UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs) EN SUELOS IMPACTADOS POR QUEMA DE PASTOS NATURALES EN EL CENTRO POBLADO DE SOMOA, DISTRITO DE CARUMAS"

TESIS

PRESENTADO POR:

ANYELA PIERINA VEGA QUISPE

ASESOR:

FRANZ ZIRENA VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

Folio Nº 043

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE FACULTAD N° 101-2023-FACIA-UNAM

Fecha: 12 JULIO 2023

III. El jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

EVALUACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS (HAPs) EN SUELOS IMPACTADOS POR QUEMA DE PASTOS NATURALES EN EL CENTRO POBLADO DE SOMOA, DISTRITO DE CARUMAS

Bachiller: ANYELA PIERINA VEGA QUISPE

Asesor Principal: DR. FRANZ ZIRENA VILCA

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [X]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 12:45 horas, del 17 de JULIO del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Edgar Virgilio Bedoya Justo
Presidente

Rodolfo Sánchez Valencia
Primer Miembro

Suly Allac Caballero Apuza
Segundo Miembro

Anyela

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Edith Ynes Quispe Gallegos que siempre estuvo a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles durante estos cinco años de universidad. A mi hermano Jorge Rafael Mora Quispe por estar siempre alentándome a seguir adelante y ser mejor cada día. A mi tío Victor Raymundo que considero como un padre para mí, y que siempre confió en mis habilidades y en mi potencial. A mi abuelita Maximiliana que desde el cielo está muy orgullosa de mí.

"Todo parece imposible hasta que se hace".

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Nacional de Moquegua por hacer posible el financiamiento de esta tesis con fondos del Canon Minero y regalías, mediante concurso de Proyectos de tesis del año 2022, la cual fue aprobado mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 353-2022-UNAM.

Al Dr. Franz Zirena Vilca, por asesorarme y guiado en todo el proceso del desarrollo de esta tesis y haberme mostrado este maravilloso mundo de la investigación.

A los responsables del Laboratorio de contaminantes orgánicos del IINDEP de la Universidad Nacional de Moquegua por haberme permitido desarrollar la presente investigación dentro de sus instalaciones.

A Donald Merma Chacca, Huijing Zhong, Tatiana Ponce, Andrea Colana, Jack Colque Ayma y Edward Copa Puma por haberme apoyado durante el desarrollo del trabajo

RESUMEN

La quema de pastizales altoandinos es una fuente de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en el suelo. Estos compuestos pueden ser lixiviados por las lluvias estacionales en estas regiones y contaminar las aguas subterráneas. El objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de 15 HAPs en la superficie, 10, 20 y 30 cm de profundidad, inmediatamente y tres meses después de la quema de pastos naturales, en Somoa, Carumas-Perú, durante el año 2021. La determinación de HAPs se realizó por UHPLC-FLD, y se utilizó el método QuEChERS para la extracción de HAPs. Se encontraron 12 de los 15 HAPs listados por la USEPA. La mayor concentración se encontró en la superficie, seguida de los 10, 20 y 30 cm (759,63, 157,99, 85,86 y 68,04 ng g^{-1}, respectivamente). Por su parte, el Acenafteno presentó mayor lixiviación respecto al resto de compuestos, encontrándose en mayores concentraciones entre los 10 y 30 cm (3,43-3,86 ng g^{-1}). Los ∑12PAHs en superficie en T1 (669,74 ng g^{-1}) y T2 (759,63 ng g^{-1}) indican que los de estos suelos moderadamente contaminados ya que presentan valores medios entre 600-1000 µg kg^{-1}. Además, según los criterios canadienses para suelos, el Fluoranteno superó ligeramente los límites establecidos (157,99 ng g^{-1}).

Palabras clave

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Coeficiente de Partición Octanol-Agua (Kow), Pastizal de combustión incompleta, UHPLC, QuEChERS.

ABSTRACT

The burning of high Andean grasslands is a source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the soil. These compounds can be leached by seasonal rains in these regions and contaminate groundwater. The objective of this study was to evaluate the presence of 15 PAHs at the surface, 10, 20, and 30 cm depth, immediately and three months after burning natural grasses, in Somoa, Carumas-Peru, during the year 2021. The determination of PAHs was carried out by UHPLC-FLD, and the QuEChERS method was used to extract PAHs. Twelve of the 15 PAHs listed by the USEPA were found. The highest concentration was found at the surface, followed by the 10, 20, and 30 cm (759,63, 157,99, 85,86, and 68,04 ng g^{-1}, respectively). On the other hand, Acenaphthene presented higher leaching concerning the rest of the compounds, being found in higher concentrations between 10 and 30 cm (3.43-3.86 ng g^{-1}). The $\sum_{12}$PAHs at the surface at T_1 (669.74 ng g^{-1}) and T_2 (759.63 ng g^{-1}) indicate that the of these soils moderately contaminated as they present mean values between 600-1000 μg kg^{-1}. In addition, according to the Canadian soil criteria, Fluoranthene slightly exceeded the established limits (157.99 ng g^{-1}).

Keywords

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Octanol-Water Partition Coefficient (K_{ow}), Incomplete combustion grassland, UHPLC, QuEChERS

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 13

1.1.1. Problema general 14

1.1.2. Problemas específicos 15

1.2. OBJETIVOS 15

1.2.1. Objetivo general 15

1.2.2. Objetivos específicos 15

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 15

1.3.1. Justificación 15

1.3.2. Importancia 16

1.4. HIPÓTESIS 16

1.4.1. Hipótesis general 16

1.4.2. Hipótesis específica 16

1.5. VARIABLES 16

1.5.1. Variable independiente 16

1.5.2. Variable dependiente 16

II. MARCO TEÓRICO 17

2.1. ANTECEDENTES 17

2.2. BASES TEÓRICAS 18

2.2.1. Quema de pastizales 18

2.2.2. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos 19

2.2.3. Propiedades fisicoquímicas de los HAPs 20

2.2.4. Contaminantes orgánicos persistentes 20

2.2.5. Carcinógeno 21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 22
2.3.1. Teratógeno 22
2.3.2. Genotoxicidad 22
III. METODOLOGÍA 23
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 23
3.1.1. Tipo de investigación 23
3.1.2. Nivel de investigación 23
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 23
3.2.1. Ámbito temporal 23
3.2.2. Ámbito espacial 23
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 24
3.3.1. Población 24
3.3.2. Muestra 24
3.4. INSTRUMENTOS 24
3.4.1. Reactivos y Materiales 24
3.4.2. Cromatógrafo Liquido de alta Ultra eficiencia-HPLC 25
3.5. PROCEDIMIENTOS 25
3.5.1. Características de la zona de estudio 25
3.5.2. Diseño del muestreo 26
3.5.3. Preparación de las soluciones estándar de HAP 29
3.5.4. Extracción y limpieza 29
3.5.5. Análisis por UHPLC-Análisis FLD 29
3.6. ANÁLISIS DE DATOS 31

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32
4.1. RESULTADOS 32
4.1.1. Calibración y validación del método 32
4.1.2. Selectividad 32
4.1.3. Linealidad 34
4.1.4. LOD y LOQ 49
4.1.5. Recuperación 50
4.1.6. Concentración de HAPs inmediatamente y 3-Meses después de la quema de pastos 51
4.1.7. Concentracion total de 12-EPA HAPs en el perfil del suelo 57
4.1.8. Test de supuestos y ANOVA 58
4.1.9. Clasificación de la contaminación por HAP en los suelos 63
V. CONCLUSIONES 64
VI. RECOMENDACIONES 65
VII. REFERENCIAS 66
VIII. ANEXOS 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Agentes clasificados por la IARC* *21*

Tabla 2 *Propiedades fisicoquímicas de la Unidad de estudio* *27*

Tabla 3 *Condiciones analíticas de Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento-detección por fluorescencia de HAPs* *30*

Tabla 4 *Tiempo de retención de los HAPs* *32*

Tabla 5 *Curva de calibración de Naftaleno* *34*

Tabla 6 *Curva de calibración de Acenaftaleno* *35*

Tabla 7 *Curva de calibración de Fluoreno* *36*

Tabla 8 *Curva de calibración de Fenantreno* *37*

Tabla 9 *Curva de calibración de Antraceno* *38*

Tabla 10 *Curva de calibración de Fluoranteno* *39*

Tabla 11 *Curva de calibración de Pireno* *40*

Tabla 12 *Curva de calibración de Benzo(a)antraceno* *41*

Tabla 13 *Curva de calibración de Criseno* *42*

Tabla 14 *Curva de calibración de Benzo(b)fluoranteno* *43*

Tabla 15 *Curva de calibración de Benzo(k)fluoranteno* *44*

Tabla 16 *Curva de calibración de Benzo(a)pyrene* *45*

Tabla 17 *Curva de calibración de Dibenzo(a,h)antraceno* *46*

Tabla 18 *Curva de calibración de Benzo (g, h, i)peryleno* *47*

Tabla 19 *Curva de calibración de Indeno(1, 2, 3)-cd)pyrene* *48*

Tabla 20 *Limite de detección y cuantificación de los HAPs* *50*

Tabla 21 *Concentración de HAPs en muestras de suelo superficiales (ngg-1 de peso seco) inmediatamente y 3-Meses después de la quema de pastizales* *52*

Tabla 22 *Presencia de HAPs a los 3-Meses en diferentes profundidades (ngg^{-1})* *54*

Tabla 23 *Test de Normalidad, Homocedasticidad y ANOVA..... 59*

Tabla 24 *Limite canadiense para HAPs..... 63*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Lixiviación de los HAPs en el suelo* *19*

Figura 2 *Dimensión de la unidad de muestreo* *24*

Figura 3 *Localización del área de estudio* *28*

Figura 4 *Cromatograma de los 15 HAPs* *33*

Figura 5 *Cromatograma del blanco de matriz* *33*

Figura 6 *Curva de calibración del Naftaleno* *35*

Figura 7 *Curva de calibración de Acenaftaleno* *36*

Figura 8 *Curva de calibración de Fluoreno* *37*

Figura 9 *Curva de calibración de Fenantreno* *38*

Figura 10 *Curva de calibración de Antraceno* *39*

Figura 11 *Curva de calibración de Fluoranteno* *40*

Figura 12 *Curva de calibración de Pireno* *41*

Figura 13 *Curva de calibración de Benzo(a)antraceno* *42*

Figura 14 *Curva de calibración de Criseno* *43*

Figura 15 *Curva de calibración de Benzo(b)fluoranteno* *44*

Figura 16 *Curva de calibración de Benzo(k)fluoranteno* *45*

Figura 17 *Curva de calibración de benzo(a)pyrene* *46*

Figura 18 *Curva de calibración de Dibenzo(a,h)antraceno* *47*

Figura 19 *Curva de calibración de Benzo(g, h, i)peryleno* *48*

Figura 20 *Curva de calibración de Indeno (1,2,3 c,d) pyrene* *49*

Figura 21 *Promedio de las Concentraciones en diferentes concentraciones* *57*

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se han convertido en una preocupación mundial porque se han identificado como una fuente importante de introducción de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en el medio ambiente (Faboya et al., 2020). Estos HAPs confieren una clase de productos químicos de relevancia medioambiental. Su potencial introducción se debe en gran medida a las actividades antrópicas (Mallah et al., 2022). Por lo tanto, las prácticas de gestión posteriores a la cosecha, como la quema de ciertos residuos, producen altas concentraciones de HAP durante el proceso de combustión (Godoi et al., 2004).

Los HAP son compuestos altamente hidrofóbicos y su solubilidad generalmente disminuye a medida que aumentan los anillos bencénicos (Duan et al., 2015). Existe la presencia de HAPs de bajo peso molecular (LMW) y de alto peso molecular (HMW), los BPM tienen alrededor de dos a cuatro anillos de benceno, lo que indica su origen pirogénico (Choi, 2014a) por combustión incompleta de biomasa, como hierba, madera o carbón vegetal (Sojinu et al., 2011). En el caso de los HMW, se observa una fuerte adsorción en las fracciones de materia orgánica y arcilla (Eriksson et al., 2000). Por ello, la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (USEPA) ha clasificado 16 HAP como prioritarios debido a su amplia distribución medioambiental y a sus efectos adversos sobre la salud humana (Siemering & Thiboldeaux, 2021).

Debido a este problema, los suelos donde se han producido incendios forestales pueden acumular HAPs (Orazi et al., 2020). Su acumulación en el suelo y las plantas está relacionada con sus propiedades fisicoquímicas, como la presión de vapor, el coeficiente de partición octanol-agua (Kow) y la solubilidad, que dependen del número de anillos bencénicos en su estructura (Abballe et al., 2021; Duan et al., 2015). Además, por efecto de la lluvia, estos contaminantes pueden translocarse a niveles inferiores del suelo e incluso llegar a las aguas subterráneas, contaminando así este recurso (Faboya et al., 2020).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

Los incendios forestales se han convertido en una preocupación mundial porque se han identificado como una fuente importante de introducción de HAP en el medio ambiente (Faboya et al., 2020). La presencia de HAP de bajo peso molecular (LMW) con dos a cuatro anillos de benceno indica que son de origen pirogénico (Choi, 2014b) por combustión incompleta de biomasa como hierba, madera o carbón vegetal (Sojinu et al., 2011). Así, la quema de residuos agrícolas es un método estándar de preparación de la tierra después de la cosecha y de eliminación de residuos de cultivos, introduciendo estos contaminantes en el suelo (Keshtkar & Ashbaugh, 2007). La quema de ciertos tipos de residuos, como la paja de arroz (Lai et al., 2009), los residuos de maíz (Sirithian et al., 2017) y la caña de azúcar, produce altas concentraciones de HAP durante el proceso de combustión (Godoi et al., 2004).

Los HAP se derivan de la combustión incompleta y el pirólisis de biomasa vegetal (Karp et al., 2020), formando un grupo de más de 200 compuestos de dos o más anillos aromáticos fusionados (Binello et al., 2021). Los HAP son compuestos altamente hidrofóbicos, y su solubilidad generalmente disminuye a medida que aumentan los anillos bencénicos (Duan et al., 2015). Así, los HAP de alto peso molecular (HMW) se adsorben fuertemente en el suelo, principalmente en las fracciones de materia orgánica y arcilla (Eriksson et al., 2000). Asimismo, durante la producción pirolítica del biocarbón, se pueden formar HAPs en su superficie; por lo tanto, podría tener un efecto tóxico en organismos de diferentes niveles tróficos (Wang et al., 2017). Por ello, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) ha clasificado 16 HAPs como prioritarios debido a su amplia distribución ambiental y a sus efectos adversos sobre la salud humana (Siemering & Thiboldeaux, 2021).

Debido a este problema, los suelos donde se han producido incendios forestales actúan como sumideros de HAPs (Orazi et al., 2020). Por lo tanto, las plantas que crecen en estos suelos pueden acumularlo en sus tejidos (tallo, hojas y raíces) a través de las raíces (Košnář et al., 2020). Los HAP son contaminantes genotóxicos (Abballe et al., 2021), cancerígenos (Mojiri et al., 2019) y

contaminantes orgánicos persistentes (COP) (Wawra et al., 2018), debido a su permanencia en el medio ambiente y a su fuerte adsorción a la materia orgánica y a las arcillas (Liao et al., 2019). Así, podrían translocarse a capas inferiores del suelo por efecto de la lluvia (García-Falcón et al., 2006) e incluso llegar a las aguas subterráneas, contaminando este recurso (Cai et al., 2019). También puede ser transportado a ríos y embalses (Faboya et al., 2020), con efectos adversos sobre los microorganismos presentes, disminuyendo tanto su diversidad como su riqueza; este efecto también se produce en plantas y animales (Mojiri et al., 2019).

En la zona altoandina del Perú, la quema de pastos es una práctica prevalente desde hace muchos años. Se realiza cuando los pastos naturales son senescentes y poco apetecibles para el ganado; la quema de pastos genera el rebrote de pastos jóvenes y tiernos para que los animales puedan consumirlos fácilmente (Núñez et al., 2018), y la zona altoandina de la región Moquegua no es ajena a esta práctica. Recientemente, este problema viene llamando la atención de la comunidad científica en un estudio realizado por (Choi, 2014b) encontró concentraciones de HAPs en corteza de pino, hojarasca y suelos afectados por incendios forestales, con concentraciones de 5920, 1540 y 133 ng g^{-1}, respectivamente, con predominio de HAPs con dos y cuatro anillos aromáticos en las muestras. Por otro lado, Godlewska et al (2021) encontraron la presencia de HAPs debido al uso de biocarbón como adsorbente de contaminantes y mejorador de la calidad del suelo; por lo tanto, en esta investigación se evaluó la presencia de 15 HAPs en suelos en superficie, 10, 20 y 30 cm de profundidad inmediatamente y tres meses después de la quema de pastos naturales en la localidad de Somoa, distrito de Carumas-Moquegua en Perú, durante el año 2021.

1.1.1. Problema general

¿Se encontrará la presencia de 15 HAPs en suelos a tres profundidades (10, 20, 30 cm) inmediatamente y tres meses después de la quema de pastos naturales en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles serán los HAPs predominantes en suelos a tres profundidades (10, 20, 30 cm) inmediatamente y tres meses después de ser impactados por la quema de pastos naturales?
- ¿Cuál de las tres profundidades en estudio, es la que presenta la mayor concentración de 15 HAPs después de tres meses de ser impactados por la quema intencional de pastos naturales?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la presencia de 15 HAPs en suelos a tres profundidades (10, 20, 30 cm) inmediatamente y tres meses después de la quema de pastos naturales en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los HAPs predominantes en suelos a tres profundidades (10, 20, 30 cm) inmediatamente después de la quema intencional y tres meses después de ser impactados por la quema de pastos naturales.
- Determinar cuál de las tres profundidades en estudio, es la que presenta la mayor concentración de 16 HAPs después de tres meses de ser impactados por la quema intencional de pastos naturales.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) ha elaborado el mapa de caracterización del peligro, basado en información histórica y condiciones del territorio (susceptibilidad), tomándose como referencia la información de los registros de incendios forestales generados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) desde año 2003 al 2017 y los registros históricos de incendios elaborados por el Ministerio del Ambiente (MINAM) desde el 2002 al 2017, muestra una tendencia de aumento en los registros anuales de incendios forestales, así mismo, se identificó que la mayoría de los incendios se han suscitado entre los meses de julio a noviembre, esto se

relaciona a la temporada seca, donde el fuego es usado en el cambio de uso del suelo y para el manejo de prácticas agropecuarias (CENEPRED, 2018).

1.3.2. Importancia

La zona alta de la región Moquegua es susceptible a los incendios forestales, de acuerdo a los registros del INDECI y el MINAM, durante el periodo de 2002 al 2017 se han registrado un total 18 incendios forestales, estas zonas son susceptibles a la ocurrencia de incendios forestales debido a que predominan coberturas vegetales de pastos y hierbas; que son usadas como forraje para el ganado, afectando la flora, fauna presente y la salud de las personas donde se suscitan los incendios (CENEPRED, 2018).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Las muestras de suelos a tres profundidades (10, 20, 30 cm) inmediatamente después de la quema intencional y tres meses después de la quema de pastos naturales en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas se encuentran elevadas concentraciones de HAPs.

1.4.2. Hipótesis específica

- En las muestras de suelo a tres profundidades (10, 20, 30 cm) inmediatamente después de la quema intencional y tres meses después de ser impactados por la quema de pastos naturales predominan los 16 HAPs.
- Las mayores concentraciones de HAPs se encuentran a una profundidad de 30 cm en suelos impactados por la quema intencional de pastos naturales en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas.

1.5. Variables

1.5.1. Variable independiente

- Quema de pastizales naturales

1.5.2. Variable dependiente

- Suelos impactados (Concentración de HAPs)

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En un estudio realizado por Choi (2014b) en Pohang, en Korea del Sur se analizaron 16 HAP prioritarios de la USEPA en muestras de corteza de pino, hojarasca y suelo recogidas uno, tres, cinco y siete meses después de un incendio forestal en Pohang, Corea del Sur. En el primer evento de muestreo, se midieron los niveles más altos de∑16 HAPs en los tres tipos de muestras (corteza de pino: 5920 ng/g, hojarasca: 1540 ng/g, y suelo: 133 ng/g). A partir de ahí, se observó una tendencia aparentemente decreciente en los niveles de HAP; las muestras de control mostraron los niveles más bajos (corteza de pino: 124 ng/g, hojarasca: 75 ng/g, y suelo: 26 ng/g). Los niveles de HAPs en las muestras de hojarasca y suelo normalizados por fracciones de carbono orgánico (CO) también mostraron tendencias decrecientes, indicando una influencia directa del incendio forestal. Entre los 16 HAPs objetivo, el naftaleno fue un compuesto dominante para todos los tipos de muestras. Los HAP ligeros con 2-4 anillos contribuyeron significativamente a la concentración total, y su contribución disminuyó con el paso del tiempo. La escorrentía por las fuertes precipitaciones, la evaporación y la degradación de los HAP en verano fueron probablemente las principales razones de las tendencias temporales observadas.

En un estudio realizado por Vergnoux et al (2011) en el sureste de Francia analizaron suelos superficiales (0-5 cm) y subsuperficiales (5 a 15 cm) de zonas forestales quemadas para determinar el contenido de 14 hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) prioritarios y su perfil de distribución. El procedimiento de muestreo permitió estudiar el efecto de la frecuencia de los incendios, así como la influencia del tiempo transcurrido desde el último incendio. Los HAPs de menor peso molecular estudiados (naftaleno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno y pireno) parecen ser los principales producidos por los incendios forestales. Los niveles de naftaleno son notablemente elevados en los suelos quemados (más de 70 $mgkg^{-1}$, es decir, más de 20 veces superiores a los de los suelos de control) y siguen siendo importantes años después del último incendio

En estudio realizado por Sojinu et al (2011), analizaron los suelos superficiales afectados por los incendios forestales del manglar de Igbanko, en

Nigeria, en busca de 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) prioritarios para la EPA, mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS). Las concentraciones totales de HAPs en los suelos oscilaron entre 63 y 188 $mgkg^{-1}$ de peso seco (media: 108 $mgkg^{-1}$). Los tres HAPs predominantes en los suelos eran naftaleno (Na), fluoranteno (Flu) y benzo(b)fluoranteno (BbF). En comparación con la muestra de control (19 $mgkg^{-1}$), se observaron elevadas concentraciones de HAPs en los suelos, una indicación de cierto nivel de contaminación por HAPs. Las tasas de diagnóstico de la fuente de HAPs de Flu/(FluþPyr) y Ant/(AntþPhe) indicaron que los HAPs tienen un origen pirogénico que puede haber resultado de la combustión de hierba, madera o carbón. Una evaluación basada en las directrices canadienses de calidad del suelo indicó que los lugares estudiados no suponen ningún riesgo adverso grave para la salud humana.

En un estudio realizado por Kim et al (2011) en Korea del Sur adoptaron el enfoque indirecto de medir los niveles de PCDDyFs y PAHs en muestras de suelo y cenizas 1, 5 y 9 meses después de los incendios forestales. Para determinar si se formaron PCDDyFs o HAPs durante los incendios forestales, los niveles de PCDDyFs y HAPs medidos en las muestras de suelo quemado se compararon con los de las correspondientes muestras de suelo no quemado. Un mes después de los incendios forestales, las concentraciones de PCDDyFs y HAPs en los suelos quemados eran más altas que en los correspondientes suelos no quemados. Sin embargo, cinco meses después de los incendios forestales, las concentraciones de PCDDyFs y HAPs en los suelos quemados eran similares a las de los suelos no quemados. Los resultados sugieren además que la ceniza resultante de la combustión de la madera y otra materia orgánica es el principal agente que influye en la concentración de PCDDyFs y HAPs en el suelo.

2.2. Bases teóricas

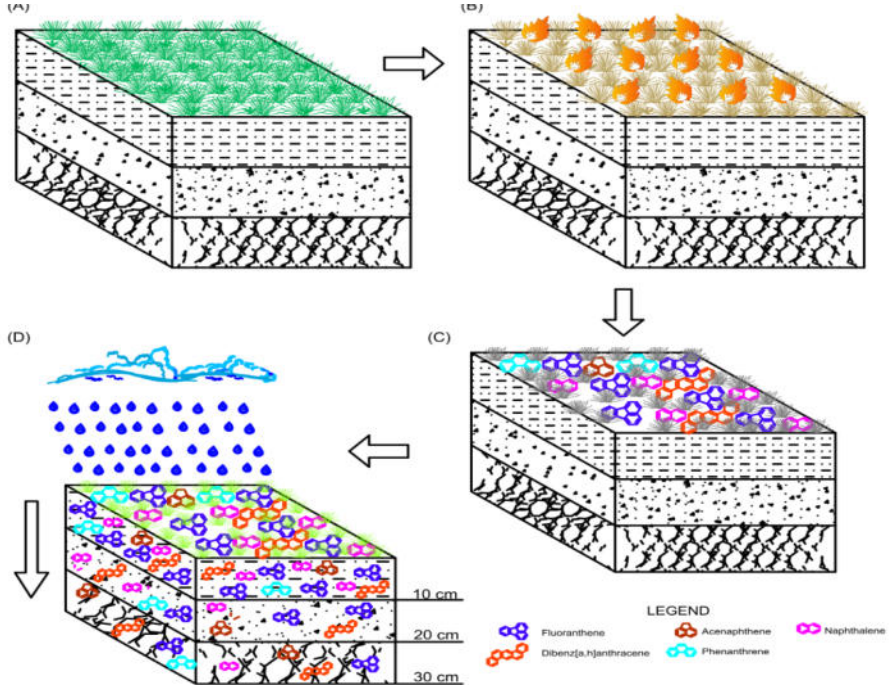
2.2.1. Quema de pastizales

En la zona altoandina se acostumbra quemar los pastizales naturales esto se debe a que cuando se quema el pasto viejo rebrotan pastos jóvenes, tiernos y los animales lo consumen fácilmente, esto ocasiona que disminuya las poblaciones de microorganismos que ayudan en la nutrición de las plantas, de igual manera disminuye las especie de pastos al quemarse las semillas sin embargo el fuego

cambia las propiedades del suelo, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, el contenido de agua y la temperatura; además reduce la cantidad de microorganismos en el suelo (Pabon-Zamora et al., 2004), sin embargo el fuego cambia las propiedades del suelo, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, el contenido de agua y la temperatura; además reduce la cantidad de microorganismos en el suelo (Farfán Loaiza & Farfán Tenicela, 2012).

Figura 1

Lixiviación de los HAPs en el suelo



Nota. (A) Perfil de suelo de pastizales, (B) Pastizales en combustión, (C) presencia de HAPs en la superficie de suelo y (D) Lixiviación de HAPs por las lluvias.

2.2.2. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), son contaminantes ambientales ubicuos, derivados de la combustión incompleta de la biomasa (Tames et al., 2019), están constituidos por dos o más anillos de benceno, estos compuestos comprenden la clase más grande de sustancias químicas cancerígenas, aunque el interés por los HAPs se ha debido principalmente a sus propiedades cancerígenas, muchos de estos compuestos son genotóxicos, mutagénicos, teratogénicos, puesto

que tienden a bioacumularse en el tejido graso de los organismos (Ifegwu & Anyakora, 2015).

2.2.3. Propiedades fisicoquímicas de los HAPs

Las propiedades de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos relacionados con su biodisponibilidad son el peso molecular, la solubilidad en agua (S_W), la constante de la ley de Henry, la presión de vapor (P_{VAP}), la constante de la ley de Henry, el coeficiente de reparto octanol-aire (K_{OA}), el coeficiente de reparto octanol-agua (K_{OW}) y el coeficiente de reparto carbono orgánico del suelo-agua (K_{OC}).

2.2.4. Contaminantes orgánicos persistentes

Los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) tienen propiedades tóxicas, son resistentes en grado variable a la degradación, se bioacumulan en los seres vivos y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias; en consecuencia, se depositan lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos (Arbeli, 2009).

2.2.4.1. Características de los COPs

Astudillo (2003) menciona que las principales características de los COPs son las siguientes:

- Son persistentes en el ambiente, resisten los procesos de degradación química, biológica y fotoquímica por lo que su vida media en el ambiente es elevada.
- Son generalmente semi volátiles; por lo que se evaporan a una velocidad lenta. Las sustancias con esta característica tienden a entrar al aire y viajar largas distancias transportadas por las corrientes, y luego de se depositan en el suelo.
- Los COPs son poco solubles en agua y altamente solubles en lípidos, disolviéndose fácilmente en grasas y aceites; por lo que se pueden bioacumular en los tejidos grasos de los seres vivos y se incorporan en sus cadenas alimentarías, provocando las peores consecuencias en las especies superiores de la cadena trófica como los seres humanos.

2.2.5. Carcinógeno

Es una sustancia química o una mezcla de sustancias químicas que incitan el cáncer o aumentan su tasa de incidencia (Elías Castells X., 2012); la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) que está adscrita a la Organización Mundial de la Salud (OMS), que coordina y realiza investigaciones tanto de laboratorio como epidemiológicas sobre las causas del cáncer humano (International Agency for Research on Cancer, 2016), clasificando los agentes en 4 grupos (Boobis et al., 2016);

- Grupo 1: el agente es cancerígeno para los seres humanos
- Grupo 2A: el agente es probablemente cancerígeno para los seres humanos.
- Grupo 2B: el agente es posiblemente cancerígeno para los seres humanos.
- Grupo 3: El agente es no clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para los seres humanos.
- Grupo 4: El agente es probablemente no es cancerígeno para los humanos.

En la siguiente tabla se presentan los 16 HAPs prioritarios por la EPA (Agencia de Protección Ambiental), en donde se menciona al grupo que pertenece según la clasificación de la IARC, el volumen de la monografía donde se los menciona y el año de publicación de este.

Tabla 1

Agentes clasificados por la IARC

N° CAS.	Agente	Grupo	Volumen	Año
91-20-3	Naftaleno	2B	82	2002
208-96-9	Acenaftileno			
129-00-0	Pireno	3	Sup 7, 92	2010
83-32-9	Acenafteno	3	92	2010
86-73-7	Fluoreno	3	Sup 7, 92	2010
120-12-7	Antraceno	3	92, Sup 7	2010
85-01-8	Fenantreno	3	Sup 7, 92	2010
206-44-0	Fluoranteno	3	Sup 7, 93	2010
218-01-9	Criseno	2B	92	2010
56-55-3	Benzo[a]antraceno	2B	92, Sup 7	2010

205-99-2	Benzo[b]fluoranteno	2B	92	2010
207-08-9	Benzo[k]fluoranteno	2B	92	2010
50-32-8	Benzo[a]pireno	1	Sup 7, 92,100F	2012
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pireno	2B	Sup 7, 92	2010
191-24-2	Benzo[g,h,i]perileno	3	92, Sup 7	2010
53-70-3	Dibenzo[a,h]antraceno	2A	Sup 7, 92	2010

Nota. Datos tomados de (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2010).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Teratógeno

Es un agente ambiental que puede causar anomalías en un feto expuesto. Los efectos dependen de la naturaleza del teratógeno, el momento en que ocurre la exposición y, muy probablemente, la susceptibilidad genética de la madre y/o el feto. Los agentes teratogénicos pueden ser sustancias químicas ambientales, factores metabólicos maternos, fármacos o infecciones (Donnai, 2001).

2.3.2. Genotoxicidad

Es la capacidad que posee un agente de ocasionar daño en el material genético, produciendo efectos biológicos adversos, el daño inducido en el "material genético" no sólo es el ADN, sino también a todos aquellos componentes celulares que se relacionan con la funcionalidad y comportamiento de los cromosomas dentro de la célula (IntraMed, 2021).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación según el nivel de profundización es descriptivo, ya que permitirá establecer una descripción lo más completa posible sobre los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en el suelo después de la quema de los pastizales naturales (Ramos-Galarza, 2021).

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo ya que permitirá analizar cómo es y cómo se y como se manifiestan los HAPs en el suelo (Ramos-Galarza, 2021).

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

El muestreo se llevó a cabo en dos ocasiones: inmediatamente y tres meses después de la quema intencionada. La primera recogida (T1) se realizó antes del inicio de las precipitaciones, el 8 de octubre de 2021.

El segundo muestreo (T2) se realizó tres meses después de la quema de los pastos, el 8 de enero de 2022. Coincidiendo con la época de lluvias, en cada parcela (P1, P2 y P3)

Las condiciones meteorológicas durante el estudio fueron las siguientes: La temperatura promedio es de 11.8°C. Los datos de precipitación durante los meses de muestreo fueron los siguientes: en septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero fueron de 0, 0.65, 0.21, 0.75 y 3.81 mm día^{-1}, respectivamente. Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación más cercana a las parcelas (Carumas: Latitud 16°48'41.22", Longitud 70°41'43.56", 3 055 m.s.n.m.).

3.2.2. Ámbito espacial

El presente estudio se realizó en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas, región Moquegua, Perú (Latitud 16°50'23.76", Longitud 70°42'03.78", 3266 msnm). La zona de estudio se caracteriza por un clima desértico templado, con mayor precipitación entre diciembre y marzo (CENEPRED, 2019).

El entorno de la zona de estudio son comunidades dedicadas a la agricultura y ganadería, alejadas de ciudades o zonas industriales, por lo que se espera poca interferencia de estas fuentes en los niveles de HAPs en el suelo.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

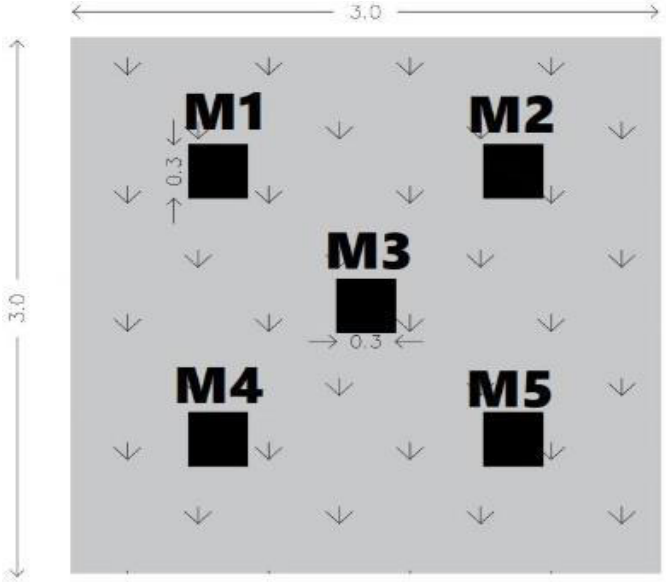
La población está constituida por las parcelas de las unidades de muestreo de 3x3 m^2

3.3.2. Muestra

La muestra está constituida por las calicatas realizadas en cada parcela de 30x 30 cm^2.

Figura 2

Dimensión de la unidad de muestreo



Nota. Calicatas realizadas en la unidad de muestreo.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Reactivos y Materiales

Se adquirió una mezcla de solución estándar de referencia de 16 HAPs prioritarios por la EPA con una concentración de 500 µgml-1 que fue obtenida de Agilent (USA) con una pureza > 99%, que incluyen naftaleno (Na); acenafteno

(Ace); acenaftileno (Acy); fluoreno (Fluo); fenantreno (Phe); antraceno (Ant); fluoranteno (Fla); pireno (Pyr); benzo(a)antraceno (B(a)ant); criseno (Chr); benzo(b)fluoranteno (B(b)fla); benzo(k)fluoranteno (B(k)fla); benzo(a)pireno (B(a)pyr); dibenzo(a,h)antraceno (DB(ah)ant); benzo(ghi)perileno (B(ghi)p) e indeno(1,2,3-cd)pireno (Ind) ,el acetonitrilo (grado HPLC) se obtuvo de BAKER ANALYZED, las sales de Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$), Acetato de Sodio ($C_2H_3NaO_2$) y la amina primaria secundaria (PSA) se obtuvieron de WELCH MATERIALS (USA), además se preparó diariamente agua ultrapura con un sistema de purificación de agua Milli-Q que se obtuvo de Merck (Darmstadt, Alemania).

3.4.2. Cromatógrafo Liquido de alta Ultra eficiencia-HPLC

Cromatógrafo líquido de ultra alto rendimiento (UHPLC, Agilent 1290 Infinity II, USA) equipado con detección de matriz de diodos (DAD) y florescencia (FLD) utilizado para la determinación de la concentración de HAPs en las muestras de suelo.

3.5. Procedimientos

3.5.1. Características de la zona de estudio

El presente estudio se realizó en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas, región Moquegua, Perú (Latitud 16°50'23.76", Longitud 70°42'03.78", 3266 msnm). La zona de estudio se caracteriza por un clima desértico templado, con mayor precipitación entre diciembre y marzo (CENEPRED, 2019). La temperatura promedio es de 11.8°C. Los datos de precipitación durante los meses de muestreo fueron los siguientes: en septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero fueron de 0, 0.65, 0.21, 0.75 y 3.81 mm $día^{-1}$, respectivamente. Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación más cercana a las parcelas (Carumas: Latitud 16°48'41.22", Longitud 70°41'43.56", 3 055 m.s.n.m.). Esta zona se caracteriza predominantemente por la presencia de pastizales, predominando especies como la chilligua (Festuca dolichophylla), nabo (Brassica napus L.) y cebadilla (Bromus unioloides).

El entorno de la zona de estudio son comunidades dedicadas a la agricultura y ganadería, alejadas de ciudades o zonas industriales, por lo que se espera poca interferencia de estas fuentes en los niveles de HAPs en el suelo.

Los alrededores a la zona de estudio son comunidades que se dedican a la agricultura y ganadería, se encuentra alejada de las ciudades o zonas industriales, por lo que se supone que los niveles atmosféricos de HAPs procedentes de fuentes de emisión industriales son bajos, por lo que en esta zona se puede observar el efecto de la quema de pastizales con poca interferencia de otras fuentes.

3.5.2. Diseño del muestreo

El 8 de octubre de 2021 se quemó intencionadamente el área seleccionada, cubierta predominantemente por especies como *Festuca dolichophylla, Brassica napus L. y Bromus unioloides.* Por lo que, se delimitaron tres parcelas de 3x3m^2, en lo sucesivo denominadas P1, P2 y P3; la distancia entre parcelas era de 0,50 m. Además, se seleccionó una muestra de suelo (libre de HAPs) que se utilizó como blanco de matriz para desarrollar y validar el método analítico. Esta muestra tenía características de suelo y tipos de vegetación similares, pero no había experimentado previamente episodios de quema.

El muestreo se llevó a cabo en dos ocasiones: inmediatamente y tres meses después de la quema intencionada. La primera recogida (T1) se realizó antes del inicio de las precipitaciones, el 8 de octubre de 2021. Una vez quemada cada unidad de muestreo, se tomó una muestra compuesta de cinco muestras simples de cada parcela, obteniéndose una muestra (1 kg) por parcela y tres muestras de suelo.

La segunda recogida (T2) se realizó tres meses después de la quema de los pastos, el 8 de enero de 2022. Coincidiendo con la época de lluvias, en cada parcela (P1, P2 y P3), se realizaron cinco pozos de suelo de 30 cm x 30 cm. Se recogieron muestras superficiales de suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad. En cada parcela se obtuvieron 20 muestras, para un total de 60 muestras, eliminando la grava y las piedras. Se utilizaron bolsas de aluminio para almacenar las muestras, luego se colocaron en una hielera con una bolsa de hielo. De acuerdo a MINAM (2014)., siguiendo la metodología del Ministerio del Ambiente del Perú para la toma de muestras.

En el laboratorio, las muestras fueron secadas al aire en bandejas de aluminio; las cinco muestras superficiales fueron homogeneizadas y luego homogeneizadas para 10, 20 y 30 cm de cada parcela, luego trituradas manualmente

con un mortero almacenado en papel aluminio a 4°C para su posterior análisis. Las muestras se analizaron por triplicado.

Las propiedades físicas y químicas del suelo analizadas en este estudio. La textura del suelo se determinó por el método del hidrómetro; los resultados fueron Fr.Ar.A: franco arenoso, arcilloso. El pH se midió con el potenciómetro de la suspensión en suelo: proporción de agua 1:1. Materia Orgánica (MO), los resultados fueron con oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. Los análisis se realizaron siguiendo la metodología de García-Falcón et al (2006).

Tabla 2

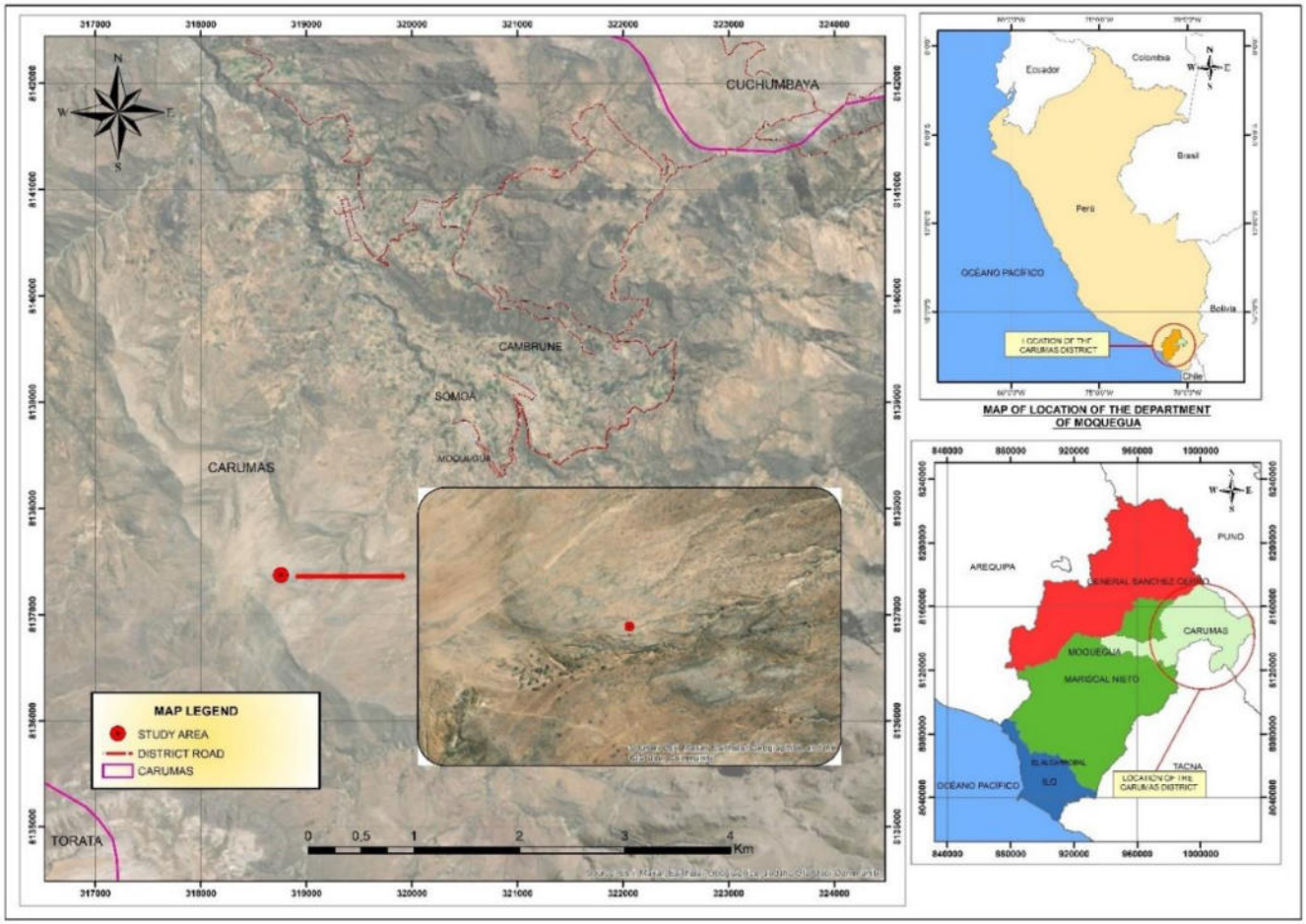
Propiedades fisicoquímicas de la Unidad de estudio

Parámetro	Valor	Unidad
pH	6.62	
C.E.	0.17	dS/M
P	7.54	ppm
K	395.29	ppm
N	0.13	%
C	1.50	%
Materia Orgánica (MO)	2.59	%
Análisis Mecánico	Arena:60, Limo:14 y Arcilla:26	%
Clase Textural	Fr.Ar.A: Franco Arcilloso Arenoso	-
CIC	20	meq/100g
Ca+2	9.92	meq/100g
Mg2+	3.69	meq/100g
K+	1.01	meq/100g
Na+	0.21	meq/100g
Al3+H+	0.00	meq/100g
Suma de cationes	14.83	-
Suma de bases	14.83	-
Saturación de Bases	74	%

Nota. Propiedades fisicoquímicas del suelo muestreado.

Figura 3

Localización del área de estudio



Nota. Localización del área de estudio en el Centro Poblado de Somoa, Distrito de Carumas, Región Moquegua.

3.5.3. Preparación de las soluciones estándar de HAP

Se preparó una solución stock de la solución estándar de los 16 HAPs a una concentración de 50 μgml^{-1} por dilución en ACN, con la cual se prepararon soluciones de trabajo en cinco concentraciones diferentes (0.005, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 μgml^{-1}) para la calibración y la validación, almacenándolas en frascos ámbar de vidrio a 4 °C. Todas las soluciones de trabajo se prepararon inmediatamente antes del experimento.

3.5.4. Extracción y limpieza

Los HAPs en las muestras de suelo se extrajeron empleando el método QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) basado en un estudio realizado previamente por (Ma et al., 2021), para ello se pesaron 10 g (peso seco) de muestras de suelo en los tubos de extracción y se añadieron 15 ml de H_2O (tipo I): ACN (5:10, V/V). para luego someterse a una extracción por ultrasonidos durante 30 minutos a 30ºC. A continuación, se añadieron secuencialmente 6 g de $MgSO_4$ y 1.5 g de $C_2H_3NaO_2$ a cada tubo, y se vortexearon durante 5 minutos para asegurar la mezcla completa de la matriz y las sales y, a continuación, se centrifugó el tubo a 3500 rpm durante 5 minutos. En este punto, el sobrenadante es la capa orgánica (ACN que contiene HAPs). Se transfirió 1 ml de la capa orgánica (capa de ACN) a un nuevo tubo precargado con 50 mg de Amina Primaria Secundaria (PSA) y 150 mg de $MgSO_4$. Después de vortexear durante 1 minuto, los tubos se centrifugaron (3500 rpm durante 5 minutos) y el sobrenadante se filtró a través de un filtro de jeringa de PTFE de 0,22 µm 13 mm en un vial para su posterior análisis por UHPLC.

3.5.5. Análisis por UHPLC-Análisis FLD

Para la separación y detección de los HAP se utilizó un sistema de Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento con una bomba cuaternaria (UHPLC, Agilent 1290 Infinity II, EE.UU.) y un detector de fluorescencia (FLD) que fue usado para la separación y detección de HAPs. Se utilizó el software Agilent OpenLAB CDs ChemStation Rev. C. 01.10 para controlar el equipo y recoger los datos. La separación de los HAP se realizó mediante una columna Agilent ZORBAX Eclipse PAH 4.6 i.d. x 100 mm, 1.8 µm, con un flujo de 1,8 mLmin-1

La fase móvil consistía en agua (H_2O, tipo I) y acetonitrilo (ACN), la temperatura de la columna fue de 25 °C y el volumen de inyección era de 10 µL. Las condiciones analíticas se muestran en la Tabla 3.

Se identificaron 15 de los 16 HAPs de la EPA a excepción del acenaftileno (AcPy), debido a que este compuesto no tiene fluorescencia, no pudo ser cuantificado fácilmente por FLD (Huang et al., 2013).

Tabla 3

Condiciones analíticas de Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento-detección por fluorescencia de HAPs

Condiciones Cromatográficas			
Parámetro	Valor		
Columna Analítica	Agilent ZORBAX Eclipse PAH 4.6 i.d. x 100 mm, 1.8 µm		
Temperatura de la columna	25°C		
Volumen de Inyección	10 µL		
Flujo	1,8 mL/min		
Fase Móvil	Tiempo (min)	Agua (%)	Acetonitrilo (%)
	0	55	45
	6	0	100
	9.5	0	100
	10	55	45
Longitud	Tiempo (min)	Emisión (nm)	Excitación (nm)
	2.97	314	210
	3.4	314	210
	3.8	368	250
	4.4	402	252
	4.57	402	252
	4.79	440	237
	5.2	420	255
	5.6	420	255

	6.9	453	234
	8	453	234
	8.9	453	234

Nota. Condiciones cromatográficas del método de HAPs.

3.6. Análisis de datos

Las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene evaluaron la normalidad y homogeneidad de los datos. Cuando la normalidad y la homogeneidad fallaron, mediante estas pruebas, los datos se transformaron en logaritmo neperiano (Ln). Además, se utilizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA-dos vías) para ver si existe una interacción entre las variables profundidad y parcela sobre la lixiviación de HAPs. También, se utilizó la prueba de Duncan para conocer si había diferencias significativas entre las profundidades y los compuestos. Por lo consiguiente, se realizó la prueba t-Student para ver si había diferencias significativas entre T1 y T2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Calibración y validación del método

El método de UHPLC-FLD para la cuantificación de HAPs fue validado respecto a los parámetros de límite de cuantificación (LOQ), límite de detección (LOD) y recuperación (Onopiuk et al., 2022).

4.1.2. Selectividad

Los experimentos para evaluar la selectividad sobre la validación de métodos analíticos incluyen pruebas con estándares o materiales de referencia, muestras con y sin el analito, además de la evaluación de la capacidad de identificar el analito de interés en presencia de interferentes (Intramed, 2010).

Se puede afirmar que el método de validación es selectivo al no encontrarse picos de interferencia en los tiempos de retención de los compuestos, comparando el cromatograma del blanco de matriz con la solución estándar de HAPs (5ugml-1).

Tabla 4

Tiempo de retención de los HAPs

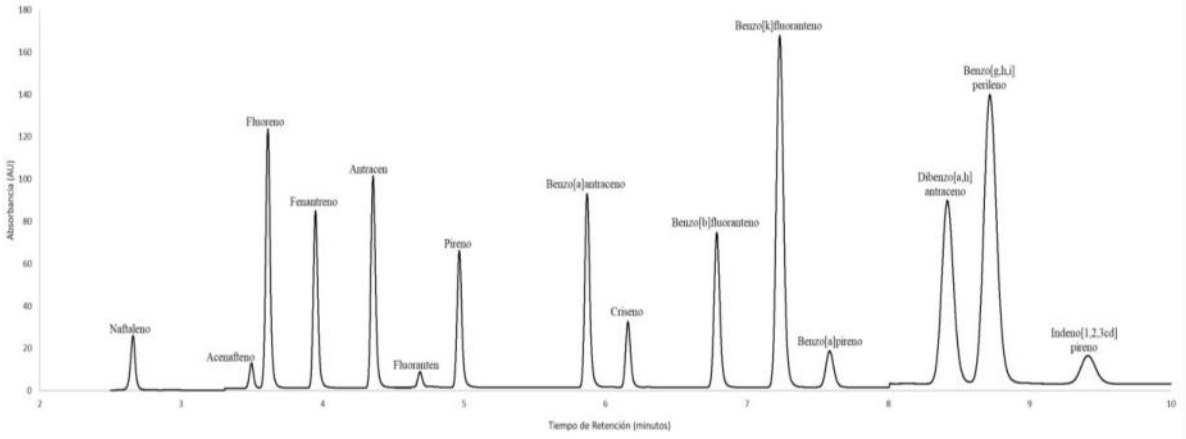
Compuesto	TR (min)
Naftaleno	2.64
Acenafteno	3.46
Fluoreno	3.57
Fenantreno	3.90
Antraceno	4.30
Fluoranteno	4.62
Pireno	4.90
Benzo(a)antraceno	5.78
Criseno	6.06
Benzo(b)fluoranteno	6.68
Benzo(k)fluoranteno	7.09
Benzo(a)pyrene	7.43
Dibenzo(a,h)antraceno	8.18

Benzo(g,h,i)peryleno	8.47
Indeno(1,2,3 c,d)pyrene	9.08

Nota. Se especifica los valores de tiempo de retención en minutos de los HAPs.

Figura 4

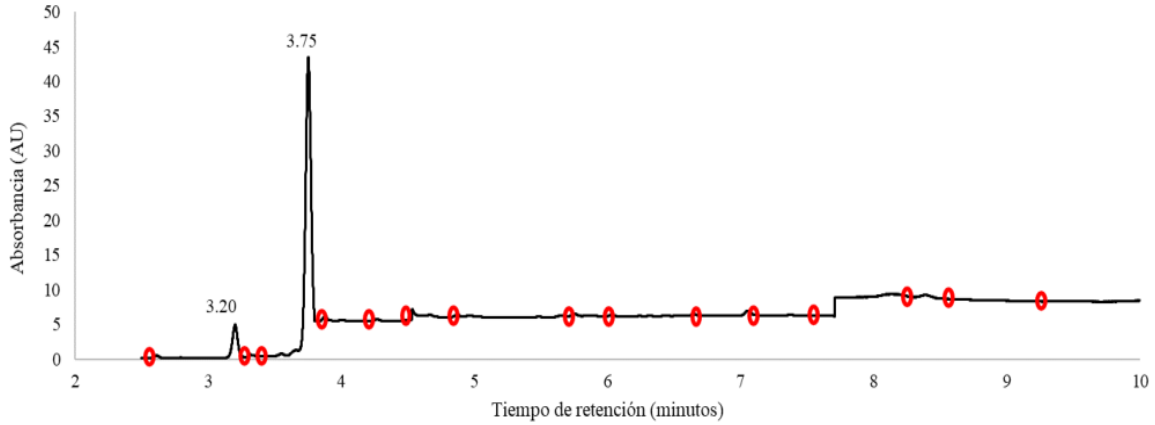
Cromatograma de los 15 HAPs



Nota. Cromatograma de una solución estándar compuesta de16 HAPs (0.5 ugml-1) que indica la separación de los 15 HAPs.

Figura 5

Cromatograma del blanco de matriz



Nota. Blanco de matriz de la unidad de muestreo, donde se visualizan picos que no aparecen en los tiempos de retención de los compuestos.

4.1.3. Linealidad

La linealidad se formula como una expresión matemática que sirve para calcular la concentración del analito que se va a determinar en la muestra real (Intramed, 2010). La ecuación de la recta que relaciona las dos variables es:

$$y = a + bx$$

y= respuesta medida (absorbancia, altura o área del pico, etc.)

x=concentración

a= intersección con el eje y, cuando x = 0;

b= pendiente de la curva analítica = sensibilidad

A continuación, se presentan los cálculos de las curvas de calibración para los diferentes compuestos de los HAPs:

Tabla 5

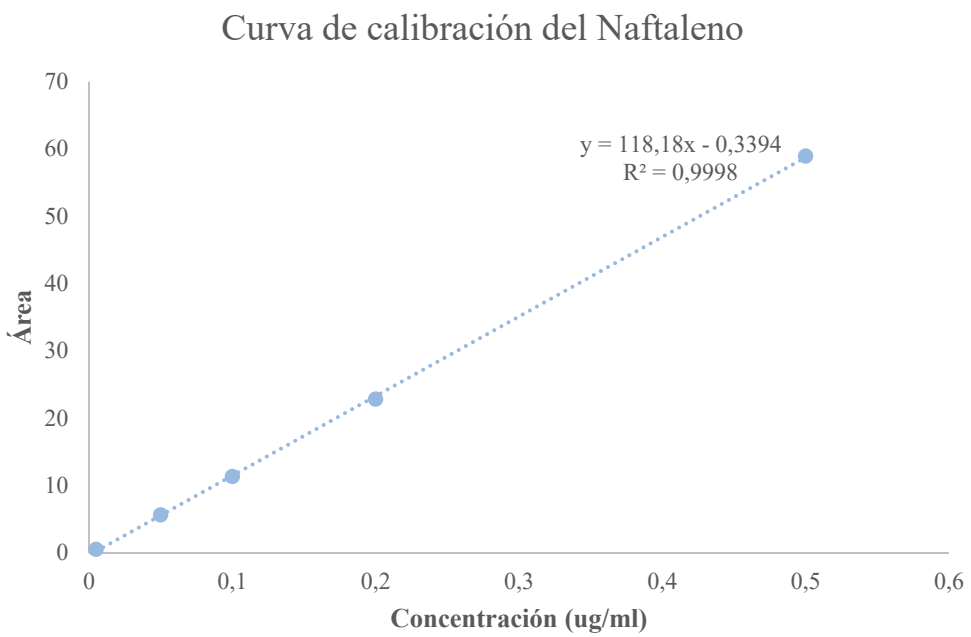
Curva de calibración de Naftaleno

Compuesto	**Concentración ug/ml**	**Área**	**Ecuación de Regresión**	**R^2**
Naftaleno	0.005	0.54528	y=118.18x-0.3394	0.999
	0.05	5.647		
	0.1	11.36		
	0.2	22.852		
	0.5	58.939		

Nota. Curva de calibración de Naftaleno en diferentes concentraciones.

Figura 6

Curva de calibración del Naftaleno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9998.

Tabla 6

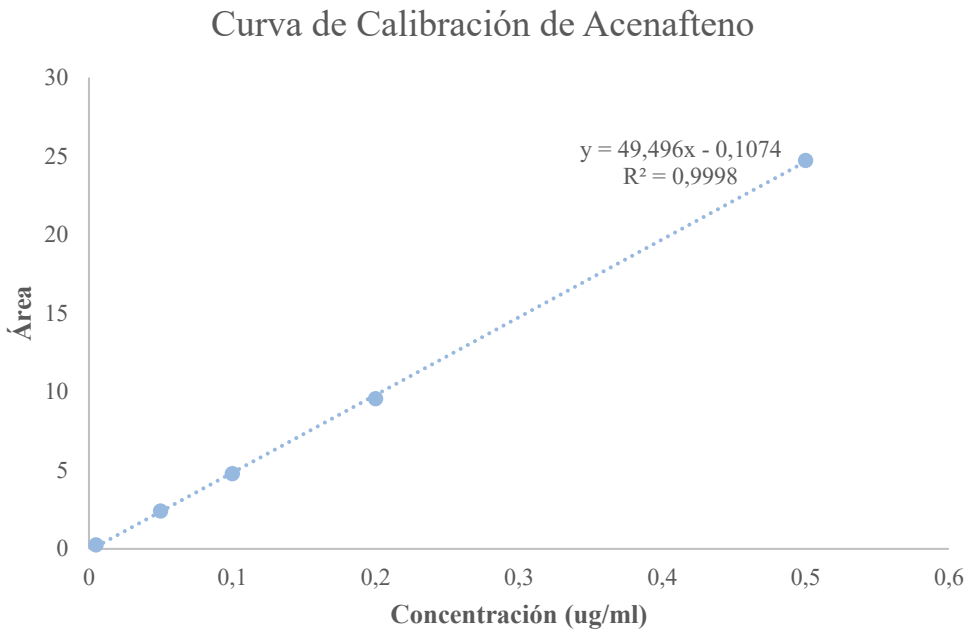
Curva de calibración de Acenaftaleno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Acenafteno	0.005	0.26617	y=49.496x-0.1074	0.999
	0.05	2.423		
	0.1	4.787		
	0.2	9.574		
	0.5	24.732		

Nota. Curva de calibración de Acenaftaleno en diferentes concentraciones.

Figura 7

Curva de calibración de Acenaftaleno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9998

Tabla 7

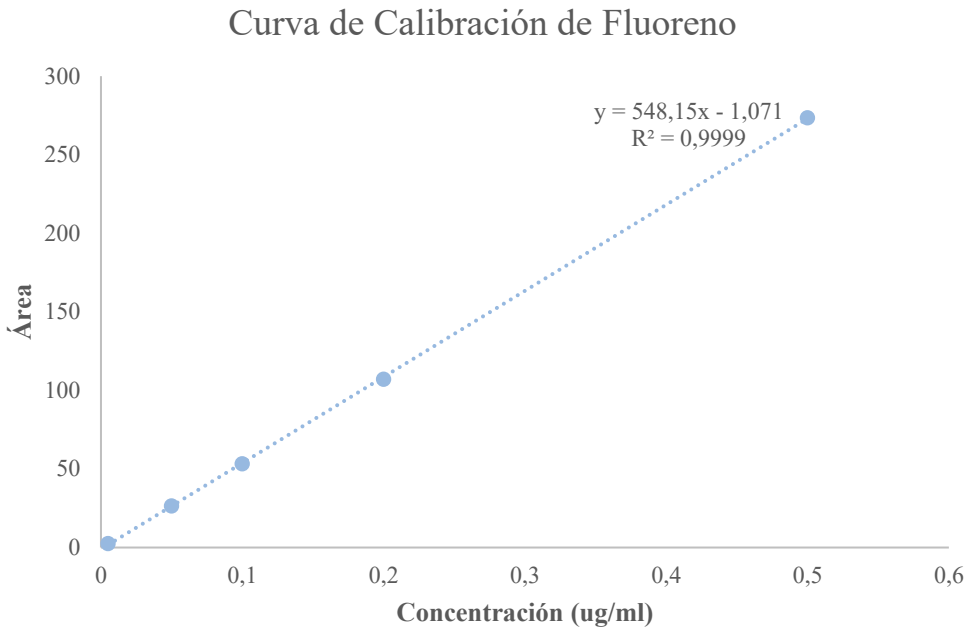
Curva de calibración de Fluoreno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Fluoreno	0.005	2.572	y = 548.15x-1.071	0.999
	0.05	26.499		
	0.1	53.405		
	0.2	107.28		
	0.5	273.56		

Nota. Curva de calibración de Fluoreno en diferentes concentraciones.

Figura 8

Curva de calibración de Fluoreno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9999.

Tabla 8

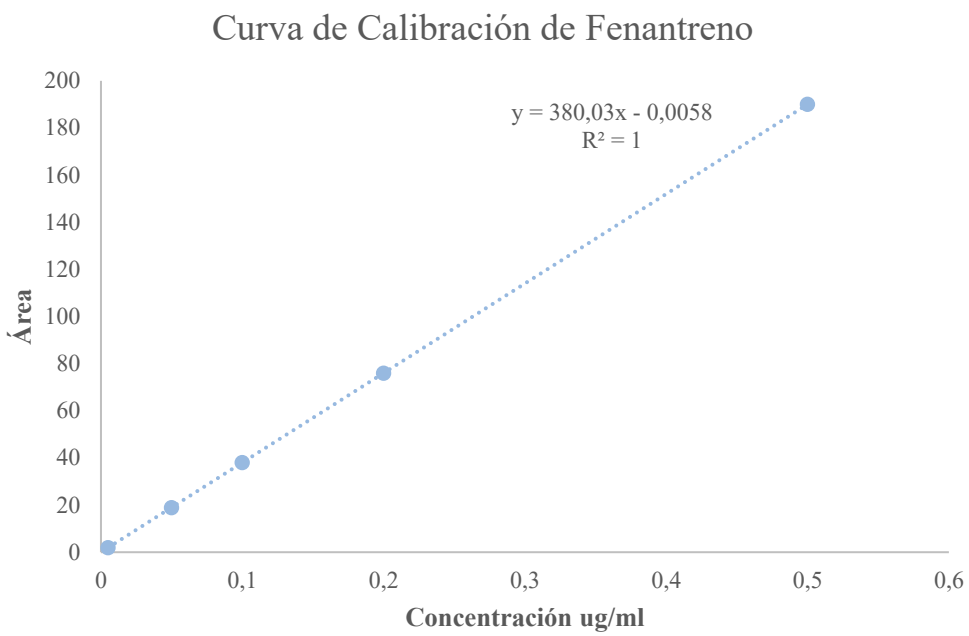
Curva de calibración de Fenantreno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Fenantreno	0.005	1.949	y=380.03x-0.0058	1
	0.05	18.911		
	0.1	38.053		
	0.2	75.962		
	0.5	190.02		

Nota. Curva de calibración de Fenantreno en diferentes concentraciones.

Figura 9

Curva de calibración de Fenantreno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 1.

Tabla 9

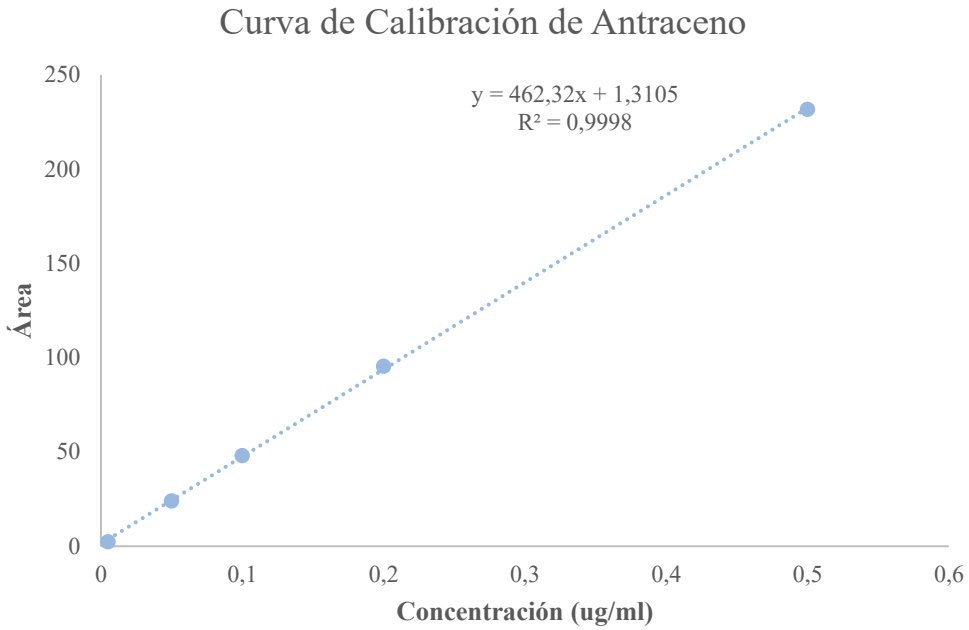
Curva de calibración de Antraceno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Antraceno	0.005	2.427	y=462.32x+1.3105	0.999
	0.05	24.034		
	0.1	48.155		
	0.2	95.517		
	0.5	231.7		

Nota. Curva de calibración de Antraceno en diferentes concentraciones.

Figura 10

Curva de calibración de Antraceno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9998.

Tabla 10

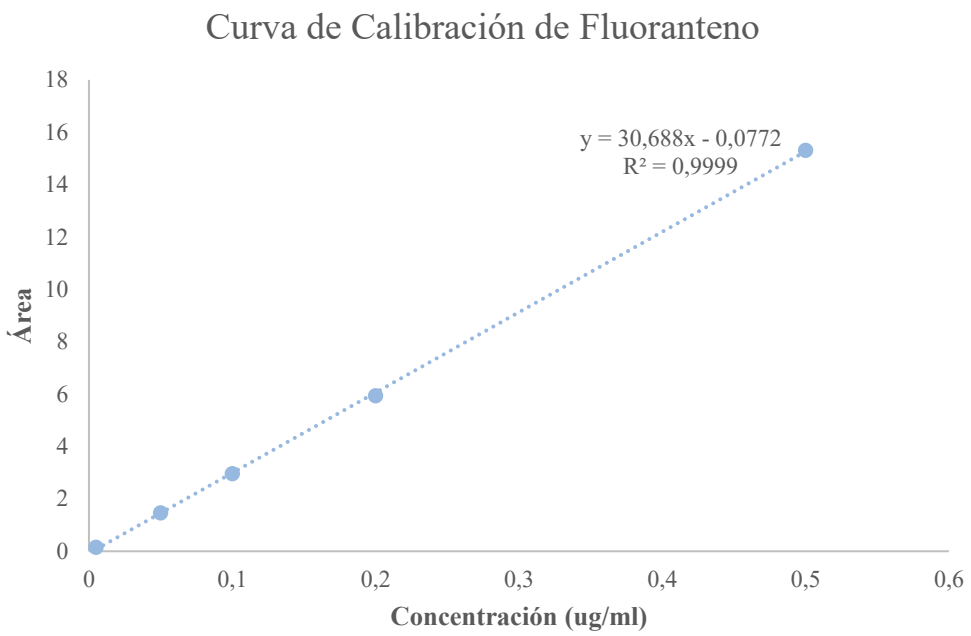
Curva de calibración de Fluoranteno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Fluoranteno	0.005	0.15484	y=30.688x-0.0772	0.999
	0.05	1.47		
	0.1	2.964		
	0.2	5.948		
	0.5	15.315		

Nota. Curva de calibración de Fluoranteno en diferentes concentraciones.

Figura 11

Curva de calibración de Fluoranteno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9999.

Tabla 11

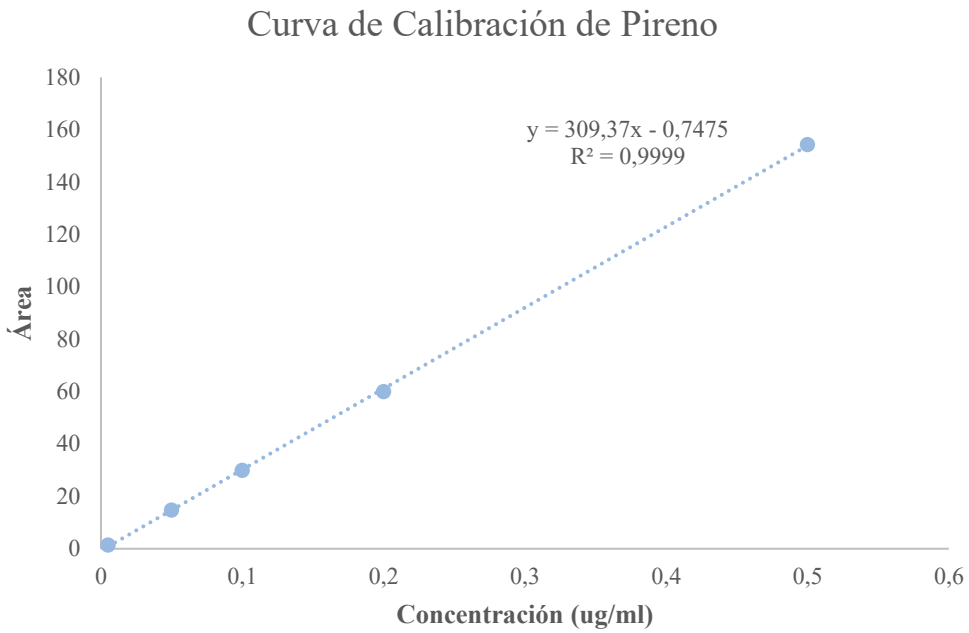
Curva de calibración de Pireno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Pireno	0.005	1.482	y=309.37x-0.7475	0.999
	0.05	14.807		
	0.1	30.027		
	0.2	60.088		
	0.5	154.37		

Nota. Curva de calibración de Pireno en diferentes concentraciones.

Figura 12

Curva de calibración de Pireno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9999

Tabla 12

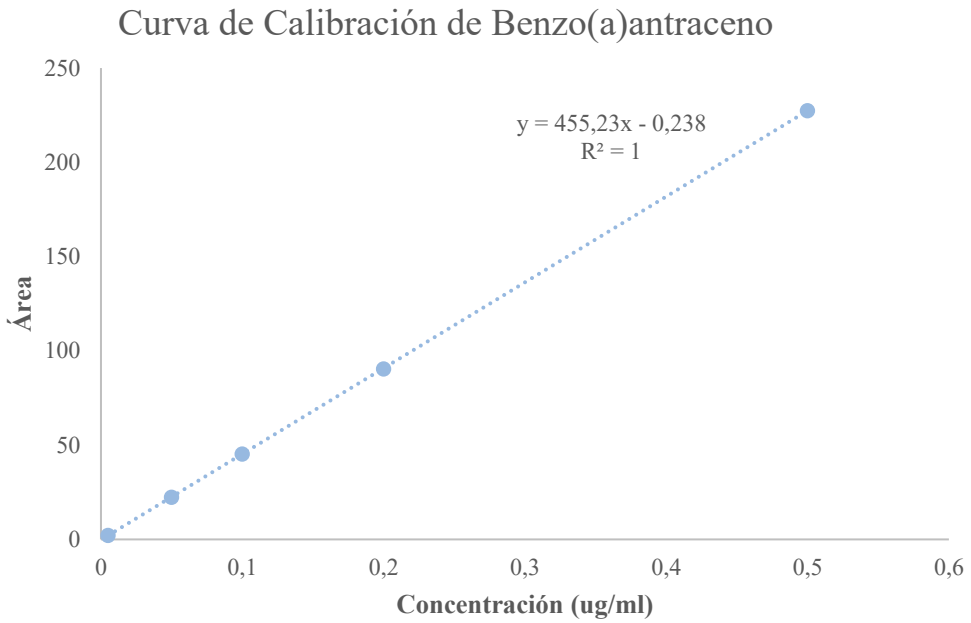
Curva de calibración de Benzo(a)antraceno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Benzo(a)antraceno	0.005	2.244	y=455.23x-0.238	0.999
	0.05	22.451		
	0.1	45.335		
	0.2	90.509		
	0.5	227.49		

Nota. Curva de calibración de Benzo(a)antraceno en diferentes concentraciones.

Figura 13

Curva de calibración de Benzo(a)antraceno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 1.

Tabla 13

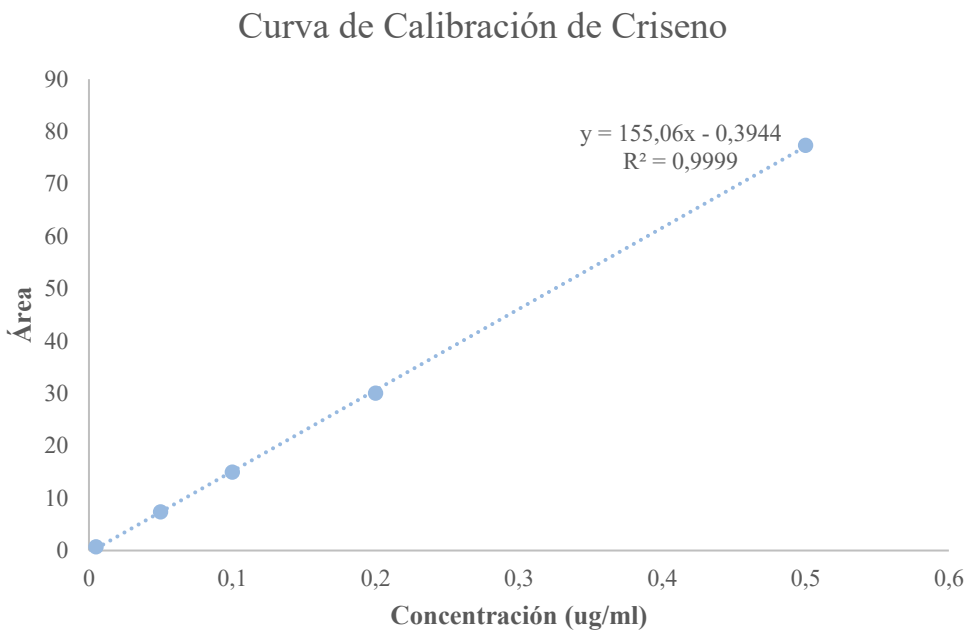
Curva de calibración de Criseno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Criseno	0.005	0.75231	y=155.06x-0.3944	0.999
	0.05	7.408		
	0.1	15.013		
	0.2	30.062		
	0.5	77.369		

Nota. Curva de calibración de Criseno en diferentes concentraciones.

Figura 14

Curva de calibración de Criseno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9999

Tabla 14

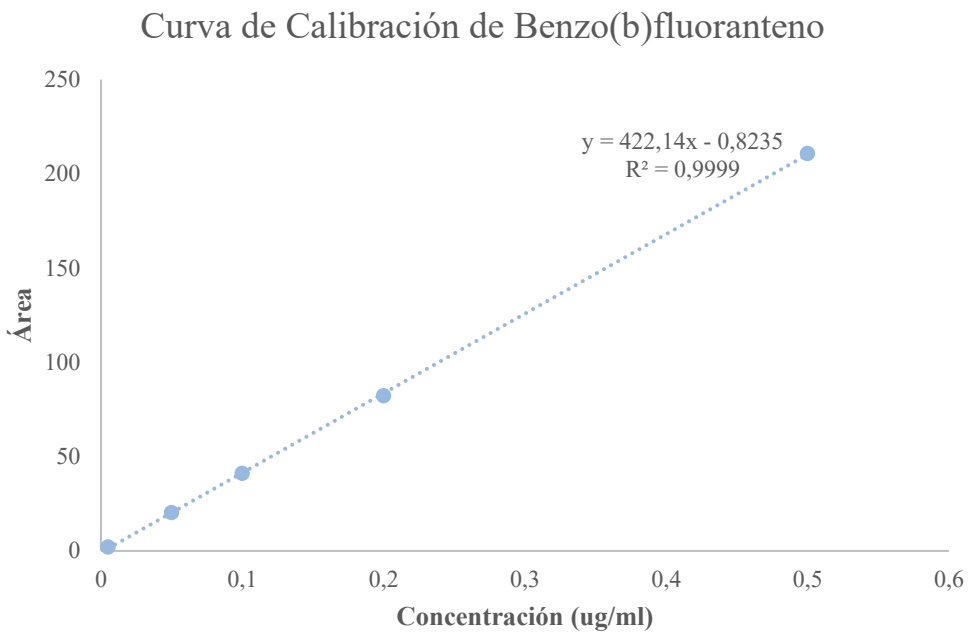
Curva de calibración de Benzo(b)fluoranteno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Benzo(b)fluoranteno	0.005	2.046	y=422.14x-0.8235	0.999
	0.05	20.425		
	0.1	41.205		
	0.2	82.389		
	0.5	210.75		

Nota. Curva de Calibración de Benzo(b)fluoranteno en diferentes concentraciones.

Figura 15

Curva de calibración de Benzo(b)fluoranteno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9999.

Tabla 15

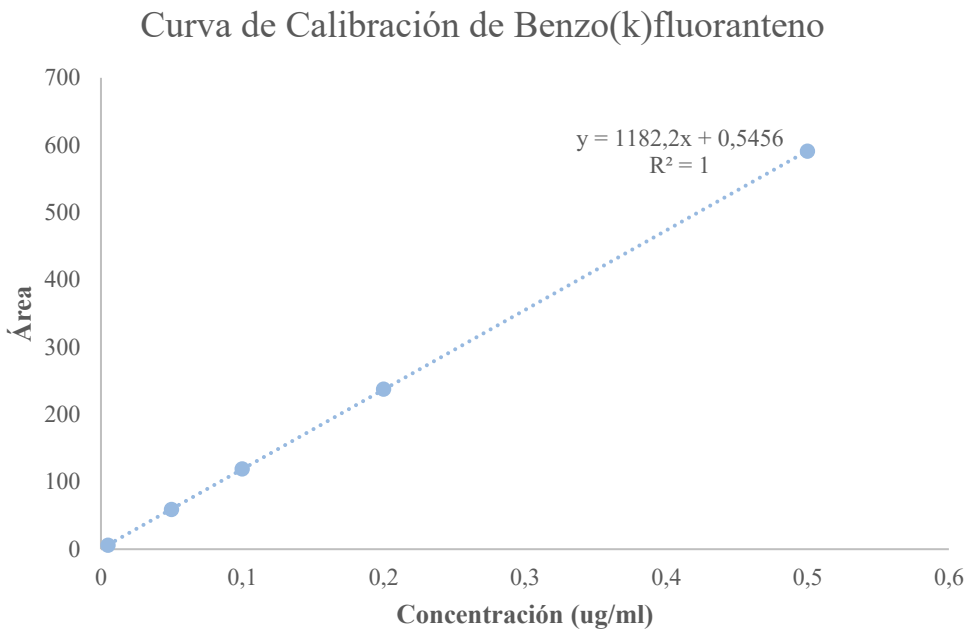
Curva de calibración de Benzo(k)fluoranteno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Benzo(k)fluoranteno	0.005	5.957	y=1182.2x+0.5456	1
	0.05	59.141		
	0.1	119.34		
	0.2	237.83		
	0.5	591.27		

Nota. Curva de calibración de Benzo(k)fluoranteno en diferentes concentraciones.

Figura 16

Curva de calibración de Benzo(k)fluoranteno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 1.

Tabla 16

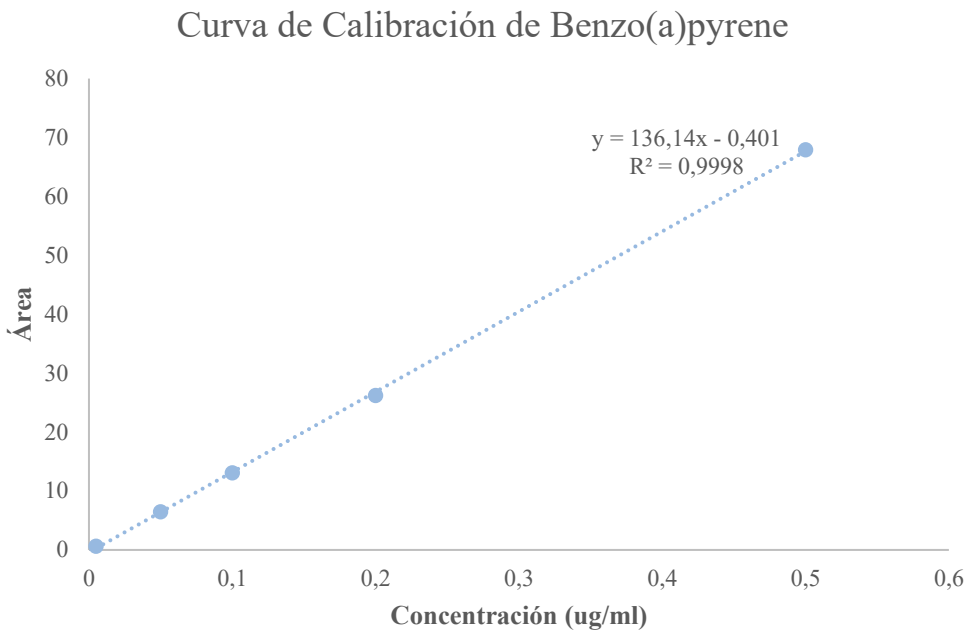
Curva de calibración de Benzo(a)pyrene

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Benzo(a)pyrene	0.005	0.64371	y=136.14x-0.401	0.999
	0.05	6.495		
	0.1	13.094		
	0.2	26.252		
	0.5	67.911		

Nota. Curva de calibración de Benzo(a)pyrene en diferentes concentraciones.

Figura 17

Curva de calibración de benzo(a)pyrene



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9998.

Tabla 17

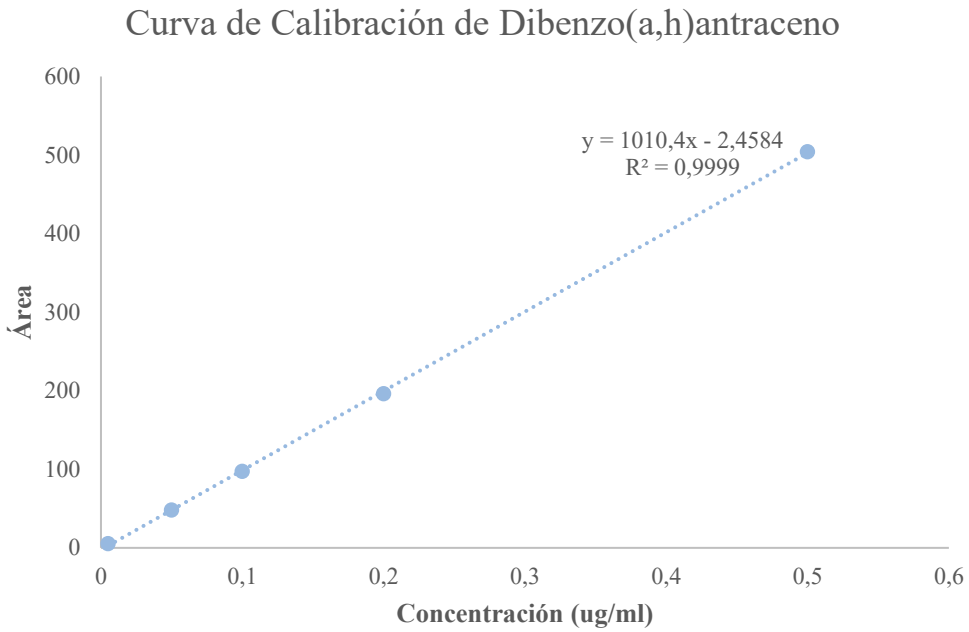
Curva de calibración de Dibenzo(a,h)antraceno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Dibenzo(a,h)antraceno	0.005	5.318	y=1010.4x-2.4584	0.999
	0.05	48.137		
	0.1	97.582		
	0.2	196.33		
	0.5	504.2		

Nota. Curva de calibración de Dibenzo(a,h)antraceno en diferentes concentraciones.

Figura 18

Curva de calibración de Dibenzo(a,h)antraceno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9999.

Tabla 18

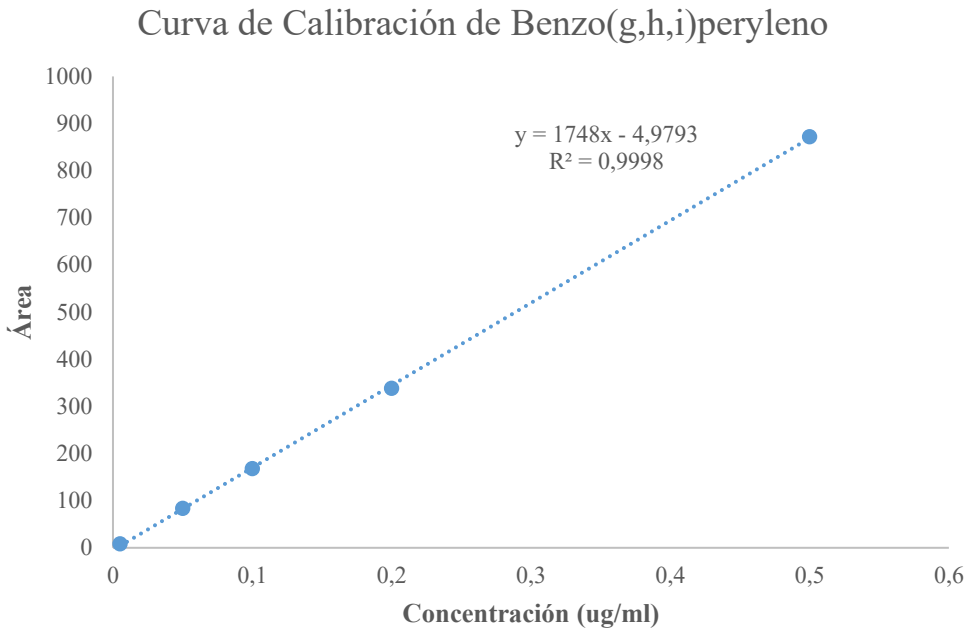
Curva de calibración de Benzo (g, h, i)peryleno

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Benzo(g,h,i)peryleno	0.005	8.233	y=1748x-4.9793	0.999
	0.05	83.552		
	0.1	167.86		
	0.2	338.14		
	0.5	871.82		

Nota. Curva de calibración de Benzo(g,h,i)peryleno en diferentes concentraciones.

Figura 19

Curva de calibración de Benzo(g, h, i)peryleno



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.9998.

Tabla 19

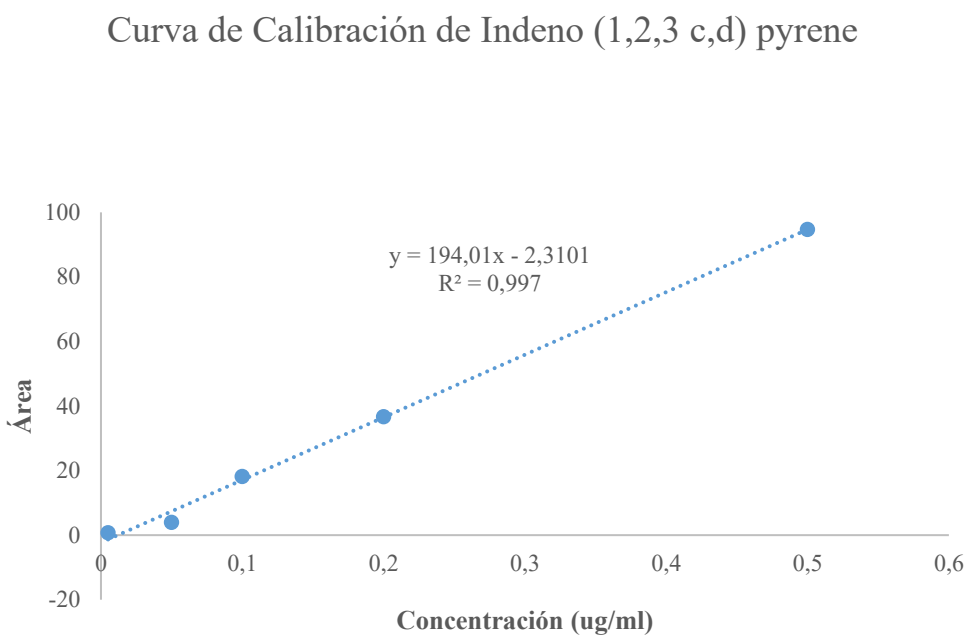
Curva de calibración de Indeno(1, 2, 3)-cd)pyrene

Compuesto	Concentración ug/ml	Área	Ecuación de Regresión	R^2
Indeno(1,2,3 c,d)pyrene	0.005	0.78307	y=194.01x-2.3101	0.999
	0.05	3.971		
	0.1	18.184		
	0.2	36.661		
	0.5	94.73		

Nota. Curva de calibración de Indeno(1,2,3 c,d)pyrene en diferentes concentraciones.

Figura 20

Curva de calibración de Indeno (1,2,3 c,d) pyrene



Nota. Curva de calibración con un R^2 de 0.997

4.1.4. LOD y LOQ

La sensibilidad del método se estableció determinando los límites de detección (LOD) según el método de la IUPAC. El LOD se definió como la concentración detectable más baja con una relación señal-ruido de al menos 3 (Shi et al., 2016). En este estudio, los LOD estaban en el rango de 0.00005 - 0.00133 μgmL^{-1}. Los valores LOQ definidos por la relación señal-ruido de 10 (S/N = 10) estaban en el rango de 0.00015 - 0.00438 µgmL-1.

El límite de detección es tres veces la relación señal/ruido (S/N) (Chen et al., 2020), para determinar el límite de detección (LD) se aplicará la siguiente formula:

$$LD = \frac{Concentración\ inyectada\ x\ 3}{señal/ruido}$$

El límite de cuantificación es diez veces la relación señal/ruido (S/N) (Chen et al., 2020), para determinar el límite de cuantificación (LQ) se aplicará la siguiente formula:

$$LQ = LD\ x\ 3.3$$

Tabla 20

Limite de detección y cuantificación de los HAPs

Compuesto	LOD (µgmL^{-1})	LOQ (µgmL^{-1})
Naftaleno	0.00026	0.00086
Acenafteno	0.00051	0.00168
Fluoreno	0.00005	0.00017
Fenantreno	0.00007	0.00023
Antraceno	0.00006	0.00018
Fluoranteno	0.00133	0.00438
Pireno	0.00015	0.00049
Benzo(a)antraceno	0.00007	0.00024
Criseno	0.00023	0.00074
Benzo(b)fluoranteno	0.00011	0.00036
Benzo(k)fluoranteno	0.00005	0.00015
Benzo(a)pyrene	0.00047	0.00156
Dibenzo(a,h)antraceno	0.00009	0.00030
Benzo(g,h,i)peryleno	0.00006	0.00020
Indeno(1,2,3 c,d)pyrene	0.00063	0.00206

Nota. Calculo final del límite de detección y cuantificación de los HAPs.

4.1.5. Recuperación

Los valores de recuperación de las muestras se determinaron realizando un procedimiento analítico completo para la determinación de HAPs para lo cual se fortifico el blanco de matriz (libre de HAPs) con 5 µgmL^{-1} del mix de 16 HAPs, las medias de recuperación (n=5) oscilaron entre 113.93-119.92 %, la precisión del procedimiento se calculó con la SD sobre las 5 réplicas, los valores oscilaron entre 0.01-0.05. En conjunto, estos resultados confirman que el presente método tiene

una alta sensibilidad, una buena precisión y un gran potencial para el análisis de los niveles de HAP en muestras de suelo. En la tabla se puede observar la recuperación de HAPs del blanco de matriz, mediante esto se puede observar que el método de extracción de QuEChERS, extrae de la muestra ambiental los contaminantes para ser analizados en el HPLC.

4.1.6. Concentración de HAPs inmediatamente y 3-Meses después de la quema de pastos

En las muestras de suelo en las dos diferentes ocasiones de monitoreo se detectaron 12 de los 15 HAPs prioritarios de la EPA evaluados en este estudio.

Para conocer si existe alguna diferencia significativa entre las medias de las concentraciones de las muestras de la quema inmediata y 3-Meses después, se realizó el test de t-Student entre ambas, indicando que no son estadísticamente diferentes ($p\text{-valor}<0.05$) respecto a las medias de sus concentraciones.

Tabla 21

Concentración de HAPs en muestras de suelo superficiales (ngg-1 de peso seco) inmediatamente y 3-Meses después de la quema de pastizales

Peso Molecular	Anillos	Compuesto	Inmediatamente				3-Meses				Var.	P-valor
			DF	Rango	Promedio	SD	DF	Rango	Promedio	SD	Porc	T-Test
LMW	2	Na	100	16.08-18.62	17.21	1.04	100	12.69-30.46	20.03	6.13	16.39	0.21
	3	Ace	88.89	ND-6.06	3.06	2.02	55.56	ND-4.04	1.80	1.76	-41.39	0.20
		Fluo	100	1.30-2.37	1.77	0.37	100	0.57-3.47	1.80	1.12	2.18	0.91
		Phe	100	7.89-17.10	11.43	2.94	100	5.26-13.68	9.21	3.09	-19.44	0.23
		Ant	100	0.52-0.84	0.64	0.11	100	0.24-0.82	0.50	0.23	-21.64	0.21
	4	Fla	100	360.08-1039.49	615.44	204.07	100	374.74-1199.17	703.50	275.68	14.31	0.42
		Pyr	100	1.52-2.75	2.12	0.52	100	1.42-2.17	1.80	0.28	-15.11	0.17
		B(a)ant	100	0.05-0.26	0.15	0.08	100	0.13-0.33	0.22	0.08	45.51	0.13
		Chr	88.9	ND-0.90	0.55	0.28	100	0.47-0.98	0.69	0.19	27.26	0.33
HMW	5	B(b)fla	100	0.36-0.95	0.57	0.19	100	0.40-0.76	0.53	0.12	-6.91	0.69
		B(k)fla	100	0.08-0.27	0.13	0.06	100	0.10-0.18	0.15	0.03	9.69	0.63
		DB(ah)ant	100	12.67-19.60	16.67	2.36	100	15.26-22.61	19.41	2.43	16.44	0.01
		∑12 PAHs	100	400.53-1109.22	669.74	214.02	100	411.28-1278.67	759.63	291.15	13.42	

Nota. "DF": frecuencia de detección, "VP": Variación Porcentual, "SD": Desviación estándar. Valores medios por condición de fuego con intervalos de confianza (n=9, P<0,05).

Durante los incendios forestales los HAPs son emitidos a la atmosfera y posteriormente se transportan a largas distancias y/o se depositan en el suelo a través de la deposición seca o húmeda de partículas y vapores incrementando las concentraciones de estos compuestos en el suelo (Mullan-Boudreau et al., 2017; Zhang et al., 2021). La deposición seca o húmeda de estos compuestos depende de las propiedades físico-químicas de los mismos (solubilidad en agua, constante de la ley de Henry, presión de vapor), partición entre vapores y partículas y de los parámetros meteorológicos (altura de la lluvia, intensidad y temperatura) (Abdel-Shafy & Mansour, 2016; Esen et al., 2008).

La deposición seca domina en el caso de los HAPs de alto peso molecular que son altamente hidrofóbicos y pueden unirse fácilmente a las partículas suspendidas en el aire; mientras que, los de bajo peso se encuentran en la fase gaseosa. En general, los HAP presentes en la fase gaseosa saturan las nubes y las precipitaciones contaminan el suelo y las aguas superficiales, a veces muy lejos de las fuentes de emisión, mientras que los HAP unidos a las partículas son arrastrados de la atmosfera por la precipitación.

Compuestos como Ace, Phe, Ant, Pyr y B(fla) disminuyeron su concentración a los 3-Meses, esto sea probablemente por la lluvia, ya que mediante las precipitaciones estos compuestos descenderían en el perfil del suelo (Kim et al., 2011), mientras que Na, Fluo, Fla, B(a)ant, Chr, B(k)fla, DB(ah)ant, incrementaron su concentración a los 3-Meses, puede atribuirse a la deposición de estos compuestos de las zonas aledañas (autor).

Los niveles totales de $\sum_{12}$ PAHs incrementó su concentración en un 13.42% a los 3-Meses,como ya se mencionó anteriormente puede ser debido a la quema de pastizales de zonas aledañas a la unidad de muestreo con la finalidad de eliminar los pastos secos, teniendo en cuenta los resultados podría decirse que la deposición de partículas de HAPs cerca de la unidad de muestreo por la quema de pastizales en zonas cercanas incrementó la presencia de HAPs en las muestras superficiales s los 3-Meses, en contraste en la zona rural de la ciudad de Pohang, Corea del Sur, se analizaron muestras suelo de hasta 5 cm después de un incendio forestal con niveles de 133, 98, 57,41 ngg^{-1} al primer mes, 3 meses, 5 meses y 7 meses respectivamente que hubo precipitaciones durante todo el periodo de muestreo (800 mm) (Choi,

2014a), en comparación a la zona de este estudio las precipitaciones (1.17 mm) fueron inferiores a las mencionadas en el estudio realizado por Choi (2014), es por lo que los niveles de HAPs en Pohang disminuyeron considerablemente. Otro estudio en el cual los niveles de HAPs en el suelo disminuyeron por la lluvia fue realizado en Corea del Sur después de 1,5 y 9 meses (1200, 206 y 302 ngg^{-1} respectivamente) de haberse suscitado el incendio forestal disminuyendo su concentración en el periodo de muestreo (Kim et al., 2011).

Tal como se observa en la Tabla 22, se realiza una comparación de las muestras superficiales de la quema inmediata y 3-Meses después. Según las normas europeas de calidad del suelo para los 16 HAPs prioritarios (∑16PAHs) y los niveles de contaminación propuestos por Maliszewska-Kordybach (1996), las condiciones de contaminación se clasifican en cuatro grados: no contaminado (< 200 μgkg^{-1}), débilmente contaminado (200-600 μgkg^{-1}), moderadamente contaminado (600-1000 μgkg^{-1}) y muy contaminado (> 1000 μgkg^{-1}). El valor medio de la quema inmediata y 3-Meses después indican que la unidad de estudio esta moderadamente contaminada ya que tienen valores medios entre 600-1000 μgkg^{-1}.

Tabla 22

Presencia de HAPs a los 3-Meses en diferentes profundidades (ngg^{-1})

Peso Molecular	Anillos	Compuesto	Superficial	10 cm	20 cm	30 cm
LMW	2	Na	20.026^{a}	11.282^{b}	11.160^{b}	10.906^{b}
	3	Ace	1.796^{b}	3.861^{a}	3.704^{a}	3.435^{a}
		Fluo	1.804^{a}	0.486^{b}	0.519^{b}	0.523^{b}
		Phe	9.210^{a}	3.196^{b}	2.947^{b}	2.816^{b}
		Ant	0.505^{a}	0.184^{b}	0.161^{b}	0.181^{b}
	4	Fla	703.496^{a}	118.396^{b}	46.823^{c}	31.503^{c}
		Pyr	1.796^{a}	1.203^{b}	1.131^{b}	1.013^{b}
		B(a)ant	0.222^{a}	0.086^{b}	0.046^{b}	0.024^{b}
		Chr	0.695^{a}	0.260^{b}	0.277^{b}	0.092^{b}
HMW	5	B(b)fla	0.532^{a}	0.348^{b}	0.263^{bc}	0.155^{c}

	B(k)fla	0.145[b]	0.105[ab]	0.048[a]	0.004[a]
	DB(ah)ant	19.409[a]	18.584[a]	18.784[a]	17.391[a]

El análisis se ha realizado por compuesto, horizontalmente; donde las letras (a,b,c) indican diferentes agrupaciones de medias; para el caso de Naftaleno (Na) se encuentra mayor concentración en la parte superficial que en las otras profundidades que pertenecen al mismo grupo, Acenfateno (Ace) la concentración en la parte superficial es diferente a las otras profundidades que presenta mayores concentraciones, Fluoreno (Fluo) la concentración en la superficie es diferente a las concentraciones en las otras profundidades que están en el mismo grupo, Fenantreno (Phe) en la superficie tiene una mayor concentración respecto a las otras profundidades que pertenecen al mismo grupo, Antraceno (Ant) presenta una menor concentración en la superficie respecto a las otras profundidades que pertenecen al mismo grupo, Fluoranteno (Fla) en la superficie tiene una mayor concentración y conforme aumenta la profundidad disminuye la concentración, Pireno (Pyr) la concentración en la superficie es mayor en comparación a las otras profundidades que pertenecen al mismo grupo, Benzo(a)antraceno (B(a)ant) tiene una-concentración mayor en la superficie y menor en las otras profundidades que pertenecen al mismo grupo, Criseno (Chr) que presenta una concentración mayor en la superficie, sin embargo, va disminuyendo en las otras profundidades que están en el mismo grupo, Benzo(b)fluoranteno (B(b)fla) que presenta una concentración mayor en la superficie en comparación a las otras profundidades que están en el mismo grupo, Benzo(k)fluoranteno (B(k)fla) que presenta una concentración alta en la superficie pero disminuye conforme aumenta la profundidad, Dibenzo(a,h)antraceno (DB(ah)ant) que tienen una concentración mayor en la superficie en contraste con las otras profundidades que están en el mismo grupo.

Se ha encontrado en las muestras de suelo en las diferentes profundidades (superficial, 10, 20 y 30 cm, a los 3-Meses de la quema inmediata) la mayor presencia de HAPs de bajo peso molecular (LMW) con respecto a los HAPs de mayor peso molecular (HMW), la mayor presencia de LMW puede atribuirse a que durante el proceso pirolítico de combustión incompleta, como la quema de biomasa se generan en mayor proporción HAPs de bajo peso (Choi, 2014a; Faboya et al.,

2020; Kim et al., 2011), esto mismo se encontró en los suelos de bosques de Francia y Corea después de los incendios forestales (Choi, 2014a; Vergnoux et al., 2011).

Choi (2014), indica que el coeficiente de partición octanol-agua (Kow) de los HAPs es importante para determinar la sorción de los HAPs en los suelos. El Kow está relacionado con la solubilidad de un compuesto orgánico en el agua. A medida que el Kow aumenta, la solubilidad acuosa disminuye y la tendencia a la sorción en el suelo aumenta.

De los 12 compuestos estudiados el Ace ha presentado una mayor lixiviación respecto a los otros compuestos, el Ace tiene un Kow de 3.92 lo que facilita la lixiviación de HAPs en el perfil del suelo.

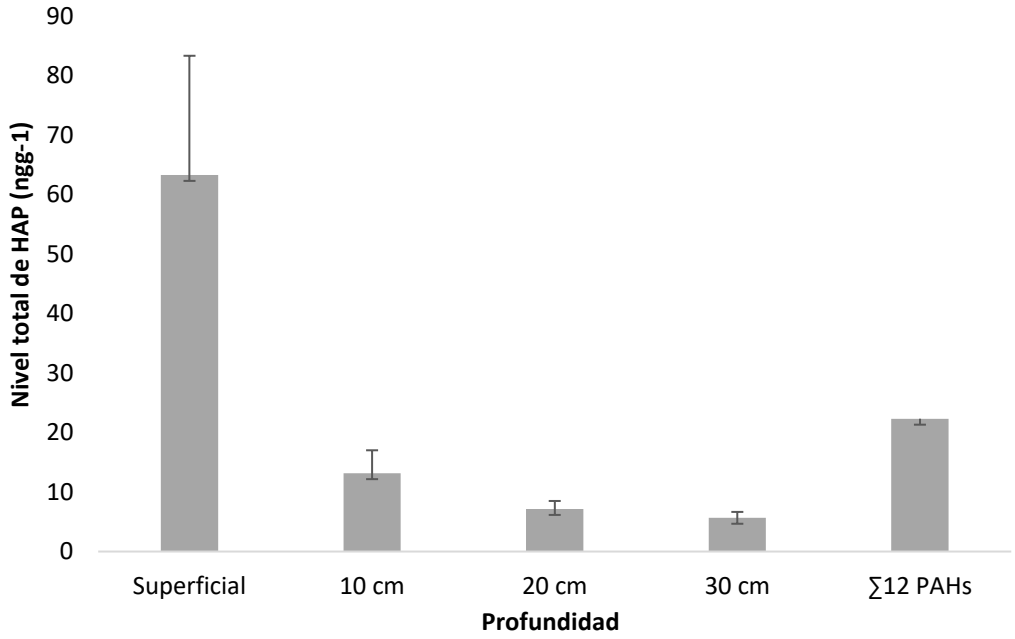
Además, el Na y Fla presentan mayores concentraciones en la superficie, 10 cm, 20 cm y 30 cm, teniendo el Na 20.026, 11.282,11.160 y 10.906 ngg^{-1}, mientras el Fla tiene 703.496, 118.396, 46.823 y 31.503 ngg^{-1} respectivamente, por otro lado, en un estudio realizado en el bosque de Nigeria se encontraron concentraciones promedio inferiores a los datos de este estudio de Fla y Ace de 98.40 ± 92.70 ngg^{-1} y 1.04 ± 0.41 ngg^{-1} a los 5 cm de profundidad de un bosque perenne, siendo el Fla unos de los HAPs que presentó mayores concentraciones y el Ace menor concentración respecto a los otros compuestos (Faboya et al., 2020), en Korea después de 3-meses de haber ocurrido un incendio se encontró que el Na y Fla tenían elevadas concentraciones 33.9 y 10.2 ngg^{-1} y Ace la menor concentración 1.04 ngg^{-1}, estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, la mayor presencia de Ace en las capas inferiores del suelo se debe a los HAPs de bajo peso tienen una alta solubilidad en el agua por lo que podrían disolverse en el agua de lluvia y penetrar en las capas inferiores del suelo (Sojinu et al., 2011), esto podría justificar su mayor concentración en las otras profundidades con respecto a la superficial, por otro lado la rápida lixiviación de los HAPs a través del suelo podría poner en peligro la calidad de las aguas subterráneas (Gabos et al., 2001).

4.1.7. Concentración total de 12-EPA HAPs en el perfil del suelo

En la Figura 21, se muestra el contenido total de los 12 EPA-PAHs que fue de 63.30 ngg^{-1}, 13.17 ngg^{-1}, 7.16 ngg^{-1}, 5.67 y 22.32 ngg^{-1} en las muestras superficiales, 10, 20 y 30 cm de profundidad y $\sum_{12}$ PAHs respectivamente, después de 3-Meses de la quema de los pastizales.

Figura 21

Promedio de las Concentraciones en diferentes concentraciones



Nota. Promedio en niveles totales de HAPs en diferentes profundidades.

Tal como se observa conforme va aumentando la profundidad la concentración de HAPs va disminuyendo, este descenso es probablemente atribuible a la lluvia ya que durante el tiempo de muestreo el promedio de las precipitaciones fue de 1.17 mm, ocasionando que el contenido de HAPs existente sea transportado a las capas inferiores del suelo, en un estudio realizado al sur de Francia se encontraron concentraciones de HAPs entre los 0-15 cm de profundidad de un suelo impactado por un incendio forestal (Vergnoux et al., 2011), además (Kim et al., 2003) recolectó muestras de suelo a los 5 cm de profundidad, después de 1,5 y 9 meses de un incendio forestal en la región costera oriental de Corea, siendo que a los 5 meses las concentraciones de HAPs en los suelos eran

aproximadamente un 80% más bajas en comparación a las muestras tomadas 1 mes después de los incendios forestales, sugiriendo que la disminución de la concentración de HAPs entre estos meses se deba a la lluvia ya que coincidió con la temporada que se produjo las precipitaciones, entre 1-5 meses después de los incendios forestales.

La concentración total de los $\sum_{12}$ PAHs encontradas en las muestras de suelo después de los 3-Meses oscilo entre 0.037-1199.166 ngg^{-1} con un promedio de 22.32 ngg^{-1}. El valor medio de las concentraciones de HAPs en las muestras de suelo es inferior a los valores registrados en las muestras de suelos de un bosque tropical en Nigeria que fue 104,36 y 1868,93 ng/g (media: 713,36 ng/g), los mayores niveles de HAPs obtenidos podrían atribuirse a la magnitud del incendio ya que al tratarse de árboles perennes se genera mayor cantidad de biomasa quemada, incrementando así la concentración de HAPs en el suelo (Faboya et al., 2020).

4.1.8. Test de supuestos y ANOVA

En las muestras de suelo se encontraron 12 de los 15 EPA HAPs a analizar, a los datos obtenidos se le realizaron los supuestos de Normalidad (Test de Shapiro-Wilk) y Homocedasticidad (Test de Levene), además del Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías donde se relacionó las variables Parcela y Profundidad.

Tabla 23

Test de Normalidad, Homocedasticidad y ANOVA

Compuesto	Parcela	Códigos de significancia	Profundidad	Códigos de significancia	Profundidad: Parcela	Códigos de significancia	P-valor Shapiro-Wilk	P-valor Levene
Naftaleno	0.01461	*	9.140E-06	***	0.00452	**	0.8403	0.1916
Acenafteno	0.04132	*	3.160E-03	**	0.00615	**	0.4052	0.1562
Fluoreno	0.00561	**	3.870E-05	***	0.000495	***	0.3807	0.1478
Fenantreno	0.06367		4.580E-07	***	0.00694	**	0.5885	0.3686
Antraceno	0.01664	*	2.820E-05	***	0.00393	**	0.8658	0.1203
Fluoranteno	0.52300		5.230E-13	***	0.11200		0.3698	0.3593
Pireno	0.27800		8.230E-07	***	0.05500		0.2200	0.4065
Benzo(a)antraceno	0.28730		7.360E-06	***	0.09820		0.8982	0.1996
Criseno	0.05800		6.350E-06	***	0.25500		0.2239	0.6838
Benzo(b)fluoranteno	0.17100		2.310E-05	***	0.40600		0.1659	0.1458
Benzo(k)fluoranteno	0.11035		8.710E-04	***	0.28578		0.3883	0.6006
Dibenzo(a,h)antraceno	0.71460		9.660E-02		0.18570		0.4094	0.7462

Nota. Códigos de significancia: 0 ***; 0.001 **; 0.01 *, P-valor test de Shapiro-Wilk.

Planteamiento de Hipótesis Normalidad

H_o: Los datos siguen una distribución normal.

H_1: Los datos siguen una distribución diferente a la normal.

Planteamiento de Hipótesis Homocedasticidad

H_o: Los datos siguen son homogéneos

H_1: Los datos siguen no son homogéneos.

Nivel de significancia: 0.05

Prueba estadística de Shapiro-Wilk y Levenes

Criterio de decisión

Si P-valor es menor al alfa, entonces rechazar H_o

Conclusión estadística

- Naftaleno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de naftaleno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.84 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.19 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías para la parcela (p-valor=0.01461<0.05), profundidad (p-valor= 3.160E-03<0.05) e interacción (p-valor= 0.00452<0.05) son estadísticamente significativos.
- Acenafteno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Acenafteno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (p-valor= 0.41 >0.05) y homocedasticidad (p-valor= 0.16 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías para la parcela (p-valor=0.04132<0.05), profundidad (p-valor= 3.160E-03<0.05) e interacción (p-valor= 0.00615 <0.05) son estadísticamente significativos.
- Fluoreno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Fluoreno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.38 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.15 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías para la parcela (p-valor=0.00561<0.05), profundidad (p-valor= 3.870E-05<0.05) e interacción (p-valor= 0.000495<0.05) son estadísticamente significativos.

- Fenantreno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Fenantreno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.59 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.37 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías para la profundidad (p-valor= 4.580E-07<0.05) e interacción (p-valor= 0.00694<0.05) son estadísticamente significativos, mientras que la parcela (p-valor=0.06367>0.05) no es estadísticamente significativa.
- Antraceno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Antraceno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.87 >0.05),) y homocedasticidad (P-valor= 0.12 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías para la parcela (p-valor=0.01664<0.05), profundidad (p-valor= 2.820E-05<0.05) e interacción (p-valor= 0.00393<0.05) son estadísticamente significativos.
- Fluoranteno: Para realizar los análisis estadísticos se transformaron los datos con Log_{10}, debido a que no cumplió con los supuestos requeridos por el ANOVA. Posterior a ello se volvió a realizar las pruebas correspondientes en los que si cumplió con los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro Wilk, p-valor=0.37>0.05) y homocedasticidad (Levene p-valor=0.36>0.05). Luego se realizó el ANOVA que es significativo para profundidad (p-valor= 5.230E-13<0.05), mientras que para la parcela e interacción no fueron significativos con un p-valor de 0.5230, 0.1120 respectivamente.
- Pireno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Pireno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.22 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.41 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías, que es significativo para profundidad (p-valor= 8.230E-07<0.05), mientras que para la parcela e interacción no fueron significativos con un p-valor de 0.2780, 0.0550 respectivamente.
- Benzo(a)antraceno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Benzo(a)antraceno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.90 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.20 >0.05); En relación al ANOVA de dos vías, que es significativo para profundidad (p-valor= 7.360E-06<0.05), mientras que para la parcela e

interacción no fueron significativos con un p-valor de 0.28730, 0.09820 respectivamente.

- Criseno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Criseno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.22 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.68 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías, que es significativo para profundidad (p-valor= 6.350E-06<0.05), mientras que para la parcela e interacción no fueron significativos con un p-valor de 0.0580, 0.255 respectivamente.
- Benzo(b)fluoranteno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Benzo(b)fluoranteno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.17 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.15 >0.05). En relación al ANOVA de dos vías, que es significativo para profundidad (p-valor= 2.310E-05<0.05), mientras que para la parcela e interacción no fueron significativos estadísticamente con un p-valor de 0.1710, 0.4060 respectivamente.
- Benzo(k)fluoranteno: Para realizar los análisis estadísticos se transformaron los datos con Log_{10}, debido a que no cumplió con los supuestos requeridos por el ANOVA. Posterior a ello se volvió a realizar las pruebas correspondientes en los que si cumplió con los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro Wilk, p-valor=0.39>0.05) y homocedasticidad (Levene p-valor=0.60>0.05). Luego se realizó el ANOVA que es significativo para profundidad (p-valor= 8.710E-04<0.05), mientras que para la parcela e interacción no fueron significativos estadísticamente con un p-valor de 0.110, 0.285 respectivamente.
- Dibenzo(a,h)antraceno: La variable de respuesta correspondiente a la concentración de Dibenzo(a,h)antraceno en el suelo, cumplió con los supuestos de: normalidad (P-valor= 0.41 >0.05) y homocedasticidad (P-valor= 0.75 >0.05). Luego se realizó el ANOVA que no es significativo para profundidad (p-valor= 9.660E-02<0.05), parcela (p-valor= 0.7146 <0.05) e interacción (p-valor= 0.1857<0.05) no fueron significativos.

4.1.9. Clasificación de la contaminación por HAP en los suelos

Dado que la concentración de HAP en los suelos aún no está regulada en Perú, se aplicó el criterio canadiense para suelos (CCME, 2010)para evaluar el nivel de contaminación del suelo por HAP en relación con los valores objetivo aceptables de la concentración de HAP para suelos agrícolas en este estudio. La Tabla 24 indicó que las concentraciones de Na, Ace, Fluo, Phe, Ant e Pyr, B(a)ant, Chr, B(b)fla, B(k)fla, DB (ah)ant, estaban todas dentro de los valores objetivo en las muestras de suelo. Sólo Fla estaba por encima de los valores objetivo en el suelo según las concentraciones de HAP recomendadas en la normativa de Canadá para suelos agrícolas, superando dos veces la concentración recomendada.

Tabla 24

Limite canadiense para HAPs

HAPs	**Valor Límite Canadiense (ngg^{-1})**	**3-Meses n= 36**
Na	100	13.34
Ace	100	3.20
Fluo	100	0.83
Phe	100	4.54
Ant	100	0.26
Fla	100	225.05
Pyr	100	1.29
B(a)ant	100	0.09
Chr	100	0.33
B(b)fla	100	0.32
B(k)fla	100	0.08
DB(ah)ant	100	18.54

Nota. Comparación del valor limite canadiense vs los valores obtenidos a partir del estudio.

V. CONCLUSIONES

Los suelos de los pastos impactados por la quema presentan 12 de los 15 HAPs estudiados, principalmente HAPs de bajo peso molecular. Entre los 12 PAHs encontrados en las muestras de suelo, se encontró una mayor concentración de Acenafteno, Naftaleno y Fluoreno.

La mayor concentración se encuentra en la superficie, seguida de las profundidades de 10, 20 y 30 cm (759.634, 157.992, 85.863 y 68.044 ng g^{-1}, respectivamente). Los ∑12PAHs en superficie en T1 (669,74 ng g^{-1}) y T2 (759,63 ng g^{-1}) indican que la unidad de estudio está moderadamente contaminada ya que presentan valores medios entre 600-1000 μg kg^{-1}.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar otras técnicas para la remoción de pastos como el segado manual, debido a que el área que se destina como forraje para el ganado es pequeña.

Se recomienda realizar un próximo estudio analizado los pastizales donde se realiza esta práctica, para dar continuidad con los estudios de investigación, de esta manera se podrá evaluar si es que los HAPs son absorbidos por los pastizales.

VII. REFERENCIAS

Abballe, C., Gomes, F. M. L., Lopes, B. D., de Oliveira, A. P. F., Berto, M. I., Efraim, P., & Tfouni, S. A. V. (2021). Cocoa beans and derived products: Effect of processing on polycyclic aromatic hydrocarbons levels. *LWT*, *135*, 110019. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110019

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, *25*(1), 107–123. https://doi.org/10.1016/J.EJPE.2015.03.011

Arbeli, Z. (2009). BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP): I. EL CASO DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB) Biodegradation Of Persistent Organic Pollutants (POPs): I The Case Of Polychlorinated Biphenyls (PCB). In *Acta biol. Colomb* (Vol. 14, Issue 1). http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_sp.pdf

Astudillo S, S. (2003). *COPs -Contaminantes Organicos Persistentes*.

Binello, A., Cravotto, G., Menzio, J., & Tagliapietra, S. (2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee samples: Enquiry into processes and analytical methods. *Food Chemistry*, *344*, 128631. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128631

Boobis, A. R., Cohen, S. M., Dellarco, V. L., Doe, J. E., Fenner-Crisp, P. A., Moretto, A., Pastoor, T. P., Schoeny, R. S., Seed, J. G., & Wolf, D. C. (2016). Classification schemes for carcinogenicity based on hazard-identification have become outmoded and serve neither science nor society. *Regulatory Toxicology and Pharmacology : RTP*, *82*, 158–166. https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2016.10.014

Cai, T., Ding, Y., Zhang, Z., Wang, X., Wang, T., Ren, Y., & Dong, Y. (2019). Effects of total organic carbon content and leaching water volume on migration behavior of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils by column leaching tests. *Environmental Pollution*, *254*, 112981. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.112981

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2010). *CARCINOGENIC AND OTHER POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHs)*.

CCME. (2010). *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*. https://ccme.ca/en/res/polycyclic-aromatic-hydrocarbons-2010-canadian-soil-quality-guidelines-for-the-protection-of-environmental-and-human-health-en.pdf

CENEPRED. (2018). *Escenario de riesgo por incendios forestales*.

CENEPRED. (2019). *Escenario de riesgo por incendios forestales*. 1–50.

Chen, J., He, L. X., Cheng, Y. X., Ye, P., Wu, D. L., Fang, Z. Q., Li, J., & Ying, G. G. (2020). Trace analysis of 28 antibiotics in plant tissues (root, stem, leaf and seed) by optimized QuEChERS pretreatment with UHPLC-MS/MS detection. *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, *1161*. https://doi.org/10.1016/J.JCHROMB.2020.122450

Choi, S. D. (2014a). Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire. *Science of the Total Environment*, *470–471*, 1441–1449. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.100

Choi, S. D. (2014b). Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire. *Science of the Total Environment*, *470–471*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.100

Donnai, D. (2001). Congenital Disorders. *Encyclopedia of Genetics*, 448–449. https://doi.org/10.1006/RWGN.2001.0264

Duan, L., Naidu, R., Thavamani, P., Meaklim, J., & Megharaj, M. (2015). Managing long-term polycyclic aromatic hydrocarbon contaminated soils: a risk-based approach. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(12), 8927–8941. https://doi.org/10.1007/S11356-013-2270-0

Elías Castells X. (2012). *Diccionario de términos ambientales*. Ediciones Díaz de Santos.

Eriksson, M., Dalhammar, G., & Borg-Karlson, A. K. (2000). Biological degradation of selected hydrocarbons in an old PAH/creosote contaminated soil from a gas work site. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *53*(5), 619–626. https://doi.org/10.1007/S002530051667

Esen, F., Siddik Cindoruk, S., & Tasdemir, Y. (2008). Bulk deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an industrial site of Turkey. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, *152*(2), 461–467. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2007.05.031

Faboya, O. L., Sojinu, S. O., Oguntuase, B. J., & Sonibare, O. O. (2020). Impact of forest fires on polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and stable carbon isotope compositions in burnt soils from tropical forest, Nigeria. *Scientific African*, *8*. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00331

Farfán Loaiza, R. D., & Farfán Tenicela, E. R. (2012). *Producción de pasturas cultivadas y manejo de pastos naturales altoandinos*.

Gabos, S., Ikonomou, M. G., Schopflocher, D., Fowler, B. R., White, J., Prepas, E., Prince, D., & Chen, W. (2001). Characteristics of PAHs, PCDD/Fs and PCBs in sediment following forest fires in northern Alberta. *Chemosphere*, *43*(4–7), 709–719. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00424-0

García-Falcón, M. S., Soto-González, B., & Simal-Gándara, J. (2006). Evolution of the concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in burnt woodland soils. *Environmental Science and Technology*, *40*(3), 759–763. https://doi.org/10.1021/es051803v

Godlewska, P., Ok, Y. S., & Oleszczuk, P. (2021). THE DARK SIDE OF BLACK GOLD: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 403). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123833

Godoi, A. F. L., Ravindra, K., Godoi, R. H. M., Andrade, S. J., Santiago-Silva, M., Van Vaeck, L., & Van Grieken, R. (2004). Fast chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol samples from sugar cane burning. *Journal of Chromatography A*, *1027*(1–2), 49–53. https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2003.10.048

Huang, Y., Wei, J., Song, J., Chen, M., & Luo, Y. (2013). Determination of low levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by high performance liquid chromatography with tandem fluorescence and diode-array detectors. *Chemosphere*, *92*(8), 1010–1016. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2013.03.035

Ifegwu, O. C., & Anyakora, C. (2015). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Part I. Exposure. *Advances in Clinical Chemistry*, *72*, 277–304. https://doi.org/10.1016/BS.ACC.2015.08.001

International Agency for Research on Cancer. (2016). *Agents Classified by the IARC Monographs , Volumes 1 – 116*. *026148*, 1–36.

Intramed. (2010). *ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS.*

IntraMed. (2021). *¿Qué es la genotoxicidad? - Artículos - IntraMed*. https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoid=47111

Karp, A. T., Holman, A. I., Hopper, P., Grice, K., & Freeman, K. H. (2020). Fire distinguishers: Refined interpretations of polycyclic aromatic hydrocarbons for paleo-applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *289*, 93–113. https://doi.org/10.1016/J.GCA.2020.08.024

Keshtkar, H., & Ashbaugh, L. L. (2007). Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate emission factors from agricultural burning. *Atmospheric Environment*, *41*(13), 2729–2739. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2006.11.043

Kim, E. J., Choi, S. D., & Chang, Y. S. (2011). Levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils after forest fires in South Korea. *Environmental Science and Pollution Research*, *18*(9), 1508–1517. https://doi.org/10.1007/s11356-011-0515-3

Kim, E. J., Oh, J. E., & Chang, Y. S. (2003). Effects of forest fire on the level and distribution of PCDD/Fs and PAHs in soil. *Science of The Total Environment*, *311*(1–3), 177–189. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00095-0

Košnář, Z., Mercl, F., & Tlustoš, P. (2020). Long-term willows phytoremediation treatment of soil contaminated by fly ash polycyclic aromatic hydrocarbons from straw combustion. *Environmental Pollution*, *264*, 114787. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114787

Lai, C. H., Chen, K. S., & Wang, H. K. (2009). Influence of rice straw burning on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural county of Taiwan. *Journal of Environmental Sciences*, *21*(9), 1200–1207. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62404-3

Liao, X., Liu, Q., Li, Y., Gong, X., & Cao, H. (2019). Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from different soil fractions by persulfate oxidation. *Journal of Environmental Sciences*, *78*, 239–246. https://doi.org/10.1016/J.JES.2018.10.001

Ma, L., Li, Y., Yao, L., & Du, H. (2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil-turfgrass systems in urban Shanghai: Contamination profiles, in situ bioconcentration and potential health risks. *Journal of Cleaner Production*, *289*, 125833. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.125833

Maliszewska-Kordybach, B. (1996). Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. *Applied Geochemistry*, *11*(1–2), 121–127. https://doi.org/10.1016/0883-2927(95)00076-3

Mallah, M. A., Changxing, L., Mallah, M. A., Noreen, S., Liu, Y., Saeed, M., Xi, H., Ahmed, B., Feng, F., Mirjat, A. A., Wang, W., Jabar, A., Naveed, M., Li, J. H., & Zhang, Q. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overeview. *Chemosphere*, *296*, 133948. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133948

MINAM, M. del ambiente. (2014). *Guia para el muestreo de suelos* . https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf

Mojiri, A., Zhou, J. L., Ohashi, A., Ozaki, N., & Kindaichi, T. (2019). Comprehensive review of polycyclic aromatic hydrocarbons in water sources,

their effects and treatments. *Science of The Total Environment*, *696*, 133971. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.133971

Mullan-Boudreau, G., Belland, R., Devito, K., Noernberg, T., Pelletier, R., & Shotyk, W. (2017). Sphagnum Moss as an Indicator of Contemporary Rates of Atmospheric Dust Deposition in the Athabasca Bituminous Sands Region. *Environmental Science and Technology*, *51*(13), 7422–7431. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B06195/SUPPL_FILE/ES6B06195_SI_001.PDF

Núñez, E., de la Cruz, H., & Proaño, R. (2018). *Buenas prácticas para la recuperación de pastizales de altura* (CONDESAN).

Onopiuk, A., Kołodziejczak, K., Marcinkowska-Lesiak, M., & Poltorak, A. (2022). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons using different extraction methods and HPLC-FLD detection in smoked and grilled meat products. *Food Chemistry*, *373*, 131506. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131506

Orazi, M. M., Arias, A. H., Oliva, A. L., Ronda, A. C., & Marcovecchio, J. E. (2020). Characterization of atmospheric and soil polycyclic aromatic hydrocarbons and evaluation of air-soil relationship in the Southwest of Buenos Aires province (Argentina). *Chemosphere*, *240*, 124847. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.124847

Pabon-Zamora, L., Bezaury, J., Leon, F., Stolton, S., Groves, A., Mitchell, S., Dudley, N., Biológico, C., Atlántico, D. E. L., Eduardo, E., Abello, A., Unalm, P., CONDE, S., Parques, A. De, Octubre, N., Juber, G. J., Molinari, L. R., Uribelarrea, I. D., Humanos, P. A., … T, J. G. M. (2004). Manejo de praderas naturales altoandinas, la experiencia del anexo de mayumbamba en la comunidad de cucuchiray, provincia de paruro . *Ecología Aplicada*, *14*(2), 161.

Ramos-Galarza, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, *10*(1), 1–7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

Shi, Y., Wu, H., Wang, C., Guo, X., Du, J., & Du, L. (2016). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee and tea samples by magnetic solid-

phase extraction coupled with HPLC–FLD. *Food Chemistry*, *199*, 75–80. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.11.137

Siemering, G. S., & Thiboldeaux, R. (2021). Background concentration, risk assessment and regulatory threshold development: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Milwaukee, Wisconsin surface soils. *Environmental Pollution*, *268*, 115772. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115772

Sirithian, D., Thepanondh, S., Laowagul, W., & Morknoy, D. (2017). Atmospheric dispersion of polycyclic aromatic hydrocarbons from open burning of agricultural residues in Chiang Rai, Thailand. *Air Quality, Atmosphere and Health*, *10*(7), 861–871. https://doi.org/10.1007/S11869-017-0476-X/METRICS

Sojinu, O. S., Sonibare, O. O., & Zeng, E. Y. (2011). Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of a mangrove forest affected by forest fire. *Toxicological and Environmental Chemistry*, *93*(3), 450–461. https://doi.org/10.1080/02772248.2010.532130

Tames, M. F., Tavera Busso, I., & Carreras, H. A. (2019). OPTIMIZED METHOD FOR PARTICULATE MATTER-ASSOCIATED POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS DETERMINATION. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *35*(2), 387–395. https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.10

Vergnoux, A., Malleret, L., Asia, L., Doumenq, P., & Theraulaz, F. (2011). Impact of forest fires on PAH level and distribution in soils. *Environmental Research*, *111*(2), 193–198. https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.01.008

Wang, C., Wang, Y., & Herath, H. M. S. K. (2017). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar – Their formation, occurrence and analysis: A review. *Organic Geochemistry*, *114*, 1–11. https://doi.org/10.1016/J.ORGGEOCHEM.2017.09.001

Wawra, A., Friesl-Hanl, W., Puschenreiter, M., Soja, G., Reichenauer, T., Roithner, C., & Watzinger, A. (2018). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in a mixed contaminated soil supported by phytostabilisation, organic and

inorganic soil additives. *Science of The Total Environment*, *628–629*, 1287–1295. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.02.156

Zhang, Y., Qu, C., Qi, S., Zhang, Y., Mao, L., Liu, J., Qin, S., & Yang, D. (2021). Spatial-temporal variations and transport process of polycyclic aromatic hydrocarbons in Poyang Lake: Implication for dry–wet cycle impacts. *Journal of Geochemical Exploration*, *226*, 106738. https://doi.org/10.1016/J.GEXPLO.2021.106738

VIII. ANEXOS

Actividades realizadas	Imagen
ETAPA DE MONITOREO DE SUELO 1^{era} COLECTA	
Delimitación de las unidades de muestreo (P1, P2 y P3) en el Centro Poblado de Somoa, distrito de Carumas.	
Quema intencional de los pastizales, combustión incompleta, en el Centro Poblado de Somoa, distrito de Carumas.	
Recolección de las muestras de suelo del blanco de matriz (sin presencia de HAPs)	

Recolección de muestras después de la quema intencional de los pastizales	
Zona de estudio quemada, en el Centro Poblado de Somoa, distrito de Carumas.	
Humedecimiento de mantas para prevenir la propagación del fuego en los pastizales.	

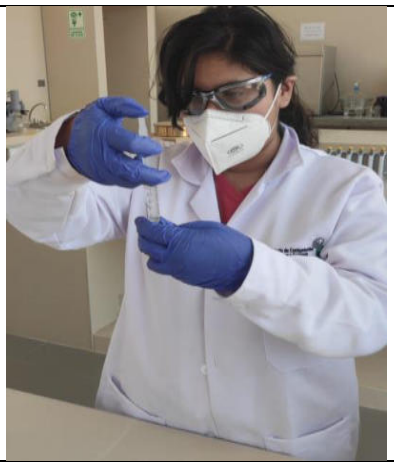
Cuarteo de las muestras de suelo para su posterior análisis	
Muestras de suelo codificadas después de la quema de los pastizales.	
Control de la quema intencional de los pastizales mediante telas húmedas.	

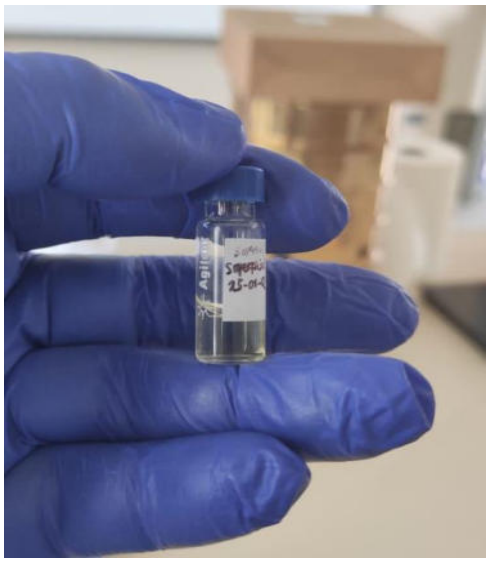
Pastizales en plena combustión incompleta	
Recolección del blanco de matriz de una zona aledaña con características similares a las unidades de estudio	
ETAPA DE MONITOREO DE SUELO 2do MONITOREO	
Calicatas de 30 cm de largo, 30 de ancho y 30 cm de altura	

Se procedió a recoger las muestras de suelo cada 10 cm, desde abajo hacia arriba	
Cuarteo de las muestras extraídas de las calicatas.	
Muestras recolectadas de la superficie, 10, 20 y 30 cm de profundidad	
ETAPA DE LABORATORIO	

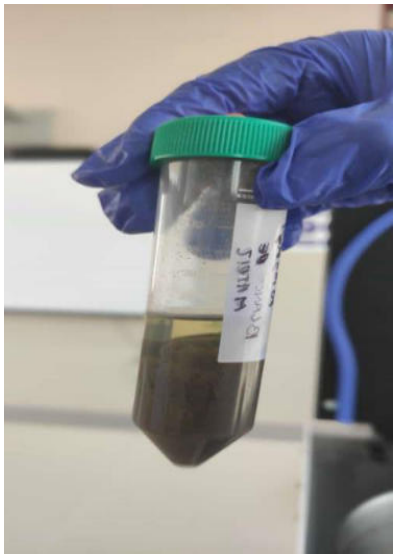
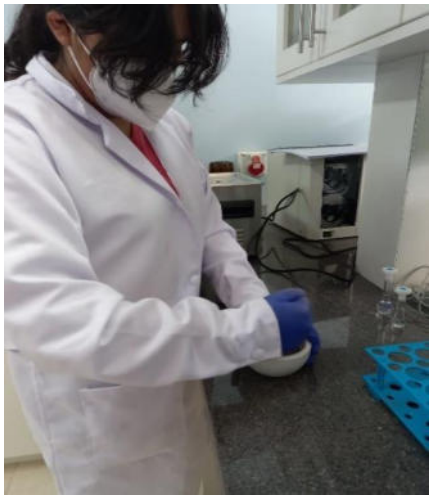
Las muestras de sacaron de la refrigeradora para luego ser homogenizadas	
Vertido de las muestras de suelo para su posterior homogenización	
Homogenización de las muestras de suelo	

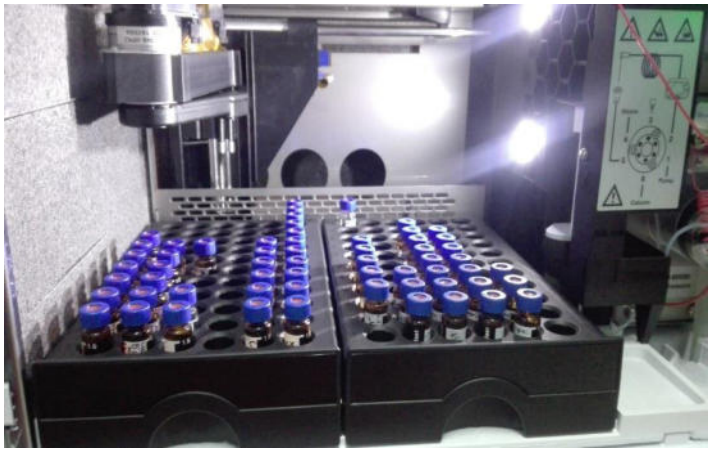
Cuarteo de la muestra de suelo	
Cuarteo de la muestra de suelo	
Las muestras de suelo se colocaron bandejas de aluminio	

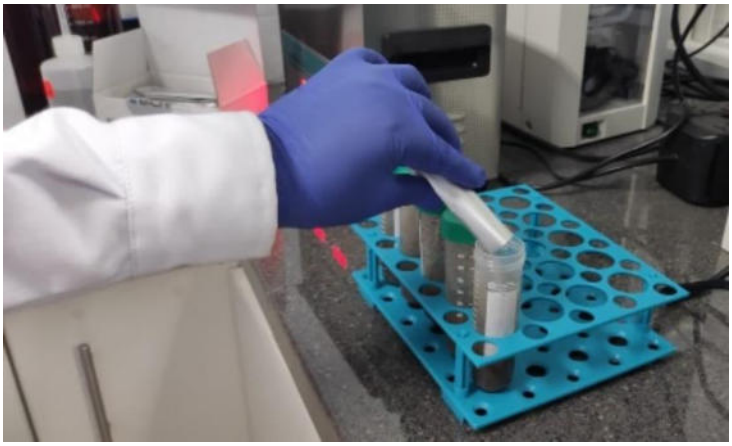
Muestras de suelo en bandejas de aluminio	
Filtrado de la alícuota de los tubos QuEChERS al vial	
Filtrado de la muestra de los tubos de 2ml	

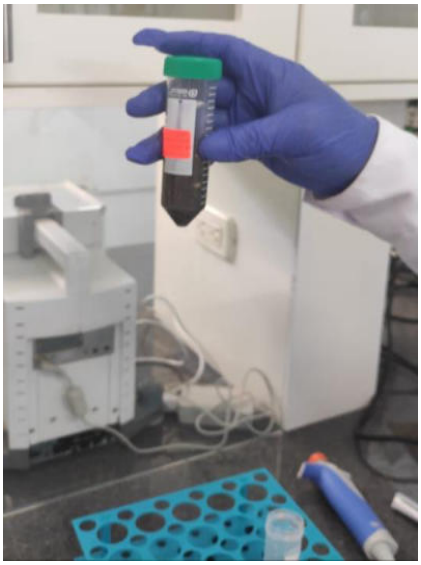
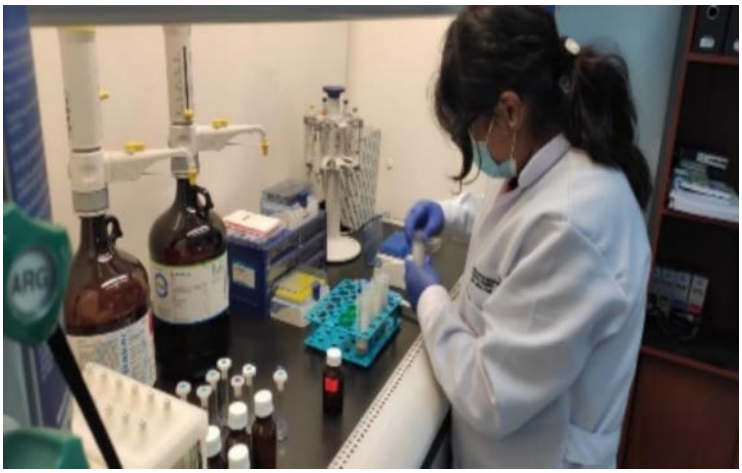
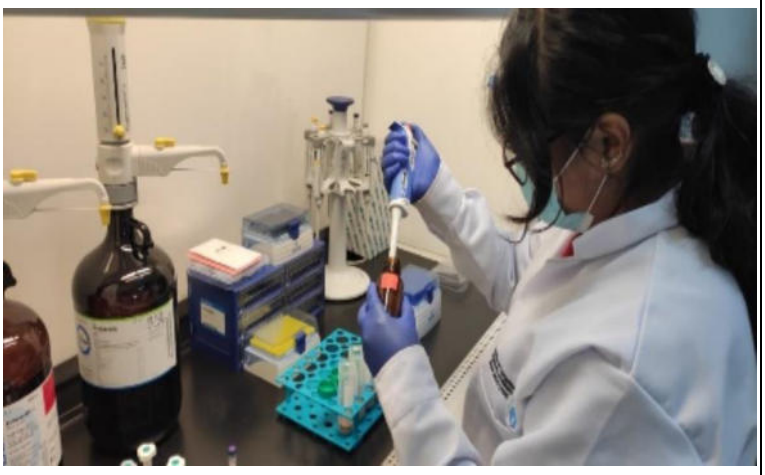
Vial de las muestras con HAPs para ser analizadas	
Centrifuga para separar la parte sólida (suelo) de la líquida (ACN+HAPs)	
Vortex de los tubos QuEChERS	

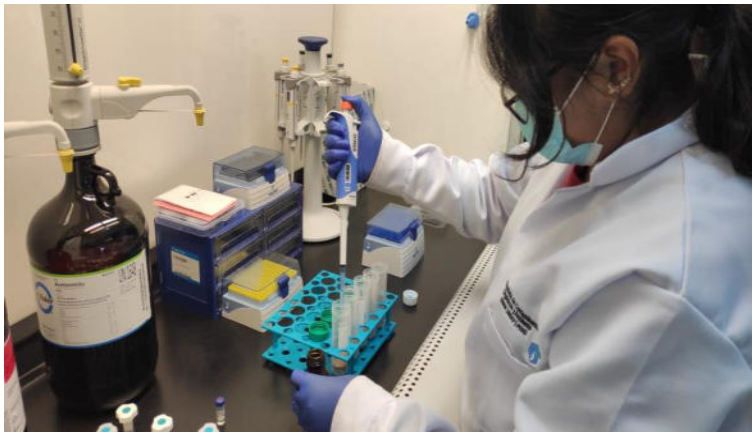
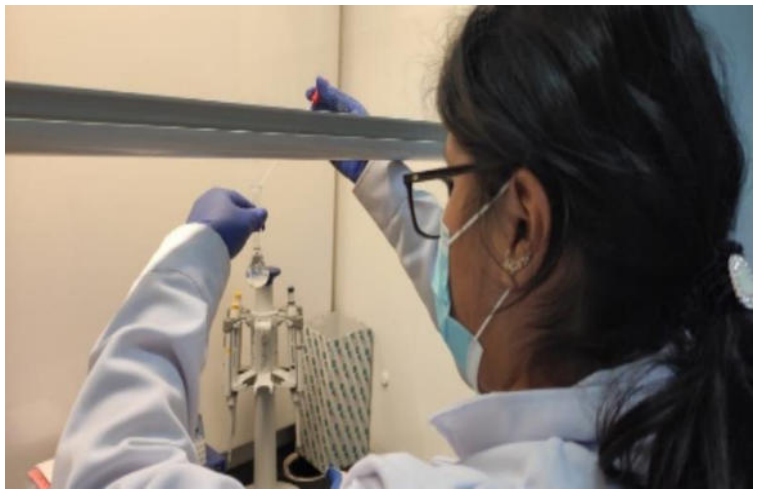
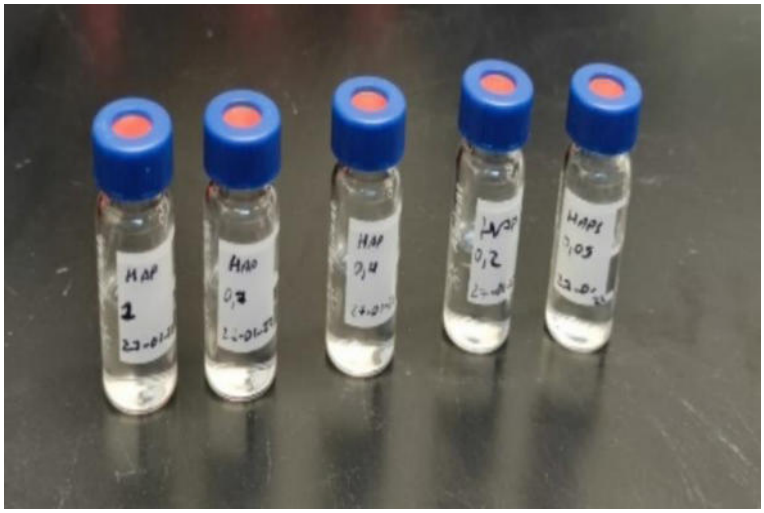
Tubos QuEChERS de limpieza (2ml)	
Extracción de la alícuota (1ml) de los tubos de 50 ml	
Tubos de extracción de 50 ml	

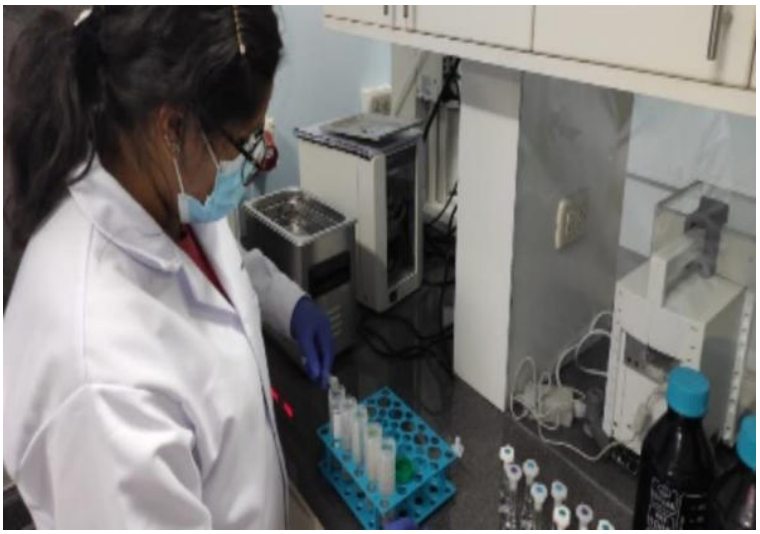
Separación de la muestra solida de la líquida	
Moliendo el suelo para luego ser pesado	
Pesado del suelo (10 g) en balanza analítica	

Moliendo las muestras de suelo	
Viales para ser analizados	
Tubos en la centrifugadora a 3500 rpm por 5 minutos.	

Vortex del tubo de 50 ml	
Sonicación de los tubos de 50 ml por 30 minutos a 30°	
Se añadieron las sales de sulfato	

Tubos QuEChERS con sales	
Fortificación de los blancos de matriz	
Fortificación con 5ulml^{-1} del mix de 16 HAPs	

Se fortifico con 1 ml del mix	
Preparación de las soluciones de la curva de calibración	
Viales de la curva de calibración	

Se virtieron las sales en los tubos de 50 m	
Sales QuEChERS para extracción de HAPs	

GLOSARIO

HAPs:	Hidrocarburos Aromáticos Policíclcios
(K_{OW}):	Coeficiente de reparto octanol-agua
IARC:	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
Na:	Naftaleno
Ace:	Acenafteno
Acy:	Acenaftileno
Fluo:	Fluoreno
Phe:	Fenantreno
Ant:	Antraceno
Fla:	Fluoranteno
Pyr:	Pireno
B(a)ant:	Benzo(a)antraceno
Chr:	Criseno
B(b)fla:	Benzo(b)fluoranteno
B(k)fla:	Benzo(k)fluoranteno
B(a)pyr:	Benzo(a)pireno
DB(ah)ant:	Dibenzo(a,h)antraceno
B(ghi)p):	Benzo(ghi)perileno
Ind:	indeno(1,2,3-cd)pireno
HPLC:	Cromatografia Líquida de alta ultra eficiencia
FLD:	Detector de fluorescencia
DAD:	Dectector de arreglo de Diodos

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Anyela Pierina Vega Quispe
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 72780641
Correo electrónico : anyelapierina_2000_13@hotmail.com
Teléfono/Celular : 941 083 786

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestria ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. **TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)**

   a) Tesis (X)
   b) Trabajo de Investigación ( )
   c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
   d) Trabajo académico ( )

5. **DATOS DE LA PUBLICACION**

   a) Título : Evaluación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en suelos impactados por quema de pastos naturales en el centro poblado de Somoa, distrito de Carumas
   b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
   c) Fecha de publicación : .....

6. **DATOS DEL ASESOR:**

   a) Nombres y Apellidos : Franz Elrena Vilca
   b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01341834
   c) ORCID : 0000 - 0002 - 4534 - 0733

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72780641
NOMBRES Y APELLIDOS : Angela Pierina Vega Quispe

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72780641

NOMBRES Y APELLIDOS : Anyela Pierina Vega Quispe

FECHA : 04/02/2024



Document Information

Analyzed document	informe final de tesis Anyela P Vega Q.pdf (D166936165)
Submitted	5/15/2023 4:30:00 AM
Submitted by	franz
Submitter email	fzirenav@unam.edu.pe
Similarity	3%
Analysis address	fzirenav.unampe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-B9CN4Z/1/disserta__o_henrique_final__1_.pdf
Fetched: 1/17/2022 12:09:32 AM — 2

W URL: https://dtdapps.coloradodot.info/staticdata/Downloads/TrafficDatabase/CDOT_Traffic2016.xlsx
Fetched: 6/19/2021 2:16:25 PM — 1

SA **1631613730_Hidrocarburos aromatico policiclicos COMPLETO..pdf**
Document 1631613730_Hidrocarburos aromatico policiclicos COMPLETO..pdf (D112546865) — 2

SA **palma morocho nathaly lab clini 1a.docx**
Document palma morocho nathaly lab clini 1a.docx (D13626395) — 2

Entire Document

1 UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL " EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs) EN SUELOS IMPACTADOS POR QUEMA DE PASTOS NATURALES EN EL CENTRO POBLADO DE SOMOA, DISTRITO DE CARUMAS" TESIS Presentado por: Anyela Pierina Vega Quispe Asesor: Dr. Franz Zirena Vilca
Para optar el título Profesional de: Ingeniero Ambiental MOQUEGUA – PERÚ 2022

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA Nº 740-2024-UNAM/CO

Moquegua, 06 de noviembre de 2024

LA COMISIÓN ORGANIZADORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de fecha 06 de noviembre de 2024; PROVEÍDO N° 11804 y 11819-2024 de fecha 05 y 06 de noviembre de 2024 emitido por la Presidencia de la Comisión Organizadora; INFORME N° 561 y 564-2024-UNAM-CO-P/SG de fecha 05 y 06 de noviembre de 2024 emitido por la Secretaria General; CARTA Nº 177 y 180-2024-GYT/UNAM-PCAS de fecha 04 y 06 de noviembre de 2024 emitido por el Área de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero Ambiental y demás documentos que escoltan el expediente administrativo, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, de conformidad con la Ley N° 28520 de fecha 23/05/2005, se creó la Universidad Nacional de Moquegua, cuyo artículo 1º dispone: "créase la Universidad Nacional de Moquegua como persona jurídica de derecho público interno, con sede en la ciudad de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua". Asimismo, a través de la Resolución del Consejo Directivo N° 103-2017-SUNEDU/CD, el Concejo Directivo de la SUNEDU, le otorgó la Licencia Institucional a la Universidad Nacional de Moquegua; la misma que fue modificada a través de la Resolución del Consejo Directivo N° 135-2022-SUNEDU/CD;

Que, el artículo 29° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, establece que, aprobada la ley de creación de una universidad pública, el Ministerio de Educación (MINEDU), constituye una Comisión Organizadora integrada por tres (3) académicos de reconocido prestigio, que cumplan los mismos requisitos para ser Rector (…). Esta Comisión tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que, de acuerdo a la presente Ley, le correspondan";

Que, mediante Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU de fecha 31/01/2024, se reconformó la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua, integrada por los académicos: Dr. Jorge Lázaro Franco Medina, como Presidente; Dr. Edwin Molina Porcel, como Vicepresidente Académico y Dr. Avid Roman Gonzalez, como Vicepresidente de Investigación;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad.** En el caso de la Universidad Nacional de Moquegua, dada su condición y naturaleza, corresponde ejercer dicha atribución a la Comisión

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

///... **Resolución de Comisión Organizadora N° 740-2024-UNAM/CO**

Organizadora quien hace las veces de Consejo Universitario, disposición relacionada con la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis** o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410, 453 y 890-2022; N° 880-2023 y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Cartas N° 177 y 180-2024-GYT/UNAM-PCAS, el Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, el expediente de tres (3) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quien se encuentran aptas para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental por la modalidad de sustentación de tesis, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, razón por la cual la Secretaría General a petición de la PCO incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Comisión Organizadora de fecha 06 de noviembre de 2024;

Que, se ha establecido como atribución de la Comisión Organizadora de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del

---

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:

a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

///... **Resolución de Comisión Organizadora Nº 740-2024-UNAM/CO**

Secretario General y debatido el caso en Sesión Ordinaria de fecha 06 de noviembre de 2024, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, por la modalidad de la Sustentación de Tesis, a tres (3) Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua**;

Que, estando en uso de las facultades y atribuciones conferidas en el artículo 18° de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 30220, Ley Universitaria; el Documento Normativo denominado: "Disposiciones para la Constitución y Funcionamiento de las Comisiones Organizadoras de las Universidades Públicas en proceso de Constitución", aprobado mediante la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias, y en la Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU, así como en el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua y demás normas concordantes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a los Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1. **SOLANGEL MERCEDES HUANCA HUAYTA**

   TESIS : "VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO URBANO AMBIENTAL QUE BRINDAN LOS PARQUES Y JARDINES EN LA URBANIZACIÓN LUIS E. VALCARCEL VIZCARRA PAMPA INALÁMBRICA DE LA PROVINCIA DE ILO", cuyo Asesor fue el Dr. Alejandro Manuel Ecos Espino.

2. **ANA CLAUDIA ABISH CUEVA MAMANI**

   TESIS : "DETERMINAR LA RELACIÓN ENTRE LA HUELLA DE CARBONO Y LOS CONOCIMIENTOS, ACTITUDES Y PRÁCTICAS EN LOS ESTUDIANTES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS -UNAM 2023", cuyo Asesor fue el Dr. Milko Raul Rivera Campano.

3. **ANYELA PIERINA VEGA QUISPE**

   TESIS : "EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs) EN SUELOS IMPACTADOS POR QUEMA DE PASTOS NATURALES EN EL CENTRO POBLADO DE SOMOA, DISTRITO DE CARUMAS" cuyo Asesor fue el Dr. Franz Zirena Vilca.

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondiente para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a todas las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

///... **Resolución de Comisión Organizadora Nº 740-2024-UNAM/CO**

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.

DR. JORGE LAZARO FRANCO MEDINA
Presidente de la Comisión Organizadora
Universidad Nacional de Moquegua

ABOG. KEVIN YUVER CHIHUAN QUISPE
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA