

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS
ORGÁNICOS PERSISTENTES EN HIELO Y
SEDIMENTO DE LA LAGUNA EN FORMACIÓN,
EN CONTACTO CON LA COBERTURA GLACIAR
PASTORURI, CORDILLERA BLANCA AL 2017”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORA:

Bach. KARLA PAMELA CORDOVA MORALES

ASESORES:

Ing. RAFAEL RAMON FIGUEROA TAUQUINO

Dr. Quím. AMÉRICO CJUNO HUANCA

**Huaraz, Ancash, Perú
Diciembre, 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS
ORGÁNICOS PERSISTENTES EN HIELO Y
SEDIMENTO DE LA LAGUNA EN FORMACIÓN,
EN CONTACTO CON LA COBERTURA GLACIAR
PASTORURI, CORDILLERA BLANCA AL 2017”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORA:

Bach. KARLA PAMELA CORDOVA MORALES

ASESORES:

Ing. RAFAEL RAMON FIGUEROA TAUQUINO

Dr. Quím. AMÉRICO CJUNO HUANCA

**Huaraz, Ancash, Perú
Diciembre, 2018**



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI
Resolución de Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: CORDOVA MORALES KARLA PAMELA
Código de alumno: 102.0605.006 Teléfono: 969815841
Correo electrónico: karpacor@gmail.com DNI o Extranjería: 70902069

2. Datos del Autor:

Trabajo de investigación Trabajo académico
 Trabajo de suficiencia profesional Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller Título Segunda especialidad
 Licenciado Magister Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

“DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES EN HIELO Y SEDIMENTO DE LA LAGUNA EN FORMACIÓN, EN CONTACTO CON LA COBERTURA GLACIAR PASTORURI, CORDILLERA BLANCA AL 2017”

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL

7. Asesores:

Apellidos y Nombres: FIGUEROA TAUQUINO RAFAEL RAMON	Teléfono: 992205101
Correo electrónico: figueroatauquino.rafaelramon2@gmail.com	DNI o Extranjería: 32035027
Apellidos y Nombres: CJUNO HUANCA JESÚS AMÉRICO	Teléfono: 997087771
Correo electrónico: amecj@iclaro.com.pe	DNI o Extranjería: 23850854

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito respecto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 70902069

FECHA: Huaraz, 10 de abril de 2019



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES EN HIELO Y SEDIMENTO DE LAGUNA EN FORMACIÓN, EN CONTACTO CON LA COBERTURA GLACIAR PASTORURI, CORDILLERA BLANCA, 2017**, que presenta **CORDOVA MORALES KARLA PAMELA** para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de: *DIECISEIS* (16)

En consecuencia, **CORDOVA MORALES KARLA PAMELA** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 21 de Diciembre de 2018

Dr. César Manuel Gregorio Dávila Paredes
Presidente
Jurado de sustentación

Dr. Maximiliano Loarte Rubina
Jurado de sustentación

MSc. Mario Vladimyr Leyva Collas
Vocal
Jurado de sustentación

Ing. Rafael Ramón Figueroa Tauquino
Asesor de tesista

DEDICATORIA

A Dios por guiar con amor infinito

cada uno de mis días.

*¡Oh! Magnífica madre, Virgen de Guadalupe,
bendición para la humanidad.*

*A mis amadísimos padres, Nazario y Dina,
por regalarme la dicha de tener una bella
familia, por brindarme sus sabias palabras,
por su apoyo incondicional, y ser gran
ejemplo del verdadero amor.*

*A mis pequeños Yuri Gabriel y Yair Daniel
por llenar de ternura e inmensa alegría
nuestros corazones.*

*A Wendy María, el ángel que
tuve entre mis brazos, hasta el cielo...*

AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi profundo agradecimiento al Ministerio del Ambiente de Perú, en particular al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, organizador del Ier concurso de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, promoviendo la investigación de los jóvenes universitarios en la Región Ancash, por haberme brindado la oportunidad de ejecutar el presente proyecto a través del apoyo financiero y técnico en el eje de Investigación glaciológica.

A mi asesor, el Ing° Met. Rafael Figueroa Tauquino, por el apoyo permanente y seguimiento al desarrollo del presente trabajo de tesis.

A mi asesor externo, el Dr. Quím. Américo Cjuno Huanca, distinguido investigador peruano en el área de ciencias, por su admirable aporte y tiempo dedicado a esta tesis, por leer cuidadosamente nuestro trabajo y haber proporcionado referencias importantes en el laboratorio Fractal Químicos E.I.R.L, espacio que él dirige, destinado a la investigación, conformado por una plana técnica altamente especializada, además soportado por el equipamiento necesario para la ejecución de la metodología de análisis de acuerdo a las características atípicas del estudio, lugar donde se me permitió y enseñó a desarrollar los métodos analíticos requeridos.

Extiendo mi más sincero agradecimiento al equipo de especialistas del INAIGEM que conforman las Subdirecciones de Investigación en Glaciares, así como la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares, liderados por la Ing. Luzmila Dávila y el Ing. Juan Carlos Torres, quienes aportaron de forma invaluable mediante sus conocimientos, experiencia y consejos en el estudio de zonas remotas, trabajo de campo y el procesamiento de la información científica.

A LAS INSTITUCIONES

- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) del Ministerio del Ambiente, a través de sus tres Direcciones:
 - Gestión del Conocimiento
 - Ecosistemas de Montaña
 - Investigación en Glaciares

- Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente

- Laboratorio Fractal Químicos E.I.R.L

- Centro de Investigación para el Desarrollo (CIAD) – UNASAM

LIFE IS LIKE A GLACIER

Heaven descended in its origin, it yet takes its mould and conformation
from the hidden womb of the mountains which brought it forth.

At first soft and ductile, it acquires a character and firmness of its own as an
inevitable destiny urges it on its onward career.

Fostled and constrained by the crosses and inequalities of its prescribed path, hedged
in by impassable barriers which fix limits to its movements, it yielding groaning to its
fate.

And still travels forward seamed with the scars of many a conflict with
opposing obstacles. All this while, although wasting, it is renewed by an
unseen power – it evaporates but is not consumed. On its surface it bears
the spoils which, during the progress of existence it has made its own.

often weighty burdens devoid of beauty or value at times precious masses,
sparkling with gems or with ore.

Having at length attained its greatest widths and extension, commanding
admiration by its beauty and power, wast predominates over supply,
the vital springs begin to fail; it stoops into an attitude of decrepitude;
it drops the burdens one by one, which it had borne so proudly aloft;
its dissolution is inevitable.

But as it is resolved into its elements,
It takes all at once a new, livelier, and disembarrassed form, the wreck of
its members it arises, “another, yet the same”,
a noble, full-bodied, arrow stream, which leaps, rejoicing over the obstacles which
before had stayed its progress, and hastens through fertile valleys towards a freer
existence, and a final union in the ocean
with the boundless and the infinite.

James D. Forbes (1855)

LA VIDA ES COMO UN GLACIAR

Descendido del cielo en su origen, toma su molde y conformación del vientre oculto de las montañas que lo trajeron. Primero suave y dúctil, adquiere un carácter y firmeza propios, mientras un destino inevitable lo insta a seguir su carrera. Empujado y restringido por las cruces y las desigualdades de su recorrido prescrito, rodeado por intransitables barreras que fijan límites a sus movimientos, que rinde gimiendo a su destino. Y todavía avanza adelante arrugado con las cicatrices de muchos conflictos con obstáculos opuestos.

Aun así, enfrentando obstáculos, sigue adelante llevando las cicatrices de muchos conflictos. A pesar de sentirse débil, es renovado por un poder invisible que hace que se evapore, pero que no se consuma. En su cobertura lleva el botín que, durante el progreso de su existencia, ha hecho suyo.

Con frecuencia, arrastra pesadas cargas desprovistas de belleza y de valor, a veces masas, con chispas de gemas y preciosos metales.

Habiendo alcanzado, por fin, sus mayores anchuras y extensión, reclama admiración por su belleza y poder, hasta que la ablación predomina sobre su acumulación, los manantiales vitales comienzan a fallar; se inclinan en una actitud de decadente.

Una a una, caen las cargas, que había llevado en lo alto, con tanto orgullo. La fusión es inevitable. Pero sus elementos, están determinados. Esta vez toma una nueva forma, más viva y desembarazada. De la destrucción de sus partes surge, "otro, pero el mismo", un ilustre, corpulento, parecido a una flecha, que salta, deleitándose de los obstáculos que antes detuvieron su progreso, apresura su paso a través de fértiles valles hacia una existencia más libre, y una unión final en el océano con lo ilimitado y lo infinito.

Adaptación de James D. Forbes (1855)

RESUMEN

En esta tesis se muestra los resultados de la determinación de micro contaminantes ambientales denominados compuestos orgánicos persistentes (COPs) en el sistema proglaciar Pastoruri de la Cordillera de los Andes en el Perú, a nivel de línea base; se evaluaron los niveles de concentración en dos etapas de estudio: exploratoria y de determinación, durante el año hidrológico 2016–2017, a partir de muestras de hielo de un crevasse del manto central del emblemático Nevado Pastoruri (por extracción directa y perforación de hielo) y muestras de sedimentos de la laguna en formación en contacto con el bloque de hielo Central (por inmisión de un tubo Beeker de diseño propio). Así mismo, se realizaron mediciones de parámetros de calidad de agua en campo y en laboratorio, con incidencia en un indicador vinculado a los niveles de contaminación orgánica, el carbono orgánico total (COT), a través de la asistencia técnica y equipamiento del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña del Ministerio del Ambiente.

Las muestras se analizaron junto a la asesoría especializada del Laboratorio Fractal Químicos E.I.R.L, mediante el uso de una técnica específica de extracción y fraccionamiento de COPs líquido-líquido para hielo y líquido-sólido para sedimentos, seguida de la detección por cromatografía gaseosa con ionización de llama (GC-FID), comparables a la caracterización de patrones análogos de COPs típicos, establecidos en el Convenio Internacional de Estocolmo.

Los ecosistemas de montaña podrían ser una trampa natural eficiente de contaminantes orgánicos persistentes (COP) transportados por la atmósfera, según estudios recientes en áreas remotas del mundo, similares a los Andes, los cuales han dado sus primeras concentraciones en límites de detección muy bajos. Sin embargo, en el hemisferio sur, los niveles han sido los más reducidos, lo cual se reafirma en los cromatogramas de COPs del Pastoruri, donde no se evidencian picos cuantificables, superiores a 0,01 ug/L en las matrices de hielo y sedimento, lo que significa, la conservación de las condiciones naturales impolutas de alta montaña, con escasas fuentes directas de emisión de contaminantes cercanas, o factores de alteración importantes. Estos resultados se sostienen, además, por otros parámetros evaluados como el COT, con valores entre 0.44 y 0.82 ppm, conductividad en hielo de 3.31 a 8,56 uS/cm. en sedimento de 138 a 222 uS/cm. En el caso del pH los valores variaron desde 4.73 a 5.68 en muestras de hielo y de 4.49 a 6.19 en sedimento; finalmente la turbidez en hielo determinada entre 2.01 y 11.20 UNT.

Estos resultados señalan las primeras calificaciones sobre el vínculo entre los bajos niveles de los parámetros físico-químicos ensayados con la ausencia relativa de COPs, además del inicio de los estudios de COPs en áreas glaciares del Perú y la necesidad de investigar con más detalle el papel de las montañas en la captura de COPs, los riesgos asociados vinculados al recurso agua, en niveles de detección más rigurosos, guiados por la cronología de posibles deposiciones para inferir las fuentes y el grado de persistencia de los registros.

Palabras claves: Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), Pastoruri, Sistema, Glaciar.

ABSTRACT

This thesis shows the results of the determination of environmental micro contaminants called persistent organic compounds (POPs) in the Pastoruri pro glacier system of the Andes mountain range in Peru, at baseline level; the concentration levels were evaluated in two stages of study: exploratory and determination, during the hydrological year 2016-2017; from ice samples from a crevasse of the central mantle of the emblematic Nevado Pastoruri (by direct extraction and ice drilling) and sediment samples from the formation lagoon in contact with the Central ice block (by immission of a Beeker tube from own design), as well as measurements of water quality parameters in the field and in the laboratory, with an impact on an indicator linked to levels of organic contamination, total organic carbon (TOC), through technical assistance and equipment of the National Institute of Research in Glaciers and Mountain Ecosystems of the Ministry of the Environment.

The samples were analyzed together with the specialized advice of the EIRL Chemical Fractal Laboratory, through the use of a specific technique for extraction and fractionation of liquid-liquid COPs for ice and liquid-solid for sediments, followed by detection by gas chromatography with ion Flame (GC-FID), comparable to the characterization of typical patterns of typical POPs, established in the Stockholm International Convention.

Mountain ecosystems could be an efficient natural trap of persistent organic pollutants (POPs) transported by the atmosphere, according to recent studies in remote areas of the world, similar to the Andes, which have given their first concentrations at very low detection limits, however, in the southern hemisphere, the levels have been the most reduced, which is reaffirmed in Pastoruri's COP chromatograms, where no quantifiable peaks are found, higher than 0.01 ug / L in the ice and sediment matrices. , which means, the conservation of untouched high mountain natural conditions, with few direct sources of emission of nearby pollutants, or important alteration factors, these results are also supported by other parameters evaluated as the TOC, with values between 0.44 and 0.82 ppm, conductivity in ice from 3.31 to 8.56 uS / cm, in sediment from 138 to 222 uS / cm, in the case of pH the values varied from 4.73 to 5.68 in ice samples and from 4.49 to 6.19 in sediment, finally the ice turbidity determined between 2.01 and 11.20 UNT.

These results indicate the first ratings on the link between the low levels of the physical and chemical parameters tested and the relative absence of POPs, as well as

the start of studies of POPs in glacial areas of Peru and the need to investigate in more detail the role of the mountains in the capture of POPs, the associated risks linked to the water resource, in more rigorous levels of detection, guided by the chronology of possible depositions to infer the sources and the degree of persistence of the records.

Key Words: Persistent Organic Compounds (POPs), Pastoruri, Glacier system.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
ÍNDICE	xii
LISTA DE TABLAS	xvii
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS INSTITUCIONALES	xxii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1.Fundamentación	2
1.2.Planteamiento del problema	2
1.3.Hipótesis	3
1.4.Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5.Ámbito de investigación	4
1.5.1. Ubicación y extensión	5
1.5.2. Clima y zonas de vida	5
1.5.3. Ecología	10
1.5.4. Geología	13
a. Geología regional	14
➤ Cretácico Inferior	14
✓ Formación Chimú (Ki-ch)	14
✓ Formación Santa (Ki-sa)	15
✓ Formación Carhuaz (Ki-ca)	16
➤ Neogeno	16
✓ Grupo Calipuy (PN-vca)	16
➤ Cuaternario	17
✓ Cuaternario, depósitos glaciares (Q-gl)	17
	xii

✓ Depósitos lacustrinos (Q-la)	17
1.5.5. Hidrografía	18
a. Estado situacional del manto glaciar Pastoruri	19
b. Estado situacional de la laguna en formación Pastoruri	20
1.5.6. Aspectos socioeconómicos	21
1.5.7. Problemática ambiental	21
CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1 Antecedentes internacionales	23
2.1.2 Antecedentes nacionales	25
2.1.3 Antecedentes regionales y locales	27
2.2. Marco teórico	28
2.2.1. Compuestos orgánicos persistentes (COPs)	28
2.2.2. Tipos de COPs	30
a. Intencionales	30
➤ Químicos industriales	30
➤ Los pesticidas organoclorados	32
b. COPs no intencionales o involuntarios	33
➤ Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	33
➤ Dioxinas y dibenzofuranos	34
2.2.3. Clasificación de COPs según el Convenio de Estocolmo	35
a. Anexo A del Convenio de Estocolmo - Eliminación	35
➤ Policlorobifenilos (PCB)	38
✓ Usos	39
✓ Toxicología	40
✓ Comportamiento ambiental	41
b. Anexo B del Convenio de Estocolmo sobre eliminación - restricción	41
➤ Dicloro difenil tricloroetano y análogos (DDT)	44
✓ Usos	45
✓ Toxicología	45
✓ Comportamiento ambiental	46
c. Anexo C del Convenio de Estocolmo, producción no intencional	48
➤ Hexaclorociclohexano (HCH)	48
✓ Usos	49
✓ Toxicología	50

✓ Comportamiento ambiental	50
2.2.4. Ciclo de los COPs en zonas de montaña	51
2.2.5. Sedimentos en áreas glaciares	54
2.3. Marco legal	54
2.4. Definición de términos	57
2.4.1. Compuestos orgánicos persistentes (COP)	57
2.4.2. Convenio de Estocolmo	58
2.4.3. Glaciar	59
2.4.4. Sistema proglaciar	59
2.4.5. Laguna en formación	60
2.4.6. Cromatografía de gases	60
2.4.7. GC-FID	61
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	63
3.1. Equipos y materiales	63
3.2. Diseño de la investigación	63
3.3. Población	65
3.4. Muestra	66
3.4.1. Muestreo en hielo	66
a. Muestreo de hielo - operación "A"	67
b. Muestreo de hielo - operación "B"	68
3.4.2. Muestreo de flujo glaciar	69
3.4.3. Muestreo de sedimentos	70
3.4.4. Metodología de análisis químico de COPs	71
a. Metodología analítica de COPs en hielo	71
➤ Preparación muestral general de hielo	72
➤ Pre tratamiento	72
➤ Separación de sólidos en agua y determinación de TSS:	73
➤ Ensayos de turbidimetría	73
➤ Ensayos de pH y conductividad	74
➤ Determinación de carbono orgánico total en hielo (COT)	74
➤ Análisis instrumental	74
b. Metodología analítica de COPs en sedimento	74
➤ Preparación muestral general de muestras de sedimento	75
➤ Determinación de sólidos totales en muestra de sedimento	75
➤ Determinación de humedad en muestras de sedimento	75

➤ Ensayos de pH y conductividad	75
➤ Determinación de carbono orgánico total en sedimento (COT)	76
➤ Análisis instrumental	77
c. Metodología analítica de COPs en flujo superficial	78

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES 80

4.1. Cuantificación de la concentración de COPs en hielo y sedimento lacustre	80
4.1.1. Etapa exploratoria o inicial	81
a. Extracción de muestras	81
b. Método analítico de COPs en hielo y sedimento	83
➤ Reconocimiento muestral	83
➤ Pre tratamiento de muestras de hielo	83
➤ Pre tratamiento de muestras de sedimento	83
➤ Mediciones anexas en hielo y sedimento	84
➤ Extracción	85
✓ En hielo	85
✓ En sedimento	86
➤ Purificación y fraccionamiento	86
✓ En hielo	86
✓ En sedimento	86
➤ Análisis instrumental	86
➤ Cromatografía de gases	87
✓ Perfiles cromatográficos, según la operación de extracción de muestras "A"	89
✓ Perfiles cromatográficos, según la operación de extracción de muestras "B"	91
✓ Perfil cromatográfico de muestra compuesta de sedimento	91
4.1.2. Etapa de determinación	92
a. Extracción de muestras de hielo	92
b. Método analítico de determinación de COPs en hielo	95
➤ Preparación muestral general	95
➤ Separación de sólidos de muestras de hielo y determinación de TSS	95
➤ Ensayos de turbidimetría	97
➤ Ensayos de pH Y Conductividad	98
➤ Determinación de carbono orgánico total (COT)	98
➤ Cromatografía de gases (GC-FID)	100

✓ Perfiles cromatográficos de muestras de hielo operación "A"	101
✓ Perfiles cromatográficos de muestras de hielo operación "B"	103
c. Extracción de muestras de sedimento	104
d. Método analítico de determinación de COPS en muestras de sedimento	106
➤ Preparación muestral general	107
➤ Determinación de sólidos totales en muestra de sedimento	107
➤ Determinación de humedad en muestras de sedimento	107
➤ Ensayos de pH y conductividad	108
➤ Determinación de carbono orgánico total (COT) en sedimento:	108
➤ Cromatografía de gases (GC-FID)	109
✓ Perfiles cromatográficos de muestras de sedimento	109
4.2.Caracterización físico-química de flujo superficial	110
4.3.Evaluación del posible impacto en la calidad del agua por la presencia de COPS	111
4.4.Discusión de resultados	112
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
5.1.Conclusiones	116
5.2.Recomendaciones	117
BIBLIOGRAFIA	119
ANEXOS	124
ANEXO 1 Condiciones cromatográficas: Inyector, horno y detector GC-FID	
ANEXO 2 Programación cromatográfica para el análisis de COPS mediante Chromaleon 7.2	
ANEXO 3 Resolución Jefatural N° 006-2017-SERNANP-PNH	
ANEXO 4 Constancia de ejecución de proyecto de investigación	

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla 1: Zonas de vida del área glaciar Pastoruri	9
Tabla 2: Sustancias Químicas del Anexo A, Convenio de Estocolmo	36
Tabla 3: Clasificación de PCB según la aplicación y facilidad para su liberación al ambiente	42
Tabla 4: Sustancias Químicas del Anexo B, Convenio de Estocolmo	44
Tabla 5: Sustancias químicas del Anexo C, Convenio de Estocolmo	48
Tabla 6: Equipos y materiales	64
Tabla 7: Información general Nevado Pastoruri	66
Tabla 8: Puntos de muestreo de hielo, Operación "A"	81
Tabla 9: Puntos de muestreo de hielo, Operación "B"	81
Tabla 10: Puntos de muestreo de Sedimento, Laguna en formación Pastoruri	83
Tabla 11: Datos de pretratamiento de muestras de hielo	83
Tabla 12: Datos de pre tratamiento de muestras de Sedimento	84
Tabla 13: Parámetros físico-químicos de las muestras de hielo y sedimento	84
Tabla 14: Densidad de muestra de Sedimento (Sed-01-01)	84
Tabla 15: Variación de masa por filtración para el cálculo de TSS de hielo y sedimento	85
Tabla 16: Sólidos Totales en muestras de hielo y sedimento	85
Tabla 17: Resumen de las condiciones cromatográficas de análisis	87
Tabla 18: Lista de patrones cromatográficos análogos de COPs	87
Tabla 19: Estándares de 2 organoclorados y 5 organofosforados	88
Tabla 20: Ubicación de puntos de muestreo sobre el perfil Gla-1, Operación "A".	92
Tabla 21: Puntos de muestreo en el perfil de perforación de hielo, operación "B"	93
Tabla 22: Determinación de sólidos totales no volátiles en muestras de hielo TSS (mg/L)	97
Tabla 23: Registro de la medición de turbiedad en muestras de hielo	97
Tabla 24: Medición de pH y conductividad en muestras de hielo	98
Tabla 25: Repetibilidad de mediciones de absorbancia de los estándares de glucosa	98
Tabla 26: Metodología de calibración estequiométrica para la determinación de carbono orgánico	99
Tabla 27: Carbono orgánico total (COT) en muestras de hielo	100

Tabla 28:	Ubicación de puntos de muestreo de sedimento de fondo de la laguna en formación Pastoruri	104
Tabla 29:	Determinación de sólidos totales no volátiles en muestras de sedimento	107
Tabla 30:	Determinación del porcentaje de humedad en muestras de sedimento	108
Tabla 31:	Medición de pH y conductividad en muestras de sedimento	108
Tabla 32:	Carbono orgánico total (COT) en muestras de sedimento	109
Tabla 33:	Medición de pH y Conductividad eléctrica de muestras de flujo superficial etapa exploratoria, manto central Pastoruri	110
Tabla 34:	Medición de pH y Conductividad eléctrica de muestras de flujos superficial, etapa de determinación, manto central Pastoruri	110

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura 1: Temperatura promedio mensual, EM-013 Pastoruri, año hidrológico 2016–2017	5
Figura 2: Ubicación geográfica de la zona de estudio: Ancash, Perú	6
Figura 3: Ubicación geográfica del área glaciaria Pastoruri, Áncash, Perú	7
Figura 4: Temperatura promedio horario EM-013 Pastoruri, año hidrológico 2016-2017	8
Figura 5: Precipitación mensual EM-013 Pastoruri, año hidrológico 2016-2017	8
Figura 6: Especie de arbusto altoandino, llamado comúnmente “Pupa”	10
Figura 7: Avistamiento del cóndor andino (<i>Vultur gryphus</i>), Nevado Pastoruri, 2017	11
Figura 8: “Crioconitas” Agujeros cilíndricos en la superficie glaciaria en Pastoruri, 2017	12
Figura 9: Macroinvertebrado habitante de crioconitas, Cordillera Blanca, 2017	12
Figura 10: Estructura utilizada por aves para procrear y criar a su descendencia; Cordillera, Blanca, 2017	13
Figura 11: Secuencia sedimentaria detrítica de la Formación Chimú (Ki-ch), laguna en formación Pastoruri	14
Figura 12: Secuencia sedimentaria, lado sur del manto central Pastoruri	15
Figura 13: Muestra de arenisca cuarzosa, Formación Chimú, Pastoruri	16
Figura 14: Desembocadura de la laguna en formación Pastoruri sobre un basamento rocoso detrítico de la Formación Chimú (Ki-ch)	17

Figura 15: Fósiles de vegetales, de tipo <i>Otozamites peruvianus</i> Salfed	18
Figura 16: Variación histórica del área glaciar Pastoruri	19
Figura 17: Área glaciar del bloque central Pastoruri, 2017	20
Figura 18. Variación histórica del área de la laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciar central Pastoruri	21
Figura 19: Tipo de COPs según Shahawi	30
Figura 20: Distribución de PCB en alimentos durante los años 1995-1999	32
Figura 21: 3,3',4,4',5-Pentaclorobifenilo; (PCB126)	38
Figura 22: 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)- etano; (DDT)	45
Figura 23: Alfa-Hexaclorociclohexano	49
Figura 24: Procesos de migración global para la deposición de COPs	52
Figura 25: Procesos que afectan la distribución de COPs a lo largo de la ladera de una montaña en el día y la noche	53
Figura 26: Partes de un cromatógrafo de gases	61
Figura 27: Modelo de evaluación de COPs en superficie glaciar (Gla –Surf), Flujo glaciar (Gla-flow) y sedimentos de lago pro glaciar (Gla-lake)	65
Figura 28: Delimitación de perfil de hielo, caracterizadas en años hidrológicos	67
Figura 29: Esquema de obtención de muestras de hielo Operación “A”, frente glaciar Pastoruri	67
Figura 30: Perforación de estratos de hielo mediante la operación “B”, Nevado Pastoruri 2017.	68
Figura 31: Esquema de obtención de muestras de hielo por perforación “B”, Nevado Pastoruri 2017.	68
Figura 32: Medición de parámetros físico-químicos en los pozos de acumulación por fusión, Nevado Pastoruri 5145 msnm	69
Figura 33: Medición de parámetros físico-químicos in situ	70
Figura 34: Muestreo de sedimento desde el fondo de la laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciar Pastoruri, 2017	70
Figura 35: Esquema general de la metodología analítica de hielo y sedimento	71
Figura 36: Procedimiento de preparación muestral para el análisis de muestras de hielo	72
Figura 37: Esquema para la determinación de sólidos totales en muestras de hielo	73
Figura 38: Medición de la turbidez con un equipo HI 93703	73
Figura 39: Preparación muestral de sedimento, laguna en formación Pastoruri	75
Figura 40: Oxidación del carbono orgánico para la determinación de Carbono orgánico total en muestras de sedimento	77
Figura 41: Inyección de Diclorometano (1uL) al sistema de cromatografía en fase gaseosa FID - Trace™ 1300	78

Figura 42: Medición de turbiedad sobre la cobertura de hielo	79
Figura 43: Ubicación de puntos de muestreo de hielo y sedimento - Etapa exploratoria	82
Figura 44: Variación de la densidad de la muestra de sedimento Sed-01-01	84
Figura 45: Cromatograma de tres patrones análogos de COPs:	88
Figura 46: Cromatograma del patrón análogo de COPs: Clorotalonil (13.1 min)	88
Figura 47: Cromatograma de patrones organoclorados y organofosforados	89
Figura 48: Cromatograma del blanco del proceso, Agua	89
Figura 49: Cromatograma de la muestra Gla-01-01 (19.1 – 21.1min), etapa exploratoria	89
Figura 50: Cromatograma de la muestra Gla-01-02 (19.1, 21.1min), etapa exploratoria	90
Figura 51: Cromatograma de la muestra Gla-01-03 (picos desestimables), etapa exploratoria	90
Figura 52: Cromatograma de la muestra Gla-01-04 (21,1 min), etapa exploratoria	90
Figura 53: Cromatograma de la muestra Gla-01-05 (Picos desestimables), etapa exploratoria	90
Figura 54: Cromatograma de la muestra Gla-01'-01 (14.4–21.1min), etapa exploratoria	91
Figura 55: Cromatograma de la muestra Gla-01'-02 (11.1 – 1.6 – 12.8 – 13.9 – 14.4-19.1 y 21,1min), etapa exploratoria	91
Figura 56: Cromatograma de la muestra Sed-01-01 (14.4 – 19.1– 21.1 min), etapa exploratoria	91
Figura 57: Estratos del Perfil glaciar Gla-1, Zona de acumulación, Operación “A”	93
Figura 58: Ubicación de los puntos de muestreo de hielo – Etapa de determinación	94
Figura 59: Diagrama de la metodología de análisis de COPs en muestras de hielo	96
Figura 60: Curva de calibración para la medición de Carbono orgánico total (COT)	99
Figura 61: Cromatograma de la muestra Gla-01-01 (picos desestimables), etapa de determinación	101
Figura 62: Cromatograma de la muestra Gla-01-02. (Picos desestimables) etapa de determinación	101
Figura 63: Cromatograma de la muestra Gla-01-03 (picos desestimables), etapa de determinación	101
Figura 64: Cromatograma de la muestra Gla-01-04 (Picos desestimables) etapa de determinación	102
Figura 65: Cromatograma de la muestra Gla-01-05 (picos desestimables) etapa de determinación	102
Figura 66: Cromatograma de la muestra Gla-01-06 (picos desestimables) etapa de determinación	102

Figura 67: Cromatograma de la muestra Gla-01-07 (picos desestimables) etapa de determinación.	103
Figura 68: Cromatograma de la muestra Gla-01-08. Picos desestimables.	103
Figura 69: Cromatograma de la muestra Gla-01'-01 (Picos desestimables), etapa de determinación	103
Figura 70: Cromatograma de la muestra Gla-01'-02 (16.9, 18.5, 18.7 min), etapa de determinación	104
Figura 71: Ubicación de puntos de muestreo de sedimento	105
Figura 72: Diagrama del método analítico de COPs en muestras de sedimento	106
Figura 73: Cromatograma de la muestra Sed-01-01 (picos desestimables), etapa de determinación	109
Figura 74: Cromatograma de la muestra Sed-01-02, etapa de determinación (8.8 - 10.2 - 11.8 - 13.3 - 13.4 min)	110

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS INSTITUCIONALES

ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
ANA	Autoridad Nacional del Agua
CAS	Chemical Abstracts Service de la Sociedad Estadounidense de Química
CIAD – UNASAM	Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
EM 13 – Pastoruri	Estación meteorológica ubicada en Pastoruri, CIAD - UNASAM
ENOS	El Niño, oscilación del Sur
GC-FID	Cromatografía de gases con detector de ionización de llama
HAP	Hidrocarburo aromático policíclico
IACS	International Association of Cryospheric Sciences
INAIGEM	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
MADS	Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.
OCDE	Organización para la cooperación y el desarrollo económico.
PICO	Polar Ice Coring Office – Perforador de hielo polar
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad Agraria
UGRH	Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua.
UNECE	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas cinco décadas, el acelerado crecimiento demográfico en el mundo ha llevado al aumento de la demanda de diversos productos, logrando un drástico incremento de la síntesis de productos químicos, muchos de éstos, inexistentes en la naturaleza; la mayoría de los cuales tienden a ser o convertirse en contaminantes ambientales y su concentración puede significar una seria amenaza o fuente de desequilibrios en los ecosistemas ambientales.

Los Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) son productos que poseen propiedades tóxicas, resisten la degradación, se bioacumulan y se transportan por aire, agua o especies migratorias, cruzando fronteras internacionales, depositándose lejos de sus fuentes de origen, incluso en regiones insospechadas como las zonas frías del planeta, ya sean las regiones polares, de latitudes templadas o de alta montaña. Estudios recientes evidencian la presencia y distribución de compuestos orgánicos persistentes (COPs) que se usaron a nivel mundial para controlar plagas agrícolas y forestales en el pasado; no obstante, la información disponible actualmente sobre las tendencias espaciales y temporales de la contaminación por COPs en este lado del hemisferio y particularmente en las Cordilleras Andinas del Perú, ha sido tradicionalmente muy escasa y fragmentaria.

Por esta razón, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña-INAIGEM, busca determinar los niveles de concentración de COPs, a partir de la evaluación con métodos analíticos cromatográficos en el sistema proglaciar Pastoruri, Cordillera Blanca, específicamente dos matrices de estudio; hielo, sedimento y como anexo estudiado el flujo glaciar.

1.1. Fundamentación

El presente estudio de contaminantes químicos en lugares remotos tal como Pastoruri, nos permite cruzar las fronteras de la exploración inmediata y expandir retrospectivamente diversos factores dinámicos que interactúan en el ambiente, los que reciben la influencia de una variedad de sustancias químicas cuyo origen, aparte de ser natural, también es antropogénico por el potencial crecimiento de los procesos sintéticos industriales en países emergentes como el Perú en Latinoamérica.

Muchas de estas composiciones químicas de origen antrópico adheridas a las matrices ambientales nos pueden ayudar a comprender la calidad hídrica en las cuencas glaciares de la región y su posible impacto a partir de la inexorable fusión y acelerado retroceso glaciar que actualmente experimentamos.

El tema de investigación resulta de gran interés para la unidad orgánica de la Dirección de Investigación en Glaciares del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) y la sociedad en su conjunto, al enfrentar, actualmente un escenario de cambio climático donde las reservas hídricas en sólido representan una muestra objetiva de la reducción de las superficies glaciares debido al incremento de la temperatura (Ministerio del Ambiente, 2015); el estudio de sustancias químicas, particularmente los compuestos orgánicos persistentes (COPs) en el ámbito de los glaciares tropicales, marca el inicio de la indagación y contribución al cumplimiento del Convenio Internacional de Estocolmo firmado por el Perú en el año 2011 en referencia al conjunto de microcontaminantes priorizados en zonas de montaña y áreas glaciares, por considerarse mínima o escasa la información con la que actualmente cuenta nuestro país respecto al tema, por ende, su limitada gestión, normativa y poca participación preventiva por parte de las entidades competentes.

1.2. Planteamiento del problema

Los problemas ambientales de amplia escala que la humanidad viene enfrentando están estrechamente relacionados con el desarrollo de nuevas tecnologías y sustancias químicas cuya finalidad es preservar la integridad y mejorar el bienestar común. A lo largo de las últimas décadas, muchas tecnologías han exigido del ambiente, mucho más de lo que puede tolerar y los peligros no fueron percibidos hasta los inicios de este nuevo milenio.

Habitualmente, se tiene la percepción de que las zonas de alta montaña como los Andes tropicales son lugares libres de contaminación, casi como la última frontera donde no ha llegado el efecto de la actividad humana. Sin embargo, en las últimas dos décadas se ha puesto en evidencia que la Antártida, el Ártico y las altas montañas (Alpes, Pirineos, Rocosas) son ambientes que acumulan contaminantes, algunos de exclusivo origen humano y otra minoría de fuentes naturales, que se denominan genéricamente como contaminantes orgánicos persistentes (Pavlova et al, 2014), lo que involucra la presencia de contaminantes orgánicos persistentes en escenarios con potencial de trascendencia como los glaciares andinos y ecosistemas de montaña, grandes reservas de agua dulce en los trópicos. Además sabemos que estos ecosistemas se encuentran próximos a regiones densamente pobladas y/o industrializadas a diferencia de los polos; así, por ejemplo, las montañas Rocosas de Estados Unidos están cerca de zonas con una actividad agrícola muy importante; los Alpes europeos dividen regiones altamente industrializadas del sur de Alemania, Suiza, Austria y el norte de Italia; los Pirineos están situados cerca de zonas industriales de España y Francia, la Cordillera del Himalaya se encuentra adyacente a las regiones más densamente pobladas a nivel global y los Andes se encuentran próximos a una cadena de países de Sudamérica en la zona tropical, regiones que han recurrido al uso de productos sintéticos para alcanzar a estabilizar y mejorar su producción agrícola (Wania, F; Mackay, 1993).

Estos hechos, nos impelen a abordar el estudio del transporte y dinámica de un mayor número de familias de contaminantes en comparación con los estudios de distribución global centrados en las zonas polares, y considerar nuevos parámetros de investigación (no estandarizados).

Es entonces que nos vemos en el preocupante escenario de determinar la presencia de contaminantes químicos en hielo y sedimento de la Cordillera Blanca, para con ello, explicar y profundizar la influencia de contaminantes químicos no convencionales en áreas remotas dentro del marco del retroceso glaciar y cambio climático.

1.3. Hipótesis

De acuerdo a evidencias científicas sobre la determinación de notables concentraciones de COPs en matrices de estudio de origen glaciar análogas en

La Antártida, Ártico y las altas montañas (Alpes, Pirineos, Rocosas, Andes Chilenos), se considera que:

“El sistema proglaciar Pastoruri, conforma una reserva de compuestos orgánicos persistentes (COPs), que pueden ser liberados al ambiente en el proceso de fusión por el acelerado retroceso glaciar”.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la presencia de compuestos orgánicos persistentes en hielo y sedimento de la laguna en formación, en contacto con cobertura glaciar del Pastoruri, Cordillera Blanca, 2017.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Cuantificar la concentración de compuestos orgánicos persistentes (COPs) en hielo del manto central Pastoruri; a través de una metodología analítica por cromatografía de gases GC-FID.
- b) Cuantificar la concentración de compuestos orgánicos persistentes (COPs), en sedimento de la laguna en formación, en contacto con el manto de hielo central Pastoruri; a través de una metodología analítica por cromatografía de gases GC-FID.
- c) Caracterizar por métodos físico-químicos las matrices de hielo y sedimento, como indicadores de la calidad natural del agua en el sistema proglaciar Pastoruri.
- d) Evaluar el posible impacto en la calidad del agua del sistema proglaciar Pastoruri por la presencia de COPs.

1.5. Ámbito de investigación

En esta parte de la investigación se describen las características de ubicación, extensión, clima, zonas de vida, ecología, geología, hidrografía, aspectos socioeconómicos y la problemática ambiental de la zona de estudio en el sistema proglaciar Pastoruri.

1.5.1. Ubicación y extensión

El área glaciaria se ubica en el flanco suroccidental de la Cordillera Blanca, entre los 4995 y 5312 msnm, altitudes del nivel más bajo y alto del nevado Pastoruri al año 2017, en la cabecera de la subcuenca del río Pachacoto, cuenca del Santa, Región hidrográfica del Pacífico, véase la ubicación geográfica del área glaciaria, en las Figuras 2 y 3 (véase páginas 6 y 7 respectivamente)

Ubicación Política:

Distrito : Cátac.
Provincia : Recuay.
Departamento : Ancash.

Coordenadas

Latitud Sur : 9°54'33" S
Longitud oeste : 77°10'38.4" W
Altitud media : 5208 msnm

1.5.2. Clima y zonas de vida

Según los registros del CIAD-UNASAM, la estación meteorológica más próxima al área de estudio denominada EM13 - Pastoruri, ubicada a latitud S 09° 53' 21.1", longitud W 77° 18' 15.6" y altitud de 4125 msnm, se presentó la temperatura de aire promedio anual 6°C y mensual para el período del año hidrológico 2016-2017, según se muestra en la Figura 1

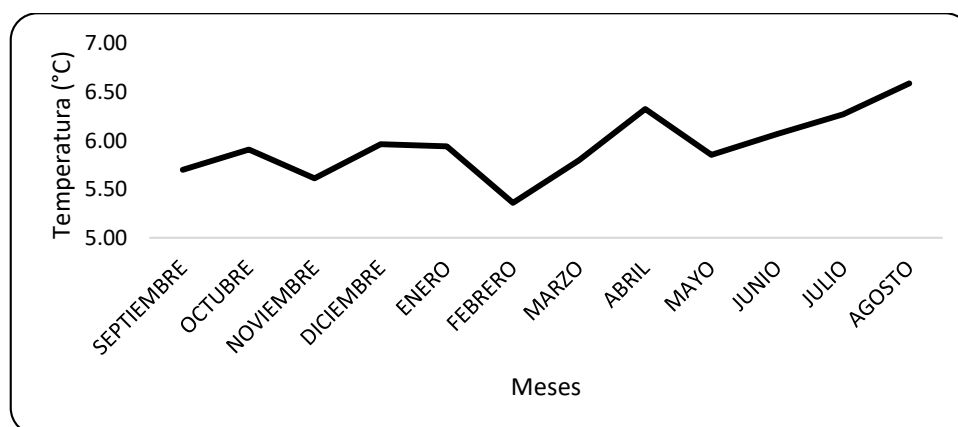


Figura 1: Temperatura promedio mensual, EM-013 Pastoruri, año hidrológico 2016-2017

Fuente: CIAD-UNASAM

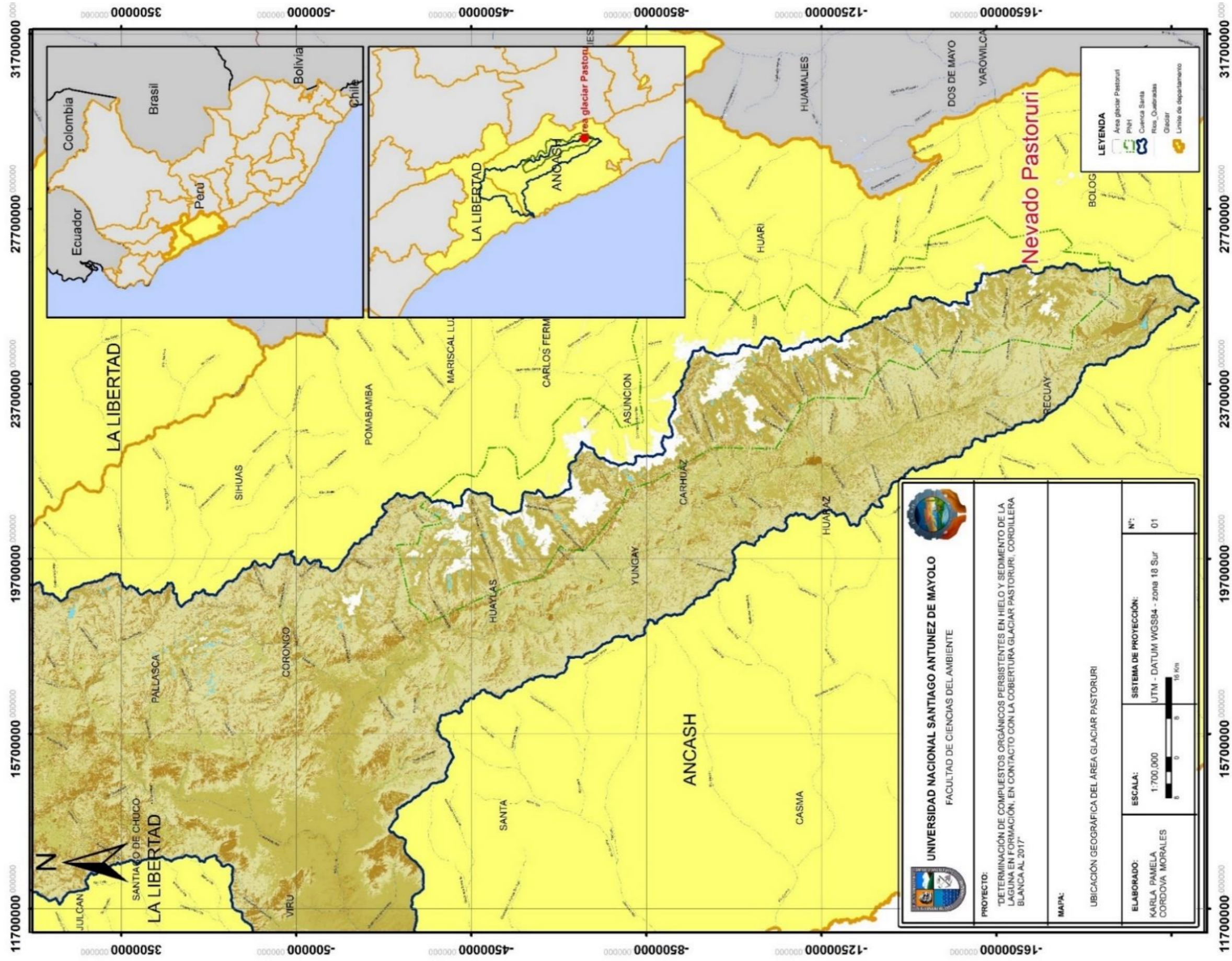
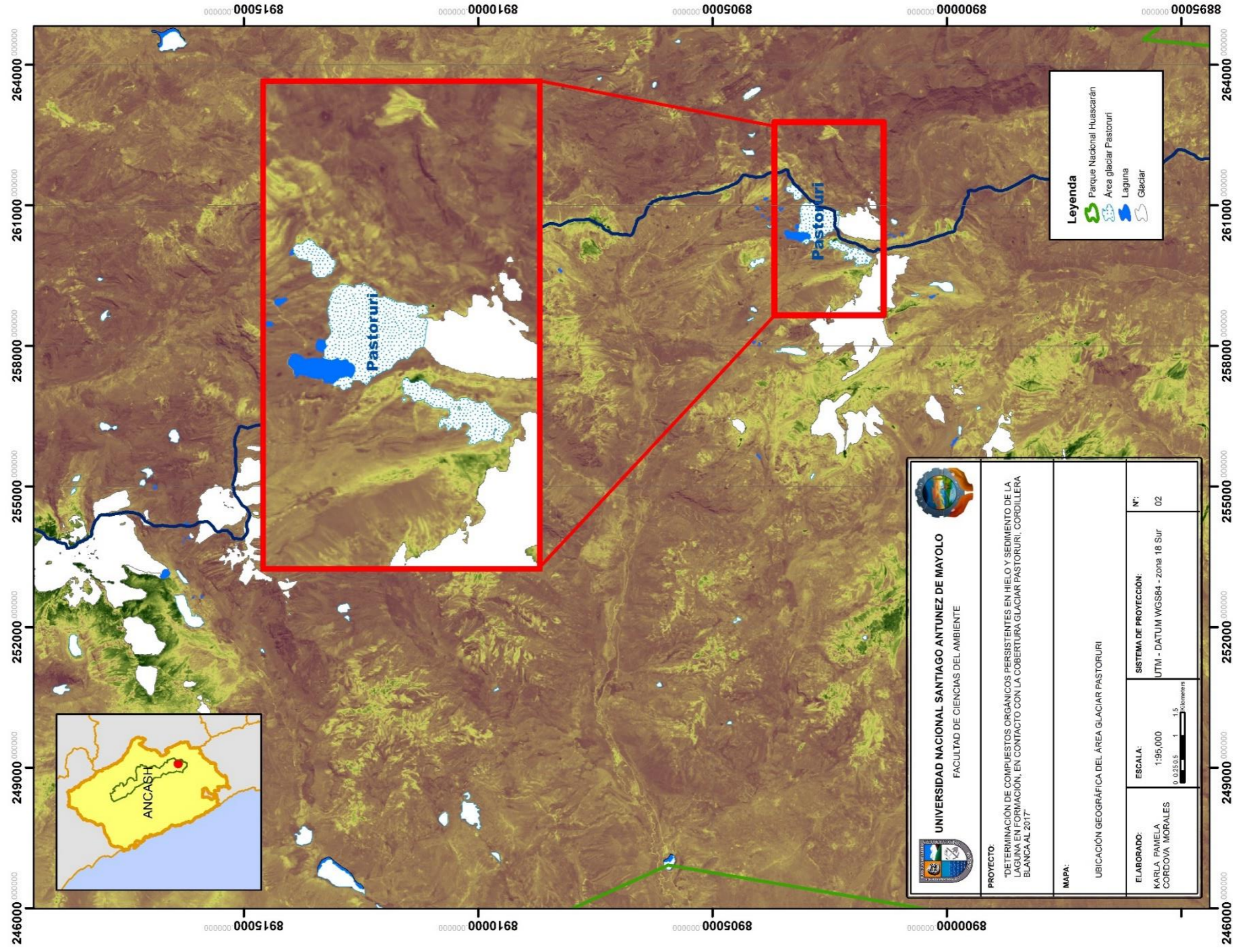


Figura 2: Ubicación geográfica de la zona de estudio: Ancash, Perú



Los registros horarios de temperatura promedio de aire manifiestan un acentuado creciente entre las 9:00 y 16:00 horas del día, según se muestra en la Figura 4.

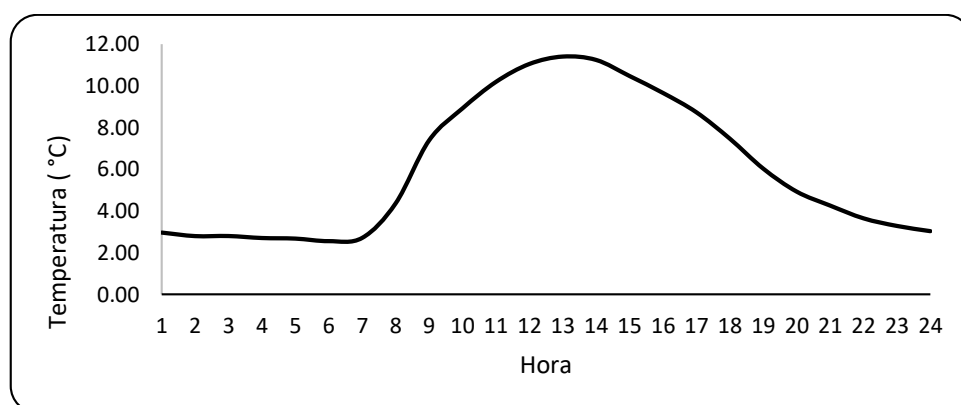


Figura 4: Temperatura promedio horario EM-013 Pastoruri, año hidrológico 2016-2017

Fuente: CIAD-UNASAM

En Pastoruri se resaltan dos épocas muy marcadas, el período seco de mayo a setiembre, acentuándose entre los meses de junio y agosto, y el período lluvioso de noviembre a mayo en que se obtiene las máximas precipitaciones. Entre diciembre y abril, los registros correspondientes al año hidrológico 2016-2017 se manifestaron de la siguiente manera:

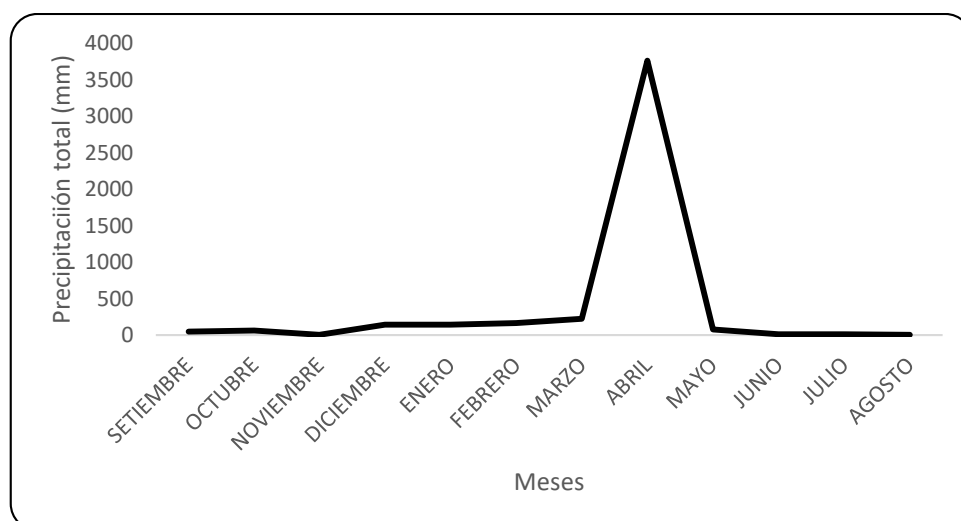


Figura 5: Precipitación mensual EM-013 Pastoruri, año hidrológico 2016-2017

Fuente: CIAD-UNASAM

Según la clasificación de Udvardy (IUCN, 1981), el área Pastoruri se encuentra en la provincia biogeográfica de la Puna Tropical y los Andes

Sudoccidentales. Dentro del mapa climático del Perú presentado por el Ministerio del Ambiente, basado en la clasificación de climas de Werren Thornthwaite (SENAMHI, 2002), Pastoruri alcanza un clima semifrío característico de la región de la sierra extendida alrededor de los 4000 msnm, en las partes bajas y un clima lluvioso semifrío (Tundra), que abarca temperaturas medias anuales por debajo de 10°C, con nieves perpetuas en alta montaña, veranos lluviosos e inviernos secos con heladas moderadas. Las variaciones interanuales en la precipitación pueden ser considerables y obedecen primordialmente al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

El Niño ocasiona una fuerte corriente del oeste en gran parte de los Andes tropicales, lo que inhibe considerablemente el transporte de humedad procedente de la cuenca del Amazonas y trae consigo condiciones de sequía en los Andes tropicales. La sequía ocasionada por estos eventos, provoca, además un fuerte calentamiento en los Andes tropicales, por lo que en general se caracterizan por ser cálidos y secos, mientras que los de la Niña tienden a ocasionar condiciones frías y húmedas en buena parte de esa región. (Francou et al, 2013)

Según la clasificación basada en zonas de vida, Pastoruri tiene las características que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Zonas de vida del área glaciar Pastoruri

Zonas de vida	Altitud (msnm)	Precipitación* (mm)	Evapotranspiración	Biotemp**
Tp-At	4500-5000	1000	0.14 de pp*	1.5 a 3
NT	>5000	750	0.25 de pp*	<1.5

Fuente: Adaptación de (Villanueva, 2002)

Donde: (*) Precipitación promedio anual
 (**) Biotemperatura promedio anual
 Tp-AT: Tundra pluvial andino tropical
 NT Nival tropical

Según Holdridge (Zamora, 2015), el promedio de evapotranspiración potencial total por año para la tundra pluvial - Andino Tropical y el Nival Tropical, varía entre 0.125 y 0.25 de la precipitación media anual, que corresponde a la provincia de humedad: Super húmedo.

1.5.3. Ecología

La biodiversidad que ubicamos en el área glaciar Pastoruri, perteneciente a la Zona de vida Nival tropical se enmarca en ecosistemas típicos de condiciones muy frías, pues se observa plantas inferiores y algas. En el marco del cambio climático, se viene desarrollando una migración y colonización en zonas rocosas adyacentes al área glaciar, lo cual amplía la adaptación de especies de flora cada vez a mayores alturas. Entre las más observadas en Pastoruri se encuentran: *Stipa ichu*, *Calamagrostis sp.* y otros arbustos altoandinos en alturas como el registrado en la Figura 6.



Figura 6: Especie de arbusto altoandino, llamado comúnmente “Pupa”, ubicado a 5049 msnm, lado sur del manto de hielo central Pastoruri, 2017

Entre otras de las especies representativas de flora en el área de estudio, se encuentra la Puya Raimondi o Titanka, con doce metros de altura en promedio; es la planta con la mayor inflorescencia del mundo, llega a producir cerca de 2 000 flores de tamaño pequeño y color blanquecino, que contienen hasta diez millones de minúsculas semillas. Después de unos cien años de vida en las frías punas altoandinas, las puyas florecen por única vez para luego morir.

La fauna tiene como uno de los más simbólicos representantes al cóndor andino (*Vultur gryphus*), la mayor de las aves voladoras del planeta. Su envergadura alar supera los tres metros de longitud, cualidad que le

permite planear durante horas y recorrer grandes distancias, incluso sin aletear.(Bitocchi, 1999), (véase la Figura 7)



Figura 7: Avistamiento del cóndor andino (*Vultur gryphus*), Nevado Pastoruri, 2017

Las condiciones de estos lugares favorecen la deposición de material orgánico, por efecto del comportamiento atmosférico, gradiente térmico y fraccionamiento entre la fase gaseosa y la condensada, además de los componentes atmosféricos como el material particulado atmosférico, gotas de lluvia, cristales de nieve, núcleos de condensación, aerosoles que incluyen polvo, cenizas cristales de sales, esporas y microorganismos.

Este fenómeno nos permite abordar estudios de diversos componentes en glaciares, entre ellos: Los cúmulos de partículas depositadas en la superficie glaciar, que por acción térmica ganada aceleran su profundización y van conformando cavidades con sustratos denominados “crioconitas” de diferentes dimensiones como en la Figura 8 (véase la página 12), con diámetros de 2 cm y profundidad 3 cm en promedio, se configuran propicios para la supervivencia de organismos invertebrados, habiéndose encontrado individuos de la familia: Culicidae (Díptera: Nematocera), entre otros invertebrados como se observa en la Figura 9 (véase la página 12).

Según reportes de especialistas del INAIGEM durante los monitoreos glaciológicos del periodo seco 2017. Se informó el hallazgo de evidencias de procesos reproductivos ornitológicos sobre la superficie de diferentes

glaciares de la Cordillera Blanca, próximos al Nevado Pastoruri, como se observa en la Figura 10 (véase la página 13).



Figura 8: “Crioconitas” Agujeros cilíndricos en la superficie glaciár en Pastoruri, 2017



Figura 9: Macroinvertebrado habitante de crioconitas, Cordillera Blanca, 2017



Figura 10: Estructura utilizada por aves para procrear y criar a su descendencia; Cordillera, Blanca, 2017

Fuente: INAIGEM, 2017

1.5.4. Geología

La Cordillera Blanca es una de las 18 cordilleras glaciares existentes sobre el territorio peruano, tiene un basamento rocoso conformado principalmente por rocas intrusivas del Batolito del periodo Neógeno (~2.58 millones de años), que intruye y metamorfiza a la secuencia sedimentaria de la Formación Chicama del periodo Jurásico (~145 millones de años); ambas unidades geológicas ocupan gran parte de su superficie y el ámbito de ésta, se halla limitado entre los ríos Santa y Marañón.

Dentro del ámbito de la Cordillera Blanca en su parte occidental, donde se localiza el área de estudio, presenta afloramientos rocosos sedimentarios conformados por arcillitas, limolitas y areniscas del periodo Jurásico (Formación Chicama, Js-ch); suprayaciendo, se tiene el Grupo Goyllarisquizga (Ki-g) conformado por areniscas cuarzosas (Formación Chimú, Ki-ch), calizas y arcillitas (Formación Santa, Ki-sa), areniscas, lutitas y calizas (Formación Carhuaz, Ki-ca), calizas y arcillitas (Formación Farrat, Ki-fa), calizas y arcillitas (Formación Chulec, Ki-ch) del periodo Cretácico (~66 millones de años). Suprayaciendo, se observan rocas volcánicas-sedimentarias como lavas y tobas (Grupo Calipuy, PN-vca y Formación Yungay, Nmp-yu) intruido por el batolito de la Cordillera, rocas ígneas del Neógeno.

Finalmente, la superficie cordillerana es tapizada por los depósitos cuaternarios de origen glaciario, erosionados por la geodinámica de aguas superficiales. Estructuralmente, las rocas sedimentarias tienen una clara orientación andina de algunas estructuras existentes (anticlinales y sinclinales), visualizándose plegamientos y sobreescurrecimientos como resultado de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana (INAIGEM, 2017).



Figura 11: Secuencia sedimentaria detrítica de la Formación Chimú (Ki-ch), laguna en formación Pastoruri

a. Geología regional

➤ Cretácico Inferior

✓ Formación Chimú (Ki-ch)

Esta unidad geológica, está constituida por areniscas cuarzosas masivas, arcillitas grises oscuras y niveles de carbón. Forma parte del basamento rocoso que aflora en la zona alta de la quebrada Yanapampa y Pastoruri principalmente, dentro de la subcuenca del río Pachacoto. De acuerdo a su posición estratigráfica y relaciones de campo, se le asigna una edad correspondiente al cretáceo inferior en su parte basal, sobreyaciendo a la Formación Chicama, formando parte del Grupo Goyllarisquizga.

Basándonos en la descripción macroscópica de una muestra representativa, en la Figura 13 se presenta una arenisca cuarzosa con presencia de pirita diseminada y vetillas de cuarzo de 1-2 mm, que generan pátinas de óxidos en fracturas.



Figura 12: Secuencia sedimentaria, lado sur del manto central Pastoruri

Nota: Fuertes plegamientos próximos, compuestos por areniscas grises en las franjas superiores y lutitas carbonosas en las zonas basales ubicadas en el margen izquierdo del área glaciar en estudio.

✓ Formación Santa (Ki-sa)

Esta unidad geológica está conformada por una secuencia calcárea principalmente de calizas color gris cuya superficie es característica. Durante los trabajos de campo, esta unidad forma parte del basamento rocoso que aflora en la zona media y alta de la quebrada Yanapampa (ladera izquierda), dentro de la subcuenca del río Pachacoto. De acuerdo a su posición estratigráfica y relaciones de campo, se le asigna una edad correspondiente al cretáceo inferior, sobreyaciendo a la Formación Chimú. Esta unidad geológica forma parte del Grupo Goyllarisquizga.



Figura 13: Muestra de arenisca cuarzosa, Formación Chimú, Pastoruri

✓ Formación Carhuaz (Ki-ca)

Esta unidad geológica está constituida por limoarcilitas, limolitas y niveles de calizas de color pardo grisáceo. Durante los trabajos de campo, esta unidad forma parte del basamento rocoso que aflora en la zona baja de la quebrada Yanapampa (ladera izquierda), dentro de la subcuenca del río Pachacoto.

De acuerdo a su posición estratigráfica y relaciones de campo, se le asigna una edad correspondiente al cretáceo inferior, sobreyaciendo a la Formación Santa. Esta unidad geológica forma parte del Grupo Goyllarisquizga.

➤ **Neogeno**

✓ Grupo Calipuy (PN-vca)

Según INGEMMET, (1996), es una secuencia de rocas piroclásticas localizadas tanto en la Cordillera Negra como en la Cordillera Blanca, donde se localiza el área de estudio; la litología predominante consiste en rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica, presenta abundantes lavas andesíticas e ignimbritas; estas secuencias son extremadamente variables; estas algunas dataciones radiométricas tipo K-Ar de muestras,

han dado resultados en la base de lava basáltica edades de 24.6 a 15.2 millones de años, lo cual corresponde a edades del Eoceno y Mioceno.



Figura 14: Desembocadura de la laguna en formación Pastoruri sobre un basamento rocoso detrítico de la Formación Chimú (Ki-ch)

➤ Cuaternario

✓ Cuaternario, depósitos glaciares (Q-gl)

Son aquellos depositados directamente por la acción geodinámica de los glaciares; presentan materiales con tamaño de clastos muy variados, dentro de una matriz arenosa a limosa. Los cantos y bloques que viajan en el contacto hielo-roca son modificados por el transporte en cuanto a su forma pues se redondean por la fricción.

✓ Depósitos lacustrinos (Q-la)

Son depósitos cuaternarios que corresponden a los depósitos acumulados en un ambiente lagunar, cuya presencia se encuentra restringida en algunas zonas localizadas a lo largo de las quebradas investigadas. Estos depósitos muestran una estratificación de materiales finos como limos y arcillas, junto a materiales orgánicos como la turba (INAIGEM, 2017).

La paleo Flora, hallada en los afloramientos ubicados entre los 4500 a 5000 msnm., son testimonio directo de ambientes de sedimentación continental en climas tropicales, (Véase la Figura 15).



Figura 15: Fósiles de vegetales, de tipo *Otozamites peruvianus* Salfed, comprendidos en la zona frontal de la laguna en formación Pastoruri, 2017

1.5.5. Hidrografía

La Cordillera Blanca conforma una de las reservas más grandes de agua dulce en estado sólido y líquido del territorio peruano, además de albergar cientos de lagunas de origen glaciar que se han ido formando a lo largo del tiempo. Los glaciares se forman por acumulación de nieve que gradualmente se convierte en firn y hielo, este hielo es sumamente plástico y fluye hacia las partes inferiores de los valles y laderas por efecto de la gravedad. En sus extremos superiores erosivos, los glaciares pueden erosionar seriamente el lecho rocoso, los valles resultantes presentan una forma característica en U y fondos de valle muy irregulares, creando muchos lagos después de la desglaciación. Los glaciares del flanco occidental de la Cordillera Blanca vierten sus aguas al Río Santa, cuyo aporte contribuye de forma excepcional al desarrollo de innumerables pueblos y ciudades, además de sostener actividades pesqueras, agroindustriales, mineras, hidroenergética, entre otras (UGRH, 2016a).

El área glaciar Pastoruri se constituye en la Quebrada de Yanapampa, una microcuenca que pertenece a la subcuenca geográfica de Pachacoto, la misma que se encuentra entre los 3750 msnm hasta los 5688 msnm según registros de la Carta Nacional Recuay.

a. Estado situacional del manto glaciar Pastoruri

Según información brindada por la Dirección de Investigación en Glaciares del INAIGEM al 2017, la cobertura glaciar comprende un área de 0.7691 Km² conformada por tres importantes casquetes de hielo separados por acción de la fusión glaciar, siendo el bloque central el de mayor superficie; con características actuales, atípicas de un glaciar propiamente, como la forma, desembocadura y escasa idoneidad para el desarrollo de monitoreos glaciológicos directos o *in situ*.

A continuación, en la Figura 16 se hace una revisión de la variación histórica del área glaciar Pastoruri, a partir de registros de ANA (UGRH, 2016b). Se estima una disminución del 76.28% respecto de la superficie de 1970.

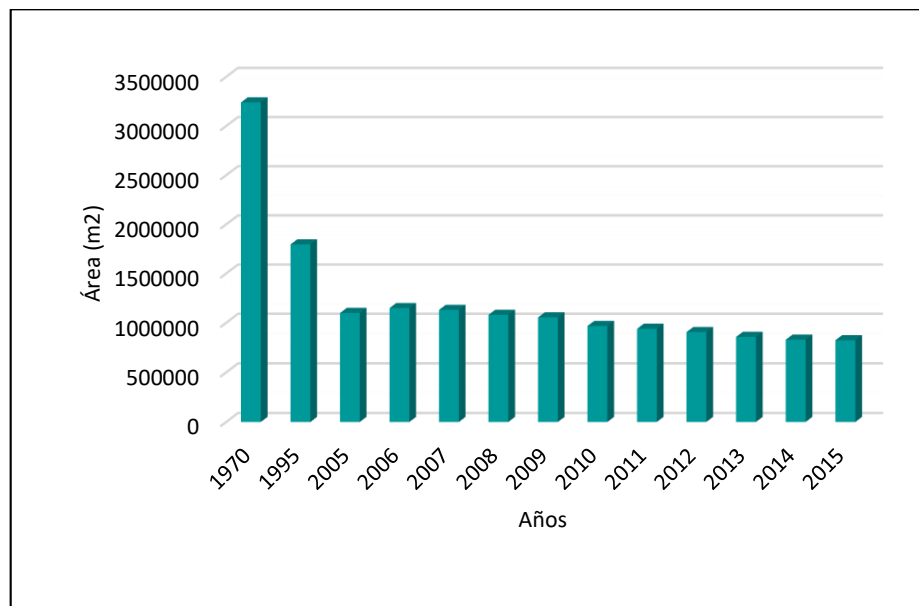


Figura 16: Variación histórica del área glaciar Pastoruri

Fuente: UGRH, 2016b



Figura 17: Área glaciar del bloque central Pastoruri, 2017

b. Estado situacional de la laguna en formación Pastoruri

Pastoruri, a efectos del acelerado retroceso glaciar, ha dado origen a una laguna proglaciar, actualmente se encuentra en contacto con la cobertura del bloque Central. La laguna en formación presenta forma ovoide con su eje mayor orientado al NNE, su vaso está conformado por taludes exteriores con inclinación alrededor de 38° , el aporte mayor de la laguna se da por la fusión de los bloques de hielo, y su desagüe produce por un cauce frontal.

En el año 2017 la UGRH realizó el primer estudio batimétrico de la laguna en formación determinándose un área de espejo de agua de $100\ 000\ \text{m}^2$, volumen de $750\ 000\ \text{m}^3$ y una profundidad máxima de 22 m.

La Figura 18 (véase la página 21), muestra los registros de los monitoreos del área de la laguna Pastoruri, realizados por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH, 2016a); notándose un crecimiento progresivo, del año 2005 al 2016, pasando de $21\ 096.49\ \text{m}^2$ a $82\ 308.64\ \text{m}^2$, este incremento de área representa un crecimiento en 290.1%.

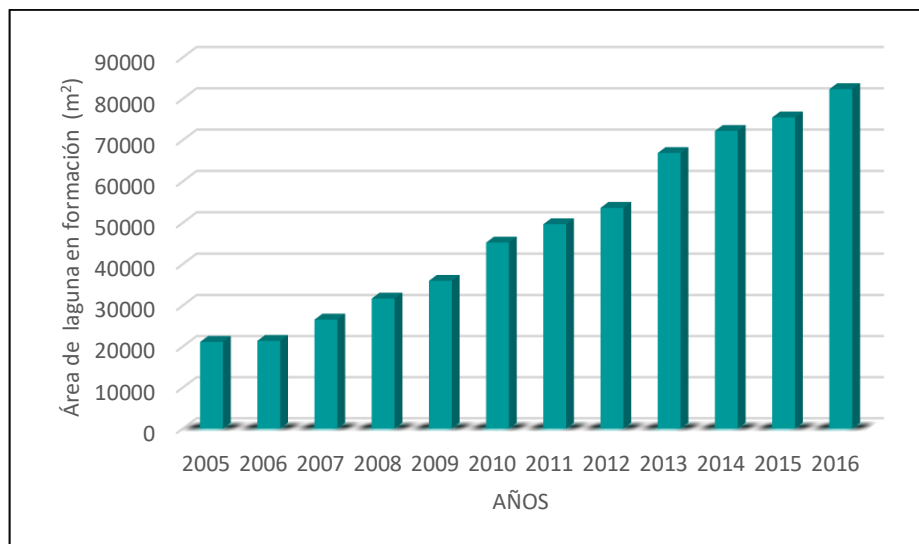


Figura 18. Variación histórica del área de la laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciaria central Pastoruri

1.5.6. Aspectos socioeconómicos

Las poblaciones directamente vinculadas al área proglaciaria Pastoruri, pertenecen al Distrito de Cátac y sus Centros poblados, registrándose según datos del INEI más de 4 200 personas, de las cuales 1 500 pertenecen a un grupo vulnerable entre niños menores de 14 años y personas de la tercera edad. Un conjunto de personas, en su mayoría mujeres, dedica su permanencia estacional en el campamento o Punto de parqueo de comercio turístico ubicado a unos 2.3 Km del nevado Pastoruri, exclusivamente en actividades relacionadas a brindar servicios al turismo como carga, transporte y venta de productos nativos.

Las actividades que generan ingresos también se vinculan a la agricultura altoandina y la crianza de animales de carga como caballos e introducidos como vicuñas, además de una ganadería extensiva de ganado vacuno.

1.5.7. Problemática ambiental

La actividad turística en Pastoruri, incentiva un ingreso masivo de visitantes, aún más en épocas festivas del año, lo cual marca el incremento de la generación e inadecuada disposición de los residuos sólidos. A lo largo del trayecto de ascenso al área de estudio se observa gran cantidad de materiales de desecho como envolturas, cajas, botellas, restos orgánicos de alimentos, etc. Se cuenta con dispositivos de acopio de

residuos; sin embargo, por motivos de distancia y una débil promoción de los mismos, los visitantes optan por disponer sus residuos dentro del área natural; de esa forma, se contribuye al deterioro de los suelos y afectaciones al paisaje natural.

Un proceso natural de contaminación se evidencia en gran parte del área basal de los mantos que conforman Pastoruri, puesto que el retroceso por la fusión glacial deja descubierto material rocoso mineralizado con sustancia reductoras que tienden a variar la calidad del agua a través de reacciones de oxidación natural y liberación de iones minerales.

No obstante, en la actualidad, La Ruta del Cambio Climático es una nueva propuesta turística educativa que muestra los cambios en y la dinámica de la naturaleza comprendiendo una serie de escenarios dentro del área proglacial Pastoruri, Parque Nacional Huascarán; los visitantes pueden observar dónde se encontraba el glaciar hace varios años y la ubicación de lo que fue la conocida cueva de hielo, ahora bajo la incidencia sobre las nuevas lagunas formadas; de esa manera se puede percibir los efectos del cambio climático, reflejados en el retroceso del glaciar. (UGRH, 2018)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

El interés por conocer la inmensidad de los datos registrados de forma natural en muestras de hielo generó impacto a través de un equipo de investigadores que conformaron la Base Vostok fundada por la Unión Soviética en los finales de la década de los años cincuenta; al ser una estación de investigación, lugar donde se alcanzó la temperatura más baja registrada en la Tierra, -89.2°C , el 21 de Julio de 1983, las investigaciones allí realizadas abarcaron desde perforaciones y extracción de núcleos de hielo hasta magnetometrías; la perforación en esta parte de la Antártida Oriental ha permitido la extensión del registro de hielo sobre la composición atmosférica y clima a los últimos cuatro ciclos glaciales - interglaciares, al determinarse concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono y el metano que se correlacionan con la temperatura del aire en la Antártida en todo el registro de las cargas atmosféricas contrastadas. Estos dos importantes gases de efecto invernadero parecen haber permanecido sin precedentes durante los últimos 420 000 años (Petit et al, 1999).

En suiza se desarrolló un estudio de gran referencia para el presente proyecto, se logró obtener un inventario completo de COPs en ecosistemas de glaciares incluyendo hielo glaciar, sedimentos de lagos proglaciares y agua de fusión, comprendiendo los procesos de transporte y redistribución de los contaminantes en dichos sistemas empleado distintas técnicas. Y analizando una serie de compuestos con diferentes características, un

logro central fue la perforación del primer núcleo de hielo en los Alpes a partir del glaciar Silvretta, utilizando un sistema de taladro electromecánico-térmico, para sedimentos y muestras de agua pasiva, utilizaron técnicas de extracción convencionales, las muestras de núcleos de hielo representaron un cierto desafío analítico debido a las concentraciones ultra-traza y posibles pérdidas a las paredes del contenedor. Por lo tanto, desarrollaron un nuevo método de extracción por trampa capilar, que, al minimizar el contacto de las superficies, reduce las pérdidas de adsorción y la contaminación de fondo, incluyendo pequeños volúmenes de muestras, fácil manejo y consumo de recursos en conformidad con la química analítica verde. De los dos grupos de sustancias diferentes: los productos químicos industriales, representados por los PCB y los plaguicidas, incluidos el DDT, el HCB y el HCH se detectaron PCB en todos los medios a muy bajos límites de detección. Por el contrario, los DDT no se detectaron en el hielo, posiblemente por el límite de detección más alto y la concentración muy baja. HCB y HCH, se detectaron esporádicamente en hielo; sin embargo, no está claro si esto es resultado de su comportamiento ambiental influenciado por una mayor volatilidad y diferentes fuentes. Se confirmó además que los glaciares representan reservorios de contaminantes orgánicos legados, se examinó el efecto del cambio climático y la aceleración del derretimiento de glaciares a la redistribución de estas sustancias en el medio ambiente, una parte esencial de los contaminantes se elimina con agua de fusión percoladora a pesar de sus propiedades hidrófobas, con el supuesto de que, con temperaturas crecientes, los COPs se volverán a volatilizar, el problema con los contaminantes orgánicos en áreas prístinas persistirá, sin embargo, las cargas a granel en los glaciares de los Alpes son relativamente bajas.(Pavlova, 2014)

Un modelo marco que cuantifica los flujos de masa de productos químicos semivolátiles glaciares fue desarrollado y aplicado al glaciar Silvretta localizado en los Alpes orientales centrales, en el cantón de Graubünden de Suiza; fue el primer estudio que proporcionó una imagen global consistente de PCB, con la dinámica y destino en todo un sistema de glaciares. Para el glaciar Silvretta, el modelo muestra que las concentraciones pico de PCB fueron alcanzadas en el pasado y que se prevén concentraciones futuras, de tal modo que es posible estimar cuánto

y cuándo serán liberados los COP; los glaciares alpinos que presentan mayores elevaciones que el Silvretta, ante el incremento de la temperatura tenderán potencialmente a liberar COP en las próximas décadas, los glaciares en retiro de los Alpes europeos y los contaminantes que fueron incorporados previamente en el hielo del glaciar, y que aún se almacenan en glaciares, se liberarán simultáneamente; esta mezcla, especialmente con productos químicos que se emiten actualmente, podría ser una amenaza para las especies sensibles, como los depredadores de vida larga y mamíferos, en el único ecosistema alpino (Steinlin et al, 2016).

El estudio desarrollado en la parte sur del continente americano, uno de los más próximos y de vínculo con el tema de la presente investigación, se desarrolló en Chile; muestra resultados que permiten establecer un claro patrón de distribución de compuestos orgánicos persistentes en función de la actividad antrópica. En los lagos prístinos Icalma y Lleu Lleu, se observaron marcadas diferencias en la distribución de los contaminantes; en el primero se detectó un total de seis compuestos orgánicos de los dieciocho analizados, número superior a los encontrados en el lago Lleu Lleu, donde sólo fueron detectados tres de estos compuestos. Al realizar una comparación global de los niveles de contaminantes orgánicos persistentes, se puede concluir que las concentraciones detectadas en las lagunas urbanas de la VIII Región fueron bajas si se comparan con otros estudios realizados en áreas limpias del Sur de Chile, donde las concentraciones detectadas fueron similares a las encontradas en este estudio i.e., 0.21 ng/g de DDT en el canal de Baker y 0.58 ng/g de DDT en Puerto Natales. (Pozo et al, 2011)

2.1.2 Antecedentes nacionales

El Perú, en el año 2006 expone los resultados obtenidos en el Inventario Nacional de Bifenilos policlorados o PCB, desarrollado entre junio del 2005 y febrero del siguiente año en el marco del Proyecto “Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en el Perú”, cuya información debió sustentar el Plan de Acción para los PCB con los lineamientos para su manejo y eliminación ambiental racional, el cual debe responder a lo estipulado en el Convenio recientemente ratificado por nuestro país, (El Peruano, 2005), que establece en sus directrices,

eliminar la producción y uso de estos contaminantes hasta el año 2025. De esta manera se da inicio a las actividades en pro de conocer y adoptar medidas para estos contaminantes ambientales.

En el año 2007, se publica el “Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes del Perú”, donde se recomienda a las partes, que dentro de sus capacidades avancen en materia de investigación y puedan desarrollar acciones más efectivas, reconociendo los peligros que representan los COPs al ambiente como a la salud y la necesidad de conocer los riesgos asociados. Para ello, el Convenio recomienda ampliar conocimientos respecto a fuentes y liberaciones en el medio ambiente; presencia, niveles y tendencias en las personas y en el medio ambiente; transporte, destino final y transformación en el medio ambiente; efectos en la salud humana y en el medio ambiente; efectos socioeconómicos y culturales; reducción y/o eliminación de sus liberaciones y metodologías armonizadas para hacer inventarios de las fuentes generadoras y de las técnicas analíticas para la medición de las emisiones (SENASA, DIGESA, & CONAM, 2007)

La Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública en una de sus publicaciones resalta la necesidad de conocer con precisión el nivel de contaminación por sustancias orgánicas tóxicas que puedan estar presentes en el ambiente a causa de la contaminación industrial, agrícola y doméstica, dado que son muy variadas y provienen de distintas fuentes, tanto puntuales como difusas, sin descuidar el control de metales y sustancias inorgánicas tóxicas, es necesario promover tanto una mayor demanda de este tipo de análisis, como a la vez un mayor desarrollo de la capacidad de análisis de compuestos orgánicos.

Se concluye, que el conocimiento preciso de ellos ayudará a determinar las causas de la contaminación, qué problemas se están presentando y qué compuestos habrá que vigilar para el control de la contaminación y la aplicación de medidas correctivas de ser necesarias, para la preservación de los recursos naturales del país y de nuestro ambiente; es necesario exigir también que los laboratorios, tanto en Lima como en provincias, tengan implementados sistemas de aseguramiento de la calidad de sus resultados y, en el mediano plazo, se acrediten ante el organismo competente, para que se genere la confianza en los resultados

por parte de la sociedad civil y los grupos de interés que participan en el cuidado del ambiente; asimismo, la calidad y competitividad de los laboratorios nacionales será un factor económico importante en la certificación de productos de exportación, importación y consumo (Chung, 2008).

2.1.3 Antecedentes regionales y locales

Como resultado de investigaciones en zonas remotas andinas, el INAIGEM viene desarrollando estudios de índole glaciológico, topográfico, geológico, geotécnico e hidrológico en las cordilleras andinas, siendo una de ellas la que representa e identifica el transporte de contaminantes desde zonas urbanas denominado carbono negro, según lo señalan Wallack & Ramanathan (2009); aerosol o material particulado, que se produce en la combustión incompleta e ineficiente de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa.

Según la estimación de la contribución del carbono negro a la fusión de nieve de los glaciares Yanapaccha y Shallap, para el período entre octubre de 2015 hasta agosto de 2016, en cada zona de ambos glaciares el carbono negro se encuentra en relación inversa a la altitud; es decir, a mayor altitud menor cantidad de carbono negro y de manera inversa a menor altitud mayor cantidad.

La mayor diferencia en el albedo de la nieve se presenta en el glaciar Shallap, esto debido a que este glaciar tiene mayor cantidad de carbono negro. La simulación SNICAR considera un valor promedio para la nieve sin carbono negro de 0.71069986, este albedo disminuye a medida que se introducen los valores de carbono negro para cada mes (INAIGEM, 2016).

Hidrandina S.A, empresa representativa de la región Ancash, de servicio público de electricidad, como parte de su compromiso con el medio ambiente y la comunidad internacional en la erradicación de los bifenilos policlorados (PCB), contenidos en aceites dieléctricos, ha capacitado a su personal de las diferentes unidades de negocio para realizar el descarte de PCB en aceites dieléctricos de transformadores, en concordancia con el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), por el cual los países deben adoptar medidas para reducir y/o

eliminar las emisiones y liberaciones de estos compuestos al medio ambiente, Así mismo, en su calidad de asociada al proyecto PCB, viene desarrollando el inventario complementario del proyecto “Manejo y Disposición Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados”, objetivo que se ha planteado la empresa para asegurar el manejo adecuado de PCB a través del retiro gradual y eliminación antes de 2025. Como parte de este programa, se ha iniciado el tratamiento de equipos que dieron PCB positivo >50 ppm para su tratamiento o disposición final, según sea el caso (Hidrandina, 2015).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Compuestos orgánicos persistentes (COPs)

Los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias a través de las fronteras internacionales y depositados lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos (PNUMA, 2009).

Estos contaminantes son compuestos orgánicos de origen natural o antropogénico con propiedades físicas y químicas tales que, una vez liberadas al ambiente, permanecen intactos durante períodos excepcionales mostrando resistencia a la degradación fotolítica, química y biológica. (El-Shahawi, Hamza, Bashammakh, & Al-Saggaf, 2010)

La mayoría de los COPs deben su presencia en el ambiente además de procesos industriales ordinarios, como la producción de plásticos, uso de plaguicidas, transformadores resquebrajados o la incineración de residuos, a los inevitables subproductos de las actividades actuales. Por planificación o accidente, estamos introduciendo continuamente nuevos productos químicos en el ambiente sin una noción clara de sus efectos futuros. Entre las decenas de miles de productos químicos en circulación durante décadas, sólo se han estudiado los efectos ambientales y en la salud de unos pocos. Por consiguiente, no se conoce exactamente cuántos COP existen, pero es probable que haya varios de miles; más allá de su número están sus efectos: mientras los COPs son tóxicos por definición, sus efectos en la salud y los impactos ambientales a largo plazo en gran

parte se desconocen; más complejo aún es el análisis de un COP individual, como la necesidad de entender qué tipos de interacciones sinérgicas se producen por la exposición a varios COPs o a COP junto a otros productos químicos.(Platt McGinn, 2000)

Los COPs presentan características semivolátiles, lo que les permite vaporizarse (fase gaseosa) o ser adsorbidos sobre partículas atmosféricas suspendidas en aerosoles, dando lugar al transporte transfronterizo a largas distancias por aire y agua desde regiones cálidas a frías del planeta.

La característica de transporte transfronterizo a larga distancia de los COPs, es uno de los mecanismos a través del cual es posible distribuir los efectos de persistencia, bioacumulación y bioconcentración a través del planeta por medio acuoso y atmosférico, dando como resultado la detección de niveles de contaminación por acción de estos contaminantes, en lugares alejados de las fuentes de emisión, tales como los polos y zonas montañosas.El proceso de transporte transfronterizo está afectado por factores tales como:

- Cantidad de la sustancia química distribuida entre los compartimentos ambientales (aire, agua, suelo y sedimentos).
- La estabilidad de la sustancia en el medio ambiente, es decir, su vida media en el aire o en el agua y las propiedades físico-químicas tales como la volatilidad y la solubilidad en agua.
- Qué condiciones ambientales por ejemplo la temperatura cambia durante el transporte y, por ende, cuanto este cambio puede afectar la vida media de la sustancia en cuestión.
- La velocidad relativa en la cual se mueven las masas de aire y de agua a través de distancias en el aire y los océanos.

El transporte a través de ríos solo puede ser considerado sobre la base de un transporte regional, puesto que pocos ríos poseen extensiones mayores de 1 000 Km de largo, de ahí, que el transporte transfronterizo en medio acuoso, es esencialmente el que realizan los océanos que cubren cerca del 80% de la superficie terrestre.

2.2.2. Tipos de COPs

En general los COPs pueden ser divididos en dos tipos: intencionales y no intencionales o involuntarios (Véase la Figura 19)

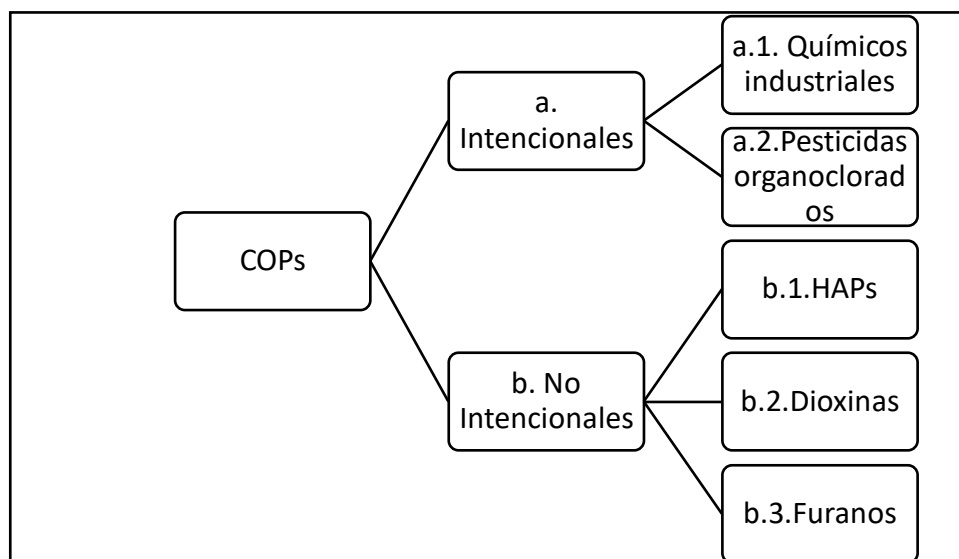


Figura 19: Tipo de COPs según Shahawi

Fuente: (El-Shahawi et al, 2010)

a. Intencionales

Estos compuestos se originan como productos deseados por reacciones químicas que incluyen cloro. Estas moléculas orgánicas presentan átomos enlazados de halógenos, alta lipofilia y por lo general, alta neurotoxicidad; se denominan compuestos organoclorados (OCs), ejemplos de OC son los insecticidas clorados, tales como diclorodifeniltricloroetano (DDT) y bifenilos policlorados (PCB); se tiene una variedad de compuestos que se pueden dividir en dos tipos: productos químicos industriales y pesticidas organoclorados (Kukucka, 2014).

➤ Químicos industriales

Descubiertos por primera vez como contaminantes ambientales en 1966, bifenilos policlorados (compuestos de PCB) se han encontrado a lo largo del mundo en agua, sedimentos, tejido de aves y peces. Estas sustancias constituyen una clase importante de desechos especiales, los PCBs son una clase de compuestos

químicos en los que dos a diez átomos de cloro están unidos a la molécula de bifenilo; a menudo se incluyen los bifenilos monoclorados (un átomo de cloro unido a la molécula de bifenilo) (Jacob & Cherian, 2013).

Teóricamente, hay doscientos nueve congéneres PCB diferentes, muchos de ellos son resistentes a la degradación, lo que les permite persistir en el ambiente por un largo tiempo y se generalizaron a través de los mecanismos de transporte atmosférico y agua.

Los PCB son sustancias químicas ampliamente utilizadas en procesos industriales, incluso son resultantes de los incendios de transformadores y condensadores aislantes, así como fluidos intercambiadores de calor en aluminio, cobre, hierro y el proceso de fabricación de acero desde la década de 1930 hasta finales de la década de 1970. Aunque su producción terminó a fines de la década de 1970, la mayoría del mundo acumulativo en la producción de PCB todavía está en el medio ambiente (Ozcan & Balkan, 2017).

Los PCB también fueron utilizados como plastificantes, en productos de caucho natural y sintético, como adhesivos, materiales aislantes, ignífugos, lubricantes en tratamiento de madera, ropa, papel y amianto, estabilizadores químicos en pinturas, pigmentos y como agentes dispersantes en formulaciones de óxido de aluminio.

Dado que los PCB fueron ampliamente utilizados como fluidos dieléctricos de la década de 1950, están presentes en los transformadores eléctricos en varias ciudades brasileñas, a pesar de su prohibición en la década de 1980, cada año, más de 6000 muestras de alimentos de toda Polonia están siendo analizados para determinar el contenido de residuos de pesticidas bifenilos policlorados y otras sustancias tóxicas en la grasa, tejido de diversas especies animales, leche de vaca y huevos de gallina. Los resultados de la investigación se resumen en la Figura 20. Presencia de PCB en los alimentos durante los años 1995 - 1999.

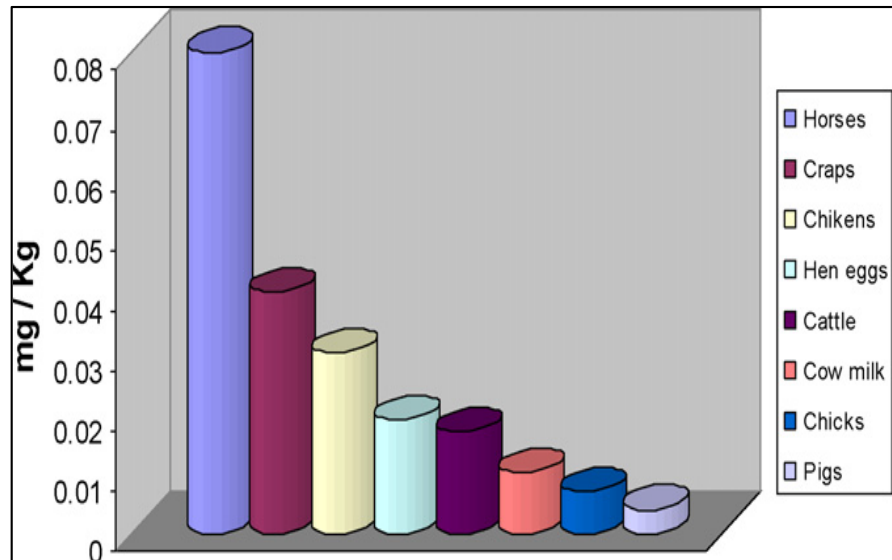


Figura 20: Distribución de PCB en alimentos durante los años 1995-1999

Fuente: El-Shahawi et. al, 2010

➤ Los pesticidas organoclorados

Son sustancias químicas o biológicas utilizadas para matar o controlar plagas. Se dividen en tres clases principales: insecticidas, fungicidas y herbicidas. También hay rodenticidas, nematocidas, molusquicidas y acaricidas. Estas sustancias químicas son compuestos orgánicos sintéticos, aunque existen excepciones que ocurren naturalmente como derivados de plantas o minerales inorgánicos naturales.

Muchos hidrocarburos clorados insecticidas se desarrollaron y entraron en uso generalizado en las décadas de 1940 y 1950; los ejemplos comunes incluyen Aldrín, Dieldrina, Heptocloro y Endrina. Sin embargo, a pesar de su temprana promesa, estos insecticidas organoclorados ahora son mucho menos utilizados debido a su impacto en la contaminación ambiental (Strompl & Thiele, 1997).

Los pesticidas actualmente conforman miles de productos comerciales, incluyen una variedad de compuestos, principalmente insecticidas, herbicidas y fungicidas, con diferentes características fisicoquímicas, diferencias en la polaridad, volatilidad y persistencia (Rodrigues et al, 2011).

Alrededor del 80% de los pesticidas se utiliza en la agricultura para el control de invertebrados, reguladores del crecimiento, los defoliantes y los desecantes de las plantas; se han movido en el medio ambiente por medio de la volatilización, escorrentía, infiltración, transporte a lo largo de la cadena alimentaria, etc.

A partir de mediados de la década de 1990, la agricultura de EE.UU. usó alrededor de 365 millones de Kg de plaguicidas por año, mientras que alrededor de 900 millones de Kg de insecticidas se utilizaron en aplicaciones no agrícolas que incluyen silvicultura, paisajismo, jardinería, distribución de alimentos y plagas domésticas. Controlar la producción de insecticidas se ha mantenido en niveles durante las últimas tres o cuatro décadas; sin embargo, insecticidas y fungicidas son los pesticidas más importantes con respecto a la exposición humana en los alimentos porque se aplican poco antes o incluso después de la cosecha; la producción de herbicidas se ha incrementado; como productos químicos han reemplazado cada vez más el cultivo de la tierra en el control de malezas y ahora representa la mayoría de los pesticidas agrícolas (UNECE, 1979).

b. COPs no intencionales o involuntarios

Fueron producidos como subproductos no deseados de la combustión o proceso químico que tiene lugar en presencia de cloro compuestos. Se dividen en tres tipos: policíclicoaromático hidrocarburos (HAP), dioxinas y compuestos de furano.

➤ **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)**

Los HAP consisten en dos o más anillos de benceno fusionados linealmente, arreglos angulares o agrupados, que contienen solo carbono e hidrógeno, la estructura molecular central se mantiene unida por estables enlaces carbono-carbono. La Agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos (EPA) listó 16 HAPs en una lista de contaminantes prioritarios donde se consideran carcinógenos humanos posibles o probables, por lo tanto, su distribución y la posibilidad de exposición humana ha sido el foco de mucha atención. HAPs han sido detectados en el suelo, el

aire y los sedimentos, así como en diversos productos consumibles. Pueden ocurrir naturalmente en el ambiente, principalmente como resultado de la síntesis de plantas o después de los incendios de bosques y praderas.

Sin embargo, la mayor cantidad de HAP liberada en el medio ambiente se dio a través de procesos antropogénicos como la combustión de combustibles fósiles y subproductos de procesamiento industrial, además de incendios agrícolas, ya que cocinar también puede liberar HAP. La distribución de HAPs en los sedimentos puede dar información sobre las fuentes de los precursores, es decir, si son pirogénicos o petrogénicos (Schiewer & Volesky, 1995).

➤ **Dioxinas y dibenzofuranos**

Las dibenzodioxinas cloradas (dioxinas) y los dibenzofuranos clorados (furanos) son series de compuestos estructuralmente similares, tienen propiedades químicas similares y efectos tóxicos, generalmente se determinan como un grupo y han sido motivo de preocupación durante décadas debido a sus propiedades tóxicas.

En los últimos años ha habido una tendencia creciente a incluir un subgrupo específico de los bifenilos policlorados (PCB): los llamados PCB similares a las dioxinas (DLPCB). Esto ha sido agregado a los métodos junto con las dioxinas y furanos.

Es comúnmente reconocido que las fuentes y actividades hechas por el hombre son mucho mayores contribuyentes a la carga ambiental de las dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos (PCDF) que los procesos naturales, especialmente desde la década de 1930. A partir de ese momento hubo un constante aumento en los niveles ambientales coincidiendo con la gran escala de producción y uso de productos químicos clorados (Zielinska & Samy, 2006).

Las fuentes artificiales de PCDD y PCDF se pueden dividir en tres categorías principales: procesos químicos, procesos de combustión y fuentes secundarias; incinerador de residuos municipal, combustión de carbón, sustancia química, planta de

incineración de residuos, incinerador de residuos clínicos, gas de vertedero combustión, crematorios, incinerador de cadáveres de animales y cemento, la fabricación son las principales fuentes de PCDD y PCDF en los países asiáticos. (Sakai,1998). Congéneres con sustitución de cloro en las posiciones 2, 3, 7 y 8 se consideran tóxicos; de las 75 posibles dioxinas y 135 posibles estructuras de furano, solo 17 tienen 2,3,7,8-sustitución. El sistema de numeración de los átomos está marcado a continuación a cada carbono para indicar posiciones de sustitución.

Los congéneres Dioxina y furano sustituidos en la posición 2, 3, 7 u 8 son tóxicos, mientras que PCBs sustituidos en las posiciones 3,3', 4,4', 5 o 5' o solo la sustitución 2- o 2'- son considerados tipo dioxinas (Garg & Gupta, 2016).

2.2.3. Clasificación de COPs según el Convenio de Estocolmo

En el convenio de Estocolmo 2001, representantes de noventa y dos países acordaron firmar el Convenio de Estocolmo sobre COP para reducir y/o eliminar la liberación de doce sustancias COP conocidas como la “docena sucia”.

Estos contaminantes son los diez productos químicos producidos intencionalmente: Aldrín, Endrina, Clordano, DDT, Dieldrina, Heptacloro, Mirex, Toxafeno, Hexaclorobenceno (HCB), Bifenilos policlorados (PCB) y dos sustancias producidas no intencionalmente, Dibenzo-p-dioxinas policloradas (DDPC) y Dibenzofuranos policlorados (DFPC) (PNUMA, 2011).

a. Anexo A del Convenio de Estocolmo - Eliminación

Se establece la eliminación de la producción y el uso de las siguientes sustancias químicas: aldrín, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno y bifenilos policlorados, conformada en general por termicidas PCBs.

Tabla 2: Sustancias Químicas del Anexo A, Convenio de Estocolmo

Producto químico	Actividad	Exención específica
Aldrina	Producción	Ninguna
	Uso	Ectoparasítica local Insecticida
Clordano* N° de CAS: 57-74-9	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro
	Uso	Ectoparasítica local, Insecticida, Termicida, termicida en edificios y presas, termicida en carreteras, aditivo para adhesivos de contrachapado
Dieldrina* N° de CAS: 60-57-1	Producción	Ninguna
	Uso	En actividades agrícolas
Endrina* N° de CAS: 72-20-8	Producción	Ninguna
	Uso	Ninguna
Heptacloro * N° de CAS: 76-44-8	Producción	Ninguna
	Uso	Termicida, termicida en estructuras de casa, termicida (subterráneo), tratamiento de la madera, cajas de cableado subterráneo
Hexaclorobenceno N° de CAS: 118-74-1	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro
	Uso	Intermediario, Solvente en plaguicidas, Intermediario en un sistema cerrado limitado a un emplazamiento
Mirex * N° de CAS: 2385-85-5	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro
	Uso	Termicida
Toxafeno * N° de CAS: 8001-35-2	Producción	Ninguna
	Uso	Ninguna
Bifenilos policlorados (BPC)*	Producción	Ninguna
	Uso	Artículos en uso con arreglo a las disposiciones de la parte II del presente anexo

- I. A menos que en el presente Convenio se disponga otra cosa, las cantidades de un producto químico presentes como contaminantes en trazas no intencionales en productos y artículos no se considerarán incluidas en el presente anexo.
- II. La presente nota no será considerada como una exención específica para la producción y la utilización para los fines del párrafo 2 del artículo 3. Las cantidades de un producto químico presentes como constituyentes de artículos manufacturados o que

ya estaban en uso antes o en la fecha de entrada en vigor de la obligación de que se trate con respecto a ese producto químico, no se considerarán incluidas en el presente anexo siempre y cuando la Parte haya notificado a la secretaría que un determinado tipo de artículo sigue estando en uso en esa Parte. La secretaría pondrá esas notificaciones en conocimiento del público.

- III. La presente nota, que no se aplica a los productos químicos marcados con un asterisco después de su nombre en la columna titulada "Producto químico" en la parte I del presente anexo, no será considerada como una exención específica para la producción y la utilización a los fines del párrafo 2 del artículo 3. Dado que no se espera que cantidades significativas del producto químico lleguen a las personas y al medio ambiente durante la producción y uso de un intermediario en un sistema cerrado y limitado a un emplazamiento, una parte, tras notificarlo a la secretaría, podrá permitir la producción y uso de cantidades de un producto químico incluido en el presente anexo como intermediario en un sistema cerrado y limitado a un emplazamiento que se transforma químicamente en la fabricación de otros productos químicos que, teniendo en cuenta los criterios estipulados en el párrafo 1 del anexo D, no presentan características de contaminantes orgánicos persistentes. Esta notificación deberá incluir información sobre la producción y el uso total de esos productos químicos o una estimación razonable de esos datos, así como información sobre la naturaleza del proceso de sistema cerrado y limitado a un emplazamiento, incluida la magnitud de cualquier contaminación en trazas no intencional y no transformada del material inicial del contaminante orgánico persistente en el producto final.

Este procedimiento se aplicará, salvo cuando en el presente anexo se indique otra cosa. La secretaría dará a conocer tales notificaciones a la Conferencia de las Partes y al público. Dicha producción o uso no se considerarán como una exención específica para la producción o la utilización. Dicha producción y

uso deberán cesar al cabo de un período de diez años, a menos que la Parte interesada presente una nueva notificación a la secretaría, en cuyo caso el período se prorrogará por otros diez años, a menos que la Conferencia de las Partes, después de estudiar la producción y el uso, decida otra cosa. El proceso de notificación podrá repetirse.

- IV. Las Partes que hayan registrado exenciones específicas con arreglo al artículo 4, podrán gozar de todas las exenciones que figuran en el presente anexo, a excepción del uso de bifenilos policlorados en artículos en uso de acuerdo con las disposiciones de la parte II del presente anexo, de la cual podrán gozar todas las partes. (PNUMA, 2011)

Entre las sustancias químicas microcontaminantes del Anexo A destacan:

➤ **Policlorobifenilos (PCB)**

Los PCB son hidrocarburos aromáticos clorados de forma $C_{12}H_{10-R}Cl_R$, categoría con números CAS 133-36-3 y número de Naciones Unidas UN 2315. (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2004). Constituyen un grupo de compuestos clorados derivados del bifenil formado por un máximo de 209 congéneres que se diferencian en el grado de cloración y en la posición de estos átomos de cloro con una estructura de dos anillos fenólicos unidos por enlace C-C simple, y sustituciones de cloro en distinta proporción y ubicación. (Quiroz, 2009). En la Figura 21, se muestra la estructura química de un Policlorobifenilo con cinco átomos de cloro.

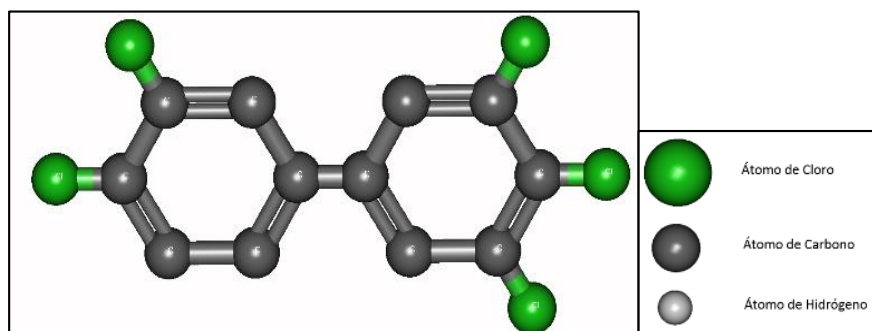


Figura 21: 3,3',4,4',5-Pentaclorobifenilo; (PCB126)

✓ Usos

La producción comercial de los PCB comenzó en 1930. Se han utilizado ampliamente en equipos eléctricos y en volúmenes más pequeños como líquido piro resistente en sistemas de régimen cerrado.

Al final de 1980, la producción mundial total de PCB era superior a un millón de toneladas y desde entonces, la producción ha continuado en algunos países. A pesar de la creciente retirada del uso y de las restricciones sobre la producción, en el ambiente sigue habiendo cantidades muy elevadas de estos compuestos, bien en uso o como desecho.

En los últimos años, muchos países industrializados han adoptado medidas para controlar y limitar el flujo de PCB hacia el ambiente, el factor decisivo que ha llevado a estas restricciones ha sido probablemente una recomendación de 1973 de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

Desde entonces, los 24 países miembros de la OCDE han limitado la fabricación, la venta, la importación, la exportación y el uso de PCB, además de establecer un sistema de etiquetado de estos productos.

Entre las fuentes actuales de liberación de PCB figuran la volatilización de vertederos (rellenos sanitarios y botaderos) que contienen transformadores, condensadores y otros residuos con PCB, aguas residuales, fangos cloacales, derrames y desechos de dragado, y la eliminación inadecuada (o ilegal) en zonas abiertas. Se puede producir contaminación durante la incineración de desechos industriales y municipales. Se sabe que la mayoría de los incineradores municipales no son eficaces en la destrucción de los PCB. La explosión o el sobrecalentamiento de transformadores y condensadores pueden liberar cantidades significativas de PCB al entorno local, muchos productos industriales que son mezclas de los congéneres policlorobifenilos,

se han utilizado ampliamente en una gran variedad de aplicaciones. (PNUMA, 2006).

Desde el punto de vista de la aplicación y la facilidad para ser liberados o escapar al ambiente, los PCB se pueden clasificar en sistemas cerrados, parcialmente cerrados y abiertos, según se muestra en la Tabla 3 (véase la página 42).

✓ Toxicología

Muchos estudios han investigado cómo los PCB pueden afectar la salud de los seres humanos. Entre ellos se analizó gente expuesta en el trabajo, mientras que otros han evaluado a miembros de la población general. Los problemas de la piel, como por ejemplo el acné y los salpullidos, pueden ocurrir en gente expuesta a altos niveles de BPC.

Estos efectos de la piel están documentados, pero es improbable que ocurran a los niveles de exposición experimentados por la población general

La mayoría de los estudios en seres humanos sufren numerosas limitaciones, lo que hace difícil para los científicos establecer una clara asociación entre los niveles de exposición a los BPC y efectos a la salud. Los estudios en trabajadores sugieren que la exposición a los BPC también puede producir irritación de la nariz y los pulmones, malestar gastrointestinal, alteraciones de la sangre, hígado, depresión y fatiga (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2002).

Entre los efectos de este tipo de contaminantes, pueden ser causantes de daños en el sistema inmunológico, hígado, piel, sistema reproductivo, tracto gastrointestinal y la glándula tiroidea.(CNR COP, 2013).

En pruebas experimentales en animales, los PCB no se llegan a considerar genotóxicos, pero hay pruebas concluyentes que los destacan como promotores tumorales, cuya toxicidad puede ser evaluada en una base de umbral y algunos congéneres

coplanares presentan efectos similares a las dioxinas, produciendo alteraciones hepáticas y hormonales. Otros han mostrado, de manera predominante, efectos que alteran la respuesta inmune e inflamatoria y son neurotóxicos además de sus severos efectos sobre el sistema endocrino conocidos como disruptores hormonales (ATSDR, 2000).

✓ Comportamiento ambiental

La solubilidad y la presión de vapor de los PCB disminuyen al aumentar el número de posiciones cloradas, se volatilizan de la superficie del agua a pesar de su baja presión de vapor, debido a que su hidrofobicidad y, en consecuencia, el transporte atmosférico es componente importante en su distribución ambiental; tienen afinidad de asociarse con la materia orgánica tanto de suelos como de sedimentos, son compuestos no polares, lipofílicos, acumulables en los tejidos biológicos, poseen altos factores de bioconcentración y de bioacumulación, propagándose en las cadenas alimentarias; su persistencia en el medio ambiente aumenta con grado de cloración, en un rango muy variable de pocos días en ambientes reactivos (luz, condiciones de pH y redox) a décadas para los bifenilos muy clorados en condiciones poco reactivas. (Universidad Nacional del Litoral., 2013).

b. Anexo B del Convenio de Estocolmo sobre eliminación - restricción

El Anexo B establece la restricción en la producción y uso del DDT, con el objetivo último de la eliminación permitiéndose, entre tanto, únicamente para el control de vectores de enfermedades infecciosas (p.e. malaria). Se insta al desarrollo de investigación, desarrollo e implementación de alternativas al DDT que sean seguras, efectivas y accesibles económicamente.

- I. A menos que en el presente Convenio se disponga otra cosa, las cantidades de un producto químico presente como contaminante en trazas no intencionales en productos y artículos no se considerarán incluidas en el presente anexo.

Tabla 3: Clasificación de PCB según la aplicación y facilidad para su liberación al ambiente

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	USO
Cerrado	Unidades selladas o cerradas – en condiciones normales- los PCB se mantienen dentro del equipo y no debería liberarse, salvo cuando se efectúe labores de mantenimiento, reparaciones o ante daños o incendios.	Instalaciones eléctricas	Transformadores, capacitores grandes y pequeños, balastos, reguladores de voltaje, disyuntores, reactancias de lámparas fluorescentes, electroimanes. Así mismo, bancos condensadores, reactores de potencia y reconectores.
		Instalaciones industriales	Transformadores, capacitores, reguladores de tensión, disyuntores, reactancias de lámparas fluorescentes.
Parcialmente cerrado	Son aplicaciones en las cuales los PCB no están expuestos directamente al ambiente; sin embargo, dependiendo las condiciones en las que se utilice el equipo puede llegar a liberarse el compuesto.	Instalaciones eléctricas	Interruptores, reguladores de voltaje, cables con recubrimiento en el núcleo.
		Instalaciones industriales	Líquidos para transmisión de calor, fluidos hidráulicos, fluidos para sistemas de vacío, sistemas de extinción de incendios
Abierto	En este tipo de sistemas, los PCB hacen parte de otros productos que se encuentran fácilmente en contacto, con el ambiente, y por ende, con el ser humano.	Lubricación	Aceites refrigerantes de corte, aceites de inmersión y lubricación.
		Recubrimientos	Pinturas para aplicaciones exigentes Tratamientos de superficie para textiles Papel de copia sin carbón (sensible a la presión) Retardante de llama Control de polvo en líneas de conducción de gas
		Aislamientos	Aislamientos térmicos
		Adhesivos	Adhesivos a prueba de agua
		Plastificantes	Polímeros de PVC Sellantes de juntas Sellantes de vacío en concreto

Fuente:(MADS, 2015)

- II. La presente nota no será considerada como una finalidad aceptable o exención específica para la producción y la utilización a los fines del párrafo 2 del artículo 3. Las cantidades de un producto químico presentes como constituyentes de artículos manufacturados o que ya estaban en uso antes o en la fecha de entrada en vigor de la obligación de que se trate con respecto a ese producto químico no se considerarán incluidas en el presente anexo siempre y cuando la Parte haya notificado a la secretaría que un determinado tipo de artículo sigue estando en uso en esa Parte. La secretaría pondrá esas notificaciones en conocimiento del público.
- III. Dado que no se espera que cantidades significativas del producto químico lleguen a las personas y al medio ambiente durante la producción y uso de un intermediario en un sistema cerrado y limitado a un emplazamiento, una Parte, tras notificarlo a la secretaría, podrá permitir la producción y utilización de cantidades de un producto químico incluido en el presente anexo como intermediario en un sistema cerrado y limitado a un emplazamiento que se transforma químicamente en la fabricación de otros productos químicos que, teniendo en cuenta los criterios estipulados en el párrafo 1 del anexo D no presentan características de contaminantes orgánicos persistentes.
- Esta notificación deberá incluir información sobre la producción y el uso totales de esos productos químicos o una estimación razonable de esos datos, así como información sobre la naturaleza del proceso de sistema cerrado y limitado a un emplazamiento, incluida la magnitud de cualquier contaminación en trazas no intencional y no transformada del material inicial del contaminante orgánico persistente en el producto final.
- Este procedimiento se aplicará salvo cuando en el presente anexo se indique otra cosa.

Tabla 4: Sustancias Químicas del Anexo B, Convenio de Estocolmo

Producto químico	Actividad	Finalidad aceptable o exención específica
DDT (1,1,1-Tricloro-2,2-bis (4-clorofenil) etano) N° de CAS: 50-29-3	Producción	Finalidad aceptable: Uso en la lucha contra los vectores de enfermedades de acuerdo con la parte II del presente anexo Exención específica: Intermediario en la producción de dicofol.
	Uso	Finalidad aceptable: Uso en la lucha contra los vectores de enfermedades con arreglo a la parte II del presente anexo Exención específica: Producción de dicofol Intermediario

Entre estos microcontaminantes destacan:

➤ **Dicloro difenil tricloroetano y análogos (DDT)**

El DDT [1,1,1-tricloro-2, 2-bis (4 - Clorofenil) etano] se sintetizó por primera vez por O. Zeidler en 1874, pero su actividad insecticida fue descubierta sólo en 1939 por Paul Mueller en Suiza; los primeros experimentos mostraron que el DTD era efectivo contra una amplia variedad de plagas agrícolas, así como contra insectos que transmiten algunas de las enfermedades más graves del mundo, como el tifus, la malaria y la fiebre amarilla.(Doull & Klaassen, 2013).

Se conseguía por condensación del cloral o tricloroacetaldehído, con un exceso de clorobenceno, y en presencia de cloruro de aluminio, que actuaba como catalizador. Seguidamente se purificaba el producto, con grandes cantidades de agua, con la finalidad que el DDT se desprenda de sus impurezas (Méndez, 2010); a continuación se muestra la estructura química del DDT:

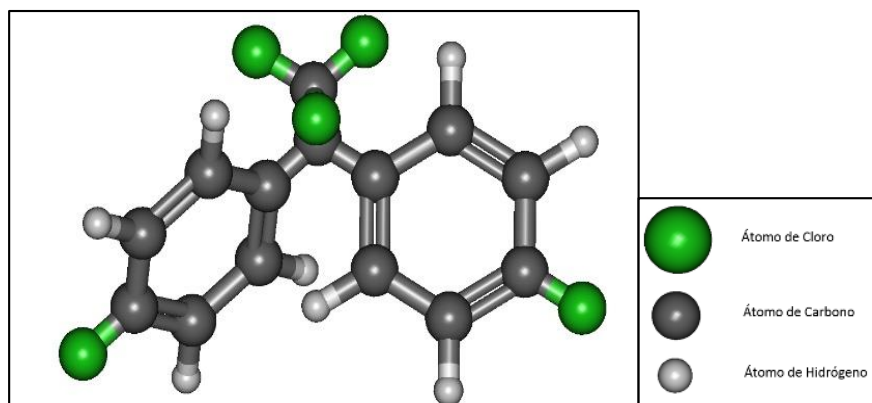


Figura 22:1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)- etano; (DDT)

De acuerdo con las condiciones del medio, el DDT se puede degradar a DDE o DDD. Las estimaciones sobre su producción acumulada durante los 20 años en los que se comercializó a nivel mundial (mediados de los 80s hasta 2005), superan las 100kt (Quiroz, 2009).

✓ Usos

El DDT se utilizó por primera vez en la Segunda Guerra Mundial para controlar insectos vectores de enfermedades como el paludismo, dengue y tifoidea. Después se utilizó en una gran variedad de cultivos agrícolas. El producto técnico es una mezcla de aprox. 85% de p,p'-DDT y 15% de isómeros de o,p'- DDT. El DDT se utilizó de forma intensa y generalizada en la Región, sobre todo a principios de los años 1960-1970, en programas para combatir el paludismo en zonas tropicales y subtropicales. Se produjo desde 1954 en Argentina. Entre 1962 y 1982 Brasil produjo 73 481 toneladas de DDT puro. También importó 31 130 toneladas entre 1962 y 1975, y adquirió 3 200 toneladas entre 1989 y 1991 (PNUMA, 2002).

✓ Toxicología

El DDT tiene una toxicidad aguda moderada cuando se administra por vía oral, con una LD₅₀ de aproximadamente 250 mg/Kg; p,p' DDT es al menos 10 veces más tóxico que o,p -DDT; En cuanto a su absorción dérmica de DDT es muy limitada, dando como resultado valores dérmicos de LD₅₀ > 1000 mg/Kg. En

humanos, las dosis orales de 10-20 mg/Kg producen enfermedad, pero las dosis tan altas como 285 mg/Kg se han ingerido accidentalmente sin resultados fatales. Toxicidad por exposición dérmica en humanos también es baja, como lo demuestra la falta de efectos adversos significativos cuando miles de personas fueron liberadas con este compuesto.

Tras la absorción, el DDT se distribuye en todos los tejidos y las concentraciones más altas se encuentran en el tejido adiposo. El DDT también es extensivo, pero se metaboliza lentamente, con DDE, DDD y DDA (en cada caso los isómeros, tanto p, p y o, p) siendo los principales metabolitos en humanos. DDE también se almacena en el tejido adiposo; la excreción es a través de la bilis, orina y leche. En los seres humanos, el síntoma más temprano de intoxicación por DDT es la hiperestesia de la boca y la parte inferior de la cara, seguida de parestesias de la misma zona y de la lengua; mareos, temblor de las extremidades, confusión y vómitos siguen, mientras que las convulsiones ocurren solamente en envenenamiento severo. Los signos y síntomas de una intoxicación aguda apuntan claramente como objetivo principal de la toxicidad del DDT tanto en insectos como en mamíferos, el DDT interfiere con el sodio, en los canales de la membrana axonal por un mecanismo similar al de piretroides de Tipo I (H, Vijverberg; J & J, 1982). El DDT tiene poco o nada de efecto sobre el potencial de reposo o la fase ascendente y la amplitud de pico del potencial de acción. Sin embargo, prolonga considerablemente lo (negativo) del potencial de acción, y esto produce un período de aumento de la excitabilidad neuronal inmediatamente después de la fase de espiga (despolarización y repolarización) (Doull & Klaassen, 2013).

✓ Comportamiento ambiental

El DDT, DDE y DDD en forma de vapor pueden degradarse en la atmósfera por reacciones generadas por la luz solar. Se ha estimado que la vida media de estas sustancias en forma de vapor es de 1.5 a 3 días. Sin embargo, en la realidad, esa vida media es

demasiado corta como para explicar el hecho de que el DDT, DDE y DDD son transportados a largas distancias en la atmósfera.

El DDT, DDE y DDD permanecen en el suelo por mucho tiempo, posiblemente cientos de años. La mayoría del DDT se degrada lentamente a DDE y DDD, generalmente por la acción de microorganismos. Estos productos químicos también pueden evaporarse al aire y depositarse en otros lugares; se adhieren firmemente al suelo y, por lo tanto, permanecen generalmente en las capas superficiales del suelo. Algunas partículas de tierra que contienen DDT, DDE o DDD, pueden entrar a ríos y a lagos en flujos de escorrentía. Sólo una cantidad muy pequeña, o tal vez nada, se filtrará a través del suelo al agua subterránea. La cantidad de tiempo que el DDT permanecerá en el suelo depende de muchos factores tales como la temperatura, el tipo de suelo y la humedad del suelo. El DDT permanece un tiempo mucho más breve en los trópicos, en donde se evapora más rápidamente y también es degradado más rápidamente por microorganismos.

El DDT desaparece más rápidamente cuando recién ha entrado al suelo. Posteriormente, la evaporación se hace más lenta y cierta cantidad de DDT pasa a espacios en el suelo tan pequeños que los microorganismos no pueden alcanzar al DDT para degradarlo.

En climas tropicales, el DDT puede desaparecer en mucho menos de un año; en climas templados, la mitad del DDT inicialmente presente generalmente desaparece en cerca de 5 años. Sin embargo, en ciertos casos, la mitad del DDT inicialmente presente permanecerá por 20 ó 30 años ó más.

En el agua superficial, el DDT se une a partículas en el agua y se deposita en el sedimento. En el agua, el DDT es incorporado por pequeños organismos y otras especies acuáticas acumulándose en altos niveles en peces y mamíferos acuáticos como focas y ballenas, alcanzando niveles miles de veces más altos que en el agua; en estos animales, los niveles más altos de DDT se encuentran en el tejido adiposo. En el suelo también

puede ser absorbido por algunas plantas y por animales o por personas que consumen esas plantas (ATSDR, 2002).

c. Anexo C del Convenio de Estocolmo, producción no intencional

El anexo C se aplica a los contaminantes orgánicos persistentes de la Tabla 5, cuando se forman y se liberan de forma no intencional a partir de fuentes antropógenas:

Tabla 5: Sustancias químicas del Anexo C, Convenio de Estocolmo

Producto químico
Dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF)
Hexaclorobenceno (HCB) (N°. CAS:118-74-1)
Bifenilos policlorados (PCB)

Entre los microcontaminantes del anexo C, destacan:

➤ Hexaclorociclohexano (HCH)

Las formulaciones principales corresponden a una mezcla de diversos isómeros, entre ellos α -HCH (55-80%), β -HCH (5-14%) y γ -HCH (8-15%), y "Lindano", que es esencialmente γ -HCH puro; éste ha sido uno de los insecticidas más utilizados en el mundo entero. En los años 1940 se descubrieron sus propiedades como insecticida. Se utiliza para controlar una gran variedad de insectos chupadores y masticadores y se ha utilizado para el tratamiento de semillas en suelos, en productos biocidas para el hogar, y como conservador de textiles y de madera (PNUMA, 2002).

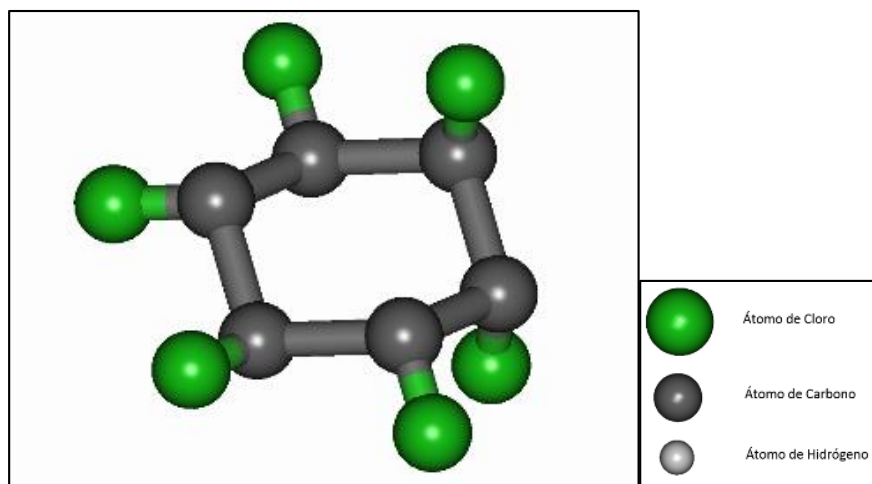


Figura 23: Alfa-Hexaclorociclohexano

✓ Usos

Antiguamente esta sustancia fue utilizada como insecticida para combatir las plagas en la agricultura, aunque también se aplicó para el tratamiento de la madera y para matar los parásitos de los animales; estos compuestos son parte de medicamentos (lociones, cremas o champús) para tratar piojos y sarna en el cuerpo.

El Lindano no se ha producido en Estados Unidos desde el año 1976, pero es importado para uso como plaguicida; el HCH de grado técnico se usó como plaguicida en Estados Unidos y contenía típicamente 10-15% de γ -HCH, como también las formas alfa (α), beta (β), delta (δ) y épsilon (ϵ) del HCH (ATSDR, 2005). Según los estudios desarrollados por el Perú en el marco de la evaluación regional sobre sustancias tóxicas en países sudamericanos (PNUMA, 2002), se detectaron HCH, principalmente el Lindano, en mantequilla y en aceites de pescado, esperma, maíz, soya y algodón. Combinando todos los datos, las concentraciones de lindano alcanzan los $48 \pm 53 \mu\text{g/Kg}$ con un máximo de $166 \mu\text{g/Kg}$. En aceite de soya-algodón, los datos combinados también arrojaron una concentración promedio de lindano de $11 \pm 7 \mu\text{g/Kg}$. Los niveles de HCH en aceite de pescado, aceite de esperma y aceite de maíz son de $3.5 \pm 3.4 \mu\text{g/Kg}$, $1.5 \mu\text{g/Kg}$ y $44 \mu\text{g/Kg}$, respectivamente.

✓ Toxicología

Algunas personas que respiraron aire contaminado en el trabajo durante la manufactura de plaguicidas, entre los que se encontraba γ -HCH, sufrieron alteraciones de la sangre, mareo, dolores de cabeza y alteraciones del nivel de hormonas sexuales. Algunas personas que tragaron grandes cantidades de HCH sufrieron convulsiones y algunas fallecieron. La administración de γ - y α -HCH a animales ha producido convulsiones, y animales que recibieron β -HCH cayeron en coma. Todos los isómeros pueden producir efectos del hígado y del riñón. La administración oral prolongada de α -HCH, β -HCH, γ -HCH o HCH de grado técnico a roedores de laboratorio produjo cáncer del hígado. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el HCH (todos los isómeros) produce cáncer en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado al HCH (todos los isómeros) como posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA ha determinado que hay evidencia que sugiere que el lindano (γ -HCH) es carcinogénico, pero la evidencia no es suficiente para evaluar su carcinogenicidad en seres humanos. La EPA ha clasificado al HCH de grado técnico y al α -HCH como probablemente carcinogénicos en seres humanos, al β -HCH como posiblemente carcinogénico en seres humanos, y al δ -HCH y ϵ -HCH como no clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. (ATSDR, 2005)

✓ Comportamiento ambiental

Los componentes del HCH de grado técnico se han encontrado en el suelo y en aguas superficiales cerca de sitios de desechos. En el aire, las diferentes formas del HCH pueden existir en forma de vapor o adheridas a pequeñas partículas de tierra o polvo. Las partículas pueden ser removidas del aire por la lluvia o pueden ser degradadas por otras sustancias en la atmósfera.

El HCH puede permanecer en el aire mucho tiempo y puede movilizarse a largas distancias. En el suelo, los sedimentos o el agua, el HCH es degradado por algas, hongos y bacterias a sustancias menos tóxicas, pero este proceso puede tomar largo tiempo. El HCH puede acumularse en el tejido graso de peces y el tejido adiposo de organismos acuáticos. (ATSDR, 2005)

2.2.4. Ciclo de los COPs en zonas de montaña

En los años setenta, se explicaba el origen de las altas concentraciones de pesticidas organoclorados en organismos circumpolares por consecuencia de que al ser usados en climas cálidos y templados, estos compuestos pudieron evaporar y ser trasladados a grandes distancias hacia zonas frías, donde estos se condensan o se contactan con masas de aire frío (pared fría), zonas del planeta donde jamás han sido utilizados o producidos. (Rappe, 1996)

En la década de los setenta se planteó la hipótesis de que, dado su carácter semivolátil, los COPs podían migrar a grandes distancias a través de la atmósfera describiendo la transferencia de DDT desde el continente a los océanos vía atmosférica, los resultados obtenidos después de dos décadas de investigación revelaron la presencia de COPs en el océano y ecosistemas terrestres incluyendo poblaciones humanas. (Programme Seine-Aval, 2006)

Posteriormente, esta hipótesis fue revisada y discutida por quienes sugirieron la existencia de un proceso de fraccionamiento a nivel global de los COPs denominado “efecto destilación global”; teoría de Wania & Mackay, (1996) que plantea que, a latitudes bajas, las temperaturas cálidas favorecen la evaporación de estos compuestos desde la superficie de la tierra y agua, mientras que, en latitudes altas, donde las temperaturas son bajas se favorece su deposición desde la atmósfera por condensación fría (Quiroz, 2009).



Figura 24: Procesos de migración global para la deposición de COPs
Fuente: Adaptación de Wania & Mackay, 1996.

A escala sinóptica (en el rango de 1 000 Km), los sistemas climáticos transportan contaminantes a largas distancias, siendo el factor más importante en el transporte atmosférico los de largo alcance. Además, los sistemas diurnos de viento de montaña o valle impulsados por la temperatura provocan que las masas de aire contaminado suban durante el día, lo que se invierte a la pendiente descendente a condiciones durante la noche; además, el intercambio de la superficie de aire se ve reforzado por las bajas temperaturas, altas precipitaciones y superficie rugosa, mientras que la evaporación se ve favorecida por las altas temperaturas y la baja capacidad de la superficie, además de las condiciones favorables enumeradas en montañas, "trampas en frío" también podrían ser responsables del enriquecimiento a lo largo del gradiente altitudinal, que es más pronunciado para los compuestos más volátiles, aun así, la ubicación de los sitios de muestreo en relación con las fuentes juega un papel importante, porque las tasas de deposición son generalmente más altas en la proximidad de las fuentes. (Daly & Wania, 2005)



Figura 25: Procesos que afectan la distribución de COPs a lo largo de la ladera de una montaña en el día y la noche

Fuente: Adaptación: (Daly & Wania, 2005).

Nota: Las situaciones durante el día y la noche difieren en términos de la dirección del viento, el gradiente de temperatura con la elevación y la actividad de las fuentes locales.

Muchos estudios han informado una mayor concentración de COP con el aumento de la altitud (Quiroz, 2009), además de las condiciones favorables enumeradas en montañas, "trampas en frío" también podrían ser responsables del enriquecimiento a lo largo del gradiente altitudinal, que es más pronunciado para los compuestos más volátiles. Aun así, la ubicación de los sitios de muestreo en relación con las fuentes juega un papel importante, porque las tasas de deposición son generalmente más altas en la proximidad de las fuentes, cuando las fuentes de contaminantes se encuentran dentro o cerca de las montañas, las concentraciones son consecuencia de un proceso dinámico de alta deposición predominante que la volatilización.

La deposición depende de una serie de factores ambientales, muchos de los cuales sufren un fuerte ciclo estacional. Por lo tanto, la falta de patrones claros en los conjuntos de datos de carga de COP no es sorprendente.

2.2.5. Sedimentos en áreas glaciares

Constituyen una matriz muy útil para el análisis de la contaminación que llega a un determinado sistema acuático ya que representan el destino final de muchos contaminantes hidrofóbicos. Este hecho permite obtener información sobre la contaminación a dos niveles, el actual mediante el análisis de la capa superficial y a nivel histórico mediante el análisis en la columna sedimentaria. (Muir & Howard, 2006)

Los contaminantes adsorbidos a la materia particulada atmosférica se depositan en los sistemas acuáticos donde, junto con el material arrastrado desde la cuenca, se acumulan progresivamente en la columna sedimentaria a medida que las partículas se depositan lentamente. Para poder obtener el registro histórico de un determinado contaminante es necesario establecer la geocronología de esta columna sedimentaria, y para ello se utilizan técnicas adecuadas al periodo de tiempo deseado. Entre ellas destacan los métodos radiométricos mencionados anteriormente, basados en la desintegración de radioisótopos como ^{137}Cs y ^{210}Pb .

El análisis de testigos sedimentarios lacustres se ha utilizado para la reconstrucción histórica de la contaminación por PCBs PBDEs, PAH y pesticidas (Rapaport & Eisenreich, 1984).

2.3. Marco legal

- La Constitución Política del Perú

CAP II; del Ambiente y los Recursos Naturales, el Art. 67 "El Estado determina la política nacional del ambiente, promueve el uso sostenible de sus recursos naturales". El Art. 68 señala que "El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas". (Congreso de la República del Perú, 1993)

- El Código Penal

Art. 288 y Título XIII, delitos contra la ecología. Contempla disposiciones para reprimir la contaminación del agua, flora, fauna, recursos hidrobiológicos o la fabricación de productos nocivos o su puesta en comercio con lo cual se atente contra la salud de las personas, con aplicación de sanciones privativas de la libertad. (Legislativo, 1991).

- Decreto Legislativo N° 757

La "Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada", establece el marco de seguridad jurídica en la conservación del ambiente y la actividad de los inversionistas; para lograr este objetivo el Estado estimula el equilibrio racional entre el desarrollo socioeconómico, la conservación del ambiente y el uso sostenido de los recursos naturales.

- Ley N° 26842, Ley General de Salud

Establece las obligaciones para garantizar la calidad de los productos farmacéuticos y cosméticos para su uso, expendio y movimiento comercial en general, de los plaguicidas domésticos y de uso industrial, etc. Determina que el saneamiento ambiental comprende: el control sanitario del aire, el control de los ruidos, el control de las aguas, el control de las tierras y los desperdicios y el control de los productos químicos o físicos, dañinos a la salud humana. Decreto Legislativo N° 613 del 08-09-90, aprueba el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, establece la obligación del Estado a protegerlos y conservarlos. El art. 9° establece los requisitos que deben contener los Estudios de Impacto Ambiental (Es.I.A), disponiendo que la autoridad competente señalará los demás requisitos para la elaboración de los citados estudios. Esta norma ha sido modificada por los siguientes dispositivos legales:

- Decreto Legislativo N° 653 del 01/08/91

- Decreto Legislativo N° 655 del 07/08/91

- Decreto Legislativo N° 057 del 13/11/91

- Ley N° 26410 del 22-12-94

Crea el Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAM). Organismo responsable de establecer el Sistema Nacional Ambiental y el Plan Nacional de Acción Ambiental; constituye el órgano de coordinación y concertación de las acciones de los Sectores y el Gobierno Central. Resolución Legislativa N° 26178-93-Congreso; aprueba el Convenio Internacional referido al Protocolo

de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono. Decreto Ley 25632-92-PCM: Dicta normas para el control y fiscalización de los productos e insumos químicos que intervienen en la elaboración de pasta básica de cocaína y otros.

- Resolución Legislativa N° 26178-93-Congreso; aprueba el Convenio Internacional referido al Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono.
- Decreto Ley 25632-92-PCM: Dicta normas para el control y fiscalización de los productos e insumos químicos que intervienen en la elaboración de pasta básica de cocaína y otros (Blair, 2001).
- Decreto Supremo N° 037-91-AG
El Ministerio de Agricultura en Perú reglamentó el uso de plaguicidas restringiendo y prohibiendo su uso en el país. Estas medidas jurídicas empezaron en 1991 con la prohibición absoluta del uso de aldrina, endrina, dieldrina, HCH, heptacloro, toxafeno y DDT (El Peruano, 1991).
- La Resolución Jefatural N°036-99-AG prohibió el registro, importación, formulación, distribución y comercialización de diversos plaguicidas, entre ellos; HCB, PCP y clordano así como sus derivados (SENASA, 1999).
- En el año 2000, las Resoluciones Jefaturales N°043-2000-AG (SENASA, 2000b) y N°060-2000-AG (SENASA, 2000a) prohibieron el registro, la importación, formulación, distribución, venta y uso de formulaciones comerciales y materiales técnicos de plaguicidas para usos agrícolas a base de lindano y mírex, respectivamente.
- El Convenio de Estocolmo, fue suscrito por el Perú el 23 de mayo de 2001 en la Ciudad de Estocolmo, Reino Unido de Suecia y ratificado por el Estado Peruano el 10 de agosto de 2005, mediante Decreto Supremo N°067-2005-RE. En este sentido, el Perú y las demás Partes del Convenio se comprometieron a tomar medidas a nivel local regional y nacional para reducir y/o eliminar las emisiones y descargas de contaminantes orgánicos persistentes (El Peruano, 2005)
- Con el fin de cumplir las obligaciones previstas en el Convenio, el Perú inició el "Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre los

Contaminantes Orgánicos Persistentes en el Perú” (PNI-COP Perú), proyecto que establece en su segunda fase, la ejecución de un inventario de COP y la evaluación de la infraestructura y capacidad nacional a través de la elaboración del “Perfil Nacional para la Evaluación de la Infraestructura Nacional para la Gestión de Sustancias Químicas” (SENASA et al., 2007).

- En el año 2016, el Ministerio del Ambiente de Perú, a través de su organismo el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, aprueba subvencionar un proyecto en la categoría “Investigación en Glaciares” denominado “Determinación de compuestos orgánicos persistentes (COPs) en hielo y sedimento del área glaciar Pastoruri al 2017” (INAIGEM, 2016a).
- El pleno del Congreso de la República aprobó el proyecto de Ley Marco de Cambio Climático como parte de la respuesta peruana al cambio climático.
- La iniciativa, que surgió a partir de los proyectos de Ley del Ejecutivo y de otras bancadas parlamentarias, fortalece la gobernanza en materia de política climática, lo que permitirá una mejor preparación ante los eventos naturales extremos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, informó el Ministerio del Ambiente (Congreso de la República del Perú, 2018).

2.4. Definición de términos

2.4.1. Compuestos orgánicos persistentes (COP)

Son una clase de contaminantes químicos que se reconocen como una seria amenaza global para la salud humana y los ecosistemas. Tienen origen natural y antropogénico, de manera intencional mediante un uso indiscriminado (plaguicidas y/o productos químicos industriales), o de forma accidental como subproductos no deseados de procesos industriales, combustiones y procesos naturales (como incendios forestales o procesos volcánicos), muchos de ellos son aún desconocidos, ignorándose efectos perjudiciales para la salud pública.

Consideradas como sustancias orgánicas de propiedades tóxicas, resistentes a la degradación, se bioacumulan, son transportadas por el aire, el agua y las especies migratorias a través de las fronteras internacionales y depositadas lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos. (PNUMA, 2009). Los

Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) son sustancias químicas sumamente duraderas que permanecen en el medio ambiente, se acumulan en los organismos vivos y las cadenas alimentarias. Son tóxicas, cancerígenas y provocan disfunciones en el aparato reproductor y los sistemas inmunitarios y endocrinos, entre otros efectos adversos. De igual manera, se propagan en el medio ambiente fácilmente hasta llegar a lugares muy alejados de la fuente de emisión, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos. (SENASA et al, 2007).

2.4.2. Convenio de Estocolmo

En mayo de 2001, en Estocolmo, Suecia, un total de 127 países adoptaron un tratado de las Naciones Unidas para prohibir o minimizar el uso de doce de las sustancias tóxicas más utilizadas en el mundo, consideradas causantes de cáncer y defectos congénitos en personas y animales. Las sustancias COP objeto de este convenio incluyen ocho pesticidas, entre ellos el DDT, dos productos industriales y dos subproductos de diversos procesos de combustión, incluyendo los incendios accidentales de desechos y materiales plásticos: las dioxinas y los furanos.

El objetivo de la Convención de Estocolmo es eliminar o restringir la producción y uso de los contaminantes orgánicos persistentes que se fabrican intencionalmente, además, se busca minimizar la generación de los contaminantes producidos de manera no intencional, como las dioxinas y los furanos. Para el 15 de julio del 2002, la Convención contaba con 151 países signatarios y 12 países miembros.

El Convenio sobre los COP es un importante aporte que complementa otros instrumentos, convenios, acuerdos y planes de acción mundiales o regionales relacionados con el manejo de productos químicos, en especial: el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, y el Convenio de Róterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo (PCFP) para ciertos productos químicos peligrosos y plaguicidas en el comercio internacional. (Yarto M, Gavilán A, 2003)

2.4.3. Glaciar

Un glaciar es una masa de hielo que se alimenta de agua sólida (nieve, granizo, escarcha), que transforma esta agua sólida en hielo y la restituye en forma de vapor (evaporación/sublimación) o en forma líquida (agua escurrida por el torrente emisario). Dicha ganancia y pérdida de masa se analizan como un balance. (IRD & Great-Ice, 2004).

Masa de hielo de amplitud hectométrica y más, permanente a escala humana, que se deforma bajo el efecto de su propio peso. Esta masa fluye a una velocidad anual de orden métrico a kilométrico en la superficie. Los glaciares varían constantemente en superficie, volumen y velocidad, en respuesta a su balance de masa de superficie y a otros factores locales. (Francou et al, 2013).

Una masa de hielo terrestre, que fluye cuesta abajo por efecto de la gravedad (mediante deformación interna y deslizamiento en la base) restringida por la topografía circundante, además del rozamiento en su base por la topografía del lecho de roca como principal influencia en la dinámica y la pendiente superficial de un glaciar. Los glaciares se mantienen por la acumulación de nieve a grandes altitudes, equilibrados por la fusión a baja altura o la descarga vertida al mar. (IPCC, 2014).

2.4.4. Sistema proglaciar

En la presente investigación, se emplea el término compuesto para hacer referencia a un área alto andina con cobertura glaciar, derivado de antiguas coberturas y las que las rodean, asociadas a geoformas y composiciones, originadas a partir del congelamiento del agua o a un régimen de clima frío actual o reciente, donde se producen los procesos que corresponden al sistema morfoclimático glaciar.

Por tanto, se plantea un sistema específico que vincula a la masa glaciar, sobre el macizo rocoso andino con una laguna en formación (por alimentación directa) cuyo origen primordial radica en el proceso de fusión de la masa glaciar; dicha laguna en formación presenta características propias del transporte de materiales desde las zonas de fusión para la acumulación de sedimentos en el fondo lagunar.

2.4.5. Laguna en formación

Depósito natural sobre la topografía expuesta como depresiones en el relieve y morrenas, que deja el intenso retroceso glaciario en diferentes regiones de alta montaña del mundo generando la contribución rápida y creciente desde la fusión que ha sido atribuido, en las últimas décadas principalmente a los efectos del cambio climático.

Este desarrollo está alterando los regímenes hidrológicos y glaciares brindando nuevas condiciones y geoformas al dejar depósitos de bloques y detritos sueltos, y cambiar la geometría de las masas glaciares y laderas de roca, ahora más propensas a la fragmentación. (Guardamino & Drenkhan, 2016)

2.4.6. Cromatografía de gases

La cromatografía es un método analítico técnica de separación que resulta adecuada para la determinación de compuestos orgánicos no polares, volátiles y térmicamente estables empleados en la separación, identificación y cuantificación de los componentes químicos en mezclas complejas. Todas las técnicas cromatográficas tienen en común el empleo de dos fases, una estacionaria y otra móvil. Según la (IUPAC), la cromatografía se define como un método físico de separación en el cual los componentes son separados y distribuidos entre dos fases, una que es estacionaria (fase estacionaria) mientras que la otra (fase móvil) se mueve en una dirección establecida. La fase móvil puede ser gas, gel o líquido (La Rosa, 2016).

Los detectores usados en cromatografía de gases son transductores de concentración, es decir, instrumentos con la capacidad de medir, en este caso, la variación de la concentración de las sustancias eluidas en el seno del gas portador, convirtiéndola en una señal eléctrica proporcional, fácilmente medible y registrable en función del tiempo. En general, los detectores empleados en cromatografía de gases, deben reunir ciertos requisitos propios de las exigencias y de la naturaleza de la técnica cromatográfica; esto implica que debe ser un transductor de concentración en fase de vapor, poseer una adecuada sensibilidad, así como un bajo

nivel de ruido, estabilidad y reproducibilidad, que le confieran por ende una alta fiabilidad y manejo sencillo (Duque & Arango, 2015).

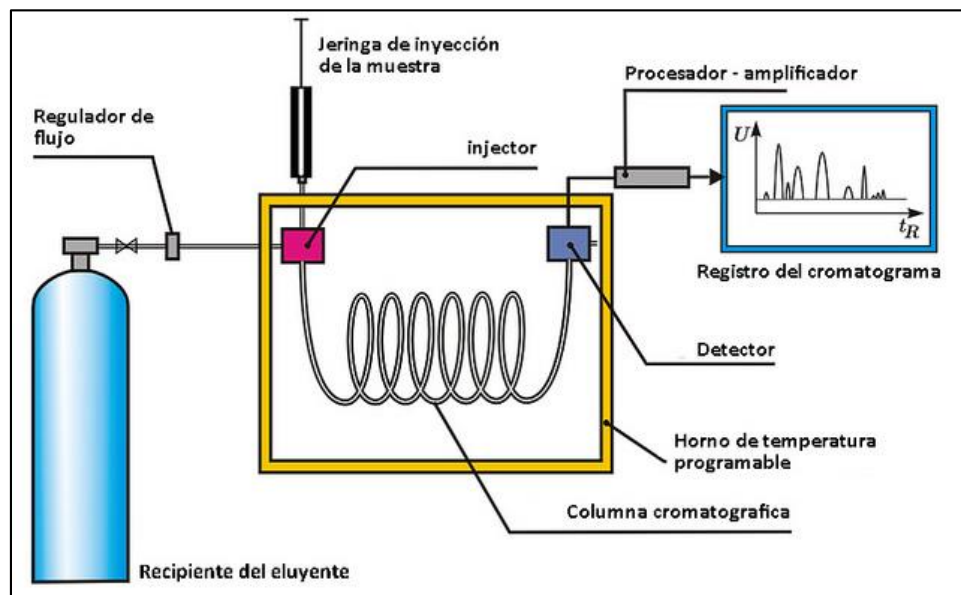


Figura 26:Partes de un cromatógrafo de gases

Fuente: (UCAP, 2016)

Nota: Las partes esenciales de un cromatógrafo de gases son (ver Figura 26): a) fuente de gas portador (botella a presión), b) sistema de regulación de caudales (válvula reguladora y manómetro), c) bloque de inyección de muestras, d) columna termostatazada conteniendo la fase estacionaria, e) detector termostatazado con amplificador de señal y registro gráfico.

2.4.7. GC-FID

Es una técnica de detección ampliamente utilizada y por lo general, uno de los más aplicables en cromatografía de gases. En un quemador, el efluente de la columna se mezcla con hidrógeno y con aire para luego encenderse eléctricamente.

La mayoría de los compuestos orgánicos, cuando se pirolizan a la temperatura de una llama de hidrógeno/aire, producen iones y electrones que pueden conducir la electricidad a través de la llama, entre el extremo del quemador y un electrodo colector situado por encima de la llama, se aplica una diferencia de potencial de unos pocos cientos de voltios, y para la medición de la corriente que resulta (de unos 10 – 12A) se utiliza un amplificador operacional de alta impedancia.

Se observa que el número de iones que se produce es aproximadamente igual al de átomos de carbono transformados en la

llama. El detector FID responde al número de átomos de carbono que entra en el detector por unidad de tiempo; por ello, es más un detector sensible a la masa, que un sistema sensible a la concentración. En consecuencia, este detector tiene la ventaja de que los cambios en el caudal de la fase móvil tienen poco efecto sobre la respuesta del detector. El detector FID posee una elevada sensibilidad de (10^{-13} g/s), un gran intervalo de respuesta lineal (10^7), un bajo ruido además de ser resistente y fácil de utilizar. Estas propiedades hacen del detector FID uno de los detectores generales más utilizado para el análisis de la mayoría de compuestos orgánicos, plaguicidas, y otras toxinas.

Grupos funcionales, tales como carbonilo, alcohol, halógeno y amina originan en la llama pocos iones o prácticamente ninguno. Además, el detector es insensible a los gases no combustibles como H_2O , CO_2 , SO_2 y NO_x (Duque & Arango, 2015).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan las fuentes de información, las herramientas, los softwares, y la metodología usados para cumplir con el objetivo de la investigación.

3.1. Equipos y materiales

El presente trabajo de investigación, hizo uso de equipos y materiales de propiedad institucional de la fuente asistencial (INAIGEM), externos, así como, algunos de fabricación y diseño propio de la autora según detalla la Tabla 6.

3.2. Diseño de la investigación

Los mecanismos de distribución de los COPs en el ambiente son muy complejos, existen diversas variables que determinan su dinámica y destino final en el medio, como las fuentes, características climáticas (temperatura, precipitaciones) y las propiedades intrínsecas de los compuestos (Quiroz, 2009).

Una vez que un COP es emitido al ambiente entra en su ciclo continuo de intercambio entre los distintos medios, alejándose de sus puntos de emisión en el tiempo. En el caso de las áreas glaciares de montaña como los Andes, presentan características típicas de altitudes tropicales, próximas a zonas urbanizadas, influencia turística intensiva y otras actividades económicas rurales.

Para la determinación de los COPs, se evalúa un sistema focal proglaciar Pastoruri, involucrando tres matrices priorizadas interrelacionadas: hielo, flujo de agua en pozos de acumulación y sedimento; según el modelo de estudio que se observa en la Figura 27.

Tabla 6: Equipos y materiales

Equipos:	Bienes INAIGEM	Fabricación propia	Otros
Computadora portátil			X
GPS	X		
Eclímetro	X		
Bote	X		
Muestreador de sedimentos tipo Beeker		X	
Perforador PICO	X		
Cámara fotográfica			X
Equipo de montaña (cuerdas, piolet, arnés, otros)	X		X
Vehículo 4x4	X		
Equipo Multiparámetro	X		
Turbidímetro de campo			
Equipos de Laboratorio varios			X
Materiales			
Cinta métrica flexible (40 m)	X		
Frascos para muestras			X
Picota, pala	X		
Guantes de nitrilo			X
Cooler para transporte			X
Softwares			
AutoCAD 21.0			X
Arc Map 10.5			X
Origin 2018			X
Chromaleon 7.2			X
Gabedit			X
Microsoft Office			X

Nota: Los bienes del INAIGEM fueron proveídos por la institución a través de medios administrativos. Las especificaciones del equipo de fabricación propia “muestreador de sedimentos tipo Beeker”, ideal para obtener muestras intactas de fondos subacuáticos como en el caso de la laguna en formación Pastoruri, las muestras se toman en un tubo de estructura metálica, con lo cual se permite efectuar una descripción de perfil más precisa, el conjunto estándar de la estructura es adecuado para el uso en aguas de hasta 6 m de profundidad. En algunos casos, es posible tomar muestras a más profundidad utilizando cuerdas de largos adicionales. Otros, involucra los bienes personales del investigador, de alquiler o servicios globales.

La evaluación del sistema proglaciar, se estima en dos épocas, durante el año hidrológico 2016-2017. La primera, en época de típicas precipitaciones (abril-mayo) que en adelante se denomina “Etapa exploratoria”; la segunda, en el período seco (agosto-setiembre) que en adelante se denomina “Etapa de determinación”.

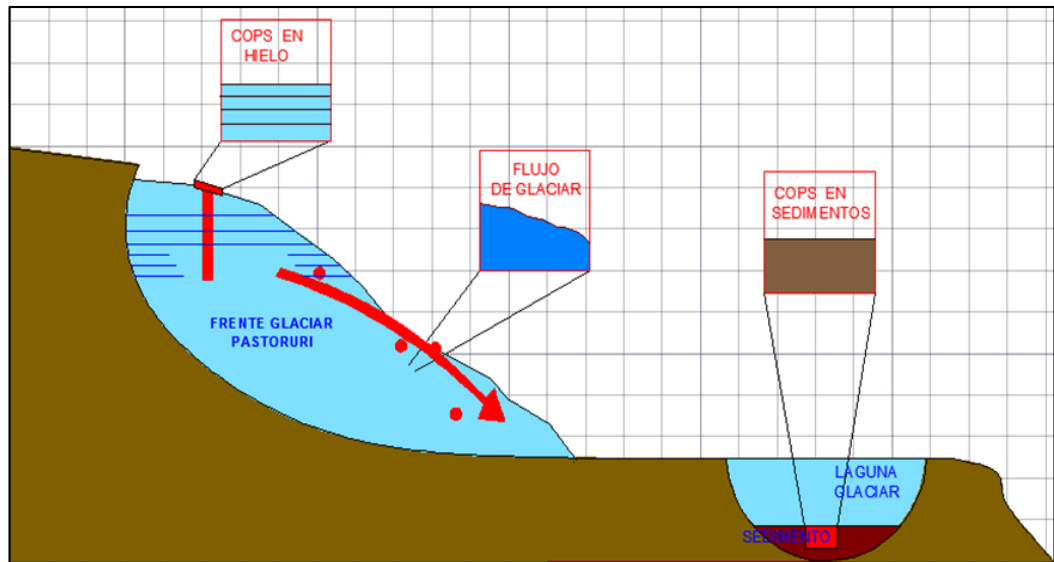


Figura 27: Modelo de evaluación de COPs en superficie glaciar (Gla –Surf), Flujo glaciar (Gla-flow) y sedimentos de lago pro glaciar (Gla-lake)

Fuente: Adaptación (Steinlin et al, 2016)

Para el análisis sobre el manto glaciar (Gla–Surf), se ejecutan dos técnicas extractivas de hielo, a partir de geformas denominadas crevasses, con alto nivel de conservación sobre el bloque central Pastoruri; cuyo objetivo se basa en muestras de los núcleos de hielo desde años hidrológicos consecutivos.

Para el análisis de sedimentos (Gla-lake), se ejecutan extracciones puntuales y compuestas, con un tubo tipo Beeker, desde el fondo de la laguna en formación Pastoruri.

Para la evaluación de las condiciones naturales en el Flujo glaciar (Gla-flow), se realizan mediciones in situ, de parámetros físico-químicos, para su posterior caracterización.

3.3. Población

Pastoruri, cuya mayor extensión está ubicada en la provincia de Recuay, departamento de Ancash, enmarca como población del presente estudio, al denominado “sistema proglaciar Pastoruri”, constituido, por el Nevado Pastoruri (casquetes adyacentes) y su interacción con la laguna en formación, en contacto con el bloque de cobertura central.

Tabla 7: Información general Nevado Pastoruri

Nombre	Altitud (msnm)			Superficie (m ²)	Orientación	Ubicación Geográfica
	Máx	Prom	Min			Latitud Sur: 9°54'33"S Longitud oeste: 77°10'38.4"W
Pastoruri	5312	5208	5103	769 187.125	SE	

Fuente: (INAIGEM, 2016c)

3.4. Muestra

Según el modelo de evaluación de COPs en zonas remotas que se muestra en la Figura 27 (véase página 65), la muestra de estudio se conforma por tres unidades de análisis u observación.

Para la selección muestral, dentro de las unidades de análisis hielo, sedimento y flujo, se consideran los siguientes criterios: relevancia en los estudios de la disciplina glaciológica para muestras de hielo (zona de acumulación), estado de conservación de las características estratificadas en hielo, distribución de puntos de muestreo de sedimento (proximidad a la zona de contacto laguna-glaciar), accesibilidad para las tres unidades de análisis (condiciones geográficas y climáticas de la zona de estudio) y la información recopilada de técnicos que desarrollaron diversos estudios especializados en montaña (a juicio del experto) en el sistema proglaciar Pastoruri.

El muestreo, por las características generales de un sistema de alta montaña, considera que todas las unidades tienen la misma probabilidad de caer en la observación, se fundamenta en la misma interacción de los fenómenos ambientales como deposiciones de COPs, en la totalidad de su extensión, incurriendo, además, de forma estratificada por la acumulación de material nativo y particular en secuencias anuales, identificables en las capas visibles desde los crevasses de hielo o en testigos de hielo y sedimento.

3.4.1. Muestreo en hielo

La extracción de muestras de hielo, en el área glaciar se desarrolla a través de dos operaciones, una de manera manual y directa (Operación A), la otra de forma mecánica con el uso de un perforador de hielo tipo PICO (Operación B). A continuación, se detallan las características de cada operación de extracción:



Figura 28: Delimitación de perfil de hielo, caracterizadas en años hidrológicos

a. Muestreo de hielo - operación “A”

Este muestreo se realiza desde un corte natural acendrado y delimitado en secciones horizontales de representación anual, separados por estratos de finas capas de depósitos de material particulado.

En la figura 29 se muestra un esquema del proceso de recolección de muestras de hielo, por la operación “A”, extracción directa.



Figura 29: Esquema de obtención de muestras de hielo Operación “A”, frente glaciar Pastoruri

Nota: (01) Delimitación del perfil Gla-01, (02) homogenización del frente de acumulación, removiendo una delgada capa de superficie vertical (03) Extracción de hielo, identificado con presencia de depósito de partículas en las interfases, (04) Envasado y rotulado de muestras en envases de polietileno.

b. Muestreo de hielo - operación "B"

Este muestreo se realiza desde la perforación de las capas de hielo, obteniendo columnas o testigos de hielo, formados en años hidrológicos consecutivos, considerando un período de evaluación dentro de la última década, mediante un perforador tipo PICO Mark III coring system desde la superficie, según se muestra en la Figura 30.



Figura 30: Perforación de estratos de hielo mediante la operación "B", Nevado Pastoruri 2017.



Figura 31: Esquema de obtención de muestras de hielo por perforación "B", Nevado Pastoruri 2017.

Nota: (01) Ubicación de la parte superior de la pared del perfil "GLA-01", desde la superficie que conforma el último año hidrológico en la zona de

acumulación, próxima al área de la operación "A". Para proceder con la perforación con equipo KOVACS III (18L 260587, E 8902396S); (02) Obtención del testigo de hielo con un diámetro de 7.2 cm a profundidad de 6 m o más; (03) Identificación de la masa extraída por las interfases de cada año hidrológico, (04) Almacenamiento en envases de polietileno cerrados herméticamente y transportados en un refrigerante portátil.

3.4.2. Muestreo de flujo glaciar

Este muestreo se realiza al identificar las estaciones de flujo sobre la superficie, es decir, los puntos de agua en estado líquido provenientes de la fusión, ubicados sobre la cobertura glaciar de hielo Pastoruri, en áreas por encima de los 5000 msnm, considerando la proximidad al crevasse de muestreo de hielo.

Con la intención de obtener la caracterización de las condiciones naturales en la zona de acumulación desde el proceso de fusión in situ, los parámetros a monitorear son pH y conductividad en cuatro estaciones, con un total de dos mediciones de cada una de las etapas de estudio exploratoria y de determinación.



Figura 32: Medición de parámetros físico-químicos en los pozos de acumulación por fusión, Nevado Pastoruri 5145 msnm



Figura 33: Medición de parámetros físico-químicos in situ (pH, Conductividad), pozo de acumulación por fusión, Nevado Pastoruri, 2017

3.4.3. Muestreo de sedimentos

Las muestras de sedimento, se conforman a partir de muestras puntuales, obtenidas en puntos referentes a la zona de contacto (laguna-glaciar) de la laguna en formación Pastoruri, con el uso de un tubo de extracción tipo Beeker (véase la Figura 34). Durante la etapa exploratoria del presente estudio, se conforma una muestra compuesta proveniente de tres puntuales, mientras que en la etapa determinativa se conforman dos muestras compuestas provenientes de ocho puntuales.



Figura 34: Muestreo de sedimento desde el fondo de la laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciar Pastoruri, 2017

3.4.4. Metodología de análisis químico de COPs

Los métodos utilizados para el análisis de COPs en hielo y sedimento se basan en procedimientos desarrollados a partir de la disposición instrumental en un laboratorio especializado en la determinación de compuestos orgánicos mediante diferentes técnicas cromatográficas, empleando un esquema de extracción en fase líquida para muestras de hielo y en fase sólida para muestras de sedimento seguidas del análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría con ionización (GC-FID), en ambas matrices ambientales como se muestra en la Figura 35.

a. Metodología analítica de COPs en hielo

Las muestras de hielo son conservadas en su estado nativo hasta la fusión a condiciones ambientales normales y el inicio de los ensayos en laboratorio, procurando evitar la pérdida de analitos COPs y otras características muestrales para proceder a los ensayos.

	<u>HIELO</u>	<u>SEDIMENTO</u>
MUESTRAL	MUESTRA DISGREGADA (A)	TESTIGO CORE (B) MUESTRA COMPUESTA DE TESTIGOS
PRE TRATAMIENTO	FUSIÓN FILTRACIÓN 0.45 µm	DISPERSIÓN ULTRASONIDO – FILTRACIÓN 1000 µm FILTRACIÓN 0.45µm
MEDICIONES	MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICO QUIMICOS	MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICO QUIMICOS
EXTRACCIÓN	ELUCIÓN CON DICLOROMETANO	ELUCIÓN CON DICLOROMETANO
PURIFICACIÓN Y FRACCIONAMIENTO	SEPARACIÓN PTFE	ULTRASONIDO - CENTRIFUGADO SEPARACIÓN PTFE
ANÁLISIS INSTRUMENTAL	GC-FID	GC-FD

Figura 35: Esquema general de la metodología analítica de hielo y sedimento

➤ Preparación muestral general de hielo

Se reconocen las muestras de hielo conservadas en envase a temperaturas menores a cero grados en laboratorio, se fusionan evitando cualquier tipo de intervención, expuestas a condiciones ambientales para determinar lo siguiente (Ver Figura 36.)

- Volumen de muestra fusionada
- Cantidad de sólidos sedimentables
- Verificación de partículas suspendidas
- Medición de parámetros físicos-químicos
- Correspondencia coloidal
- Análisis de patrones de COPs



Figura 36: Procedimiento de preparación muestral para el análisis de muestras de hielo

Nota: Se observa el estado de ingreso de las muestras de hielo en bolsas de polietileno de alta densidad, seguido de la fusión a condiciones ambientales en su envase inicial y finalmente vertidas al cono Imhoff para la medición de parámetros físicos y químicos

➤ Pre tratamiento

Filtrado de muestra diluida a diámetros menores a 0.5 μm .

➤ **Separación de sólidos en agua y determinación de TSS:**

La determinación de sólidos totales no volátiles de muestras en estado líquido se desarrolla mediante gravimetría (véase la Figura 37), según la fórmula:

$$TSS \text{ mg/L} = \frac{(\text{Peso final del recipiente en g} - \text{Peso inicial del recipiente en g}) * (1000 \text{ mg/g})}{\text{Volumen de muestra de agua en L}}$$

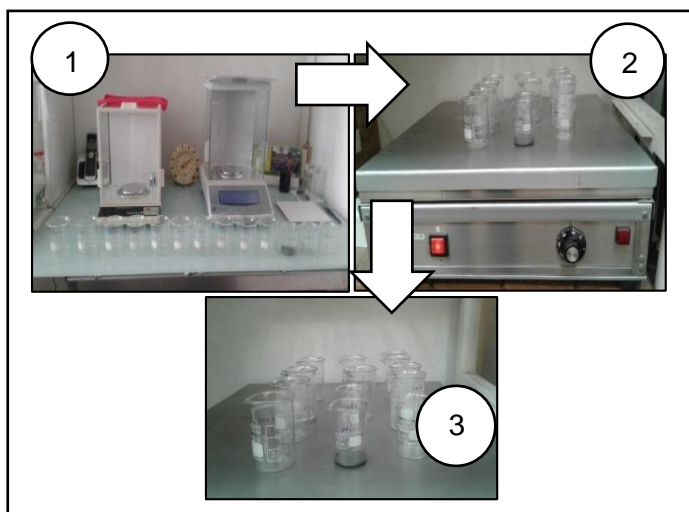


Figura 37: Esquema para la determinación de sólidos totales en muestras de hielo

➤ **Ensayos de turbidimetría**

A través de métodos estandarizados para la medición de turbidez en matrices de agua a partir de las muestras pre tratadas.

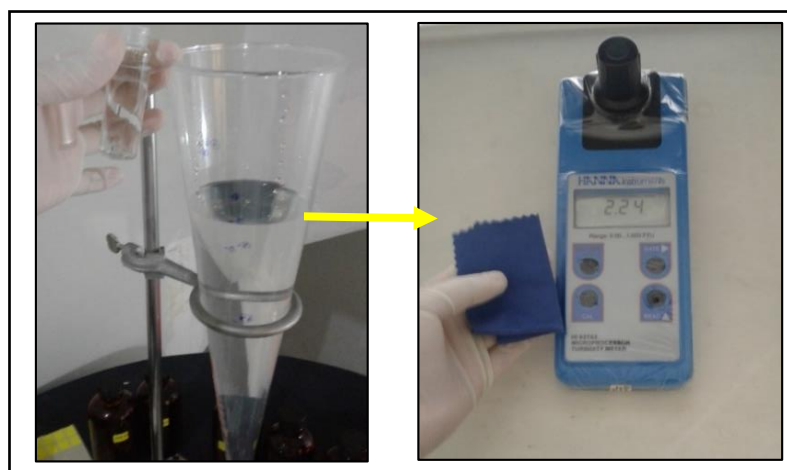


Figura 38: Medición de la turbidez con un equipo HI 93703

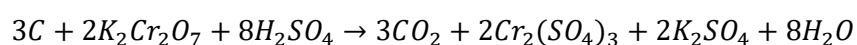
➤ **Ensayos de pH y conductividad**

La Medición de los parámetros de pH y conductividad se realiza siguiendo procedimientos para ensayos normalizados y el uso de equipos calibrados y verificados.

➤ **Determinación de carbono orgánico total en hielo (COT)**

Siendo preliminar el estudio de carbono orgánico total, en la caracterización como un indicador químico de la calidad del agua definido como todo aquel carbono presente en la materia orgánica que se disuelve o se suspende en el agua, independiente de su origen sintético o natural, en el presente estudio, en ambientes glaciares, frente a cúmulos de sedimento y crioconitas descritas, podemos determinar su relación con la existencia de fuentes o sustratos vitales para organismos y los COPs como elementos de composición carbonosa.

Para el efecto, se busca obtener la calibración estequiométrica en prueba de laboratorio siguiendo el análisis químico de fracciones carbónicas (Galantini, Rosell, & Iglesias, 1994), mediante la oxidación de analitos con Dicromato de Potasio en medio ácido, empleando ácido sulfúrico concentrado y altas temperaturas mediante la reacción:



➤ **Análisis instrumental**

Los compuestos orgánicos se analizan por el método de cromatografía de gases con la técnica del detector de ionización de flama (Flame Ionization Detector - FID), comparativas a análogos de COPs, para el análisis de los posibles hallazgos.

b. Metodología analítica de COPs en sedimento

Las muestras compuestas de sedimento siguen la siguiente metodología:

➤ **Preparación muestral general de muestras de sedimento**

Las muestras conservadas a temperaturas menores a 4°C en laboratorio, son evitando cualquier tipo de intervención, por un periodo de 24 horas, expuestas a condiciones ambientales normal, seguidas de una separación primaria.

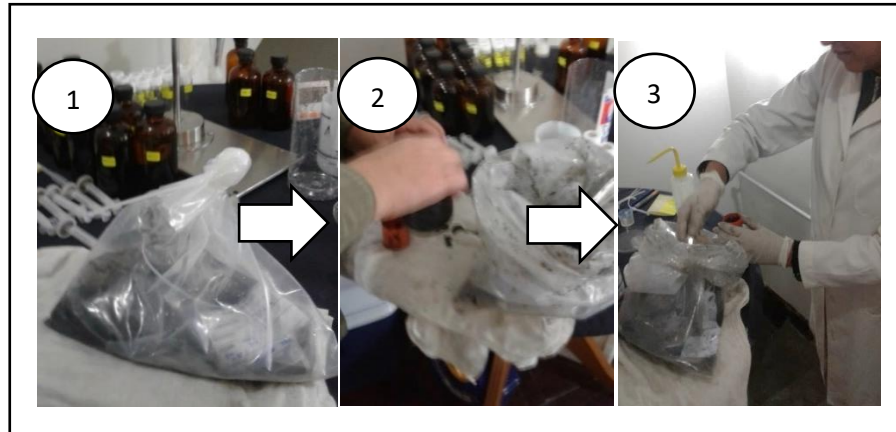


Figura 39: Preparación muestral de sedimento, procedencia laguna en formación Pastoruri

Nota: Se observa el estado de ingreso al laboratorio, de las muestras de sedimento, para iniciar el proceso de selección de la alícuota sólida.

➤ **Determinación de sólidos totales en muestra de sedimento**

La determinación de sólidos totales no volátiles de muestras en estado líquido se desarrolló mediante gravimetría, por la variación de peso muestral ante la evaporación del extracto de agua a 110°C y mediciones másicas analíticas iniciales y finales, según se detalla en la Figura 37.

➤ **Determinación de humedad en muestras de sedimento**

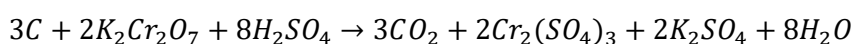
Se procede a evaluar el porcentaje de Humedad mediante técnicas generales de evaporación muestral.

➤ **Ensayos de pH y conductividad**

La medición del potencial de Hidrógeno es desarrollada bajo ensayos normalizados y el uso de equipos calibrados y verificados.

➤ **Determinación de carbono orgánico total en sedimento (COT)**

Se analiza el carbono orgánico total para determinar el carbón que forma parte de las sustancias orgánicas conformantes de compartimentos ambientales de sedimento, calculando la cantidad de COT en las muestras, guiando el tipo de análisis de datos lineal (Galantini et al, 1994). Evaluando a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black, este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado (Diario Oficial de la Federación, 2002)



Siempre que sea posible se debe buscar una respuesta de tipo lineal para facilitar su trazado, interpolación e interpretación, la linealidad es la capacidad del método para entregar resultados proporcionales a la concentración del analito en la muestra dentro de un rango establecido. Con los resultados de la linealidad se grafica la relación de las concentraciones (X, variable independiente) y la respuesta (Y, variable dependiente, como la absorbancia), expresándolo como una recta de regresión, $Y = a + b \times X$, obtenida por el método de ajuste, cuadrados mínimos.

La representación gráfica de la recta de regresión, permite visualizar la bondad del ajuste además del coeficiente de correlación (R^2) que indica el grado de relación entre la variable x (concentración), y la variable y (absorbancia). Su valor máximo es 1. Si R^2 es cercano a la unidad, esto significa que existe correlación con una probabilidad elevada. Un valor nulo indica la ausencia de relación lineal entre las variables.

Para determinar este parámetro se prepara una curva de calibración empleando concentraciones de glucosa y mediciones de absorbancia empleando 5 concentraciones de Glucosa, la cual será recta si el sistema cumple con la Ley de Lambert Beer (La Rosa, 2016)



Figura 40: Oxidación del carbono orgánico para la determinación de Carbono orgánico total en muestras de sedimento.

➤ **Análisis instrumental**

El último procedimiento de la presente metodología de análisis es la cromatografía gaseosa con detector de ionización de flama (Flame Ionization Detector-FID), una técnica de separación que resulta adecuada para la determinación de compuestos orgánicos no polares, volátiles y térmicamente estables (La Rosa, 2016), en la que la muestra se inyecta antes de pasar por la columna cromatográfica, se volatiliza; la elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte (Helio) que no interacciona con las moléculas del analito, su única función es la de transportarlo a través de la columna. Para volatilizar los componentes de la muestra se utiliza altas temperaturas (350 – 400°C), siendo necesario que los analitos sean termoestables a las temperaturas de trabajo y no se degraden ni pierdan a través de reacciones secundarias (véase la Figura 41.), la naturaleza de los analitos y su peso molecular se pueden utilizar para predecir su volatilidad, así cuanto mayor sea la polaridad y/o el peso molecular será menos volátil. (McNair & Miller, 2011)

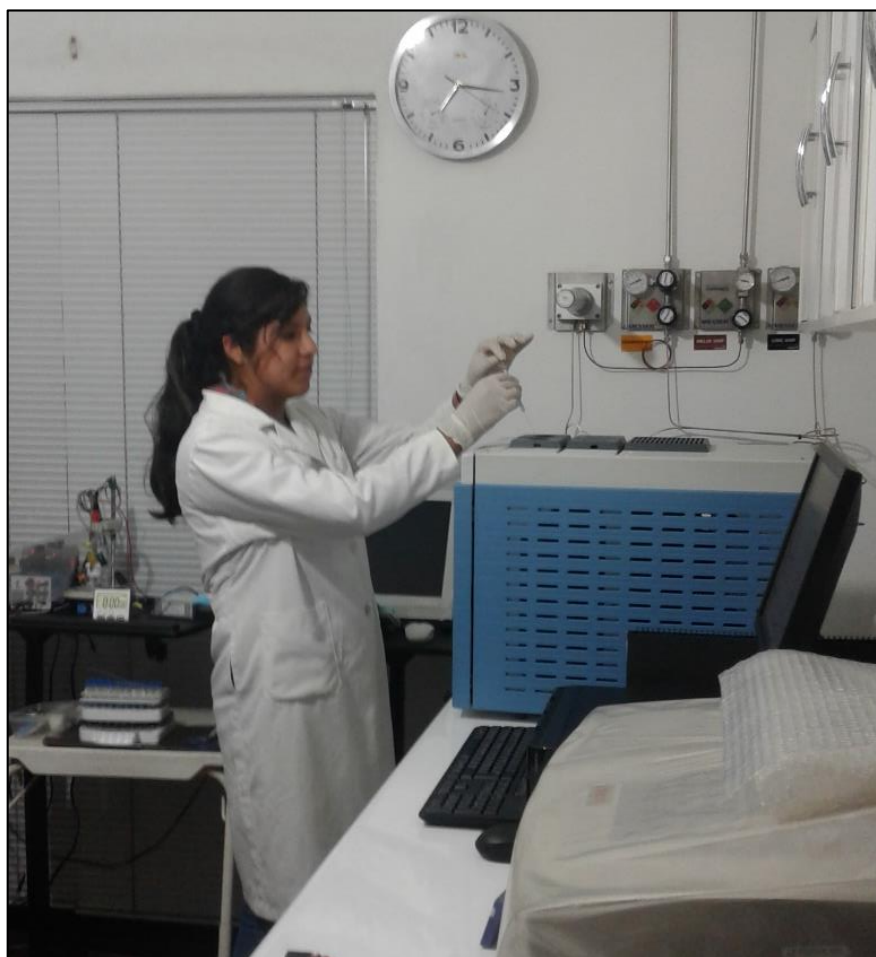


Figura 41: Inyección de Diclorometano (1uL) al sistema de cromatografía en fase gaseosa FID - Trace™ 1300

c. Metodología analítica de COPs en flujo superficial

El flujo de agua en la superficie glaciar se considera como una fuente de información en términos de calidad de agua y condiciones ambientales del estrato hielo, por lo cual, se establecen puntos de monitoreo de mediciones *in situ* que nos brinden información de relevancia para el presente estudio, lográndose obtener resultados de pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez y OD con equipos calibrados y verificados en campo. Para ello se empleó un equipo multiparamétrico HI 9828 y turbidímetro HI 93703 C (véase la Figura 42.)



Figura 42: Medición de turbiedad sobre la cobertura de hielo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presenta los resultados de la aplicación de métodos analíticos cromatográficos para la determinación de compuestos orgánicos persistentes en unidades muestrales de hielo y sedimento de procedencia del área glaciar Pastoruri, durante dos etapas de evaluación: la primera de forma exploratoria como base contextual a nivel experimental y la segunda etapa determinativa, sustentada en la normalización de los procedimientos, ensayos analíticos e incremento del tamaño muestral.

Del mismo modo, se presentan los resultados de la aplicación procedimental de los métodos analíticos desarrollados en dos matrices: hielo y sedimento, además de información de enlaces efectuados en los ensayos de laboratorio.

Finalmente, se explica los posibles impactos en el entorno ambiental en respuesta a lo obtenido en la determinación cromatográfica de los microcontaminantes estudiados.

4.1. Cuantificación de la concentración de COPs en hielo y sedimento lacustre

Para la cuantificación de los niveles de concentración de los COPs estudiados, se desarrolló una metodología de análisis químico, distribuido en dos etapas del año hidrológico 2016-2017, denominándose Exploratoria y de Determinación. A continuación, se presentan los resultados específicos y generales a lo largo del proceso de aplicación de la metodología.

4.1.1. Etapa exploratoria o inicial

En la presente etapa, típica de precipitaciones en el área de estudios, período (abril-mayo); se ensayó la metodología preliminar o exploratoria de determinación de COPs.

a. Extracción de muestras

Según indica el diseño de muestreo, se plantean dos tipos de operaciones para la extracción de hielo del manto de Pastoruri, "A" y "B", es decir, extracción manual directa y perforación mecánica, respectivamente.

Tabla 8: Puntos de muestreo de hielo, Operación "A"

Identificación	Ubicación		Año hidrológico estimado
GLA-01-01	18L UTM	0260575 8902363	7-8
GLA-01-02	18L UTM	0260582 8902365	6-7
GLA-01-03	18L UTM	0260576 8902367	3-6
GLA-01-04	18L UTM	0260573 8902367	2-3
GLA-01-05	18L UTM	0260573 8902353	1-2

Tabla 9: Puntos de muestreo de hielo, Operación "B"

Identificación	Ubicación		Año hidrológico estimado	Profundidad de muestreo (m)	Espesor de sedimento en core o testigo (cm)
GLA-01'-01	18L UTM	0260587 8902346	7-8	3	2.5
GLA-01'-02			6-7	6	1.5

En la Tabla 10 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo simple de sedimento en el área de la laguna en formación, los mismos que integraron una muestra compuesta para su análisis posterior.

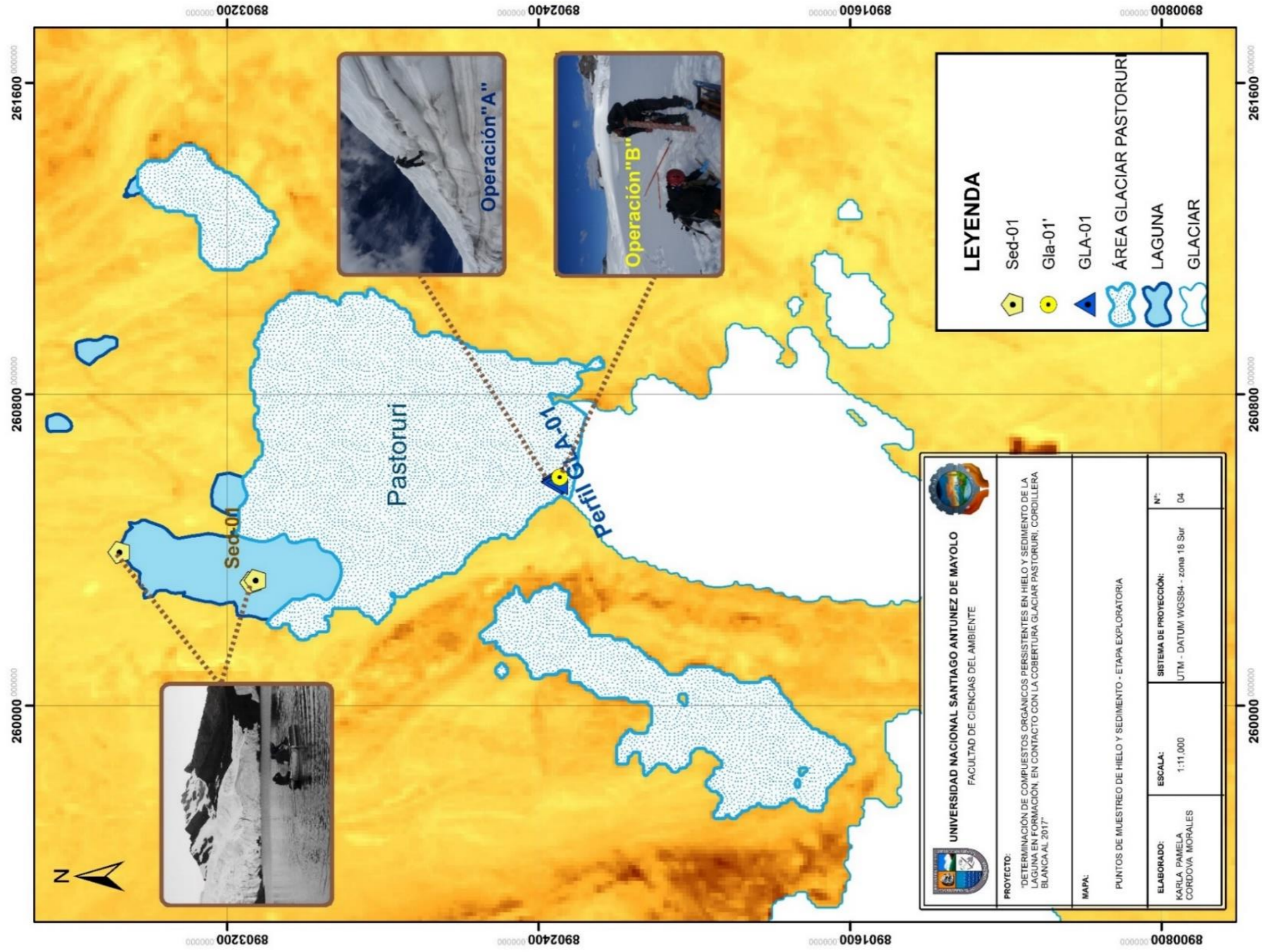


Figura 43: Ubicación de puntos de muestreo de hielo y sedimento - Etapa exploratoria

Tabla 10: Puntos de muestreo de Sedimento, Laguna en formación Pastoruri

Muestra puntual	Ubicación			Muestra Compuesta
Sed-01	18L UTM	260322.00 8903129.00	m E m S	SED-01-01
Sed-02	18L UTM	260316.00 8903140.00	m E m S	
Sed-03	18L UTM	260394.00 8903479.00	m E m S	

b. Método analítico de COPs en hielo y sedimento

➤ Reconocimiento muestral

Las muestras de hielo y sedimento transportadas a temperaturas menores a 4°C hasta el laboratorio Fractal Quimicos E.I.R.L.

➤ Pre tratamiento de muestras de hielo

La fusión de la muestra sólida por un promedio de cinco horas, a temperatura ambiente (25°C), se pudo visualizar material precipitado en el recipiente, tomándose los datos de las muestras por filtración al vacío en la Tabla 11.

Tabla 11: Datos de pretratamiento de muestras de hielo

Muestra	Peso del vaso (g)	Peso vaso + muestra fusionada (g)	Peso del filtro (g)
Gla-1-1	95.16	234.67	0.0841

➤ Pre tratamiento de muestras de sedimento

La muestra de sedimento presentó condiciones de compactación por las temperaturas bajo cero grados, por lo que se fracturó el bloque, aplicado a sonicado y dilución con 50 ml de agua ultrapura, para verificar que es posible realizar la separación con una malla de nylon de 100 µm. Adicionalmente aplicamos ultrasonido a viales transferidos por intervalos de 2 minutos. Posteriormente se realiza un filtrado al vacío sobre una membrana de millipore de 0.45 µm, obteniéndose los siguientes datos de la Tabla 12.

Tabla 12: Datos de pre tratamiento de muestras de Sedimento

Muestra	Peso de la muestra (g)	Peso del filtro millipore(g)
Sed-1-1	117	0.0839

➤ Mediciones anexas en hielo y sedimento

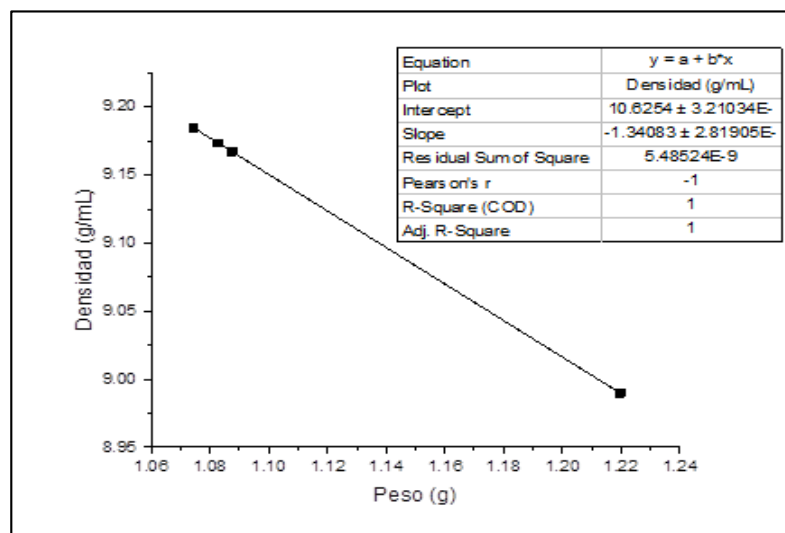
Se desarrollaron mediciones para determinar las condiciones de análisis y ampliar el contexto de la procedencia de las muestras, por lo mismo se halló el pH, conductividad y la variación de la densidad de la muestra diluida (sed-1-1), a condiciones de 25°C y 60%HR, como se presenta en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13: Parámetros físico-químicos de las muestras de hielo y sedimento

Parámetro	Sed-1-1	Gla-1-1
pH	6.35	6.02
Conductividad (uS/cm)	-	7.13

Tabla 14: Densidad de muestra de Sedimento (Sed-01-01)

Medición	Peso (g)	Densidad (g/mL)
1	8.99	1.2197
2	9.1674	1.0874
3	9.1735	1.0828
4	9.1850	1.0743

**Figura 44:** Variación de la densidad de la muestra de sedimento Sed-01-01

Se mide la densidad de la muestra de sedimento, con la finalidad de evaluar el comportamiento coloidal de la muestra. En tal sentido, la Figura 44, nos indica un valor de R² igual a 1, lo cual descarta cualquier característica coloidal en la muestra Sed-01-01.

De manera similar, se estimó la cantidad de los sólidos totales (TSS) en las soluciones de agua y sedimento (considerando además un filtro blanco); a partir de los filtros de millipore 0.45µm; a continuación, la Tabla 15 muestra los datos obtenidos, de muestras representativas de cada matriz, hielo y sedimento.

Tabla 15: Variación de masa por filtración para el cálculo de TSS de hielo y sedimento

PESO	GLA-1-1	SED-1-1	BLANCO
Volumen de muestra de agua (L)	0.13951	0.5	-
Filtro inicial (g)	0.0841	0.0839	0.0844
Filtro final (g)	0.0865	2.712	0.0831
Variación (g)	0.0024	2.6281	-0.0013
Variación compensada (g)	0.0037	2.6268	0

Cálculo de Sólidos totales (TSS):

$$TSS \text{ mg/L} = \frac{(\text{Peso final del filtro en g} - \text{Peso inicial del filtro en g}) * (1000 \text{ mg/g})}{\text{Volumen de muestra de agua en L}}$$

De los resultados obtenidos en la Tabla 16, se presentan los valores de sólidos totales en las muestras de hielo y sedimento.

Tabla 16: Sólidos Totales en muestras de hielo y sedimento

	Gla-1-1	Sed-1-1
TSS (mg/L)	26.52	5253.60

➤ Extracción

✓ En hielo

De las muestras separadas en viales de 40 mL se extraen 2 mL de agua (Gla-1-1) en solución de 2 mL de Diclorometano (1:1)

a vibración vórtex, seguidas de una enérgica agitación mecánica. Luego del proceso, a través del ocular micrométrico se observó que aún existen películas filtrables.

✓ En sedimento

De la muestra de sedimento se extrajo 2 mL de agua (Sed-1-1) con 2 mL de Diclorometano (1:1) a vibración Vortex, sellado con cinta teflón parafilm.

➤ **Purificación y fraccionamiento**

✓ En hielo

Se realizó el ultrafiltrado de la muestra líquida empleando un tamiz de membrana de PTFE 0.45 μm (Politetrafluoretileno, reforzado con una malla de polipropileno, hidrófobo).

✓ En sedimento

Se aplicó la sonicación por 2 minutos y centrifugado para la separación completa de partículas durante 5 minutos a 3500 RPM a la suspensión de sedimento obtenido en la extracción, empleando un filtro de membrana de PTFE 0.45 μm (Politetrafluoretileno, reforzado con una malla de polipropileno, hidrófobo).

➤ **Análisis instrumental**

Los compuestos orgánicos se analizaron por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (Flame Ionization Detector - FID). En la Tabla 17 se muestran las condiciones cromatográficas utilizadas. Las condiciones de inyección y programa de temperatura se mantienen semejantes para las muestras de hielo y sedimento.

Tabla 17: Resumen de las condiciones cromatográficas de análisis

GC - FID		
Instrumento	Cromatógrafo de gases Thermo Scientific TRACE Serie 1300	
Programa de inyección	Mode	Split
	Modo de acarreo	Flujo constante
	Temperatura	240°C
Programa del horno	Split flow	5ml/min
	Gas saver flow	20 ml/min
	Oven run time	25 min
	Temp Max	350°C
Detector	Temperatura	280°C
	Flujo aire	350ml/min
	Flujo Hidrogeno	35ml/min
	Flujo del transportador	40ml/min

➤ Cromatografía de gases

En el estudio de esta etapa exploratoria, se usaron siete estándares análogos a las sustancias COPs de estudio, ver Tabla 18, de cuatro categorías, y en la Tabla 19, seis compuestos de composición organofosforada y dos organocloradas, además de un blanco del proceso, en este caso el agua-diclorometano.

Tabla 18: Lista de patrones cromatográficos análogos de COPs

Patrón análogo	Categoría de COP
Benceno Naftaleno Antraceno	Productos químicos industriales
Creosota Clorotalonil	Sub productos y productos químicos industriales
Organoclorados (OCI) Organo fosforados (OP)	Plaguicidas
Agua de grado cromatográfico diclorometano – CH ₂ Cl ₂ (DCM)	Blanco del procedimiento

Tabla 19: Estándares de 2 organoclorados y 5 organofosforados

OCI - OP	Tr (min)	C (ppm)	A pA.min
DCLV - Diclorvós	6,187	10	0,1307
MTDF - Metamidofos	7,578	10	0,1461
DIAZ - Diazinon	8,575	10	0,1620
CLTL - Clorotalonil	13,12	10	0,1258
MLTN - Malation	14,43	10	0,0945
CLPF - Clorpirifos	14,63	10	0,1347
ENDSa - Ensodulfan-A	16,50	10	0,0712
ENDSb - Endosulfan-B	17,76	10	0,0311

Nota: Tr: tiempo de retención, C: concentración, A: área en pA.min

En las Figuras 45, 46, 47 y 48, se presentan los resultados cromatográficos de los patrones análogos de COPs.

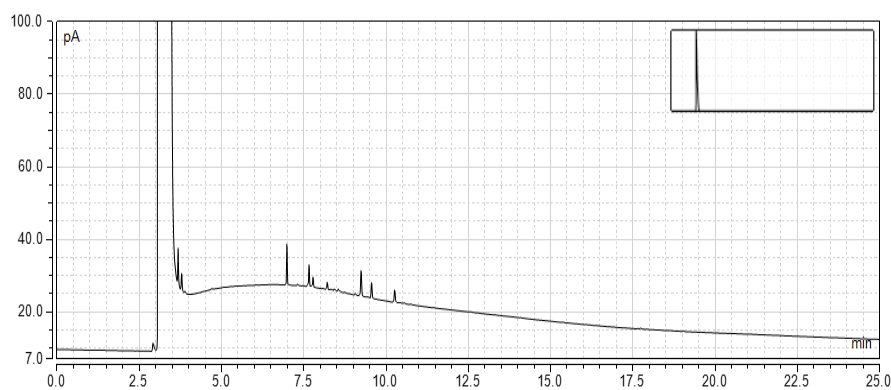


Figura 45: Cromatograma de tres patrones análogos de COPs: Benceno (3.8 min), Naftaleno (7.0 min) y Antraceno (10.3 min)

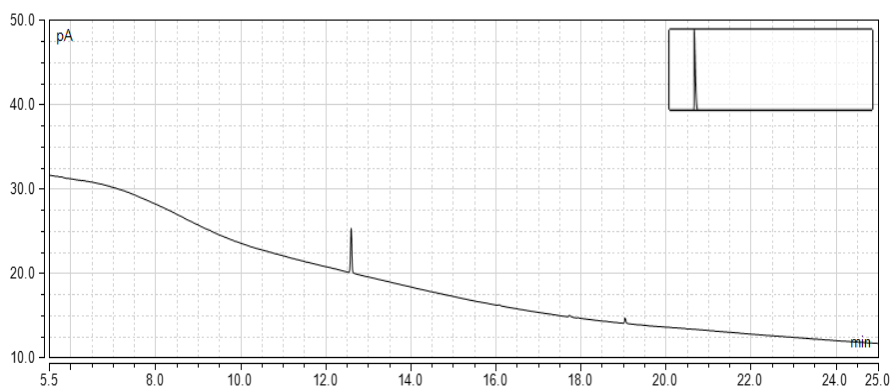


Figura 46: Cromatograma del patrón análogo de COPs: Clorotalonil (13.1 min)

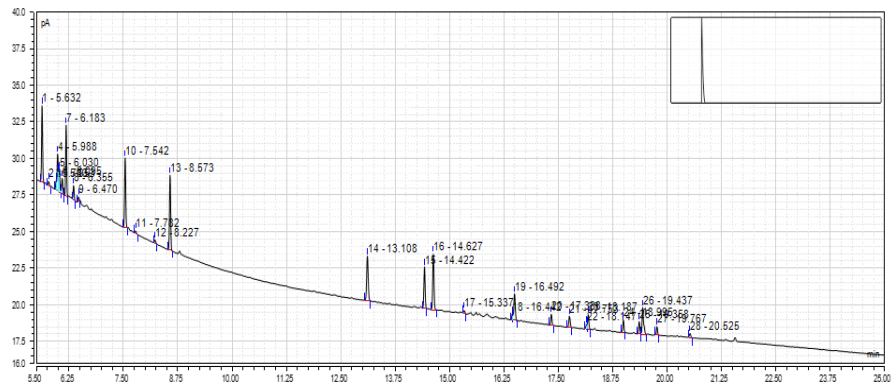


Figura 47: Cromatograma de patrones organoclorados y organofosforados

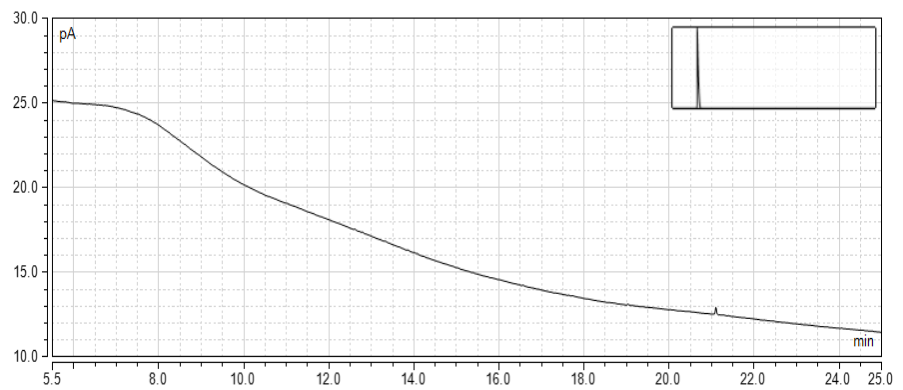


Figura 48: Cromatograma del blanco del proceso, Agua

A continuación, se presentan los gráficos que indican los resultados cromatográficos de la evaluación de muestras de hielo pertenecientes a la etapa exploratoria.

- ✓ Perfiles cromatográficos, según la operación de extracción de muestras "A"

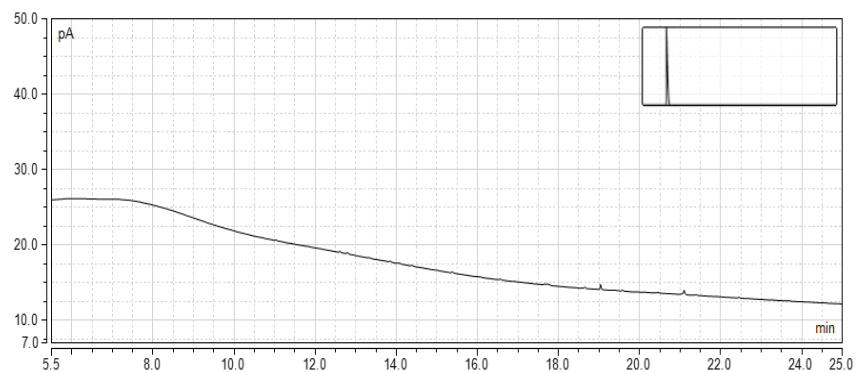


Figura 49: Cromatograma de la muestra Gla-01-01 (19.1 – 21.1min), etapa exploratoria

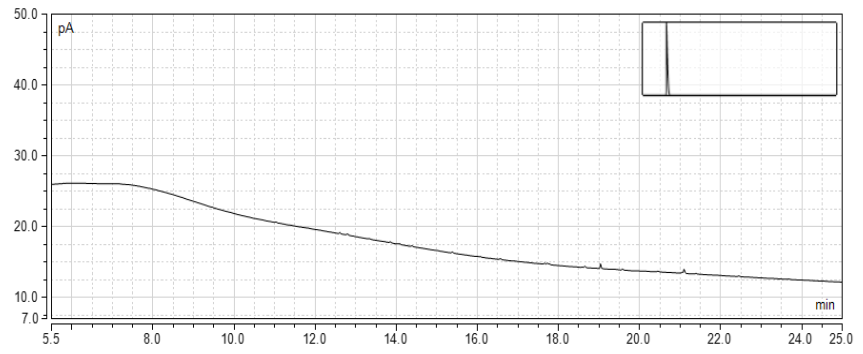


Figura 50: Cromatograma de la muestra Gla-01-02 (19.1, 21.1min), etapa exploratoria

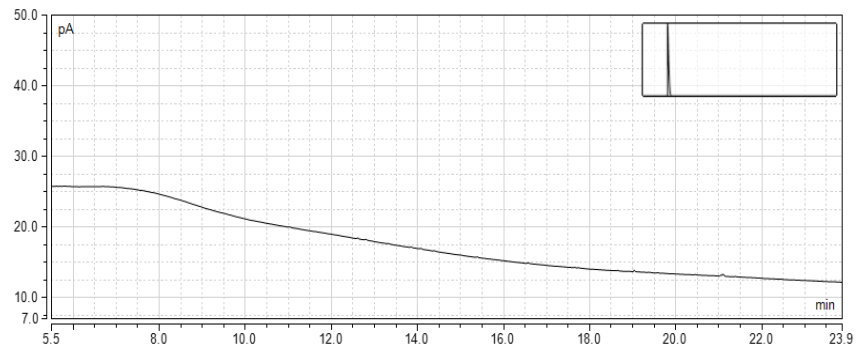


Figura 51: Cromatograma de la muestra Gla-01-03 (picos desestimables), etapa exploratoria

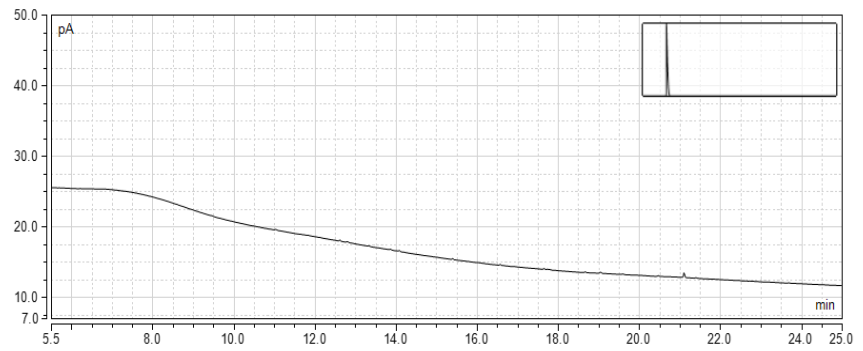


Figura 52: Cromatograma de la muestra Gla-01-04 (21,1 min), etapa exploratoria

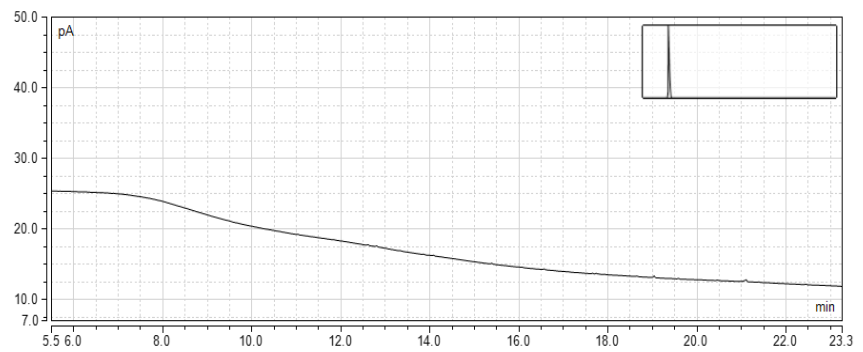


Figura 53: Cromatograma de la muestra Gla-01-05 (Picos desestimables), etapa exploratoria

- ✓ Perfiles cromatográficos, según la operación de extracción de muestras "B"

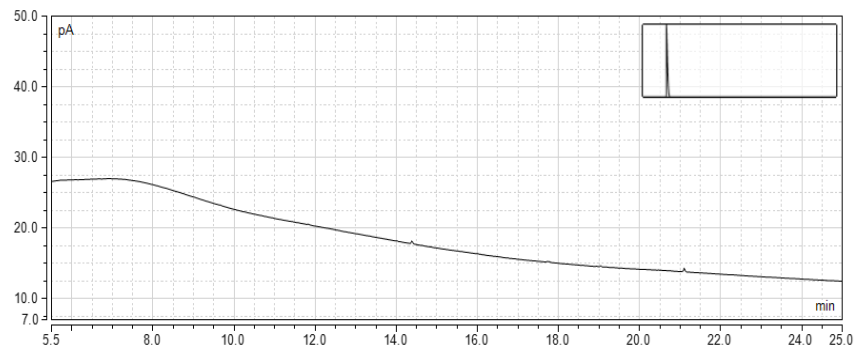


Figura 54: Cromatograma de la muestra Gla-01'-01 (14.4–21.1min), etapa exploratoria

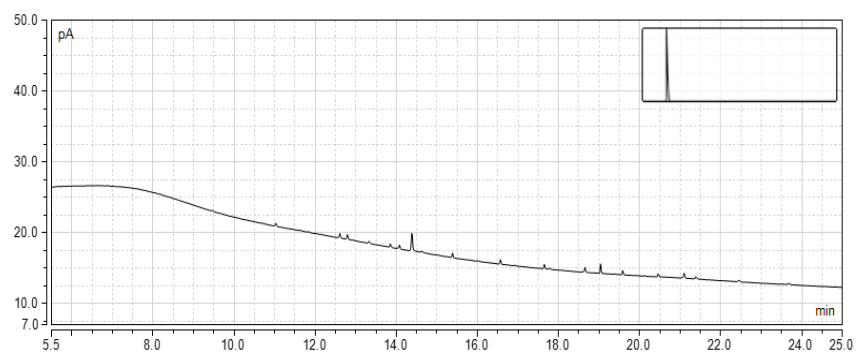


Figura 55: Cromatograma de la muestra Gla-01'-02 (11.1 – 1.6 – 12.8 – 13.9 –14.4-19.1 y 21,1min), etapa exploratoria

- ✓ Perfil cromatográfico de muestra compuesta de sedimento

En la etapa exploratoria, se determina el ensayo de una muestra compuesta de sedimento Sed-01-01, la cual presentó el perfil cromatográfico que se observa en la Figura 56.

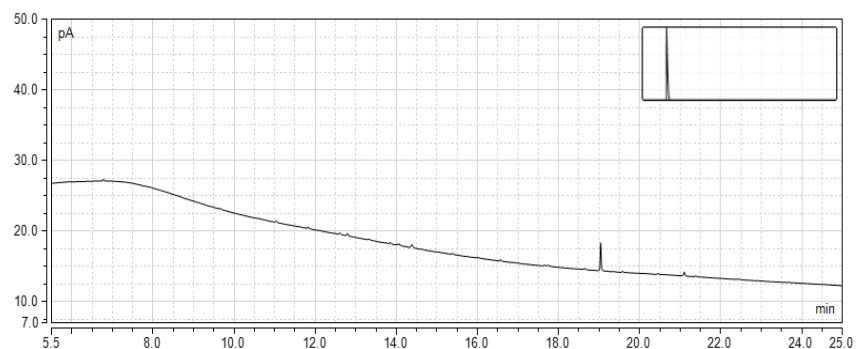


Figura 56: Cromatograma de la muestra Sed-01-01 (14.4 – 19.1– 21.1 min), etapa exploratoria

De las siete muestras de hielo evaluadas en la etapa exploratoria, provenientes de las dos operaciones de muestreo A y B, cinco mostraron picos mínimamente resaltantes, mientras que dos de ellas revelaron picos desestimables. De las primeras, no se consideran correspondientes a los patrones de compuestos orgánicos persistentes (COPs).

Del perfil cromatográfico de la muestra compuesta de sedimento, se evidencian dos picos escasamente visibles y uno de tiempo de retención 19.1 min, ligeramente notable; no obstante, difiere de la congruencia con alguno de los patrones analizados.

4.1.2. Etapa de determinación

En la presente etapa, desarrollada durante el periodo de estiaje del año hidrológico 2016-2017, en el área de estudios (mayo-septiembre); se ensayó la metodología final de determinación de COPs.

a. Extracción de muestras de hielo

Las muestras de hielo fueron extraídas desde los límites visibles de los últimos años hidrológicos sobre la pared que conforma un corte natural de masa glaciar en la zona de acumulación del bloque Central Pastoruri (Gla-01), tal como se observa en la Figura 42 (véase la página 79). El muestreo de hielo es desarrollado a través de dos operaciones, a través de remoción directa (operación A) y perforación mecánica (operación B).

Tabla 20: Ubicación de puntos de muestreo sobre el perfil Gla-1, Operación "A".

Puntos Gla-1	18L	UT
Gla-1-1	260682	8902710
Gla-1-2	260615	8902313
Gla-1-3	260612	8902312
Gla-1-4	260613	8902314
Gla-1-5	260615	8902314
Gla-1-6	260619	8902313
Gla-1-7	260621	8902312
Gla-1-8	260625	8902312

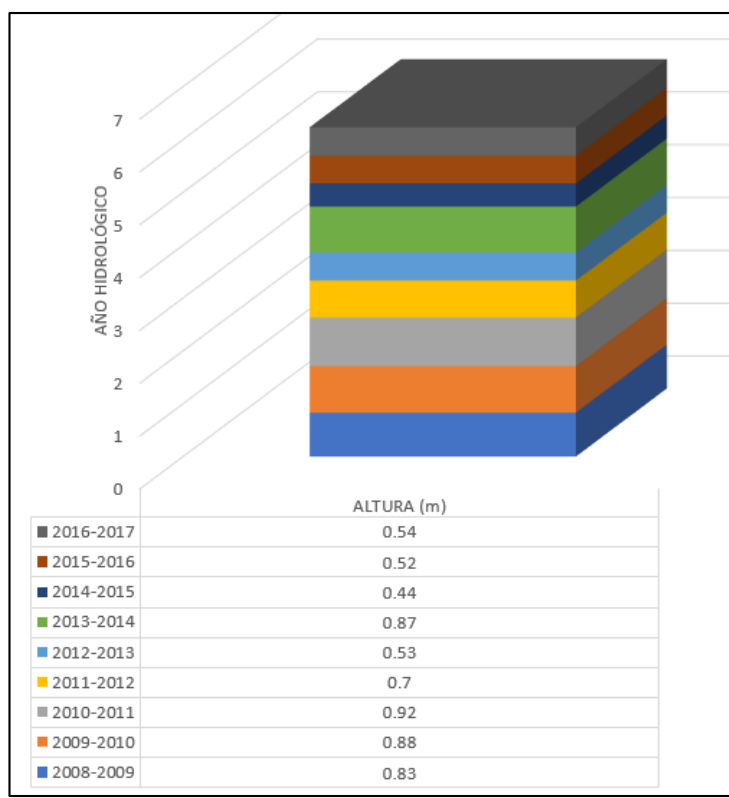


Figura 57: Estratos del Perfil glaciar Gla-1, Zona de acumulación, Operación “A”

Otro método de muestreo de hielo se realizó por perforación mecánica desde la capa superior del manto del glaciar (operación B). La Tabla 21 muestra los datos obtenidos en campo:

Tabla 21: Puntos de muestreo en el perfil de perforación de hielo, operación “B”

Identificación	Ubicación	Año hidrológico estimado	Profundidad de muestreo (m)	Altura de sedimento en core o testigo (m)
GLA-1'-1	18L 0260587	2016-2017	0.67	0.038
GLA-1'-2	UTM 8902346	2015-2016	2.5	2.3

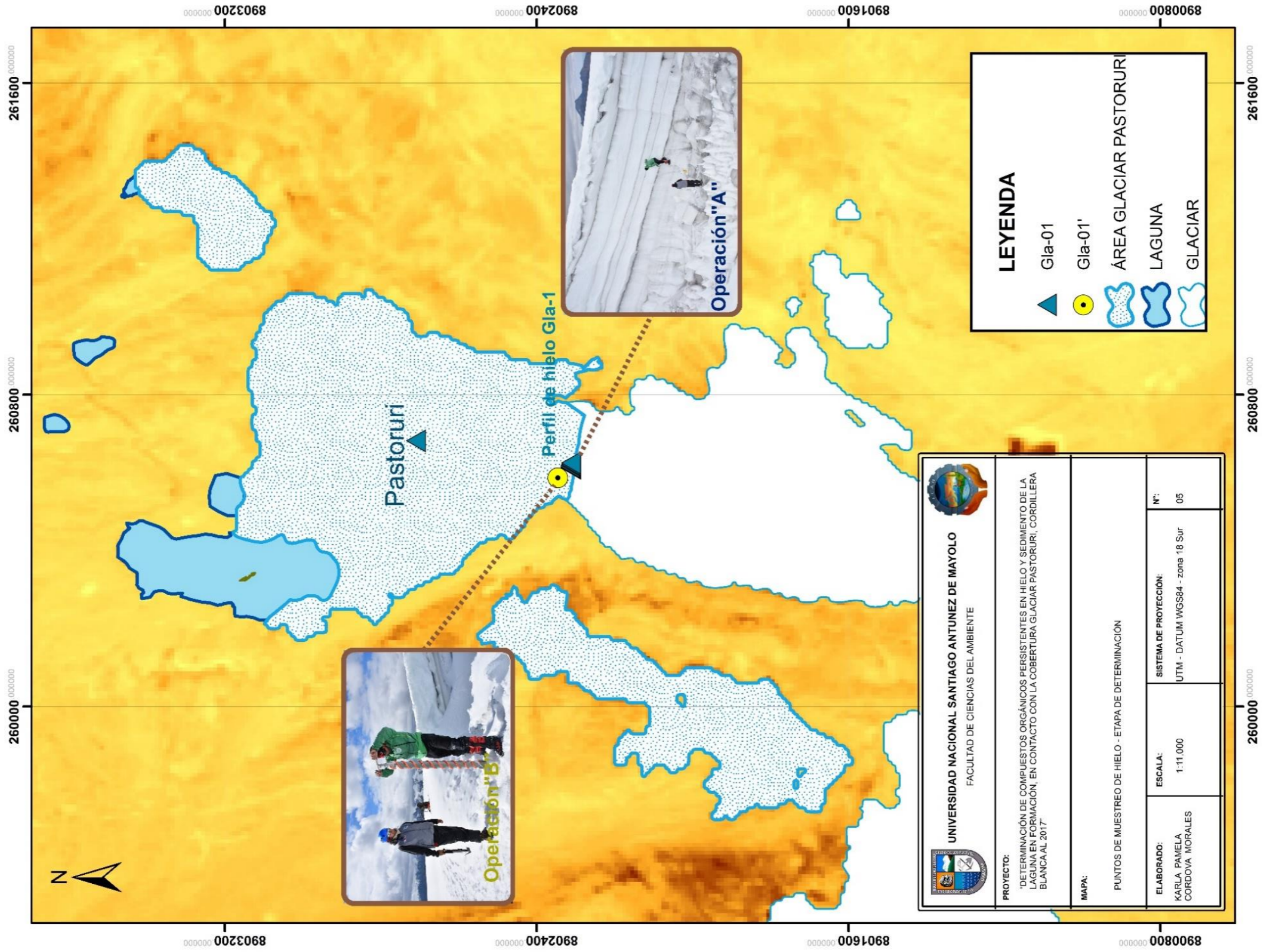


Figura 58: Ubicación de los puntos de muestreo de hielo – Etapa de determinación

b. Método analítico de determinación de COPs en hielo

Se desarrolló un método analítico de COPs para muestras no convencionales de hielo, siguiendo el diagrama mostrado en la Figura 59 (véase la página 96).

➤ **Preparación muestral general**

Son fusionadas evitando cualquier tipo de intervención, por un periodo de 48 horas, expuestas a condiciones ambientales de 25°C y 65% de humedad, pasando al estado líquido en su propio envase inicial. Posteriormente vertimos la muestra líquida a un cono Imhoff de capacidad 1L, puesta a reposo durante 30 minutos.

➤ **Separación de sólidos de muestras de hielo y determinación de TSS**

La variación de peso muestral ante la evaporación del extracto de agua (gravimetría) a 110°C y mediciones de masa de forma analítica iniciales y finales, según se detalla en la Tabla 22. siguiendo la siguiente fórmula de sólidos totales no volátiles:

$$TSS \text{ mg/L} = \frac{(\text{Peso final del recipiente en g} - \text{Peso inicial del recipiente en g}) * (1000 \text{ mg/g})}{\text{Volumen de muestra de agua en L}}$$

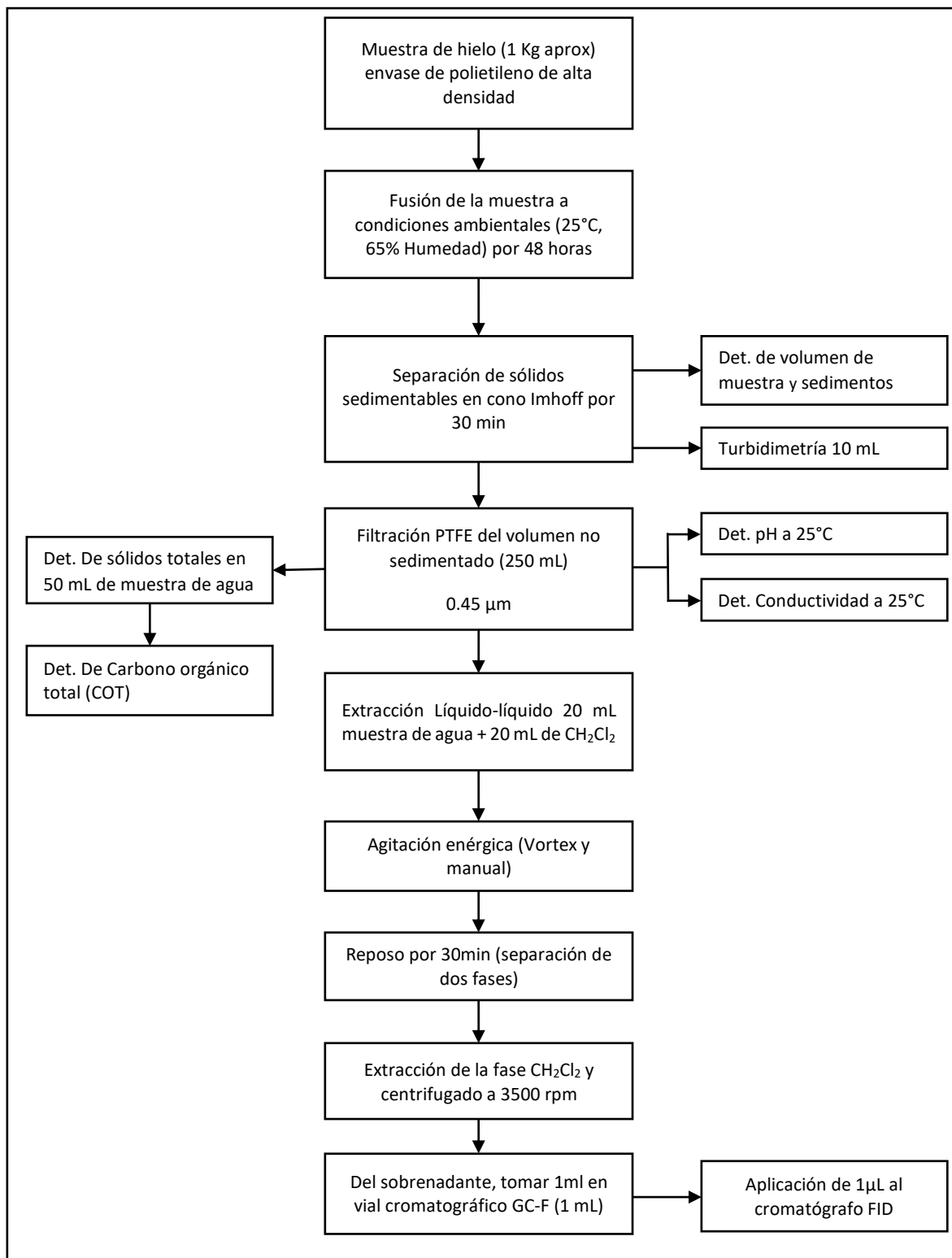


Figura 59: Diagrama de la metodología de análisis de COPs en muestras de hielo

Tabla 22: Determinación de sólidos totales no volátiles en muestras de hielo TSS (mg/L)

Muestra	Volumen de muestra líquida (L)	Volumen de muestra precipitada (mL)	Peso Recipiente (g)	Peso Recipiente + muestra (g)	Peso seco final (mg)	TSS (mg/L)
Blanco-1	-	-	32.2252	64.4504	32.2252	0
Gla-1-1	0.776	0.2	47.2578	102.88	47.2584	10.7871
Gla-1-2	0.560	<0.2	44.9337	98.58	44.9344	13.0484
Gla-1-3	1.00	<0.2	44.8551	102.65	44.8559	13.8421
Gla-1-4	540	<0.2	46.9389	102.28	46.9389	0
Gla-1-5	1000	<0.2	49.6605	105.29	49.6605	0
Gla-1-6	0.952	<0.2	43.4038	96.73	43.4038	0
Gla-1-7	0.664	<0.2	49.2591	101.75	49.2591	0
Gla-1-8	0.731	<0.2	47.2447	103.58	47.2447	0
Gla-1'-1	0.250	0.3	48.8408	104.15	48.8412	7.2321
Gla-1'-2	0.278	0.45	44.3687	100.11	44.3689	3.588

➤ Ensayos de turbidimetría

La medición de turbiedad en matrices de agua se obtuvo por alícuotas de 10 mL desde el cono de separación tipo Imhoff para cada representación anual muestral. El equipo empleado para esta medición corresponde a un turbidímetro portátil HI 93703 C calibrado y verificado con patrones de 0.01, 20, 100 y 800 (ver Tabla 23).

Tabla 23: Registro de la medición de turbiedad en muestras de hielo

Muestra	Turbiedad (UNT)
Gla-1-1	6.98
Gla-1-2	2.71
Gla-1-3	2.01
Gla-1-4	2.71
Gla-1-5	3.28
Gla-1-6	1.63
Gla-1-7	2.16
Gla-1-8	4.27
Gla-1'-1	11.20
Gla-1'-2	9.29

➤ Ensayos de pH Y Conductividad

Las mediciones del potencial de Hidrógeno se realizaron a 25°C y 65%H, bajo condiciones de agitación magnética, obteniendo valores de ambos parámetros. Para la realización de las mediciones se utilizaron los equipos pH metro 990 pH/conductimeter, calibrado y verificado al inicio de los ensayos fisicoquímicos. (ver Tabla 24).

Tabla 24: Medición de pH y conductividad en muestras de hielo

Muestra	pH	Conductividad (uS/cm)
Gla-1-1	5.68	5.36
Gla-1-2	4.84	4.83
Gla-1-3	4.84	5.5
Gla-1-4	4.90	5.24
Gla-1-5	4.78	3.31
Gla-1-6	4.98	5.28
Gla-1-7	4.73	3.36
Gla-1-8	5.00	6.03
Gla-1'-1	5.21	8.56
Gla-1'-2	5.08	6.64

➤ Determinación de carbono orgánico total (COT)

Se analizó el carbono orgánico total para determinar el carbón que forma parte de las sustancias orgánicas conformantes de compartimentos ambientales de hielo, la repetibilidad depende generalmente del proceso de preparación de la muestra. Es decir, cuanto mayor sea la manipulación de la muestra más probable es que la variabilidad del método aumente. (ver Tabla 25).

Tabla 25: Repetibilidad de mediciones de absorbancia de los estándares de glucosa

Concentración C (µg)	Abs.1	Abs. 2	Abs.3
0	0	0	0
80	0.56	0.57	0.57
160	0.121	0.122	0.122
320	0.244	0.243	0.244

De la Tabla 25, la repetibilidad que se obtuvo del método, es aceptable, puesto que el coeficiente de variación de las mediciones de absorción es muy bajo, el mayor fue de 1 y el menor de 0.2, dependiendo solo del instrumento de medición (Espectrofotómetro).

Tabla 26: Metodología de calibración estequiométrica para la determinación de carbono orgánico

Nº	Glucosa Patrón (15 mL) "X"	Carbono (µg)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (1N) (µL)	H ₂ SO ₄ (C) (µL)	H ₂ O (µL)	H ₂ O (HPLC) (µL)	Absorbancia "Y"
1	0	0	250	150	100	2000	0
2	5	80	250	150	95	2000	0.057
3	10	160	250	150	90	2000	0.122
4	20	320	250	150	80	2000	0.244

Del análisis lineal de la Figura 60. Se obtiene la siguiente ecuación:

$$Y = 7.66786E^{-4}X - 0.0016$$

Con lo cual se procede a determinar la concentración de Carbono orgánico no volátil COT a través de los valores de absorbancia obtenidos de manera experimental, según se muestra en la Tabla 27.

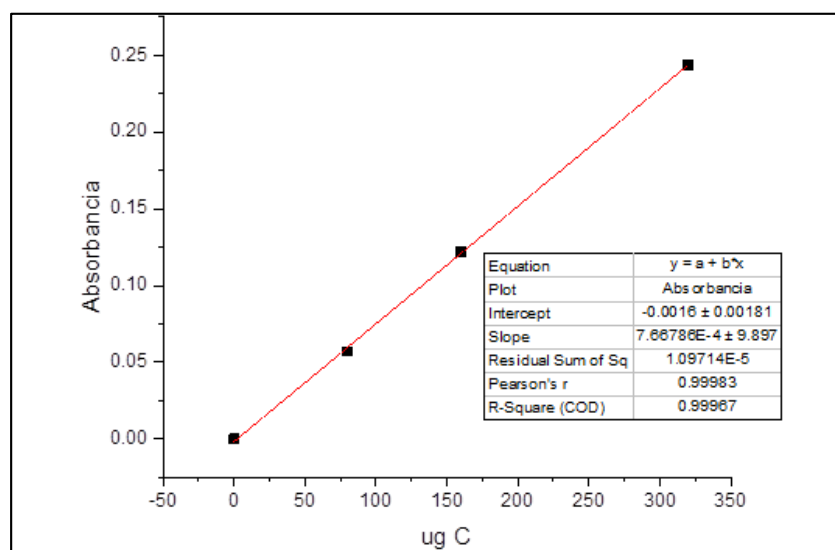


Figura 60: Curva de calibración para la medición de Carbono orgánico total (COT)

Tabla 27: Carbono orgánico total (COT) en muestras de hielo

Muestra	Absorbancia	µg de Carbono	Carbono Orgánico Total no volátil (PPM)
Gla-1-1	0.023	32.08	0.58
Gla-1-2	0.019	26.87	0.5
Gla-1-3	0.018	25.56	0.44
Gla-1-4	0.026	35.99	0.65
Gla-1-5	0.022	30.78	0.55
Gla-1-6	0.032	43.82	0.82
Gla-1-7	0.027	37.3	0.71
Gla-1-8	0.037	50.34	0.89
Gla-1'-1	0.032	43.82	0.79
Gla-1'-2	0.028	38.82	0.69

➤ **Cromatografía de gases (GC-FID)**

Los compuestos orgánicos se analizan por cromatografía de gases con detector de ionización de flama FID, la cantidad de muestra inyectada correspondió a 1µL. En el Anexo 2-A se muestran las condiciones cromatográficas utilizadas, las de inyección y programa de temperatura, que se mantienen semejantes para las muestras de hielo y sedimento, controlado en base a Chromaleon 7.2; una plataforma de software multitarea para entorno Windows que permite el control de múltiples instrumentos de cromatografía de gases. Así mismo, esta estación permite el tratamiento de datos incluyendo potentes herramientas de cálculo y la visualización gráfica de resultados.

En esta etapa de Determinación, se usaron siete estándares análogos a las sustancias en estudio COPs, de la categoría plaguicidas cinco de ellas de composición organofosforada y dos organocloradas según lo indican las Tablas 18 y 19 (véase las páginas 87 y 88 respectivamente), los cuales son los mismos patrones analizados en la etapa exploratoria.

✓ Perfiles cromatográficos de muestras de hielo operación “A”

En adelante se muestran las figuras, que aluden a los cromatogramas obtenidos por GC-FID para las muestras de hielo en la etapa de determinación, según la operación de extracción de muestras “A”.

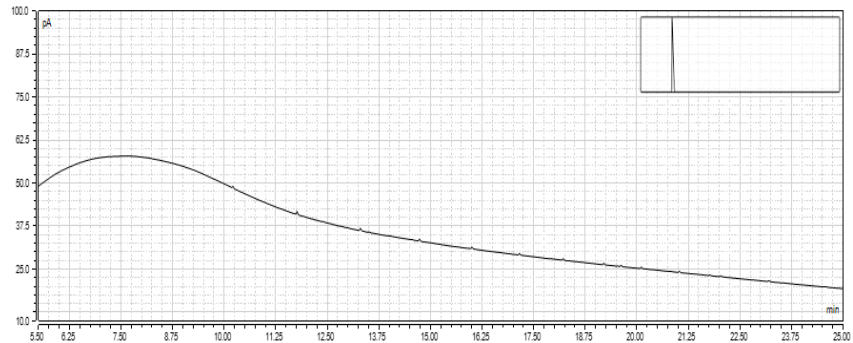


Figura 61: Cromatograma de la muestra Gla-01-01 (picos desestimables), etapa de determinación

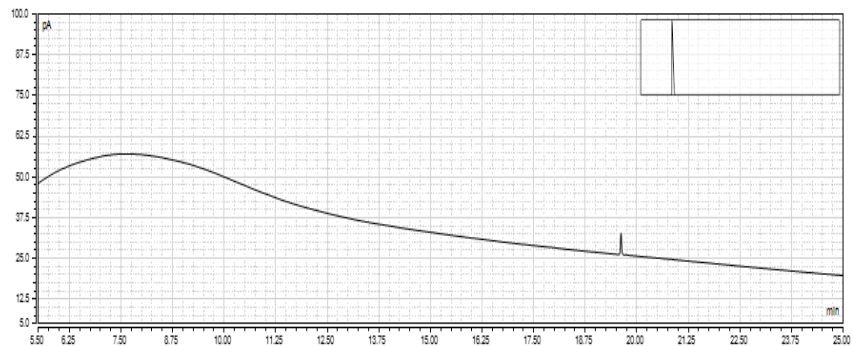


Figura 62: Cromatograma de la muestra Gla-01-02. (Picos desestimables) etapa de determinación

Nota: Se considera en el tiempo de retención 19.6 min, impureza del solvente y/o el proceso de extracción con Diclorometano-DCM.

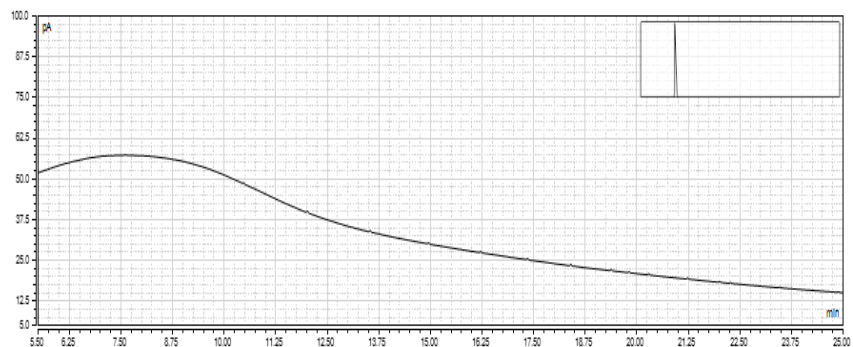


Figura 63: Cromatograma de la muestra Gla-01-03 (picos desestimables), etapa de determinación

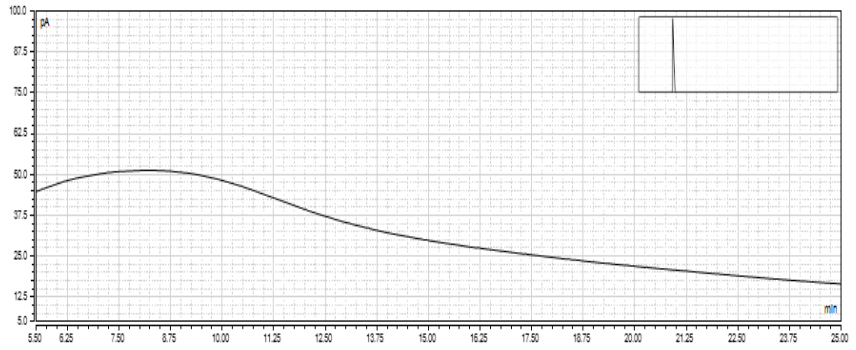


Figura 64: Cromatograma de la muestra Gla-01-04 (Picos desestimables) etapa de determinación

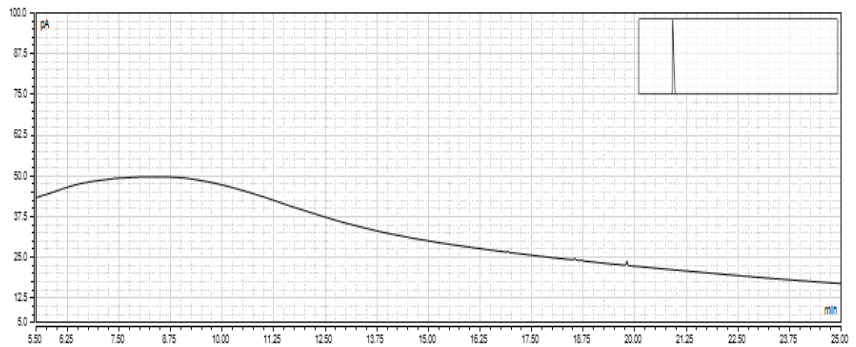


Figura 65: Cromatograma de la muestra Gla-01-05 (picos desestimables) etapa de determinación

Nota: En el minuto 19.6 se evidencia impureza del solvente y/o el proceso de extracción con diclorometano-DCM.

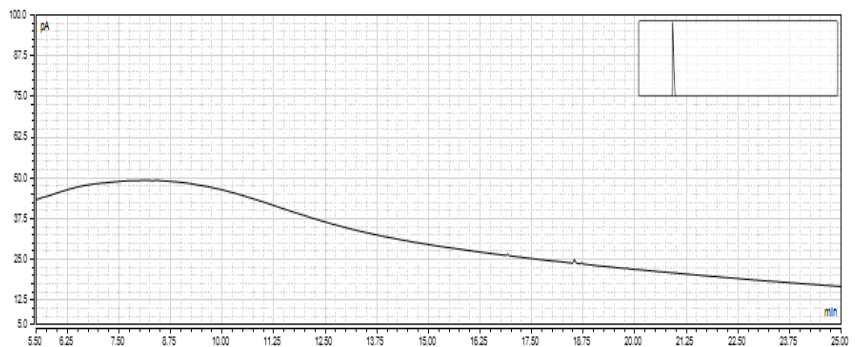


Figura 66: Cromatograma de la muestra Gla-01-06 (picos desestimables) etapa de determinación

Nota: En el minuto 19.6 se evidencia impureza del solvente y/o el proceso de extracción con diclorometano-DCM.

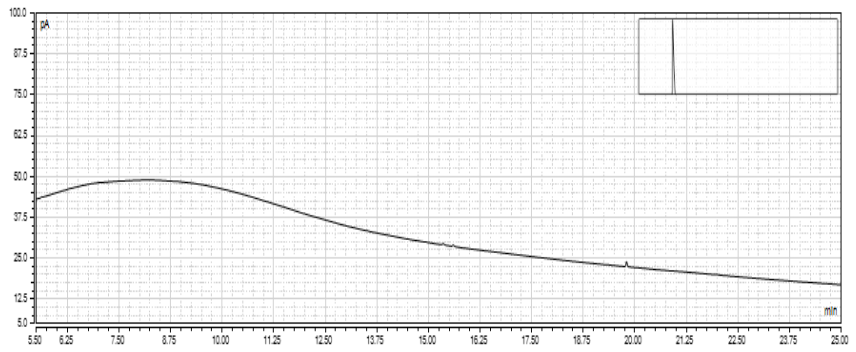


Figura 67: Cromatograma de la muestra Gla-01-07 (picos desestimables) etapa de determinación.

Nota: En la Figura 62, a 19.6 minutos se evidencia impureza del solvente y/o el proceso de extracción con diclorometano-DCM.

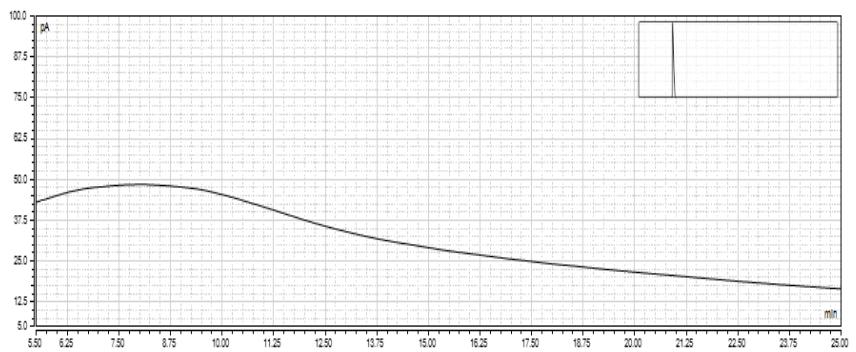


Figura 68: Cromatograma de la muestra Gla-01-08. Picos desestimables.

✓ Perfiles cromatográficos de muestras de hielo operación “B”

En adelante se muestran los resultados cromatográficos, obtenidos por GC-FID para las muestras de hielo en la etapa de determinación, según la operación de extracción de muestras “B”.

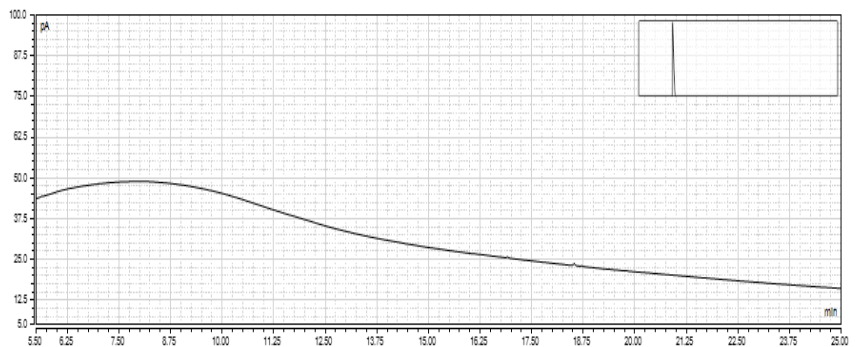


Figura 69: Cromatograma de la muestra Gla-01'-01 (Picos desestimables), etapa de determinación

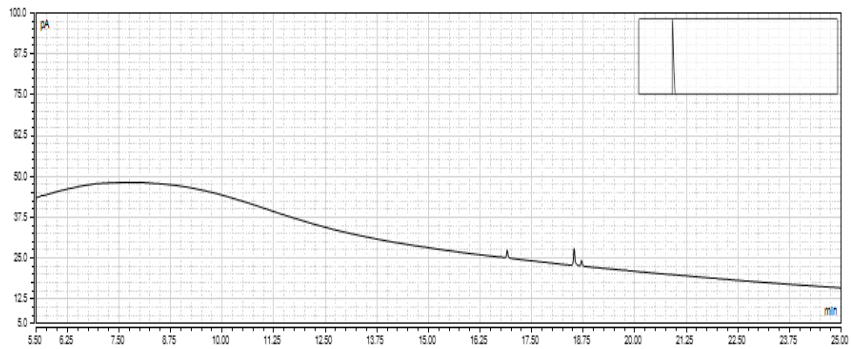


Figura 70: Cromatograma de la muestra Gla-01'-02 (16.9, 18.5, 18.7 min), etapa de determinación

En la Etapa de Determinación, de las muestras de hielo obtenidas mediante la operación “A” se analizaron ocho muestras, el total de las mismas resolvieron picos desestimables respecto de los patrones de COPs, notándose un reiterado pico en el min 19.6, que correspondería a la presencia de algún tipo de impureza cuyo origen sería el solvente empleado y/o el proceso propio de extracción con Diclorometano.

De las dos muestras de hielo obtenidas mediante la operación B, una de ellas Gla-01'-02, muestra tres picos relevantes en el estudio, claramente no compatibilizan con los patrones de COPs, sin embargo, estarían vinculados a hidrocarburos de alto peso molecular.

c. Extracción de muestras de sedimento

Las extracciones puntuales de sedimento realizadas a través del uso de un muestreador metálico tipo Becker de 6 m de longitud y sujeto a cuerdas para mayores profundidades, en la laguna en formación Pastoruri, conformaron muestras compuestas. (ver la Tabla 28 y Figura 71)

Tabla 28: Ubicación de puntos de muestreo de sedimento de fondo de la laguna en formación Pastoruri

Muestra puntual	Ubicación		Muestra Compuesta
	18L	UTM	
Sed - 02	260323.00	8903130.00	
Sed - 01	260281.69	8903025.83	SED-01-02
Sed - 03	260331.04	8903156.69	
Sed - 04	260414.89	8903217.39	

Sed - 05	260284.00	8903316.00	
Sed - 06	260272.00	8903399.00	SED-01-01
Sed - 07	260353.00	8903447.00	
Sed - 08	260391.00	8903475.00	

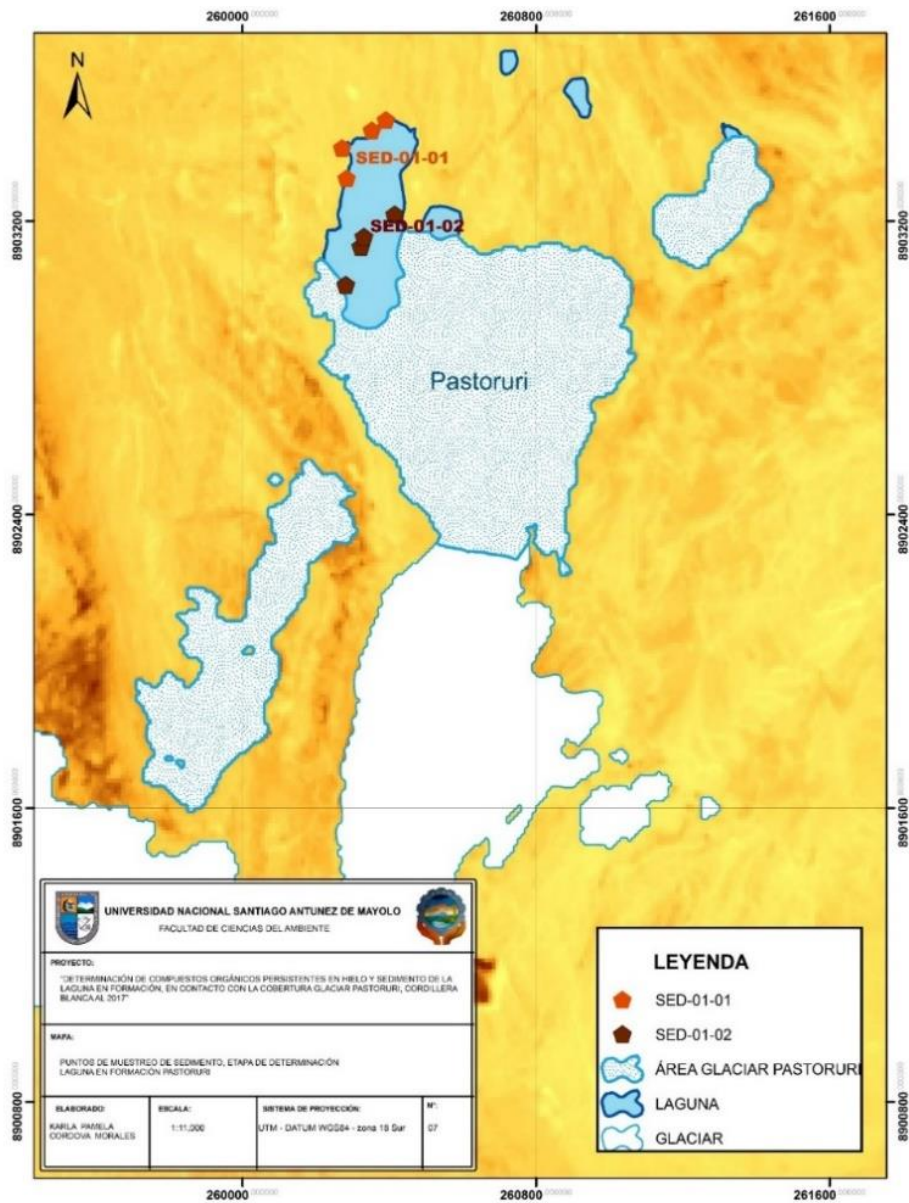


Figura 71: Ubicación de puntos de muestreo de sedimento

d. Método analítico de determinación de COPS en muestras de sedimento

El método analítico empleado para la determinación de COPs en sedimento, se desarrolló según se explica en el diagrama de la Figura 72.

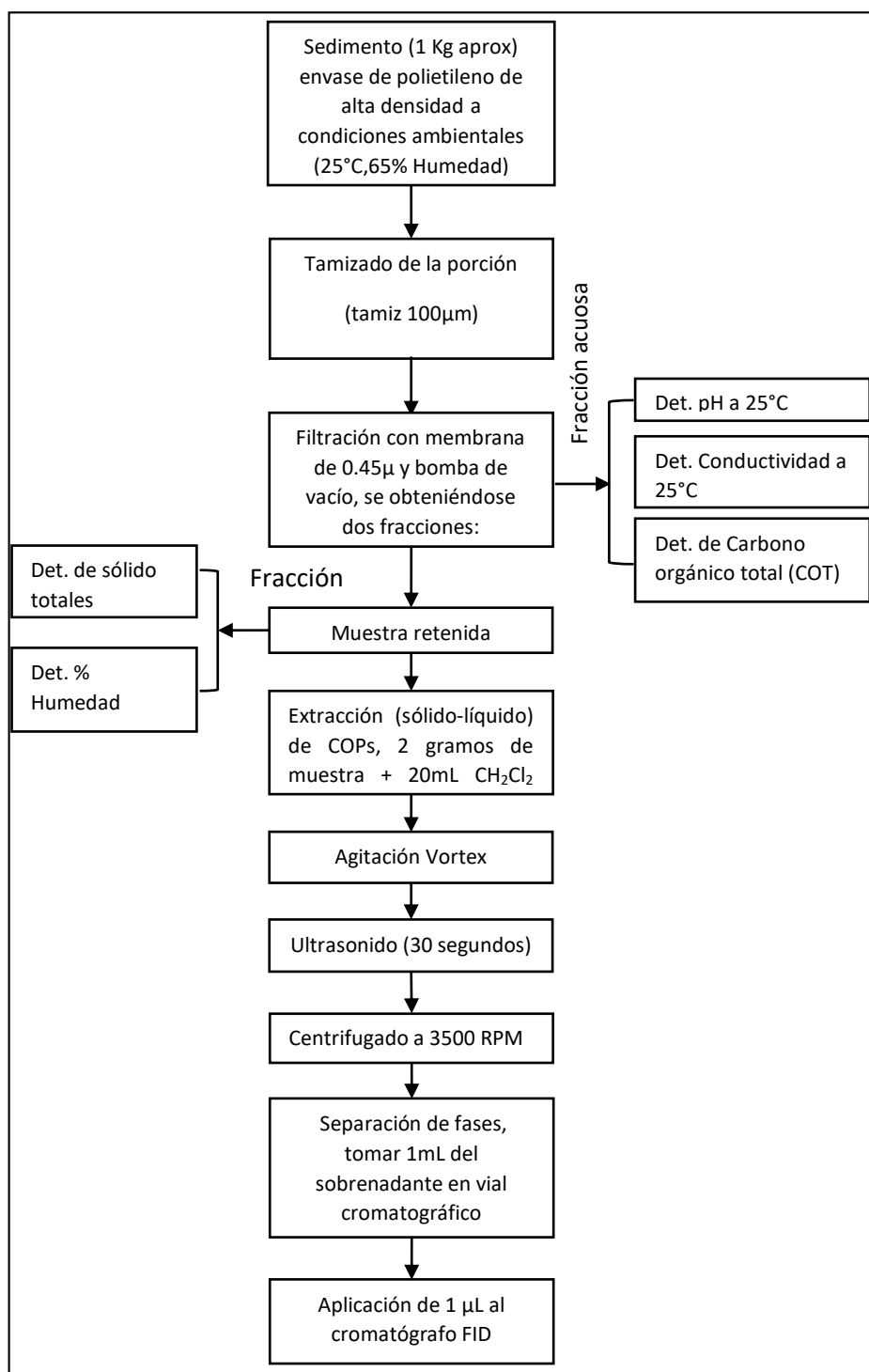


Figura 72: Diagrama del método analítico de COPs en muestras de sedimento

➤ Preparación muestral general

Las muestras de hielo (1 Kg aprox) conservadas en envase de polietileno de alta densidad a temperaturas menores a 4°C en laboratorio, son fusionadas evitando cualquier tipo de intervención, por un periodo de 24 horas, expuestas a condiciones ambientales de 25°C y 65% de humedad al interior de su propio envase inicial. Posteriormente, las vertimos y se procede a una separación primaria con tamiz nylon de 100 µm, seguida del filtrado a 0.45 µm para, de esa manera, asegurar la cobertura de los analitos COPs de interés.

➤ Determinación de sólidos totales en muestra de sedimento

La determinación de sólidos totales en muestras de sedimento se desarrolla mediante gravimetría por la variación de peso muestral ante la evaporación del extracto de agua a 110°C y mediciones másicas analíticas iniciales y finales, según se detalla en la Tabla 29.

$$TSS \text{ mg/L} = \frac{(\text{Peso final del recipiente en g} - \text{Peso inicial del recipiente en g}) * (1000 \text{ mg/g})}{\text{Volumen de muestra de agua en L}}$$

Tabla 29: Determinación de sólidos totales no volátiles en muestras de sedimento

Muestra	Volumen De solvente agua HPLC (mL)	Peso Recipiente (g)	Peso Recipiente + muestra (g)	Peso seco final (mg)	TSS (mg/L)
Blanco	-	20.8490	20.8490	20.8490	0
Sed-1-1	5mL	20.8721	20.8728	20.8728	140
Sed-1-2	5mL	21.4304	21.4314	21.4314	200

➤ Determinación de humedad en muestras de sedimento

Para relacionar la cantidad de muestra concentrada en la disolución de sedimento hallamos el % de Humedad mediante evaporación a 100°C con los valores mostrados en la Tabla 30.

Tabla 30: Determinación del porcentaje de humedad en muestras de sedimento

	Peso de porta objeto (g)	Muestra + Peso porta objeto (g)	Peso final o seco (g)	% Agua en muestra
Sed-1-1	4.7633	4.8199	4.8049	26.5%
Sed-1-2	4.7473	4.7894	4.7794	23.75%

➤ Ensayos de pH y conductividad

Las mediciones del potencial de Hidrógeno y conductividad se realizaron siguiendo procedimientos para ensayos normalizados a 25°C y 65%H, bajo condiciones de agitación magnética (200 rpm), obteniendo valores de ambos parámetros, para la realización de las mediciones se utilizaron los equipos pH metro 990 pH/conductimeter, debidamente calibrados y verificados al inicio de los ensayos fisicoquímicos, obteniendo valores de ambos parámetros como se indica en la Tabla 31.

Tabla 31: Medición de pH y conductividad en muestras de sedimento

Muestra	pH	Conductividad (uS/cm)
Sed-1-1	4.49	138
Sed-1-2	6.19	222

➤ Determinación de carbono orgánico total (COT) en sedimento:

A 0.5 g de sedimento seco se añadieron 150 µL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_{4CC}), próximo a un mechero (calor), para asegurar la oxidación, seguido de la incorporación de 2mL agua HPLC, mezclándose mediante agitación suave, luego se agregó la misma cantidad de Dicromato de potasio (K_2CrO_7)1N.

Se utilizó un estándar de variadas concentraciones (Glucosa), para obtener lecturas de absorbancia.

Se realizaron mediciones de la absorbancia a la longitud de onda de trabajo, y en cubetas de vidrio del mismo paso óptico. Luego, se graficó la absorbancia en relación con las concentraciones estudiadas para hallar la curva de calibración mostrada en la Figura 60 (Véase la página 99).

La Tabla 32. Presenta las concentraciones de Carbono orgánico total en las muestras de sedimento.

Tabla 32: Carbono orgánico total (COT) en muestras de sedimento

Muestra	Carbono Orgánico Total no volátil (PPM)
Sed-1-1	1.20
Sed-1-2	0.94

➤ Cromatografía de gases (GC-FID)

Los compuestos orgánicos persistentes se analizaron por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (Flame Ionization Detector - FID) la cantidad de muestra inyectada correspondió a 1 μ L. El anexo 2-B muestra la plataforma de control de múltiples instrumentos y ensayos por cromatografía de gases del Software Chromaleon 7.2.

✓ Perfiles cromatográficos de muestras de sedimento

En adelante se muestran las figuras, respecto a cromatogramas obtenidos por GC-FID para las muestras de sedimento en la etapa de determinación.

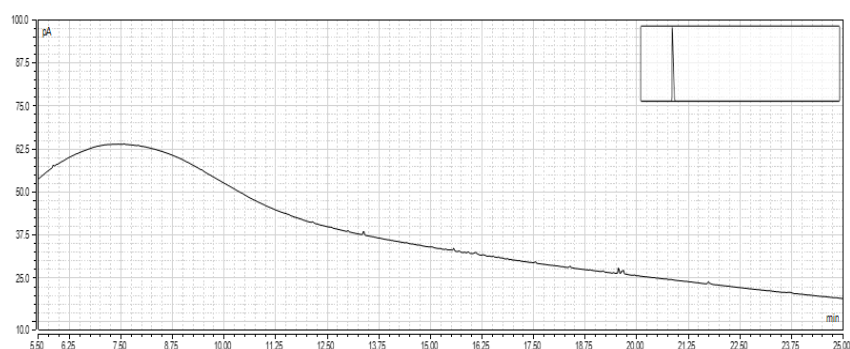


Figura 73: Cromatograma de la muestra Sed-01-01 (picos desestimables), etapa de determinación

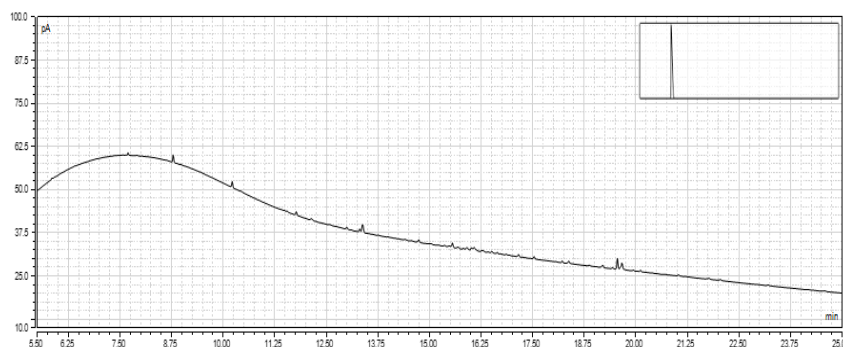


Figura 74: Cromatograma de la muestra Sed-01-02, etapa de determinación (8.8 - 10.2 - 11.8 - 13.3 - 13.4 min)

Nota: En las Figuras 73 y 74 se identifica de forma reiterada los picos 19.6 y 19.7 min, correspondientes a impurezas cuyo origen sería el solvente empleado y/o el proceso propio de extracción con Diclorometano. En la figura 74, el cromatograma de la muestra Sed-01-02, se observan cinco notorios picos desvinculados de los patrones de COPS, indicadores de la posibilidad de estar frente a hidrocarburos de alto peso molecular, los que por su regularidad parecen indicar presencia de hidrocarburos alifáticos pesados o hidrocarburos condensados del tipo antraceno.

4.2. Caracterización físico-química de flujo superficial

Los flujos superficiales sobre el manto central Pastoruri, formados desde procesos de fusión de las capas de hielo expuestas, fueron evaluados en campo, siendo dos dentro del periodo de precipitaciones. Los resultados se muestran en la Tabla 33. Y dos posteriores en el periodo seco como se detalla en la Tabla 34.

Tabla 33: Medición de pH y Conductividad eléctrica de muestras de flujo superficial etapa exploratoria, manto central Pastoruri

Muestra	Monitoreo 1				Monitoreo 2			
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-1	E-2	E-3	E-4
pH	4.4	4.9	6.2	4.0	5	4.6	5.6	4.5
Conductividad (uS/cm)	16.8	9.0	9.18	25	16	18	16	18

Tabla 34: Medición de pH y Conductividad eléctrica de muestras de flujos superficial, etapa de determinación, manto central Pastoruri

Muestra	Monitoreo 3				Monitoreo 4			
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-1	E-2	E-3	E-4
pH	5.5	6	6.1	4.8	4.7	4.6	4	4.1
Conductividad (uS/cm)	18.8	13	28	16	9	7	25	7

Según los resultados que vierten las Tablas 33 y 34, el agua que fluye sobre el casquete central del Nevado Pastoruri presenta características ácidas por debajo de 6 en pH, mientras que los niveles de conductividad representan valores relativamente minúsculos, comparables con los Estándares de Calidad Ambiental para las Categorías 1,3 y 4 de agua (MINAM, 2017).

4.3. Evaluación del posible impacto en la calidad del agua por la presencia de COPs

El comportamiento ambiental de los compuestos orgánicos persistentes, es variable de acuerdo a la matriz ambiental que se evalúe; sin embargo, dentro del sistema glaciar Pastoruri, se realizó una evaluación dinámica y vinculante entre las matrices de hielo, sedimento y flujo, con correspondencia y aterrizaje en la matriz hídrica.

Por lo cual, al referirnos al agua, se consideraron las mediciones de parámetros físico-químicos en los pozos de acumulación o flujos superficiales de hielo, de forma trimestral, en cuatro estaciones de monitoreo, a diferentes niveles de ubicación, con resultados de niveles ligeramente ácidos y bajos niveles de conductividad eléctrica. Desde la fracción acuosa del ensayo de muestras de sedimento, se tiene que la determinación de pH varía entre valores ácidos de 4.49 y 6.19, conductividad eléctrica de 138 y 222 uS/cm, Carbono orgánico total entre 0.94 y 1.20 PPM, es decir, niveles poco representativos para ser considerados en algún tipo de modificación ambiental.

Desde los ensayos realizados con muestras de hielo, se tiene que, la turbiedad se ubica entre 1.63 y 11.20 UNT, lo que refleja relativamente los bajos niveles de material suspendido para afectar la transparencia del agua; sin embargo, es importante mencionar que según las consideraciones del presente estudio se priorizó el muestreo de puntos con mayores concentraciones visibles de partículas acumuladas entre los estratos del crevasse y el pH de las muestras de hielo se ubica entre 4.84 y 5.68, valores ubicados por debajo del neutro 7, mientras que la conductividad en dichas muestras alcanza valores entre 3.31 y 8.56 uS/cm, valores que aluden a niveles casi inexistentes.

Además, se desarrolló la medición de carbono orgánico total, hallándose el 100% de muestras de hielo por debajo de 1 PPM (entre 0.44 y 0.89 PPM), valores que representan cierta concentración en niveles bajos pero existentes de materiales de origen carbónico entre los estratos acumulados de hielo.

El sistema proglaciar Pastoruri, al inicio del presente estudio se hipotetizó como un sumidero con gran afinidad de COPs, capaz de generar impactos en el ambiente. Los resultados nos permiten concluir que, según los registros de la última década en el área glaciar Pastoruri, el acelerado retroceso y acumulación de material en el fondo de laguna en formación glaciar no representan fuentes de liberación de compuestos orgánicos persistentes que puedan alterar de forma significativa (dentro de los límites de detección aplicados) la calidad del agua en la zona remota de estudio, por lo mismo a la biodiversidad y comunidades que hacen uso de este recurso; sin embargo, se advierte la presencia de compuestos carbónicos de alto peso molecular, vinculados a posibles contaminantes de la calidad del agua de la subcuenca Pachacoto.

4.4. Discusión de resultados

La presente investigación, desarrolló los estudios en el sistema Glaciar Pastoruri, en dos etapas significativas dentro del año hidrológico 2016-2017: Exploratoria y Determinativa. La primera caracterizada por condiciones de precipitaciones y cobertura con nieve temporal extendida sobre el casquete de hielo Pastoruri. La segunda, caracterizada por la temporada seca o de estiaje, propicia para el arrastre y acumulación de material particulado sobre la superficie de hielo.

En ambas etapas de estudio, se extrajeron muestras de hielo y sedimento; los tamaños muestrales se incrementaron de una etapa a otra. En el caso de las muestras de hielo, se analizaron siete en la primera etapa y diez en la segunda. Respecto a las muestras de sedimento se consideró una compuesta para el análisis en la etapa exploratoria, y dos compuestas en la etapa de determinación.

Los estándares (Tabla 18) utilizados en la metodología, no han sido los correspondientes a los COPs típicos, debido a la no comercialización de los mismos y por asuntos regulatorios desde la década de los noventa. El manejo de estos productos como los bifenilos policlorados (PBCs) ha sido restringidos. Para disponer referencias analíticas en función de los tiempos de retención y los índices de Kovats, se ha usado como patrones algunos compuestos volátiles persistentes como el benceno, naftaleno, antraceno, un análogo al hexaclorobenceno (Clorotalonil), 02 organoclorados y 05 organofosforados vinculados con la persistencia en el ambiente actual.

Los cromatogramas resultantes en ambas etapas muestran evidencia de una sustancia calificada como impureza en los minutos 19.6 y 19.7, evento que podría haberse originado de forma muy poco relevante en el proceso analítico y/o por algún material o instrumento empleado para el mismo, mientras que los picos resaltantes, considerando los valores superiores a la relación ruido/fondo, corresponden a las operaciones propias del proceso de extracción (solventes, operaciones, etc.) y han sido doblemente corroborados con blancos de trabajo para descartar falsos positivos.

Ninguno de los picos de los cromatogramas derivados de los análisis de las muestras hielo y sedimento de Pastoruri, se puede vincular con los patrones análogos de COPs analizados, tal como se especuló en la hipótesis planteada. De acuerdo a los resultados de algunos estudios realizados en la región montañosa de los Andes de Sudamérica, se informaron interesantes niveles de PCB (congéneres 25, 52, 101, 153, 138 y 180) en el campo de nieve permanente de la Sierra Velluda (37° S 3580 msnm) de las montañas de los Andes de Chile con valores entre 0.14 y 9.21 ng/L de analitos de HCH y PCBs (Barra et al, 2005). Un estudio del año 2003, realizado por investigadores chilenos que tomaron pruebas a 3500, 4300, 5000, 5800 y 6200 msnm. En el Aconcagua, alcanza resultados de la concentración de PCBs Hexaclorobifenilo (PCB 138) y Heptaclorobifenilo (PCB 180) que se situaban entre 0.02 y 0.190 ng/L (Quiroz, Popp, & Barra, 2009). De ambos estudios, las concentraciones en el Aconcagua representaron únicamente una décima parte de Sierra Velluda, la cara oeste chilena de los Andes, lo cual indicaba una escasa relación entre la diferencia de altitudes o cotas y la distribución de COPs, aludiendo a otros factores ambientales que favorecen la deposición.

Mientras que, otro estudio de plaguicidas organoclorados persistentes en sedimentos de un lago andino de Chile central (Pozo et al., 2011), indica concentraciones de Aldrín, γ -HCH y DDD, entre 0.004 y 0.94 ng/g de peso seco.

En comparación con los valores de COPs descritos en otras regiones montañosas del mundo, las encontradas hasta el momento en los Andes, han sido muy inferiores. Por ejemplo, en testigos de los Glaciares Silvretta, Grenzgletscher y Fiescherhorn de los Alpes suizos (Pavlova et al, 2015), se ha encontrado en promedio cuatro veces la concentración de COPs (congéneres a los PCBs) hallados en Los Andes.

Las concentraciones relativamente bajas, casi inexistentes, de COPs en el Pastoruri, reflejan una instantánea de los niveles ambientales en los sistemas glaciares de la Cordillera de los Andes Peruanos, con bajos impactos antropogénicos directos, excepto por la actividad turística, forestales y otras de baja incidencia, por lo cual todos estos resultados indican que los niveles de contaminación por presencia relevante de COPS son muy escasos, lo cual podría verse variado, frente a la presencia de fuentes inmediatas como centrales hidroeléctricas en zonas remotas de los Andes peruanos, así como ocurre en los alrededores de Sierra Velluda en Chile (Barra, 2009). Es importante indicar que, el presente estudio busca contrastar con investigaciones análogas y cercanas al área de estudio, de ese modo los resultados conforman una línea base sobre los estudios de naturaleza glacioquímica en zonas remotas de los Andes peruanos.

Las concentraciones de carbono orgánico total (COT) obtenidas en la etapa de determinación, muestran valores muy bajos desde 0.44 a 0.82 ppm, lo que en porcentaje representa menos del 1%. en muestras de hielo, mientras que, en las muestras de sedimento se halló el valor más elevado correspondiente a 1.2 ppm.

Es importante destacar que las concentraciones determinadas son muy inferiores si se comparan con otros estudios realizados en áreas andinas del Sur de Chile, donde las concentraciones en sedimento representaron un mínimo de 6% y máximo de 19.7% (Pozo et al, 2011) y a su vez dichos estudios reportaron la presencia de COPs, por lo cual podemos referenciar las concentraciones de COT como posibles factores de representatividad vinculados a COPs, es decir, si tenemos valores minúsculos de COT (alrededor o debajo de 1ppm), es posible que los niveles de impacto en esas matrices sean libres de contaminación por COPs, o en su defecto de muy bajas concentraciones.

Los valores de los parámetros básicos en las matrices de hielo y flujo como el pH, la turbiedad, conductividad, sólidos totales, carbono orgánico total, siguiendo métodos normalizados, considerando una etapa posterior a la fusión de las muestras de hielo de las Tablas 33 y 34, pueden corroborar la poca o nula presencia de los contaminantes propuestos COPs; así mismo, sin considerar los sólidos sedimentables y suspendidos, dichos valores se pueden aproximar a aguas puras destiladas o desionizadas.

En cuanto a su contraste con las diferentes categorías de calidad de agua del Perú (MINAM, 2017), evidentemente se podrían considerar aguas de alto

grado de cumplimiento a la norma, sin embargo, el país aún no regula el parámetro orgánico COT, en ninguna categoría, lo cual podría ser un indicador directo de los niveles de presencia de compuestos carbonados específicos de la Categoría 1, subcategoría “Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable”, como Bifenilos policlorados, Organoclorados o Hidrocarburos aromáticos, además de incluir a ciertos COPs no volátiles que aún no han sido regulados.

En lo que corresponde a la metodología de análisis, si bien los resultados cromatográficos son concluyentes en términos de cuantificación, bajo las condiciones operadas, cabe señalar que, ante una caracterización de COPs en algún cromatograma, hubiera conllevado a la necesidad de identificar los componentes por comparación de espectros con patrones comerciales análogos de COPs y el cálculo de índices detectados por cromatografía gaseosa-espectrometría de masa (GC-MS), para lo cual se estimó conveniente hacer uso de un cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas (Minteguiaga & Dellacassa, 2017).

En relación a todo lo anterior, se reconoce la necesidad de realizar estudios complementarios para obtener un mejor récord histórico de la geocronología de los testigos de hielo en crevasses y sedimentos de la laguna en formación, para establecer con exactitud el período de evaluación; queda precisada la continuidad analítica para la detección de COPs y los alentadores valores de calidad natural del sistema glaciar Pastoruri y con ello la Cordillera Blanca en los Andes del Perú.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la presente investigación se determina que el contenido de compuestos orgánicos persistentes en muestras de hielo y sedimento de la laguna en formación, en contacto con cobertura glaciaria del Pastoruri, Cordillera Blanca, no presenta picos cuantificables, superiores a 0.01 microgramos por litro de muestra o equivalente.

De acuerdo a la metodología analítica para la determinación de Compuestos orgánicos persistentes (COPs) en muestras de hielo de Pastoruri, a través de la reducción muestral, extracción y fraccionamiento de COPs líquido-líquido (1:1) y detección por cromatografía gaseosa con ionización de llama (GC-FID), cuyos cromatogramas en las dos etapas de estudio no presentaron caracterización cuantificable superiores a 0.01 microgramos por litro de muestra de hielo; no obstante; se evidencian interesantes picos cromatográficos que estarían vinculados a hidrocarburos de alto peso molecular.

De acuerdo a la metodología analítica para la determinación de Compuestos orgánicos persistentes (COPs) en muestras compuestas de sedimento de la Laguna en formación Pastoruri, mediante ultrasonido, filtración sucesiva, fraccionamiento de COPs líquido-sólido (1:1) y detección por cromatografía gaseosa con ionización de llama (GC-FID), cuyos cromatogramas en las dos etapas de estudio no presentaron caracterización cuantificable superior a 0.01 microgramos por kilogramo de muestra de sedimento, en la etapa exploratoria se identificaron tres picos escasamente diferenciables; mientras que en la etapa de

Determinación se identifican picos que estarían relacionados a hidrocarburos alifáticos pesados o hidrocarburos condensados del tipo antraceno.

De los resultados de ensayos de los patrones físicos y químicos, en las matrices de hielo y sedimento los valores para el pH (4.49 - 6.19), conductividad (3.31 - 222 uS/cm), presentan condiciones de alto cumplimiento de los estándares actuales de calidad ambiental para agua (MINAM, 2017) y de las condiciones típicas de alta montaña con escasas fuentes directas de inmisión de contaminantes, o factores importantes de alteración de dichos parámetros. Mientras que el carbono orgánico total (COT), aún no se encuentra regulado en la normativa nacional, sin embargo, los valores encontrados (0.44 - 0.82 ppm), aún al ser muy bajos, son indicadores de las condiciones naturales de estos ambientes remotos y de los posibles sustratos de especies adaptadas en el marco de cambio climático que se viene experimentando.

El sistema proglaciar Pastoruri, inicialmente representó un sumidero con gran afinidad de COPs, capaz de generar impactos en el ambiente. Los resultados nos permiten concluir que, según los registros de la última década en el área glaciar Pastoruri, el acelerado retroceso y acumulación de material en el fondo de laguna en formación glaciar no representan fuentes de liberación de Compuestos orgánicos persistentes que puedan alterar de forma significativa (dentro de los límites de detección aplicados) la calidad del agua en la zona remota de estudio, por lo mismo a la biodiversidad y comunidades que hacen uso de este elemento, sin embargo se advierte la presencia de compuestos carbónicos de alto peso molecular, vinculados a posibles contaminantes de la calidad del agua de la subcuenca Pachacoto.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda ampliar el periodo de estudio de COPs como archivos históricos de atrapamiento de compuestos orgánicos persistentes, remontando las décadas de los sesenta en adelante, para lo cual se requiere de logística de perforación de testigos de hielo de alto espectro, generalmente de funcionamiento eléctrico y/o neumático.

Se recomienda el estudio de Compuestos Orgánicos Persistentes, en las áreas glaciares aledañas a zonas antrópicas y emisión directa tales como los que rodean las ciudades de Huaraz, Huancayo, Arequipa, Lima, Cusco o Puno, de

perfiles estratificados con alta conservación y regularidad, tales son casos de los Nevados: Coropuna, Huascarán, Yerupajá, Quelccaya Y Apolobamba.

Se recomienda desarrollar el estudio de la relación entre los factores hidrometeorológicos y el proceso de deposición de sedimento en las capas de hielo, pudiéndose recurrir a softwares sobre modelización de transporte de contaminantes, tal es el caso de Run HySplit 4, con ello estudio del vínculo de transporte de sedimentos de áreas morrénicas a los perfiles de hielo por la similitud del material lítico visto en el estereoscopio a partir de las muestras de hielo.

Se recomienda incrementar el número de muestras puntuales que conforman la muestra compuesta de sedimentos para ampliar el espectro de estudio y la determinación cromatográfica. De esa manera se esperaría concluir en los siguientes análisis la desestimación a nivel de ruido fondo de la sensibilidad del equipo cromatográfico.

Se recomienda el estudio y determinación de los compuestos carbonados que pueden conformar los identificados en los cromatogramas de hielo y especialmente los obtenidos en sedimento de la etapa de determinación.

BIBLIOGRAFIA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2002). Bifenilos Policlorados, 2–7.

ATSDR. (2000). Bifenilos Policlorados. Recuperado a partir de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs17.pdf

ATSDR. (2002). Toxicological Profile for DDT, DDE, and DDD. *US Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, (September), 497. <https://doi.org/CAS#: DDT 50-29-3; DDE 72-55-9; DDD 72-54-8>

ATSDR. (2005). ToxFAQs: Hexaclorociclohexano. Recuperado a partir de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts43.pdf

Barra, R. (2009). Blanca, pero no limpia. Recuperado a partir de <https://www.ufz.de/index.php?es=35595>

Barra, R., Popp, P., Quiroz, R., Bauer, C., Cid, H., & Tümping, W. Von. (2005). Persistent toxic substances in soils and waters along an altitudinal gradient in the Laja River Basin, Central Southern Chile. *Chemosphere*, 58(7), 905–915. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.050>

Bitocchi, O. S. (1999). *Factores que permiten el desarrollo del ecoturismo en los parques nacionales del Perú, una investigación exploratoria*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Blair, G. (2001). Análisis de la situación de los contaminantes orgánicos persistentes en el Perú. En *SENASA* (pp. 1–22). Recuperado a partir de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/824/BIV00590.pdf?sequence=1>

Chung, B. (2008). Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*, 25(4), 413–413.

CNR COP. (2013). Bifenilos Policlorados PCBs. Recuperado a partir de [http://www.cnrkop.es/gc/assets/presentaciones/Bifenilos Policlorados \(PCBs\).pdf](http://www.cnrkop.es/gc/assets/presentaciones/Bifenilos Policlorados (PCBs).pdf)

Congreso de la República del Perú. (1993). *Constitución Política del Perú. El Peruano*. Recuperado a partir de <http://www4.congreso.gob.pe/ntley/Imagenes/Constitu/Cons1993.pdf>

Congreso de la República del Perú. Ley 1314-2016-PE (2018).

Daly, G., & Wania, F. (2005). Organic Contaminants in Mountains. *Environmental Science & Technology*, 39, 385–398.

Diario Oficial de la Federación. Norma oficial mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis (2002). México D.F. Recuperado a partir de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/rn/rn021-02.pdf>

Doull, L., & Klaassen, J. (2013). *Toxicology: The basic science of poisons*. (Curtis D. Klaassen, Ed.) (Seventh Ed). Kansas: McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1036/0071470514>

Duque, S., & Arango, L. (2015). *Desarrollo de la técnica de cromatografía de gases (GC-FID) para la determinación de contaminantes tipo productos farmacéuticos*. *Journal of applied microbiology*. Universidad Tecnológica de Pereira.

El-Shahawi, M. S., Hamza, A., Bashammakh, A. S., & Al-Saggaf, W. T. (2010). An overview on the

accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants. *Talanta*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>

El Peruano. DS N°037-91-AG (1991). Lima.

El Peruano. DS N° 067-2005-RE (2005).

Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J. E., Silvestre, E. E., Ginot, P., ... Mendoza, L. (2013). *Glaciares de los Andes Tropicales, víctimas del Cambio Climático*.

Galantini, J., Rosell, R., & Iglesias, J. (1994). Determinación De Materia Orgánica Empleando El Método De Walkley Y Blak En Fracciones Granulométricas Del Suelo. *Ciencia del suelo*. Recuperado a partir de http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_12n2/galanti.pdf

Garg, V., & Gupta, U. (2016). The Fate of Persistent Organic Pollutants with Regard to Environment and Human Health, *4*(1), 113–116.

Guardamino, L., & Drenkhan, F. (2016). Evolución y potencial amenaza de lagunas glaciares en La Cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurímac, Perú) entre 1991-2014. *University of Zurich*, *1*, 21–36. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.5167/uzh-137117>

H, Vijverberg;J, van der Z., & J, van den B. (1982). Similar mode of action of pyrethroids and DDT on sodium channel gating in myelinated nerves. *Nature*, *295*(5850), 601–603. <https://doi.org/10.1038/295601a0>

Hidrandina. (2015). Memoria Anual 2015 - IKEA. Recuperado a partir de <http://www.memoriaanual.ikea.com/>

INAIGEM. (2016a). *Boletín Institucional* (02 ed.). Huaraz - Ancash. Recuperado a partir de https://issuu.com/inaigem/docs/inagem_boletin3-a

INAIGEM. (2016b). Estimación de la contribución del Carbono negro a la fusión de nieve de los glaciares Yanapaccha y Shallap, para el período entre octubre 2015 -Agosto 2016. Huaraz - Ancash.

INAIGEM. (2016c). Seguimiento de la Variación de la Superficie glaciar de Pastoruri (capa de hielo). Recuperado a partir de <http://www.inaigem.gob.pe/NotasDePrensa/seguimiento-de-la-variacion-de-la-superficie-glaciar-de-pastoruri-capa-de-hielo>

INAIGEM. (2017). Marco Geológico de la Cordillera Blanca,Pastoruri. Huaraz.

INGEMMET. (1996). Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. Recuperado a partir de <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/199>

IPCC. (2014). *Síntesis de Cambio Climático. Quinto informe de evaluación* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>

IRD, & Great-Ice. (2004). *Métodos de Observación de Glaciares en Los Andes Tropicales*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4220.8164>

IUCN. (1981). *Conservig the Natural Heritage of Latin America and the Caribbean*. Lima.

Jacob, J., & Cherian, J. (2013). Review of environmental and human exposure to persistent organic pollutants. *Asian Social Science*, *9*(11), 107–120. <https://doi.org/10.5539/ass.v9n11p107>

Kukucka, P. (2014). Outdoor passive air monitoring of semi volatile organic compounds (SVOCS

-) : A critical evaluation of ... *Environmental Science Processes & Impacts*, (November). <https://doi.org/10.1039/c3em00644a>
- La Rosa, P. (2016). *Uso de técnicas cromatográficas en la identificación de residuos de antibióticos veterinarios*. UNMSM.
- Legislativo, D. (1991). Código Penal, 247.
- MADS. (2015). *Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB*. Bogotá.
- McNair, H., & Miller, J. (2011). *Basic Gas Chromatography*.
- Méndez, A. (2010). Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT). Recuperado a partir de <http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/dicloro-difenil-tricloroetano-ddt>
- MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Agua, El Peruano § (2017). Recuperado a partir de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *La Voz de las Montañas*. Lima. Recuperado a partir de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/voz-las-montanas>
- Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2004). Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCBs; Askareles), 122.
- Minteguiaga, M., & Dellacassa, E. (2017). Compuestos aromáticamente activos del aceite esencial de Citrus deliciosa Tenore var. Cai detectados por cromatografía gaseosa-espectrometría de masa y cromatografía gaseosa-olfatometría. *Pharmacy & Pharmacognosy Research*, (September). Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/319451638_Compuestos_aromaticamente_activos_del_aceite_esencial_de_Citrus_deliciosa_Tenore_var_Cai_detectados_por_cromatografia_gaseosa-espectrometria_de_masa_y_cromatografia_gaseosa-olfatometria
- Muir, D. C. G., & Howard, P. H. (2006). Are there other persistent organic pollutants? A challenge for environmental chemists. *Environmental Science and Technology*, 40(23), 7157–7166. <https://doi.org/10.1021/es061677a>
- Ozcan, C., & Balkan, S. (2017). Multi-Residue Determination of Organochlorine Pesticides in Vegetables in Kirklareli, Turkey by Gas Chromatography – Mass Spectrometry 1, 72(7), 761–762. <https://doi.org/10.1134/S1061934817070036>
- Pavlova, P. (2014). Accelerated Release of Persistent Organic Pollutants From Alpine Glaciers, Ph.D. thesis. *Ph.D. thesis*.
- Pavlova, P., Jenk, T., Schmid, P., Bogdal, C., Steinlin, C., & Schwikowski, M. (2015). Polychlorinated Biphenyls in a Temperate Alpine Glacier : 1. Effect of Percolating Meltwater on their Distribution in Glacier Ice. *Environmental Science & Technology*, 49, 14085–14091. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03303>
- Pavlova, P., Schmid, P., Bogdal, C., Steinlin, C., Jenk, T. M., & Schwikowski, M. (2014). Polychlorinated biphenyls in glaciers. 1. Deposition history from an Alpine ice core. *Environmental Science and Technology*, 48(14), 7842–7848. <https://doi.org/10.1021/es5017922>
- Petit, R. J., Raynaud, D., Basile, I., Chappellaz, J., Ritz, C., Delmotte, M., ... Pe, L. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 429–413. <https://doi.org/10.1038/20859>
- Platt McGinn, A. (2000). Los contaminantes orgánicos persistentes. *World-Watch*.
- PNUMA. (2002). *Evaluación regional sobre sustancias tóxicas persistentes*. Ginebra. Recuperado

a partir de file:///C:/Users/Karla-PC/Documents/PLAN/QUIMICA AMBIENTAL - COPS/Eastern and Western South America sp.pdf

PNUMA. (2006). *Inventario Nacional de bifenilos policlorado*. Lima.

PNUMA. (2009). CONVENIO DE ESTOCOLO SOBRE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP) Texto y anexos.

PNUMA. (2011). Convenio de Estocolmo. Recuperado a partir de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/presentacion-nuevos-contaminantes-organicos-persistentes-cop>

Pozo, K., Barral, R., Urrutia, R., Cisternas, M., Pacheco, P., & Focardi, S. (2011). Plaguicidas organoclorados persistentes en sedimentos de tres lagos costeros y un lago andino de Chile central. *Bol. Soc. Chil. Quím.*, 46(2), 5–11.

Programme Seine-Aval. (2006). *Organic contaminants that leave traces* (GIP Seine-). Plouzané.

Quiroz, R. (2009). *Estudio de contaminantes orgánicos persistentes en zonas de alta montaña*. Universitat de Barcelona.

Quiroz, R., Popp, P., & Barra, R. (2009). Analysis of PCB levels in snow from the Aconcagua Mountain (Southern Andes) using the stir bar sorptive extraction. *Environmental Chemistry Letters*, 7(3), 283–288. <https://doi.org/10.1007/s10311-008-0164-z>

Rapaport, R. A., & Eisenreich, S. J. (1984). Chromatographic determination of octanol-water partition coefficients (Kow's) for 58 PCB polychlorinated biphenyl congeners. *Environmental Science & Technology*, 18(3), 163–170. <https://doi.org/10.1021/es00121a006>

Rappe, C. (1996). Sources and environmental concentrations of dioxins and related compounds, 68(9), 370.

Rodrigues, D., Carvalho, T., Sousa, A., Neto, V. S., Fachine, P., & Nascimento, R. (2011). Determination of Insecticide Residues in Vegetal Fruits, 2011. <https://doi.org/10.4061/2011/713256>

Sakai, S. (1998). Environmental policy and status for chlorinated dioxins, 161–162.

Schiewer, S., & Volesky, B. (1995). Modeling of the Proton-Metal Ion Exchange in Biosorption. *Environmental Science & Technology*, 29(12), 3049–3058. <https://doi.org/10.1021/es00012a024>

SENAMHI. (2002). Mapa Climático del Perú. Recuperado a partir de <https://senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

SENASA. RJ N° 036-99-AG-SENASA (1999). Recuperado a partir de http://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/jer/SUB_SEC_NOR/RJ_N%BA_036-99-AG-SENASA_4B.pdf

SENASA. RD N° 060-2000-AG (2000). Lima. Recuperado a partir de http://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/jer/SUB_SEC_NOR/RD_N%BA_060-2000-AG-SENASA_9B.pdf

SENASA. RJ N°043-2000-AG (2000). Recuperado a partir de <http://www.documentcloud.org/documents/17648-perus-climate-change-strategy-in-spanish-pages-2-to-16.html#document/p7>

SENASA, DIGESA, & CONAM. (2007). *Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Organicos Persistentes*. Lima.

ANEXOS

ANEXO 1
Condiciones cromatográficas: Inyector,
horno y detector GC-FID
Termo Scientific Trace 1300

Anexo 1-A Programa del inyector, GC-FID, Termo Scientific Trace 1300

The screenshot displays the 'Instrument Method' configuration window for a GC-FID system. The interface is divided into a left sidebar and a main configuration area.

Instrument Method Sidebar:

- Overview
- TRACE_1300
- TRACE_1300 (selected)
- TRACE_1300
- TRACE_1300
- System
- Script Editor
- acondicionamiento feb13
- Apagado GC
- Split1_5 - COPs
- Injection List
- Instrument Method**
- Data Processing
- Report Designer
- Electronic Report
- Spectral Library

S/SL (Front) Settings:

- S/SL mode: Split
- Carrier mode: Constant Flow
- Inlet:**
 - Temperature: 240 °C
 - Split flow: 5.0 mL/min
 - Split ratio: 5.0
 - Splitless time: 1.00 min
- Surge:**
 - Surge pressure: 5.00 kPa
 - Surge duration: 0.00 min
- Septum purge:**
 - Purge flow: 5.0 mL/min
 - Constant septum purge:
 - Stop purge for: 0.00 min
- Carrier flow:**
 - Flow: 1.000 mL/min
- Carrier options:**
 - Vacuum compensation:
 - Carrier gas saver:
 - Gas saver flow: 20.0 mL/min
 - Gas saver time: 2.00 min

Anexo 1-B Programa del horno GC-FID, Termo Scientific Trace 1300

Instrument Method <<

- Overview
- TRACE_1300
- TRACE_1300
- TRACE_1300
- TRACE_1300
- System
- Script Editor

- acondicionamiento feb13
- Apagado GC
- Split1_5 - COPs

- Injection List
- Instrument Method**
- Data Processing
- Report Designer
- Electronic Report
- Spectral Library

Oven Settings

Time (min)	Temperature (°C)
0	40.0
1	40.0
2	70.0
6	190.0
9	190.0
20	300.0
25	300.0

#	Rate (°C/min)	Temperature (°C)	Hold Time (min)
Initial		40.0	1.00
1	30.0	190.0	3.00
2	10.0	300.0	5.00

Data acquisition time

Oven run time: 25.00 min Specific time: 10.00 min

Options

Max. temperature: 350.0 °C

Prep-run timeout: 5.00 min

Equilibration time: 0.50 min

Ready delay: 0.00 min

Anexo 1-C Programa del detector GC-FID, Thermo Scientific Trace 1300

The screenshot displays the software interface for the Thermo Scientific Trace 1300 GC-FID detector. The interface is divided into several sections:

- Clipboard:** Contains tabs for Clipboard, Instrument, View, Stages, and Command.
- Instrument Method:** A sidebar on the left with a list of methods. The selected method is "TRACE_1300". Other methods listed include "acondicionamiento feb13", "Apagado GC", and "Split1_5 - COPs". Below this list are icons for "Injection List", "Instrument Method", "Data Processing", "Report Designer", "Electronic Report", and "Spectral Library".
- FID (Front) Settings:** The main settings panel, divided into three sections:
 - Detector:** Includes "Flame on:" (checked), "Temperature:" (280 °C), and "Ignition threshold:" (0.0 pA).
 - Flow:** Includes "Air:" (350.0 mL/min), "Hydrogen:" (35.0 mL/min), and "Makeup gas:" (40.0 mL/min).
 - Signal:** Includes "Acquire data:" (checked), "GC peak width:" (Standard (> 1 sec.) selected), and "Fast (< 1 sec.):" (unselected).

ANEXO 2
Programación cromatográfica para el
análisis de COPs mediante Chromaleon
7.2

Anexo 2-A Programa de aplicación de muestras de hielo al cromatógrafo GC-FID Termo Scientific Trace 1300

GlaciarSedimento_Huaraz_COPs_21set17							
Queued Remove							
Save Studio Print Up Insert Row Fill Down Lock Filtering Grouping Find							
#	Channel_1	Name	Type	Level	Position	Volume [µl]	Instrument Method
1	None	Acondicionamiento	Unknown		0	0.0	acondicionamiento fe...
2		Benceno-Naftaleno_HS	Unknown		1	10.0	Split1_5 - COPs
3		Humo-tabaco_HS	Unknown		2	10.0	Split1_5 - COPs
4		Sedimento-150°C_HS	Unknown		3	10.0	Split1_5 - COPs
5		Chlorothalonil_20ppm...	Unknown		4	1.0	Split1_5 - COPs
6		Creosota_50ppm_DCM	Unknown		5	1.0	Split1_5 - COPs
7	None	Sed-1-1	Unknown		6	1.0	Split1_5 - COPs
8	None	Sed-1-2	Unknown		7	1.0	Split1_5 - COPs
9	None	Gla-1-1	Unknown		8	1.0	Split1_5 - COPs
10	None	Gla-1-3	Unknown		9	1.0	Split1_5 - COPs
11	None	Gla-1-4	Unknown		10	1.0	Split1_5 - COPs
12	None	Gla-1-5	Unknown		11	1.0	Split1_5 - COPs
13	None	Gla-1-6	Unknown		12	1.0	Split1_5 - COPs
14	None	Gla-1-7	Unknown		13	1.0	Split1_5 - COPs
15	None	Gla-1-8	Unknown		13	1.0	Split1_5 - COPs
16	None	Gla-1-9	Unknown		14	1.0	Split1_5 - COPs
17	None	Gla-1-1	Unknown		15	1.0	Split1_5 - COPs
18	None	Gla-1-2	Unknown		16	1.0	Split1_5 - COPs
19	None	Limpieza	Unknown		20	0.0	acondicionamiento fe...
20	None	Apagado	Unknown		21	0.0	Apagado GC

Name	Type	Date Modified	Com
acondicionamiento feb13	Instrument Method	17/09/2013 07:05 p.m.	acondicionamiento 28 feb13
Apagado GC	Instrument Method	15/09/2013 07:47 p.m.	programa de apagado
Default	View Settings	10/07/2017 12:01 p.m.	

Associated Items Custom Variables (0)

Anexo 2-B Programa de aplicación de muestras de sedimento al cromatógrafo GC-FID Termo Scientific Trace 1300

Data GlaciarSedimento_Huaraz_COPs_21set17

LABORATORIO-PC_1 (Running)

Save Studio Print Up Insert Row Fill Down Lock Filtering Grouping Find Next

#	Channel_1	Name	Type	Level	Position	Volume [µl]	Instrument Method	Processing Method	Status	Inject Time	Lock
1		Acondicionamiento	Unknown		0	0.0	acondicionamiento fe...		Finished	21/09/2017 04:32:20 p...	
2	None	Benceno-Naftaleno_HS	Unknown		1	10.0	Split1_5 - COPs		Finished		
3	None	Humo-tabaco_HS	Unknown		2	10.0	Split1_5 - COPs		Finished		
4	None	Sedimento-150°C_HS	Unknown		3	10.0	Split1_5 - COPs		Finished		
5	None	Chlorothalonil_20ppm...	Unknown		4	1.0	Split1_5 - COPs		Finished		
6	None	Creosota_50ppm_DCM	Unknown		5	1.0	Split1_5 - COPs		Finished		
7		DCM	Unknown		5	1.0	Split1_5 - COPs		Finished	21/09/2017 05:10:45 p...	
8		Sed-1-1	Unknown		6	1.0	Split1_5 - COPs		Finished	21/09/2017 05:42:21 p...	
9		Sed-1-2	Unknown		7	1.0	Split1_5 - COPs		Finished	21/09/2017 06:13:42 p...	
10		Gla-1-1	Unknown		8	1.0	Split1_5 - COPs		Running	21/09/2017 06:45:13 p...	
11	None	Gla-1-3	Unknown		9	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
12	None	Gla-1-4	Unknown		10	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
13	None	Gla-1-5	Unknown		11	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
14	None	Gla-1-6	Unknown		12	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
15	None	Gla-1-7	Unknown		13	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
16	None	Gla-1-8	Unknown		13	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
17	None	Gla-1-9	Unknown		14	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
18	None	Gla-1-1	Unknown		15	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		
19	None	Gla-1-2	Unknown		16	1.0	Split1_5 - COPs		Idle		

Chromeleon enters the time stamp of the successful injection

Name	Type	Date Modified	Comment
acondicionamiento feb13	Instrument Method	17/09/2013 07:05 p.m.	acondicionamiento 28 feb13
Apagado GC	Instrument Method	15/09/2013 07:47 p.m.	programa de apagado
Default	View Settings	10/07/2017 12:01 p.m.	
Split1_5 - COPs	Instrument Method	23/06/2017 09:24 p.m.	Split 1-5 - Organolorados

Associated Items Custom Variables (0)

ANEXO 3
Resolución Jefatural N° 006-2017-SERNANP-
PNH
Autorización para realizar investigación en Áreas
Naturales Protegidas del SINANPE – Parque
Nacional Huascarán



RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 006 -2017-SERNANP-PNH

Huaraz, 30 de Mayo del 2017.

VISTA:

La Solicitud de Autorización de fecha 24 de Mayo del 2017 para realizar investigación científica sin extracción de especímenes silvestres en el Área Natural Protegida, ingresada al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP., con registro CUT N° 013499-2017 el Proyecto de investigación correspondiente, la ficha de datos del responsable, así como el Informe N° 30-2017-SERNANP-PNH/MSP.

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 29° de la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas para el desarrollo de las actividades de investigación científica básica y aplicada, las mismas que sólo serán utilizadas si su desarrollo no afecta los objetivos primarios de conservación del área en la cual se lleven a cabo y se respete la zonificación y condiciones establecidas en el Plan Maestro del área;

Que, mediante el numeral 2 de la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N°1013, Ley de Creación del Ministerio del Ambiente, se crea el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP, constituyéndose como ente rector del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SINANPE, y en su autoridad técnico normativa.

Que, asimismo, el numeral 2 de la Tercera Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo señalado en el considerando que antecede, dispone la fusión de la Intendencia de Áreas Naturales Protegidas – IANP del Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA con el SERNANP, constituyendo éste último el ente incorporante, y así mismo establece que toda referencia



hecha al INRENA, y a la IANP, o a las competencias, funciones y atribuciones respecto a las Áreas Naturales Protegidas, se entenderá efectuada al SERNANP.

Que, el numeral 163.1 del artículo 163 del Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas, aprobado mediante Decreto Supremo N°038-2001-AG, dispone que se requiere de autorización del SERNANP, para el desarrollo de investigaciones básicas y aplicadas al interior de un Área Natural Protegida cumpliendo con un conjunto de requisitos de carácter obligatorio.

Que, el inciso h) del artículo 27° del Decreto Supremo N°006-2008-MINAM, el mismo que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, establece que es función de las Jefaturas de las Áreas Naturales Protegidas, autorizar el ingreso para realizar investigación científica en el Área Natural Protegida a su cargo.

Que, en virtud al Decreto Supremo N° 0622-75-AG del 1° de julio de 1975 se creó el Parque Nacional Huascarán (PNH), donde se deja expresamente señalado que los variados ecosistemas de la Cordillera Blanca deben ser conservados por el Estado ya que constituyen patrimonio natural, científico y cultural de la Nación.

Que, en el plan maestro se expresa promover un sistema integrado de investigación que genere y brinde información científica para la gestión y vigencia de la diversidad natural y cultural del PNH, donde la Cordillera Blanca debe convertirse en uno de los centros de investigación del proceso de cambio climático y sus implicancias a nivel local, regional y mundial.

Que, en el subprograma de investigación se tiene como objetivo específico promover investigación científica y aplicada para la gestión del PNH y como resultado contar con tecnologías para la gestión del PNH; para lo cual se tiene como lineamiento en promover la articulación con las universidades e instituciones de investigación regionales y nacionales, a fin de impulsar la realización de tesis, dentro de las líneas y prioridades establecidas por el presente plan maestro.

Que, mediante solicitud señalada en el visto, la tesista Karla Pamela Córdova Morales – Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, solicita al SERNANP – Parque Nacional Huascarán una autorización para realizar una investigación sin colecta de especímenes de flora silvestre en el Área Natural Protegida a fin de ejecutar el proyecto de investigación Científica titulada "Determinación de compuesto orgánicos persistentes en hielo y sedimento de laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciar Pastoruri, cordillera



blanca, 2017", por el período comprendido entre 31 de mayo del 2017 al 30 de mayo del 2019.

Que, luego de la evaluación técnica y legal efectuada respecto a los documentos que obran en el expediente señalados en el visto, se concluye que el solicitante ha cumplido con presentar los requisitos estipulados en el Reglamento de la Ley General de Áreas Naturales Protegidas, así como con el actualmente vigente Texto Único de Procedimientos Administrativos – TUPA del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM, por lo que resulta pertinente otorgar la autorización de investigación científica solicitada.

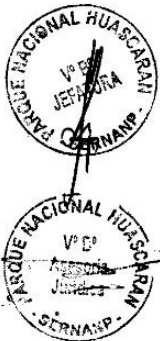
En uso de las atribuciones conferidas en el inciso h) del artículo 27° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N°006-2008-MINAM.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Otorgar la autorización de ingreso para realizar el Proyecto de investigación Científica titulada "Determinación de compuesto orgánicos persistentes en hielo y sedimento de laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciaria Pastoruri, cordillera blanca, 2017", dentro del Parque Nacional Huascarán, requerida mediante solicitud con registro CUT N° 013499-2017, del Sistema del Trámite Documentario del Parque Nacional Huascarán - SERNANP por un período comprendido entre 31 de mayo del 2017 al 30 de mayo del 2019.

Artículo 2°.- Autorizar el ingreso al Parque Nacional Huascarán de conformidad con lo señalado en el artículo precedente, a las siguientes personas:

- Karla Pamela Córdova Morales, Peruana, con DNI N° 70902069. Tesista Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Responsable.
- Luzmila Rosario Dávila Roller, Peruana, con DNI N° 41301352. Ingeniera Ambiental – Especialista en Monitoreo de Glaciares. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM. Colaboradora.



- Rafael Ramón Figueroa Tauquino, Peruano, con DNI N° 32035027. Ingeniero Meteorólogo – Especialista en Climatología. Proyecto CIAD – UNASAM - FCAM. Colaborador.
- Jesús Américo Cjuno Huanca, Peruano, con DNI N° 23850854. Químico - Especialista en Análisis Cromatográfico. Universidad Nacional de San Marcos - UNMSM. Colaborador.
- Ítalo Héctor Oropeza Chinchay, Peruano, con DNI N° 40461927. Auxiliar de Montaña. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Colaborador.
- Proto Emiliano Hidalgo Osorio, Peruano, con DNI N° 31657366. Conductor. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Asistente.

Artículo 3°.- El proyecto de investigación se realizará en la cabecera del río Pachacoto, glaciar Pastoruri – sector Carpa, jurisdicción del Parque Nacional Huascarán, a una altitud entre los 4955 y 5176 msnm., políticamente pertenece al distrito de Cátac, provincia de Recuay, departamento de Ancash.

Artículo 4°.- La investigación contempla la no colección de especímenes de flora silvestre. Solo considera la recolección de muestras de 1 un litro hielo, mediante perforación mínima en dos puntos de masa glaciar en zonas de acumulación. En muestras puntuales de perfil (manual) de 5 a 8 por monitoreo y en muestras puntuales de perforación (mecánica) de 2 a 6 muestras por monitoreo. Para la escorrentía de glaciar, se realizaran mediciones de los parámetros in situ las aguas que fluyen sobre la superficie glaciar o pozos de agua a través del uso de un equipo multiparametrico. Finalmente para sedimentos, las muestras serán obtenidas por medio de un equipo denominado muestreador tipo Beeker.

Artículo 5°.- La autorización a que se refiere el artículo primero de la presente resolución, caducará automáticamente al vencer el plazo concedido para la misma, así como por el incumplimiento de los compromisos adquiridos o de la normatividad de la materia, específicamente la Ley de Áreas Naturales Protegidas y su Reglamento, sin perjuicio de las responsabilidades administrativas, civiles o penales que pudieran originarse.

Artículo 6°.- Las Instituciones Científicas que respaldan a las personas antes señaladas, según el acuerdo de cooperación científica que obra en el expediente, serán responsables por los compromisos adquiridos, y estarán sujetas a sanción por incumplimiento de los mismos.



Artículo 7°.- El responsable del mencionado proyecto de investigación, se compromete a entregar al SERNANP – Parque Nacional Huascarán, un informe referente al avance del proyecto y posteriormente al concluir con la investigación entregará un ejemplar del estudio final.

Artículo 8°.- Regístrese la presente Resolución en el archivo de autorizaciones del Parque Nacional Huascarán.



Regístrese y comuníquese,




Ing. Ricardo Jesús Gómez López
Jefe del Parque Nacional Huascarán
SERNANP-MINAM



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de
Áreas Naturales
Protegidas por el Estado

Parque Nacional
Huascarán

AUTORIZACIÓN N° 075 - 2017-SERNANP-PNH/J.

La Jefatura del Parque Nacional Huascarán, mediante **Resolución Jefatural N° 006-2017-SERNANP-PNH**, de fecha 30 de Mayo de 2017, otorga la autorización de ingreso al interior del Área Natural Protegida- PNH, con el único propósito de realizar el proyecto de Investigación científica titulada **"Determinación de compuestos orgánicos persistentes en hielo y sedimento de laguna en formación, en contacto con la cobertura glaciaria Pastoruri, Cordillera Blanca, 32017"**

Desde el 31 de Mayo de 2017 al 30 de Mayo de 2019

Responsable del estudio: Srta. Karla Pamela Córdova Morales

Comprometiéndose a cumplir lo siguiente:

1. Cumplir con la normatividad de las Áreas Naturales Protegidas por el Estado.
2. Cumplir con lo establecido en el Reglamento de Uso Turístico y Recreativo del Parque Nacional Huascarán.
3. Mantener limpia el área de uso y **RETIRAR LA BASURA FUERA DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA** y disponer en lugares adecuados y autorizados para tal fin.
4. No alterar bajo ninguna circunstancia los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán.
5. No extraer especies de flora y fauna ni producir incendios.
6. Difundir la importancia del Parque Nacional Huascarán.
7. **Promocionar las actividades de conservación realizadas por el personal del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas- SERNANP**
8. Acatar las disposiciones del Guardaparque.
9. La presente autorización no se responsabiliza de ningún accidente que pueda suscitarse, referente al objetivo del presente documento.
10. **Presentar a esta Jefatura un informe detallado de los trabajos realizados dentro del ANP-PNH.**

La Jefatura del Parque Nacional Huascarán se reserva el derecho de dejar sin efecto la presente autorización en los casos que se transgredan las normas contenidas en la Ley N° 26834 - Ley de Áreas Naturales Protegidas; D.S. N° 038-2001-AG - Reglamento de Áreas Naturales Protegidas; D.L. N° 1013, modificado por D.L. N° 1039 - Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el SERNANP; D.S. N° 006-2008-MINAM - Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP; D.L. N° 1079 - Establece Medidas que Garanticen el Patrimonio de las Áreas Naturales Protegidas, y su Reglamento según D.S. N° 008-2008-MINAM; R.J. N° 196-2006-INRENA - Reglamento de Uso Turístico y Recreativo del PNH.



Atentamente

Ing. Ricardo Jesús Gómez López
Jefe del Parque Nacional Huascarán
SERNANP- MINAM

RJGL/pss
Cc. Archivo

CUT: 013499-2017

Huaraz, 30 de Mayo de 2017

ANEXO 4
Constancia de ejecución de proyecto de
investigación
Primer Concurso de Investigación en Glaciares y
Ecosistemas de Montaña – INAIGEM



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Huaraz, 23 de agosto del 2018

CONSTANCIA

El Director de Información y Gestión del Conocimiento del INAIGEM.


HACE CONSTAR:

Que, Karla Pamela CORDOVA MORALES, identificada con DNI N° 70902069, resultó ganadora del Concurso de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña 2016, con el proyecto: "DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES EN EL HIELO Y SEDIMENTO DE LAGUNA EN FORMACIÓN, EN CONTACTO CON LA COBERTURA GLACIAR DEL PASTORURI, CORDILLERA BLANCA 2017". El cual se desarrolló durante el año 2017, con apoyo financiero y asesoramiento científico-técnico de los especialistas del INAIGEM.

De igual forma se hace constar que durante el tiempo de elaboración del proyecto ha demostrando eficiencia, puntualidad, responsabilidad y honestidad, en el cumplimiento de sus labores.

Se expide la presente constancia para los fines que considere pertinentes.

Atentamente,

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES
Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA - INAIGEM

Ing. Ricardo Ray Villanueva Ramírez
Directo
Dirección de Información y Gestión del Conocimiento

www.inaigem.gob.pe

Jr. Juan Bautista Mejía Nro.887
Huaraz – Ancash - Perú
Av. Del Pinar Nro.134 of.804
Surco - Lima
T: (043) 221766 – (01) 2883477