: 24pt; font-weight: bold;">06</span>
DISEÑO: R.M.P.	ESCALA: NÚMERO	FECHA: Mayo del 2021	Com. Comp. Sector: Pizarro y Alayripampa	

1 centimeter = 400 meters







# CUENCA ALAYRIPAMPA- AREA GLACIAR 2016 - II

**Leyenda**

- Cuenca Alayripampa
- Area Glaciar 2016 - II
- Area Glaciar 2013 - I

**hillshade**

**Value**

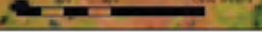
- High : 254
- Low : 0

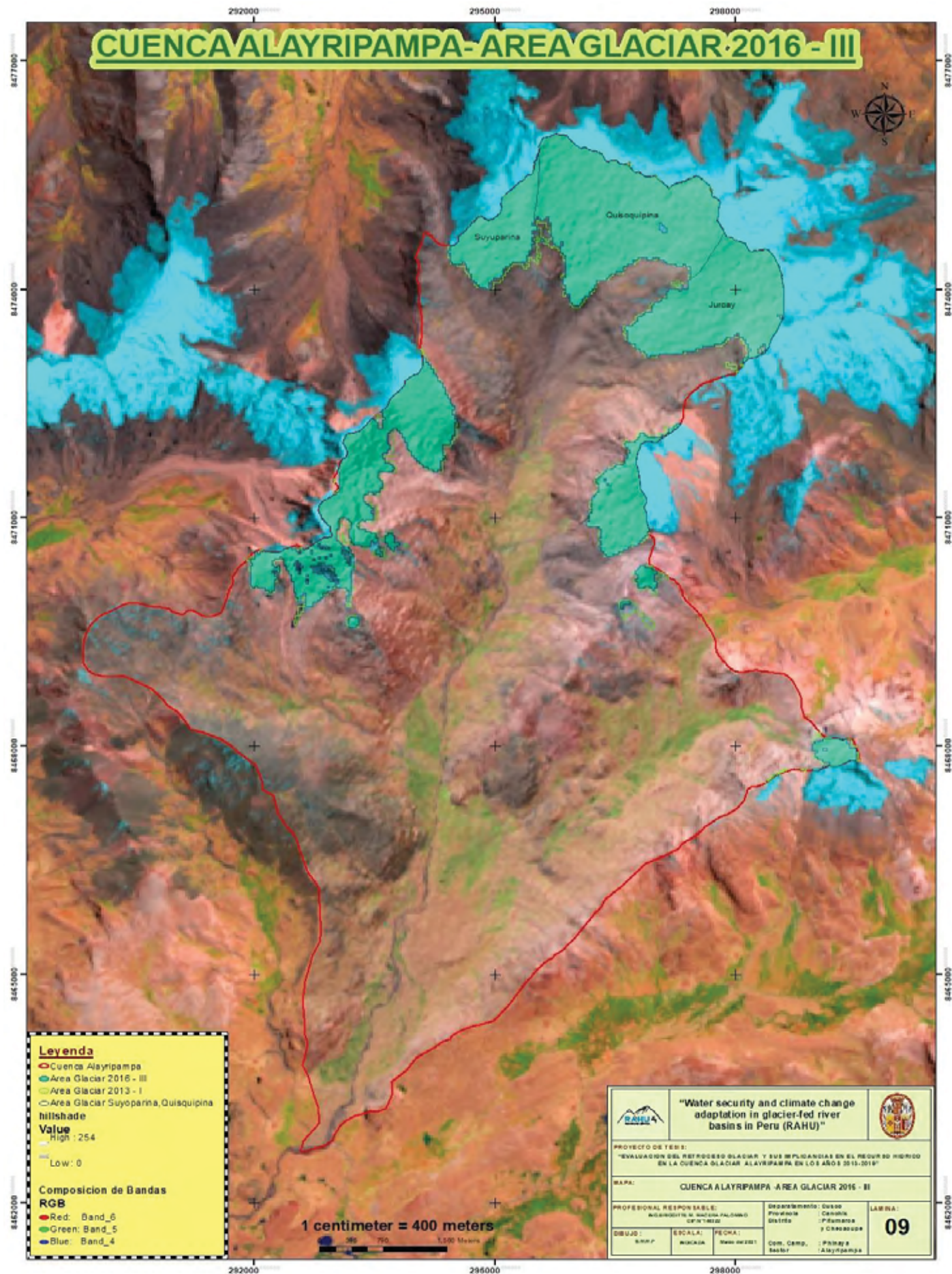
**Composicion de Bandas RGB**

- Red: Band\_6
- Green: Band\_5
- Blue: Band\_4

		<b>"Water security and climate change adaptation in glacier-fed river basins in Peru (RAHU)"</b>	
<p><b>PROYECTO DE TESIS:</b> "EVALUACION DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL RECURSO HIDRICO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS AÑOS 2013-2016"</p>			
<p><b>MAPA:</b> CUENCA ALAYRIPAMPA - AREA GLACIAR 2016 - II</p>			
<p><b>PROFESIONAL RESPONSABLE:</b> ALEXANDRO DE SALAZAR PALOMBO DPT° INTERIO</p>		<p><b>DEPARTAMENTO:</b> Cuzco <b>Provincia:</b> Cuzco <b>Distrito:</b> Pucallanca y Chacabamba</p>	
<p><b>DIBUJO:</b> RWWP</p>		<p><b>ESCALA:</b> INDICADA</p>	
<p><b>FECHA:</b> Mayo del 2021</p>		<p><b>Com. Camp.:</b> Pizarro y Alayripampa</p>	
			08

1 centimeter = 400 meters





# CUENCA ALAYRIPAMPA- AREA GLACIAR 2016 - III

**Legenda**

- Cuenca Alayripampa
- Area Glaciar 2016 - III
- Area Glaciar 2013 - I
- Area Glaciar Suyuparina, Qusquipina

**hillshade**

**Value**

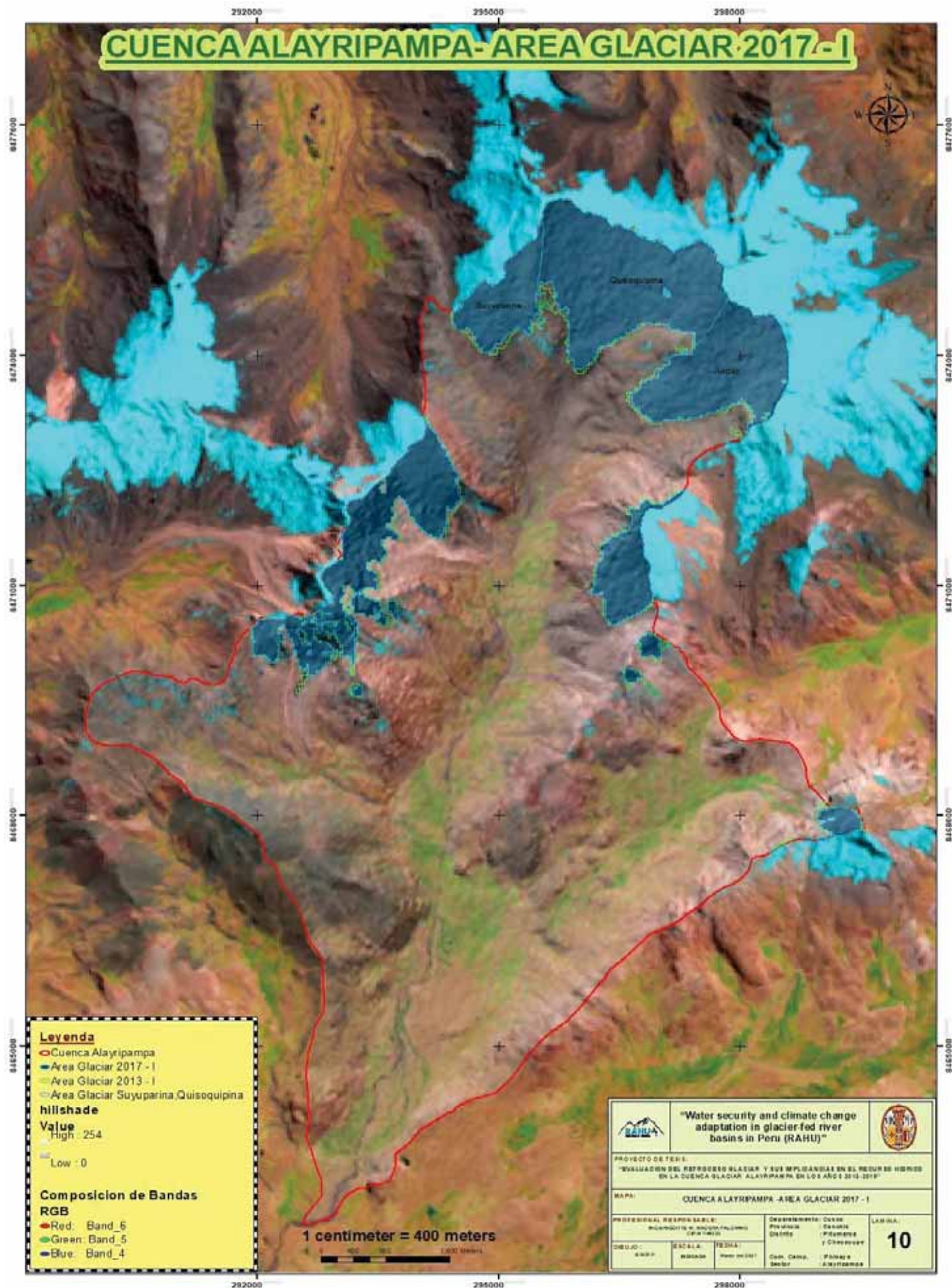
- High : 254
- Low : 0

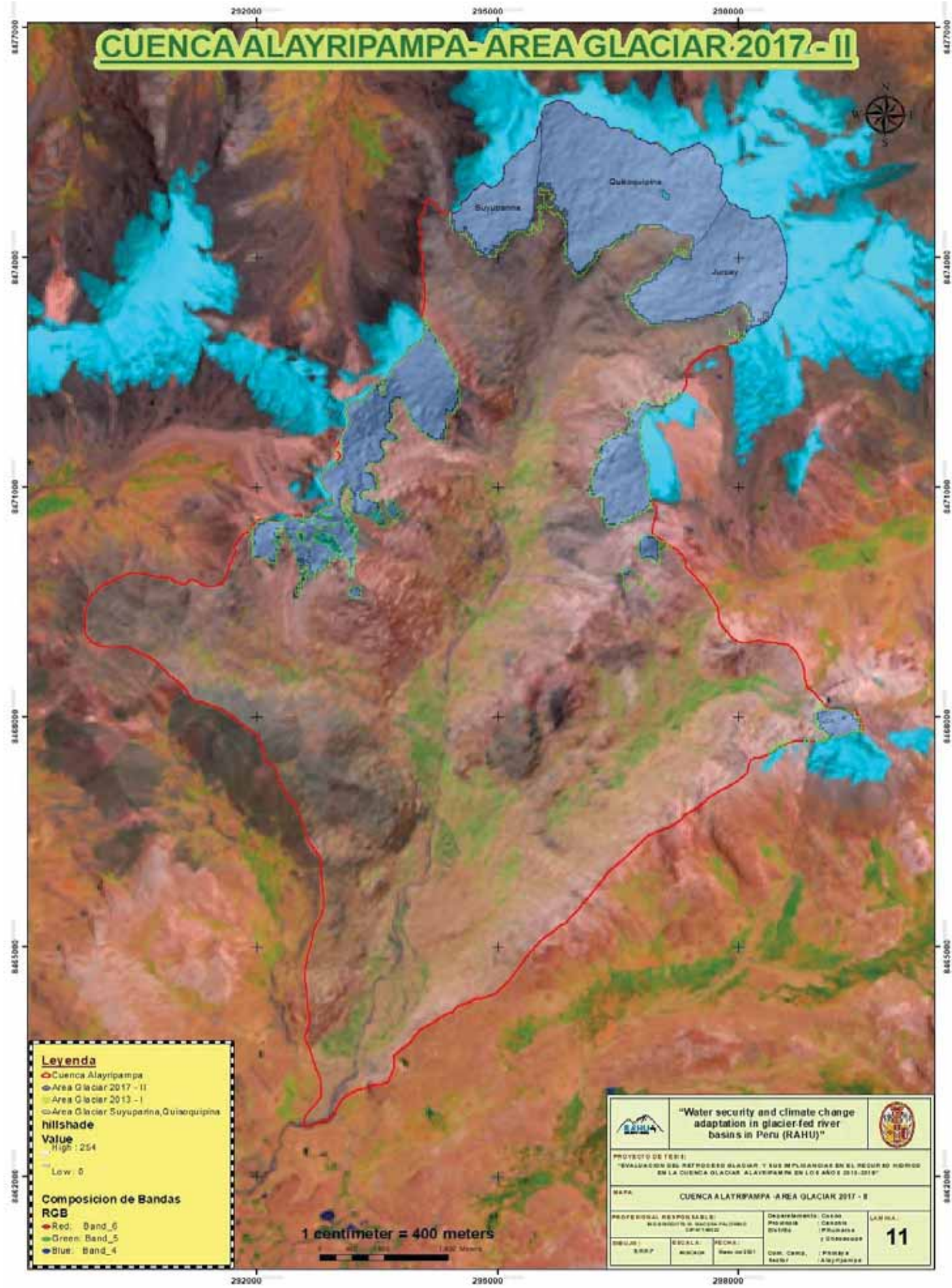
**Composicion de Bandas RGB**

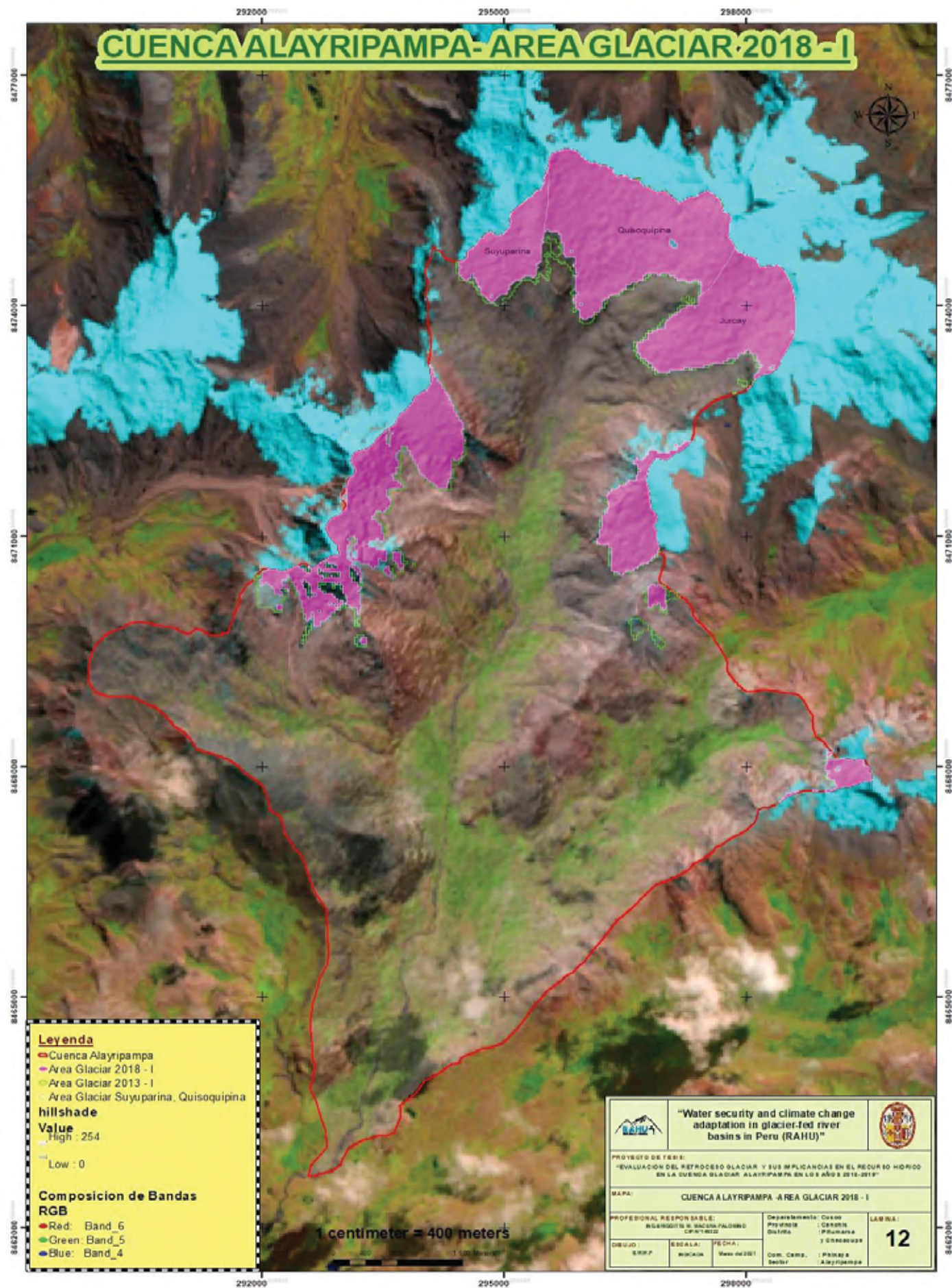
- Red: Band\_6
- Green: Band\_5
- Blue: Band\_4

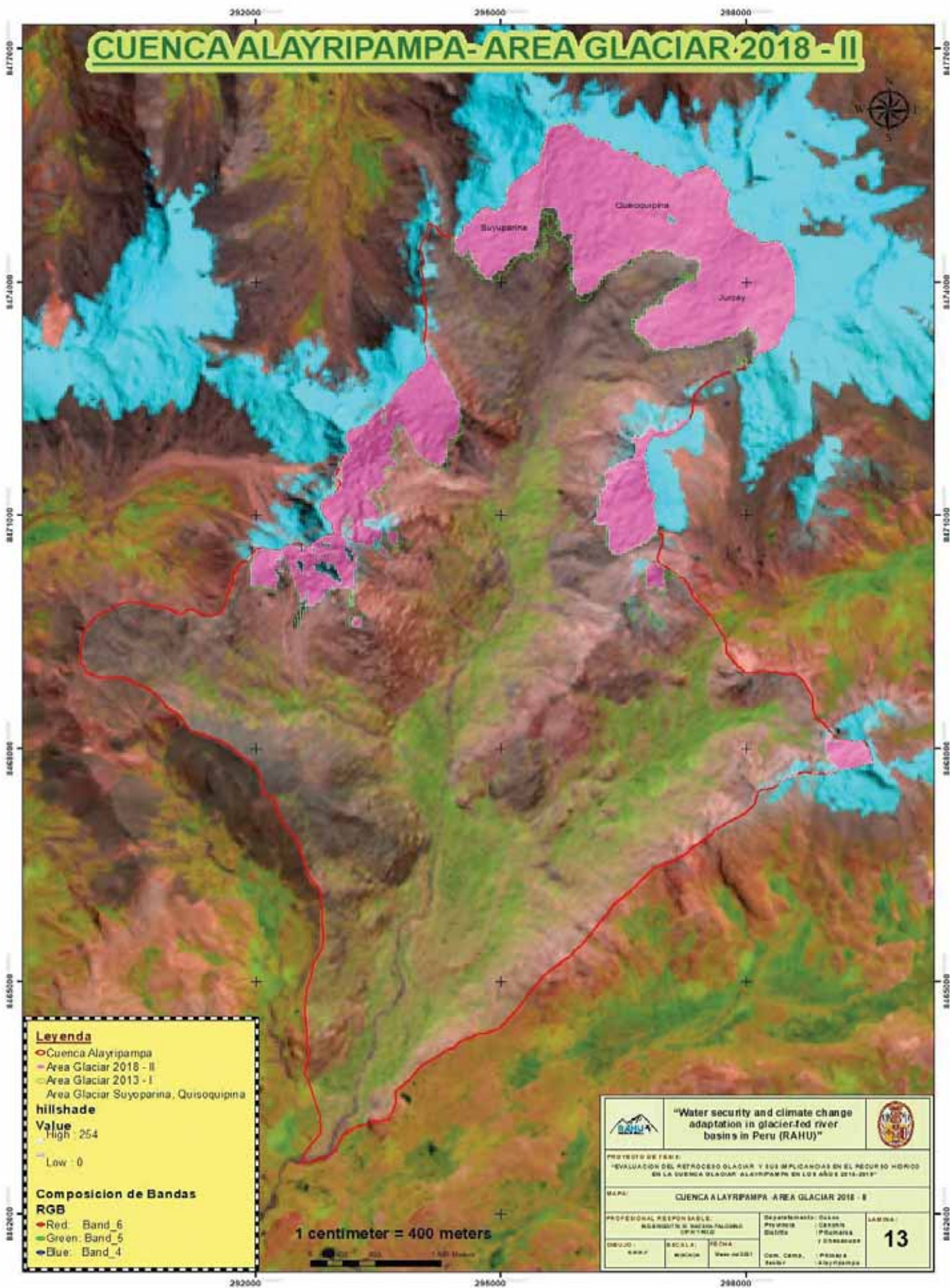
**1 centimeter = 400 meters**

<span style="font-weight: bold; font-size: small;">"Water security and climate change adaptation in glacier-fed river basins in Peru (RAHU)"</span>		
PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL RECURSO HIBRIDO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS AÑOS 2013-2016"		
MAPA: CUENCA ALAYRIPAMPA - AREA GLACIAR 2016 - III		
PROFESIONAL RESPONSABLE: ING. ANDRÉS M. SACASA PALMADO GEOMATEMATICO	DEPARTAMENTO: Cusco PROVINCIA: Paruro DISTRITO: Paruro y Chacabamba	LAMINA: <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">09</span>
DIBUJO: S.M.P.	ESCALA: 1:40000	FECHA: Mayo 2016 Com. Comp.: Paruro y Alayripampa

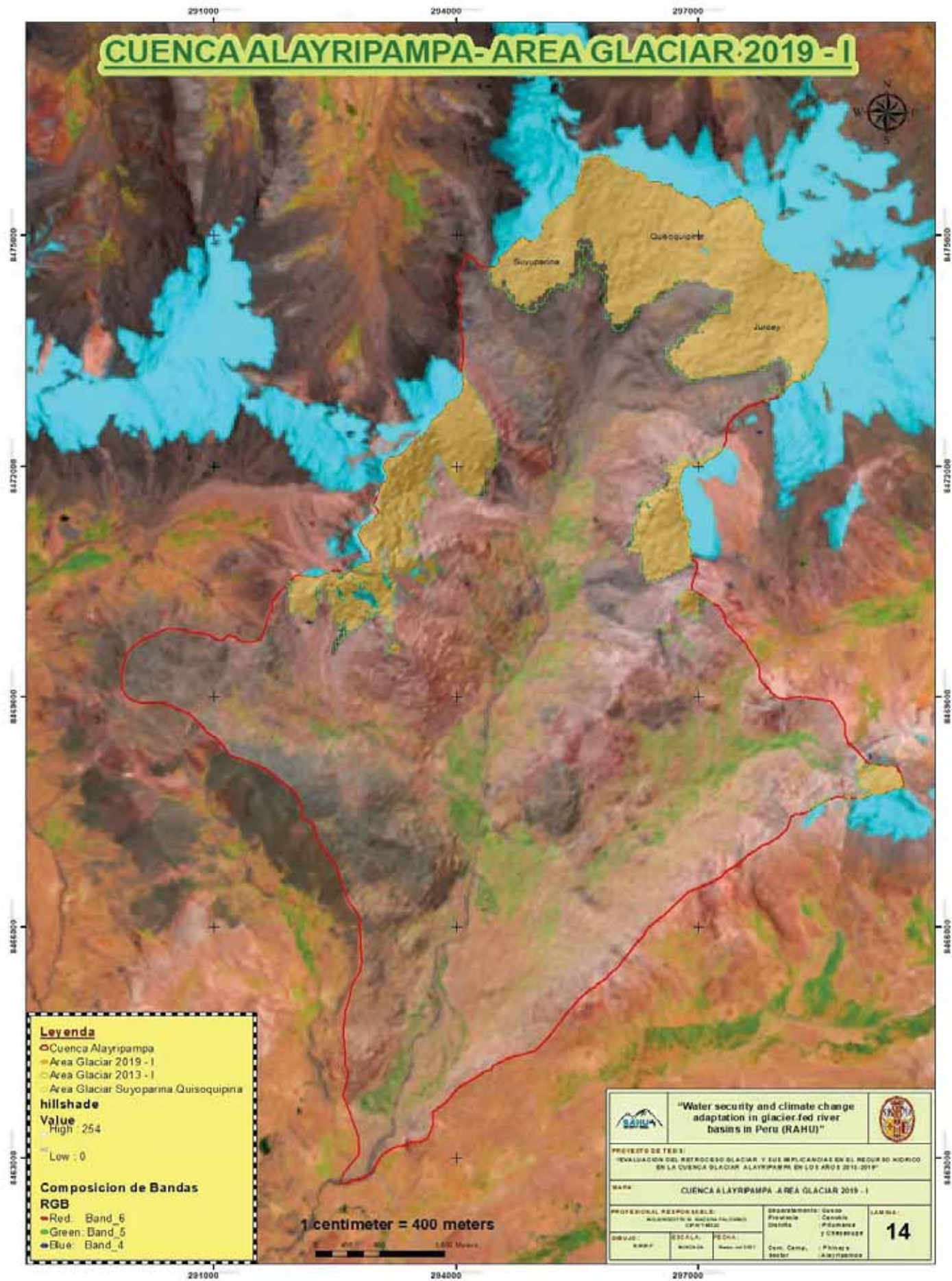


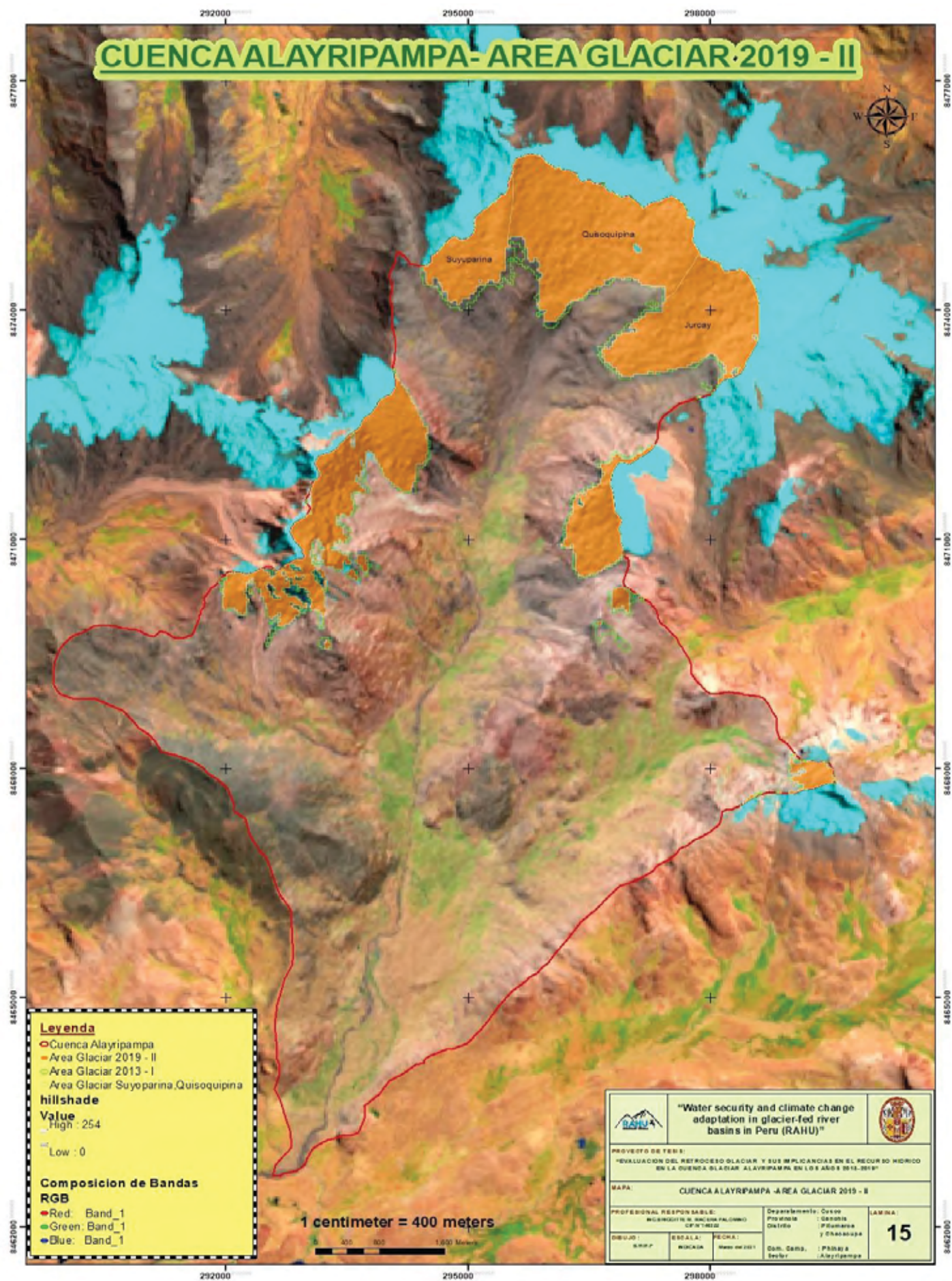


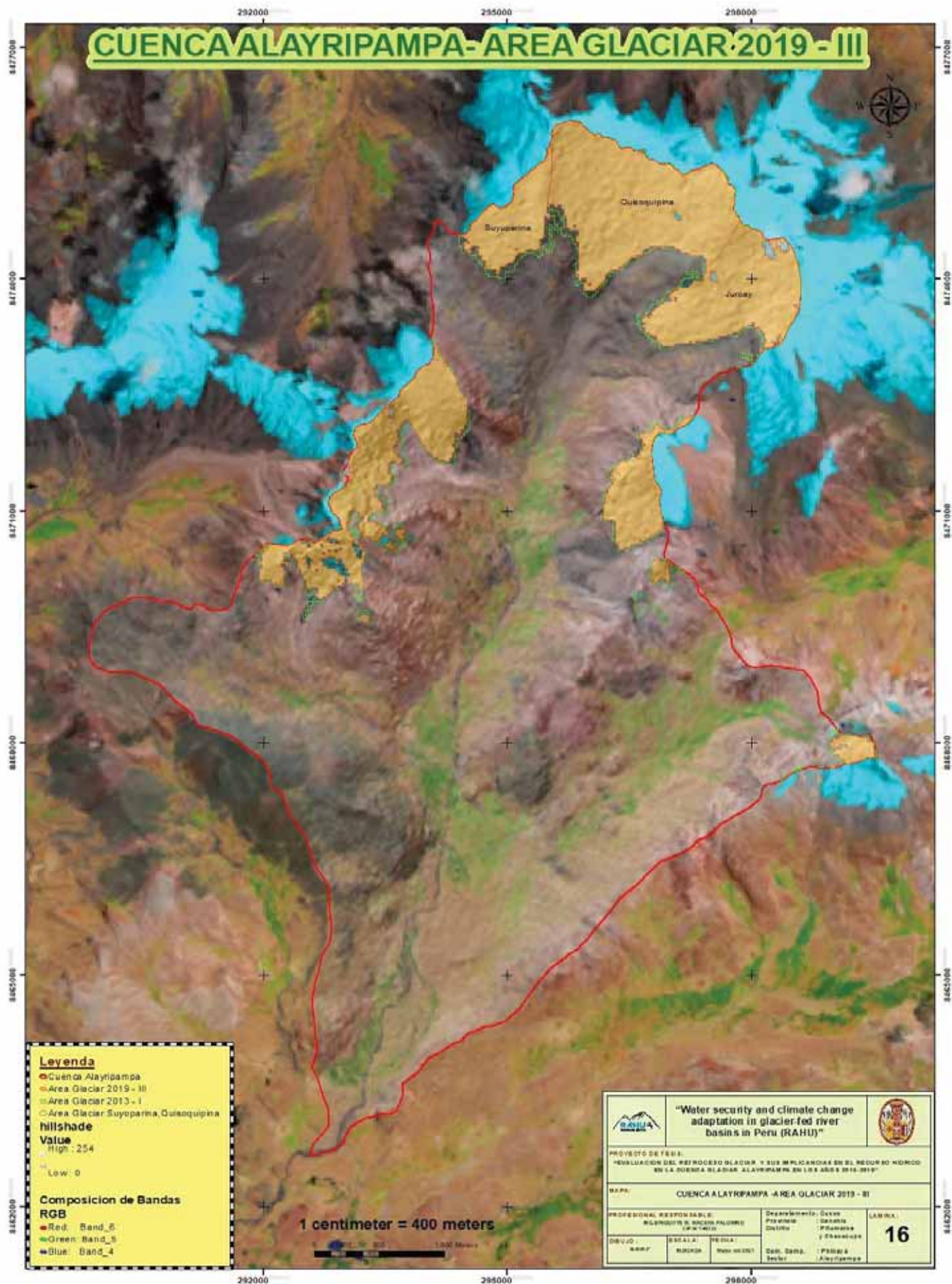














## J. ANALISIS DE FERTILIDAD Y CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS DE LOS NÚCLEOS



**LABORATORIO DE ANALISIS  
QUIMICO, FISICO DE SUELOS  
AGUAS Y PLANTAS**

CALLE ALMAGRO N° 190  
TELF.: 277471 - CEL: 984 163025  
SAN JERÓNIMO - CUSCO



---

### INFORME DE ANALISIS

TIPO ANALISIS : FERTILIDAD Y CARACTERIZACION.


PROCEDENCIA MUESTRA : BOFEDAL CUENCA ALAYRIPAMPA-PHINAYA,PITUMARCA CHECACUPE CANCHIS CUSCO.

INSTITUCION SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA – U T E C .


**ANALISIS DE FERTILIDAD Y CARACTERIZACION:**

N°	CLAVE	g/c.c. Da	% M.ORG	% N.TOTAL	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	RAHU-P1-0-50	0.30	20.17	1.01	--	--	--	HUMIFEROS
02	RAHU-P1-50-100	0.78	8.96	0.45	9	62	29	FRAN-ARCILLO-LIMOSO
03	RAHU-P1-100-150	0.81	5.15	0.26	5	66	29	FRAN-ARCILLO-LIMOSO
04	RAHU-P1-150-166	0.80	7.31	0.37	11	62	27	FRANCO-LIMOSO
05	RAHU-P2-0-50	0.32	16.98	0.85	--	--	--	HUMIFEROS
06	RAHU-P3-0-50	0.34	17.79	0.89	--	--	--	HUMIFEROS
07	RAHU-P3-50-100	0.35	17.50	0.87	--	--	--	HUMIFEROS
08	RAHU-P3-100-150	0.42	16.43	0.82	--	--	--	HUMIFEROS
09	RAHU-P3-150-200	0.40	18.35	0.92	--	--	--	HUMIFEROS
10	RAHU-P3-200-250	0.39	17.86	0.89	--	--	--	HUMIFEROS
11	RAHU-P3-250-300	0.30	19.38	0.97	--	--	--	HUMIFEROS
12	RAHU-P3-300-350	0.36	19.93	1.00	--	--	--	HUMIFEROS
13	RAHU-P3-350-400	0.30	21.46	1.07	--	--	--	HUMIFEROS
14	RAHU-P3-400-450	0.58	12.03	0.60	21	53	26	FRANCO-LIMOSO
15	RAHU-P3-450-500	0.31	19.88	0.99	--	--	--	HUMIFEROS
16	RAHU-P4-0-50	0.74	10.47	0.52	35	55	10	FRANCO-LIMOSO
17	RAHU-P4-50-100	0.43	19.72	0.97	--	--	--	HUMIFEROS
18	RAHU-P4-100-150	0.48	20.06	1.00	--	--	--	HUMIFEROS
19	RAHU-P4-150-200	1.39	19.41	0.97	49	42	9	FRANCO
20	RAHU-P4-200-250	1.56	4.27	0.21	35	56	9	FRANCO-LIMOSO
21	RAHU-P5-0-50	1.02	3.64	0.18	15	38	47	ARCILLOSO
22	RAHU-P5-50-100	0.67	17.83	0.89	55	45	0.0	FRANCO-ARENOSO

CUSCO, 12 DE JUNIO DEL 2,020.



ING. AGRO. Marco Antonio Yapura Coyo  
CIP: 217901  
QUIMICA DE SUELOS Y FERTILIZANTES



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO FISICO DE SUELOS AGUAS  
PAULITO YAPURA CONDORI  
ANALISTA QUIMICA DE SUELOS AGUAS Y PLANTAS



# LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO, FISICO DE SUELOS AGUAS Y PLANTAS

CALLE ALMAGRO N° 190  
TELF.: 277471 - CEL: 984 163025  
SAN JERÓNIMO - CUSCO



## INFORME DE ANALISIS

TIPO ANALISIS : FERTILIDAD Y CARACTERIZACION.

PROCEDENCIA MUESTRA : BOFEDAL CUENCA ALAYRIPAMPA-PHINAYA, PITUMARCA CHECACUPE CANGHIS  
CUSCO.

INSTITUCION SOLICITANTE : UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA - U T E C .

### ANALISIS DE FERTILIDAD Y CARACTERIZACION:

N°	CLAVE	g/c.c. Da	% M.ORG	% N.TOTAL	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
23	RAHU-P5-100-150	0.79	5.44	0.27	27	68	5	FRANCO-LIMOSO
24	RAHU-P5-150-200	0.80	16.21	0.81	39	51	10	FRANCO-LIMOSO
25	RAHU-P6-0-50	0.88	5.83	0.29	19	34	47	ARCILLOSO
26	RAHU-P6-50-100	0.79	6.90	0.34	11	39	50	ARCILLOSO
27	RAHU-P6-100-150	0.67	7.14	0.36	14	57	29	FRAN-ARCILLO-LIMOSO
28	RAHU-P6-150-200	0.56	8.96	0.45	17	68	15	FRANCO-LIMOSO
29	RAHU-P6-200-250	1.15	4.90	0.24	9	76	15	FRANCO-LIMOSO
30	RAHU-P6-250-300	1.25	4.12	0.21	1	48	51	FRANCO-LIMOSO
31	RAHU-P7-0-50	0.38	16.93	0.85	--	--	--	HUMIFEROS
32	RAHU-P7-50-100	0.39	17.82	0.89	--	--	--	HUMIFEROS
33	RAHU-P7-100-150	0.53	15.63	0.78	--	--	--	HUMIFEROS
34	RAHU-P7-150-200	0.97	18.41	0.92	57	29	14	FRANCO-ARENOSO
35	RAHU-P7-200-250	1.02	8.34	0.42	49	37	14	FRANCO
36	RAHU-P8-0-50	1.08	1.47	0.07	25	51	24	FRANCO-LIMOSO
37	RAHU-P8-50-100	1.11	3.25	0.16	20	48	32	FRANCO-ARCILLOSO
38	RAHU-P8-100-150	1.07	2.10	0.10	21	40	39	FRANCO-ARCILLOSO
39	RAHU-P8-150-168	1.15	4.51	0.22	35	37	28	FRANCO-ARCILLOSO
40	RAHU-P9-0-50	1.03	4.68	0.23	39	42	19	FRANCO
41	RAHU-P9-50-100	1.14	4.26	0.21	15	56	29	FRAN-ARCILLO-LIMOSO
42	RAHU-P9-100-110	1.18	1.84	0.09	17	50	33	FRAN-ARCILLO-LIMOSO

CUSCO, 12 DE JUNIO DEL 2,020.

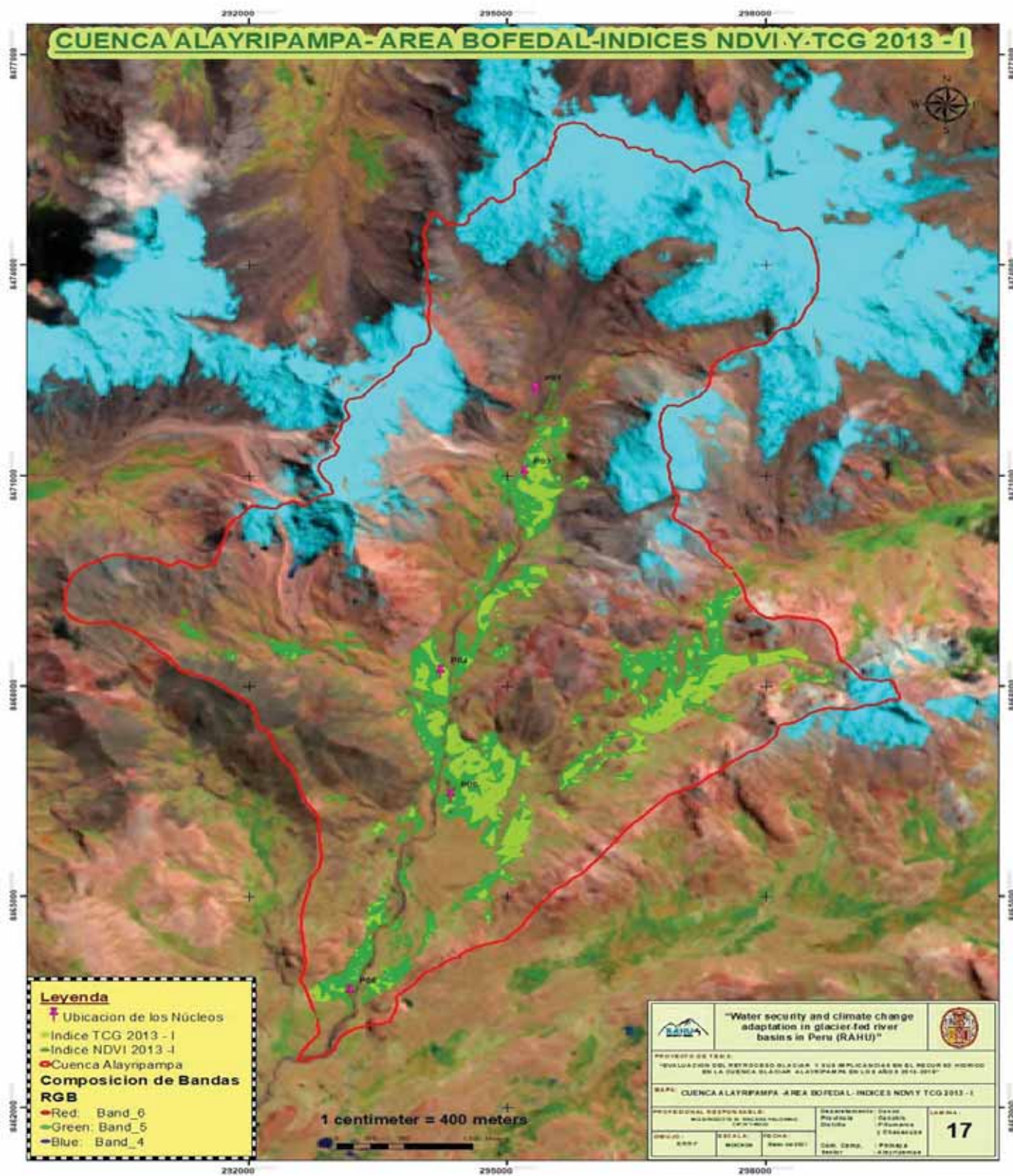


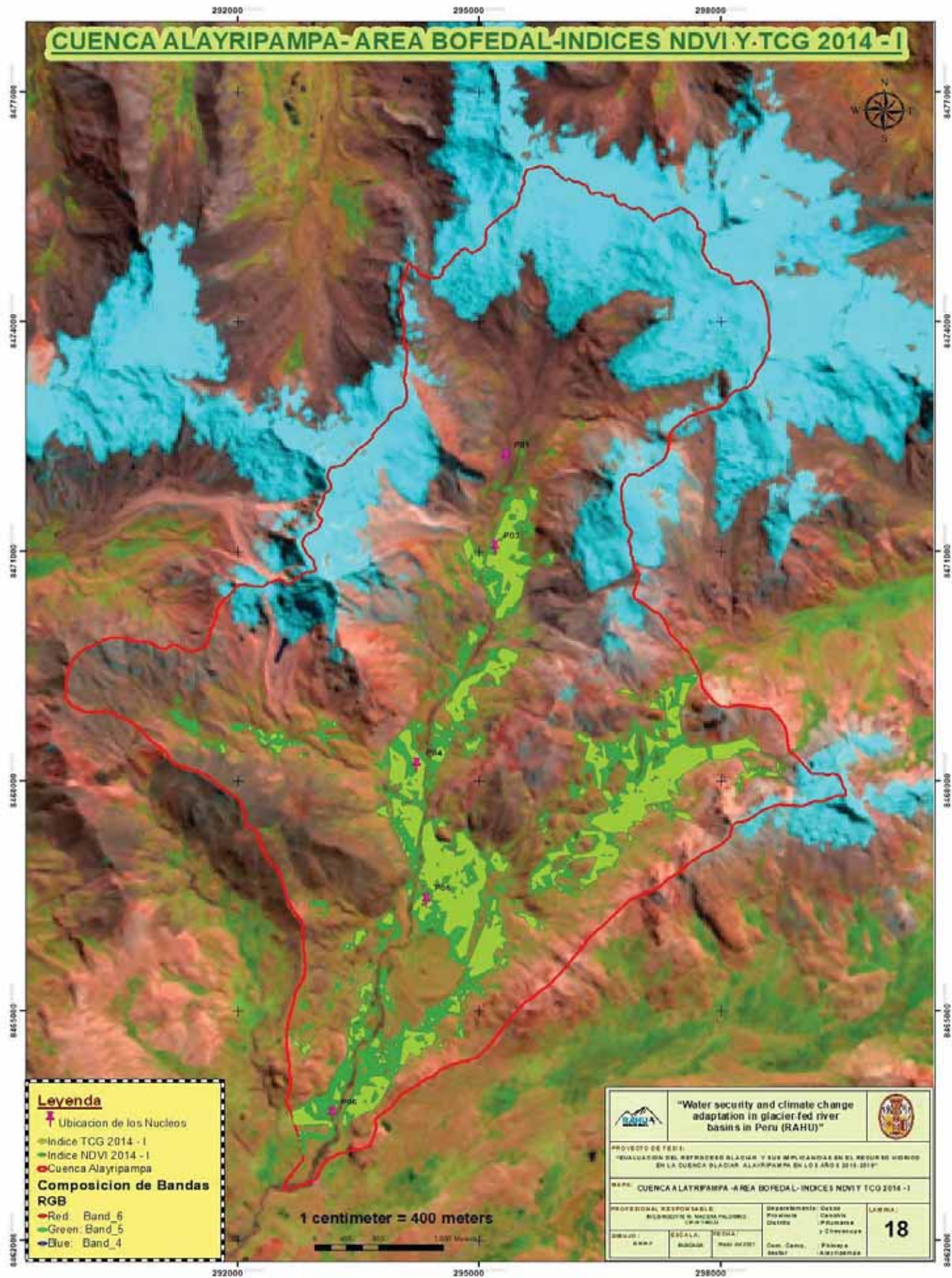
ING. AGRO. Marco Antonio Yapura Cayo  
CIP: 217601  
QUIMICA DE SUELOS Y FERTILIZANTES

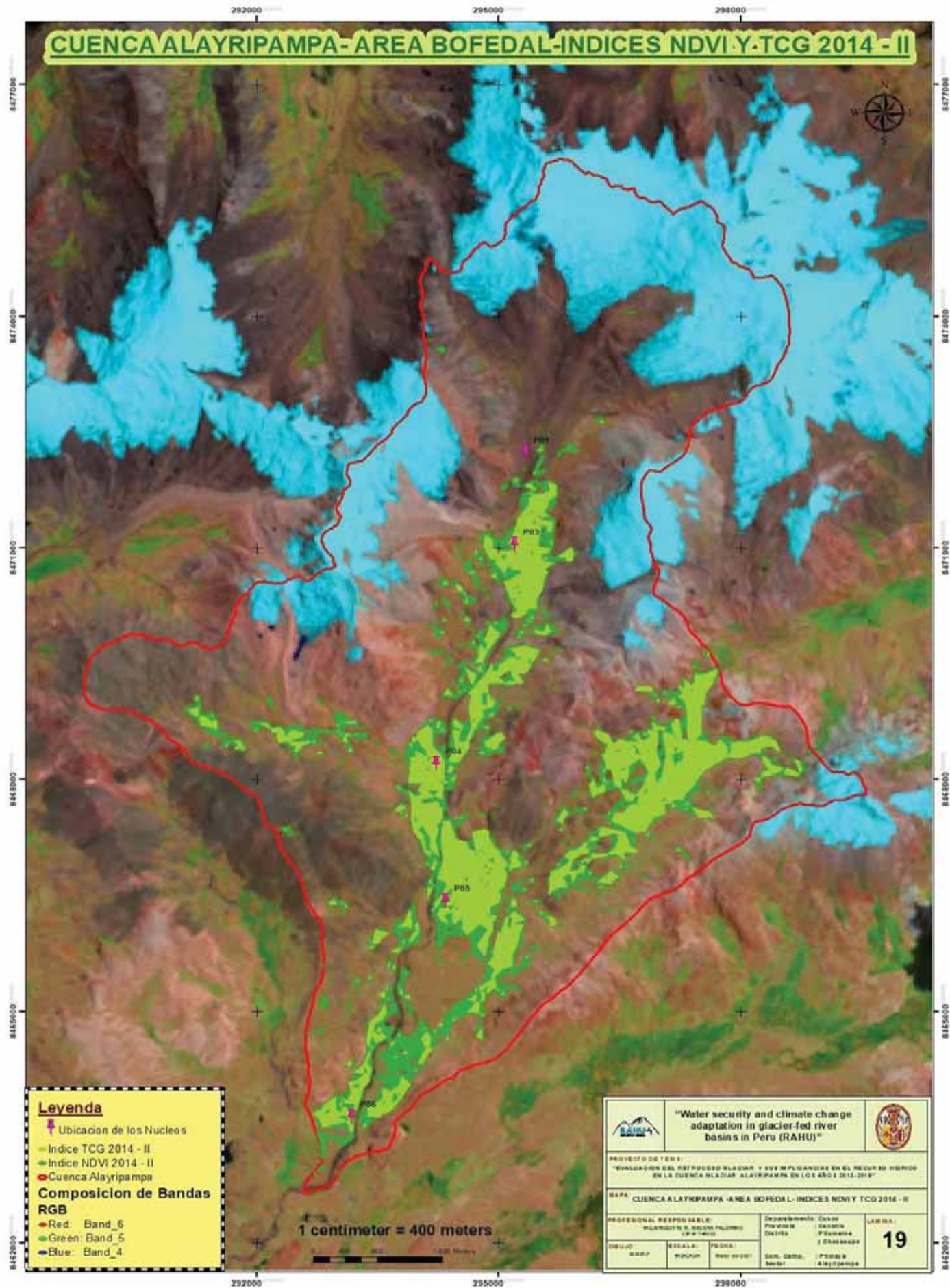


FAUSTO YAPURA CONDORI  
ANALISTA QUIMICA DE SUELOS AGUAS Y PLANTAS

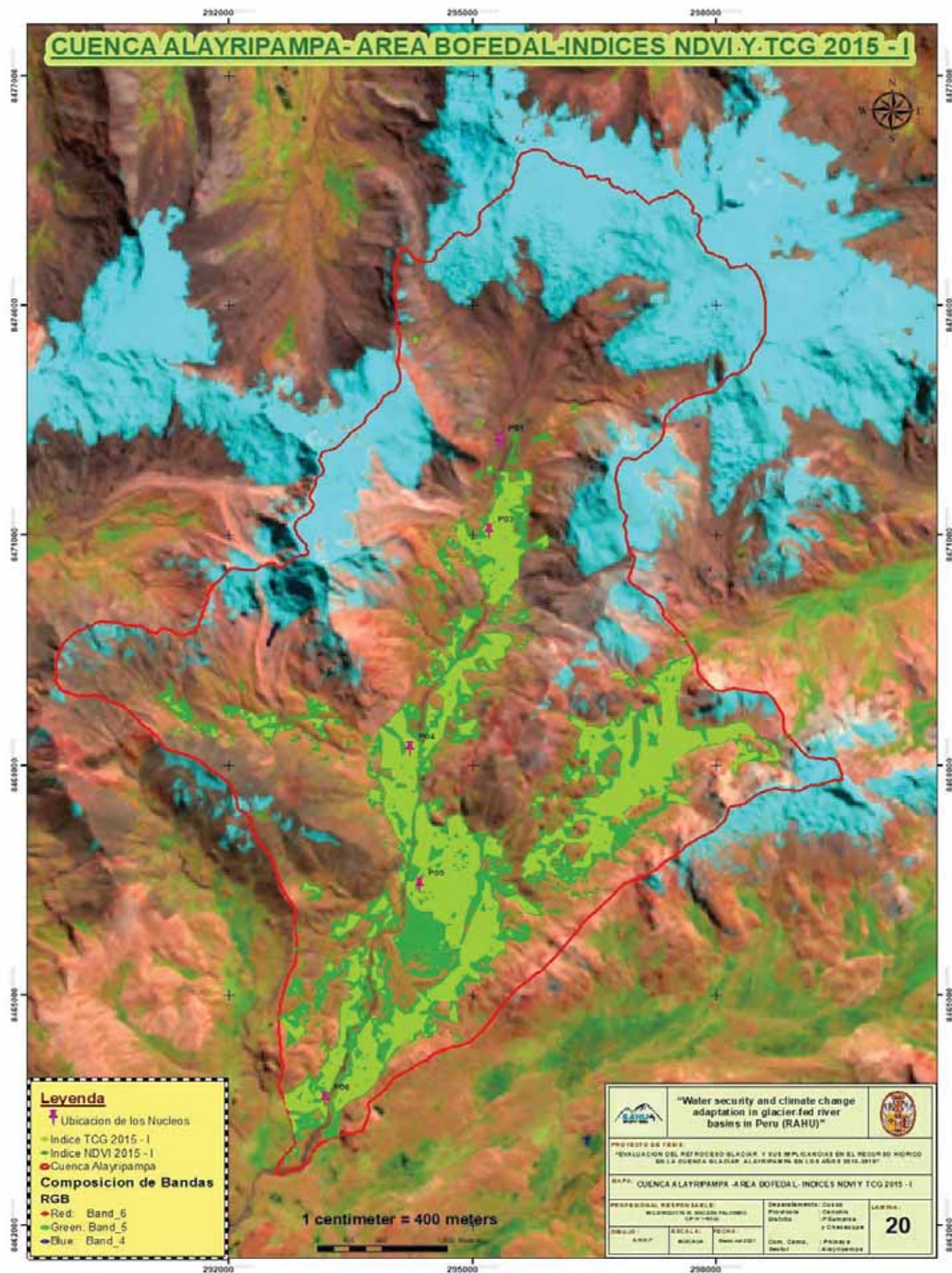
K. MAPAS DE AREA DE BOFEDAL POR AÑOS SEGÚN INDICES NDVI Y TCG

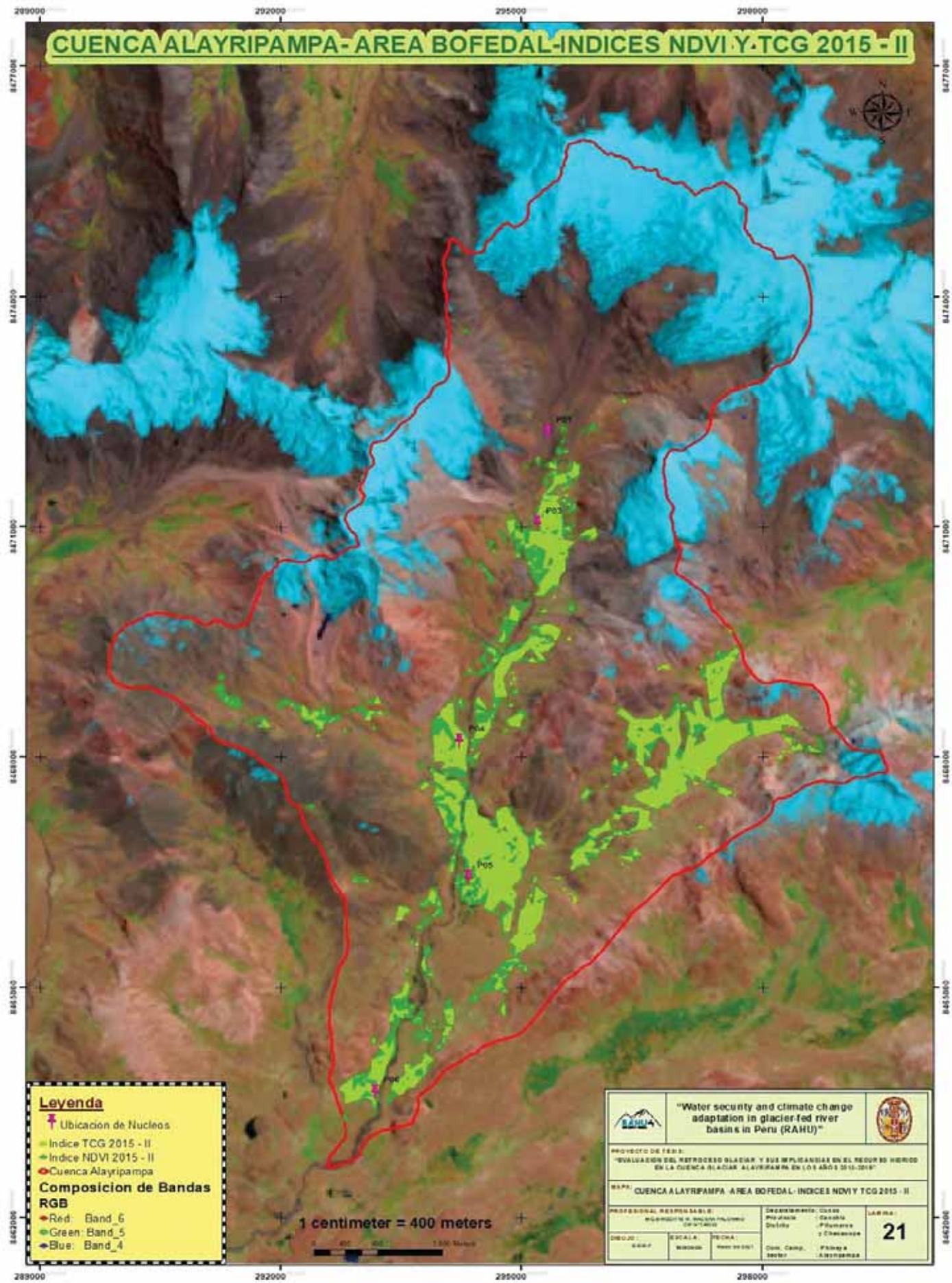












**CUENCA ALAYRIPAMPA-AREA BOFEDAL-INDICES NDVI Y.TCG 2015 - II**

**Legenda**

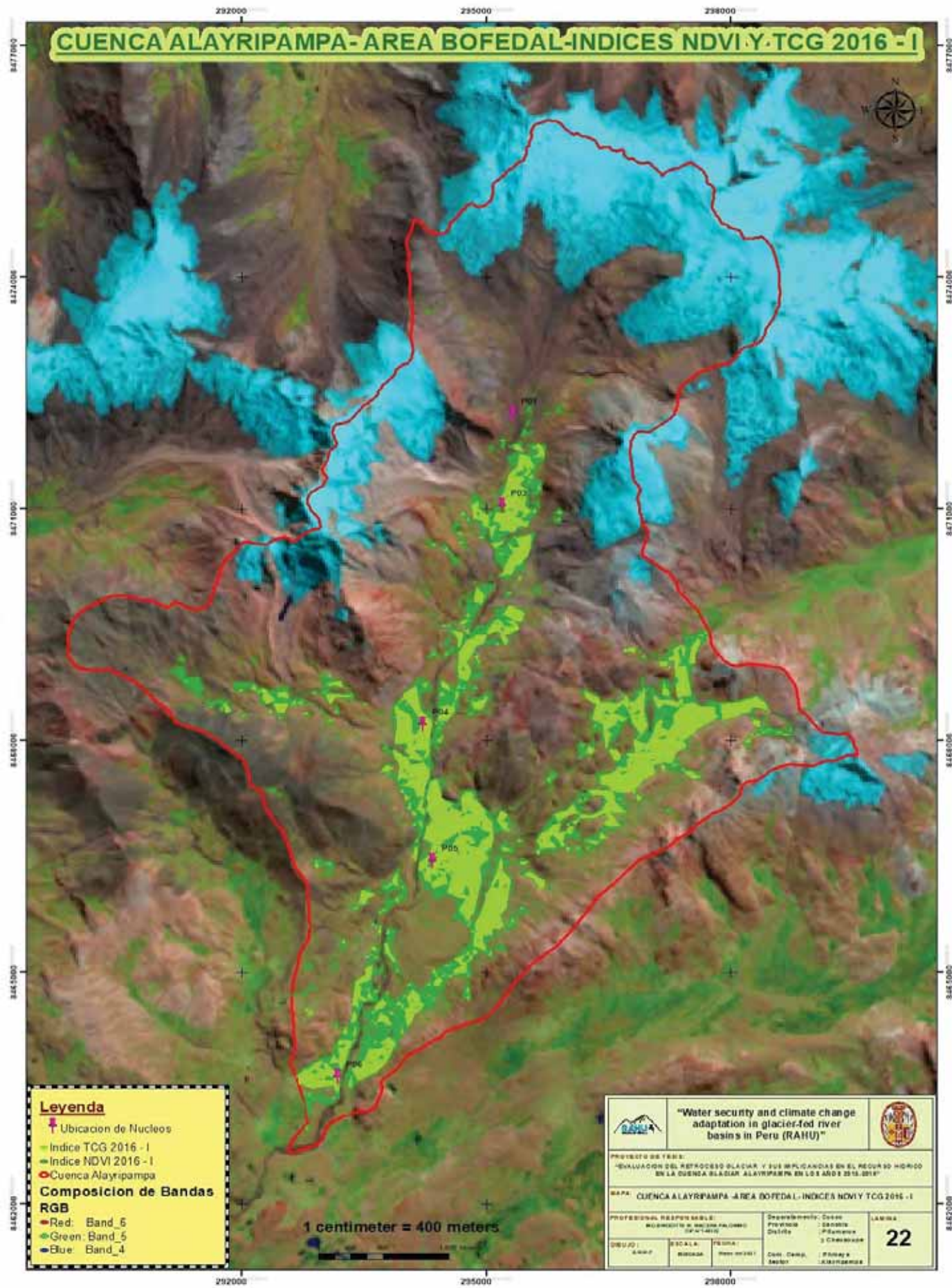
- Ubicacion de Nucleos
- Indice TCG 2015 - II
- Indice NDVI 2015 - II
- Cuenca Alayripampa

**Composicion de Bandas RGB**

- Red: Band\_6
- Green: Band\_5
- Blue: Band\_4

1 centimeter = 400 meters

		<b>"Water security and climate change adaptation in glacier fed river basins in Peru (RAHU)"</b>			
PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL RECURSO HEDRICO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS AÑOS 2015-2016"					
RAHU: CUENCA ALAYRIPAMPA AREA BOFEDAL- INDICES NDVI Y TCG 2015 - II					
PROFESIONAL RESPONSABLE: INGENIERO EN GEOMATIA DANIELA TORO		DIRECCION DE CUENCA: Pirajinca Cuzco Pirajinca y Obispo		LAPINA: <b>21</b>	
DISEÑO: RAHU	ESCALA: 1:5000	FECHA: MAR 2017	CON. CAMP.:	PRIMERA:	SEGUNDA:



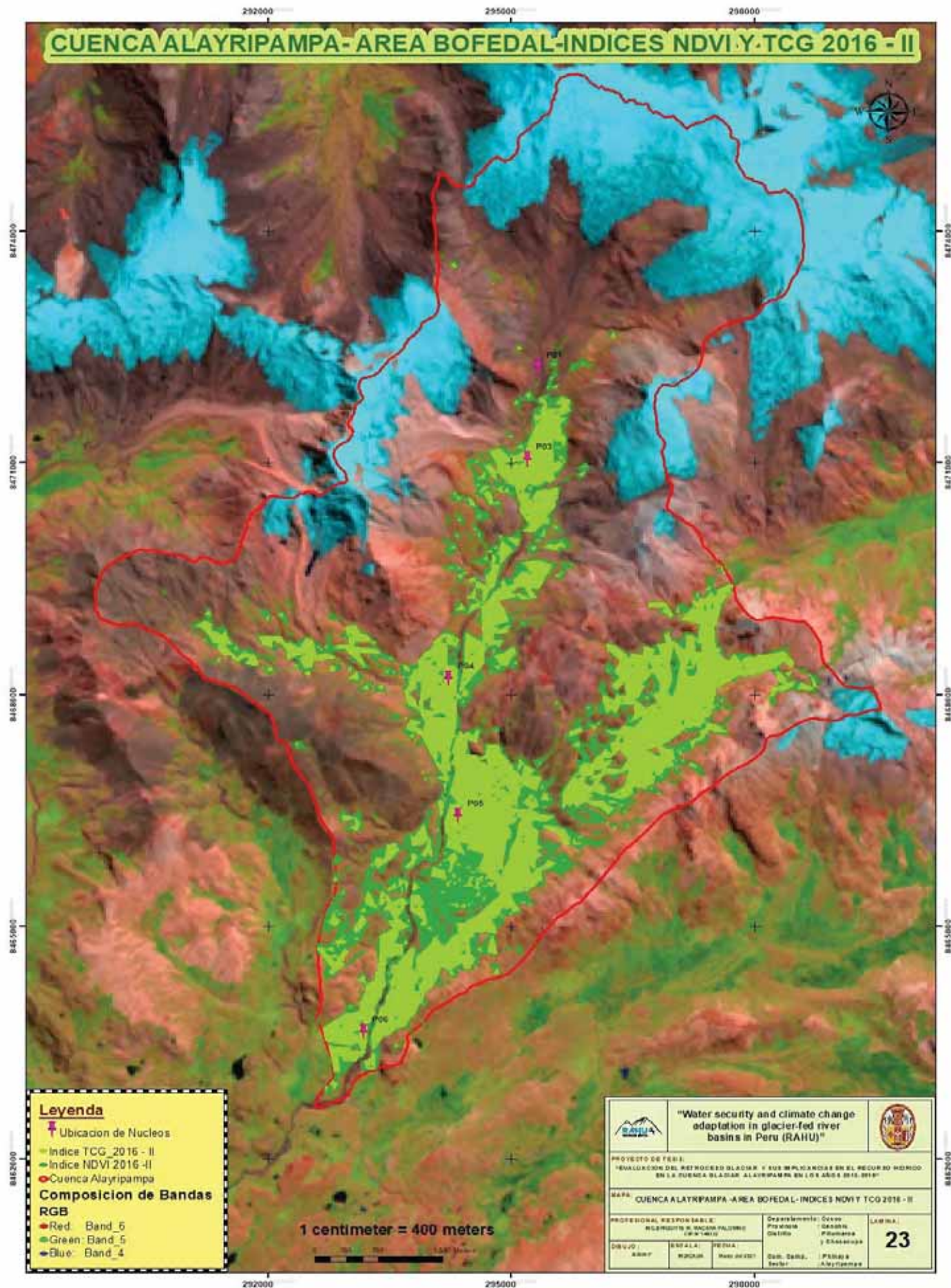
**Leyenda**

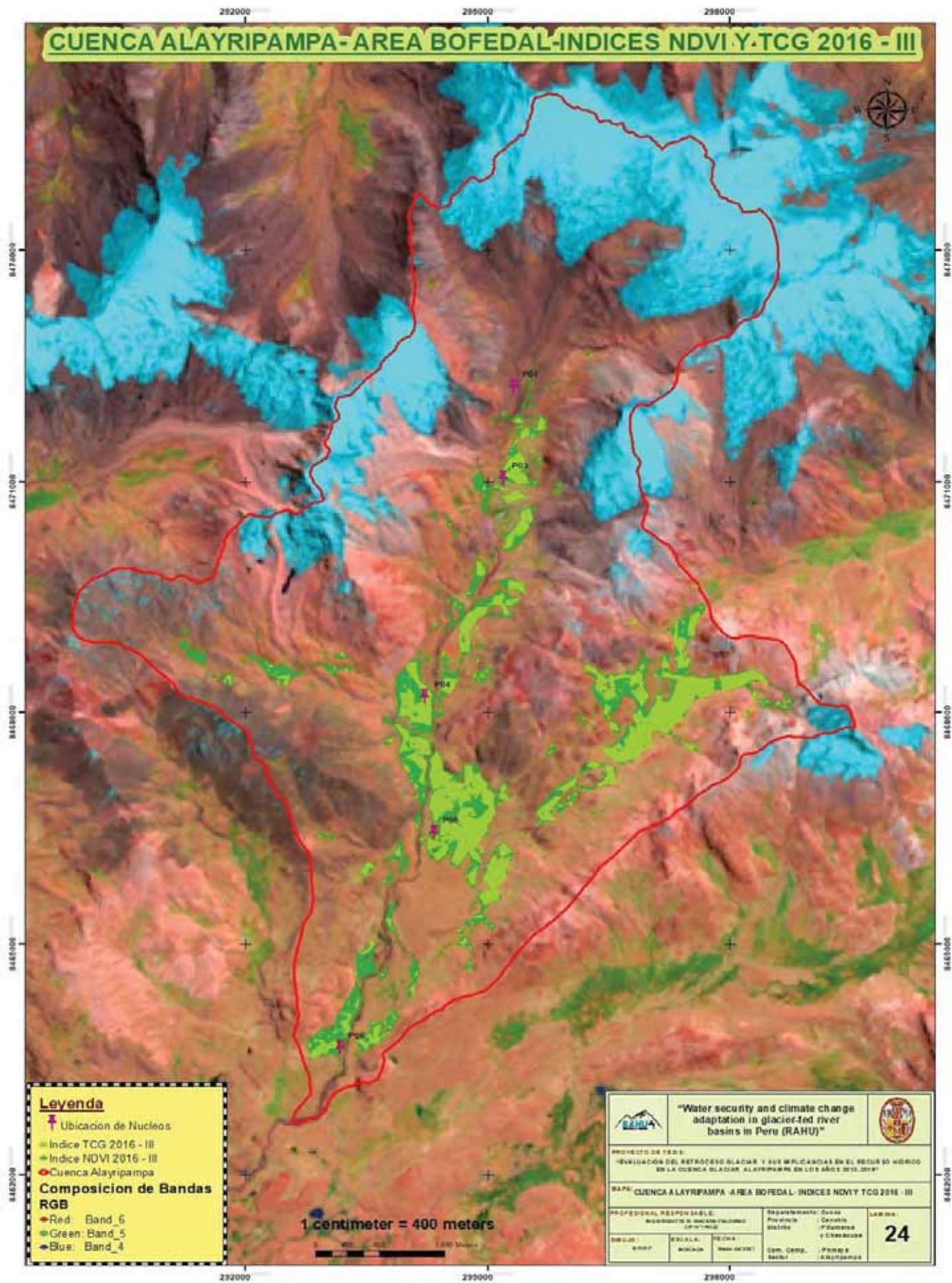
- Ubicación de Nucleos
- Índice TCG 2016 - I
- Índice NDVI 2016 - I
- Cuenca Alayripampa

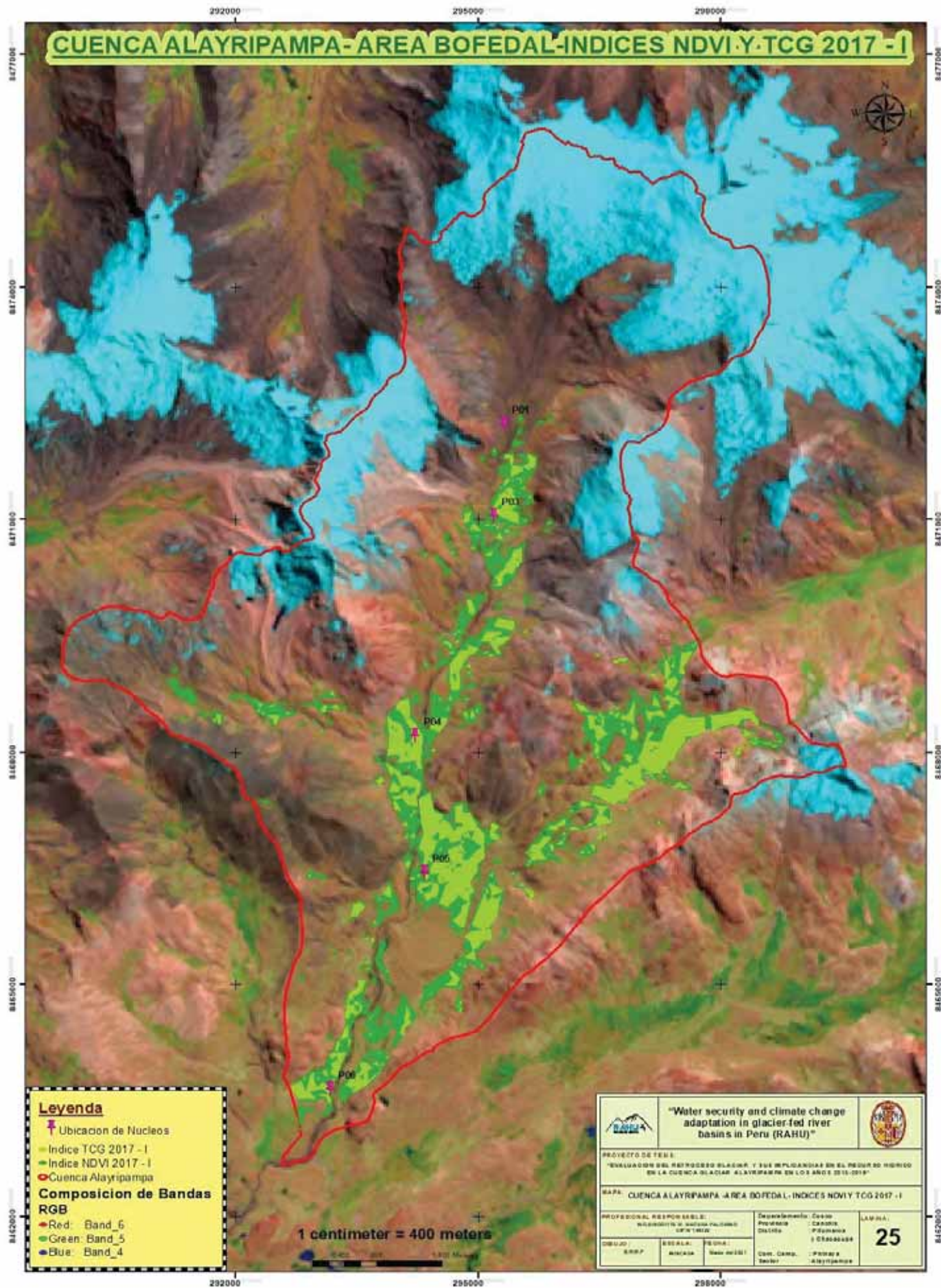
**Composicion de Bandas RGB**

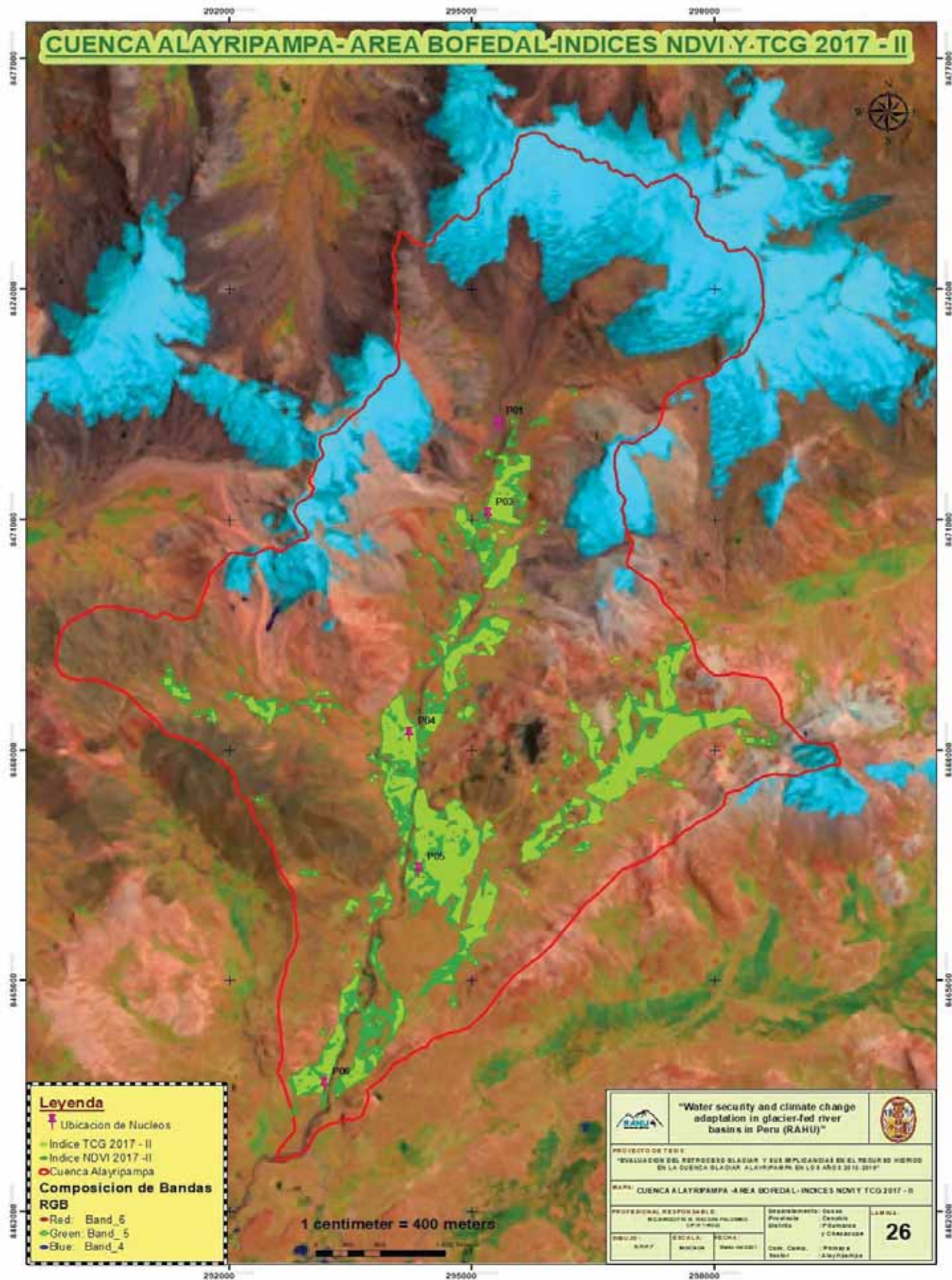
- Red: Band\_5
- Green: Band\_5
- Blue: Band\_4

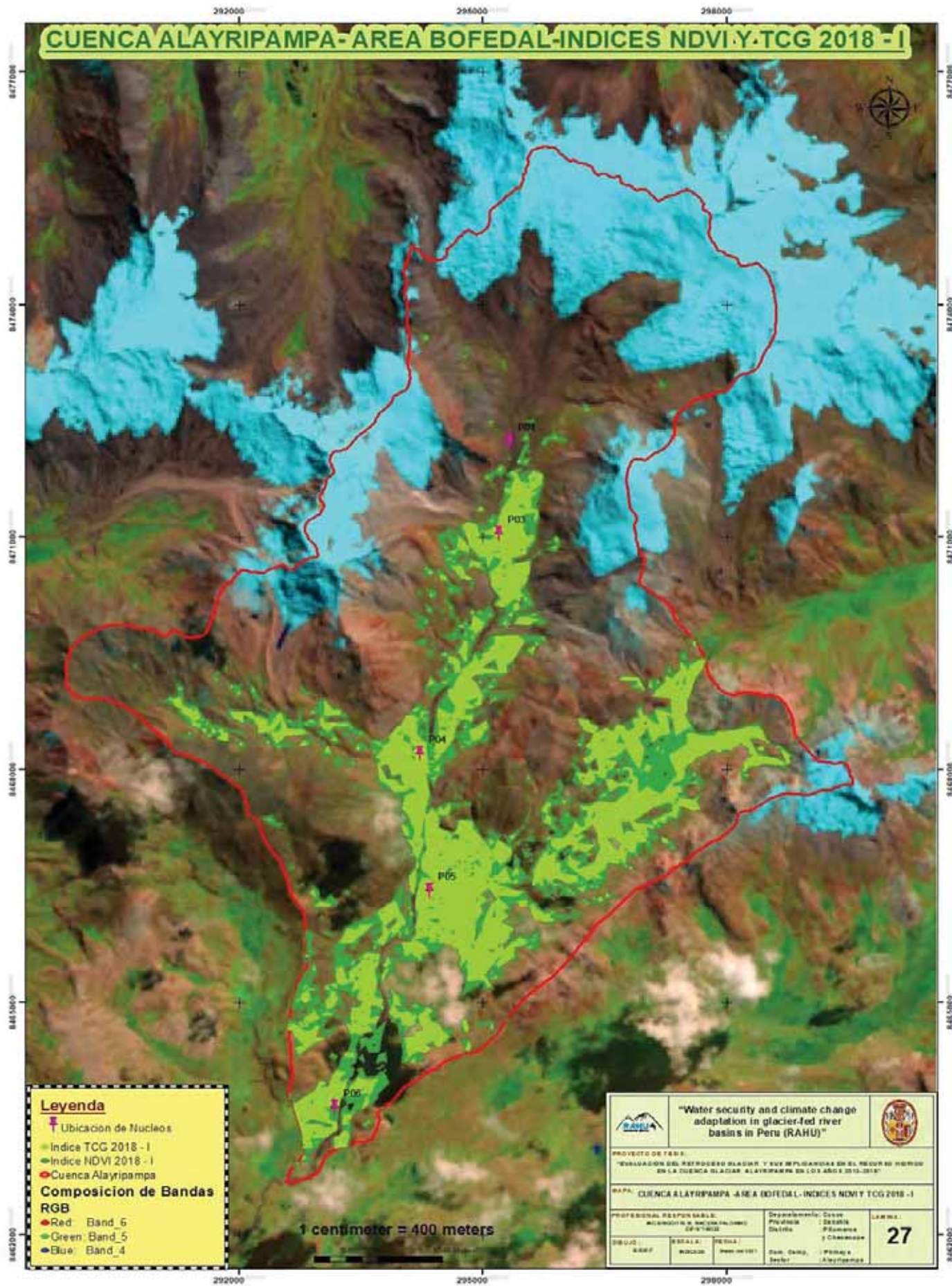
		<p><b>"Water security and climate change adaptation in glacier-fed river basins in Peru (RAHU)"</b></p>			
<p>PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION DEL RETROCESO GLACIAR Y SUS IMPLICANCIAS EN EL RECURSO HIDRICO EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA EN LOS AÑOS 2015, 2016"</p>					
<p>TITULO: CUENCA ALAYRIPAMPA - AREA BOFEDAL - INDICES NDVI Y TCG 2016 - I</p>					
<p>PROFESIONAL RESPONSABLE: MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL DIPLOMADO EN INGENIERIA EN SISTEMAS DE AGUAS</p>			<p>Supervisor(a): Dra. Patricia Pacheco Dra. Patricia Pacheco</p>		<p>LAMINA <b>22</b></p>
<p>DEPARTAMENTO: AREQUIPA</p>	<p>ESCUELA: INGENIERIA</p>	<p>SECCION: INGENIERIA EN SISTEMAS DE AGUAS</p>	<p>CARRERA: INGENIERIA CIVIL</p>	<p>SEMESTRE: SEXTO</p>	<p>CIUDAD: AREQUIPA</p>



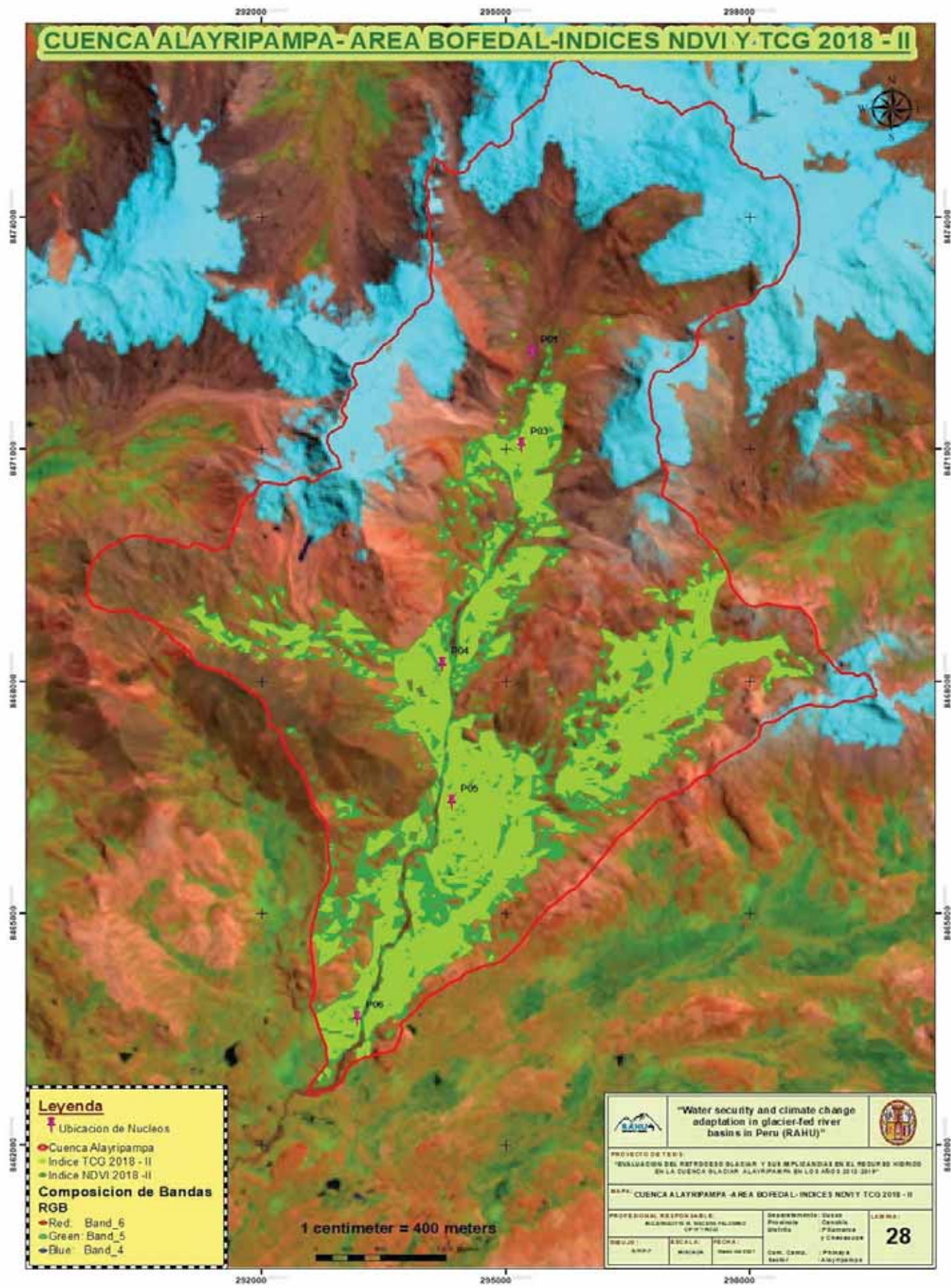


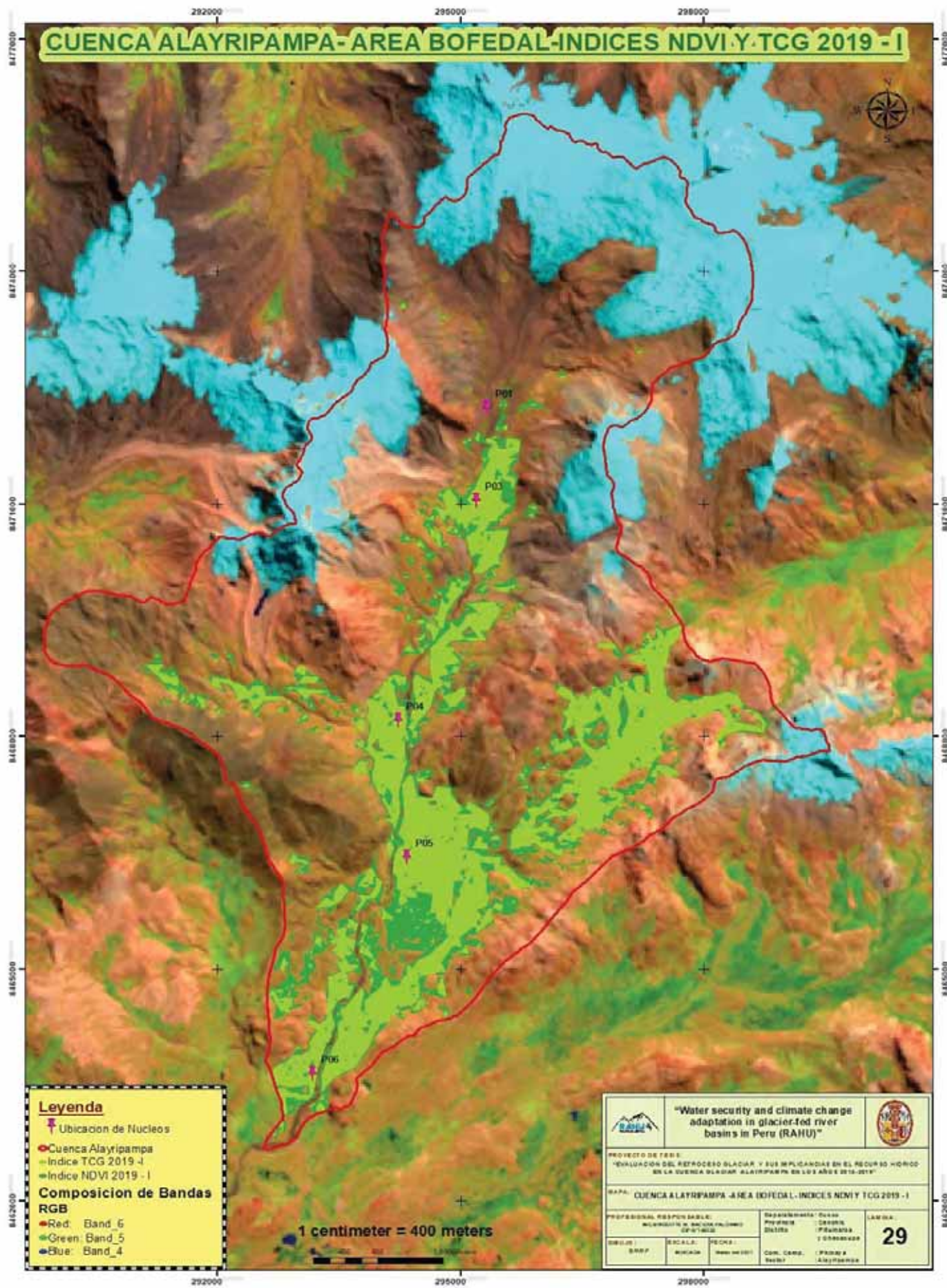


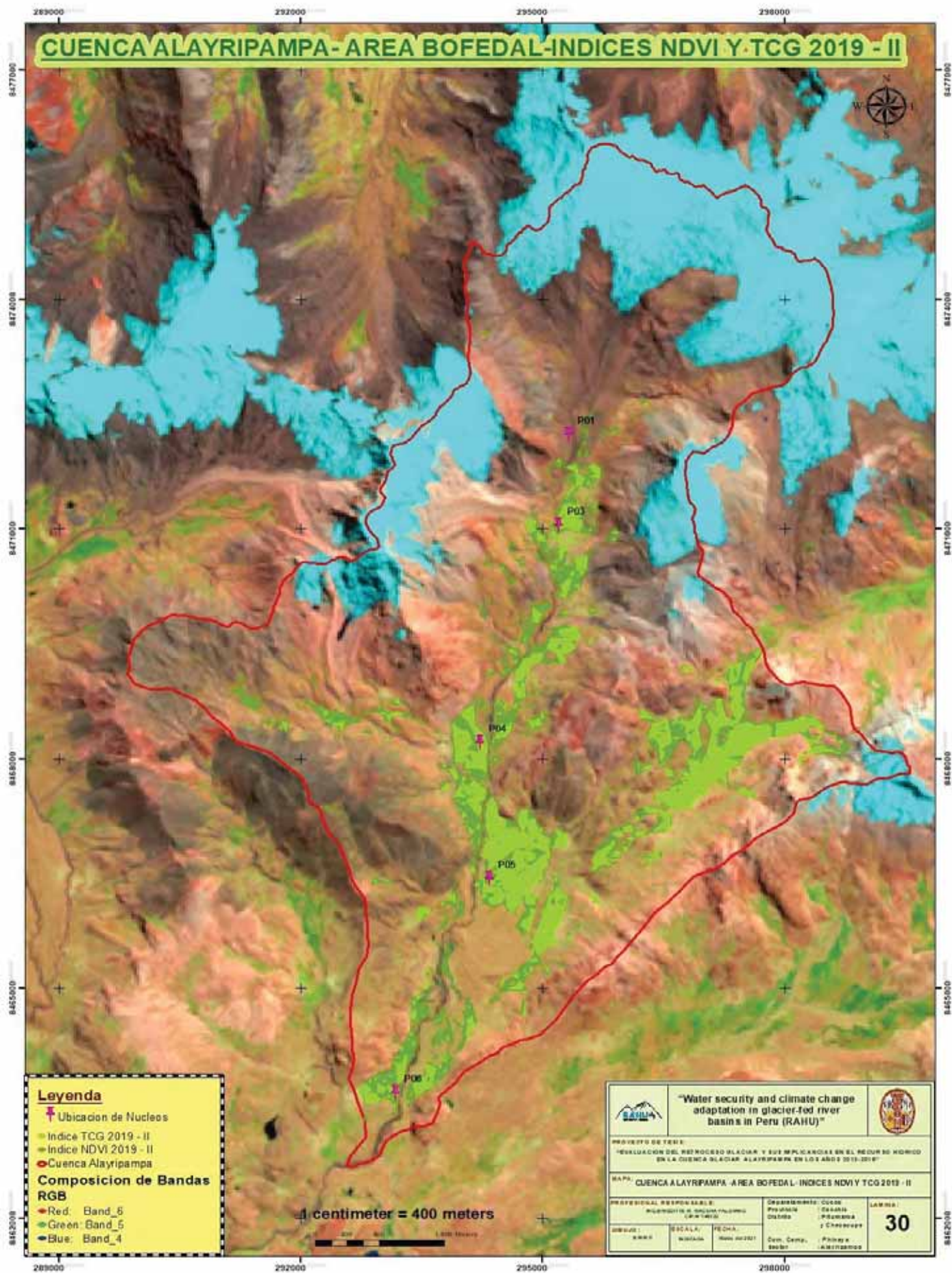


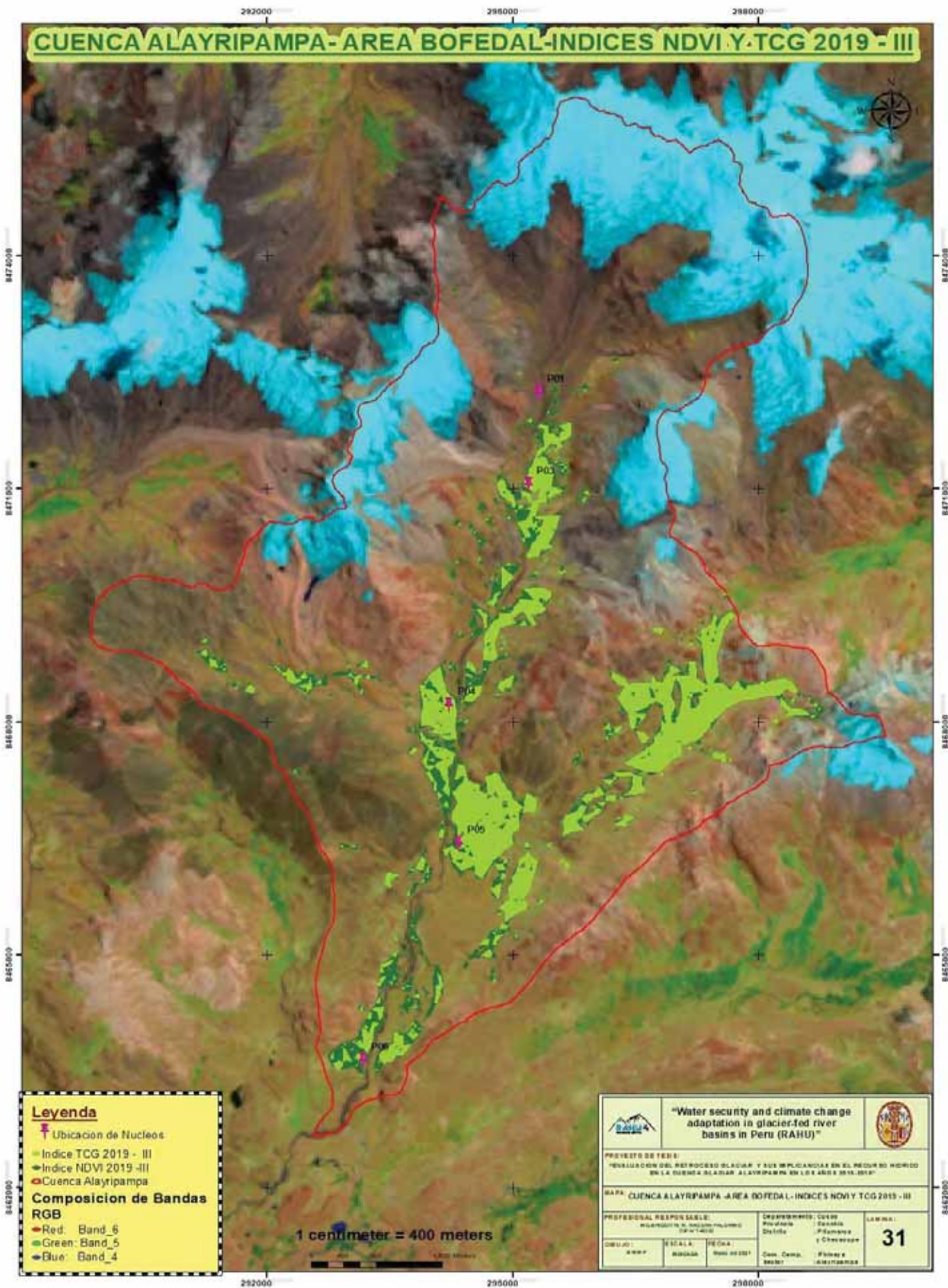












## **L. GENERACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA GLACIAR ALAYRIPAMPA**

**M. GENERACIÓN DE TEMPERATURA MÁXIMA EN LA CUENCA GLACIAR  
ALAYRIPAMPA**

**N. GENERACIÓN DE TEMPERATURA MÍNIMA EN LA CUENCA GLACIAR  
ALAYRIPAMPA**

## O. GENERACIÓN DE CAUDALES MÉTODO HIDROLÓGICO DE LUTZ SHOLZ



## P. SCRIPTS RSTUDIO

### Q. PANEL FOTOGRÁFICO



Brigitte M. Macera -glaciar Quisoquipina



Área de ubicación, glaciares Suyoparina y Quisoquipina, cuenca Alayripampa.



Sandro Arias, glaciar Quisoquipina, formación vegetal.



Nilton Montoya, Sandro Arias, en área de morrenas, cuenca Alayripampa.



Sandro Arias, ubicación del primer sensor (medición de caudales) en la cuenca glaciar Alayripampa.



Nilton Montoya, Sandro Arias, Nicolás Macedo, ubicación del segundo sensor (medición de caudales) en la cuenca glaciar Alayripampa.



Bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Brigitte Macera área bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.

Fauna de la cuenca glaciar Alayripampa.



Jan Baiker, fotografiando las muestras de los núcleos del bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Brigitte Macera área bofedal, morrena de la cuenca glaciar Alayripampa.



Brigitte Macera situación del área bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Vegetación del bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Jorge Cardenas, Brigitte Macera, vegetación del bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Jorge Cardenas, toma de muestras de núcleos con barreno de 4".



Jan Bayker (fotografía de muestras), Jorge Cardenas (introducción del barreno de 4" para sacar núcleos).



Jorge Cardenas, ubicación estratégica del barreno de 4”.



David Mendoza, Alfredo Ccahuana y Adrian Ccahuana, trabajos de campo obtención de núcleos en el bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Nivel superficial del agua, en el bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Vegetacion del bofedal de la cuenca glaciar Alayripampa.



Obtención de núcleos con barreno de 4".



Obtención de núcleos con barreno de 4".



Medición de la turba obtenida con el barreno de 4".



Medición de estratos inferiores obtenidos con el barreno de 4".