



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
MENCIÓN FÍSICA**

TESIS

**ATRIBUCIÓN ELEMENTAL DE MACRO Y MICRO MINERALES EN
QUINUA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) Y
ESPECTROSCOPIA LASER (LIBS)**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS
MENCIÓN FÍSICA**

AUTOR

Br. HERMELINDA HANAMPA ROQUE

ASESOR:

Mg. MARCO ANTONIO ZAMALLOA JARA
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7216-4659

CO ASESOR:

Dra. CELINA LUÍZAR ÓBREGON
CÓDIGO ORCID: 0000-0001-9340-9478

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: ATRIBUCIÓN ELEMENTAL DE MACRO Y MICRO MINERALES EN QUINUA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) Y ESPECTROSCOPIA LASER (LIBS)

presentado por: HERMELINDA HANAMPA RODRIGUEZ con DNI Nro.: 24002998 presentado por: — con DNI Nro.: — para optar el título profesional/grado académico de MAESTRO EN CIENCIAS MENCION FÍSICA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 14 de Noviembre de 2024



Firma

Post firma Marco Antonio Zamalloa Jara

Nro. de DNI 06445847

ORCID del Asesor 0000-0002-7216-4659

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:391215310

NOMBRE DEL TRABAJO

ATRIBUCION ELEMENTAL DE MACRO Y MICRO MINERALES DE QUINUA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) Y ESPE

AUTOR

HERMELINDA HANAMPA ROQUE

RECUENTO DE PALABRAS

31413 Words

RECUENTO DE CARACTERES

157453 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

167 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.3MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 11, 2024 9:45 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 11, 2024 9:47 AM GMT-5**● 5% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 13 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **ATRIBUCIÓN ELEMENTAL DE MACRO Y MICRO MINERALES EN QUINUA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) Y ESPECTROSCOPIA LASER (LIBS)** de la Br. Br. HERMELINDA HANAMPA ROQUE. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **TREINTA DE OCTUBRE DE 2024**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de **MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA**.

Cusco, 12 de Noviembre del 2024

DRA. JONNY TELLO YARIN
Primer Replicante

DRA. SALINOVA CARRILLO SEGURA
Segundo Replicante

DR. OSWALDO LUIZAR OBREGON
Primer Dictaminante

DR. SANTIAGO SONCCO TUMPI
Segundo Dictaminante

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Juvenal y Carmen por su motivación y gran amor, a mi esposo Justino por su comprensión y por darme seguridad y amor en todo momento; a mis hijos Flor de América, María Alejandra y Leónidas Alejandro, por su comprensión, aliento, amor y fuerza que me brindaron todos los días en el proceso y culminación de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, por permitirme energía positiva y llegar con toda mi fuerza a esta etapa de mi vida.

A mi esposo, a mis tres hijos por su apoyo y comprensión en cada momento del desarrollo de esta tesis.

Agradezco a mi asesor Mg. Marco A. Zamalloa Jara y mi Co asesora Dra. Celina Luízar Óbregón, por su apoyo y guía incondicional para el desarrollo de esta tesis.

De manera especial a mis docentes y amigos, porque sin apoyo de ellos no hubiese sido posible terminar esta tesis.

Dr. Raul Pastor Chura Serrano

Dr. David Choque Quispe

Mg. Yanet Gonzales

Mg. María Luisa Loayza Cerón

Mg. Yanet Kimberly Rodríguez Rodríguez

A todos los integrantes del Laboratorio de espectroscopía no Destructiva LEOnOD- UNSAAC

A todos los integrantes del Laboratorio de Química Orgánica- UNSAAC

Finalmente, a mi Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE.....	iii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xiii
ABSTRAC	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Situación problemática.....	1
1.2. Formulación del problema	1
1.3. Justificación de la investigación	2
1.4. Objetivos de la investigación.....	3
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	5
2.1. Bases teóricas.....	5
2.1.1. Quíinoa.....	5
2.1.1.1. Origen e historia de la quinua	5
2.1.1.2. Descripción de la quinua.....	5
2.1.1.3. Saponina.....	6
2.1.1.4. Tipos de quinua.....	7
2.1.1.5. Macronutrientes y micronutrientes	8
2.1.1.5.1. Macronutrientes.....	8
2.1.1.5.2. Micronutrientes.	8
2.1.1.5.3. Minerales.....	8
2.1.2. Física de los rayos X (R x).....	11

2.1.2.1.	Origen y naturaleza de rayos X.....	11
2.1.2.2.	Los rayos X (RX).....	12
2.1.2.3.	Producción de rayos X.....	15
2.1.2.3.1.	Radiación de espectro continuo.....	15
2.1.2.3.2.	Emisión de radiación característica.....	16
2.1.2.4.	Interacción de los rayos-X con la materia.....	19
2.1.2.4.1.	Atenuación de los rayos X con la materia.....	19
2.1.2.4.2.	Dispersión coherente (efecto Rayleing).....	20
2.1.2.4.3.	Dispersión de Compton (dispersión incoherente).....	20
2.1.2.4.4.	Absorción fotoeléctrica (Efecto fotoeléctrico).....	21
2.1.3.	Fundamentos básicos de fluorescencia de rayos X (FRX).....	22
2.1.3.1.	Análisis por fluorescencia de Rx.....	23
2.1.3.2.	Fluorescencia.....	24
2.1.3.2.1.	Intensidad promedio de los haces e intensidad promedio del haz 2.....	26
2.1.3.2.2.	Intensidad de Fondo (IB).....	27
2.1.3.2.3.	Intensidad de Pico (IP).....	27
2.1.3.2.4.	Reglas Para Confirmar los Picos más Pronunciados.....	28
2.1.3.3.	Espectros.....	28
2.1.3.3.1.	Componentes del Espectro.....	29
2.1.4.	Fundamentos básicos de espectroscopia laser (LIBS).....	29
2.1.4.1.	Laser.....	31
2.1.4.1.1.	Producción de Radiación Laser.....	31
2.1.4.1.2.	Láser de Neodimio - YAG.....	32
2.1.4.1.3.	Plasma.....	33
2.1.4.1.4.	Ablación Láser.....	34

2.1.4.1.5.	Umbral de Ablación.	34
2.1.4.1.6.	Ablación con Láseres de Pulsos Cortos.	34
2.1.4.2.	Sistema óptico.....	35
2.1.4.2.1.	Lentes y espejos (óptica geométrica).....	35
2.1.4.2.2.	Fibra Óptica.....	37
2.1.4.3.	Espectrómetro	38
2.1.4.4.	Procesamiento de la señal	39
2.1.4.4.1.	Líneas Espectrales	39
2.1.4.4.2.	Espectro de Emisión.....	39
2.2.	Antecedentes empíricos de la investigación (Estado de arte).....	40
2.2.1.	Antecedentes internacionales.....	40
2.2.2.	Antecedentes nacionales	43
3.	CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	45
3.1.	Hipótesis	45
3.2.	Identificación de variables e indicadores *	45
3.3.	Operacionalización de variables *	45
4.	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	46
4.1.	Materiales.....	47
4.1.1.	Materiales usuales.....	47
4.1.2.	Reactivos.....	47
4.1.3.	Equipos	48
4.1.3.1.	Especificación del espectrómetro de FRX portátil DELTA PREMIUN	48
4.1.3.2.	Especificación del espectrómetro LIBS.....	48
4.2.	Ámbito de estudio, tipo de investigación y unidad de análisis.....	49
4.3.	Población de estudio, tamaño de muestra	50
4.4.	Técnicas para la selección de muestra	50
4.4.1.	Obtención de las muestras	51

4.4.2.	Selección, lavado y secado de las muestras	51
4.4.3.	Procedimiento para la molienda.....	53
4.5.	Metodología para la técnica FRX	55
4.5.1.	Diseño de porta muestra para análisis de pequeñas cantidades de grano de quínu	55
4.5.1.1.	Acondicionamiento de las jeringas	55
4.5.1.2.	Optimización de la metodología analítica.....	56
4.5.2.	Técnica de recolección de datos experimentales con el software Innov-X DELTA	57
4.5.2.1.	Recolección de datos de los porta muestras: jeringa, sin film y con film.....	59
4.5.2.2.	Recolección de datos variando la altura y volumen de la muestra (quinua).....	59
4.5.2.3.	Obtención de datos de las muestras de quinua en grano y polvo de Paruro, Anta y Cusco. 61	
4.5.3.	Técnicas de análisis e interpretación de los datos medidos del espectro y concentración elemental por FRX.	61
4.5.3.1.	Análisis e interpretación de espectros.....	61
4.5.3.2.	Técnica de análisis e interpretación de la concentración elemental (PPM).....	63
4.5.4.	Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas	65
4.6.	Metodología para la técnica LIBS	65
4.6.1.	Procedimiento para la fabricación del porta muestras	65
4.6.2.	Procedimiento para el prensado de las pastillas de la muestra	66
4.6.3.	Técnicas de recolección de datos experimentales con la técnica LIBS	67
4.6.3.1.	Recolección de datos de la muestra de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta 68	
5.	CAPÍTULO V: RESULTADOS Y CONCLUSIÓN	69
5.1.	Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados por la técnica FRX y LIBS. 69	

5.1.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultado de los minerales de la quinua amarilla por la técnica FRX.....	69
5.1.1.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados.....	69
5.1.1.1.1. Datos del espectro	69
5.1.1.1.2. Datos de la concentración elemental (PPM)	83
5.1.2. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultado de los minerales que contiene la quinua amarilla lavado en pastilla proveniente de Anta por la técnica LIBS	93
5.1.3. Comparación de los elementos de la quinua amarilla de Paruro, Anta y Cusco, medidos por las técnicas FRX y LIBS.....	103
5.2. Prueba de hipótesis	105
5.3. Presentación de resultados	106
5.3.1. Macro y micro minerales de la quinua amarilla de la región Cusco medidos por las técnicas: (FRX) y (LIBS).	106
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	109
ANEXO.....	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Promedio de minerales que contiene la quinua por varios autores	7
Tabla 2.2 Números cuánticos	18
Tabla 4.1 Resumen del lavado y secado de las muestras de Paruro, Anta y Cusco	52
Tabla 4.2 Tabla de códigos	53
Tabla 4.3 Resumen de la molienda de las muestras de quinua	54
Tabla 4.4 Altura y volumen del grano de quinua	60
Tabla 4.5 Resumen del prensado de las pastillas	67
Tabla 5.1 Intensidad (cps) de los elementos de quinua amarilla sin lavar y lavado en polvo y grano de Paruro, Anta y Cusco	72
Tabla 5.2 Intensidad de la diferencia entre la quinua de PA00LP y PA06LP (intensidad de salvado)	76
Tabla 5.3 Intensidad de la diferencia entre la quinua de AN00LP y AN06LP (intensidad de saponina)	77
Tabla 5.4 Intensidad de la diferencia entre la quinua de CU00LP y CU06LP (intensidad de saponina)	78
Tabla 5.5 Porcentaje general de concentración elemental de la quinua apto y no apto para el consumo	89
Tabla 5.6 Concentración de los elementos de quinua de las provincias de Cusco y otros granos	92
Tabla 5.7 Elementos y cantidad de líneas espectrales que contiene la quinua amarilla lavada en pastilla de Anta	102
Tabla 5.8 Minerales de quinua lavada de Paruro, Anta y Cusco de la región Cusco identificadas con la técnica FRX Y LIBS	104

Tabla 5.9 Minerales identificados por la técnica FRX, LIBS y literatura actual	105
Tabla 5.10 Macro y micro minerales de la quinua amarilla de la región Cusco por las 2 técnicas FRX Y LIBS	106
Tabla I.1 Elementos e Intensidad de las Porta muestras	133
Tabla I.2 Concentración Elemental (PPM) de la porta muestras	133
Tabla I.3 Elementos, intensidad y concentración elemental de la porta muestras	134

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Planta de quinua	6
Figura 2.2 Partes de la semilla de quinua	6
Figura 2.3 Espectro electromagnético	14
Figura 2.4 Producción de radiación Bremsstrhlung.....	15
Figura 2.5 Rayos X característico.....	16
Figura 2.6 Transiciones electrónicas parciales, asociadas a las líneas de emisión K y L.....	17
Figura 2.7 Atenuación de RX en la muestra	19
Figura 2.8 Efecto Compton.....	21
Figura 2.9 Proceso del efecto fotoeléctrico	22
Figura 2.10 Geometría de excitación de la muestra y detección de la radiación.....	23
Figura 2.11 Esquema del proceso de fluorescencia	24
Figura 2.12 Configuración del armado de la técnica LIBS	30
Figura 2.13 elementos de un laser	32
Figura 2.14 Esquema de un láser de estado sólido de Nd:YAG	33
Figura 2.15 Cráteres generados por ablación con láseres de pulso corto según	35
Figura 2.16 Partes de una fibra óptica	37
Figura 2.17 Componentes de un espectrómetro.....	38
Figura 2.18 Espectro LIBS de quinua.....	40
Figura 4.1 Esquema del trabajo de investigación	46
Figura 4.2 Mapa de las zonas de muestreo en las provincias de Paruro, Anta y Cusco	49
Figura 4.3 Cuarteo de la muestra	50
Figura 4.4 Muestras de Quinua sin Lavar y Lavada de las tres Provincias	52

Figura 4.5 Mortero y pilón.....	54
Figura 4.6 Muestras de quinua molidas sin lavar y lavada de las tres provincias de la region Cusco.....	55
Figura 4.7 Construcción del porta muestras	56
Figura 4.8 Porta muestras cubiertas con uno, dos y tres capas de films plásticos por la base....	57
Figura 4.9 Esquema de recolección de información por la técnica FRX.	58
Figura 4.10 <i>Esquema de la disposición experimental de la técnica FRX</i>	58
Figura 4.11 Sector analizado en los porta muestras.....	59
Figura 4.12 Disparo de RX para diferentes altura o volumen de quinua entera (CU00LE).....	60
Figura 4.13 Porta muestra de acero inoxidable.....	65
Figura 4.14 Muestra en la prensa hidráulica.....	66
Figura 4.15 Pastillas de las muestras de quínua.....	67
Figura 4.16 Esquema de recolección de información por la técnica LIBS.....	68
Figura 5.1 Curva de calibración en energía	70
Figura 5.2 Espectro de quinua amarilla sin lavar en polvo con código (PA00LP),.....	71
Figura 5.3 Intensidad de elementos de quinua sin lavar y lavado en grano y polvo de las provincias de:	73
Figura 5.4 Intensidad de la quinua sin lavar y lavada en polvo de Paruro	76
Figura 5.5 <i>Intensidad de la quinua sin lavar y lavada en polvo de Anta</i>	77
Figura 5.6 Intensidad de la quinua sin lavar y lavada en polvo de Cusco	78
Figura 5.7 Intensidad I(cps) de los elementos de la quinua lavada en polvo de las 3 provincias de la región Cusco.....	80
Figura 5.8 Intensidad total de los minerales de las 3 provincias	82

Figura 5.9 Concentración (PPM) de elemento de la quinua amarilla en: a)) grano y b) polvo. ..	84
Figura 5.10 Concentración (PPM) de elemento de quinua amarilla en grano y polvo, de Anta .	85
Figura 5.11 Concentración (PPM) de elemento de la quinua amarilla en a) polvo y b) grano, de Cusco.....	86
Figura 5.12 Concentración elemental (PPM) de la quinua sin lavar y lavado en polvo de Paruro, Anta y Cusco.....	88
Figura 5.13 Concentración (PPM) de los elementos de quinua lavada en polvo de las 3 provincias.....	90
Figura 5.14 Concentración total (ppm) de los minerales de las 3 provincias.....	92
Figura 5.15 Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta	94
Figura 5.16 a) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 180 - 370nm	96
Figura I.0.1 Espectros de las Porta muestras a) Espectro de la porta muestra sin film (aire + jeringa).....	130
Figura I.0.2 Intensidad y concentración elemental que contiene la porta muestras	135

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium Quinoa Willdenow*) es un cereal de alto valor nutricional, originario de los andes del Perú, catalogado por la FAO como un cultivo prometedor para afrontar la desnutrición en el mundo. Existe una falta de información específica sobre los valores de macro y micro minerales de la quinua amarilla en la región Cusco, usando técnicas avanzadas como la Fluorescencia de rayos X (FRX) y la Espectroscopía Láser (LIBS). Es por esto que el objetivo de la investigación es determinar los macro y micro minerales de la quinua amarilla de las provincias de Paruro, Anta y Cusco, por las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y confirmar con Espectroscopia Láser (LIBS).

Se obtuvieron doce muestras representativas de quinua amarilla de: Yaurisque (Paruro), pampa de Anta (Anta) y microcuenca de Quesermayo (Cusco), sin lavar y lavada, de las cuales enteras y molidas, todas pertenecientes a la region Cusco. Los resultados con la técnica FRX, se obtuvieron los macro minerales Ca, K, S, y los micro minerales Fe, Mn, Cu y Zn, y confirmados con la técnica LIBS. Además la técnica LIBS identificó los macrominerales Mg, Na y P, porque la resolución de medición de LIBS es mayor comparado con la técnica FRX.

Los resultados de las muestras de quinua analizadas muestran que los macro y micro minerales son los mismos que los reportados en la literatura científica por otras técnicas espectroscópicas. Además, mostramos que el Zn se encuentra en mayor concentración comparado con cebada, kiwicha, arroz, maíz y chía. El contenido de Fe es mayor comparado con arroz, maíz y cebada, y aproximadamente igual al grano de trigo.

Esperando que estos resultados apoyen la promoción de quinua amarilla en la region y el país como un alimento integral en la dieta diaria, con beneficios significativos para la salud pública.

Palabras clave: Quinoa, Chenopodium Quinoa Willd, Macro minerales, Micro minerales, FRX,
LIBS

ABSTRAC

Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willdenow*) is a cereal with high nutritional value, native to the Andes of Perú, cataloged by the FAO as a promising crop to combat malnutrition in the world. There is a lack of specific information on the macro and micro mineral values of yellow quinoa in the Cusco region, using advanced techniques such as X-ray Fluorescence (XRF) and Laser Spectroscopy (LIBS). This is why the objective of the research is to determine the macro and micro minerals of yellow quinoa from the provinces of Paruro, Anta and Cusco, using X-ray Fluorescence (XRF) techniques and confirm with Laser Spectroscopy (LIBS).

Twelve representative samples of yellow quinoa were obtained from: Yaurisque (Paruro), Pampa de Anta (Anta) and micro-basin of Quesermayo (Cusco), unwashed and washed, of which whole and ground, all belonging to the Cusco region. The results with the XRF technique, the macro minerals K, Ca, S, and the micro minerals Fe, Mn, Cu and Zn were obtained, and confirmed with the LIBS technique. Furthermore, the LIBS technique identified the microminerals Mg, Na and P, because the measurement resolution of LIBS is greater compared to the XRF technique.

The results of the quinoa samples analyzed show that the macro and micro minerals are the same as those reported in the scientific literature by other spectroscopic techniques. Furthermore, we show that Zn is found in higher concentration compared to barley, kiwicha, rice, corn and chia. The Fe content is higher compared to rice, corn and barley, and approximately equal to wheat grain.

We hope that these results support the promotion of yellow quinoa in the region and the country as an integral food in the daily diet, with significant benefits for public health.

Keywords

Quinoa, *Chenopodium Quinoa Willd*, Macro minerals, Micro minerals, FRX, LIBS

INTRODUCCIÓN

La quíinoa es un pseudocereal considerado como el grano de oro consumido en la sociedad andina y considerado como la salvación del hambre en el mundo (Chaudhary et al., 2023; Singh, 2019) por que contiene una concentración en minerales considerados como macro y micro minerales esenciales para mantener el sistema óseo del hombre (Pedrali et al., 2023).

La quinua por tener alto contenido en proteínas, fibras y minerales, baja presencia en gluten, y apta para personas diabéticas, como también está catalogada como el grano que podría ser un grano que sería clave en una eventual colonización de marte (Ramirez & Cia S.A., 2024), de ahí que se le ha considerado en investigaciones actuales a nivel mundial (De la Cruz, Jesus, 2023; Pedrali et al., 2023; Ramirez & Cia S.A., 2024; Villacrés et al., 2022) .

Por tanto el objetivo de esta investigación es determinar los macro y micro minerales que contienen los granos de quíinoa de las provincias de Paruro, Anta y Cusco, todas pertenecientes a la región Cusco. Esta composición fue identificada por las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y confirmados por Espectroscopía Laser (LIBS).

El presente trabajo de investigación se dividió en cinco capítulos descritos a continuación:

El capítulo1 trata sobre el planteamiento del problema, en los cuales se abordó la situación problemática, formulación del problema, justificación y objetivos de la investigación.

En el capítulo 2 se abordó el marco teórico conceptual, donde se aborda la definición, origen e historia, descripción y tipos de la quinua, macro y micro nutrientes en la salud; se define también el origen y naturaleza de los rayos X, su producción e interacción con la materia, así como los fundamentos básicos de FRX y LIBS, como también el estado de arte.

En el capítulo 3 se plantean las hipótesis y variables.

En el capítulo 4 se describe la metodología, materiales, ámbito de estudio y tipo de investigación, población de estudio y tamaño de muestra, como también se presenta la metodología de la técnica FRX y el procedimiento para confirmar los minerales usando espectroscopía laser (LIBS). y finalmente en el capítulo 5 se muestra el tratamiento de los resultados y su discusión, los cuales aborda procesamiento, análisis e interpretación y discusión de los resultados por la técnica FRX y confirmados por la técnica LIBS, y se presentan las conclusiones finales así como las recomendaciones y anexo.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

La quinua es un pseudocereal según (Pedrali et al., 2023) muy nutritivo con origen de los andes del Perú que crece desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m. cuya historia data de 7000 AC; en 1996 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la consideró un cultivo muy importante de la humanidad que resolverá problemas de desnutrición y salud en nuestro planeta. La NASA también la incluyó dentro del sistema CELLS (en español: Sistema ecológico de Apoyo de Vida Controlado) para solucionar los problemas de insuficiente ingesta de proteínas según (Schlick & Bubenheim, 1993) y el año 2013 se consideró el “Año Internacional de la Quinua” por la ONU y la FAO por su alto valor nutricional. La quinua se clasifica en cinco tipos y 21 variedades, contiene macronutrientes (proteína, grasa, carbohidratos y fibras) y micronutrientes (minerales y vitaminas). Existe información en la literatura científica sobre la presencia de los minerales Mg, K, Ca, P, Na, Fe, Cu, Pb, Mn, Li y Zn que contiene la quinua medidos por Espectroscopía de Absorción Atómica (Pedrali et al., 2023; Villacrés et al., 2022) y minerales Ca, Fe, K, P entre otros por espectroscopía infrarroja en la región cercana (González Martín et al., 2014) y por otras técnicas los minerales Ca, Mg, K, P y otros, en donde se resalta que la quinua contiene en mayor concentración los minerales Ca, Mg, P, K y Fe comparado con los minerales Ca, Mg, Na, K, P, Fe, Cu, Pb, Mn, Li y Zn de algunos cereales como el trigo, arroz, avena y maíz. Estos minerales son muy necesarios para la actividad normal de los seres vivos y se clasifican en macrominerales (Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S) y micro minerales (Fe, Zn, I, Se, F, Mn, Cr, Cu Mo).

Investigaciones anteriores (Chaudhary et al., 2023; de Lescano & Aco, 2014; Pedrali et al., 2023; Villacrés et al., 2022) utilizaron técnicas para medir los valores nutritivos de

macronutrientes (proteínas, agua, grasa, carbohidratos) y micronutrientes (minerales, vitaminas) de la quinua, pero no específicamente los macro y micro minerales con técnicas: Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Espectroscopia láser (LIBS) por sus siglas en inglés, Laser Induced Break Down Spectroscopy (Zamalloa Jara et al., 2018) en la Región Cusco.

1.2. Formulación del problema

a) Problema general

Pregunta fundamental ¿Podrá medirse los valores de la concentración de macro y micro minerales de la quinua amarilla de las provincias de Paruro, Anta y de la microcuenca Quesermayo - Cusco por las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Espectroscopía Láser (LIBS)?

b) Problemas específicos

- ¿Obtener la composición elemental de la quinua amarilla de las muestras analizadas de las provincias de Paruro, Anta y Cusco por FRX y LIBS?
- ¿Identificar los minerales presentes en quinua amarilla de las provincias de Paruro, Anta y Cusco por la técnica FRX y LIBS?
- ¿Cuáles son los macro y micro minerales de la quinua amarilla de las provincias de Paruro, Anta y Cusco medidos por FRX y LIBS?

1.3. Justificación de la investigación

La quinua es un producto de alto valor nutricional, considerado como superalimento. Generar información detallada sobre sus componentes minerales a través de técnicas avanzadas como la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y la Espectroscopía Láser (LIBS) puede aumentar la competitividad de este producto, permitiendo a los productores locales obtener mejores precios y acceder a mercados más exigentes, donde la certificación de calidad es crucial.

La caracterización precisa de los minerales presentes en la quinua cultivada en dichas provincias puede ayudar a optimizar prácticas agrícolas sostenibles. Al entender mejor las necesidades nutricionales del cultivo y los contenidos minerales del suelo, se pueden implementar técnicas de manejo más eficaces, minimizando el uso de fertilizantes químicos y reduciendo el impacto ambiental negativo.

El uso de las técnicas FRX y LIBS para la medición de minerales es una innovación relevante para la investigación agrícola. Estas técnicas permiten obtener resultados con alta precisión y rapidez, lo cual es esencial para investigaciones futuras y la validación de métodos de análisis en el sector agroalimentario. Además, la información generada contribuirá a llenar un vacío en la literatura científica, promoviendo nuevos estudios que puedan mejorar el valor de la quinua, desde su producción hasta su venta en el mercado, y fortaleciendo la posición de la UNSAAC-Cusco como un referente en la investigación.

1.4. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar los macro y micro minerales de la quinua amarilla de las provincias de Paruro, Anta y Microcuenca de Quesermayo (Cusco) por las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y confirmar con Espectroscopia Láser (LIBS)

Objetivos específicos

- Medir la composición elemental de la quinua amarilla de las muestras analizadas de las provincias de Paruro, Anta y Cusco por la técnica FRX y LIBS.
- Determinar los valores de los minerales que contienen la quinua amarilla proveniente de Paruro, Anta y Micro cuenca de Quesermayo (Cusco) medidos por la técnica FRX y confirmar con la técnica LIBS.

- Determinar los macro y micro minerales que contiene la quinua amarilla de Paruro, Anta y Micro cuenca de Quesermayo - Cusco, medidos por la técnica FRX y LIBS.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Quínuas

2.1.1.1. Origen e historia de la quínuas

El origen de la quínuas es Perú y Bolivia; donde la mayor region de cultivo, como también la mayor cantidad de progenitores silvestres y la mayor diversidad genética se encuentra a los alrededores del lago Titicaca (Apaza et al., 2013; Jacobsen, 2017; Pedrali et al., 2023).

La historia de la quínuas data de aproximadamente de unos 5000 a 7000 a.C. según (Jacobsen, 2017) , en la época incaica a la quínuas consideraban, como el grano madre porque sabían que contenía nutrientes y que crecía en suelos pobres desde el nivel del mar hasta los 4000 m s.n.m , pero con la llegada de los españoles, fue despreciada y reemplazada con el trigo y cebada, pero luego, en los años de 1800 a 1970 la quínuas a pesar de su desprecio por los españoles, seguía cultivado en los andes más alejados para la alimentación de la raza indígena(Singh, 2019), luego la quínuas ha sido tomado interés por los científico y nutricionistas por el alto valor de macro y micronutrientes que contenía, hasta que en la actualidad es un superalimento considerado por la FAO en nuestro planeta tierra(De la Cruz, Jesus, 2023; Pedrali et al., 2023).

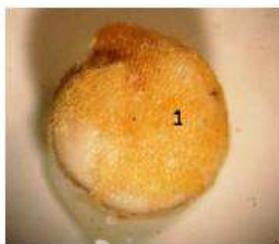
2.1.1.2. Descripción de la quínuas

La quínuas es una planta dentro de la familia de los Chenopodeaceae (Apaza et al., 2013) de la especie (*Chenopodium Quinoa Willdenow*), su tamaño es de 0.6 m a 3 m de altura. Se produce durante un periodo de 8 a 9 meses, y posee; un tallo recto, hojas de color (verde, púrpura, amarillo), maduro inflorescencia, flores, fruto y semilla como se muestra en la (Figura 2.1).

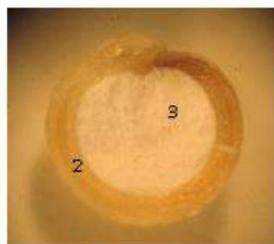
Figura 2.1*Planta de quinua*

Nota: Planta de quinua según (Apaza et al., 2013)

La semilla es el grano maduro llamado quinua de forma esférica con diámetro de aproximadamente 1 a 2 mm que presentan 3 partes bien definidas según (Apaza et al., 2013; Chaudhary et al., 2023), como se muestra en la(Figura 2.2), y cuyas partes de esta semilla son: episperma (pericarpio),embrión y epispermo.

Figura 2.2*Partes de la semilla de quinua*

1. Episperma del grano



2. Embrión, 3. Perisperma

Fuente: Figura extraída de (Bergesse et al., 2015).

2.1.1.3. Saponina.

Es una sustancia amarga que se encuentra en el epispermo de la quinua, se caracteriza por la formación de espumas. Físicamente su color varia de parduzco claro a incoloro y debe ser eliminado mediante lavados con agua u otras técnicas para ser consumido, el contenido de saponinas oscila entre el 0,1 y el 5% (Tanwar et al., 2019).

2.1.1.4. Tipos de quinua

Las plantas de quinua se caracterizan según el lugar donde crecen, las semillas varían de color (rojas, amarillas, negras, naranjas, verdes grises, rosas o moradas), que cambian debido a la presencia de saponina y contenido fenólico en la cáscara. Hasta la actualidad existen más de 1800 variedades y 120 especies (Tanwar et al., 2019).

El grano de la quinua contiene un alto valor nutritivo por ser un grano andino, este valor nutritivo contiene macronutrientes (proteínas, grasa, fibra, lípidos, hidratos de carbono) y micronutrientes (minerales, vitaminas) los cuales necesita el organismo del ser humano para su desarrollo, en la (Tabla 2.1) se presenta los valores promedio de los minerales medidos por varios autores (Angeli et al., 2020; Chaudhary et al., 2023; Tanwar et al., 2019; Villacrés et al., 2022).

Tabla 2.1

Promedio de minerales que contiene la quinua por varios autores

Mineral	Quinua (PPM)
Ca	1681
Mg	2228
Na	564
K	4576
P	4141
Fe	90
Cu	24
Mn	144
Zn	29
Ni	8
Pb	3
Hg	0.54
Se	0.36

Fuente: Elaboración propia a partir de la literatura convencional (PPM = 1 mg/kg)

La quíinoa contiene los minerales descritos en la tabla (Tabla 2.1) en un nivel superior a los cereales (cebada, trigo, arroz, etc.) según (Chaudhary et al., 2023).

Las semillas de quíinoa tienen un nivel total de azufre (S) de 150 a 220 mg/100g, que es similar a la cantidad de Ca, K, P o Mg de (Chaudhary et al., 2023).

2.1.1.5. Macronutrientes y micronutrientes

2.1.1.5.1. Macronutrientes.

Las (proteínas, grasas, hidratos de carbono, agua) proveen energía (cal) para un buen funcionamiento del organismo, es muy importante para reparar y desarrollar la estructura orgánica el crecimiento, reparación y desarrollo de estructura orgánicas como también la regulación de procesos metabólicos, el organismo del ser humano necesita mayor cantidad de macronutrientes, porque contiene en las proteínas los aminoácidos esenciales (NorthShore Foundation, 2023; Welthy Magazine, 2023)

2.1.1.5.2. Micronutrientes.

Los micronutrientes (vitaminas y minerales) no proporcionan energía y son poco esenciales para el organismo, pero eso no quiere decir que deja de ser importante porque ayuda al funcionamiento del organismo (Alvarez & Peláez, 2020; Organización Panamericana de la Salud, 2023; Welthy Magazine, 2023).

2.1.1.5.3. Minerales.

Son elementos inorgánicos muy importantes para el funcionamiento del cuerpo humano, se encuentran en los tejidos, dientes y huesos, ejercen varias funciones fisiológicas y reacciones metabólica como también regulan los fluidos corporales. Estos minerales en el cuerpo humano son, P, Mg, Ca, K, Na, Cl, S, Fe, I, Mn, Cu, Ni, Cu, F y Se (Alvarez & Peláez, 2020), algunos

minerales se necesitan en menor cantidad, pero de vital importancia para el metabolismo. Estos a su vez se dividen en:

a) **Macro minerales:**

Los macrominerales que se encuentran en el cuerpo humano son: Ca, K, P, S, Mg, Na, Cl (FoodPyramid, 2015; NorthShore Foundation, 2023).

Calcio (Ca)

El calcio es crucial para los tejidos duros, así de tejidos blandos. Además, facilita la transmisión nerviosa, el equilibrio hormonal y las contracciones vasculares. La ingesta diaria recomendada de calcio varia: entre 500-800 mg/día para niños y entre 1000-1300 mg/día para adultos. La falta de Ca puede aumentar la fragilidad ósea, especialmente en mujeres menopaúsica y adultos (FoodPyramid, 2015; NorthShore Foundation, 2023).

Potasio (K). El potasio es un catión importante en el metabolismo energético, ya que activa enzimas de la glucólisis y de la cadena respiratoria. También es esencial para el transporte de membrana (National Institutes of Health, 2022). La ingesta diaria por el organismo es de 0,4–3,8 g/día para niños y de 4,5 – 5,1 g/día para adultos (FoodPyramid, 2015; NorthShore Foundation, 2023).

Fósforo (P). Es crucial para el funcionamiento del cuerpo humano. Es muy solicitado por las células y se almacena en los tejidos duros, ADN, membranas celulares. Los adultos deben consumir 700 mg/día; 1250 mg/día los niños y adolescentes; 450 - 500 mg/día los niños entre 1 y 8 años; y 100-275 mg/día en bebés de 0 a 12 meses (Azcona, 2013; FoodPyramid, 2015; NorthShore Foundation, 2023).

Azufre(S). Se encuentra en moléculas de proteínas y se presenta en los alimentos como parte de las proteínas (NorthShore Foundation, 2023).

El S es necesarios para sintetizar proteínas. También participa en varias reacciones metabólicas. La poca ingesta de S puede afectar a nuestra salud, este mineral también se usa en la industria, como en la producción de ácido sulfúrico, jabón de azufre, agua sulfurada, fungicida de plagas y caucho” (ZSCHIMMER & SCHWARZ ESPAÑA, S.L.U., 2020).

Magnesio (Mg). Es un mineral multifuncional que aporta a la nutrición. El Mg se almacena en los huesos, en la sangre y músculos para mantener el ritmo cardiaco constante, presión arterial equilibrada, relajar los músculos y la producción de energía en las células. Trabaja junto al Ca para organizar el desarrollo saludable y proporciona fuerza a los huesos (FoodPyramid, 2015).

Sodio (Na). Es un mineral vital que se disuelve en agua y transporta una carga eléctrica. Este mineral se encuentra dentro, como también alrededor de cada célula. Además, el sodio es esencial para la transmisión de señales nerviosas (FoodPyramid, 2015).

Micro mineral. Estos minerales se encuentran en cantidades muy pequeñas y comprenden: hierro, cobre, manganeso, zinc, yodo, selenio, flúor, cromo, níquel y molibdeno (FoodPyramid, 2015; NorthShore Foundation, 2023).

Hierro. Mineral muy necesario por el cuerpo humano, lo cual sirve para fabricar la hemoglobina, mioglobina, hormonas y el tejido conectivo (FoodPyramid, 2015; National Institutes of Health, 2022).

Cuando disminuye el Fe almacenado en el cuerpo, se produce la anemia (National Institutes of Health, 2022).

Cobre (Cu). Es un mineral que produce energía, desarrolla los tejidos conectivos que ayudan el rendimiento de los huesos, cartílagos y vasos sanguíneos; el cobre es más efectivo cuando trabaja juntamente con hierro. El cobre se almacena en el cerebro y músculo (FoodPyramid, 2015; National Institutes of Health, 2022; NorthShore Foundation, 2023; Welthy Magazine, 2023).

Manganeso (Mn). Funciona como metalo-enzima y como activador enzimático. El cuerpo utiliza al manganeso para producir energía, proteger las células, apoyar la reproducción, fortalecer los huesos, facilitar la coagulación de la sangre y mantener el sistema inmunológico estable.

La ingesta de manganeso es de acuerdo a la edad y sexo según (National Institutes of Health, 2022).

Zinc. El Zn está presente en las células del cuerpo y contribuye en el crecimiento y desarrollo corporal, cicatrización de heridas (FoodPyramid, 2015; National Institutes of Health, 2022; NorthShore Foundation, 2023).

2.1.2. Física de los rayos X (Rx)

2.1.2.1. Origen y naturaleza de rayos X

Los rayos x (RX) fue descubierto en el año 1895 por el Físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) en la Universidad de Wúrzbugo – Baviera (Alemania). Mientras realizaba un experimento con tubos de descarga para estudiar los rayos catódicos, a pesar de que el tubo estaba bien cubierto con cartulina negra, al aumentar la velocidad (acelerar) a los electrones en alto voltaje dentro del tubo al vacío, donde los electrones en el interior de un tubo golpeaban una superficie metálica, observó la emisión de unos rayos de luz débiles en una pantalla fluorescente de platino-cianuro de bario que no correspondían a ningún tipo de radiación conocida hasta entonces. Por tanto, la denominó rayos X (Fuente M., 2015; Valentinuzzi, 2008).

La naturaleza de los RX generó discusiones en los científicos, por tanto empezaron a trabajar sobre los fenómenos que pudieran ocurrir con los RX, Barkla en el año 1906 realizando los experimentos sobre dispersión encontró de que los rayos X se polarizaban, por lo tanto fueron consideradas ondas. Por otro lado, los estudios realizados por Bragg señalaban que tenían comportamiento corpuscular.

(Valentinuzzi, 2008) indica, que Barkla y Sadler dedujeron en base a experimentos realizados sobre dispersión, que los RX contenían componentes característicos de la muestra; y esos componentes han sido nombrados como K y L. Cuatro años después Laue, Friedrich y Knipping demostraron la difracción de los RX por un cristal, por tanto se confirmó la naturaleza ondulatoria, luego Bragg determinó la ley de la reflexión.

Después de los experimentos realizados y aportes teóricos, los rayos X se clasificó dentro del espectro electromagnética con alta frecuencia y energía pero con baja longitud de onda.

2.1.2.2. Los rayos X (RX).

Son una radiación electromagnética¹ ionizante que se encuentra dentro del espectro electromagnético (Figura 2.3) entre el UV y los Rayos gamma. Los RX están descritos como ondas electromagnéticas con una longitud de onda de 0.01 a 10 nm, y como haces de fotones con una determinada energía de 125 eV a 125 keV (Brouwer, 2010). Los RX son conducidos por relaciones cuánticas cuando interactúan con la materia cuya relación se indica en la (ecuación 2.1) y Los fenómenos que se producen son: la difracción, absorción y la dispersión.

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad 2.1$$

Donde

h : Constante de Planck ($6.6254 \times 10^{-34} Js$)

c : Velocidad de propagación de la luz ($3 \times 10^8 \frac{m}{s}$)

λ : Longitud de onda(m)

ν : Frecuencia(Hz)

¹ **Radiación Electromagnética.** La radiación electromagnética se considera como una onda o como una colección de fotones(Brouwer, 2010), y es generada por una carga libre en movimiento con aceleración no uniforme (Hecht, 2001).

E : *Energía*(J)

La energía (keV) de un fotón² se puede relacionar con la longitud de onda λ (\AA) por medio de la (ecuación 2.2).

Donde:

$$1 J = 6.24 keV ,$$

$$h = 41.4075 \times 10^{-19} keV.s$$

$$c = 3 \times 10^{18} \text{\AA}/s$$

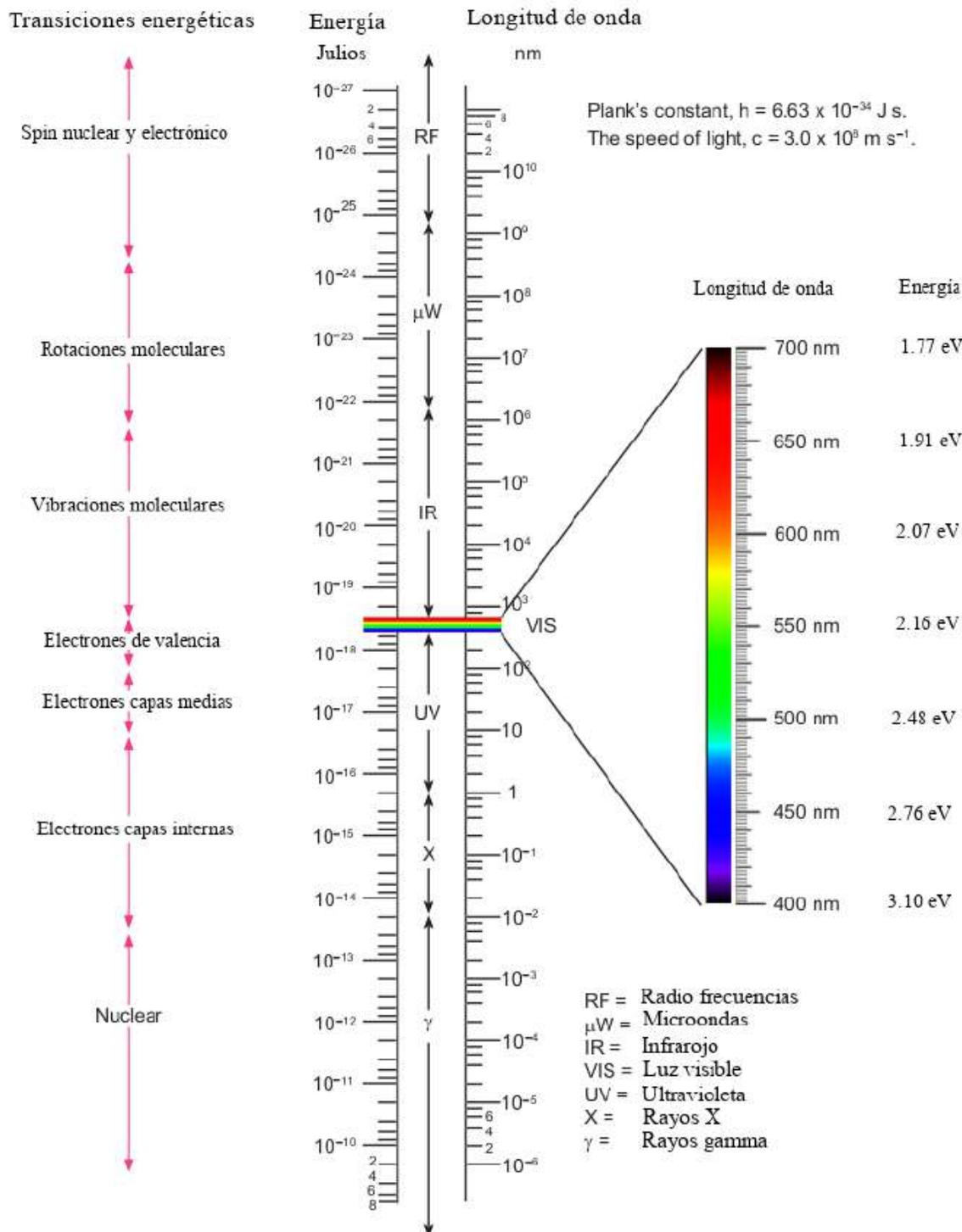
$$E(keV) = \frac{12.4}{\lambda(\text{\AA})} \quad 2.2$$

Las propiedades de los RX, según (Fuente M., 2015; Valentinuzzi, 2008; Van G., René E. & Markowicz, Andrzej A., 2002) son: invisibles, y viajan en línea recta a la velocidad de la luz, no son desviados por campos eléctricos y magnéticos, son reflejados, polarizados y difractados, lo más importante pueden liberar electrones de capas más internas del átomo, producen reacciones biológicas y son emitidos con espectros característicos de elementos o cual nos informa la de elementos que contiene la materia.

² **Fotón.** Es un cuanto (sin masa) de radiación electromagnética, el fotón es una partícula relativista que viaja siempre con la rapidez de la luz y con una energía mencionada en la ecuación (2.1) y con cantidad de movimiento $p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$

Figura 2.3

Espectro electromagnético



Fuente: Espectro electromagnético extraído de (San Fabián, 2019)

2.1.2.3. Producción de rayos X.

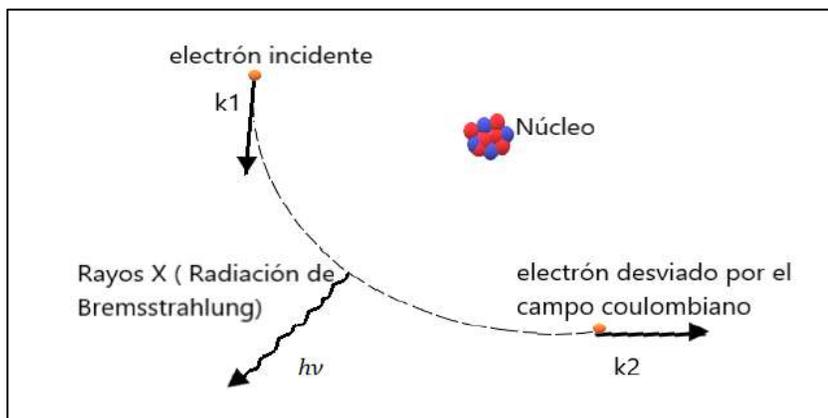
Cuando interaccionan los electrones con la materia se produce RX en un tubo, mediante dos mecanismos:

2.1.2.3.1. Radiación de espectro continuo

Es la radiación que se produce cuando un electrón de alta energía sale del filamento del cátodo con una diferencia de potencial muy alta, golpea al ánodo disminuyendo su velocidad y energía al interactuar con el campo generado por el núcleo. Esta disminución de energía recibe el nombre de radiación de frenado (Bremsstrahlung³) o radiación de RX (Fuente M., 2015), como se ilustra en la (Figura 2.4).

Figura 2.4

Producción de radiación Bremsstrahlung



Fuente: Elaboración Propia

El espectro continuo producido en un tubo de Rx por los electrones, se caracteriza por una longitud de onda corta (λ_{min}), que corresponde a la energía máxima de los electrones, cuya ecuación es:

$$\lambda_{min} = \frac{h c}{e V_0} \quad 2.3$$

³ Bremsstrahlung (palabra alemana que significa “radiación por frenamiento”)

Donde

h : Constante de Planck (J.s)

c : Velocidad de la luz(m/s)

e : Carga del electrón (C)

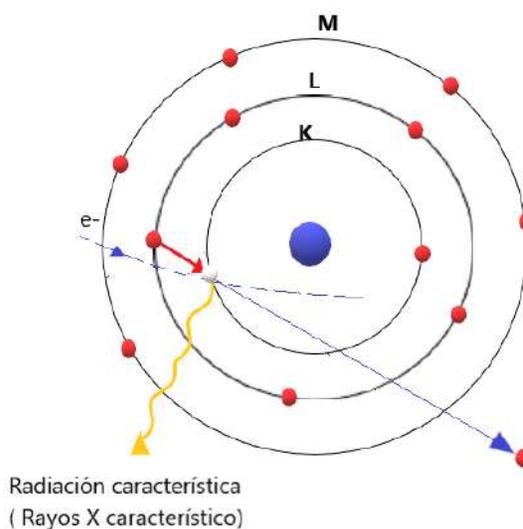
V_0 : Diferencia de potencial que se aplica al tubo de RX (eV)

2.1.2.3.2. Emisión de radiación característica.

Según (Fuente M., 2015; Valentinuzzi, 2008) ,cuando un electrón sale del cátodo e incide sobre el electrón del nivel más interno del átomo del ánodo, arranca el electrón y como el átomo no puede estar excitado mucho tiempo, entonces el electrón del nivel externo, salta a ocupar el vacío, de tal forma se produce una diferencia de energía entre niveles y esa emite una radiación característica llamado Rx característico (líneas espectrales) (Figura 2.5).

Figura 2.5

Rayos X característico



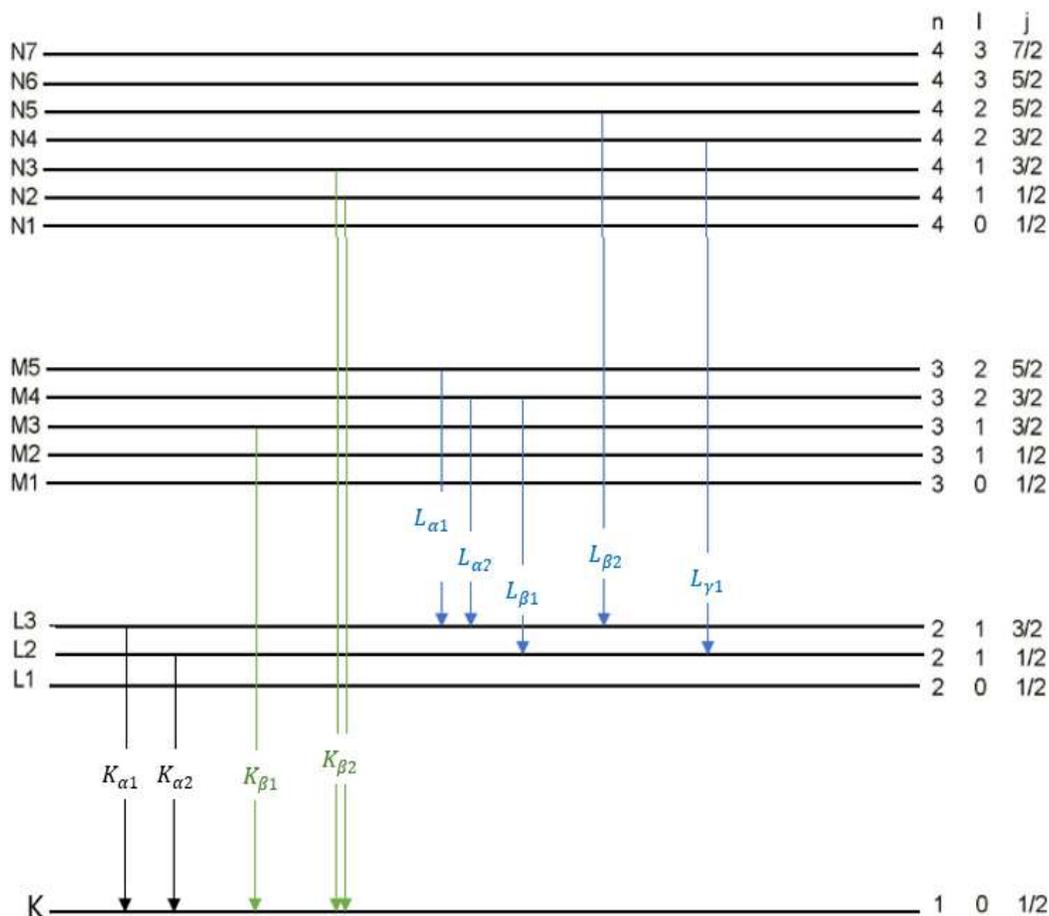
Fuente: Elaboración propia

Según (Fuente M., 2015; Valentinuzzi, 2008), los Rx característicos, también se genera cuando el átomo es excitado por los Rx, es decir el Rx eyecta el electrón del nivel K, luego el vacío es ocupado por el electrón del nivel L con una diferencia de energía entre los dos niveles, por tanto esta radiación caracterísca o propio del átomo se denomina línea espectral K_{α} , de la misma forma

si el electrón salta del nivel M a ocupar el vacío, la radiación característica es K_{β} , y así sucesivamente se generan las líneas espectrales, K_{γ} , L_{α} , L_{β} , etc., cuyas transiciones electrónicas se muestra en la (Figura 2.6).

Figura 2.6

Transiciones electrónicas parciales, asociadas a las líneas de emisión K y L.



Fuente: Elaboración propia

(Fuente M., 2015; Valentinuzzi, 2008; Van G., René E. & Markowicz, Andrzej A., 2002) indican, que cada uno de los niveles o capas tienen una energía de ligadura, por tanto los fotones que inciden al átomo deben tener al menos esa energía o un poco más para arrancar el electrón del nivel que corresponde a cada elemento. La energía de ligadura es mayor, cuanto más cerca se encuentra al núcleo, pero a medida que aumenta el número atómico, la energía de ligadura también aumenta para cada capa.

Para entender la producción de los rayos característicos, es de suma importancia conocer a profundidad la estructura del átomo. A partir del modelo de Bohr, el átomo está compuesto por un

núcleo y el núcleo está compuesto por protones y neutrones y alrededor del núcleo los electrones; los electrones se encuentran en los niveles K, L, M, etc. y estas se clasifican en función al número de espín (s) y el momento angular (l), nombrándose a cada nivel un número cuántico y a la vez cumpliendo el principio de exclusión de Pauli (dos electrones en un átomo no pueden tener el mismo conjunto de números cuánticos), como se muestra en la (Tabla 2.2).

Tabla 2.2

Números cuánticos

Símbolo	Nombre	Significado	Valores Permitidos	Reglas de Selección
N	Principal	Indica capa atómica	1,2, 3, ..., n K, L, M, ...	$\Delta n \neq 0$
l	Azimutal	Determina orbital	0,1,2, ..., (n-1)	$\Delta l = \pm 1$
M	Magnético	Orientación del orbital en campo magnético	$-l, \dots 0 \dots, +l$	
S	Spin	Dirección del spin	$\pm \frac{1}{2}$	
J	Precesión interna	Vector suma l y s	$l \pm \frac{1}{2}$	$\Delta j = \pm 1 \text{ ó } 0$

Fuente: Elaboración propia

Las flechas verticales de la (Figura 2.6), indican las posibles transiciones que son permitidas, las cuales deben cumplir las reglas de selección mostradas en la (Tabla 2.2).

Estas líneas espectrales están representadas por una letra que corresponde al nivel de donde se eyectó el electrón, y el subíndice indica el subnivel de donde procede el electrón, denotado por $K_{\alpha 1}$ según la notación Siegbahn y como K-L₃ en notación de la IUPAC (International Unión of Pure and Applied Chemistry).

El Rx con energía E , que incide sobre una muestra de número atómico Z con energía de ligadura K_{α} del nivel K son:

- (Valentinuzzi, 2008) cuando un Rx con energía E incide sobre una muestra de número atómico Z con energía de ligadura K_{α} , menciona lo siguiente “Si $E < K_{\alpha}$, los fotones no tienen suficiente energía para arrancar electrones de la capa K por tanto, no aparecen líneas K y al aumentar E a los fotones se vuelven más energéticos, por tanto disminuye el

coeficiente de absorción. Si $E = K_{\alpha}$ los fotones tienen la energía necesaria para arrancar electrones del nivel K, por consiguiente, aumenta la absorción muy rápidamente y aparecen las líneas K, este proceso se llama proceso de absorción fotoeléctrica, cuando apenas supera E a K_{α} , la expulsión de electrones y líneas K son eficientes. Si $E \gg K_{\alpha}$, los fotones son tan energéticos y no pueden ser absorbidos y si son absorbidos penetran a una profundidad tal que la radiación fluorescente no puede emerger” (p.17).

2.1.2.4. Interacción de los rayos-X con la materia

Los Rx tienen una energía suficiente para interactuar con los electrones que se encuentran en los niveles más internos del átomo, en vista de que la energía es parecida a la energía de ligadura de los electrones a los niveles que están situados cerca al átomo. Por tanto la interacción de los Rx con la materia da lugar a dos fenómenos distintos de absorción y dispersión según (Rios C. et al., 2012).

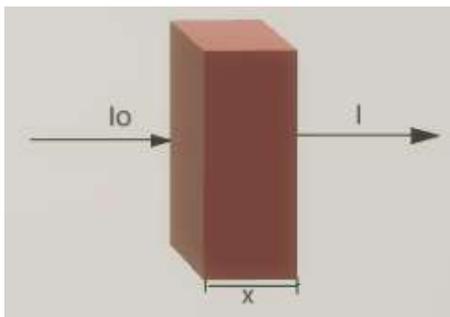
2.1.2.4.1. Atenuación de los rayos X con la materia

Cuando un Rx de intensidad I_0 incide sobre cualquier muestra de espesor x (cm) y densidad ρ (g/cm³) (Figura 2.7), la radiación emitida tendrá una intensidad $I < I_0$, por tanto, los Rx se atenúan al pasar por dicha materia, generando los procesos dispersión Rayleing y Compton, y de absorción (fotoeléctrica), por consiguiente, la diferencial de intensidad por unidad de intensidad emitida está dado por la (ecuación 2.4) (Fuente M., 2015).

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad 2.4$$

Figura 2.7

Atenuación de RX en la muestra



Fuente: Elaboración propia

Integrando la ecuación 2.4 y tomando en cuenta que μ no depende de x se obtiene la (ecuación 2.5).

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad 2.5$$

Donde:

μ : Coeficiente de atenuación lineal de la muestra (cm^{-1})

x : Espesor de la muestra (cm).

Resulta más conveniente considerar el coeficiente de atenuación másico total $\mu_m (\frac{cm^2}{g})$ definida por:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad 2.6$$

coeficiente de atenuación másico total (μ_m) Es la propiedad de cada elemento que están en función únicamente de la energía y del número atómico.

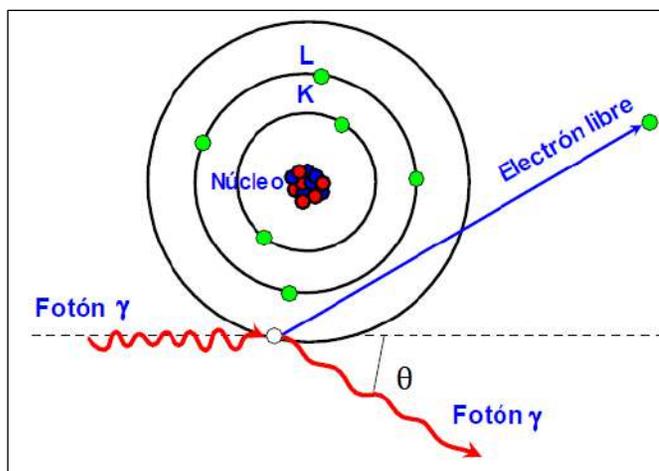
2.1.2.4.2. Dispersión coherente (efecto Rayleing)

La dispersión Rayleing se produce cuando una radiación (fotón) con baja energía interacciona con los electrones del átomo y el átomo no se ioniza, solamente vibra, por tanto la radiación sale dispersado con un ángulo de dispersión pequeña y sin cambiar su frecuencia, este tipo de dispersión ocurre a bajas energías y en elementos con mayor Z .

2.1.2.4.3. Dispersión de Compton (dispersión incoherente)

Se produce cuando la radiación electromagnética (rayos X) incide sobre la materia y este fotón colisiona con un electrón del nivel más débil del átomo. Por tanto una parte de energía del rayo incidente es absorbida por el electrón y otra parte se dispersa formando un ángulo θ con la dirección del rayo incidente como muestra la (Figura2.8).La dispersión es un proceso normalmente pequeño (excepto para los elementos ligeros), y es el proceso responsable de la mayor parte del espectro continuo de FRX, ya que parte de la radiación es dispersada por la materia y entra en el detector (Beckhoff et al., 2006; Fuente M., 2015; Valentinuzzi, 2008)

Figura 2.8
Efecto Compton



Fuente: Elaboración propia

2.1.2.4.4. Absorción fotoeléctrica (Efecto fotoeléctrico)

Este efecto se produce cuando interacciona un fotón (rayos X) y un electrón del nivel más interno del átomo. Por tanto un fotón de energía $h\nu$ puede pasar su energía a un electrón del átomo; entonces el fotón desaparece y el electrón de la capa K o L es arrancado del átomo y se mueve con una energía cinética, como se muestra en la (ecuación 2.7).

$$T = h\nu - E_B \quad 2.7$$

Donde.

T : energía de la función de trabajo (eV)

$h\nu$: energía del fotón incidente (eV)

$E_B = h\nu_0$: Energía de ligadura (eV)

ν_0 : frecuencia umbral (Hz)

La absorción es predominante, por tanto se genera la emisión de los Rx característicos de elementos o electrones Auger al ser llenados los huecos por un electrón de un nivel superior. De esta manera, el μ_m total se escribe como (Fuente M., 2015; Sanchez, 2003; Valentinuzzi, 2008).

$$\mu_m = \sigma_c + \sigma_i + \tau \quad 2.8$$

Donde

σ_c : Coeficiente de absorcion masico de la dispersion Rayleing

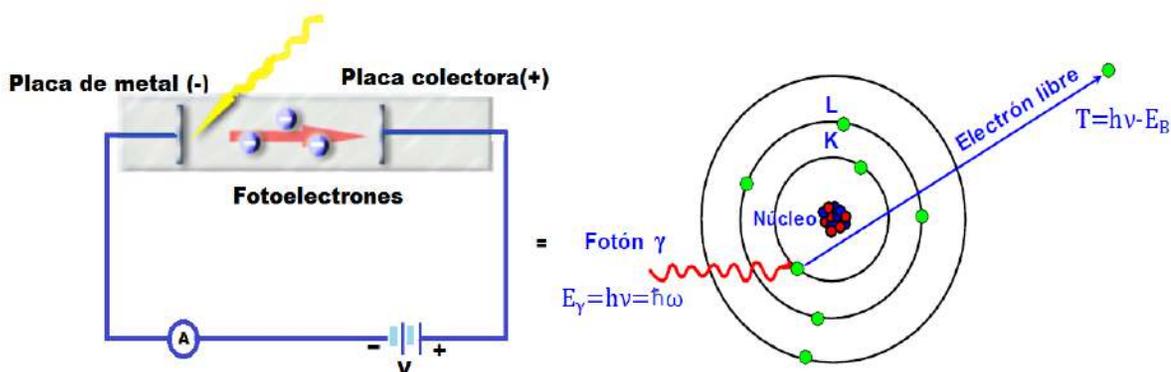
σ_i : coeficiente de absorcion masico de la dispersion Compton

τ = Coeficinete másico de absorcion fotoelectrico

El proceso del efecto fotoeléctrico se muestra en la (Figura2.9)

Figura2.9

Proceso del efecto fotoeléctrico



Fuente: Elaboración propia

2.1.3. Fundamentos básicos de fluorescencia de rayos X (FRX)

La FRX es una técnica instrumental analítica en la cual las muestras (sólida, líquida, en polvo, filtrada o de otra forma) son irradiadas con Rx. Los átomos son excitados para luego emitir rayos X secundario. La FRX permite la determinación de los datos del espectro(cualitativos) y la concentración (cuantitativos) de los elementos que contiene la muestra, porque la λ y energía de los rayos X secundarios son característicos de cada elemento, en donde la intensidad (cps) de los rayos X característicos de cada elemento es proporcional a la concentración elemental (PPM) ,está técnica es rápido, preciso y no destructivo (Brouwer, 2010, p. 9).

Cuando se incide los Rx sobre la muestra, se genera la dispersión Rayleig y Compton, como también puede crearse una vacante en una capa interna del átomo (efecto fotoeléctrico), por

tanto el átomo queda excitado y luego la vacante ocupa un electrón de una capa más externa liberando energía de dos formas posibles

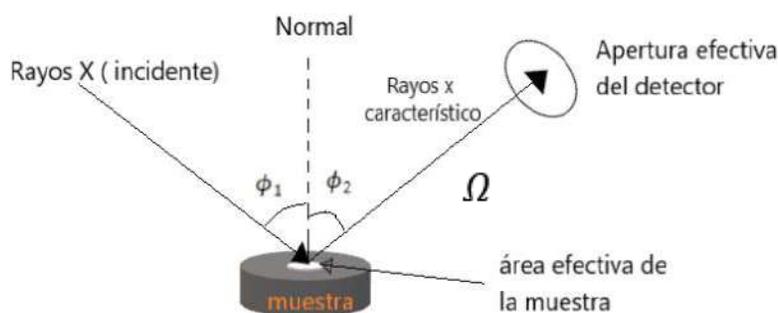
(Fuente M., 2015) menciona que la energía liberada es, “como un fotón de rayos X, cuya probabilidad de ocurrencia se presenta mediante la producción de fluorescencia, identificando y caracterizando las líneas fluorescentes (rayos X secundarios o FRX) y también transfiriéndose a otro el electrón de una capa más externa (por ejemplo L o M), el cual es expulsado del átomo quedando este con dos vacantes (Efecto Auger)” (p.9)

2.1.3.1. Análisis por fluorescencia de Rx

La (Figura 2.10) muestra la geometría de excitación de la muestra y detección de la radiación en el análisis por FRX.

Figura 2.10

Geometría de excitación de la muestra y detección de la radiación.



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de absorción para una muestra con n elementos, está dado por

$$\mu_m(\lambda) = \sum_i^n \mu_i(\lambda) C_i$$

Donde

Ω : es el ángulo sólido efectivo detectado por el detector

ϕ_1 : ángulo formado por el rayo incidente y la normal

ϕ_2 : ángulo formado por el rayo emitido con la normal

λ : longitud de onda de la radiación incidente

C_i : es la concentración del elemento i en la muestra

2.1.3.2. Fluorescencia

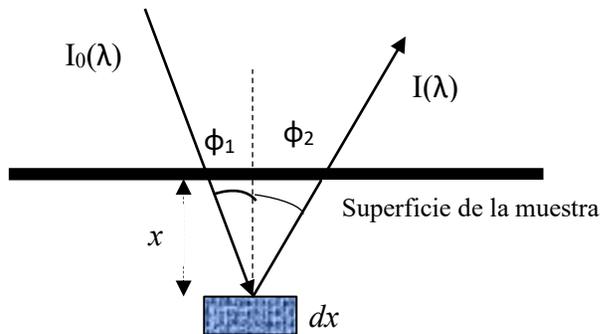
Es un fenómeno óptico que consiste en que algunos cuerpos emiten rayos x característico dando la información de elementos que contiene la materia, después de haber absorbido radiación electromagnética, el átomo se excita y luego vuelve a su estado original emitiendo luz o Rx.

La Intensidad de la radiación que llega a la profundidad x y que puede excitar al elemento dx es según (Fuente M., 2015), como se indica en la (Figura 2.11).

$$I = I_0 e^{\left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_M (\lambda) * \frac{\rho x}{\cos \phi_1} \right]} \quad 2.9$$

Figura 2.11

Esquema del proceso de fluorescencia



Fuente: Elaboración propia en base a (Fuente M., 2015)

Donde la radiación fluorescente emitida en el espesor dx tiene una intensidad I_i , como se muestra en la (ecuacion.2.10).

$$I_i = I_0 C_i \tau_i(\lambda) \bar{\omega}_{ip} \Gamma_{ip} \kappa_{ip} e^{\left[- \left(\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_M (\lambda) * \frac{\rho x}{\cos \phi_1} \right) \right]} \frac{dx}{\cos \phi_1} \quad 2.10$$

Donde:

$\tau_i(\lambda)$: coeficiente de absorción fotoeléctrico del elemento i para la longitud de onda λ

κ_{iL} : es la proporción de fotones absorbidos únicamente en la capa considerada

Γ_{iL} : es la fracción de intensidad que corresponde sólo a la línea considerada en la capa, ya que la emisión característica de cada capa está formada por varias sub líneas ($K\alpha$ y $K\beta$ en el caso de la capa K).

Los Rx característico sufren absorción cuando salen desde la profundidad x hasta la superficie de la muestra, cuya ecuación es:

$$e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(ip)} \cdot \frac{\rho x}{\cos\phi_2}\right]} \quad 2.11$$

Para luego dirigirse al detector, cuyo detector recibe una fracción $\frac{\Omega}{4\pi}$, es decir, la intensidad de la radiación fluorescente que llega al detector proveniente de un elemento dx de muestra es:

$$I = I_0 \cdot C_i \tau_i(\lambda) \cdot \bar{\omega}_{ip} \cdot \Gamma_{ip} \cdot \kappa_{ip} e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(\lambda)} \cdot \frac{x}{\cos\phi_1} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(ip)} \cdot \frac{x}{\cos\phi_2}\right] \rho} \frac{dx}{\cos\phi_1} \cdot \frac{\Omega}{4\pi} \quad 2.12$$

Si queremos considerar la radiación fluorescente que procede de toda la muestra, se realiza la integral a la (ecuación 2.12) respecto a x .

Si la radiación policromática incide en una muestra multi elemental, la radiación fluorescente que llega al detecto, es: (ecuación 2.13), según (Fuente M., 2015, p. 34).

$$I = \frac{\Omega}{4\pi} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \int_0^{\infty} I_0 \cdot C_i \cdot \tau_i(\lambda) \cdot \omega_{ip} \Gamma_{ip} \cdot \kappa_{ip} e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(\lambda)} \cdot \frac{x}{\cos\phi_1} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(ip)} \cdot \frac{x}{\cos\phi_2}\right] \rho} \frac{dx}{\cos\phi_1} \quad 2.13$$

Al integrar (ecuación 2.12) respecto a x , se determina la intensidad de la radiación fluorescente que llega al detector (Fuente M., 2015, p. 34)

$$I = \frac{\Omega}{4\pi} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \frac{I_0 \cdot C_i \cdot \tau_i(\lambda) \cdot \omega_{ip} \cdot \Gamma_{ip} \cdot \kappa_{ip}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(\lambda)} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M^{(ip)} \cdot \frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2}} d\lambda \quad 2.14$$

Donde:

λ_{min} : es la menor longitud de onda presente en el haz policromático incidente

λ_{max} : es la mayor longitud de onda presente en el haz policromático incidente

$\frac{\mu_i}{\rho(\lambda)}$: coeficiente de absorción total del elemento i para una longitud de onda λ

$\frac{\mu_M}{\rho(\lambda)} = \frac{\sum_i \mu_i}{\rho(\lambda)}$ C_i : coeficiente de absorción total para la muestra multicomponente

Por tanto, mediante la intensidad de radiación fluorescente emitida por la muestra que llega al detector, se puede obtener los elementos que está compuesto la muestra, a partir de su energía, como también la concentración en partes por millón (PPM) (Fuente M., 2015, p. 34).

Toda esta matemática está incluido en software del equipo FRX, y los datos que se obtiene son las intensidades del disparo 1: haz1, haz2 y haz 3 y del disparo 2 (repetición): haz1, haz2 y haz 3.

Para hacer el análisis de datos obtenidos por la técnica FRX, se determina los promedios de todas las intensidades de los haces y la intensidad promedio solamente de los haces 2, en vista de que los haces 2 facilita un espectro con una línea de base.

2.1.3.2.1. Intensidad promedio de los haces e intensidad promedio del haz 2

La intensidad promedio se determina sumando las intensidades de los haces (1,2,3) del disparo 1 y las intensidades de los haces (1, 2, 3) del disparo 2 (repetición) como se muestra en la (ecuación 2.15), y la intensidad promedio del haz 2 es el promedio de los haces 2 de los 2 disparos, como se muestra en la (ecuación 2.16)

$$\bar{I}_{HazP} = \frac{I_{haz1-r1} + I_{haz2-r1} + I_{haz3-r1} + I_{haz1-r2} + I_{haz2-r2} + I_{haz3-r2}}{6} \quad 2.15$$

$$\bar{I}_{Haz2} = \frac{I_{haz2-r1} + I_{haz2-r2}}{2} \quad 2.16$$

Donde

\bar{I}_{HazP} : Intensidad promedio de los haces (cps)

$I_{haz1-r1}$: Intensidad del haz1 con el disparo1(cps)

$I_{haz2-r1}$: Intensidad del haz2 con el disparo1(cps)

$I_{haz3-r1}$: Intensidad del haz3 con el disparo1 (cps)

$I_{haz1-r2}$: Intensidad del haz1 con el disparo2 (cps)

$I_{haz2-r2}$: Intensidad del haz2 con el disparo2 (cps)

$I_{haz3-r2}$: Intensidad del haz3 con el disparo2 (cps)

\bar{I}_{Haz2} : Intensidad promedio del haz2 (cps)

Para determinar la intensidad real del pico (I_P) se determina la intensidad de fondo.

2.1.3.2.2. Intensidad de Fondo (I_B)

Es la suma de las intensidades (I_1, I_2) de la base del pico más pronunciado partido en dos, lo cual se determina con la (ecuación 2.17), con su respectiva desviación estándar.

$$I_B = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \quad 2.17$$

❖ Desviación Estándar de Fondo (σ)

Es la desviación de la intensidad de fondo del pico más pronunciado del espectro, lo cual se determina con la (ecuación 2.18).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(I_i - \bar{I})^2}{n - 1}} \quad 2.18$$

2.1.3.2.3. Intensidad de Pico (I_P)

Es la altura o intensidad del pico más pronunciado presente en el espectro, lo cual se determina restando la intensidad total del pico (I_t) y la intensidad de fondo (I_B) con la (ecuación 2.19)

$$I_P = I_t - I_B \quad 2.19$$

Donde:

I_P : Intensidad del pico mas pronunciado (cps)

I_B : Intensidad de fondo del pico más pronunciado (cps)

I_t : Intensidad total de cada pico incluido el fondo (cps)

2.1.3.2.4. Reglas Para Confirmar los Picos más Pronunciados

Para confirmar los pico más pronunciados se usó la reglas siguientes mostrados en la (ecuación 2.20) en base a (Fuente M., 2015, p. 51) con una línea base, y la (ecuación 2.21) aporte propio sin línea base, en ambos casos las intensidades de pico deben ser mayores a 50 cps.

$$I_p > I_B + 2\sigma \geq 50 \quad \text{para el Haz 2} \quad 2.20$$

$$I_p > 2\sigma \geq 50 \quad \text{para el Haz 3} \quad 2.21$$

σ : desviación estándar de fondo

2.1.3.3. Espectros

Es una representación gráfica de la intensidad (cps) en función de energía (KeV), lo cual se genera a partir de la radiación característica o fluorescente que llega al detector cuando el átomo de la muestra es excitado con Rx, cuya radiación característica nos da información de los elementos que contiene dicha muestra.

Según (Valentinuzzi, 2008) “los fotones fluorescentes que llegan al detector causan ionización y cada una de ellas es convertida en una señal de voltaje, cuya amplitud será proporcional a la energía incidente” (p.26).

Los datos del espectro se contaminan con ruido, para ello es necesario conocer bien el espectro para realizar un buen análisis. Existen dos contribuciones al ruido: primero en amplitud debido a la estadística en el conteo de fotones y segundo debido al ancho de las líneas característica, lo cual debe ser entre 5 y 10 eV según (Valentinuzzi, 2008). La amplitud del ruido se puede disminuir

midiendo los datos en un periodo de tiempo mayor o también con la intensidad del haz incidente primario más intensa y el ruido en energía se puede disminuir usando un detector de buena calidad.

2.1.3.3.1. Componentes del Espectro

Las componentes del espectro son:

❖ Líneas de emisión característica

Las líneas características tienen una función de Lorentz, pero al ser observada con un detector de semiconductor, se convolucionan y tienen una distribución gaussiana.

❖ Fondo.

El fondo es debido a procesos de dispersión coherente e incoherente, donde la forma del fondo es muy compleja, la colección incompleta de cargas de las líneas espectrales contribuye al fondo.

❖ Picos de escape

Ocurre cuando un fotón fluorescente llega al detector del Silicio (Si) y esta es absorbida por la capa del silicio, por el efecto fotoeléctrico, por tanto se estaría emitiendo el rayo característico del Si. Entonces la energía que se deposita en el detector sería la energía del fotón menos la energía del silicio (1.742keV), en consecuencia el pico de escape estaría 1.742keV hacia la izquierda del pico original (Fuente M., 2015, p. 36).

❖ Picos Suma

El pico suma se produce cuando el conteo de fotones es muy rápido, por tanto puede chocar al detector dos fotones a la vez y se crea un pulso con la suma de energía de los 2 fotones.

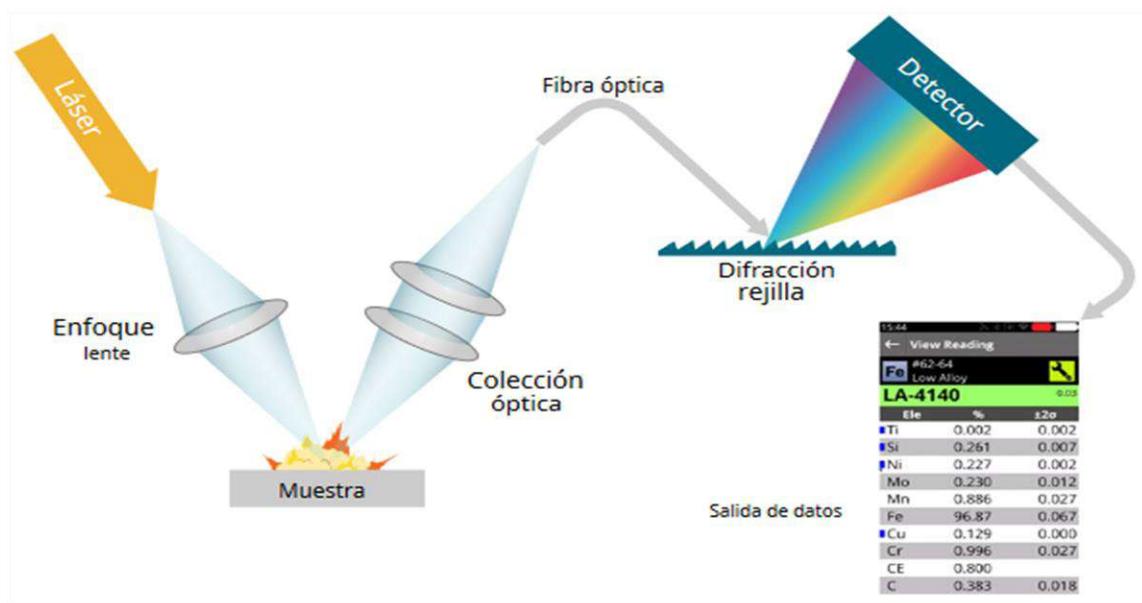
2.1.4. Fundamentos básicos de espectroscopia laser (LIBS)

La técnica Espectroscópica LIBS con sus siglas en inglés (Laser Induced Break Down Spectroscopy), consiste en la incidencia de una radiación laser de alta potencia lo cual es orientada

mediante lentes sobre la superficie de la muestra y esta muestra se convierte en plasma mediante ablación y generando un cráter, el plasma atomiza la muestra y los átomos excitados emiten luz a medida que vuelven al estado fundamental, luego la radiación emitida (Luz) es orientado por lentes, y se transfiere mediante fibra óptica y entra en el espectrómetro a través de una rendija y esta luz interactúa con la rejilla de difracción donde se divide en longitudes de onda y estas longitudes de onda golpean el detector y producen datos del espectro cuya intensidad está en función λ , la unidad central de procesamiento (CPU) analiza los datos del espectro y determina la concentración elemental presente en la muestra (sólido, líquido y gas), el espectrómetro está compuesto por componentes muy importantes, láser de potencia muy alta, espejo, lentes, fibra óptica, espectrómetro y una laptop con un software para realizar el análisis y estos componentes se arman de la forma siguiente, ver (Figura 2.12).

Figura 2.12

Configuración del armado de la técnica LIBS



Nota: Configuración de los principales componentes de un sistema LIBS

Fuente: (ThermoFisher, s. f.)

2.1.4.1. Laser

El láser (Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation) es una fuente de luz coherente es decir un dispositivo cuántico de ondas electromagnéticas, según (Jara, C., 2016, p. 42; Vázquez, 2014, p. 21).

(Jara, C., 2016; Vázquez, 2014) mencionan que la luz producida por el láser tiene las siguientes propiedades: “monocromática (significa que la luz tiene la misma longitud de onda, frecuencia y energía); direccionalidad (el haz de luz viaja en línea recta aproximadamente perfecta en una sola dirección dentro de un cono angosto de baja divergencia), coherente (todos los fotones se encuentran en fase espacial y temporal)”

Las propiedades del láser se encuentran controladas y cubre el ultravioleta (100 – 400 nm), el espectro visible (400-700 nm) e Infrarrojo (700–1mm), en base a (Jara, C., 2016, p. 42)

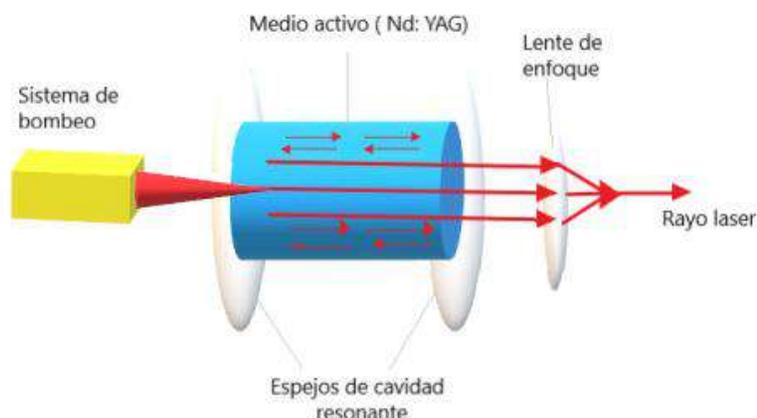
2.1.4.1.1. Producción de Radiación Laser

Un láser está compuesto por los siguientes elementos: sistema de bombeo, medio activo y una cavidad resonante, como se muestra en la (Figura 2.13).

(Jara, C., 2016) indica que el “medio activo está compuesto por átomos que están en el estado fundamental y excitado, la primera absorbe radiación y la segunda amplifica la luz mediante la emisión estimulada, también provee una sustancia para emitir radiación luminosa; el sistema de bombeo consiste en un mecanismo de excitación y retroalimentación encargado de generar más átomos excitados, a medida que los átomos emite radiación, los átomos disminuye y los átomos en su estado fundamental aumentan, para que esta disminución no ocurra y conserve la inversión de población es necesario proporcionar energía necesaria al medio activo para que los átomos excitados se mantenga en el tiempo; la cavidad de resonancia está compuesto por dos espejos, uno de los espejo 100% reflectante y el otro espejo delantero parcialmente reflectante, cuyo objetivo

es captura toda la radiación en el interior de la cavidad, lo cual se encarga de amplificar los fotones creados en el medio activo en una dirección del eje óptico, para mantener la luz circulando el mayor tiempo posible”(P.28-29

Figura 2.13
elementos de un laser



Fuente: Recopilado de (Jara, C., 2016)

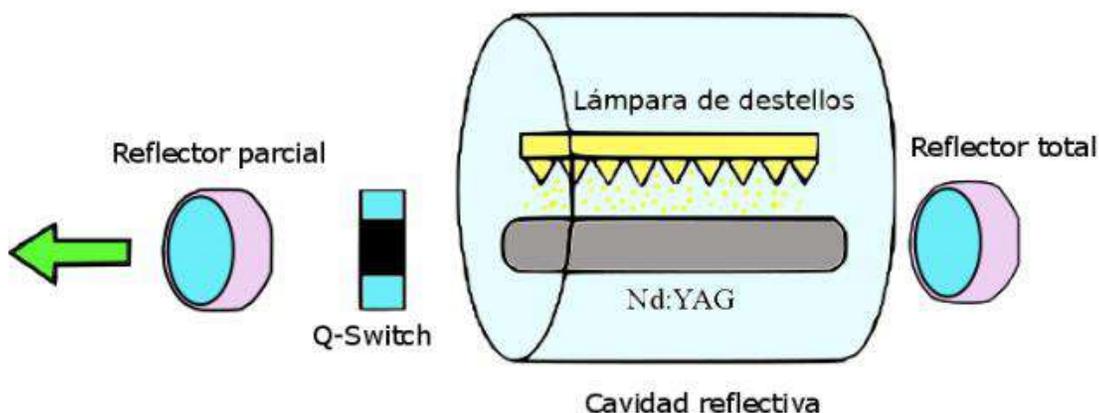
En la actualidad en muchas aplicaciones de LIBS emplean láseres de pulsos ultracortos y láseres de gas que tienen muchas ventajas, en LIBS la fuente láser más usada es el láser de estado sólido de Nd - YAG , especialmente con Q:switch activo (Vázquez, 2014, p. 26).

2.1.4.1.2. Láser de Neodimio - YAG

(Jara, C., 2016).El láser de neodimio-YAG (Ytrio-Aluminio-Granate), es un láser de estado sólido cuyo átomo excitado se logra al bombear una lámpara o un diodo, con una potencia de 10MW a 1GW y una longitud de onda principal de 1064 nm, el sistema de bombeo que utiliza es el sistema óptico, que consta de 4 niveles, produciéndose la emisión estimulada en los dos niveles centrales, estos láseres emiten pulsos cortos de 5 a 20 ns de duración., como se muestra en la (Figura 2.14) (P -29.)

Figura 2.14

Esquema de un láser de estado sólido de Nd:YAG



Nota: El láser con el mecanismo Q- switch según (Jara, C., 2016, p. 30)

2.1.4.1.3. Plasma

Es uno de los estados de la materia que contiene una gran cantidad de iones, átomos, y electrones libres, resultante de la interacción del rayo láser con la materia en estado gaseoso, pero en conjunto es aproximadamente neutro. Genera alta conductividad eléctrica debido a las cargas libres que posee.

Los plasmas tienen temperaturas muy altas en sus núcleos que van desde varios miles hasta cientos de millones de grados Celsius. En LIBS, el haz de un láser pulsado es focalizado y absorbido por la superficie de una muestra provocando la vaporización de la materia. El rayo láser interactúa aún más con la materia vaporizada produciendo una bola de gas ionizado. Los procesos clave de LIBS son:

Atomización: al comienzo del pulso láser, el material vaporizado de los sólidos se descompone en elementos individuales (átomos).

Ionización: partes de los átomos pierden un electrón de su capa exterior para formar iones.

Excitación: los átomos y los iones entran en estados de alta energía, los llamados estados "excitados".

Emisión: después de que termina el pulso láser, los átomos y los iones regresan a estados de energías más bajas o (estados fundamentales) mediante la emisión de patrones de luz (líneas espectrales) que son característicos de cada elemento.

El plasma es uno de los estados de la materia con mucha energía, pero en conjunto es eléctricamente neutro, que contiene iones y electrones libres capaces de moverse en forma independiente, según (Jara, C., 2016)

2.1.4.1.4. Ablación Láser

Ablación se produce cuando incide un rayo láser sobre la superficie de una muestra, este laser lo vaporiza o arranca el material; los fenómenos para el proceso de ablación son: la generación de luz y de sonido (Alvira, 2010, p. 25).

Generación de Luz. (Alvira, 2010, p. 24) indica que la emisión de luz se genera cuando el material es vaporizado bruscamente, en consecuencia se rompen los enlaces de la estructura que unen a los átomos y estos se ionizan formando un plasma.

Generación de Sonido. Cuando aumenta violentamente la temperatura (a razón $750 \text{ K}/\mu\text{s}$) genera un incremento violento de presión de 10^8 Pa , de esta manera generando una diferencia de presiones entre la region del plasma y al atmosfera, generándose una onda de choque percibido como un chasquido (Alvira, 2010, p. 24) .

2.1.4.1.5. Umbral de Ablación.

Es la potencia por unidad de área que sirve para producir ablación(W/m^2) (Alvira, 2010).

2.1.4.1.6. Ablación con Láseres de Pulsos Cortos.

La ablación con láseres de pulsos cortos produce cráteres (Figura 2.15).

Figura 2.15

Cráteres generados por ablación con láseres de pulso corto según



Fuente: Extraído de (Alvira, 2010)

2.1.4.2. Sistema óptico

El sistema óptico sirve para orientar, focalizar la luz láser y para recoger la radiación generada por el plasma. Para la técnica de análisis por LIBS se usan los siguientes sistemas ópticos.

- ❖ Lentes y espejos
- ❖ Fibra óptica.

2.1.4.2.1. Lentes y espejos (óptica geométrica)

Enfoca el láser y recoge la luz emitida, la óptica geométrica genera imágenes a partir de los fenómenos de refracción, reflexión de la luz láser en espejos y lentes.

Reflexión de la luz. Es un fenómeno físico que consiste en cambiar de dirección la luz que incide sobre una superficie en el mismo medio y se basa en dos leyes.

1ra ley: los rayos incidentes y reflejados, la normal se encuentran sobre un mismo plano

2da ley: los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales

El fenómeno de reflexión nos crea imágenes reales y virtuales en espejos

Espejo. Es una superficie perfectamente pulida, en el cual la luz que incide sobre ella genera una reflexión regular. Existen 2 tipos de espejos (planos y esféricos), en la presente tesis se usará el

espejo esférico cuyos elementos son, centro de curvatura (R), vértice, eje principal, foco principal, radio de curvatura y distancia focal, cuya ecuación para la distancia focal (f) es.

$$f = \frac{R}{2} \quad 2.22$$

La ecuación general que representa a los espejos esta dado por la (ecuación 2.23).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad 2.23$$

Donde:

f: distancia focal

p: distancia del vertice al objeto

q: distancia del vertice a la imagen

Refracción de la Luz. Es un fenómeno que consiste en refractar la luz que incide sobre un medio transparente (lente), se basa en dos leyes.

1ra ley: los rayos incidentes, la normal y los rayos refractados se encuentran sobre un mismo plano.

2da ley (Ley de Snell): se rige a la ecuación siguiente

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2 \quad 2.24$$

Donde:

*n*₁: indice d erefracion del medio 1

*n*₂: indice de refracion del medio 2

*θ*₁: ángulo d eincidencia

*θ*₂: ángulo de refracion

Lente: es una sustancia transparente que concentra o dispersa los rayos de luz (Jara, C., 2016); la luz que incide sobre la lente es refractada; los elementos de la lente son: eje principal, centro óptico, foco principal, radios de curvatura, distancia focal (f), donde la formación de imágenes se da con las siguientes propiedades:

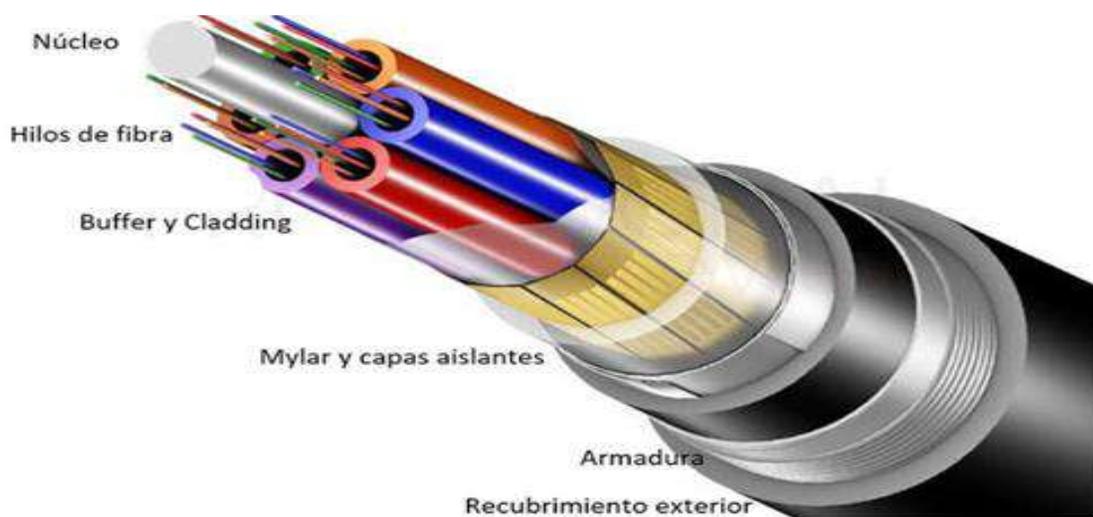
1. El rayo incidente paralelo al eje principal, se refracta pasando por el foco principal
2. El rayo que incide por el foco principal es refractado paralelo al eje principal
3. Todo rayo que incide por el centro óptico no se desvía

2.1.4.2.2. Fibra Óptica

(Jara, C., 2016) indica que la fibra “consiste en un cable de material transparente que actúa como canal de luz, compuesta por tres partes concéntricas (Figura 2.16): el núcleo óptico, es la parte central de la fibra (n_2) donde se propaga la luz láser, debido a las reflexiones internas que se producen; posee un alto índice de refracción puede ser hecha de sílice cuarzo fundido o plástico; la funda óptica es la capa intermedia (n_1) sirve para confinar las ondas en el núcleo impidiendo la pérdida de energía, está hecho del mismo material que el núcleo pero posee un índice de refracción un poco menor que el núcleo; el revestimiento de protección (n_0) es para aislar las fibras unas con otras o con el exterior y protege la entrada de nuevas señales, está hecha generalmente de plástico y su índice de refracción es menor que la funda óptica” (P.40).

Figura 2.16

Partes de una fibra óptica



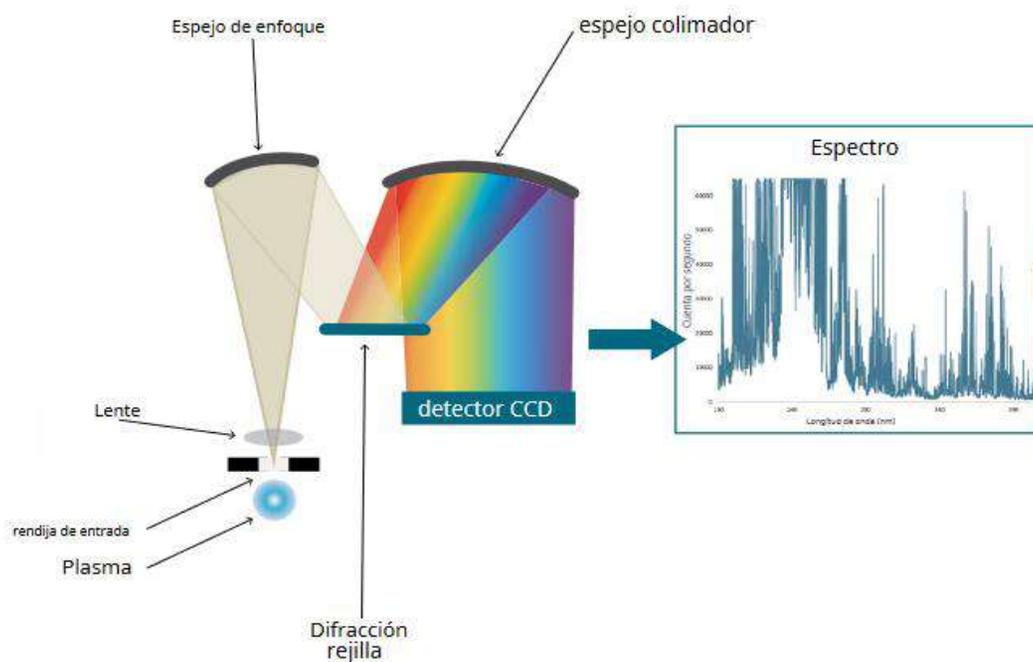
Fuente: Según (Castillo, 2019)

Los cables de fibra óptica no transmiten calor o electricidad.

2.1.4.3. Espectrómetro

La luz del plasma es policromática (luz blanca), lo que significa que contiene múltiples longitudes de onda diferentes. Esta luz blanca se divide en sus longitudes de onda componentes por la rejilla de difracción, de la misma manera que la luz visible se divide en un arco iris de colores individuales que pasan a través de un prisma (Figura 2.17) (ThermoFisher, s. f.).

Figura 2.17
Componentes de un espectrómetro



Nota: Según (ThermoFisher, s. f.)

El espectrómetro mide la cantidad de fotones de luz que emiten en longitudes de onda específicas y en seguida produce un espectro de la muestra. Los picos más pronunciados nos indican la concentración de los elementos que contiene la muestra.

Dependiendo de las necesidades de la aplicación en términos de resolución y elementos a medir, se pueden incorporar uno o más espectrómetros en el instrumento para cubrir el rango de longitud de onda deseado.

2.1.4.4. Procesamiento de la señal

Durante el análisis LIBS, la intensidad medida para una muestra desconocida se compara con la intensidad registrada durante el proceso de calibración para muestras estándar con concentraciones conocidas. La concentración de la muestra desconocida se calcula para cada elemento a partir de la curva de calibración respectiva y se muestra en la pantalla del analizador.

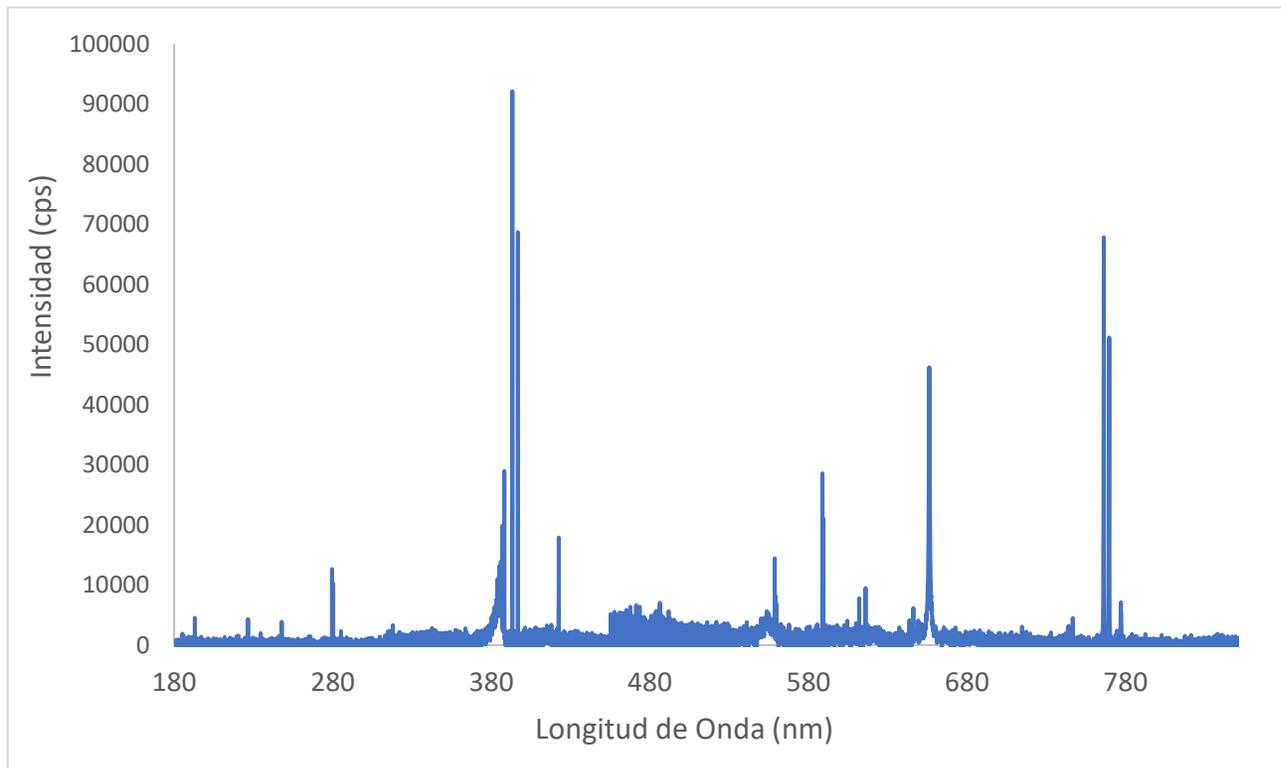
2.1.4.4.1. Líneas Espectrales

En un espectro uniforme y continuo, donde las líneas espectrales son líneas brillantes u oscuras, gracias al exceso o defecto de fotones. Cuando existe un exceso de fotones se habla de una línea de emisión y carencia se habla de absorción, esto solo se produce en niveles de energía permitidos. Cada elemento produce su espectro característico con el cual se le puede identificar (Jara, C., 2016).

2.1.4.4.2. Espectro de Emisión

(Jara, C., 2016), menciona que la “espectroscopia de emisión es una técnica analítica que hace uso de la radiación electromagnética emitida por un material, que se puede encontrar el estado sólido, líquido o gaseoso. La energía necesaria para excitar los átomos del material, están dadas por las características de estas. Esto hace que el espectro de emisión generado por la muestra sea característico de esta, y está constituido por líneas finas y bien definidas. Cuando un elemento químico en forma gaseosa o de vapor recibe energía, bien por calentamiento a alta temperatura, bien por una descarga eléctrica de alta tensión, emite luz que puede ser analizada mediante un espectroscopio”.

Figura 2.18
Espectro LIBS de quinua



Fuente: Elaboración propia

En la (Figura 2.18) se muestra el espectro LIBS de emisión de quinua en pastilla donde se muestra la intensidad en función de la longitud de onda.

2.2. Antecedentes empíricos de la investigación (Estado de arte)

2.2.1. Antecedentes internacionales

(Chaudhary et al., 2023) escribieron el artículo científico con el título *Functional composition, physiological effect and agronomy of future food quinoa (Chenopodium quinoa Weld.): A review*.

Que fue publicado en la revista *Journal of Food Composition and Analysis* 118 (2023) 105192.

El objetivo de esta investigación fue revisar trabajos científicos acerca de la potencialidad de la quinua desde el año 1942 hasta el año 2022, determinando los minerales en mg/kg Ca, Fe, Mg, S, Mn, P, K, Na y Zn.

Para determinar la concentración de minerales usaron varios trabajos de investigación buscados rigurosamente en las siguientes bases de datos, Web of Science, Science-direct, Medline (PubMed), Scopus, Google académico y Scielo, los cuales usaron diferentes técnicas espectroscópicas.

En la investigación actual se usa la técnica FRX y LIBS.

(Pedrali et al., 2023) escribieron el artículo científico con el título *The quinoa variety influences the nutritional and antioxidant profile rather than the geographic factors*. Publicado en la revista científica *Food Chemistry* 402 (2023) 133531.

El objetivo de esta investigación fue determinar las componentes nutricionales, bioactivos y la capacidad antioxidante de 5 variantes de quínoa con el fin de explorar cómo es que los factores ambientales, climáticos y tipo de variedades podrían afectar la calidad nutricional y bioactiva de las semillas de quínoa, determinando los Macroelementos Na, K, Ca y Mg, y los microelementos Mn, Zn, Cu y Fe.

Los macro y microelementos se evaluaron en el contenido de cenizas mediante espectroscopía de absorción atómica (AAS) en un Perkin Elmer Analyst AA200.

La diferencia de la investigación actual es que usa las técnicas FRX y LIBS.

(Villacrés et al., 2022) escribieron en el artículo científico con el título *Nutritional Value and Bioactive Compounds of Leaves and Grains from Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Publicado en la revista científica *Plants* 2022, 11, 213.

El objetivo de estudio fue caracterizar la composición nutricional y compuestos bioactivos en las hojas y granos de la variedad de quínoa Tunkahuan. (*Chenopodium quinoa* Willd.), producido en Ecuador, determinando los macroelementos en kg/mg Ca, P, Mg, K y Na y los microelementos Cu, Fe, Mn y Zn.

El contenido de minerales en hojas y granos de quinua se determinó mediante espectrofotómetro de oxidación húmeda y absorción atómica en un espectrómetro AA-7000 (Shimadzu, Kyoto, Japón), excepto el P, que se analizó mediante calorimetría.

Con la diferencia en la investigación actual se midió de manera más práctica con las técnicas FRX y LIBS.

(Rathore et al., 2019) escribieron en el artículo científico con el título *Introduction of multipurpose agro-industrial crop quinoa (Chenopodium quinoa) in western Himalayas*. Publicado en la revista científica *Indian Journal of Agronomy* 64 (2): 287__292 (June 2019).

El objetivo de la investigación se realizó para estudiar la influencia de las fechas de siembra en el crecimiento, fenología y la calidad de la quinua en el Himalaya occidental. Determinando la composición de minerales P, K, Na, Fe, Mg, Cu, Zn y Ca en (mg/100g) de accesiones de quinua durante diferentes épocas de siembra.

Los elementos minerales Fe, Mg, Cu, Zn y Ca se determinaron después de la digestión con una mezcla de HNO₃ y HClO₄ mediante un espectrofotómetro de absorción atómica. Los contenidos de P, K y Na se estimaron mediante complejo fosfovanadiomolibdeno a 466 nm (espectrómetro T90+UV/VIS PG Instruments Limited).

Con la diferencia en la investigación actual se midió de manera más práctica con las técnicas FRX y LIBS.

(Reguera et al., 2018) escribieron en el artículo con el título *The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds*. Publicado en la revista académica *PeerJ* on 14 March 2018.

El objetivo de esta investigación fue evaluar su comportamiento agronómico y características nutricionales de la quinua en diferentes localidades (España, Perú y Chile).

Se utilizó un análisis cuantitativo multi elemental mediante espectrómetro de plasma acoplado inductivamente (ICP) para determinar el contenido total de P, K, Ca, Mg, Fe, Na y Zn en semillas de quinua. En primer lugar se trituraron muestras de semillas hasta obtener un polvo fino. Posteriormente, las muestras se enviaron al Laboratorio del Servicio Interdepartamental de investigación de la Universidad Autónoma de Madrid (SIdI-UAM. Madrid, España). Las muestras fueron digeridas en un horno de microondas y posteriormente analizadas utilizando el equipo ICP-MS NexION300XX (Perkin-Elmer).

Con la diferencia en la investigación actual se midió de manera más practica con las técnicas FRX y LIBS en el laboratorio de LEOnOD- UNSAAC.

2.2.2. Antecedentes nacionales

(Ramos P., 2024) escribió en la tesis de Postgrado intitulado “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE 3 VARIEDADES *Chenopodium quinoa* Willd DE ANDAHUAYLAS”. Publicado en el repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

El objetivo fue caracterizar el efecto de la germinación en las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de tres variedades de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas. Determinado el contenido de micronutrientes minerales Ca, P, Fe, K y Mg (mg/100g) de quinuas germinadas.

El contenido de micronutrientes minerales, se determinó utilizando un Espectrómetro de Absorción Atómica. Para lo cual 5 g de la muestra se convirtió en cenizas mediante incineración a 550 °C durante cinco horas. Posteriormente 0.1 g de cada muestra se digesto en un microondas con ácido nítrico.

Con la diferencia en la investigación actual se midió de manera más práctica con las técnicas FRX y LIBS en el laboratorio de LEOnOD- UNSAAC

(de Lescano & Aco, 2014) Escribió en el artículo de revista académica con el título *Caracterización elemental en granos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) mediante la técnica de fluorescencia de rayos X*. Publicado en el *Informe Científico Tecnológico. Volumen 14 (2014)*. p. 1-5. ISSN 1684-1662-IPEN.

El objetivo fue determinar la caracterización elemental mediante la técnica de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva, los granos de quinua de consumo humano. Determinándose la concentración de elementos en cada una de las muestras analizadas K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr en mg/kg.

Fueron analizadas en un sistema modular de análisis por Fluorescencia de Rayos X cuya fuente de excitación es una fuente anular de Cd-109, como en un sistema cerrado de espectrometría de Fluorescencia de Rayos X con blancos secundarios y un tubo de rayos X cuyo ánodo es de Gadolinio, Modelo EPSILON 5; ambos sistemas tienen un detector semiconductor de Si (Li) de 167 eV y 140 eV de resolución para 5.89 KeV de energía, respectivamente.

Con la diferencia en la investigación actual se midió de manera más práctica con las técnicas FRX y LIBS en el laboratorio de LEOnOD- UNSAAC, estas técnicas dan resultados precisas y no destructivas.

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

- a) Todos los minerales presentes en quinua podrán ser identificados por las técnicas FRX y LIBS.
- b) Podré identificar los macro y micro minerales que contiene la quinua por la técnica FRX y LIBS.

3.2. Identificación de variables e indicadores *

Intensidad del contenido de macro y micro minerales de la quinua amarilla = f (Energía de los elementos que contiene la quinua)

Donde:

Variable dependiente: Intensidad del contenido de macro y micro minerales de la quinua amarilla.

Variable independiente: Energía de los elementos que contiene la quinua

Los indicadores son la concentración de minerales, macro y micro minerales y la comparación de resultados por la técnica FRX y LIBS.

3.3. Operacionalización de variables *

En FRX la energía característica del fotón en keV, correspondiente a las líneas características o espectrales de cada elemento químico presente en la muestra de quinua.

En LIBS la longitud de onda característica en ηm , correspondiente a las líneas espectrales de cada elemento presente en la muestra de quinua

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

El trabajo experimental de investigación fue desarrollado en el Laboratorio de Espectroscopía Óptica no Destructiva (LEOnoD) del Departamento Académico de Física y en el laboratorio de Química Orgánica del Departamento Académico de Química, ambos departamentos académicos ubicados en la ciudad universitaria de Perayoc de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. En el esquema de la (Figura 4.1) se muestra el diseño del trabajo de investigación

Figura 4.1

Esquema del trabajo de investigación



Fuente: Elaboración propia

4.1. Materiales

4.1.1. *Materiales usuales*

- Pocillo de porcelana de 2L de capacidad
- 5 manteles limpios previamente codificados para hacer secar la quínua
- Un ambiente cerrado para secar las muestras
- Plásticos ziploc con cierre codificados para guardar la muestra
- Guantes de nitrilo de color azul
- Papel toalla sin perfume. Marca micronix
- Vaso precipitado de 1L
- Mortero de ágata y su pilón
- Balanza - Marca Camry
- 12 jeringas de 10 mL
- Cúter
- Porta muestras de PET (polietileno)
- Lijar fino de madera o agua
- Plástico.
- Vernier
- Balanza Analítica. Marca A &D. Modelo GR-200. Serie14222572
- Porta muestra de acero inoxidable
- Prensa hidráulica. Marca CARL-ZEISS. Serie 2036031a
- Laptop. Marca BANG & OLUFSEN. Modelo HP ZBook 15 G5. Serie 5CD9547Q1T

4.1.2. *Reactivos*

- Agua potable

- Agua destilada
- Agua ultra pura
- Ácido Nítrico del 1%
- Acetona
- Alcohol de 90°
- Detergente: Marca Ace

4.1.3. Equipos

- Espectrómetro FRX
- Espectrómetro LIBS

4.1.3.1. Especificación del espectrómetro de FRX portátil DELTA PREMIUN

Espectrómetro de FRX o analizador FRX portátil DELTA PREMIUN, con fuente de excitación de ánodo de rodio con 40 keV y 100 μA de corriente (4W de potencia), detector de deriva de silicio con siglas en inglés (SDD), área extensa del detector de 25 mm² con modo suelo (en inglés Soil) con 1 disparo de tres beams y una repetición, cuenta con una laptop, en el cual está instalado el Software Innov X (OLYMPUS, 2015).

4.1.3.2. Especificación del espectrómetro LIBS

El espectrómetro LIBS consta de una fuente de poder de 10 A, 220-250V y 50/60Hz y también cuenta con un sistema que enfría el láser “Litron láseres LPU1000” con agua pura desionizada y con una conductividad entre 1 y 20 $\mu S/cm$, un láser Nd:YAG de potencia máxima, con 600mJ por 6 ns de radiación de pulso y 1064 nm de λ ; un espectrómetro “SpectroModule-8” que consta de 8 canales y barre desde los 181 nm - 1030 nm, cámara para muestreo “SC-2L” de volumen 280x250x330 mm (fondo x ancho x altura), 15 Kg, un sistema de coordenadas XYZ para el posicionamiento de la muestra y un led de iluminación interna , todas estas componentes del

espectrómetro LIBS son de la empresa APPLIED PHOTONICS; también incluye una laptop con el software “LIBSoft V16.3” , este software controla la adquisición y visualización de los espectros.

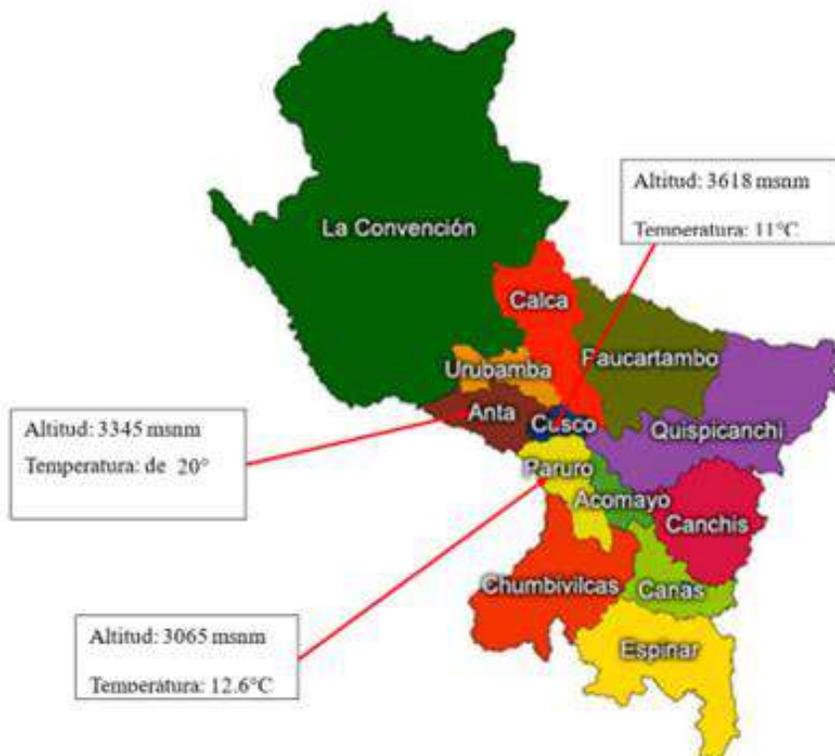
4.2. **Ámbito de estudio, tipo de investigación y unidad de análisis**

Las muestras de quinua son provenientes del distrito de Yaurisque de la provincia de Paruro; del distrito y provincia de Anta y de la microcuenca Quesermayo del distrito y provincia del Cusco todas pertenecientes a la región Cusco, cuyo mapa de ubicación (Figura 4.2).

La investigación es de tipo científico experimental y la unidad de análisis es la muestra en forma de grano (quinua)

Figura 4.2

Mapa de las zonas de muestreo en las provincias de Paruro, Anta y Cusco



Fuente: («Mapa de Cusco», s. f.)

4.3. Población de estudio, tamaño de muestra

Se tomó como población de estudio 1000 g de quinua amarilla del distrito de Yaurisque - Paruro, 1000 g de quinua amarilla del distrito y provincia de Anta y 1000 g de quinua amarilla de la Microcuenca Quesermayo del distrito y provincia del Cusco; todas pertenecientes a la región Cusco.

El tamaño de la muestra es de $2,352 \text{ cm}^3$ de quinua amarilla en polvo y grano, con densidad promedio de $1209,931 \text{ kg/m}^3$ (Ramos et al., 2022) para la técnica FRX con 2 repeticiones.

4.4. Técnicas para la selección de muestra

Para la selección de la muestra se usó la técnica del tipo aleatorio probabilístico simple, por cuarteo (Figura 4.3).

Figura 4.3

Cuarteo de la muestra



Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Obtención de las muestras

- 1 kg de quinua amarilla del distrito de Yaurisque - Paruro, se obtuvo de la señora Mauricia Flores Zanabria, quien indica de haber producido con guano de vacuno entre el maizal para consumo propio.
- 1kg de quinua amarilla de la provincia de Anta, se obtuvo del Señor Javier Arana, quien indica de haber producido con abono de vacuno y nitrato de amonio en una parcela de aproximadamente 1 ha, para comercio.
- 1 kg de quinua amarilla de Cusco se obtuvo de la señora Augusta Puma Quispe, lo cual ha sido sembrado junto al maíz para consumo propio.

4.4.2. Selección, lavado y secado de las muestras

1. Se pesó 500 g de quinua de Paruro, al cual se le asignó el código (PA00L) y se procedió a separar todas las impurezas (piedras, tallos pequeños de la planta de quinua), se frotó y se sopló para sacar un poco de su cascara (saponina), de estos 500 g, se midió 100 g y se guardó en una bolsa ziploc con cierre codificado (PA00L).
2. Se pesó 100 g de quinua para lavar seis veces en un pocillo. Se añadió agua 1,5 cm por encima de la quinua y se realizaron quince frotadas. Luego se cambió el agua y se repitieron 15 frotadas, repitiendo este proceso seis veces. Una vez lavada, la quinua (apta para el consumo) se extendió sobre el mantel codificado (PA06L) y se dejó secar por completo en un ambiente cerrado sobre una mesa de vidrio, a lado de una ventana, durante tres días. Después, se guardó en una bolsa ziploc con cierre codificado (PA06L) y se pesó la masa de la quinua seca.

El procedimiento se repitió para Anta y Cusco. El resumen se muestra en (Tabla 4.1) y en la (Figura 4.4).

Tabla 4.1*Resumen del lavado y secado de las muestras de Paruro, Anta y Cusco*

Provincia	Muestra	Masa(g)	Cantidad de Lavadas	Masa de grano de Quinua seca (g)
Paruro	PA00LG	100	00	100
	PA06LG	100	06	98
Anta	AN00LG	100	00	100
	AN06LG	100	06	92
Cusco	CU00LG	100	00	100
	CU06LG	100	06	93

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4*Muestras de Quinua sin Lavar y Lavada de las tres Provincias*

Fuente: Elaboración propia

A cada muestra de cada lugar sin lavar y lavado; en grano y polvo se codificó para identificar cada muestra, lo cual se presenta en la (Tabla 4.2).

Tabla 4.2*Tabla de códigos*

Código	Significado
PA	Paruro
AN	Anta
CU	Cusco
00L	Sin lavar
06L	Lavado (apto para el consumo)
G	Grano
P	Polvo (molido)

Nota: Abreviaciones del lugar, sin lavar y lavado, en grano integro y quinua integra en polvo de la muestra (Quinua)

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Procedimiento para la molienda

La molienda se realizó en el laboratorio LQ-203 de Química Orgánica.

Se usaron guantes de nitrilo para cubrir las manos y evitar la contaminación de la muestra, se echó la muestra PA00L sobre un papel Bonn y se cuarteó hasta separar aproximadamente 6 g, luego se introdujo en un mortero de ágata como se muestra en la (Figura 4.5) previamente limpio y desinfectado con alcohol de 90° cuyo mortero se secó con papel toalla sin perfume, en seguida se empezó a moler con el pilón a base de presión y fricción con bastante cuidado hasta obtener aproximadamente una granulometría uniforme durante un tiempo determinado para cada muestra, y en seguida se guardó en un plástico ziploc de cierre codificado (PA00LP).

Figura 4.5*Mortero y pilón*

Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento se repitió para las muestras de Anta y Cusco, cuyo resumen se expone en la (Tabla 4.3) y en la (Figura 4.6).

Tabla 4.3*Resumen de la molienda de las muestras de quinua*

Provincia	Muestras	Masa (g)
	PA00LP	6
Paruro	PA06LP	6
	AN00LP	6
Anta	AN06LP	6
	CU00LP	6
Cusco	CU06LP	6

Nota: Quinoa de Paruro, Anta y Cusco

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6

Muestras de quinua molidas sin lavar y lavada de las tres provincias de la region Cusco



Fuente: Elaboración propia

4.5. Metodología para la técnica FRX

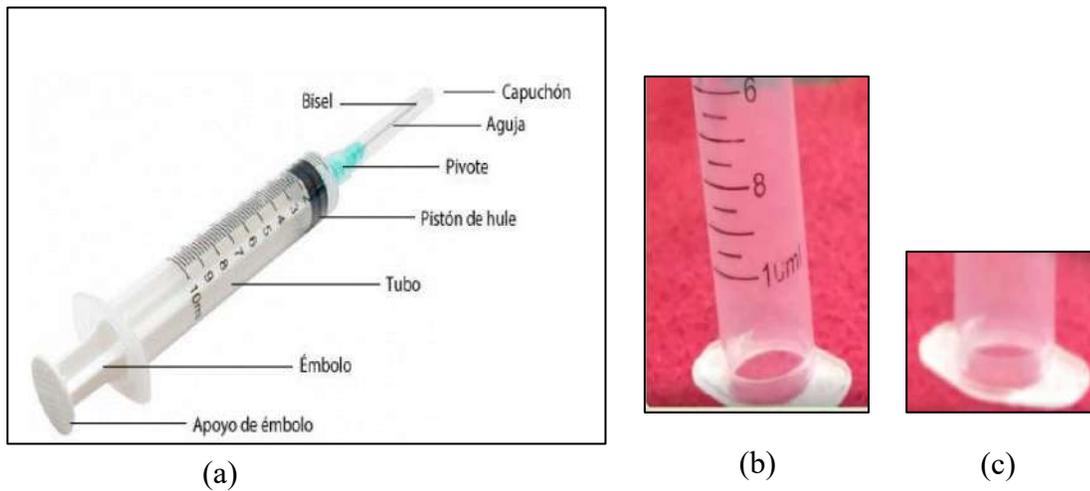
4.5.1. Diseño de porta muestra para análisis de pequeñas cantidades de grano de quinua

El diseño de la porta muestra se realizó debido a que la cantidad de grano molido que se tenía era muy poco para poder usar las porta muestras convencionales.

4.5.1.1. Acondicionamiento de las jeringas

a) Confección

Se extrajeron los émbolos de 12 jeringas desechables de plástico como se exhibe en la (Figura 4.7 a), quedando solamente el tubo (Figura 4.7 b), luego se cortó con cúter caliente el tubo de la jeringa por debajo de 10 ml para evitar la presencia de tinta (Figura 4.7 c), en seguida se esmeriló con lijador de agua fino (madera) para sacar los restos que queda del corte de las 12 jeringas.

Figura 4.7*Construcción del porta muestras*

Fuente: Elaboración propia

b) Lavado y descontaminación

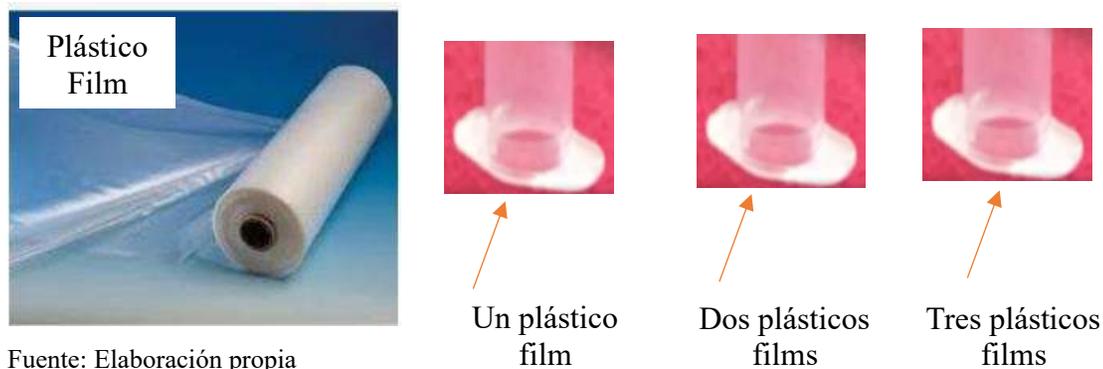
Se lavó con 400 mL de agua y detergente los porta muestras cuatro veces, y con agua destilada cuatro veces en un vaso precipitado de 1000 mL, en seguida se lavó con ácido nítrico (HNO_3) al 1% cuatro veces para descontaminar. Se dejaron en reposo en ácido nítrico (1%) por 20 h y 30 min. Después, se lavó siete veces con agua destilada y siete veces con agua ultra pura. Finalmente se dejó secar a temperatura ambiente.

4.5.1.2. Optimización de la metodología analítica**a) Definición del número de capas film plástico como base**

Se selló la base de la porta muestras con una capa de film plástico transparente (cloruro de vinilo), otra porta muestra con 2 capas de film y un tercero con 3 capas de film (Figura 4.8).

Figura 4.8

Porta muestras cubiertas con uno, dos y tres capas de films plásticos por la base



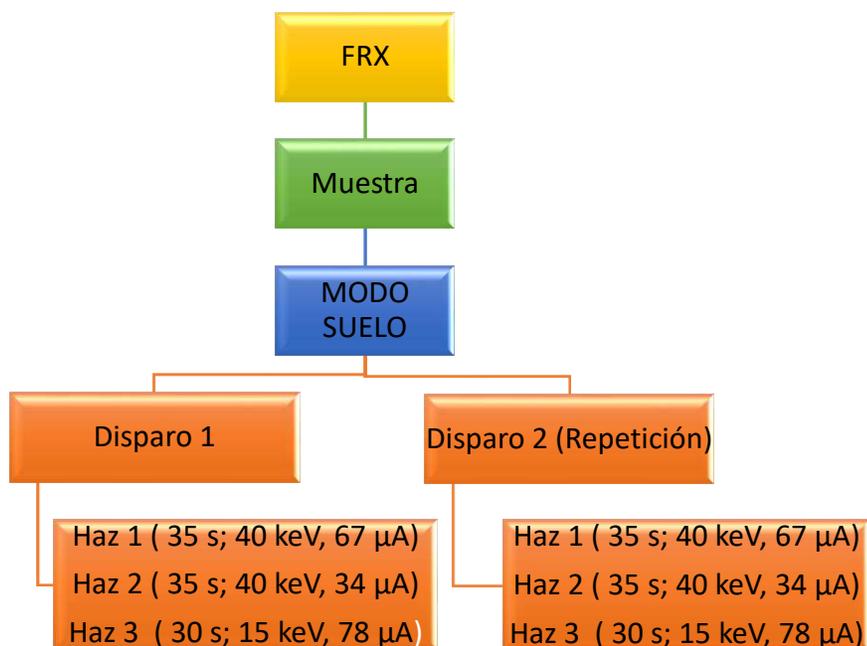
4.5.2. Técnica de recolección de datos experimentales con el software *Innov-X DELTA*

Para la recolección de información fue la técnica por observación a través de FRX en el modo Suelo (Soil) con 2 repeticiones; cada disparo incluyó tres haces de energía y cada haz tuvo la siguiente disposición experimental (haz-1: 35s, 40 keV, 67 μ A; haz - 2: 35 s, 40 keV y 34 μ A; haz - 3: 30s, 15 keV y 78 μ A). La (Figura 4.9) detalla el esquema de recolección de información por la técnica FRX.

El rayo X primario procedente de la fuente de excitación incide sobre la muestra, esta emite rayos X secundarios (FRX) de cada elemento que contiene la muestra lo que es detectado por el detector (DDS), luego estos rayos pasan al amplificador o analizador multicanal lo cual convierte las señales analógicas en señales digitales para interpretar mediante un espectro de FRX, cuyo esquema de la disposición experimental se muestra en la (Figura 4.10). Esta técnica nos proporciona 2 grupos de datos (espectro y la concentración elemental):

Figura 4.9

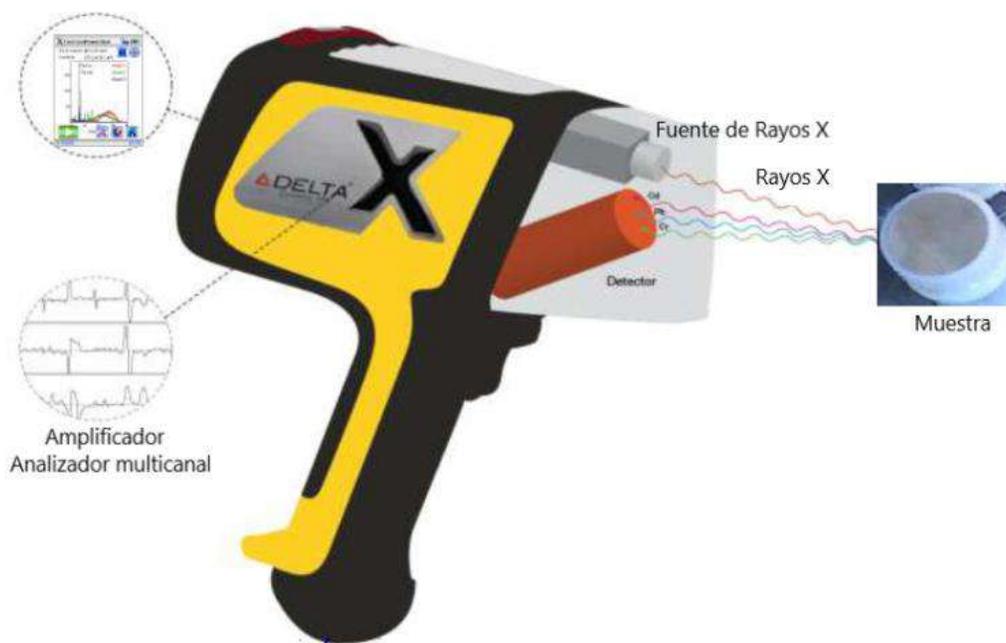
Esquema de recolección de información por la técnica FRX.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10

Esquema de la disposición experimental de la técnica FRX



Fuente: Extraído de (Tisza & Guiza G., 2021)

1) El espectro de elementos de la muestra contiene 2048 (0-2047) canales e intensidad en cuentas por segundo (cps). El software genera 6 espectros por muestra: 2 repeticiones, cada una con 3 haces: haz 1, haz 2 y haz 3. Es decir en total 72 espectros de las 12 muestras de quinua sin lavar y lavado, en grano y molido.

2) La concentración de los elementos (ppm) que contiene la muestra correspondiente a cada repetición y el promedio respectivo con el error instrumental.

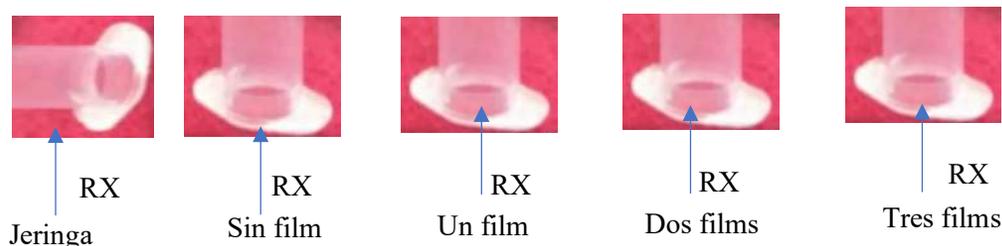
Ya conocida la técnica para la recolección de datos experimentales, en seguida se realizaron las mediciones: cuentas/s y ppm, para optimizar la metodología. Además se debe considerar que existía “poca cantidad” de muestra.

4.5.2.1. Recolección de datos de los porta muestras: jeringa, sin film y con film

Se midió los datos correspondientes a cada una de los porta muestras, como indica la (Figura 4.11), siguiendo los pasos del (ítem 4.5.2), cuyos valores se muestran en los ANEXO A y ANEXO B.

Figura 4.11

Sector analizado en los porta muestras



Nota: Disparos de RX a la pared de la porta muestra (jeringa), sin film, uno, dos y tres capas de film.

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.2. Recolección de datos variando la altura y volumen de la muestra (quinua).

Se midió los datos variando la altura (espesor) y volumen de quinua en una porta muestra con 3 film, para ello se siguió los pasos siguientes.

1. Se midió el radio (r) de la sección transversal de una porta muestra con un vernier. Luego, se vertió quinua (CU00LG) en la porta muestra y cada vez se fue disminuyendo la

cantidad de muestra en altura (h), midiendo estas alturas con vernier. Después, se determinó el volumen con la (ecuación 4.1), cuyos resultados se muestran en la (Tabla 4.4).

$$V = \pi r^2 h \quad 4.1$$

Tabla 4.4

Altura y volumen del grano de quinua

N°	h (cm)	r (cm)	V (cm ³)
H0	1.6	0.83	3.4
H1	1.4	0.83	3.0
H2	1.1	0.83	2.1
H3	0.8	0.83	1.7
H4	0.5	0.825	1.1
H5	0.3	0.825	1.0

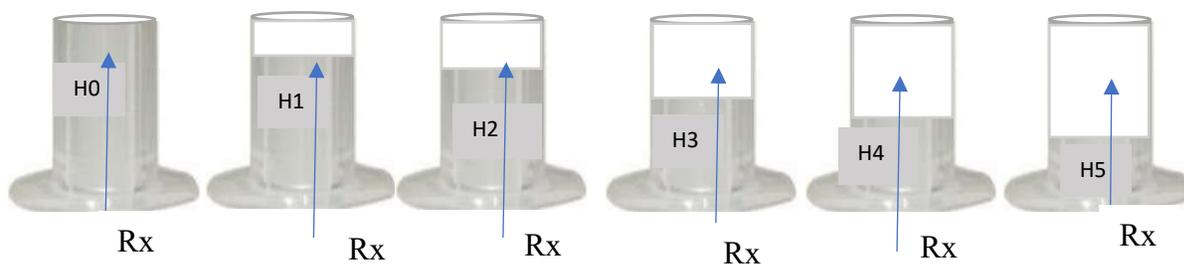
Nota: altura y volumen de la muestra

Fuente: Elaboración propia

- Se midió los datos con la técnica FRX siguiendo los pasos del (ítem 4.5.2), para cada altura, como se muestra en la (Figura 4.12).

Figura 4.12

Disparo de RX para diferentes altura o volumen de quinua entera (CU00LE)



Nota: Disparo de los RX, variando la altura o volumen de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Los datos medidos del espectro y la concentración de los elementos en (ppm) se muestran en el ANEXO A y ANEXO B.

4.5.2.3. Obtención de datos de las muestras de quinua en grano y polvo de Paruro, Anta y Cusco.

Una vez encontrada las condiciones adecuadas de medición para el numero de capas de film, altura/cantidad de muestra. Se repitió el procedimiento del (ítem 4.5.2) para las 12 muestras de quinua, cuyos datos se muestran en el ANEXO C y ANEXO D.

4.5.3. Técnicas de análisis e interpretación de los datos medidos del espectro y concentración elemental por FRX.

La técnica que se usó en el análisis e interpretación de los datos del espectro y los datos de la concentración elemental (ppm) fue la estadística descriptiva apoyada con el programa Microsoft Excel 2019 MSO (versión 2306 compilación 16.0.16529.20100) de 64 bits⁴.

4.5.3.1. Análisis e interpretación de espectros

Los datos de cada espectro se enumeraron en 2048 canales, lo cual corresponde a la cantidad de datos del espectro de cada una de las muestras. Cada valor del canal se corrigió a la energía característica con la (ecuación 4.2).

Los valores de la pendiente (Slope) y compensación (Offset) se extraen de los datos del espectro; el slope y el offset no son constantes, varían entre mediciones alejadas temporalmente, o de un día a otro.

$$E = C * Slope + Offset \quad 4.2$$

Donde

E: Energía(keV)

⁴ Hoja de cálculo que sirve para manipular datos numéricos y analizar información

C : Canales (0 a 2047)

$Slope$ (Pendiente) = 0.020068

$Offset$ (Compensacion) = -0.019202

En seguida se determinó la curva de calibración en energía (0 a 40 keV), graficando energía E (keV) en función de canales (C).

Luego de que la curva es calibrada en energía, se procedió al análisis de datos del espectro. Para cada muestra hay 6 espectros, entonces se determinó la intensidad promedio del haz 3 (\bar{I}_{Haz3}) y haz 2 (\bar{I}_{Haz2}) de las 2 repeticiones con las (ecuaciones 2.15 y 2.16), luego se graficó \bar{I}_{Haz2} y \bar{I}_{Haz3} en función de energía E (keV). Finalmente, se determinó la intensidad de los picos más pronunciados (I_p) y su respectiva energía experimental para identificar los elementos que contiene la muestra, con los pasos siguientes.

Paso 1. Se identificó las intensidades de la base (I_1, I_2) de cada uno de los picos más pronunciados del espectro, en seguida se determinó la intensidad de fondo (I_B) con la (ecuación 2.17), luego se identificó la intensidad total (I_t) de cada pico pronunciado y se determinó la altura o intensidad del pico (I_p) con la (ecuación 2.19), posteriormente se determinó la desviación estándar (σ) de I_1, I_2 con la aplicación de Excel, cuya ecuación matemática corresponde a la (ecuación 2.18), en seguida se ha confirmado la intensidad (I_p) de cada pico usando las reglas de la (ecuación 2.20 y 2.21) (Fuente M., 2015)

Paso2. Determinada la intensidad I_p de los picos más pronunciados del espectro, se identificó la energía experimental (E_{exp}) para luego comparar con la energía teórica (E_T) de las líneas espectrales K_α, K_β que se encuentran en la tabla periódica de elementos y energía de rayos X (*Periodic Table and X-ray Energies.pdf*, s. f.-a) determinando el error porcentual $e\%$ con la (ecuación 4.3)

$$e\% = \frac{|E_T - E_{exp}|}{E_T} \times 100\% \quad 4.3$$

El elemento identificado de la muestra debe ser aquella línea espectral con el menor error porcentual. Este análisis se muestra en el ANEXO K.

4.5.3.2. Técnica de análisis e interpretación de la concentración elemental (PPM)

A partir de los datos de la concentración elemental (PPM) se depuró los elementos que contengan concentraciones menores al límite de detección (<LOD)⁵, luego se analizó cada uno de los datos que tengan (<LOD) de la siguiente manera: si en el disparo 1 el dato es <LOD y en el disparo 2 existe un valor detectado, entonces el promedio es <LOD, porque no habría coherencia de que exista un promedio, en seguida se cambió con cero los <LOD, de esa manera se depuró los elementos que han sido detectados, pero menores al límite de detección y se consideró solamente los promedios de las concentraciones en PPM.

Para seguir depurando los datos que no corresponde a la muestra, se determinó el error de la concentración (e_c) de la muestra con errores máximos aceptables α del 5%, 8% y 10%, con la (ecuación 4.4).

Luego se sigue depurando los datos, considerando las reglas de la (ecuación 4.5), y comparando los errores aceptables del 5%, 8% y 10%, se consideró los elementos con un error máximo aceptable del 10% y un nivel de confianza del 90%, el nivel de confianza se determinó con la (ecuación 4.6).

$$e_c = \alpha C \quad 4.4$$

Donde

e_c : error de concentración

$\alpha = 5\%, 8\% \text{ y } 10\%$ (errores máximo aceptable)

⁵ Según The American Chemical Society (1980) se refiere al límite de detección como la más baja concentración de un analito que un procedimiento analítico puede detectar fidedignamente (Quino et al., 2007)

C: Concentración de los elementos (PPM)

Reglas para depurar los elementos que no corresponden a la muestra

Si el error del equipo es < que el error máximo aceptable \Rightarrow

se considera el elemento

4.5

Si el error del equipo es > que el error máximo aceptable \Rightarrow

no se considera el elemento

$$\text{Nivel de confianza} = (1 - \alpha) * 100\%$$

4.6

Donde

$$\alpha = 10\% = 0.1$$

Ya conocida las técnicas para el análisis e interpretación de datos experimentales medido por FRX, Se procedió con el análisis e interpretación de la porta muestras, luego la altura de la muestra y en especial de los datos experimentales (quinua) del trabajo de investigación.

a) Técnica de análisis e interpretación de la porta muestras

La técnica de análisis e interpretación de la porta muestras se realizó con los (ítems 4.5.3.1 y 4.5.3.2), cuyo análisis para determinar la cantidad de capas de plástico film y los elementos que contienen se muestra en el ANEXO I, y a partir de este análisis se demostró que se usará una porta muestra cubierta la base con 3 plásticos film para el trabajo de tesis.

b) Técnica de análisis e interpretación del espectro y concentración elemental de altura de la muestra

La técnica de análisis e interpretación de la altura de la muestra se realizó con los (ítems 4.5.3.1 (paso1 y 2) y 4.5.3.2), cuyo análisis se muestra en el ANEXO J, y a partir de este análisis se demostró y se utilizó una muestra con altura o espesor de 1.1 cm y volumen de 2.1 cm³ para el trabajo de tesis.

c) Técnica de análisis e interpretación de los espectros y concentración elemental de las muestras de quinua

La técnica de análisis e interpretación de los datos del espectro (72 espectros) del ANEXO G y la concentración elemental del ANEXO H de las muestras de quinua en grano y polvo de las provincias de Paruro, Anta y Cusco, se realizó con las técnicas de los (ítems 4.5.3.1 y 4.5.3.2).

4.5.4. Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas

La técnica para demostrar la veracidad de la hipótesis planteada fue los resultados obtenidos en la literatura científica y los datos obtenidos por LIBS

4.6. Metodología para la técnica LIBS

4.6.1. Procedimiento para la fabricación del porta muestras

La porta muestra de acero Inoxidable calibre 304 comprado del mercado cusqueño, se fabricó en un taller de mecánica de la ciudad del Cusco, como se presenta en la (Figura 4.13).

Figura 4.13

Porta muestra de acero inoxidable



Fuente: Elaboración propia

Donde:

1. Base de la porta muestra
2. Tambor
3. Jebe
4. Tapa con pistón de la porta muestra

4.6.2. Procedimiento para el prensado de las pastillas de la muestra

Se limpio la porta muestras con alcohol y acetona, luego se colocó los jebes en la base del pistón, en seguida se hace barquitos de papel para cada uno de la porta muestras.

Se calibró la balanza digital (00 mg) y se midió 100 mg de la muestra con código PA00LP y luego se introdujo a la porta muestra, y se cubre la porta muestra con plástico film y finalmente se tapa con su propia tapita.

Se colocó a la prensa la porta muestra con quinua molida (Figura 4.14), cuyo prensado se realizó con 15 kPa de presión por un tiempo de 15 min y luego se extrajo las pastillas y se guardó en su bolsita codificada PA00LP.

Figura 4.14

Muestra en la prensa hidráulica



Nota: la muestra de quinua en pleno prensado en la porta muestra de acero inoxidable

Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento se realizó para las demás muestras, cuyo resumen se ilustra en la (Tabla 4.5).
y (Figura 4.15).

Tabla 4.5*Resumen del prensado de las pastillas*

Procedencia	Muestra	Masa(mg)
Paruro	PA00LP	100.1
	PA06LP	99.9
	AN00LP	100
Anta	AN06LP	100
	CU00LP	99
Cusco	CU06LP	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15*Pastillas de las muestras de quínu*

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Técnicas de recolección de datos experimentales con la técnica LIBS

Para esta técnica se tomó aleatoriamente la muestra de la quínu lavada en pastilla de la provincia de Anta, en vista de que las muestras de las 3 provincia contienen los mismos minerales obtenidos por la técnica FRX. La técnica de recolección de información es por observación a través de la técnica de Espectroscopía Laser (LIBS) con 2 disparos, cada disparo con una duración de 1,1 y 1,28 s, el esquema de recolección de información por la técnica LIBS se muestra en la (Figura 4.16).

Figura 4.16

Esquema de recolección de información por la técnica LIBS



Fuente: Elaboración propia

4.6.3.1. Recolección de datos de la muestra de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta

Se repite el procedimiento del (ítem 4.6.3) cuyos datos del espectro se muestra en el ANEXO N, y la técnica de análisis e interpretación de los datos fue por estadística descriptiva con el programa Microsoft Excel 2019 MSO (versión 2306 compilación 16.0.16529.20100) de 64 bits, y la técnica para evidenciar la verdad y falsedad de la hipótesis se utilizó los resultados obtenidos en la literatura científica.

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados por la técnica FRX y LIBS.

A continuación, se muestra el procesamiento, análisis, interpretación y discusión de los resultados obtenidos de macro y micro minerales de quinua amarilla de 3 provincias de la región Cusco por las técnicas FRX y LIBS.

5.1.1. *Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultado de los minerales de la quinua amarilla por la técnica FRX.*

5.1.1.1. **Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados**

Para procesar, analizar, interpretar y discutir los resultados de la intensidad (cps) y concentración elemental (PPM) se procedió con las técnicas descritas en los (ítems 4.5.3.1 y 4.5.3.2).

Como los datos obtenidos por FRX son datos del espectro y concentración elemental, entonces primero se procesó, se analizó y se interpretó, luego se ha discutido los datos del espectro, y después, de la concentración elemental para cada muestra.

5.1.1.1.1. *Datos del espectro*

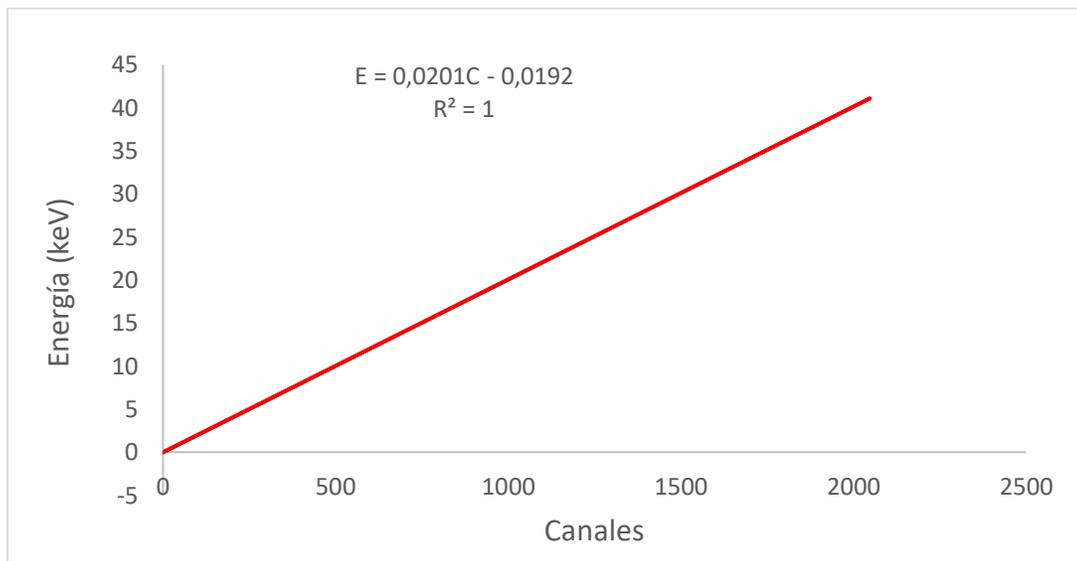
A partir de los datos mostrados en el ANEXO G, y con la técnica del (ítem 4.5.3.1) se determinó la energía E (keV), luego se procedió con la calibración en unidades de energía para todas las muestras.

a) **Calibración en unidades de energía**

Se graficó Energía (E) en función de los canales, cuya curva se ajusta a una función lineal con un coeficiente de correlación lineal ($R^2 = 1$), con pendiente 0.0201(energía por unidad de canales) y una energía inicial de -0.0192 cuando el canal es cero, como se muestra en la (Figura 5.1), cuya relacion se presenta en la (ecuación 5.1).

$$E = 0.0201\text{Canales} - 0.0192$$

5.1

Figura 5.1*Curva de calibración en energía*

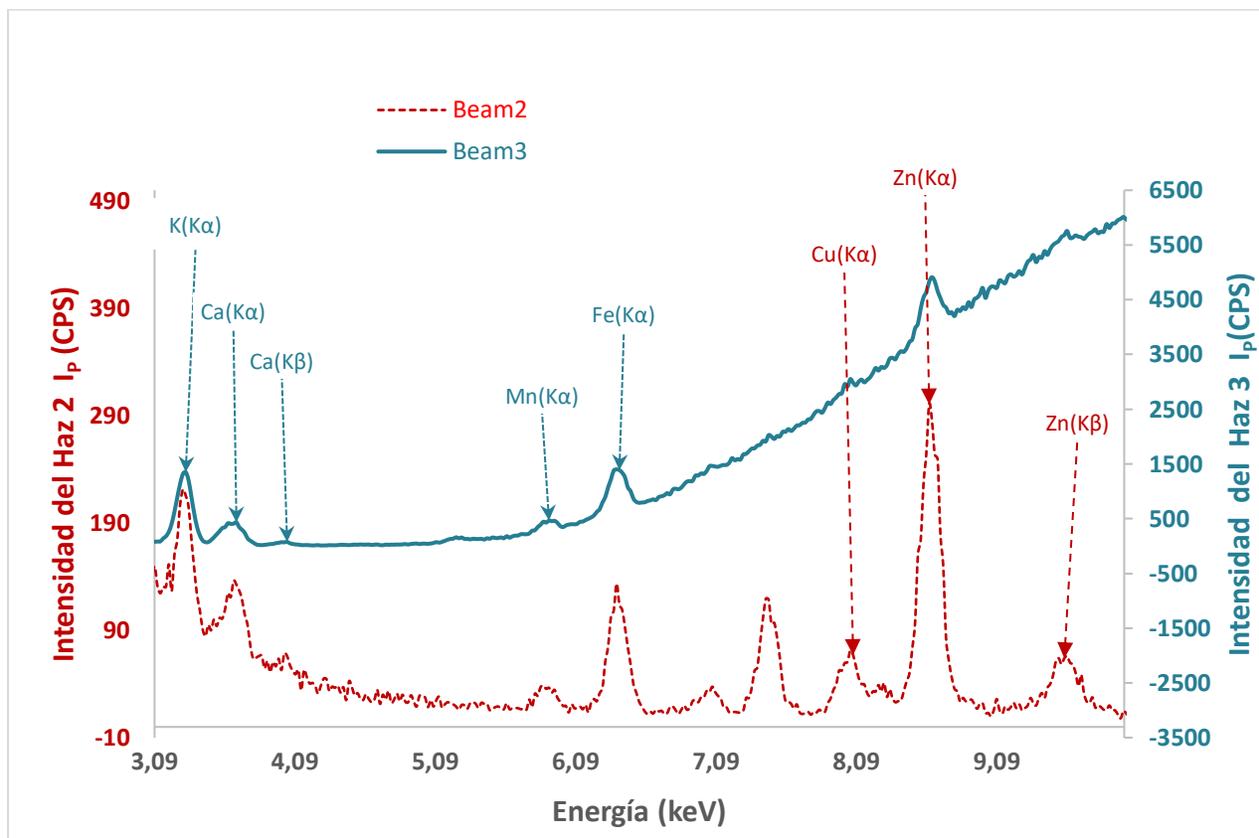
Nota: la gráfica presenta energía en función de canales

Fuente: Elaboración propia

Después de calibrar en unidades de energía los datos, se determinó la intensidad promedio del haz tres $\bar{I}_{haz3}(cps)$ y $\bar{I}_{haz2}(cps)$ con la técnica del (ítem 4.5.3.1), en seguida se graficó la intensidad $\bar{I}_{haz3}(cps)$ y $\bar{I}_{haz2}(cps)$ en función de la energía E (keV) para cada una de las muestras de cada provincia, la (Figura 5.2) muestra el espectro de la quinua de Paruro sin lavar en polvo (PA00LP) y los demás espectros se muestran en las figuras del ANEXO M.

Figura 5.2

Espectro de quinua amarilla sin lavar en polvo con código (PA00LP),



Nota: El signo negativo en el eje de las intensidades significa solamente para diferenciar las 2 figuras
Fuente: Elaboración propia

A partir del espectro de la (Figura 5.2) y de los espectros de las figuras del ANEXO M (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k) se determinó las intensidades de los elementos que contiene la quinua amarilla de Paruro, Anta y Cusco con los pasos 1 y 2 del (ítem 4.5.3.1), lo cual se muestra en la (Tabla 5.1).

Tabla 5.1

Intensidad (cps) de los elementos de quinua amarilla sin lavar y lavado en polvo y grano de Paruro, Anta y Cusco

Elementos	Intensidad de los Elementos de Quinua en Grano I_p (cps)					
	Paruro		Anta		Cusco	
	PA00LG	PA06LG	AN00LG	AN06LG	CU00LG	CU06LG
K ($K\alpha$) B3	870	522	2609	1121	705	544
Ca ($K\alpha$) B3	264	641	534	948	240	524
Ca ($K\beta$) B3	50	111	74	161	57	104
Mn ($K\alpha$) B3	112	115	170	202	150	155
Fe ($K\alpha$) B3	413	476	309	354	287	239
Cu ($K\alpha$) B2	52	53	59	62	50	50
Zn ($K\alpha$) B2	170	215	131	187	151	145
Zn ($K\beta$) B2	51	53	52	56	56	55
Elementos	Intensidad de los Elementos de Quinua en Polvo I_p (cps)					
	Paruro		Anta		Cusco	
	PA00LP	PA06LP	AN00LP	AN06LP	CU00LP	CU06LP
K ($K\alpha$) B3	1271	389	1096	636	889	262
Ca ($K\alpha$) B3	328	255	291	273	372	151
Ca ($K\beta$) B3	61	64	55	62	87	43
Mn ($K\alpha$) B3	148	60	153	128	116	66
Fe ($K\alpha$) B3	644	582	412	269	740	266
Cu ($K\alpha$) B2	61	53	43	51	50	50
Zn ($K\alpha$) B2	175	217	130	132	133	164
Zn ($K\beta$) B2	50	65	48	55	58	50

Nota: Elaboración propia

A partir de las intensidades (I_p) del espectro de la (Figura 5.2) y los espectros de las figuras del ANEXO M (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k) que corresponde a las muestras de quinua amarilla sin lavar y lavado en grano y en polvo de las 3 provincias se identificaron las líneas espectrales de los elementos $K(K\alpha)$, $Ca(K\alpha, K\beta)$, $Mn(K\alpha)$, $Fe(K\alpha)$, $Cu(K\alpha)$ y $Zn(K\alpha; K\beta)$, de los cuales estos elementos dividimos en dos grupos.

Grupo1: Con mayor intensidad: Los elementos con intensidades mayor a 100 CPS

Grupo2: Con menor intensidad: Los elementos con intensidades menores a 100 CPS

Los elementos que se obtuvieron con mayor intensidad son: $K(K\alpha)$, $Ca(K\alpha)$, $Fe(K\alpha)$ en el haz 3 confirmados por el haz 2; $Mn(K\alpha)$ en el haz 3 y $Zn(K\alpha)$ en el haz 2 y confirmado por el haz 3.

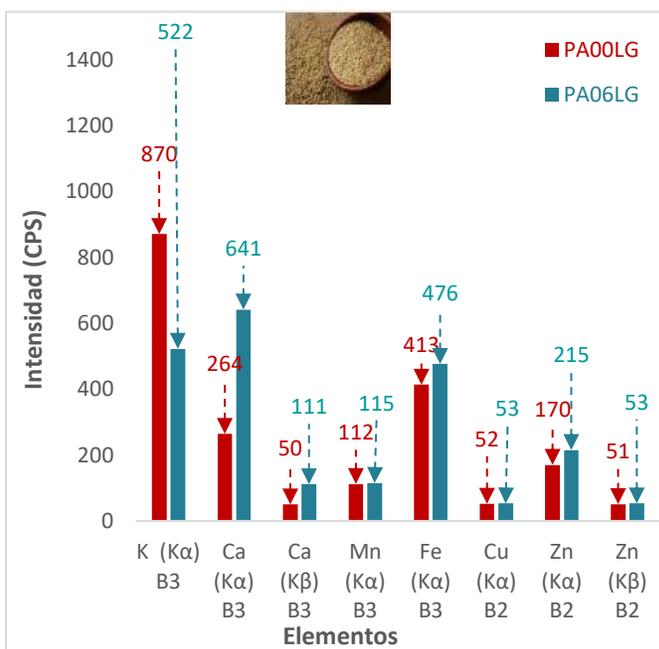
Los elementos que tienen menor intensidad son: $Ca(K_{\beta})$ en el haz 3, $Cu(K_{\alpha})$ y $Zn(K_{\beta})$ en el haz 2.

Con los resultados de la (Tabla 5.1) se graficó las barras de la intensidad de los elementos de quinua sin lavar y lavado en grano y polvo de las 3 provincias, como se muestra en la (Figura 5.3 a, b, c, d, e y f) para analizar, interpretar y discutir sobre: 1) La quinua en grano respecto al polvo; y 2) la quinua lavada (apto para el consumo) respecto a la quinua sin lavar (no apto para el consumo). y 3) comparación de intensidades de la quinua lavada apto para el consumo de las 3 provincias.

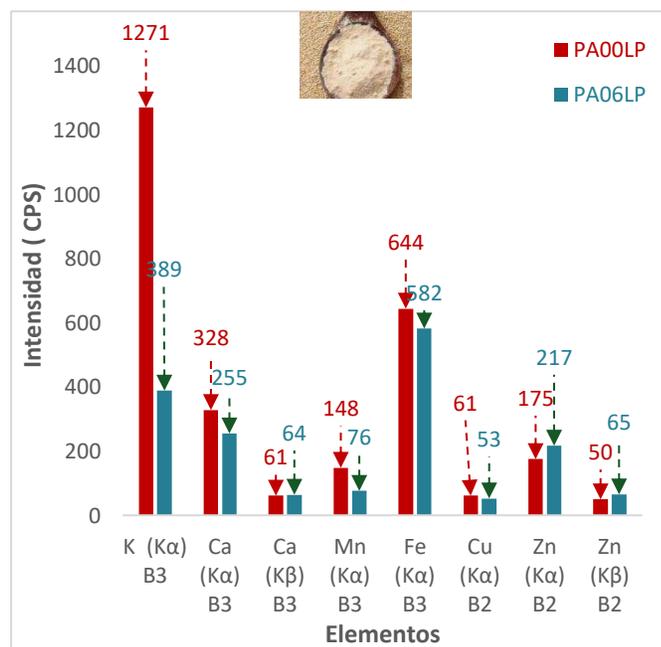
Figura 5.3

Intensidad de elementos de quinua sin lavar y lavado en grano y polvo de las provincias de:

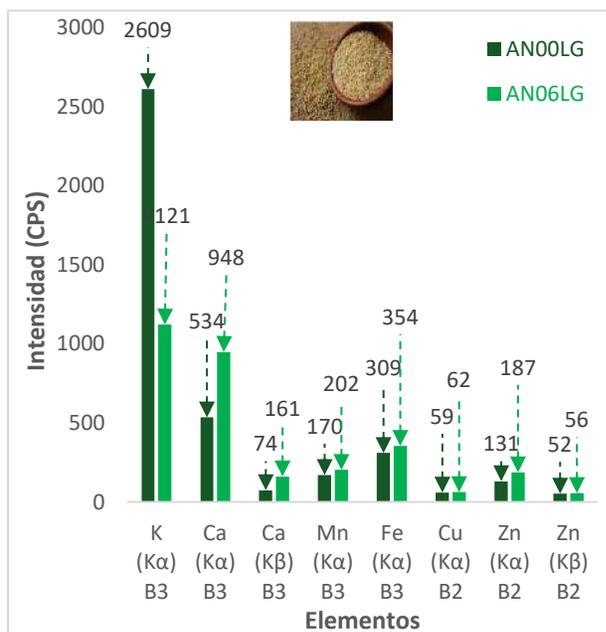
a) Paruro - Quinua en Grano



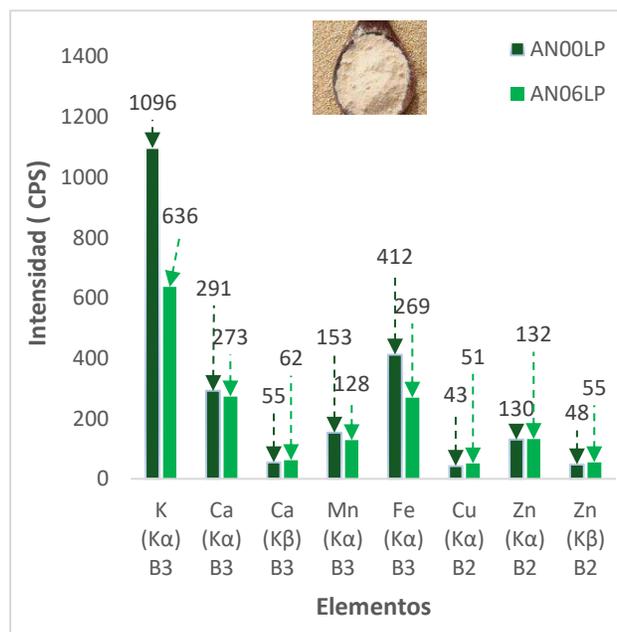
b) Paruro - Quinua en Polvo



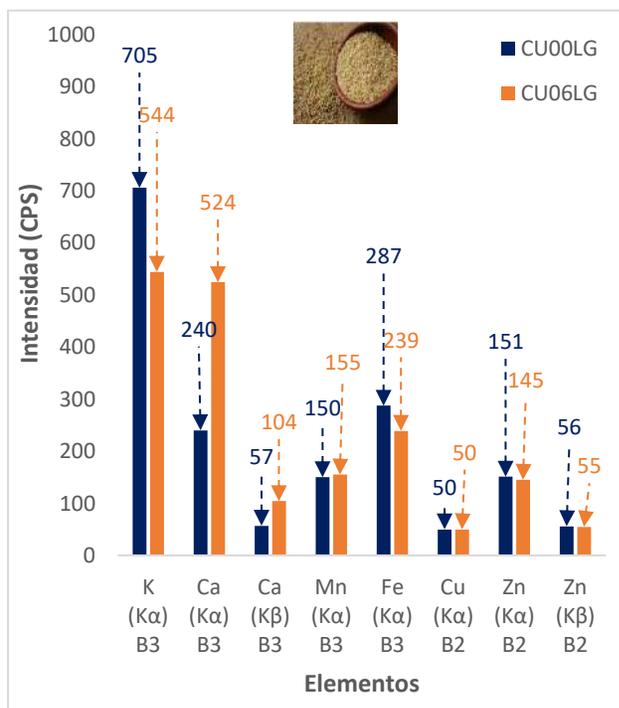
c) Anta - Quinoa en Grano



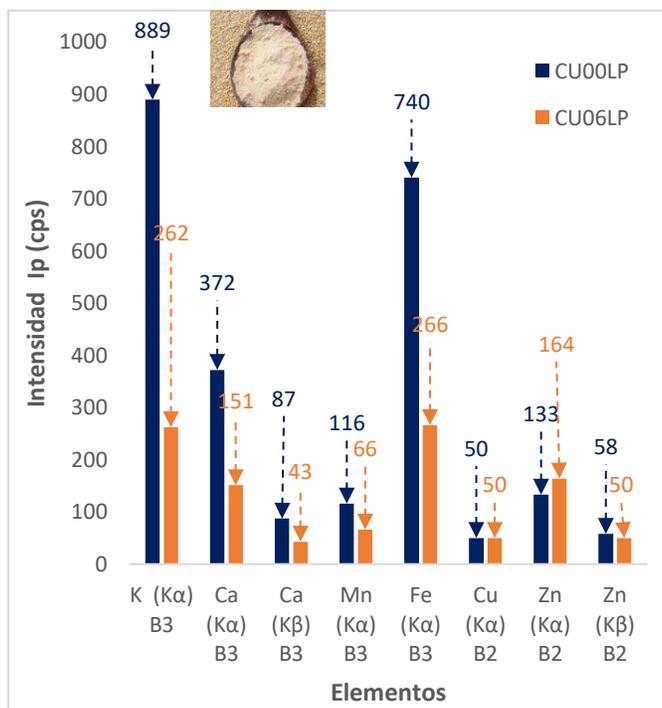
d) Anta - Quinoa en Polvo



e) Cusco - Quinoa en Grano



f) Cusco - Quinoa en Polvo



Fuente: Elaboración propia

1. Análisis, interpretación y discusión de la quinua en grano respecto a la quinua en polvo.

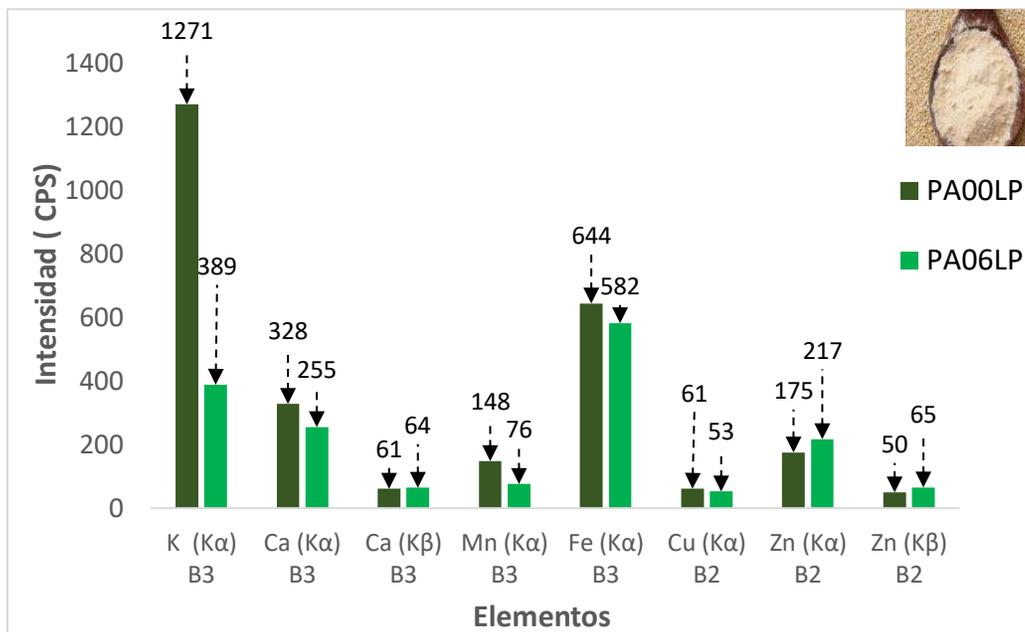
Observando las intensidades de cada uno de los elementos de la quinua en grano sin lavar y lavado con respecto a la quinua en polvo sin lavar y lavado de las (Figura 5.3 a, b, c, d, e y f), que corresponde a las 3 provincias, se identificó los mismos elementos, con la diferencia de que la intensidad de la quinua en grano con diámetro medio geométrico oscila entre 1.625 a 1.784 mm según (Ramos et al., 2022) es variable en vista de que la separación entre grano a grano es mayor, en tal sentido el haz de los rayos X que incide sobre esta muestra nos identifica no solamente la intensidad del grano, sino también del aire (S&P, 2018), lo cual no sería los datos idóneos para un análisis a profundidad; en cambio de la quinua en polvo en donde la separación de las partículas es mucho menor entonces el rayo X que incide sobre la muestra nos da una información próxima al valor real, por tanto se analizó las muestras de la quinua en polvo de las tres provincias como también así indican en la metodología de la literatura científica (Pedrali et al., 2023, p. 2).

2. Análisis, interpretación y discusión de la quinua sin lavada respecto a la quinua lavada

Para analizar, interpretar y discutir la quinua lavada respecto de la quinua sin lavar en polvo, se muestra en las Figuras y tablas: (Figura 5.4) y (Tabla5.2).

Figura 5.4

Intensidad de la quinua sin lavar y lavada en polvo de Paruro



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2

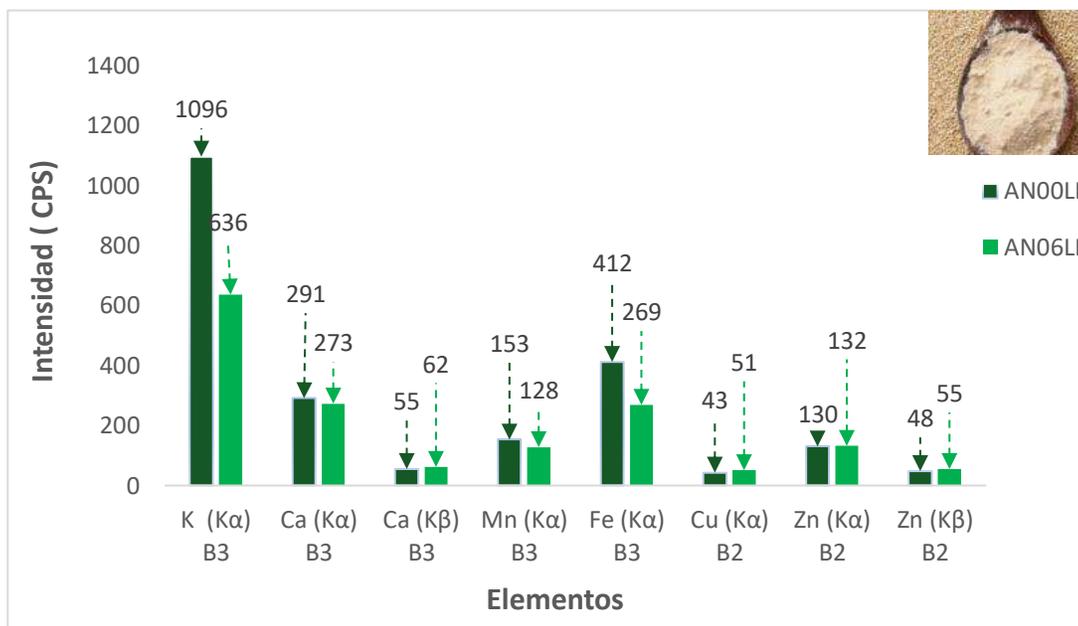
Intensidad de la diferencia entre la quinua de PA00LP y PA06LP (intensidad de salvado)

Elementos	Intensidad (cps)				
	PA00LP	PA06LP	Saponina	% Saponina	% PA06LP
K (Kα) B3	1271	389	883	69	31
Ca (Kα) B3	328	255	73	22	78
Ca (Kβ) B3	61	64	-3	0	100
Mn (Kα) B3	148	76	72	49	51
Fe (Kα) B3	644	582	62	10	90
Cu (Kα) B2	61	53	9	14	86
Zn (Kα) B2	175	217	-42	0	100
Zn (Kβ) B2	50	65	-16	0	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.5

Intensidad de la quinua sin lavar y lavada en polvo de Anta



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3

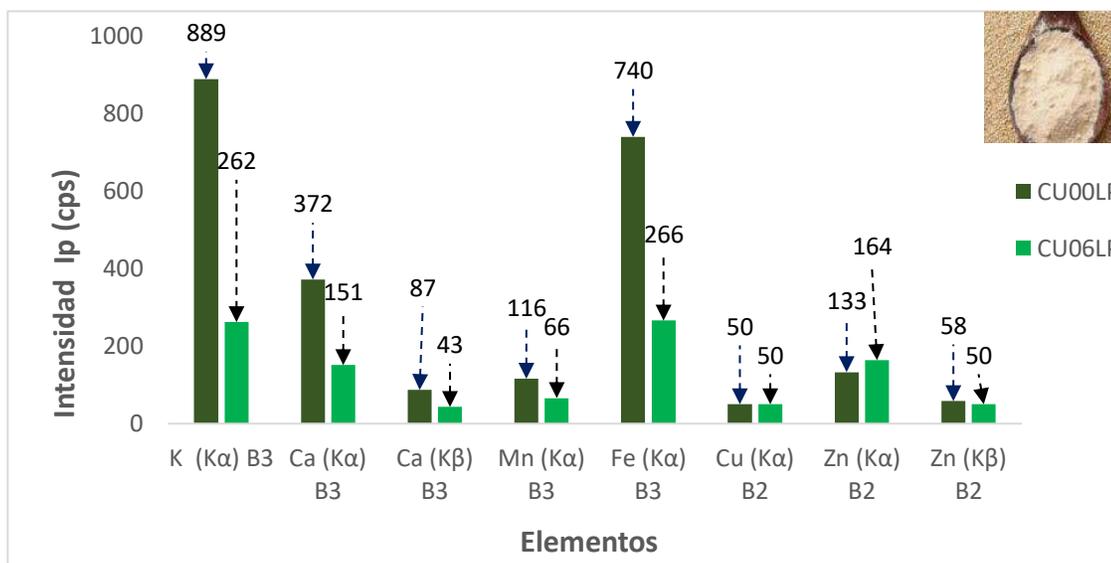
Intensidad de la diferencia entre la quinua de AN00LP y AN06LP (intensidad de saponina)

Elementos	Intensidad (cps)			% De Saponina	% De AN06LP
	AN00LP	AN06LP	Diferencia		
K(K α) B3	1096	636	460	42	58
Ca(K α) B3	291	273	18	6	94
Ca(K β) B3	55	62	-7	-13	113
Mn(K α) B3	153	128	25	16	84
Fe(K α) B3	412	269	143	35	65
Cu(K α) B2	43	51	-8	-19	119
Zn(K α) B2	130	132	-2	-2	102
Zn(K β) B2	48	55	-7	-15	115

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.6

Intensidad de la quinua sin lavar y lavada en polvo de Cusco



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4

Intensidad de la diferencia entre la quinua de CU00LP y CU06LP (intensidad de saponina)

Elementos	Intensidad (cps)				
	CU00LP	CU06LP	Saponina	% Saponina	% De CU06LP
K (Kα) B3	889	262	627	71	29
Ca (Kα) B3	372	151	221	59	41
Ca (Kβ) B3	87	43	44	51	49
Mn (Kα) B3	116	66	50	43	57
Fe (Kα) B3	740	266	474	64	36
Cu (Kα) B2	50	50	0	0	100
Zn (Kα) B2	133	164	-31	-23	100
Zn (Kβ) B2	58	50	8	14	86

Fuente: Elaboración propia

Las barras verdes oscuras de las Figuras (Figura 5.4), (Figura 5.5) y (Figura 5.6) de las 3 provincias corresponden a la intensidad de la quinua sin lavar que pertenece al (episperma, embrión y perisperma) y las barras de color verde claro de las mismas figuras corresponde a la quinua lavada (embrión y perisperma); la diferencia entre las intensidades de los elementos de la

quinua lavada respecto de la quinua sin lavar es muy considerable tanto en K(K α), Ca(K α y K β), Mn(K α), Fe(K α), lo cual corresponde a la cascara del grano o episperma (saponina) que es la parte amarga de la quinua, cuya intensidad y porcentaje de saponina, como también el porcentaje de la parte apto para el consumo se muestra en las tablas (Tabla 5.2), (Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 5.3) y (Tabla 5.4) de las tres provincias; como el objetivo de la investigación es determinar los minerales que contiene la quinua apto para el consumo, por tanto se analizó, interpretó y se discutió, solamente la parte del embrión y perisperma de la quinua. Sin embargo, se informa el porcentaje de minerales en la saponina para posteriores trabajos de investigación.

El K de Paruro, Anta y Cusco disminuyen considerablemente de los cuales el 31% , 58% y 29% respectivamente es apto para el consumo (embrión y perisperma), y el 69%, 42% y 71% de K respectivamente no es apto para el consumo que corresponde al episperma o saponina (*Ahumada et al., 2016*), en un total de (60%) de las tres provincias; este alto contenido de K es esencial para la obtención de fosfato de amonio (*Eximgro S.A., 2021*) fertilizante para la agricultura; la presencia de los minerales K, Ca, Mn, Fe, en la saponina es muy importante para investigaciones posteriores, lo cual puede servir para la obtención de insecticida, champú, detergentes y para usos farmacéuticos como se indica en la literatura científica (*Ahumada et al., 2016; López Sánchez et al., 2022; Sun et al., 2019*), el Cu y Zn no existe en la saponina de la quinua de las tres provincias de Cusco.

Se observó que a mayor cantidad de lavadas disminuye la intensidad del embrión y perisperma de la quinua; por tanto, la intensidad de la presencia del embrión y perisperma es inversamente proporcional a la cantidad de lavadas, en tal sentido se recomienda no lavar en exceso.

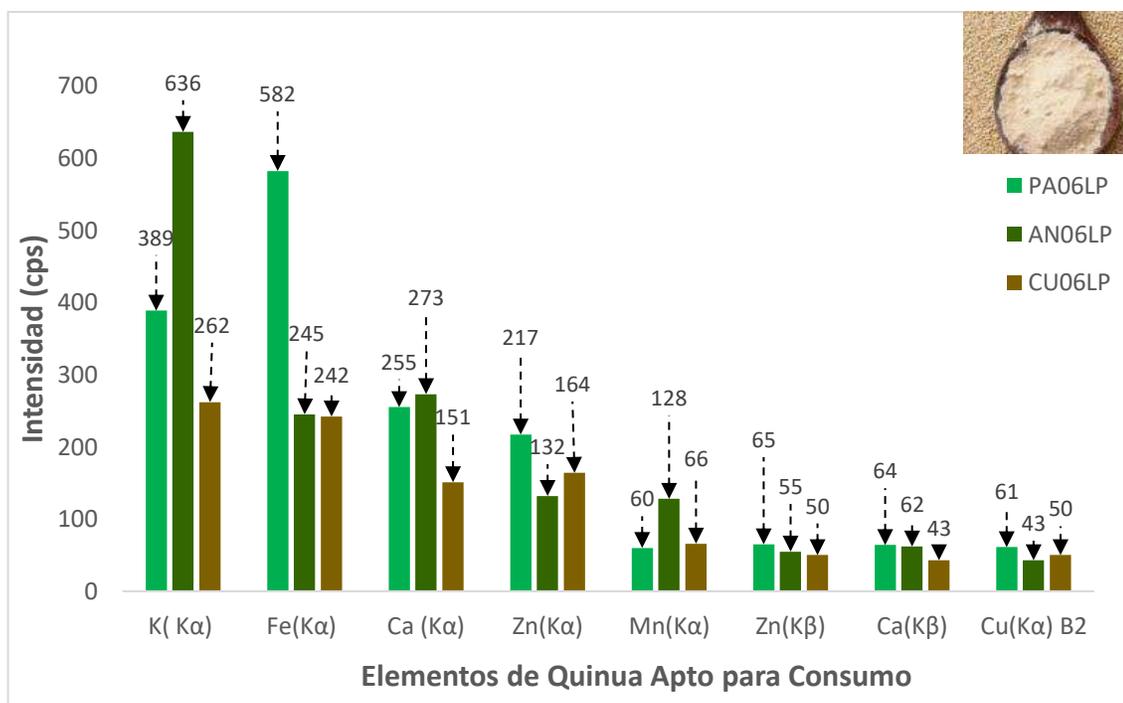
En vista de que la quíinoa apto para consumo es la que está lavada, por tanto, se consideró las muestras de PA06LP, AN06LP y CU06LP.

3. Comparación de la intensidad de quíinoa lavada de las 3 provincias

La Figura 5.7), presenta la intensidad en función de los elementos de la quíinoa lavada apto para consumo de las tres provincias, para comparar la intensidad de cada uno de los elementos.

Figura 5.7

Intensidad $I(\text{cps})$ de los elementos de la quíinoa lavada en polvo de las 3 provincias de la región Cusco



Fuente: Elaboración propia

A partir de la figura anterior, el que tiene mayor intensidad en K(K α) es la quíinoa de la provincia de Anta (AN06LP) lo cual ha sido producido con fertilizante como estiércol de vacuno, abono orgánico(BBVA, s. f.) y fosfato de amonio(P, N y K) (*Eximgro S.A.*, 2021), fumigado con insecticida Furia(*furia_ficha_tecnica.pdf*, s. f.) a los 2 meses para matar a las plagas antes de que ponga huevo, se cosechó después de 6 meses en una trilladora y luego se ventea en casa, esta

producción de quinua amarilla es con fines de comercio, lo cual indica el agricultor, el siguiente en intensidad es el K de la quinua de PA06LP y por último de Cusco (CU06LP); la quinua de Paruro fue cultivada con estiércol de vacuno entre el maizal con fines de consumo, y la quinua de Cusco es cultivada también entre el maizal con escaso fertilizante como estiércol de cuy pero sin insecticida con fines de consumo; el K es esencial para la dieta equilibrada del ser humano (Chaudhary et al., 2023), cuya función principal es de transportar nutrientes a las células conforme se mueve por las membranas (FoodPyramid, 2015).

La intensidad del Fe(K α) de PA06LP es el más intenso mientras las intensidades de Anta AN06LP y Cusco CU06LP son aproximadamente iguales, la quinua de Paruro fue cultivada con estiércol de vacuno, como ya se mencionó anteriormente, y el tipo de suelo seguramente también favoreció lo cual se recomienda hacer un análisis elemental del suelo en un posterior trabajo de investigación, el Fe es esencial en la salud humana, sirve para transportar oxígeno a los glóbulos rojos (Chaudhary et al., 2023), la carencia de hierro conlleva a la anemia (Latham. Michael C., 2002) con frecuencia en niños y madres gestantes, en tal sentido el contenido de hierro de la quinua tendrá un aporte muy esencial en la salud.

La intensidad de Ca(K α) de AN06LP es el más intenso, en seguida es de PA06LP y luego de CU06LP, el Calcio es muy esencial para una dieta equilibrada en humanos (Chaudhary et al., 2023), se encuentra en un 99% en los huesos y dientes; combinado con fósforo(P) hace de que el cuerpo se mantenga rígido, la carencia de Ca conlleva a la osteoporosis en persona mayores y raquitismo en niños (FAO, 2015; Latham. Michael C., 2002).

La intensidad de Zn(K α) de la quinua de Paruro (PA06LP) es el más intenso, en seguida de Anta (AN06LP) y luego de Cusco (CU06LP), el Zn es esencial para el metabolismo, y participa en muchas reacciones químicas que ocurren en el cuerpo (Chaudhary et al., 2023), se encuentra en los

huesos, piel, cabello y en la próstata, sirve para fabricar proteínas, para la cicatrización de heridas; la carencia de Zn conlleva a la malnutrición y de enfermedades congénitas raras (FAO, 2015; Latham. Michael C., 2002; NorthShore Foundation, 2023)

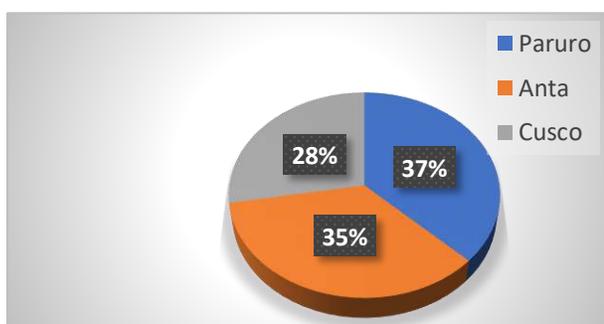
La intensidad del Mn(K α) de la quinua de Anta (AN06LP) es el más intenso mientras las intensidades de Cusco CU06LP y Paruro PA06LP son aproximadamente iguales. El Mn es esencial para el metabolismo, y desarrollo del ser humano (Chaudhary et al., 2023), se almacena en el hígado, páncreas y riñones y el hueso, el Mn ayuda la producción de antioxidantes y el control del sistema nervioso, la carencia de Mn , puede incluir ciertos defectos del nacimiento, niveles inadecuados de glucosa en la sangre, infertilidad (FoodPyramid, 2015; Latham. Michael C., 2002)

La intensidad de Cu(K α) de la quinua de Paruro (PA06LP) es el más intenso, en seguida es de CU06LP y luego de AN06LP ; el cobre promueve el desarrollo de los tejidos conectivos para la eficiencia de los huesos, vasos sanguíneos y cartílagos de todo el cuerpo, la carencia de Cu en el cuerpo humano conlleva a bajas tasas de absorción, los niños que toman fórmulas de leche y los bebés que nacen prematuros adquieren deficiencias de Cu (FoodPyramid, 2015).

La (Figura 5.8) muestra la intensidad total de minerales de la quinua lavada (apto para consumo) en polvo de las 3 provincias.

Figura 5.8

Intensidad total de los minerales de las 3 provincias



Nota: Se sumó y se determinó el porcentaje de las intensidades de todos los elementos de cada provincia

Fuente: Elaboración propia

La provincias de Paruro y Anta contiene ligeramente iguales el contenido de minerales luego Cusco, esta diferencia en contenido de minerales, podría ser por el tipo de suelo y el uso de fertilizantes tanto orgánicos e inorgánicos, como también se menciona en la literatura (Pedrali et al., 2023). La quinua presenta un excelente potencial en la industria alimentaria y farmacéutica (Villacrés et al., 2022).

5.1.1.1.2. Datos de la concentración elemental (PPM)

A partir de los datos del ANEXO H se determinó con la técnica del (ítem 4.5.3.2) la concentración elemental (PPM) de las muestras de Paruro, Anta y Cusco, lo cual se muestra en la (Tabla 5.2).

Tabla 5.2

Concentración elemental de la quinua en grano y polvo de las 3 Provincias

Elementos	Concentración Elemental de Quinua en Grano (PPM)					
	Paruro		Anta		Cusco	
	PA00LG	PA06LG	AN00LG	AN06LG	CU00LG	CU06LG
S*	1316	1395	1493	1366	1359	1215
K	1469	840	3693	1570	1185	898
Ca	< LD	112	<LD	402	< LD	< LD
Mn	< LD	<LD	<LD	<LD	< LD	< LD
Fe	30	22	17	13	12	11
Cu	< LD	< LD	<LD	<LD	< LD	< LD
Zn	45	41,3	33,1	33,6	36,4	32,6
Elementos	Concentración Elemental de Quinua en Polvo (PPM)					
	Paruro		Anta		Cusco	
	PA00LP	PA06LP	AN00LP	AN06LP	CU00LP	CU06LP
S*	1767	1744	1732	1782	1711	1612
K	2197	771	1950	1141	1632	558
Ca	< LD	< LD	<LD	<LD	< LD	< LD
Mn	< LD	< LD	<LD	<LD	< LD	< LD
Fe	51	43	32	38	83	18
Cu	< LD	< LD	<LD	<LD	< LD	< LD
Zn	55,1	58,8	48,9	47,8	45,9	46,1

Nota: * Estos valores se consideran en esta tabla, a pesar de que las reglas de selección de intensidades y aceptación de los elementos no se cumplen (ítem 2.1.3.2.4)

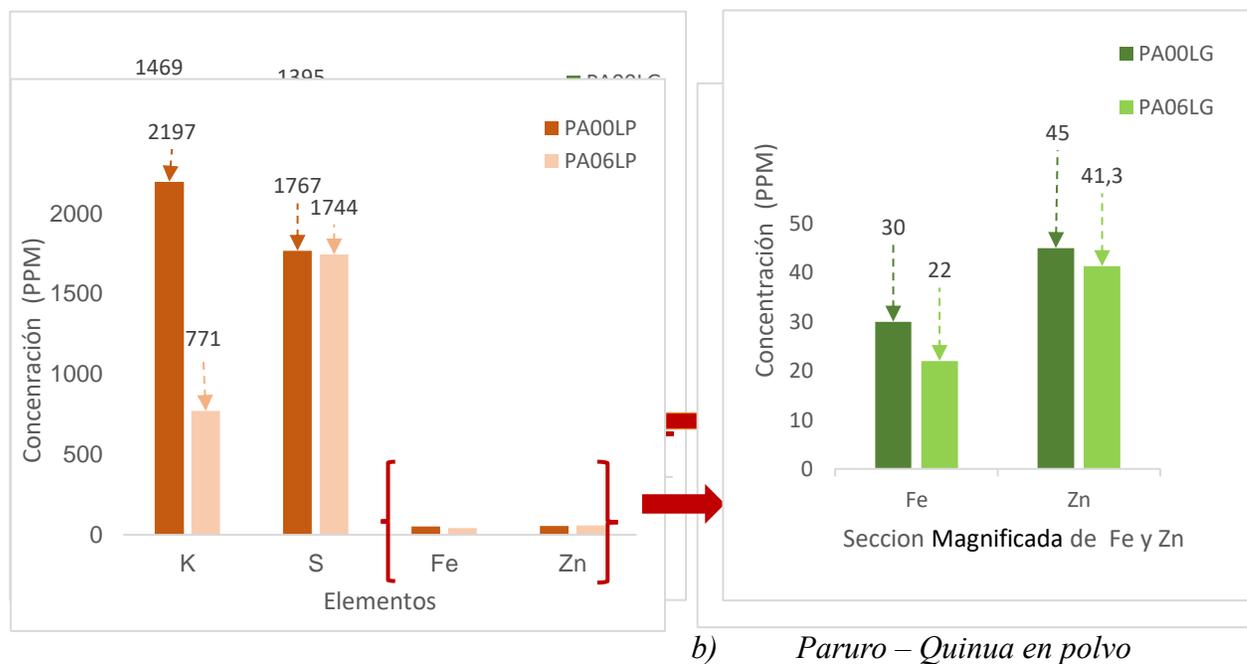
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de la (Tabla 5.2) se graficó la barra de la concentración elemental en función de los elementos presentes de la muestra de Paruro, Anta y Cusco, lo cual se presenta en la (Figura 5.9), (Figura 5.10) y (Figura 5.11), estas figuras se realizaron para analizar, interpretar y discutir la presencia de la concentración elemental (PPM).

Figura 5.9

Concentración (PPM) de elemento de la quinua amarilla en: a) grano y b) polvo.

a) *Paruro – quinua en grano*

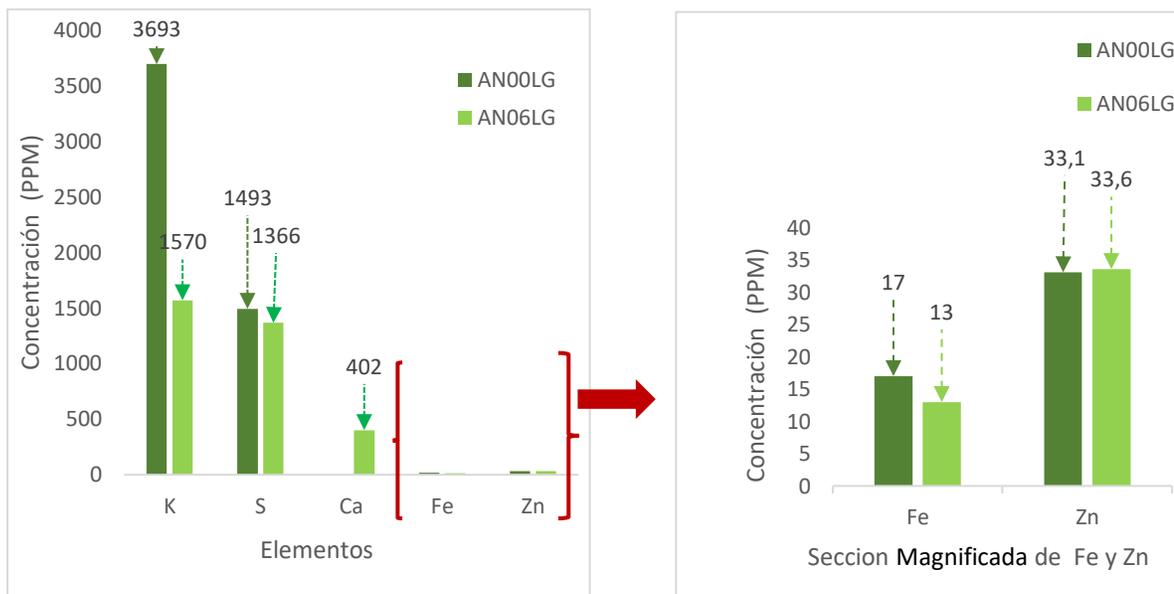


Fuente: Elaboración propia

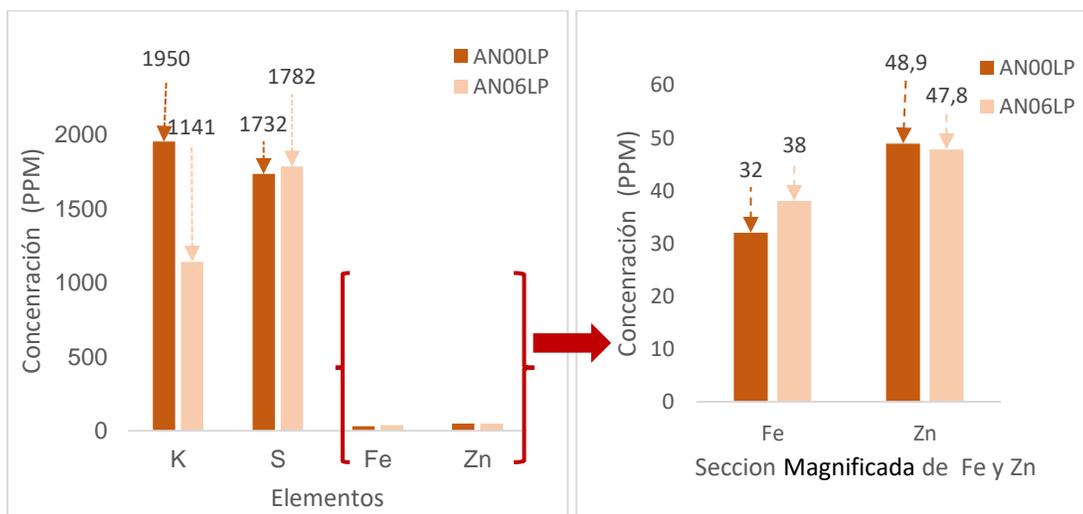
Figura 5.10

Concentración (PPM) de elemento de quinua amarilla en grano y polvo, de Anta

a) *Anta – Quinua en grano*



b) *Anta – Quinua en polvo*

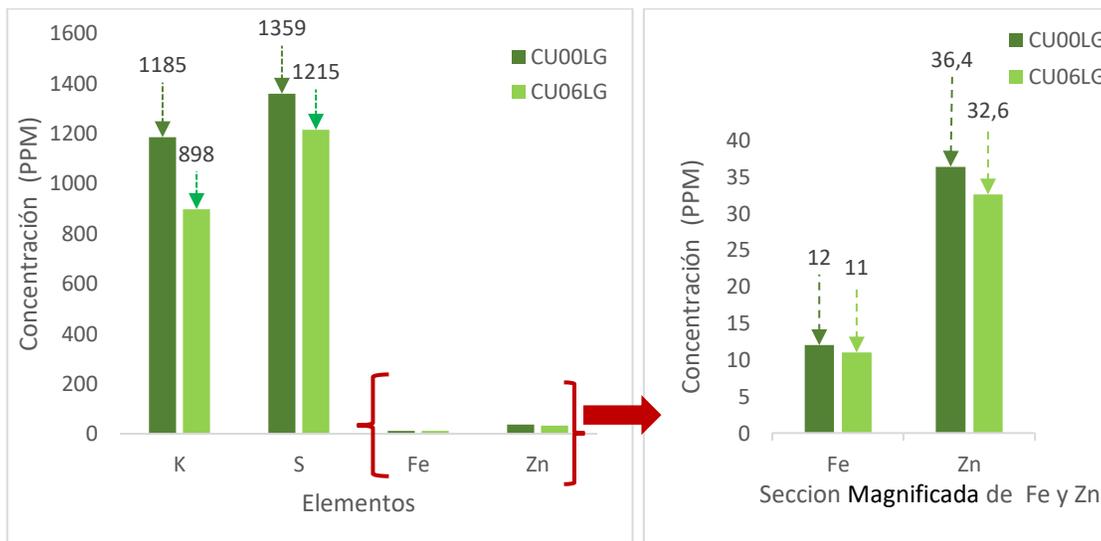


Fuente: Elaboración propia

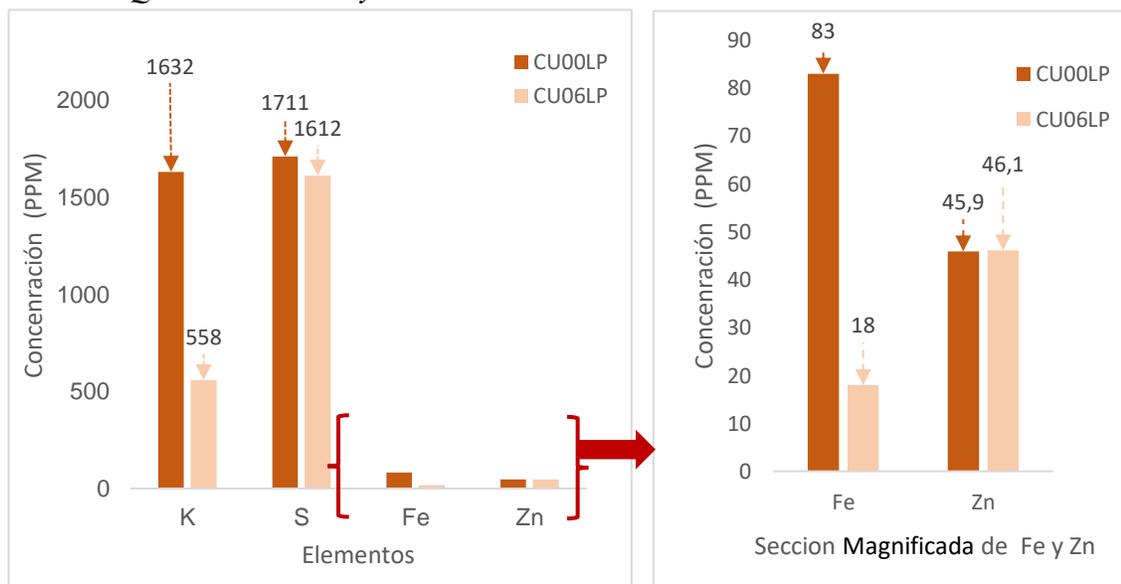
Figura 5.11

Concentración (PPM) de elemento de la quinua amarilla en a) polvo y b) grano, de Cusco

a) Cusco – Quinoa sin Lavar y Lavada en Grano



b) Cusco – Quinoa sin Lavar y Lavada en Polvo



Fuente: Elaboración propia

A partir de las (Figura 5.9 a y b), (Figura 5.10 a y b), (Figura 5.11 a y b) que corresponde a la concentración elemental (PPM) de las muestras de quinua amarilla sin lavar y lavado

en grano y polvo de las 3 provincias se identificaron los elementos *K*, *S*, *Fe* y *Zn*, solamente en la quinua de Paruro y Anta en grano (PA06LG y AN06LG) se identificó *Ca*, de los cuales, estos elementos dividimos en dos grupos.

Grupo 1: Los elementos con concentración mayor a 100 PPM

Grupo 2. Los elementos con concentración menor a 100 PPM

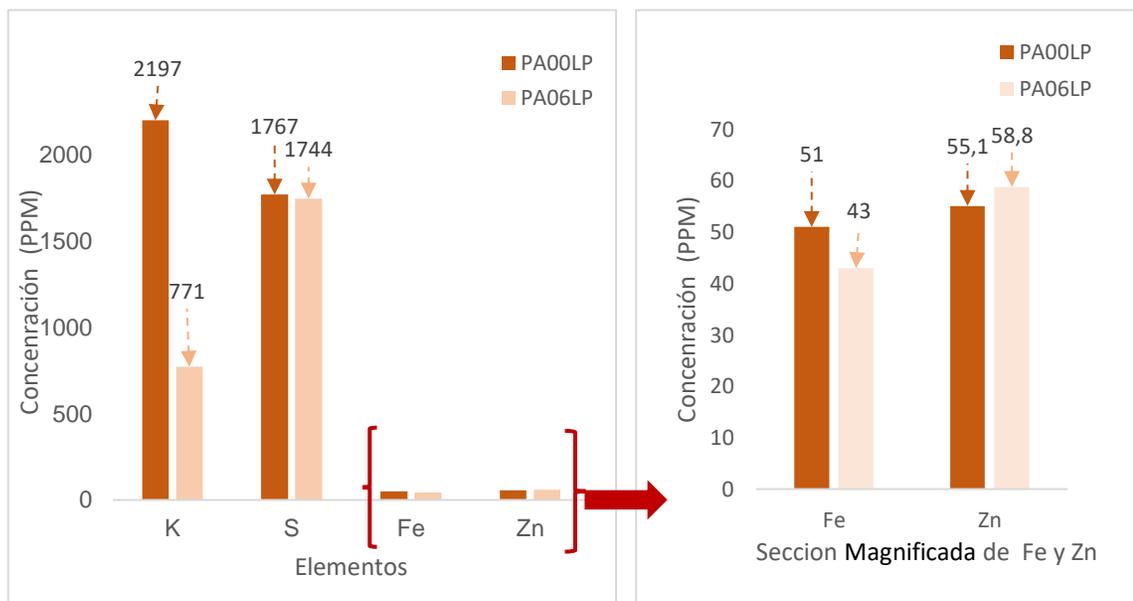
Los elementos que se obtuvieron con mayor concentración son *K*, *S* y *Ca* y los que tienen menor concentración son *Fe*, *Zn*; los cuales han sido determinados con un error máximo aceptable del 10% y un nivel de confianza del 90%. Según las reglas establecidas del ítem (2.1.3.2.4) el *S* se consideró ausente. Sin embargo, considerando la concentración (PPM), y el hecho de que en la literatura se ha reportado *S*. Esto indicaría que la regla de selección usada debe ser optimizada para elementos de baja energía o ligeros como el *S*; el *Ca* no se presenta en concentraciones pero en intensidades se identificó, lo cual no quiere decir que la quinua no tiene *Ca*, solo se determinó menor al límite de detección.

Observando las concentraciones de cada uno de los elementos de la quinua en grano con respecto a la quinua en polvo de las (Figura 5.9 a y b); (Figura 5.10 a y b); (Figura 5.11 a y b), se observó los mismos elementos, con la diferencia de que la concentración de la quinua en grano en algunos elementos es mayor y en algunos elementos es menor como también se dedujo en la parte 1 del (ítems 5.1.1.1.1) para intensidades, en tal sentido se consideró las muestras de la quinua en polvo de las tres provincias como se muestra en la (Figura 5.12 a, b y c).

Figura 5.12

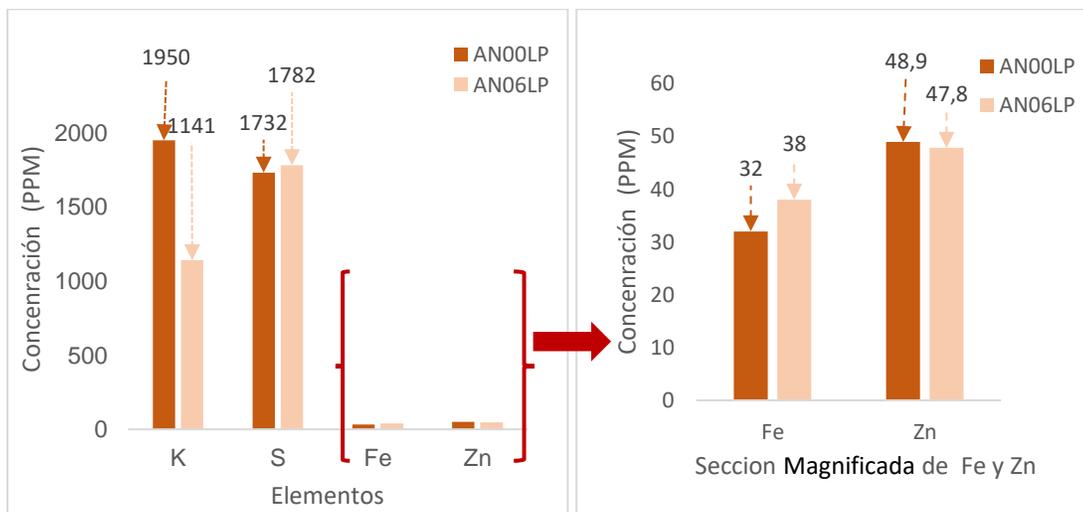
Concentración elemental (PPM) de la quinua sin lavar y lavado en polvo de Paruro, Anta y Cusco

a) Paruro – quinua sin lavar y lavada en polvo



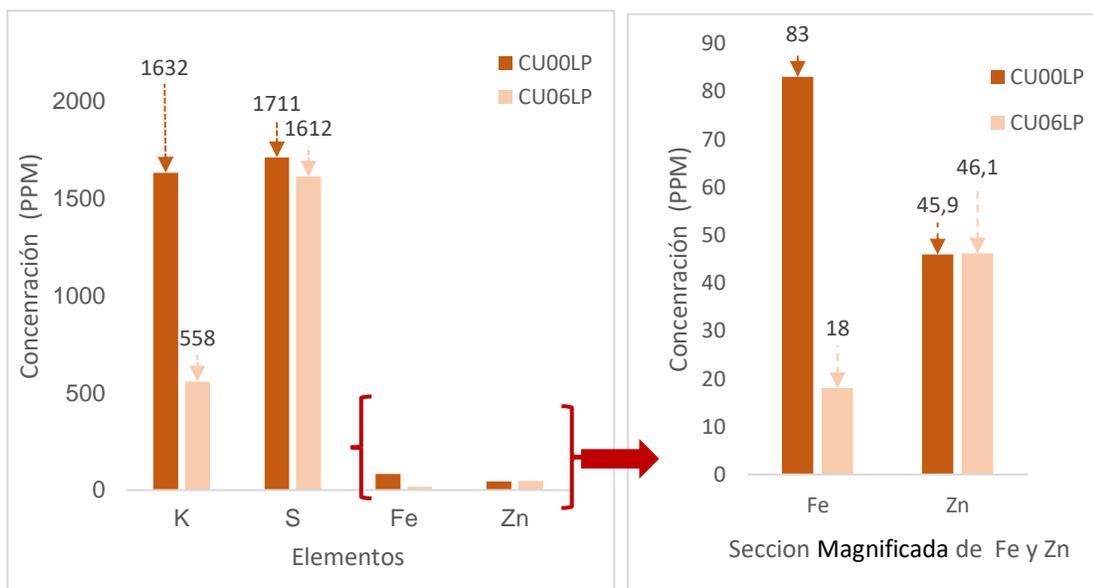
Fuente: Elaboración propia

b) Anta – Quinoa sin Lavar y Lavada en Polvo



Fuente: Elaboración propia

c) Cusco – Quinoa sin Lavar y Lavada en Polvo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5

Porcentaje general de concentración elemental de la quinua apto y no apto para el consumo

Elementos	Promedio Sin Lavar ^a	Promedio Lavada	Salvado Saponina ^c	% No Apto para Consumo(saponina)	% Apto para consumo
K	1926	823	1103	57	43
S	1737	1713	24	1	99
Fe	55	33	22	40	60
Zn	50	51	-1	0	100

Nota: Se promedió la concentración elemental de las 3 provincias, a, b y c (PPM)

Fuente: Elaboración propia

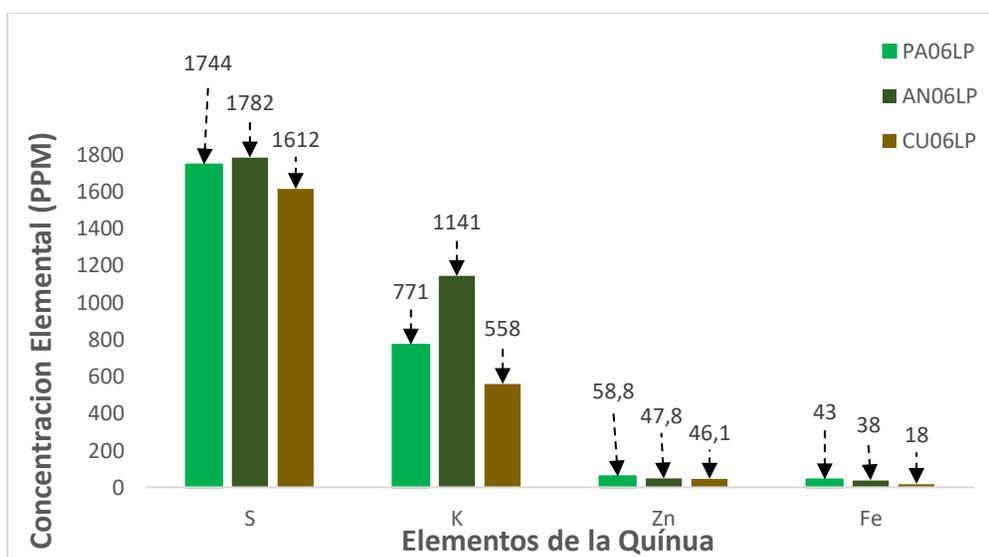
Para analizar, interpretar y discutir la quinua lavada respecto a la quinua sin lavar al igual que en la parte 2 del (ítem 5.1.1.1.1), se observó las (Figura 5.12 a, b y c) de la concentración en función de los elementos presentes en cada una de las muestras y la (Tabla 5.5) que contiene a los elementos, el porcentaje general de la concentración no apto para el consumo (saponina) y apto para el consumo (embrión y perisperma):

El K disminuye considerablemente en todas las muestras de la quinua lavada respecto de la quinua sin lavar, donde el 57% es saponina y el 43% es apto para el consumo; la concentración de S de la quinua de Paruro y Cusco disminuye ligeramente, pero de Anta aumenta ligeramente, en general el S disminuye ligeramente, de lo cual el 1% es saponina y el 99% es apto para el consumo, la concentración de Fe disminuyó considerablemente de Cusco, y ligeramente de Paruro, de Anta aumentó ligeramente, en general el Fe disminuye, de lo cual el 40% es saponina y el 60% es apto para el consumo; la concentración de Zn son aproximadamente iguales de las tres provincias, de lo cual la saponina no contiene Zn y apto para el consumo es el 100%. Como se mencionó en la parte 2 del (ítem 5.1.1.1.1), en la quinua de las tres provincias contiene concentraciones K, Fe y Zn en la saponina. Como el objetivo de esta investigación es el análisis de la quinua apto para el consumo, por tanto se analizará, interpretará la quinua lavada (PA06LP, AN06LP Y CU06LP) de las 3 provincias.

La, (Figura 5.13) presenta la concentración elemental (PPM) en función de los elementos de la quinua lavada en polvo de las 3 provincias.

Figura 5.13

Concentración (PPM) de los elementos de quinua lavada en polvo de las 3 provincias



Fuente: Elaboración propia

La (Figura 5.13), que corresponde a la intensidad en función de los elementos presente en la quínuva lavada en polvo apto para consumo de las 3 provincias, nos muestra la concentración mayoritaria en S y K, y concentración minoritaria de Zn y Fe, además el azufre en las 3 provincias es en mayor concentración, en seguida potasio; la presencia de S asumo que es por el tipo de suelo, porque en la mayoría de los casos se encuentra en la corteza terrestre y se usa para jabón de azufre(champú anticaspa, limpieza de grasa, tratamiento del acné),caucho, defensa contra las plagas(fungicida para los cultivos, etc.), ácido sulfúrico, para caucho (la mezcla de caucho y azufre aumenta la resistencia al desgaste de los neumáticos), en el cuerpo humano también es indispensable al igual que los otros minerales como se menciona en (ZSCHIMMER & SCHWARZ ESPAÑA, S.L.U., 2020), la concentración de S de quínuva cita (Kozioł, 1992), la concentración de S en otros cereales no se reporta; la siguiente concentración mayoritaria es el K, lo cual también en intensidad es mayoritario de la quínuva de las tres provincias, lo cual ya se mencionó en la parte 3 del (ítem 5.1.1.1.1), la concentración de K de la quínuva de Paruro y de Cusco es menor, comparado con la concentración de K con otros cereales como trigo, maíz, cebada, arroz, amaranto y chía, pero la concentración de K de la provincia de Anta es mayor que arroz; la concentración de Fe de la provincia de Paruro es mayor que maíz, cebada y arroz pero menor que trigo, amaranto y chía, en cambio la concentración de Fe de la provincia de Cusco es menor que trigo, cebada, amaranto y chía, pero igual al maíz y mayor al arroz; la concentración de Zn de las tres provincias es mayor que todo los cereales(trigo, maíz, cebada, arroz, amaranto y chía) según (Ahamed et al., 1998; Angeli et al., 2020; Cai, 2019; Carrera B., 2023; Sarvesh Tripathy & Chatra Ram Kantwa, 2021; Singh, 2019; Villacrés et al., 2022), como se indica en la (Tabla 5.6).

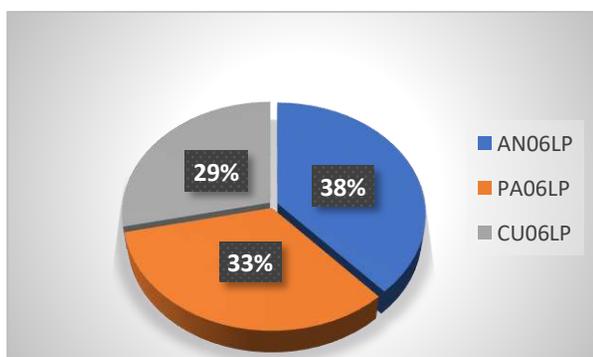
Tabla 5.6*Concentración de los elementos de quinua de las provincias de Cusco y otros granos*

Elementos	Concentración Elemental (PPM)								
	PA06L	AN06L	CU06L	Trigo	Maíz	Cebada	Arroz	Amaranto	Chía
S	1316	1493	1359	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	50	93	30	198	428	160
Mg	-	-	-	1373	1278	1035	638	3428	3500
P	-	-	-	4093	3132	3692,5	1506	5550	8600
K	771	1141	558	4815	3288	4960	1028	4275	4070
Ca	-	-	-	721	910	2155	163	1970	6310
Mn	-	-	-	33	5	14	20	25	-
Fe	43	38	18	49	18	39	15	140	77,2
Cu	-	-	-	5	20	6	26	25	14
Zn	59	48	46	36	27	12	15	25	45,8

Nota: PPM equivale a 1mg/kg

Fuente: Elaboración propia

La (Figura 5.14) muestra la concentración total de minerales de la quinua lavada en polvo de las 3 provincias: la provincia de Anta contiene el mayor porcentaje de concentración elemental (38%), en seguida Paruro (33%) y luego Cusco (29%). La quinua de Anta ha sido producida con guano de vacuno y abono (nitrato de amonio), con fines de comercio; y la quinua de Paruro producido entre maizal con guano de vacuno, para consumo y la quinua de Cusco producido entre maizal con guano de cuy solamente para consumo.

Figura 5.14*Concentración total (ppm) de los minerales de las 3 provincias*

Nota: Se sumó las concentraciones de todos los elementos de la quinua lavada en polvo de cada provincia

Fuente: Elaboración propia

Analizando la concentración elemental (PPM) de la quinua lavada apto para consumo de Paruro, Anta y Cusco se obtuvo los elementos: S, K, Fe y Zn; pero a partir de las intensidades del espectro de la misma muestra se identificó los siguientes elementos: K(K α), Ca (K α , K β), Mn(K α), Fe (K α), Cu(K α) y Zn (K α , k β); el espectro es más sensible para identificar los elementos, por tanto el espectro confirma la presencia de los elementos en la quinua de las provincias de Paruro, Anta y Cusco.

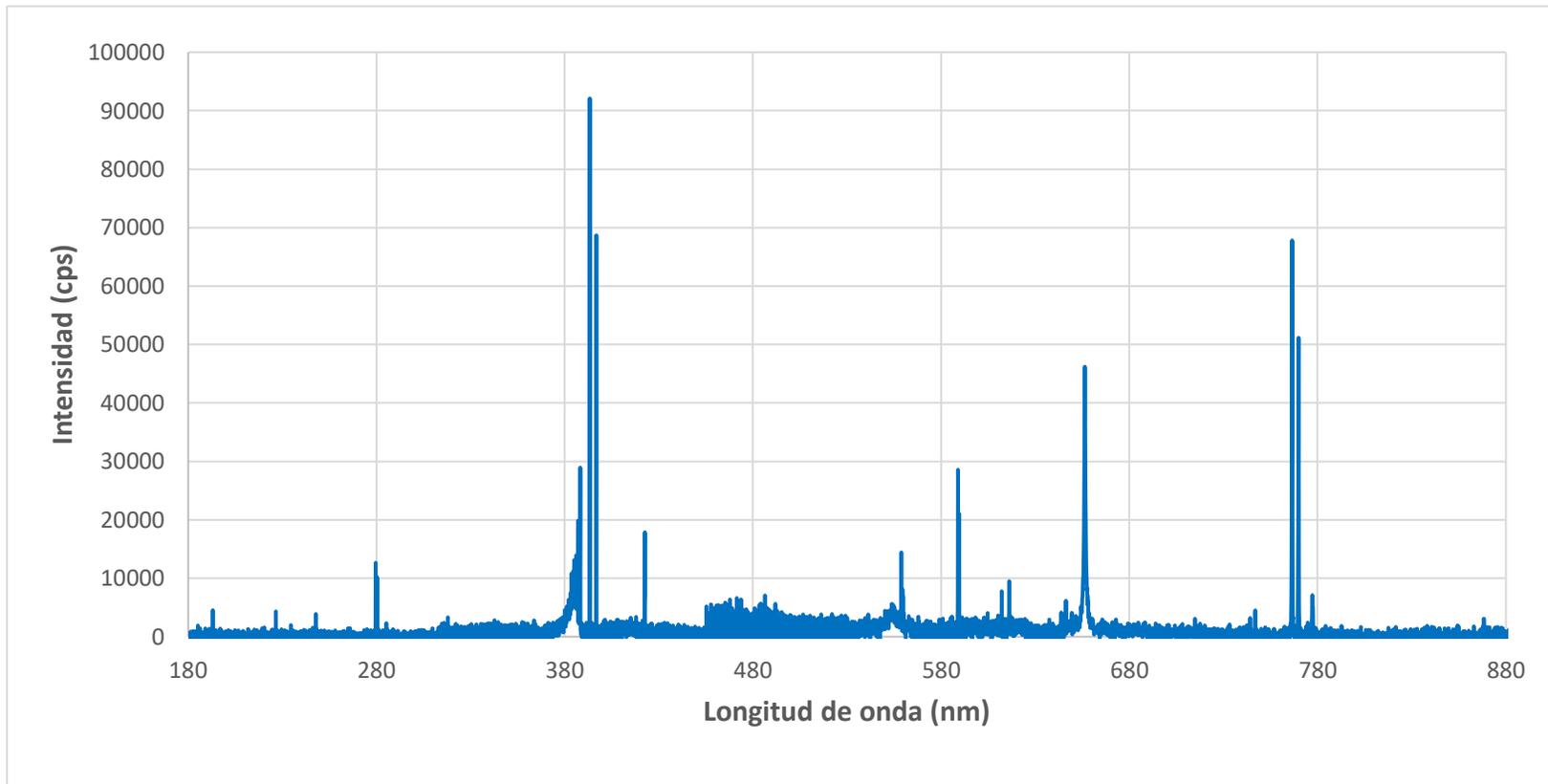
En vista de que los elementos (K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn) incluido S son identificados por la técnica FRX de las 3 provincias y son los mismo, entonces mediremos los datos con la técnica LIBS solamente de una muestra que elegimos aleatoriamente, cuya muestra es proveniente de Anta (quinua lavada en pastilla- apto para consumo); y confirmar la presencia de los minerales obtenidos por la técnica FRX.

5.1.2. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultado de los minerales que contiene la quinua amarilla lavado en pastilla proveniente de Anta por la técnica LIBS

Con los datos del ANEXO N pertenecientes a la quinua amarilla de la provincia de Anta- lavado en pastilla se sumó la intensidad de los 5 espectros medidos de la misma muestra, luego se graficó el espectro de la Intensidad en función de la longitud de onda como se muestra en la (Figura 5.15), para analizar, interpretar, discutir los elementos identificados por la técnica LIBS y confirmar los elementos encontrados con la técnica FRX.

Figura 5.15

Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta



Fuente: Elaboración propia

A partir del espectro de la (Figura 5.15) se identificó los picos más pronunciados que tengan intensidad mayor a 2000 cps, luego se determinó los elementos *Na, Mg, S, P, K, Ca, Mn, Fe* y *Cu*, calculando el error estándar (σ) y el error porcentual ($e\%$) de la longitud de onda experimental (λ_{exp}) y la longitud de onda teórica (λ_T), con la (ecuación 5.2) y la (ecuación 5.3), donde la longitud de onda teórica se obtuvo de la base de datos de espectros atómicos brindado por National Institute of Standards and Technology (NIST) lo cual se encuentra en (*NIST LIBS Database*, s. f.).

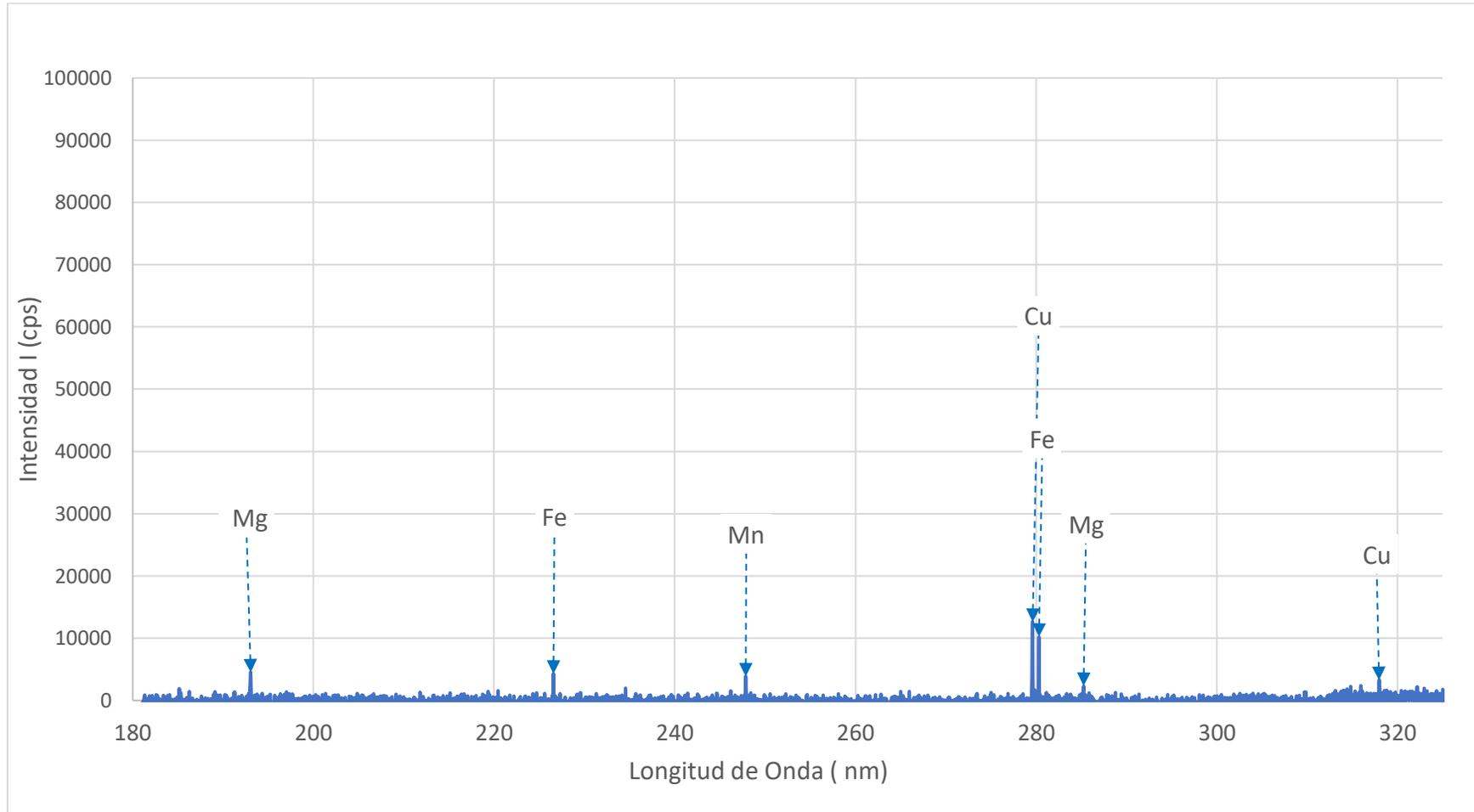
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n - 1}} \quad 5.2$$

$$e\% = \frac{|\lambda_t - \lambda_{exp}|}{\lambda_t} \times 100\% \quad 5.3$$

Para determinar los elementos se consideró al elemento que tenga menor error estándar y menor error porcentual, cuyo resultado de los elementos identificados de la quinua de Anta lavado en pastilla con su desviación estándar y error porcentual como también la cantidad de líneas espectrales se muestra en la (Figura 5.16 a, b, c, d, e y f) y en la (Tabla 5.7).

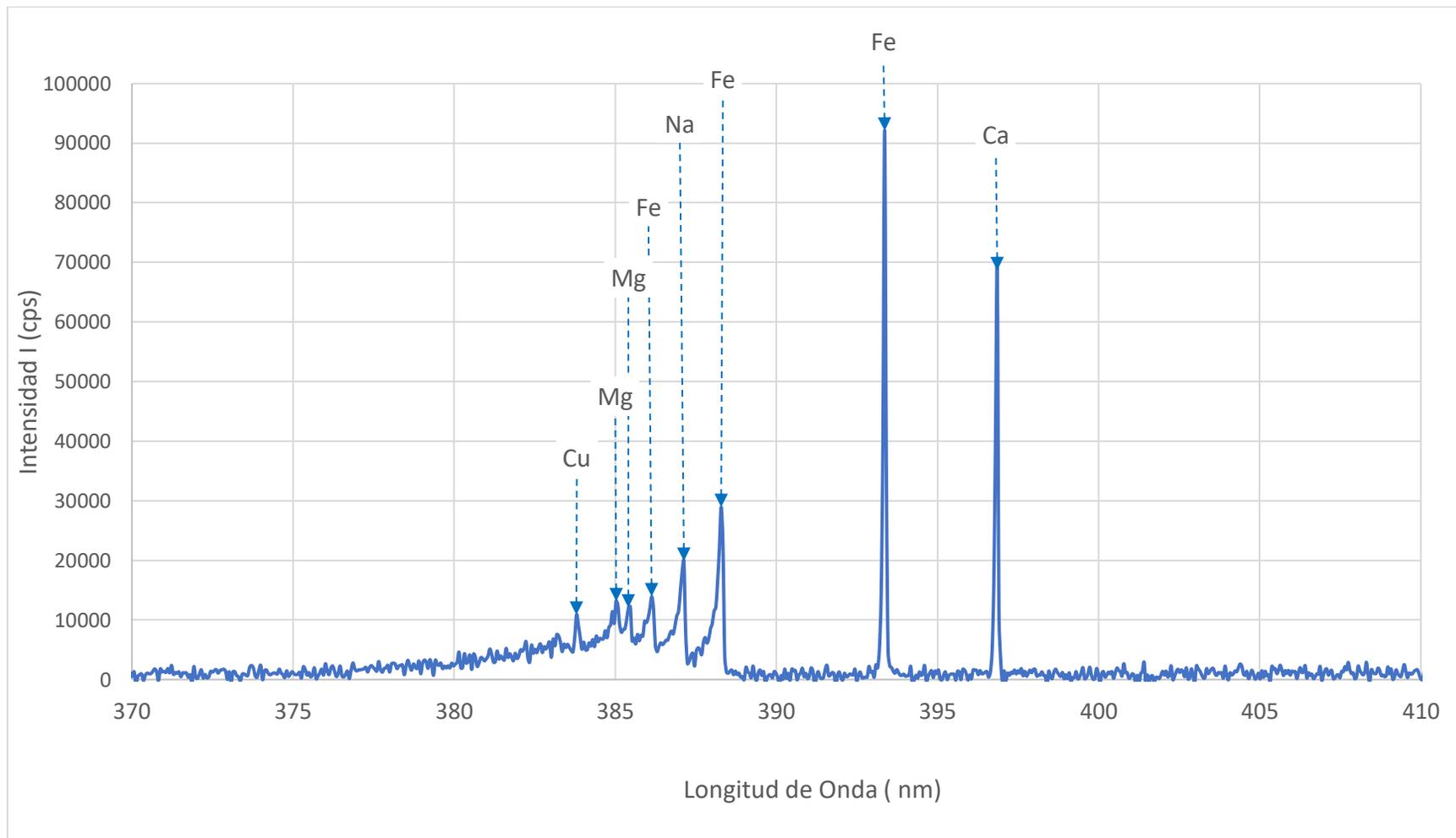
Figura 5.16

a) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 180 - 370nm



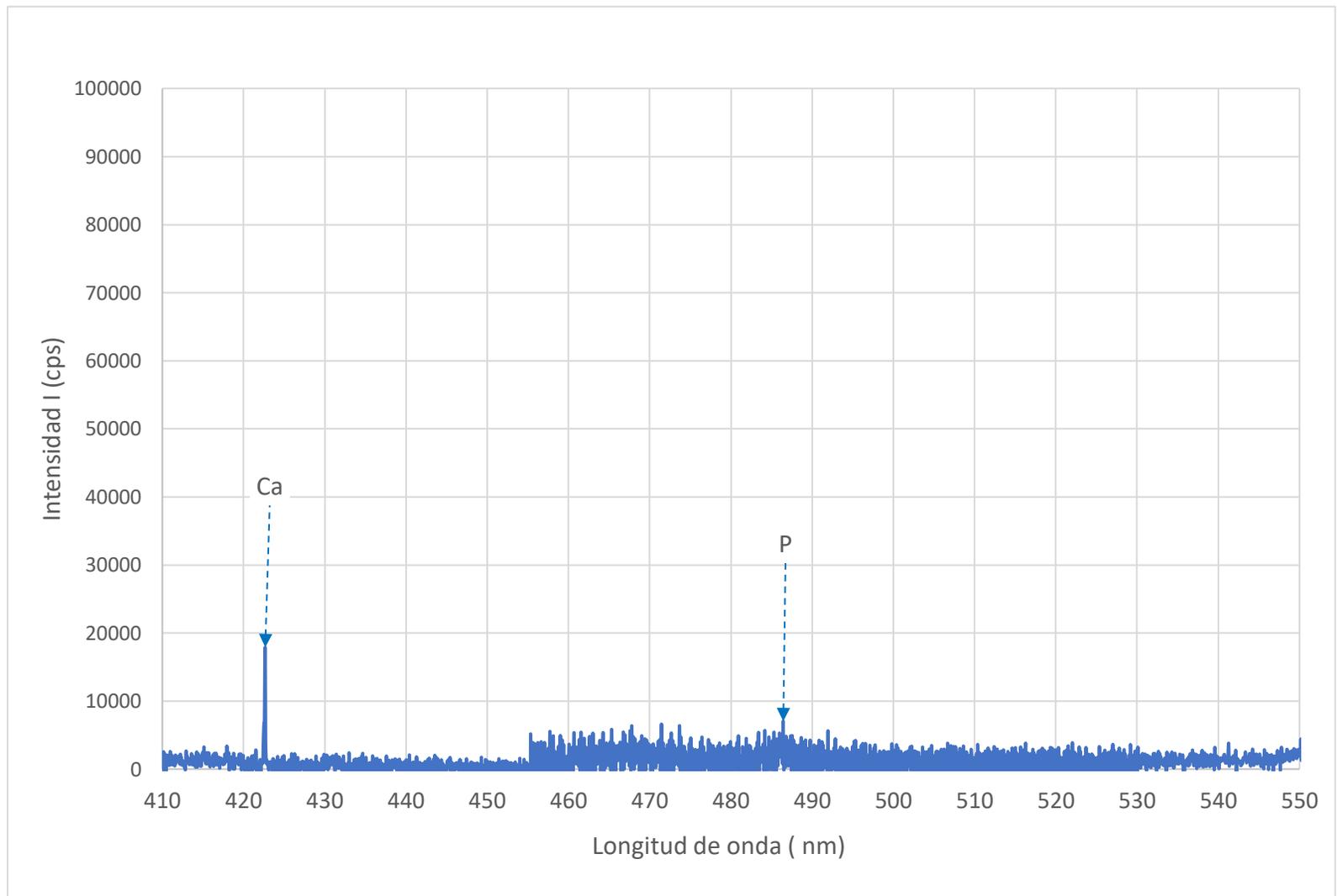
Fuente: Elaboración propia

b) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 370 – 410nm



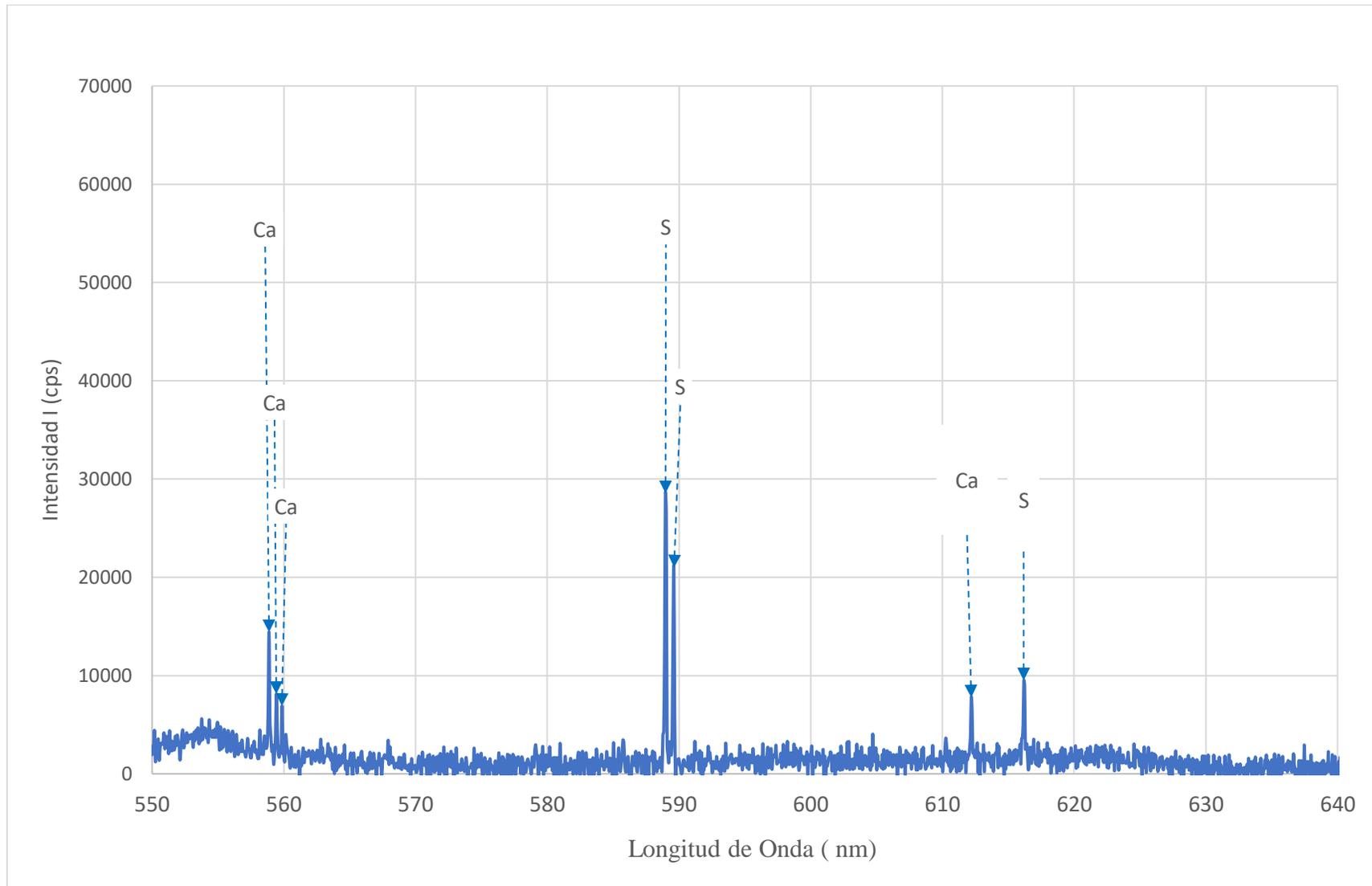
Fuente: Elaboración propia

c) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 410 – 550 nm



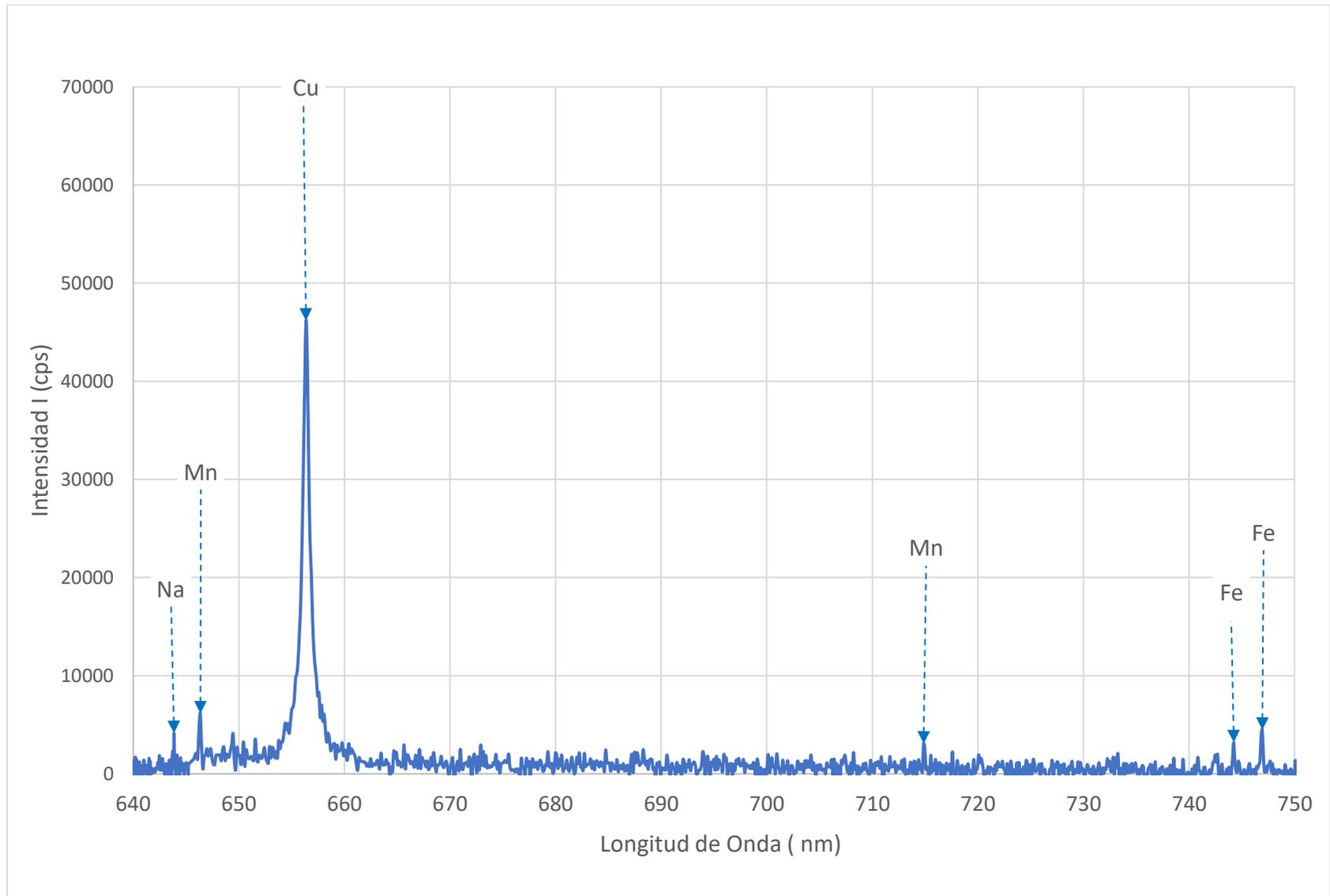
Fuente: Elaboración propia

d) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 550 – 640 nm



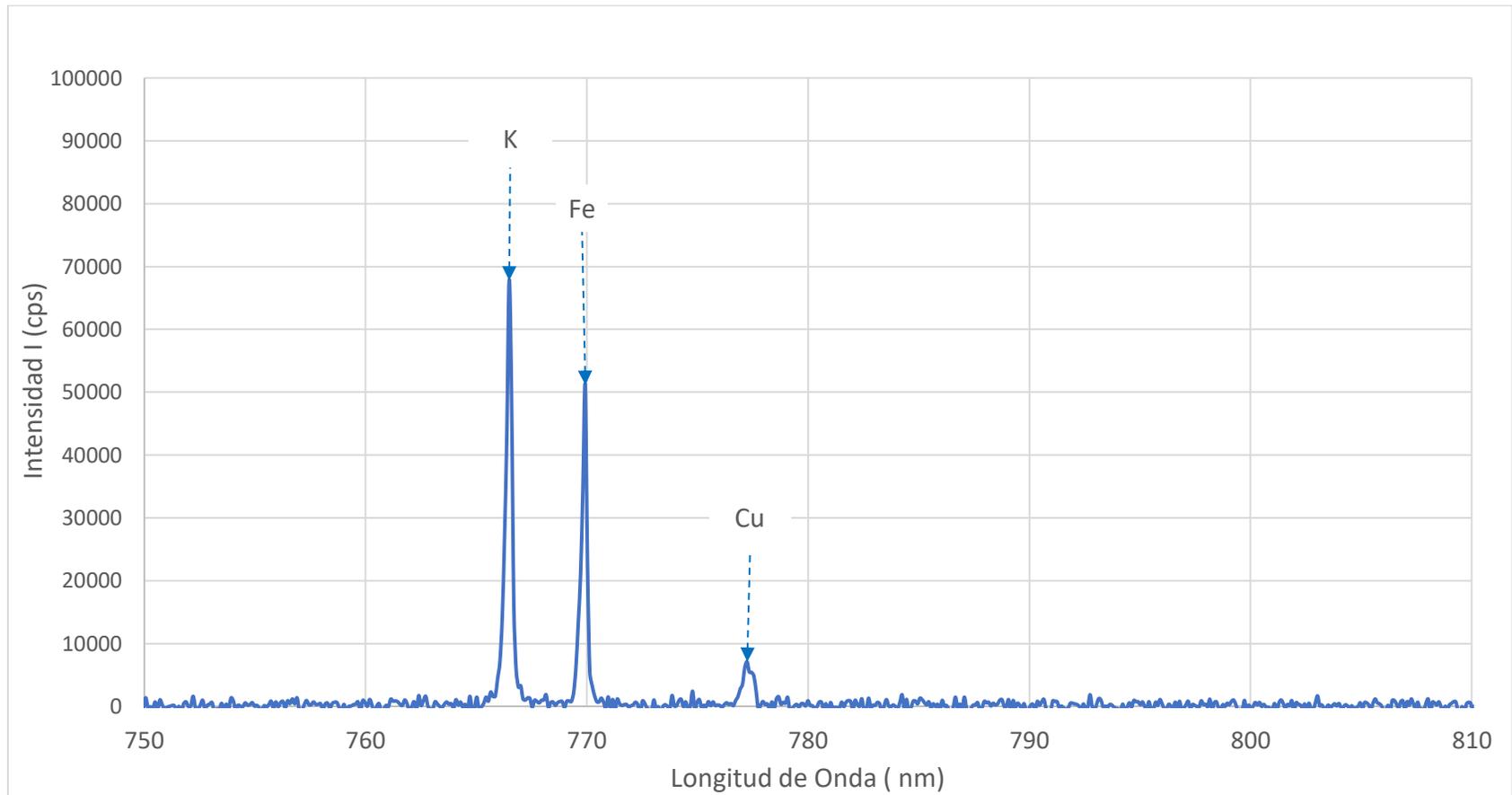
Fuente: Elaboración propia

e) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 640 – 750 nm



Fuente: Elaboración propia

f) Espectro de quinua lavada en pastilla de la provincia de Anta con longitud de onda desde 750 – 850 nm



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.7

Elementos y cantidad de líneas espectrales que contiene la quinua amarilla lavada en pastilla de Anta

Elementos	NITS	(LIBS)	Desviación Standard	Error Porcentual	Cantidad de Líneas Espectrales
	$\lambda(\text{nm})$	$\lambda(\text{nm})$	σ	e%	
Na	387,1260	387,1290	0,0021	0,0008	2
	643,8750	643,8610	0,0099	0,0022	
Mg	193,0374	193,0380	0,0004	0,0003	3
	385,0385	385,0240	0,0103	0,0038	
	385,3960	385,4120	0,0113	0,0042	
S	588,9710	588,9720	0,0007	0,0002	3
	589,5931	589,6130	0,0141	0,0034	
	616,1840	616,1840	0,0000	0,0000	
P	486,4420	486,4340	0,0057	0,0016	1
Ca	766,4899	766,4920	0,0015	0,0003	6
	396,8470	396,8550	0,0057	0,0020	
	422,6728	422,6640	0,0062	0,0021	
	558,8760	558,8790	0,0021	0,0005	
	559,4462	559,4420	0,0030	0,0008	
	559,8490	559,8640	0,0106	0,0027	
Mn	612,2217	612,1930	0,0203	0,0047	3
	247,8480	247,8490	0,0007	0,0004	
	646,3627	646,3530	0,0069	0,0015	
Fe	714,8506	714,8550	0,0031	0,0006	8
	226,5689	226,5620	0,0049	0,0030	
	280,3166	280,3170	0,0003	0,0001	
	386,1340	386,1340	0,0000	0,0000	
	388,3280	388,2870	0,0290	0,0106	
	393,3601	393,3600	0,0001	0,0000	
	744,3022	744,2230	0,0560	0,0106	
	746,9191	746,8250	0,0665	0,0126	
769,9266	769,9270	0,0003	0,0001		
Cu	279,6045	279,6020	0,0018	0,0009	5
	317,9784	317,9650	0,0095	0,0042	
	383,7983	383,7980	0,0002	0,0001	
	656,4492	656,3650	0,0595	0,0128	
	777,3196	777,2420	0,0549	0,0100	

Fuente: Elaboración propia

A partir del espectro de la (Figura 5.16 a, b, c, d, e y f) que es la ampliación de la (Figura 5.15), como también a partir de la Tabla 5.7, se observa una línea espectral de P y K, 2 líneas espectrales de Na, 3 líneas espectrales de Mg, S y Mn, 5 líneas espectrales de Cu, 6 líneas espectrales de Ca y 8 líneas espectrales de Fe, lo cual nos confirma la presencia de 9 elementos (Na, Mg, S, P, K, Ca, Mn, Fe y Cu) en la quinua de las 3 provincias de la Región Cusco; en la literatura científica (Carrera B., 2023; Chaudhary et al., 2023; FAO, 2023; Pedrali et al., 2023) han sido identificados los mismos minerales con la diferencia de S, pero con la técnica LIBS y FRX se ha identificado el S, eso significa que la quinua de la Región Cusco contiene S, cuyo elemento en la nutrición humana es considerado como macromineral (FoodPyramid, 2015) y es constituyente de los aminoácidos necesarios para sintetizar las proteínas, como también participa en numerosas reacciones metabólicas como se indica en(NorthShore Foundation, 2023).

5.1.3. Comparación de los elementos de la quinua amarilla de Paruro, Anta y Cusco, medidos por las técnicas FRX y LIBS.

En la quinua amarilla lavado en polvo de las provincias de Paruro; Anta y Cusco, todos pertenecientes a la Región Cusco, se identificaron los elementos (considerados en la nutrición humana como minerales) S, K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn en un total de 6 elementos con la técnica FRX y con un rango analítico de medición en el modo SOIL desde fosforo (P) y superiores (Catálogo Delta, 2013), y con la técnica LIBS se identificaron Na, Mg, S, P, K, Ca, Mn, Fe y Cu en un total de 9 elementos lo cual se muestra en la (Tabla 5.8); los mismos minerales que han sido identificados en la literatura científica (Carrera B., 2023; Chaudhary et al., 2023; Pedrali et al., 2023) menos el S; con la diferencia de que la línea espectral de Zn no fue identificado por la técnica LIBS en vista de que los disparos se realizaron en 5 puntos de la muestra por tanto probable de que en esos puntos no estuvo presente el Zn, pero eso no quiere decir de que no exista Zn, más

bien se recomienda realizar las mediciones en más puntos, además este mineral se confirma con la técnica FRX y la literatura; los elementos Na y Mg no fueron identificado por FRX por el modo en que se midió los datos; por tanto la técnica LIBS comparado con la técnica FRX, tiene mayor resolución de análisis por ello se identificó la mayor cantidad de elementos que contiene la quinua y esto a la vez es confirmado con la literatura científica anteriormente mencionado, además algo muy importante en la literatura científica no se encuentra la medición de minerales de la quinua por la técnica LIBS, en vista de que el Laboratorio LEOnoD es la pionera en medir dichos minerales.

Tabla 5.8

Minerales de quinua lavada de Paruro, Anta y Cusco de la región Cusco identificadas con la técnica FRX Y LIBS

MINERALES	FRX		LIBS
	Líneas Características	Concentración	Cantidad de Líneas Espectrales
Na	nd	nd	2
Mg	nd	nd	3
S	nd	C	3
P	nd	<LD	1
K	K α	C	1
Ca	K α y K β	<LD	6
Mn	K α	<LD	3
Fe	K α	C	8
Cu	K α	<LD	5
Zn	K α y K β	C	nd

Nota: C (Cuantificado); nd: no detectado

Fuente: Elaboración propia

Para análisis posteriores de granos se recomienda usar la técnica LIBS, en vista de que identificó 9 elementos que contiene la quinua al igual que los elementos identificados por otra técnica Espectrómetro de Absorción Atómica (EAA) como se indica en la literatura científica (Pedrali et al., 2023; Reguera et al., 2018; Repo-Carrasco et al., 2003), pero esta técnica necesita bastantes

procedimientos para la preparación de muestra, pero por la técnica LIBS se puede medir directamente los datos en algunos granos que tienen un tamaño considerable, como el maíz, tarwi, etc.; solamente en caso de granos con tamaños menores como la quinua necesitan una preparación de muestra, como mencionamos en la metodología.

5.2. Prueba de hipótesis

Se identificaron: Los minerales K, S, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn con las técnicas FRX y los minerales Na, Mg, S, K, Ca, Mn, Fe y Cu con la técnica LIBS, como se reporta en la literatura actual, lo cual se muestra en la (Tabla 5.9).

Tabla 5.9

Minerales identificados por la técnica FRX, LIBS y literatura actual

Minerales	FRX	LIBS	Literatura actual
Na	-	✓	✓
Mg	-	✓	✓
S	✓	✓	✓
P	-	✓	✓
K	✓	✓	✓
Ca	✓	✓	✓
Mn	✓	✓	✓
Fe	✓	✓	✓
Cu	✓	✓	✓
Zn	✓	-	✓

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron los macro minerales (Na, Mg, S, P, K y Ca) y micro minerales (Mn, Fe, Cu y Zn) de la quinua medidos por la técnica FRX y LIBS.

5.3. Presentación de resultados

5.3.1. Macro y micro minerales de la quinua amarilla de la región Cusco medidos por las técnicas: (FRX) y confirmados por (LIBS).

Los macro y micro minerales de la quinua amarilla de las tres provincias de la Región Cusco identificados por las técnicas FRX y LIBS se muestra en la (Tabla 5.10), los cuales también han sido identificados en la literatura científica, considerado como micronutrientes de la quinua (Cai, 2019, p. 4), estos elementos en la nutrición humana son considerados como macro y micro minerales como se menciona en (Azcona, 2013; FAO, 2015; FoodPyramid, 2015; Latham. Michael C., 2002; NorthShore Foundation, 2023), cuyos macrominerales identificado de la quinua de Paruro, Anta y Cusco son Na, Mg, S, P, K y Ca y los micro minerales son Fe, Mn, Cu y Zn.

Tabla 5.10

Macro y micro minerales de la quinua amarilla de la región Cusco por las 2 técnicas FRX Y LIBS

Macro minerales	Micro minerales
Na	Fe
Mg	Mn
S	Cu
P	Zn
K	-
Ca	-

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- La composición elemental de la quinua amarilla de la provincia de Paruro, Anta y Cusco son: Mg, Na, S, K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn, de los cuales con la técnica FRX se determinó S, K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn y con la técnica LIBS Mg, Na, S, K, Ca, Mn, Fe y Cu.
- Los minerales determinados de la quinua amarilla de las provincias de Paruro, Anta y microcuenca de Quesermayo (Cusco), todas pertenecientes a la región Cusco son: Energía e intensidad con la técnica FRX son K (3.312 keV ; 389 cps), Ca (3.673 keV ; 255 cps), Mn (5.91 keV ; 76 cps), Fe (6.383 keV ; 582cps), Cu (8.068 keV ; 53 cps) y Zn (8.630 keV ; 217 cps) ; y las concentraciones de los minerales S (1400 PPM), K (800 PPM), Fe (35 PPM), Zn (50 PPM). La cantidad de líneas espectrales determinado por la técnica LIBS son S (2), Na (3), Mg (3), P (1), K (1), Ca (6), Mn (3), Fe (8), Cu (5).
- Los macros y micro minerales de la quinua amarilla de los tres lugares representativos de la Region Cusco son:
Macro minerales: Mg, Na, S, P, K, Ca
Micro minerales: Mn, Fe, Cu y Zn
- Según las reglas establecidas para aceptación de presencia de un elemento en base a su intensidad en el espectro el S se consideró ausente. Sin embargo, considerando la concentración, y el hecho de que en la literatura se ha reportado S, se ha incluido su presencia expresada en ppm. Esto indicaría que la regla de selección usada debe ser optimizada para elementos de baja energía o ligeros como el S.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda medir los datos por la técnica LIBS y en más de 5 puntos sobre la muestra, porque tiene mayor resolución de medición comparado con la técnica FRX.
- Se debe usar una porta muestra bajo en concentración de Cloro
- No lavar en exceso la quinua, porque baja la concentración
- Se debe hacer el estudio de suelo donde se cultiva la quinua, porque depende del tipo de suelo la concentración de minerales del grano de quinua.
- Se recomienda medir los datos con la técnica LIBS, en vista de que en la literatura científica no se encuentra la medición de macro y micro minerales de la quinua, por tanto el laboratorio de LEoNOD que se encuentra en el Departamento Académico de Física - UNSAAC es la pionera en medir dichos minerales del grano andino.
- Se recomienda realizar un estudio a fondo de la saponina que contiene la quinua de la región Cusco

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahamed, N. T., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., & Pal, M. (1998). A Lesser-Known Grain, *Chenopodium Quinoa*: Review of the Chemical Composition of its Edible Parts. *Food and Nutrition Bulletin*, 19(1), 61-70. <https://doi.org/10.1177/156482659801900110>
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438-469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
- Alvarez, J., & Peláez, N. (2020). *Micronutrientes*. Fundación para la Salud Novo Nordisk España. <https://www.fundacionparalasalud.org/infantil/203/micronutrientes>
- Alvira, F. C. (2010). *Espectroscopía de Plasmas Inducidos por Láser (LIBS) aplicada a la caracterización de piezas únicas y productos de interés industrial* [Doctor en Ciencias Exactas, área Química, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/2641>
- Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönninger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catalogo_de_variedades...quinua.pdf*. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/76/1/Apaza-Catalogo_de_variedades...quinua.pdf
- Azcona, Á. C. (2013). *Manual de Nutrición y Dietética*.

- BBVA. (s. f.). *Abonos orgánicos, aliados de la agricultura sostenible*. BBVA NOTICIAS.
Recuperado 22 de marzo de 2024, de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/abonos-organicos-aliados-de-la-agricultura-sostenible/>
- Beckhoff, B., Kanngiefser, B., Langhoff, N., Wedell, R., & Wolff, H. (Eds.). (2006). *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*. Springer.
- Bergesse, A. E., Boiocchi, P. N., Calandri, E. L., Cervilla, N. S., Gianna, V., Guzmán, C. A., Miranda, P. P., Montoya, P. A., & Mufari, J. R. (2015). *Aprovechamiento integral del grano de Quinoa. Aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales*. Grasso Florencia V. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1846>
- Brouwer, P. (2010). *Theory of XRF: Getting acquainted with the principles*. (3.^a ed.). PANalytical BV.
- Cai, H. (2019). *Advances in research on components of quinoa*. 020047.
<https://doi.org/10.1063/1.5110841>
- Carrera B., W. X. (2023). *TEMAEVALUACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE UN SUPLEMENTO ALIMENTICIO DIRIGIDO A ADOLESCENTES ENTRE 12 A 18 AÑOS, A PARTIR DE HARINAS PRECOCIDAS DE PSEUDOCEREALES ANDINOS: QUINUA (Chenopo: Dium quinoa Willd.) Y AMARANTO*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CENTRO DE POSGRADO.
- Castillo, J. A. (2019, febrero 15). ▷ Fibra óptica: Qué es, para qué se usa y cómo funciona. *Profesional Review*. <https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/>
- Catálogo Delta. (2013). *Analizador XRF Delta | PDF | Rayo X | Metales preciosos*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/468690959/Analizador-XRF-Delta>

- Chaudhary, N., Walia, S., & Kumar, R. (2023). Functional composition, physiological effect and agronomy of future food quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 118, 105192. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105192>
- De la Cruz, Jesus. (2023). *La quinua en el Perú: Pseudocereal andino, alimento de generaciones presentes y futuras*. <http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v11n1/2308-3859-jsab-11-01-1.pdf>
- de Lescano, P. O., & Aco, D. N. (2014). Caracterización elemental en granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante la técnica de fluorescencia de rayos X. . . p., 5. *Eximgro S.A.* (2021, diciembre 20). Eximgro. <https://eximgro.com/>
- FAO. (2015). *Macronutrientes y micronutrientes.pdf*.
- FAO. (2023). *Propiedades Nutricionales-FAO*. Plataforma de información de la quinua. <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/alimento-nutritivo/es/>
- FoodPyramid. (2015). *Lista de minerales dietéticos y sus funciones*. <http://www.foodpyramid.com/dietary-minerals/>
- Fuente M., I. (2015). *Puesta a punto de un equipo de fluorescencia de rayos X portátil con fuentes radiactivas: Aplicaciones medioambientales*. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Furia_ficha_tecnica.pdf*. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2024, de http://www.farmagro.com.pe/media_farmagro/uploads/ficha_tecnica/furia_ficha_tecnica.pdf
- González Martín, M. I., Wells Moncada, G., Fischer, S., & Escuredo, O. (2014). Chemical characteristics and mineral composition of quinoa by near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 876-881. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6325>
- Hecht, E. (2001). *Fundamentos de Física*. International Thomson Editores, S. A. de C. V. <https://books.google.com.pe/books?id=9glarz5mhNIC>

Jacobsen, S. -E. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe.

Journal of Agronomy and Crop Science, 203(6), 603-613.

<https://doi.org/10.1111/jac.12228>

Jara, C., F. (2016). *ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN ÓPTICA DE PLASMA INDUCIDO POR LÁSER (LIBS) PARA EL ANÁLISIS DEL CARBÓN MINERAL.*

<https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2045>

Kozioł, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(1), 35-68.

[https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6)

Latham, Michael C. (2002). *NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO.*

<https://www.fao.org/3/W0073S/w0073s00.htm>

López Sánchez, C., Yesenia, G., Donaji, M., & Palma Cruz, F. (2022). *Las saponinas y su uso farmacéutico.* 37, 120-126.

Mapa de Cusco. (s. f.). *Día de la independencia del Perú.* Recuperado 6 de noviembre de 2024, de <https://diadelaindependenciadelperu.com/mapa-del-peru/mapa-de-cusco/>

National Institutes of Health. (2022). *Office of Dietary Supplements—Hierro.*

<https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iron-DatosEnEspanol/>

NIST LIBS Database. (s. f.). Recuperado 5 de abril de 2024, de

<https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/LIBS/lib-form.html>

NorthShore Foundation. (2023). *Minerals: Their Functions and Sources | NorthShore.*

<https://www.northshore.org/healthresources/encyclopedia/encyclopedia.aspx?DocumentHwid=ta3912>

OLYMPUS. (2015). *Analizador de fluorescencia de rayos X (XRF) portátil.*

Organización Panamericana de la Salud. (2023). *Micronutrientes—OPS/OMS* |.

<https://www.paho.org/es/temas/micronutrientes>

Pedrali, D., Giupponi, L., De La Peña-Armada, R., Villanueva-Suárez, M. J., & Mateos-Aparicio, I. (2023). The quinoa variety influences the nutritional and antioxidant profile rather than the geographic factors. *Food Chemistry*, *402*, 133531.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133531>

Periodic_Table_and_X-ray_Energies.pdf. (s. f.-a). Recuperado 9 de marzo de 2023, de

http://ramontxrf.260mb.net/Periodic_Table_and_X-ray_Energies.pdf?i=1

Periodic_Table_and_X-ray_Energies.pdf. (s. f.-b). Recuperado 29 de julio de 2024, de

http://ramontxrf.260mb.net/Periodic_Table_and_X-ray_Energies.pdf?i=2

Quino, I., Ramos, O., & Guisbert, E. (2007). *Determinacion Del Limite De Deteccion*

Instrumental (ldi) Y Limite De Cuantificacion Instrumental (lci) En Elementos Traza De Agua Subterranea. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339669010>

Ramirez, G., & Cia S.A. (2024). *Semillas de quinoa serían clave en eventual colonización de Marte*. www.vanguardia.com. <https://www.vanguardia.com/mundo/ciencia/semillas-de-quinoa-serian-clave-en-eventual-colonizacion-de-marte-HK8693559>

Ramos, J. R. G., Lopez, I. M. M., Huanca, I. L. M., Quipe, F. H., Mendoza, L. C. R., & Salazar,

E. C. (2022). DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE DIEZ VARIETADES DE QUINUA (*CHENOPODIUM QUÍNOA* WILLD.). *Ñawparisun -*

Revista de Investigación Científica, *4*(1), Article 1. <https://doi.org/10.47190/nric.v4i1.4>

Ramos P., B. S. (2024). *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de 3 variedades Chenopodium quinoa Willd de Andahuaylas* [UNIVERSIDAD

- NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO].
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/9072>
- Rathore, S., Bala, M., Gupta, M., & Kumar, R. (2019). *Introduction of multipurpose agro-industrial crop quinoa (Chenopodium quinoa) in western Himalayas*. 64(2).
- Reguera, M., Conesa, C. M., Gil-Gómez, A., Haros, C. M., Pérez-Casas, M. Á., Briones-Labarca, V., Bolaños, L., Bonilla, I., Álvarez, R., Pinto, K., Mujica, Á., & Bascuñán-Godoy, L. (2018). The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. *PeerJ*, 6, e4442. <https://doi.org/10.7717/peerj.4442>
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S.-E. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19(1-2), 179-189. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- Rios C., Á., Moreno B, M. C., & Simonet S., B. M. (2012). *Técnicas espectroscópicas en química analítica*. SÍNTESIS, S. A.
- San Fabián, E. (2019). *Química Cuántica y Espectroscopía*.
- Sanchez, L. (2003). *INTRODUCCIÓN A LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2394.4564>
- Sarvesh Tripathy, B. S., & Chatra Ram Kantwa, R. G. (2021). Quinoa 21st Century Golden Grain for Nutrition Security and Health Benefits: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(2), 1076-1083.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1002.127>
- Schlick, G., & Bubenheim, D. L. (1993, noviembre 1). *Quinoa: An emerging new crop with potential for CELSS*. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19940015664>
- Singh, D. (2019). *Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd)*. Scientific Publishers.

- S&P. (2018, marzo 12). Qué contiene el aire que respiramos: Contaminantes más comunes | S&P. *S&P Sistemas de Ventilación*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/contiene-aire-respiramos/>
- Sun, X., Yang, X., Xue, P., Zhang, Z., & Ren, G. (2019). Improved antibacterial effects of alkali-transformed saponin from quinoa husks against halitosis-related bacteria. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2455-2>
- Tanwar, B., Goyal, A., Syed ,Irshaan, Vikas,Kumar, Manvesh Kumar Sihag, Ami Patel, & Intelli Kaur. (2019). *Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health* (1.^a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119129486>
- ThermoFisher, S. (s. f.). *Tecnología LIBS : Espectroscopia de descomposición inducida por láser*. https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CAD/Scientific-Resources/lib-technology-nonscientists-ebook.pdf?icid=CAD_blog_metals_2021Aug
- Tisza, W., & Guiza G., S. (2021). *Delta, Olympus | PDF | Rayo X | Unidad de estado sólido*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/531725617/Delta-Olympus>
- Valentinuzzi, M. C. (2008). *Análisis por Fluorescencia de Rayos X: Implementación de Guías de Haces en Reflexión total*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA.
- Van G., René E. & Markowicz, Andrzej A. (2002). *Handbook of X-Ray Spectrometry* (Second Edition). <https://vdocuments.mx/handbook-of-x-ray-spectrometry.html>
- Vázquez, G. (2014). *Espectroscopia de Plasma Inducido con Láser en Régimen Multipulso*.
- Villacrés, E., Quelal, M., Galarza, S., Iza, D., & Silva, E. (2022). Nutritional Value and Bioactive Compounds of Leaves and Grains from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, 11(2), 213. <https://doi.org/10.3390/plants11020213>

Welthy Magazine. (2023). Macronutrientes y micronutrientes: Definición, diferencias y tipos.

MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES: DEFINICIÓN, DIFERENCIAS Y TIPOS. <https://welthy.es/magazine/macronutrientes-y-micronutrientes-definicion-diferencias-y-tipos/>

Zamalloa Jara, M. A., Luízar Obregón, C., & Araujo Del Castillo, C. (2018). Exploratory analysis for the identification of false banknotes using portable X-ray Fluorescence spectrometer. *Applied Radiation and Isotopes*, 135, 212-218.

<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.01.043>

ZSCHIMMER & SCHWARZ ESPAÑA, S.L.U. (2020). ¿Qué es el azufre y dónde se encuentra?

ZS España. <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-es-azufre/>

ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
ATRIBUCIÓN ELEMENTAL DE MACRO Y MICRO MINERALES EN QUINUA POR				
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) Y ESPECTROCOPIA LASER (LIBS)				
TESISTA: Br. Hermelinda Hanampa Roque				
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p>1.1. Situación problemática La quinua (<i>Chenopodium Quinoa Willd</i>) es un cereal andino muy nutritivo originario de los andes del Perú, en el año 2013 la quinua fue considerado el "Año Internacional de la Quinua" por la (ONU) y la FAO por su alto valor nutricional; contiene macronutriente y micronutrientes. Investigaciones anteriores utilizaron técnicas para medir los valores nutritivos de macronutriente y micronutrientes de la quinua, pero no específicamente los macro y micro –minerales con técnicas: (FRX) y (LIBS) en la Región Cusco.</p> <p>1.2. Formulación del problema</p> <p>a. Problema general Medir los valores de macro minerales y micro minerales de la quinua amarilla de la Región Cusco por las técnicas: FRX y LIBS, para brindar información en la Literatura Científica desde UNSAAC-Cusco.</p> <p>b. Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Es posible identificar a todos los minerales presentes en quinua amarilla de la Región Cusco por la técnica FRX y LIBS? • ¿Cuáles son los macro y micro minerales de la quinua amarilla de la Región Cusco medidos por FRX y LIBS? • Indicar que minerales se presentan en mayor cantidad y mencionar su importancia en la nutrición del organismo. 	<p>a. Objetivo general Determinar los macrominerales y microminerales de la quinua amarilla de la Región Cusco por las técnicas: Fluorescencia de Rayos X (FRX) y confirmar con Espectroscopia láser (LIBS) por sus siglas en inglés, Laser - Inducid Breakdown Spectroscopy.</p> <p>b. Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medir los valores de los minerales que contienen la quinua amarilla proveniente de Paruro, Anta y Micro cuenca de Quesermayo por las técnicas FRX y confirmar con la técnica LIBS • Comparar los valores de los minerales que contiene la quinua amarilla de Anta, Paruro y Microcuenca de Quesermayo, medidos por la técnica FRX y LIBS y medidos con otras técnicas en la literatura científica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los valores de minerales de la quinua amarilla de la región Cusco medidos por las técnicas de FRX y LIBS son muy escasas y en particular no las encontré, en tal sentido estas técnicas serán utilizadas por primera vez en Cusco. • Al final de este trabajo de tesis, la información sobre la presencia de macro minerales y micro minerales de la quinua amarilla de la región Cusco contribuirá en dar información como nutrientes esenciales del ser humano. • La medición de los valores de macro minerales y micro minerales que contiene la quinua será una información muy relevante para la Literatura Científica desde UNSAAC-Cusco. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Todos los Minerales presentes en la quinua pueden ser identificados por FRX y LIBS? • ¿Podré observar por FRX y LIBS más minerales presentes en la quinua reportados por otras técnicas? 	<p>Esta será una investigación Científico experimental. Utilizaremos para recolectar datos las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Espectroscopia de disociación inducida por láser (LIBS) por sus siglas en inglés, Laser - Inducid Break Down Spectroscopy. Para el análisis de datos experimentales utilizaremos el Excel y posiblemente R</p> <p>INSTRUMENTOS</p> <p>a) Bibliografía, artículos, pdf Sobre <i>Chenopodium Quinoa Willd</i>, macrominerales, micro minerales, FRX, LIBS</p> <p>b) Muestra(quinua), porta muestras</p> <p>c) Excel para el análisis</p> <p>d) Materiales de escritorio</p>

ANEXO A

Datos del Espectro de plástico film y alturas Medido por la Técnica FRXED

espectro 26-06-2019: Bloc de notas													
Archivo Edición Formato Ver Ayuda													
TestID	06_26_19 #1	06_26_19 #2-1	06_26_19 #2-1	06_26_19 #2-1	06_26_19 #2-1	06_26_19 #2-2	06_26_19 #2-2	06_26_19 #2-2	06_26_19 #3-2	06_26_19 #3-2	06_26_19 #4-1	06_26_19 #4-1	06_26_19 #4-2
	06_26_19 #3-2	06_26_19 #6-2	06_26_19 #6-2	06_26_19 #7-1	06_26_19 #7-1	06_26_19 #7-1	06_26_19 #7-2	06_26_19 #7-2	06_26_19 #8-2	06_26_19 #8-2	06_26_19 #9-1	06_26_19 #9-1	06_26_19 #9-2
	06_26_19 #8-2	06_26_19 #11-2	06_26_19 #11-2	06_26_19 #11-2	06_26_19 #12-1	06_26_19 #12-1	06_26_19 #12-1	06_26_19 #12-1	06_26_19 #13-1	06_26_19 #13-2	06_26_19 #13-2	06_26_19 #13-2	06_26_19 #13-2
ExposureNum	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Offset	-0.019635	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386
	0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386
	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386
	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386
	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386	-0.018386
Slope	0.02007	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066
	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066
	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066
	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066
	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066
	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066	0.020066
Livetime	11.8939	31.6713	31.6244	26.4826	31.7132	31.6434	27.2375	31.6479	31.7096	26.4761	31.5956	31.5591	25.8637
	31.7028	31.6305	25.869	31.7414	31.5947	25.0736	31.7505	31.5569	25.1139	28.2962	23.9582	19.6831	28.2806
	28.287	23.86	19.461	28.2285	23.8403	19.4979	28.4471	24.6458	19.5593	28.5477	24.1936	19.566	29.227
	25.4016	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048
NumData	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048
	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048
	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048

Fuente: Elaboración propia

espectro 26-06-2019: Bloc de notas																
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda												
27	27	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	29	29	29	30	
31	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
TubeCurrentSet	16.6166	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785
78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671
67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034	78.4785	67.0671	34.034
TubeCurrentMon	16.7585	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.5006
78.5006	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.5006	67.2547
67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.5006	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786	78.7211	67.2547	34.1786
TubeVoltageSet	40	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975
14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40
40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975	40	40	14.975
TubeVoltageMon	40.0441	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	40.0882	15.0386	40.0441	40.0441	15.0386	40.0441	40.0441	15.0386
15.0386	40.0441	40.0441	15.0386	40.0882	40.0882	15.0827	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	15.0386	40.0882	40.0441
40.0882	40.0441	15.0386	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	40.0882	15.0386	40.0882	15.0386	40.0441	40.0441	15.0386
LTMult	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ColMult	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FilterPosition	1	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5
3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1
5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3

Fuente: Datos en bruto del espectro de FRX de la porta muestras

ANEXO C

Datos del espectro de la Quinoa de Paruro, Anta y Cusco

ESPECTRO 04-07-2019: Bloc de notas											
Archivo Edición Formato Ver Ayuda											
TestID	07_04_19 #1	07_04_19 #2-1	07_04_19 #2-1	07_04_19 #2-1	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2
07_04_19 #3-2	07_04_19 #3-2	07_04_19 #4-1	07_04_19 #4-1	07_04_19 #4-1	07_04_19 #4-2	07_04_19 #4-2	07_04_19 #4-2	07_04_19 #4-2	07_04_19 #4-2	07_04_19 #4-2	07_04_19 #4-2
07_04_19 #5-2	07_04_19 #5-2	07_04_19 #6-1	07_04_19 #6-1	07_04_19 #6-1	07_04_19 #6-2	07_04_19 #6-2	07_04_19 #6-2	07_04_19 #6-2	07_04_19 #6-2	07_04_19 #6-2	07_04_19 #6-2
07_04_19 #7-2	07_04_19 #7-2	07_04_19 #8-1	07_04_19 #8-1	07_04_19 #8-1	07_04_19 #8-2	07_04_19 #8-2	07_04_19 #8-2	07_04_19 #8-2	07_04_19 #8-2	07_04_19 #8-2	07_04_19 #8-2
07_04_19 #9-2	07_04_19 #9-2	07_04_19 #10-1	07_04_19 #10-1	07_04_19 #10-1	07_04_19 #10-2	07_04_19 #10-2	07_04_19 #10-2	07_04_19 #10-2	07_04_19 #10-2	07_04_19 #10-2	07_04_19 #10-2
-2	07_04_19 #11-2	07_04_19 #11-2	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1	07_04_19 #12-1
07_04_19 #13-2	07_04_19 #13-2	07_04_19 #13-2	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1	07_04_19 #14-1
-1	07_04_19 #15-2	07_04_19 #15-2	07_04_19 #15-2	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1	07_04_19 #16-1
07_04_19 #17-1	07_04_19 #17-2	07_04_19 #17-2	07_04_19 #17-2	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1	07_04_19 #18-1
-1	07_04_19 #19-1	07_04_19 #19-2	07_04_19 #19-2	07_04_19 #19-2	07_04_19 #20-1	07_04_19 #20-1	07_04_19 #20-1	07_04_19 #20-1	07_04_19 #20-1	07_04_19 #20-1	07_04_19 #20-1
07_04_19 #21-1	07_04_19 #21-1	07_04_19 #21-2	07_04_19 #21-2	07_04_19 #21-2	07_04_19 #22-1	07_04_19 #22-1	07_04_19 #22-1	07_04_19 #22-1	07_04_19 #22-1	07_04_19 #22-1	07_04_19 #22-1
-1	07_04_19 #23-1	07_04_19 #23-1	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2	07_04_19 #23-2
07_04_19 #25-1	07_04_19 #25-1	07_04_19 #25-1	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2	07_04_19 #25-2
-2	07_04_19 #27-1	07_04_19 #27-1	07_04_19 #27-1	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2	07_04_19 #27-2
ExposureNum	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Offset	-0.018749	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202
0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202
-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202
-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202
-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202	-0.019202

Nota: Datos en bruto del espectro de FRX de la muestra quinoa

ANEXO D

Datos de la Concentración de elementos (PPM) de la Quinoa de Paruro, Anta y Cusco

1	Date,Time,Rela	ding,Mode,Elaps	ed Time 1,Elaps	ed Time 2,Elaps	ed Time 3,Elaps	ed Time Total,Numero,Codigo,Material,P,P +/-,S,S +/-,Cl,Cl +/-,K,K
2	04/07/2019,15:13:13,#1,Cal Check,15.97,,15.97,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,0,12.62,,,12.62,512299,Delta Premium,Rh,%,681,U					
3	04/07/2019,15:18:54,#2-1,Soil,34.96,33.98,29.32,98.27,CU00L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1502,1769,148,258744,810,1629					
4	04/07/2019,15:20:39,#2-2,Soil,34.83,33.97,29.36,98.16,CU00L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1469,1653,148,261133,819,1636					
5	04/07/2019,15:20:39,#2-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1485,1711,148,259938,815,1632,21,<LOD,29,<LOD,3.1,<LOD,1,<LOD,2.8,<LOD,3.9,83,4,<LOD,5,<					
6	04/07/2019,15:26:25,#3-1,Soil,34.56,34.04,29.35,97.95,CU02L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1513,1590,154,287642,901,560,1					
7	04/07/2019,15:28:10,#3-2,Soil,34.57,34.25,29.39,98.2,CU02L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1518,1698,155,288838,905,566,1					
8	04/07/2019,15:28:10,#3-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1515,1644,155,288240,903,563,12,<LOD,20,<LOD,2.9,<LOD,1,<LOD,2.8,<LOD,3.6,33,3,<LOD,4.6,<					
9	04/07/2019,15:32:32,#4-1,Soil,34.97,33.84,29.26,98.07,CU06L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1367,1653,138,249073,747,564,1					
10	04/07/2019,15:34:16,#4-2,Soil,34.48,33.83,29.56,97.87,CU06L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1339,1571,136,247837,741,553,1					
11	04/07/2019,15:34:16,#4-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1353,1612,137,248455,744,558,11,<LOD,18,<LOD,2.6,<LOD,0.9,<LOD,2.6,<LOD,3.4,18,2,<LOD,3.9					
12	04/07/2019,15:39:28,#5-1,Soil,34.52,33.91,29.27,97.69,CU12L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1348,1546,130,211821,652,958,1					
13	04/07/2019,15:41:12,#5-2,Soil,34.56,33.9,29.27,97.73,CU12L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1339,1798,132,212849,655,960,1					
14	04/07/2019,15:41:12,#5-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1344,1672,131,212335,654,959,15,<LOD,23,<LOD,2.8,<LOD,1,<LOD,2.7,<LOD,3.7,27,3,<LOD,4,<					
15	04/07/2019,15:46:22,#6-1,Soil,34.56,34.02,29.37,97.95,PA00L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1421,1654,139,230937,724,2177					
16	04/07/2019,15:48:07,#6-2,Soil,34.54,33.95,29.36,97.85,PA00L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1430,1880,141,230490,725,2217					
17	04/07/2019,15:48:07,#6-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1425,1767,140,230714,725,2197,24,<LOD,27,<LOD,3,<LOD,1,<LOD,2.8,<LOD,3.9,51,3,<LOD,4.7,<					
18	04/07/2019,15:52:41,#7-1,Soil,34.49,33.81,29.55,97.85,PA02L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1261,1597,128,217142,650,875,1					
19	04/07/2019,15:54:25,#7-2,Soil,34.47,33.81,29.24,97.53,PA02L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1268,1582,129,217030,654,856,1					
20	04/07/2019,15:54:25,#7-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1264,1589,128,217086,652,866,14,<LOD,21,<LOD,2.6,<LOD,0.9,<LOD,2.5,<LOD,3.5,43,3,<LOD,4.3					
21	04/07/2019,15:58:49,#8-1,Soil,34.53,33.88,29.26,97.67,PA06L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1311,1704,134,232227,699,770,1					
22	04/07/2019,16:00:33,#8-2,Soil,34.53,34.4,29.28,98.22,PA06L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1289,1784,135,233387,703,771,1					
23	04/07/2019,16:00:33,#8-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1300,1744,135,232807,701,771,13,<LOD,21,<LOD,2.8,<LOD,1,<LOD,2.6,<LOD,3.5,43,3,<LOD,4.3,<					
24	04/07/2019,16:05:18,#9-1,Soil,34.47,33.82,29.28,97.58,PA12L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1298,1543,131,223119,674,672,1					
25	04/07/2019,16:07:03,#9-2,Soil,34.46,33.83,29.27,97.56,PA12L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1275,1547,131,222689,673,679,1					
26	04/07/2019,16:07:03,#9-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1286,1545,131,222904,673,676,12,<LOD,21,<LOD,2.7,<LOD,0.9,<LOD,2.6,<LOD,3.5,29,3,<LOD,4.1					
27	04/07/2019,16:13:11,#10-1,Soil,34.79,33.94,29.33,98.06,AN00L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1453,1803,143,241677,756,195					
28	04/07/2019,16:14:58,#10-2,Soil,34.55,34.47,29.6,98.62,AN00L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1442,1661,141,242355,754,1949					
29	04/07/2019,16:14:58,#10-Avg(2),Soil,,,,,,,,<LOD,1448,1732,142,242016,755,1950,22,<LOD,26,<LOD,3,<LOD,1,<LOD,2.8,3.9,1.3,32,3,<LOD,4.3,<					
30	04/07/2019,16:18:52,#11-1,Soil,34.52,33.87,29.29,97.68,AN02L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1335,1815,129,202934,625,147					
31	04/07/2019,16:20:37,#11-2,Soil,34.52,33.86,29.28,97.67,AN02L1,10mL-PORTAMUESTRA,QUINUA MOLIDA,<LOD,1345,1845,129,202634,624,145					

Nota: Datos en bruto de la concentración de FRX de la muestra quinoa

ANEXO E

Datos del Espectro de la Porta Muestras exportados a Excel con canales enumeradas y Energía

CANALES	CALLCHET	ENERGIA(KeV)	DISPARO 1 (PORTAMUESTRA CON FILM1)			DISPARO 2(PORTAMUESTRA CON FILM1)		
			Haz1	Haz2	Haz3	Haz1	Haz2	Haz
0	0	-0,018386	0	0	0	0	0	0
1	0	0,00168	0	0	0	0	0	0
2	0	0,021746	0	0	0	0	0	1
3	0	0,041812	0	0	0	0	0	0
4	0	0,061878	0	0	0	0	0	0
5	0	0,081944	0	0	0	0	0	3
6	0	0,10201	0	0	0	0	0	0
7	0	0,122076	0	0	0	0	0	4
8	0	0,142142	0	0	0	0	0	0
9	0	0,162208	0	0	0	0	0	1
10	0	0,182274	0	0	0	0	0	2
11	0	0,20234	0	0	0	0	0	0
12	0	0,222406	0	0	0	0	0	0
13	0	0,242472	0	0	0	0	0	0
14	0	0,262538	0	0	0	0	0	0
15	0	0,282604	0	0	0	0	0	0
16	0	0,30267	0	0	0	0	0	0
17	0	0,322736	0	0	0	0	0	0
18	0	0,342802	0	1	0	1	0	0
19	0	0,362868	0	0	0	0	0	0
20	1	0,382934	0	0	1	1	0	0

Nota: 20 Datos del espectro de la porta muestra solamente, en vista de que son 2400 datos en total

Fuente: Elaboración propia

ANEXO F

B) Datos brutos de la Concentración Elemental (PPM) de la Porta muestras Exportados a Excel

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1												
2	Mode	Elapsed	Elapse	Elapsed Ti	Elapsed Tin	Numero	Codigo	Material	P	P	S	S
3	Cal Check	15,04			15,04							
4	Soil	34,98	35,08	29,9	99,95	PM02	Conteiner	PORTAMUESTRA P	12168	1862	4465	561
5	Soil	34,96	34,87	30,88	100,71	PM02	Conteiner	PORTAMUESTRA P	10768	1880	3709	568
6	Soil								11468	1871	4087	565
7	Soil	34,97	35,05	29,84	99,87	PM03	Conteiner	PORTAMUESTRA SIN FILM	<LOD	1257	<LOD	268
8	Soil	34,93	34,85	29,85	99,63	PM03	Conteiner	PORTAMUESTRA SIN FILM	<LOD	1495	<LOD	249
9	Soil								<LOD	1376	<LOD	259
10	Soil	35,06	34,91	29,85	99,81	PM01	Conteiner	PORTAMUESTRA 1FILM	11693	1837	4083	550
11	Soil	35,07	34,93	30,71	100,7	PM01	Conteiner	PORTAMUESTRA 1FILM	11702	1848	3347	546
12	Soil								11698	1843	3715	548
13	Soil	34,98	34,92	29,87	99,76	PM04	Conteiner	PORTAMUESTRA 2FILM	21416	2391	6094	744
14	Soil	34,99	34,89	29,9	99,78	PM04	Conteiner	PORTAMUESTRA 2FILM	22752	2422	5959	747
15	Soil								22084	2406	6026	745
16	Soil	34,99	34,94	29,83	99,76	PM05	Conteiner	PORTAMUESTRA 3FILM	24712	2263	6339	703
17	Soil	34,96	34,88	29,86	99,7	PM05	Conteiner	PORTAMUESTRA 3FILM	27599	2351	5856	719
18	Soil								26156	2307	6097	711

AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	
Ni	Ni	Cu	Cu	Zn	Zn	As	As	Rb	Rb	Sr	Sr	Y	Y	Zr	Zr	Nb	Nb	
<LOD	29	<LOD	11	36	3	<LOD	3,9	4,5	1	<LOD	1,6	<LOD	1,7	<LOD	3,3	<LOD	3,8	
<LOD	30	<LOD	11	46	3	<LOD	4	4,2	1	<LOD	1,4	<LOD	1,5	<LOD	3,6	<LOD	3,9	
<LOD	29	<LOD	11	41	3	<LOD	4	4,3	1	<LOD	1,5	<LOD	1,6	<LOD	3,5	<LOD	3,8	
<LOD	23	<LOD	9	<LOD	3,8	<LOD	3,4	4,1	0,9	<LOD	1,2	<LOD	1,2	<LOD	2,7	<LOD	3	
<LOD	22	<LOD	9	<LOD	4,4	<LOD	3,4	4,8	0,9	<LOD	1,2	<LOD	1,3	<LOD	2,7	<LOD	3	
<LOD	22	<LOD	9	<LOD	4,1	<LOD	3,4	4,4	0,9	<LOD	1,2	<LOD	1,2	<LOD	2,7	<LOD	3	
<LOD	33	13	4	49	4	<LOD	4,1	5	1,1	<LOD	1,3	<LOD	1,7	<LOD	3,3	<LOD	3,8	
	34	11	<LOD	13	49	4	<LOD	4,5	5,5	1,2	<LOD	1,5	<LOD	1,5	<LOD	3,4	<LOD	3,7
<LOD	34	13	4	49	4	<LOD	4,3	5,3	1,1	<LOD	1,4	<LOD	1,6	<LOD	3,4	<LOD	3,7	
<LOD	33	<LOD	13	94	5	<LOD	4,5	4,4	1,1	<LOD	1,7	<LOD	1,7	<LOD	3,7	<LOD	4	
<LOD	33	<LOD	13	94	5	<LOD	4,3	6,8	1,2	<LOD	1,5	<LOD	1,9	<LOD	3,8	<LOD	3,8	
<LOD	33	<LOD	13	94	5	<LOD	4,4	5,6	1,2	<LOD	1,6	<LOD	1,8	<LOD	3,7	<LOD	3,9	
<LOD	29	<LOD	11	127	5	<LOD	4,1	5,4	1	<LOD	1,4	<LOD	1,5	<LOD	3,3	<LOD	3,5	
<LOD	28	<LOD	11	120	5	<LOD	4,1	3,4	1,1	<LOD	1,4	<LOD	1,5	<LOD	3,2	<LOD	3,4	
<LOD	29	<LOD	11	123	5	<LOD	4,1	4,4	1,1	<LOD	1,4	<LOD	1,5	<LOD	3,2	<LOD	3,5	

Nota: Datos de la concentración de FRX de la porta muestra

Fuente: Elaboración propia

ANEXO G .

Datos del Espectro de las Muestras de Quinoa en Polvo y Grano de Paruro, Anta y Cusco

TestID	07_04_19 #1	07_04_19 #2-1	07_04_19 #2-1	07_04_19 #2-1	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2	07_04_19 #2-2
ExposureNum	1	1	2	3	1	2	3
Offset	-0,018749	-0,019202	-0,019202	-0,019202	-0,019202	-0,019202	-0,019202
Slope	0,020067	0,020068	0,020068	0,020068	0,020068	0,020068	0,020068
Livetime(tiempo en vivo)	12,6191	30,1453	26,8344	20,4856	30,0366	26,8034	20,5245
NumData(número de datos)	2048	2048	2048	2048	2048	2048	2048
FirstRate(primeras tasa)	65039	21856,2	53256,5	103457	21721	53464,6	103410
LastRate(ultima tasa)	65684,7	21923,3	54077,9	103063	21903,3	54120,7	101404
Realttime (tiempo real)	15,971	34,9632	33,9847	29,3238	34,8343	33,9655	29,3619
VacPressure (presión del vacío)	681	681	681	681	681	681	681
AmbientPressure (presión ambiente)	681	681	681	681	681	681	681
ProbeTemp (temperatura de sonda)	18	20	20	20	20	20	20
TubeCurrentSet(corriente de tubo del conjunto)	16,6166	67,0671	34,034	78,4785	67,0671	34,034	78,4785
TubeCurrentMon(corriente de tubo	16,7585	67,2547	34,1786	78,7211	67,2547	34,1786	78,7211
TubeVoltageSet	40	40	40	14,975	40	40	14,975
TubeVoltageMon	40,0882	40,0441	40,0882	15,0386	40,0882	40,0882	15,0386
LTMult	1	1	1	1	1	1	1
ColMult	1	1	1	1	1	1	1
FilterPosition (posición de filtro)	1	3	1	5	3	1	5
TestID	4/07/2019 15:13	4/07/2019 15:17	4/07/2019 15:18	4/07/2019 15:18	4/07/2019 15:19	4/07/2019 15:20	4/07/2019 15:20
		CUSCO- MOLIDO CON 00 LAVADAS(CU00LP)					
		REPETICIÓN 1			REPETICIÓN 2		

CANALES(X)	ENERGIA (keV)	HAZ1(CPS)	HAZ2(CPS)	HAZ3(CPS)	HAZ1(CPS)	HAZ2(CPS)	HAZ3(CPS)
0	-0,019202	0	3	0	0	1	0
1	0,000866	0	0	0	0	0	0
2	0,020934	0	0	0	0	0	0
3	0,041002	0	0	0	0	0	0
4	0,06107	0	0	0	0	0	0
5	0,081138	0	0	0	0	0	0
6	0,101206	0	0	0	0	0	0
7	0,121274	0	0	0	0	0	0
8	0,141342	0	0	0	0	0	0
9	0,16141	0	0	0	0	0	0
10	0,181478	0	0	0	0	0	0
11	0,201546	0	0	0	0	0	0
12	0,221614	0	0	0	0	0	0
13	0,241682	0	0	0	0	0	0
14	0,26175	0	0	0	0	0	0
15	0,281818	0	0	0	0	0	0
16	0,301886	0	0	0	0	0	0
17	0,321954	1	0	0	0	2	0
18	0,342022	0	1	1	1	0	0
19	0,36209	1	0	0	3	3	1
20	0,382158	2	2	0	2	2	0
21	0,402226	1	3	0	3	7	1

Nota: 21 Datos del espectro de la quinua, en vista de que son 2400 datos en total

Fuente: Elaboración propia

ANEXO H:*Datos de la Concentración Elemental de las Muestras de Quinoa en Polvo y Grano de Paruro, Anta y Cusco*

Modo	Elapsed Time 1	Elapsed Time 2	Elapsed Time 3	Numero	P	P	S	S	Cl	Cl	K	K	Ca	Ca	Ti	Ti	V	V
Cal Check	15,97																	
Soil	34,96	33,98	29,32	CU00L1	<LOD	1502	1769	148	258744	810	1629	20	<LOD	29	<LOD	3,1	<LOD	1,1
Soil	34,83	33,97	29,36	CU00L1	<LOD	1469	1653	148	261133	819	1636	21	<LOD	29	<LOD	3,2	<LOD	1
Soil					<LOD	1485	1711	148	259938	815	1632	21	<LOD	29	<LOD	3,1	<LOD	1
Soil	34,97	33,84	29,26	CU06L1	<LOD	1367	1653	138	249073	747	564	11	<LOD	18	<LOD	2,7	<LOD	1
Soil	34,48	33,83	29,56	CU06L1	<LOD	1339	1571	136	247837	741	553	11	<LOD	18	<LOD	2,6	<LOD	0,9
Soil					<LOD	1353	1612	137	248455	744	558	11	<LOD	18	<LOD	2,6	<LOD	0,9
Soil	34,56	34,02	29,37	PA00L1	<LOD	1421	1654	139	230937	724	2177	24	<LOD	27	<LOD	2,9	<LOD	1
Soil	34,54	33,95	29,36	PA00L1	<LOD	1430	1880	141	230490	725	2217	24	<LOD	27	<LOD	3,1	<LOD	1
Soil					<LOD	1425	1767	140	230714	725	2197	24	<LOD	27	<LOD	3	<LOD	1
Soil	34,53	33,88	29,26	PA06L1	<LOD	1311	1704	134	232227	699	770	13	<LOD	21	<LOD	2,8	<LOD	0,9
Soil	34,53	34,4	29,28	PA06L1	<LOD	1289	1784	135	233387	703	771	13	<LOD	22	<LOD	2,7	<LOD	1
Soil					<LOD	1300	1744	135	232807	701	771	13	<LOD	21	<LOD	2,8	<LOD	1
Soil	34,79	33,94	29,33	AN00L1	<LOD	1453	1803	143	241677	756	1951	22	<LOD	26	<LOD	3,1	<LOD	1
Soil	34,55	34,47	29,6	AN00L1	<LOD	1442	1661	141	242355	754	1949	22	<LOD	26	<LOD	3	<LOD	1
Soil					<LOD	1448	1732	142	242016	755	1950	22	<LOD	26	<LOD	3	<LOD	1
Soil	34,57	34	29,31	AN06L1	<LOD	1395	1872	135	211222	662	1144	17	<LOD	23	<LOD	2,9	<LOD	1
Soil	34,58	33,96	29,59	AN06L1	<LOD	1352	1691	132	210854	656	1138	17	<LOD	24	<LOD	2,8	<LOD	1
Soil					<LOD	1374	1782	133	211038	659	1141	17	<LOD	24	<LOD	2,8	<LOD	1
Soil	34,28	33,44	29,3	CU00E1	<LOD	1321	1450	136	267907	771	1170	16	<LOD	21	<LOD	2,5	<LOD	0,9
Soil	34,86	33,42	29,3	CU00E1	<LOD	1316	1269	135	268916	774	1200	16	<LOD	21	<LOD	2,6	<LOD	0,9
Soil					<LOD	1319	1359	135	268412	773	1185	16	<LOD	21	<LOD	2,5	<LOD	0,9
Soil	34,23	33,27	29,22	CU06E1	<LOD	1109	1159	111	190984	545	890	13	25	8	<LOD	2,3	<LOD	0,8
Soil	34,2	33,26	29,2	CU06E1	<LOD	1099	1272	112	190848	543	906	13	26	8	<LOD	2,2	<LOD	0,8
Soil					<LOD	1104	1215	111	190916	544	898	13	26	8	<LOD	2,3	<LOD	0,8

<LOD	2,9	<LOD	3,9	83	4	<LOD	5	<LOD	5,4	<LOD	2,9	45,8	1,2	<LOD	1,3	9,9	0,4	5,6	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1,1
<LOD	2,8	<LOD	3,9	84	4	<LOD	5	<LOD	5,3	<LOD	2,8	46	1,2	<LOD	1,3	10,1	0,4	5,7	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1,1
<LOD	2,8	<LOD	3,9	83	4	<LOD	5	<LOD	5,4	<LOD	2,8	45,9	1,2	<LOD	1,3	10	0,4	5,6	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1,1
<LOD	2,6	<LOD	3,4	17	2	<LOD	3,9	<LOD	4,9	<LOD	2,6	46,5	1,2	<LOD	1,2	5,1	0,3	3,4	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,5	<LOD	3,4	20	2	<LOD	3,9	<LOD	4,8	<LOD	2,7	45,8	1,2	<LOD	1,2	6,3	0,4	2,6	0,2	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,6	<LOD	3,4	18	2	<LOD	3,9	<LOD	4,9	<LOD	2,6	46,1	1,2	<LOD	1,2	5,7	0,4	3	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,8	<LOD	3,9	56	3	<LOD	4,7	<LOD	5,4	<LOD	3	55,4	1,3	<LOD	1,3	8,4	0,4	4,6	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1,1
<LOD	2,8	4,2	1,3	47	3	<LOD	4,7	<LOD	5,4	<LOD	2,9	54,9	1,3	<LOD	1,2	8,7	0,4	4,6	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1,1
<LOD	2,8	<LOD	3,9	51	3	<LOD	4,7	<LOD	5,4	<LOD	2,9	55,1	1,3	<LOD	1,3	8,6	0,4	4,6	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1,1
<LOD	2,7	<LOD	3,5	44	3	<LOD	4,4	<LOD	5	<LOD	2,7	58,7	1,3	<LOD	1,2	6,4	0,4	5,6	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,6	<LOD	3,5	43	3	<LOD	4,2	<LOD	4,9	<LOD	2,8	58,9	1,3	<LOD	1,2	5,4	0,4	5	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
Cr	Cr	Mn	Mn	Fe	Fe	Co	Co	Ni	Ni	Cu	Cu	Zn	Zn	As	As	Rb	Rb	Sr	Sr	Y	Y	Zr	Zr
<LOD	2,6	<LOD	3,5	43	3	<LOD	4,3	<LOD	4,9	<LOD	2,7	58,8	1,3	<LOD	1,2	5,9	0,4	5,3	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,7	5,4	1,3	33	3	<LOD	4,2	<LOD	5,3	<LOD	2,8	48,2	1,3	<LOD	1,2	4,9	0,4	<LOD	0,6	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,8	<LOD	3,9	31	3	<LOD	4,3	<LOD	5,2	<LOD	2,9	49,7	1,3	<LOD	1,3	5,2	0,4	<LOD	0,6	<LOD	0,5	<LOD	1,1
<LOD	2,8	3,9	1,3	32	3	<LOD	4,3	<LOD	5,3	<LOD	2,8	48,9	1,3	<LOD	1,2	5	0,4	<LOD	0,6	<LOD	0,5	<LOD	1,1
<LOD	2,7	4	1,3	37	3	<LOD	4,4	<LOD	5,3	<LOD	2,8	48	1,2	<LOD	1,3	3,7	0,3	2,5	0,3	<LOD	0,6	<LOD	1
<LOD	2,7	<LOD	3,8	39	3	<LOD	4,3	<LOD	5,3	<LOD	2,9	47,5	1,2	<LOD	1,2	3,8	0,4	2,4	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,7	3,9	1,3	38	3	<LOD	4,4	<LOD	5,3	<LOD	2,9	47,8	1,2	<LOD	1,2	3,8	0,3	2,5	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,5	<LOD	3,1	12	2	<LOD	3,5	<LOD	4,5	<LOD	2,3	36,9	1	<LOD	1	7,9	0,3	3,9	0,2	<LOD	0,5	<LOD	0,9
<LOD	2,5	<LOD	3,1	9	2	<LOD	3,7	<LOD	4,4	<LOD	2,3	35,9	1	<LOD	1	8,2	0,3	4,2	0,2	<LOD	0,5	<LOD	0,9
<LOD	2,5	<LOD	3,1	10	2	<LOD	3,6	<LOD	4,4	<LOD	2,3	36,4	1	<LOD	1	8	0,3	4,1	0,2	<LOD	0,5	<LOD	0,9
<LOD	2,2	<LOD	3	9	2	<LOD	3,5	<LOD	4	<LOD	2,2	31,8	0,9	1,1	0,3	5,1	0,3	3,2	0,2	<LOD	0,4	<LOD	0,9
<LOD	2,2	<LOD	3	11	2	<LOD	3,4	<LOD	4,1	<LOD	2,1	33,3	0,9	<LOD	1	6,1	0,3	3,6	0,2	<LOD	0,4	<LOD	0,8
<LOD	2,2	<LOD	3	10	2	<LOD	3,4	<LOD	4,1	<LOD	2,2	32,6	0,9	<LOD	1	5,6	0,3	3,4	0,2	<LOD	0,4	<LOD	0,8
<LOD	2,4	<LOD	3,2	28	3	<LOD	4	<LOD	4,7	<LOD	2,6	44,8	1,1	<LOD	1,1	7,1	0,3	9,8	0,4	<LOD	0,5	<LOD	1
<LOD	2,5	<LOD	3,2	32	3	<LOD	3,9	<LOD	4,6	<LOD	2,6	45,1	1,1	<LOD	1,1	7,2	0,3	9	0,3	<LOD	0,5	<LOD	1

Fuente: Datos extraídos de concentración de FRX, elaboración propia en Excel

Fuente: Elaboración propia

ANEXO I

Procedimiento Para Determinar los Elementos que Contiene la Porta Muestra y la Cantidad de Plásticos Film que se Usará Para Cubrir la Base

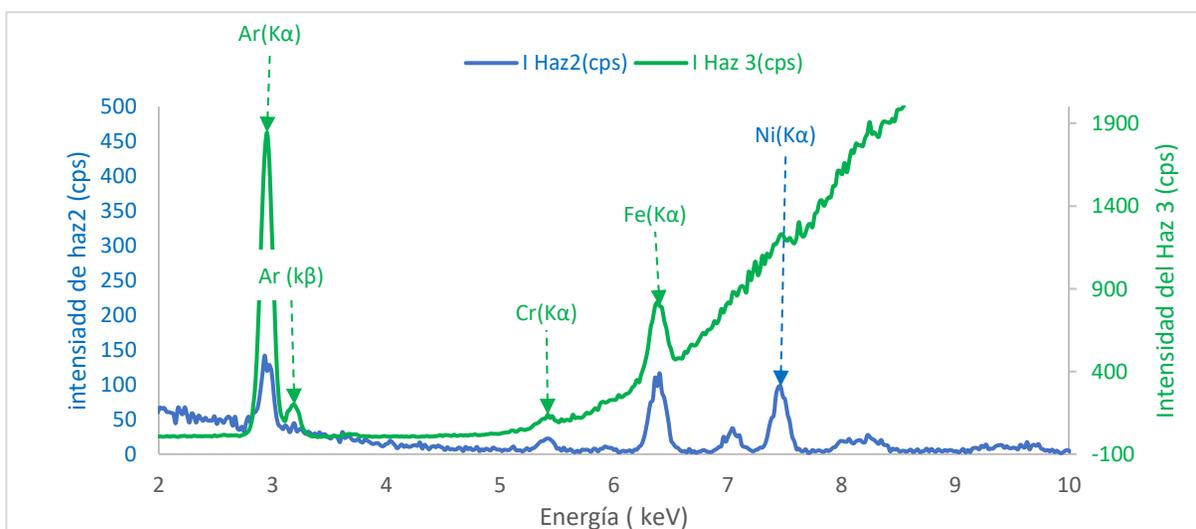
I) ANALISIS DEL ESPECTRO

A partir de los datos del ANEXO E y con la técnica del ítem 4.5.3.1 se obtuvo los espectros de la porta muestras, como se señala en la **Figura I.0.1(a, b, c, d y e)**.

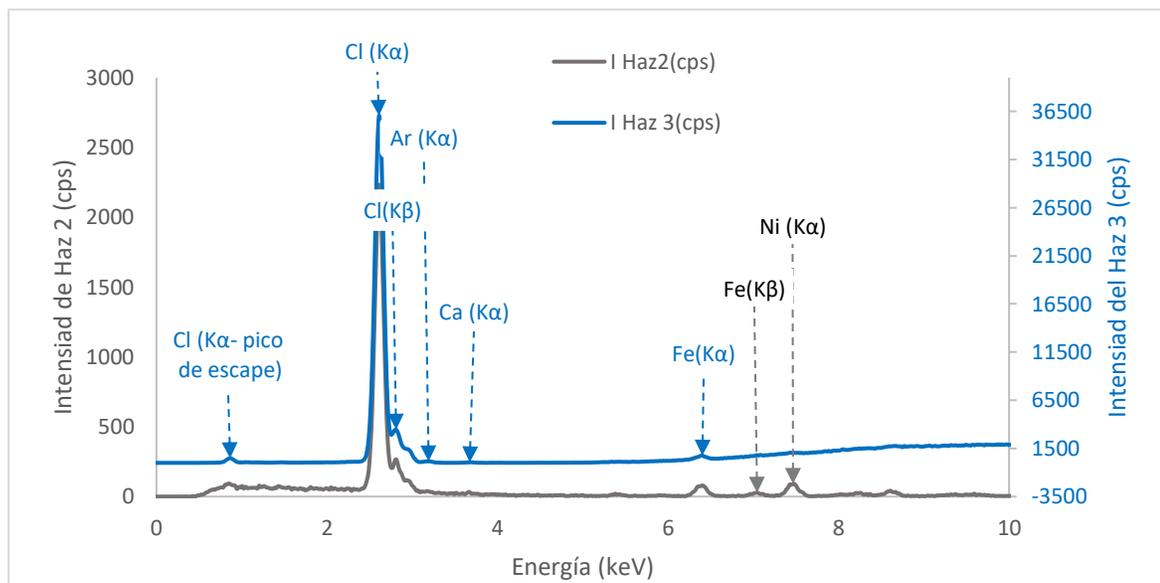
Figura I.0.1

Espectros de las Porta muestras

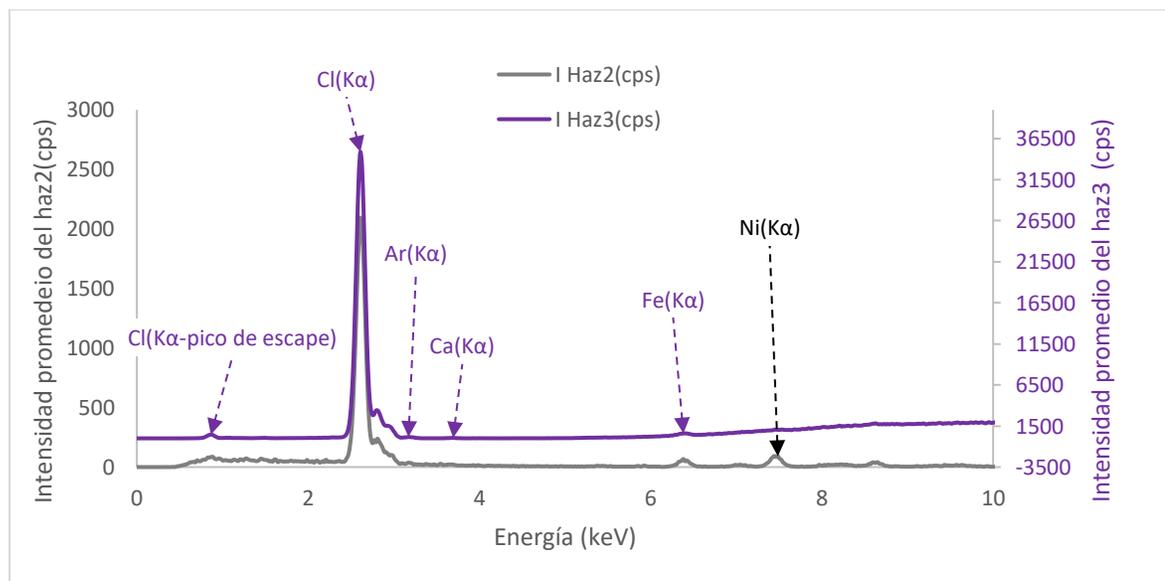
a) Espectro de la porta muestra sin film (aire + jeringa)



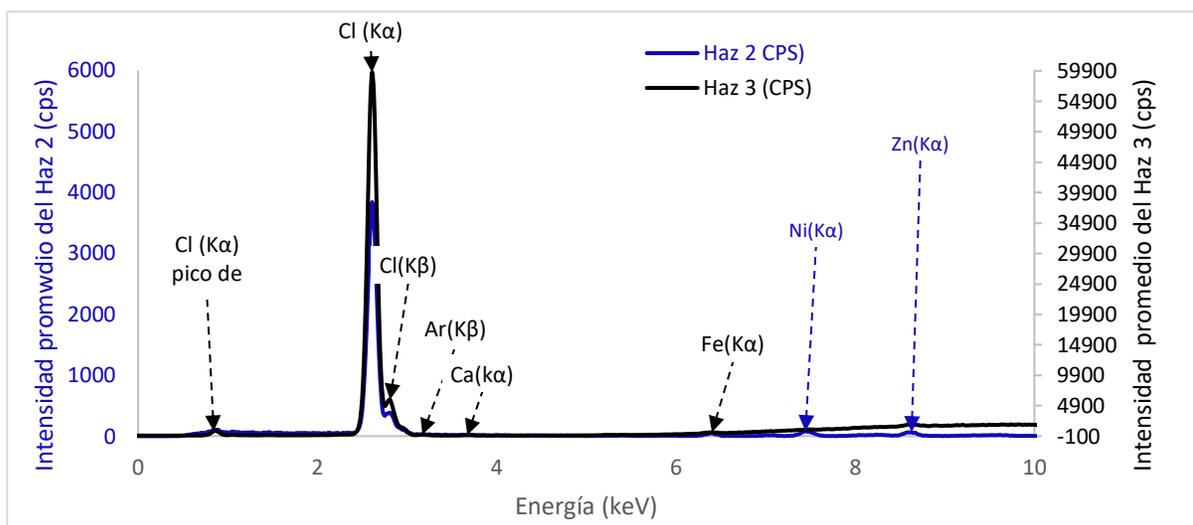
b) Espectro de la Jeringa



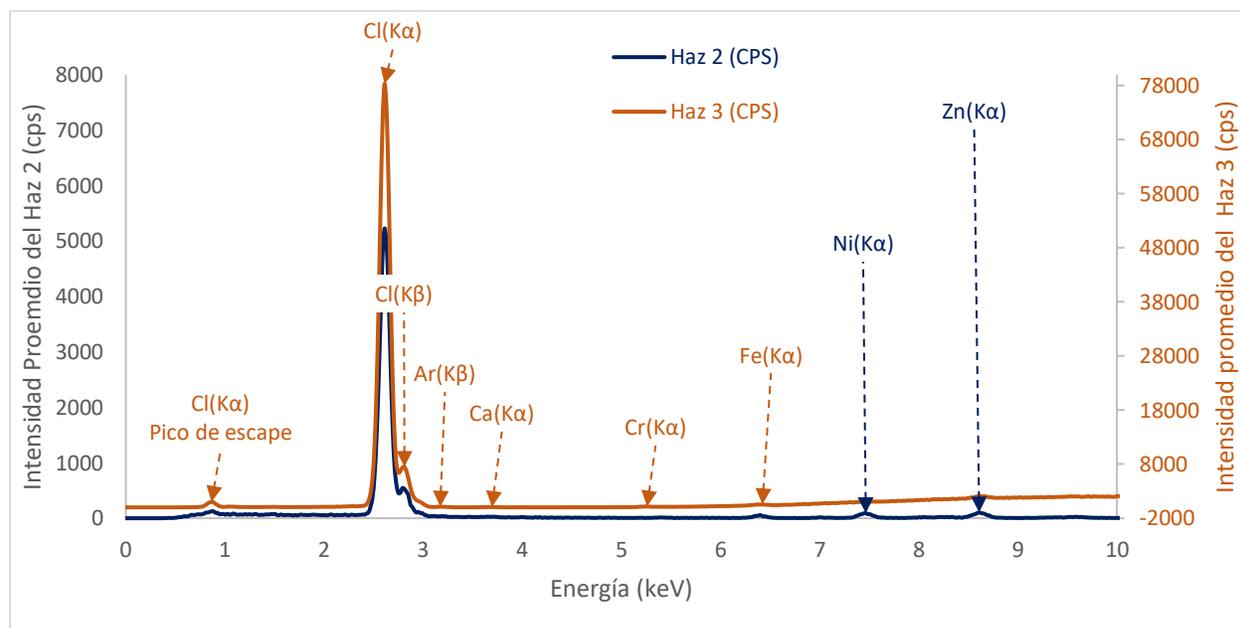
c) Espectro de 1 film



d) Espectro de la porta muestra con 2 film



e) Espectro de la porta muestra con 3 film



Y a partir de estos espectros se identificaron los elementos y su respectiva intensidad de pico (cps), lo cual se muestra en la **Tabla I.1**.

Tabla I.1*Elementos e Intensidad de las Porta muestras*

Minerales	I _p (cps)				
	Jeringa	Aire	1Film	2Film	3Film
Cl (K α , Pico escape)	447	-	417	657	954
Cl(K α)	35434	-	34280	57151	74469
Cl(K β)	2422	-	719	1434	1605
Ar(K α)	-	1772	-	-	-
Ar(K β)	-	145	-	-	-
Ca(K α)	53	-	53	58	61
Cr(K α)	-	60	-	-	-
Mn(K α)	-	-	-	-	-
Fe(K α)	364	24	182	131	124
Ni(K α)	89	-	88	81	78
Zn(K α)	-	-	-	59	97

II) ANÁLISIS DE DATOS DE LA CONCENTRACIÓN

Con los datos del *ANEXO F* y con la técnica del ítem 4.5.3.2, se obtuvo la concentración elemental (PPM) de la porta muestras, lo cual se muestra en la **Tabla I.2**

Tabla I.2*Concentración Elemental (PPM) de la porta muestras*

Porta muestras	Concentración Elemental (PPM)				
	Cl	Cr	Mn	Fe	Zn
Grupo1 Sin film (Aire)	-	34	51	343	-
Jeringa	725500	-	84	322	41
Grupo2 1 film	695348	-	73	262	49
2 films	1259201	-	68	174	94
3 films	1387238	-	63	158	123

Nota: Concentración elemental de la porta muestras Jeringa, sin film, con 1film, 2films y 3 Films

A partir de los espectros de la **Figura I.0.1**(a, b, c, d y e), **Tabla I.1** y **Tabla I.2** de la concentración elemental se elaboró la

Tabla I.3 y **Figura I.0.2.**, para definir la cantidad de capas de plástico film que se usará para cubrir la base de la jeringa y los elementos que contiene, lo cual se dispondrá como porta muestra para medir los datos del trabajo de investigación

Tabla I.3*Elementos, intensidad y concentración elemental de la porta muestras*

Elementos	Intensidad (cps)					Concentración elemental (PPM)				
	Espectro					Concentración				
	Sin film (aire)	Jeringa	1 film	2 films	3 films	Sin film (Aire)	Meringa	1 film	2 films	3 films
Cl (K α , Pico escape)	-	447	417	657	954	-	-	-	-	-
Cl(K α)	-	35434	34280	57151	74469	-	725500	695348	1259201	1387238
Cl(K β)	-	2422	719	1434	1605	-	-	-	-	-
Art(K α)	1772	-	-	-	-	-	-	-	-	-
are(K β)	145	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca(K α)	-	-	53	58	61	-	-	-	-	-
Cr (K α)	60	-	-	-	-	34	-	-	-	-
Mn (K α)	-	-	-	-	-	51	84	73	68	63
Fe(K α)	24	364	182	131	124	343	322	262	174	158
Ni(K α)	-	89	88	81	78	-	-	-	-	-
Zn(K α)	-	-	-	59	97	-	41	49	94	123

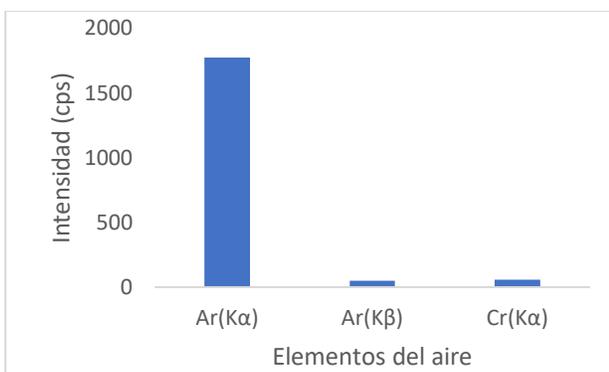
Fuente: Elaboración propia

Figura I.0.2

Intensidad y concentración elemental que contiene la porta muestras

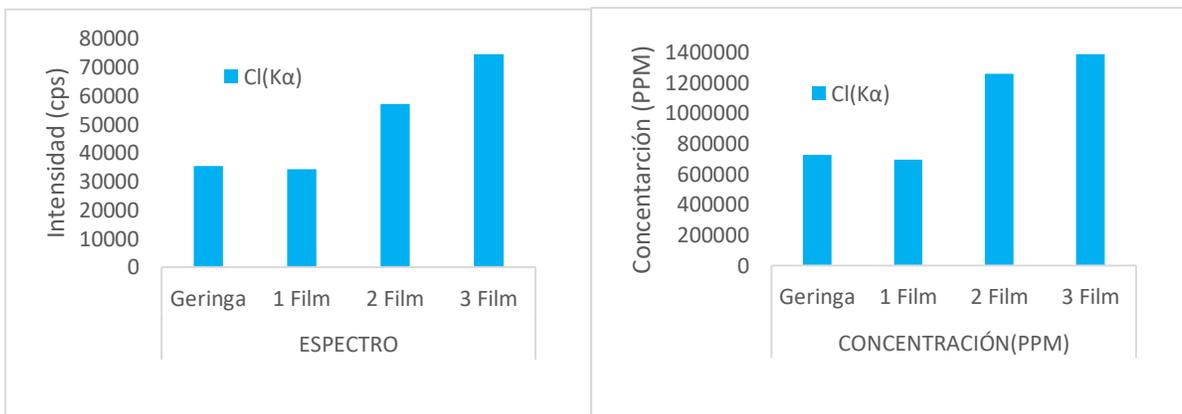
a) sin film(aire), b) Cloro de la jeringa, 1 film, 2 films y 3 films c) Fe y otros elementos de la jeringa, 1 film, 2films y 3 films

a) Elementos del aire (Porta muestra sin film)



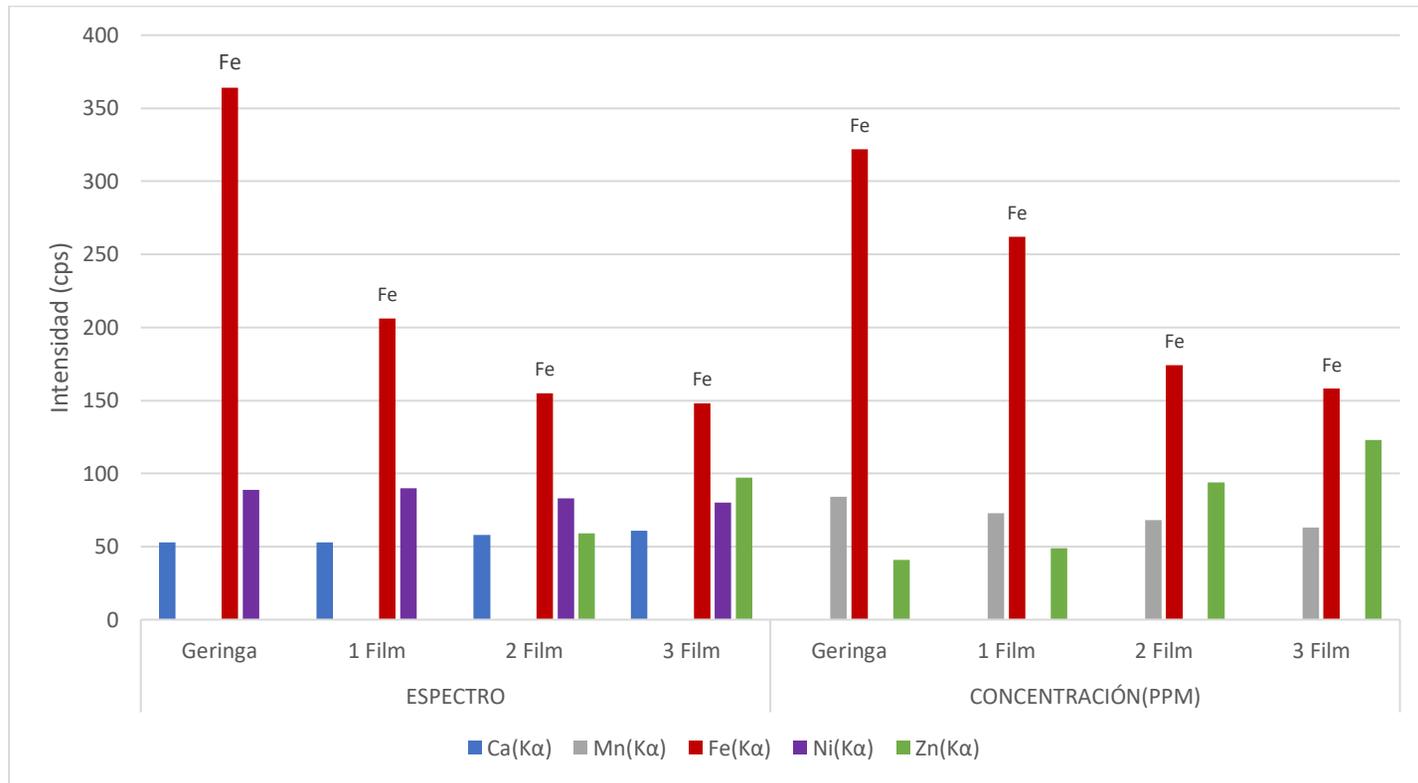
Fuente: elaboración propia

b) Cloro de la jeringa, 1 film, 2 films y 3 films



Fuente: Elaboración Propia

c) Fe y otros elementos: de la jeringa, 1 film, 2 films y 3 films



Fuente: Elaboración Propia

Observando y analizando la **Figura I.0.2** (a) se deduce que la porta muestra sin film(aire) contiene los elementos Argón y Cromo, y a partir de la **Figura I.0.2** (b y c) se deduce.:

El Cl aumento a medida que aumenta la capa de plástico film en gran magnitud tanto en intensidad y concentración, por tanto el cloro es netamente del plástico film, y el Fe disminuye a medida que se aumenta la capa de plástico film tanto en intensidad y en concentración elemental, lo cual nos demuestra que se usó la porta muestra cubierta la base con 3 capas de plástico film, esta disposición de obtener la porta muestra fue, porque cuando se usó la porta muestra de acero inoxidable contaminó de hierro a las muestras de quínua; y los demás elementos como Ca, Ni, Mn y Zn su presencia es en menor cantidad, los cuales se restan para determinar la concentración neta de la quínua, donde se observa que el Ni es netamente de la porta muestra y plástico film.

ANEXO J

PROCEDIMIENTO PARA DEFINIR LA ALTURA (ESPESOR) DE LA MUESTRA

I. ANÁLISIS DEL ESPECTRO

A partir de los datos del espectro **ANEXO E** y concentración elemental **ANEXO F**; se determinó la intensidad de picos (I_p) más pronunciados y la concentración elemental de los elementos con las técnicas de los ítems **4.5.3.1(paso 1 y2)** y **4.5.3.2** para cada altura o espesor, cuyo resultado de este análisis se muestra en la **Tabla J.1**, luego se graficó la intensidad de pico I_p y la concentración elemental en función de las alturas, para definir la altura (espesor) o volumen adecuada de la muestra.

Tabla J.1

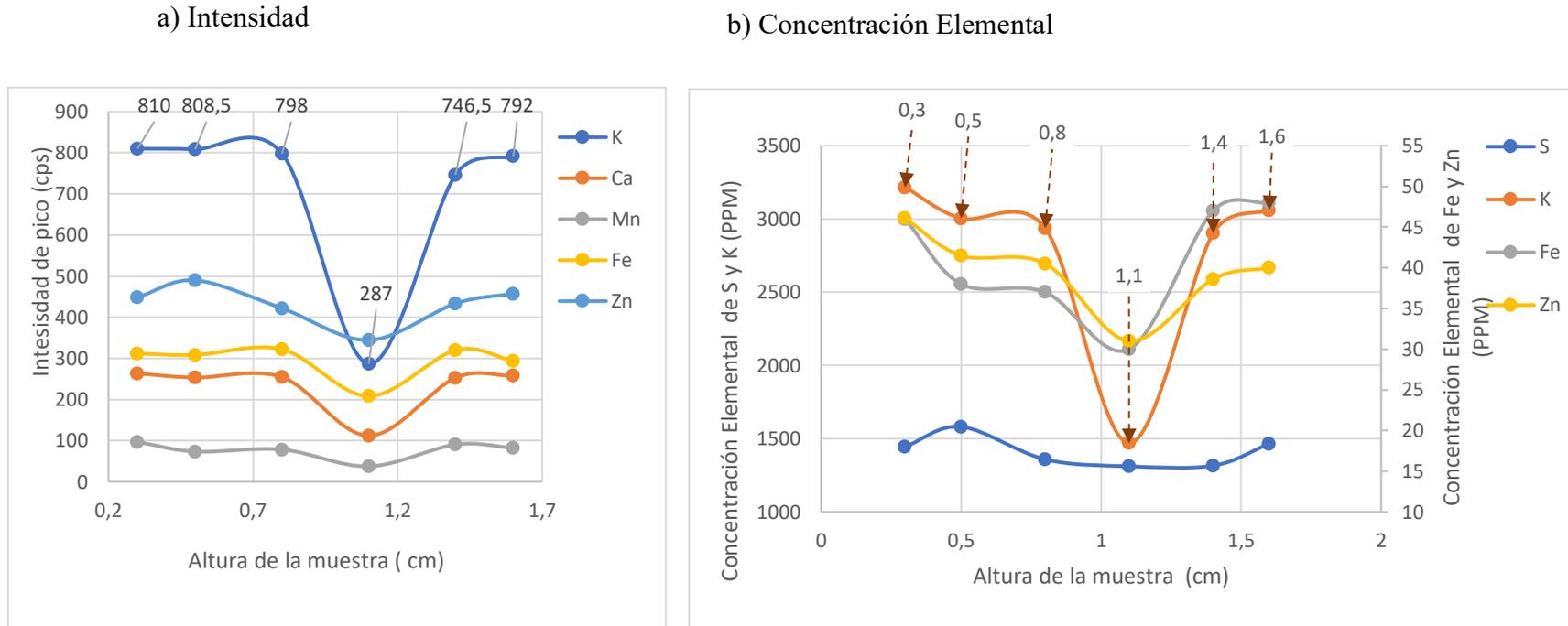
Altura, Intensidad y Concentración de los Elementos de la Muestra

Altura(cm)	Intensidad de pico de los elementos (cps)					Concentración elemental (PPM)				
	Espectro					Concentración				
	K	Ca	Mn	Fe	Zn	S	K	Ca	Fe	Zn
1,6	792	258	82,5	294,5	457,5	1464	3060		48	40
1,4	746,5	253	90,5	320	433,5	1315	2903		47	38,6
1,1	287	112	37,5	208,5	344,5	1311	1469		30	31
0,8	798	254,5	78,5	322	422	1358	2937		37	40,5
0,5	808,5	253,5	73,5	308,5	490	1581	3004	98	38	41,5
0,3	810	263,5	97	312	448,5	1445	3216	132	46	46,1

Fuente: Elaboración propia

Figura J.1

Intensidad I_p y Concentración Elemental en Función de Altura o espesor de la muestra



Nota: elaboración propia

Observando la **Figura J.1**(a y b), a medida que la altura de la muestra aumenta de 0.3 a 0.8 cm la intensidad y concentración de elementos disminuye ligeramente, pero partir de 0.8 cm disminuyó bruscamente, luego a partir de la altura 1.1 a 1.4 aumenta bruscamente y de 1.4 hasta 1.6cm aumenta ligeramente, este fenómeno nos demuestra que la altura de la muestra idónea es 1.1cm que corresponde a un volumen de 2.1 cm^3 , por tanto se usará la muestra con altura o espeso de 1.1cm y un volumen 2.1 cm^3 .

ANEXO K:

Procedimiento para determinar la línea espectral $K\alpha$ y $K\beta$ del Hierro

HIERRO	
E_T ($K\alpha$)	6,405
E_T ($K\beta$)	7,059
E_{exp}	6,403
e% ($K\alpha$)	0,035
e% ($K\beta$)	9,297

Nota. El e% ($K\alpha$) es menor que el e% ($K\beta$), entonces la energía experimental E_{exp} corresponde a la línea espectral ($K\alpha$) de hierro.

ANEXO L

Tabla Periódica de los Elementos y Energía



Periodic Table of Elements and X-ray Energies

www.bruker.com/hhxr

1 H Hydrogen Kα 0.0007 Lα 1.01																	2 He Helium Kα 0.0002 Lα 4.00																																			
3 Li Lithium Kα 0.53 Lα 6.94	4 Be Beryllium Kα 0.108 Lα 9.01																	5 B Boron Kα 0.183 Lα 10.81	6 C Carbon Kα 0.277 Lα 12.01	7 N Nitrogen Kα 0.392 Lα 14.01	8 O Oxygen Kα 0.525 Lα 16.00	9 F Fluorine Kα 0.677 Lα 19.00	10 Ne Neon Kα 0.849 Lα 20.18																													
11 Na Sodium Kα 1.040 Lα 22.99	12 Mg Magnesium Kα 1.254 Lα 24.31																	13 Al Aluminum Kα 1.486 Lα 26.98	14 Si Silicon Kα 1.740 Lα 28.09	15 P Phosphorus Kα 2.010 Lα 30.97	16 S Sulfur Kα 2.309 Lα 32.07	17 Cl Chlorine Kα 2.622 Lα 35.45	18 Ar Argon Kα 2.958 Lα 39.95																													
19 K Potassium Kα 3.314 Lα 39.10	20 Ca Calcium Kα 3.692 Lα 40.08	21 Sc Scandium Kα 4.093 Lα 44.96	22 Ti Titanium Kα 4.512 Lα 47.87	23 V Vanadium Kα 4.953 Lα 50.94	24 Cr Chromium Kα 5.415 Lα 52.00	25 Mn Manganese Kα 5.900 Lα 54.94	26 Fe Iron Kα 6.405 Lα 55.85	27 Co Cobalt Kα 6.931 Lα 58.93	28 Ni Nickel Kα 7.480 Lα 58.69	29 Cu Copper Kα 8.046 Lα 63.55	30 Zn Zinc Kα 8.637 Lα 65.38	31 Ga Gallium Kα 9.251 Lα 69.72	32 Ge Germanium Kα 9.886 Lα 72.64	33 As Arsenic Kα 10.543 Lα 74.92	34 Se Selenium Kα 11.224 Lα 78.96	35 Br Bromine Kα 11.924 Lα 79.90	36 Kr Krypton Kα 12.648 Lα 83.80																																			
37 Rb Rubidium Kα 3.396 Lα 85.47	38 Sr Strontium Kα 3.789 Lα 87.62	39 Y Yttrium Kα 4.194 Lα 88.91	40 Zr Zirconium Kα 4.647 Lα 91.22	41 Nb Niobium Kα 5.142 Lα 92.91	42 Mo Molybdenum Kα 5.613 Lα 95.94	43 Tc Technetium Kα 6.093 Lα (98)	44 Ru Ruthenium Kα 6.605 Lα 101.07	45 Rh Rhodium Kα 7.117 Lα 102.91	46 Pd Palladium Kα 7.631 Lα 106.42	47 Ag Silver Kα 8.137 Lα 107.87	48 Cd Cadmium Kα 8.643 Lα 112.41	49 In Indium Kα 9.149 Lα 114.82	50 Sn Tin Kα 9.655 Lα 118.71	51 Sb Antimony Kα 10.161 Lα 121.76	52 Te Tellurium Kα 10.667 Lα 127.60	53 I Iodine Kα 11.173 Lα 126.90	54 Xe Xenon Kα 11.679 Lα 131.29																																			
55 Cs Cesium Kα 3.684 Lα 132.91	56 Ba Barium Kα 4.076 Lα 137.33	57 La Lanthanum Kα 4.469 Lα 138.91	72 Hf Hafnium Kα 4.861 Lα 178.49	73 Ta Tantalum Kα 5.253 Lα 180.95	74 W Tungsten Kα 5.645 Lα 183.84	75 Re Rhenium Kα 6.037 Lα 186.21	76 Os Osmium Kα 6.429 Lα 190.23	77 Ir Iridium Kα 6.821 Lα 192.22	78 Pt Platinum Kα 7.213 Lα 195.08	79 Au Gold Kα 7.605 Lα 196.97	80 Hg Mercury Kα 7.997 Lα 200.59	81 Tl Thallium Kα 8.389 Lα 204.37	82 Pb Lead Kα 8.781 Lα 207.20	83 Bi Bismuth Kα 9.173 Lα 208.98	84 Po Polonium Kα 9.565 Lα (209)	85 At Astatine Kα 9.957 Lα (210)	86 Rn Radon Kα 10.349 Lα (222)																																			
87 Fr Francium Kα 4.285 Lα (223)	88 Ra Radium Kα 4.677 Lα (226)	89 Ac Actinium Kα 4.979 Lα (227)																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Atomic number</th> <th>Atomic weight</th> <th>Density (g/cm³)</th> <th>Symbol</th> <th>Element name</th> <th>Energy (keV)</th> <th>Spectral line</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35</td> <td>79.90</td> <td>3.12</td> <td>Br</td> <td>Bromine</td> <td>11.924</td> <td>Lα</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>232.04</td> <td>11.72</td> <td>Th</td> <td>Thorium</td> <td>12.968</td> <td>Lα</td> </tr> <tr> <td>91</td> <td>231.04</td> <td>15.37</td> <td>Pa</td> <td>Protactinium</td> <td>13.291</td> <td>Mα</td> </tr> <tr> <td>92</td> <td>238.03</td> <td>18.95</td> <td>U</td> <td>Uranium</td> <td>13.614</td> <td>Mα</td> </tr> </tbody> </table>																		Atomic number	Atomic weight	Density (g/cm ³)	Symbol	Element name	Energy (keV)	Spectral line	35	79.90	3.12	Br	Bromine	11.924	Lα	90	232.04	11.72	Th	Thorium	12.968	Lα	91	231.04	15.37	Pa	Protactinium	13.291	Mα	92	238.03	18.95	U	Uranium	13.614	Mα
Atomic number	Atomic weight	Density (g/cm ³)	Symbol	Element name	Energy (keV)	Spectral line																																														
35	79.90	3.12	Br	Bromine	11.924	Lα																																														
90	232.04	11.72	Th	Thorium	12.968	Lα																																														
91	231.04	15.37	Pa	Protactinium	13.291	Mα																																														
92	238.03	18.95	U	Uranium	13.614	Mα																																														
58 Ce Cerium Kα 4.839 Lα 0.884	59 Pr Praseodymium Kα 5.035 Lα 0.927	60 Nd Neodymium Kα 5.228 Lα 0.979	61 Pm Promethium Kα 5.432 Lα 1.023	62 Sm Samarium Kα 5.633 Lα 1.078	63 Eu Europium Kα 5.849 Lα 1.131	64 Gd Gadolinium Kα 6.053 Lα 1.181	65 Tb Terbium Kα 6.273 Lα 1.240	66 Dy Dysprosium Kα 6.498 Lα 1.293	67 Ho Holmium Kα 6.720 Lα 1.348	68 Er Erbium Kα 6.949 Lα 1.404	69 Tm Thulium Kα 7.180 Lα 1.462	70 Yb Ytterbium Kα 7.416 Lα 1.526	71 Lu Lutetium Kα 7.655 Lα 1.580	93 Np Neptunium Kα 13.946 Lα 3.250	94 Pu Plutonium Kα 14.282 Lα 3.339	95 Am Americium Kα 14.620 Lα 3.438	96 Cm Curium Kα 14.957 Lα 3.511	97 Bk Berkelium Kα 15.283 Lα 3.585	98 Cf Californium Kα 15.610 Lα 3.659	99 Es Einsteinium Kα 15.937 Lα 3.733	100 Fm Fermium Kα 16.264 Lα 3.807	101 Md Mendelevium Kα 16.591 Lα 3.881	102 No Nobelium Kα 16.918 Lα 3.955	103 Lr Lawrencium Kα 17.245 Lα 4.029																												

Innovation with Integrity

Handheld XRF



Z	Element	K α_1	K β_1	L α_1	L β_1	Z	Element	K α_1	K β_1	L α_1	L β_1	Z	Element	K α_1	K β_1	L α_1	L β_1	M α_1	M β_1
3	Li Lithium					34	Se Selenium	11.224	12.497	1.379	1.419	65	Tb Terbiun	44.482	50.385	6.273	6.975	1.240	1.269
4	Be Beryllium	0.108				35	Br Bromine	11.924	13.292	1.481	1.526	66	Dy Dysprosium	45.999	52.113	6.498	7.248	1.293	1.325
5	B Boron	0.183				36	Kr Krypton	12.648	14.112	1.585	1.636	67	Ho Holmium	47.547	53.877	6.720	7.526	1.348	1.383
6	C Carbon	0.277				37	Rb Rubidium	13.396	14.961	1.692	1.751	68	Er Erbium	49.128	55.674	6.949	7.811	1.404	1.448
7	N Nitrogen	0.392				38	Sr Strontium	14.165	15.835	1.806	1.871	69	Tm Thulium	50.742	57.505	7.180	8.102	1.462	1.503
8	O Oxygen	0.525				39	Y Yttrium	14.958	16.739	1.924	1.998	70	Yb Ytterbium	52.388	59.382	7.416	8.402	1.526	1.573
9	F Fluorine	0.677				40	Zr Zirconium	15.775	17.668	2.044	2.126	71	Lu Lutetium	54.070	61.290	7.655	8.710	1.580	1.630
10	Ne Neon	0.849				41	Nb Niobium	16.615	18.625	2.169	2.260	72	Hf Hafnium	55.790	63.244	7.899	9.023	1.646	1.700
11	Na Sodium	1.040				42	Mo Molybdenum	17.480	19.606	2.292	2.394	73	Ta Tantalum	57.535	65.222	8.146	9.343	1.712	1.770
12	Mg Magnesium	1.254	1.302			43	Tc Technetium	18.367	20.626	2.423	2.535	74	W Tungsten	59.318	67.244	8.398	9.672	1.775	1.838
13	Al Aluminium	1.486	1.557			44	Ru Ruthenium	19.279	21.656	2.558	2.683	75	Re Rhenium	61.141	69.309	8.652	10.010	1.843	1.906
14	Si Silicon	1.740	1.837			45	Rh Rhodium	20.216	22.724	2.697	2.834	76	Os Osmium	63.000	71.414	8.911	10.354	1.907	1.978
15	P Phosphorus	2.010	2.139			46	Pd Palladium	21.177	23.818	2.838	2.990	77	Ir Iridium	64.896	73.560	9.175	10.708	1.980	2.052
16	S Sulfur	2.309	2.465			47	Ag Silver	22.163	24.941	2.983	3.150	78	Pt Platinum	66.831	75.750	9.442	11.071	2.050	2.127
17	Cl Chlorine	2.622	2.812			48	Cd Cadmium	23.173	26.093	3.133	3.315	79	Au Gold	68.806	77.982	9.713	11.443	2.123	2.203
18	Ar Argon	2.958	3.190			49	In Indium	24.210	27.275	3.286	3.487	80	Hg Mercury	70.818	80.255	9.989	11.824	2.195	2.281
19	K Potassium	3.314	3.590			50	Sn Tin	25.271	28.485	3.444	3.663	81	Tl Thallium	72.872	82.573	10.269	12.213	2.271	2.363
20	Ca Calcium	3.692	4.013	0.341	0.345	51	Sb Antimony	26.359	29.725	3.604	3.842	82	Pb Lead	74.970	84.939	10.551	12.614	2.342	2.444
21	Sc Scandium	4.093	4.464	0.395	0.400	52	Te Tellurium	27.473	30.993	3.768	4.029	83	Bi Bismuth	77.107	87.349	10.839	13.023	2.423	2.526
22	Ti Titanium	4.512	4.933	0.452	0.458	53	I Iodine	28.612	32.294	3.938	4.221	84	Po Polonium	79.291	89.803	11.131	13.446	2.499	2.614
23	V Vanadium	4.953	5.428	0.510	0.518	54	Xe Xenon	29.775	33.620	4.110	4.418	85	At Astatine	81.516	92.304	11.427	13.876	2.577	2.699
24	Cr Chromium	5.415	5.947	0.572	0.582	55	Cs Cesium	30.973	34.982	4.285	4.619	86	Rn Radon	83.785	94.866	11.727	14.315	2.654	2.784
25	Mn Manganese	5.900	6.492	0.637	0.648	56	Ba Barium	32.194	36.378	4.466	4.828	87	Fr Francium	86.106	97.474	12.031	14.771	2.732	2.868
26	Fe Iron	6.405	7.059	0.705	0.718	57	La Lanthanum	33.442	37.797	4.647	5.038	88	Ra Radium	88.478	100.130	12.339	15.236	2.806	2.949
27	Co Cobalt	6.931	7.649	0.775	0.790	58	Ce Cerium	34.720	39.256	4.839	5.262	89	Ac Actinium	90.884	102.846	12.652	15.713	2.900	3.051
28	Ni Nickel	7.480	8.267	0.849	0.866	59	Pr Praseodymium	36.027	40.749	5.035	5.492	90	Th Thorium	93.351	105.605	12.968	16.202	2.996	3.149
29	Cu Copper	8.046	8.904	0.928	0.947	60	Nd Neodymium	37.361	42.272	5.228	5.719	91	Pa Protactinium	95.868	108.427	13.291	16.703	3.082	3.240
30	Zn Zinc	8.637	9.570	1.012	1.035	61	Pm Promethium	38.725	43.827	5.432	5.961	92	U Uranium	98.440	111.303	13.614	17.220	3.171	3.336
31	Ga Gallium	9.251	10.267	1.098	1.125	62	Sm Samarium	40.118	45.414	5.633	6.201	93	Np Neptunium	101.059	114.234	13.946	17.751	3.250	3.435
32	Ge Germanium	9.886	10.982	1.188	1.218	63	Eu Europium	41.542	47.038	5.849	6.458	94	Pu Plutonium	103.734	117.228	14.282	18.296	3.339	3.534
33	As Arsenic	10.543	11.726	1.282	1.317	64	Gd Gadolinium	42.996	48.695	6.053	6.708	95	Am Americium	106.472	120.284	14.620	18.856	3.438	3.646

● www.bruker.com/hhxf

Americas / Asia / Rest of World

Kennewick, WA · USA
Tel. +1 (509) 783-9850
sales.hmp@bruker.com

Europe / Middle East / Africa

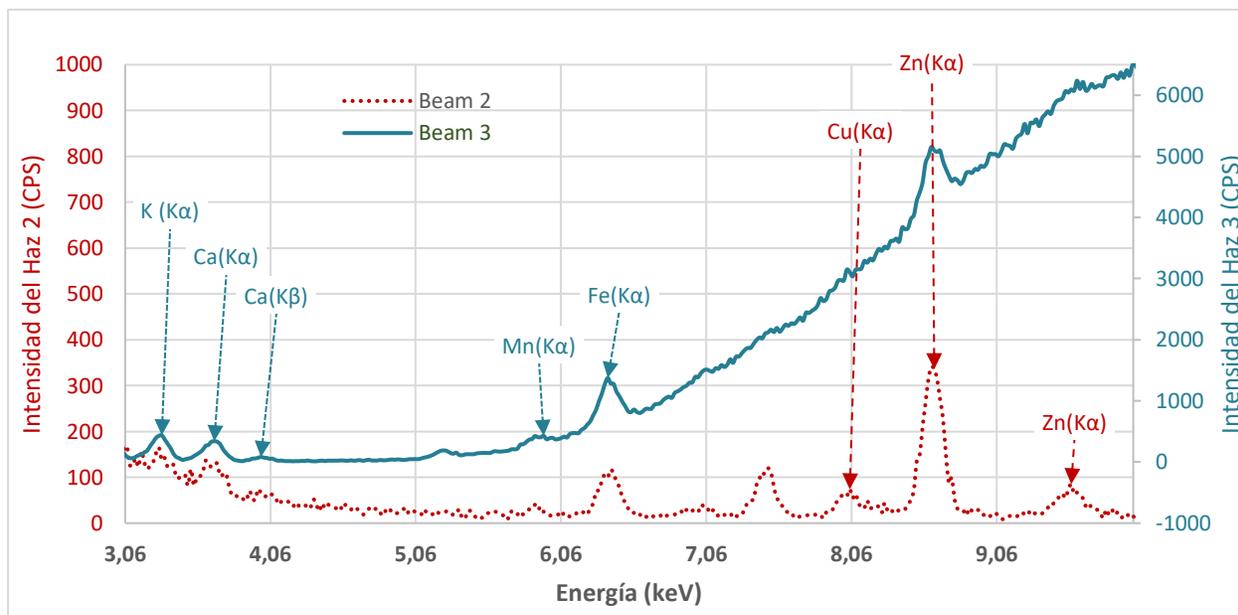
Berlin · Germany
Tel. +49 30 670990-11
sales.hmp@bruker.com

Fuente: extraído de (Periodic_Table_and_X-ray_Energies.pdf, s. f.-b)

ANEXO M

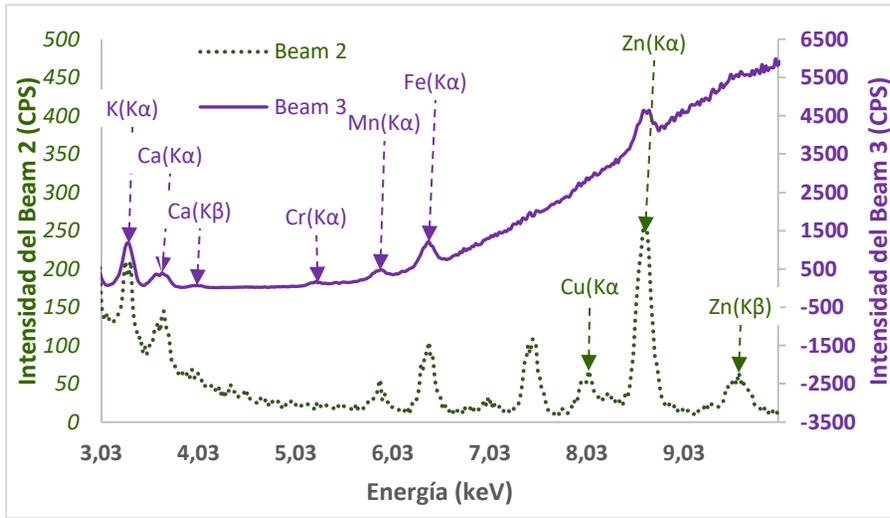
Espectros de la quinua de Paruro, Anta y Cusco, lavada y sin lavar, en polvo y grano con códigos, PA06LP, AN00LP, AN06LP, CU00LP, CU06LP, PA00LG, PA06LG, AN00LG, AN06LG, CU00LG, CU06LG.

a) Espectro de PA06LP

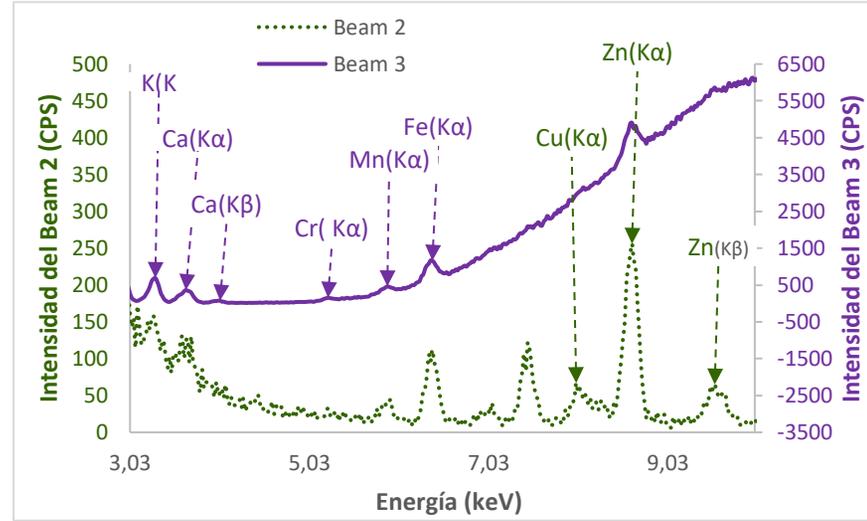


Fuente: Elaboración propia

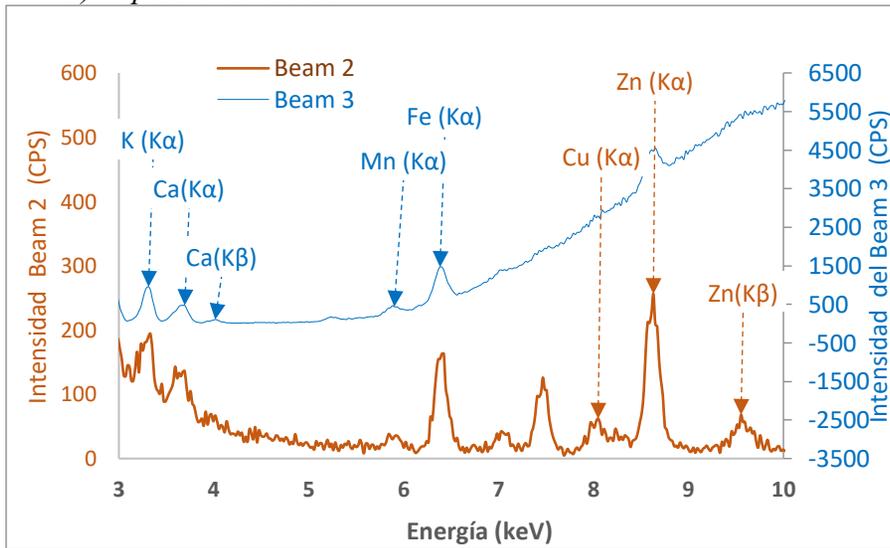
b) Espectro de AN00LP



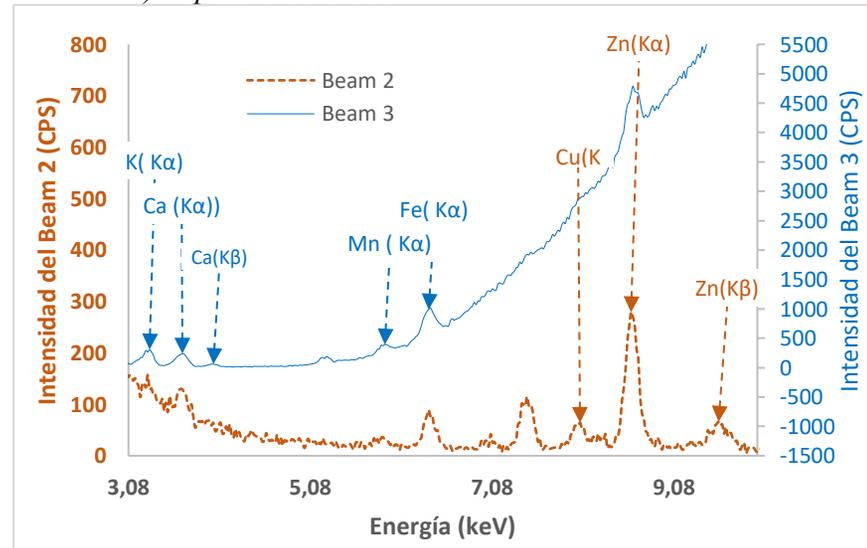
c) Espectro de AN06LP



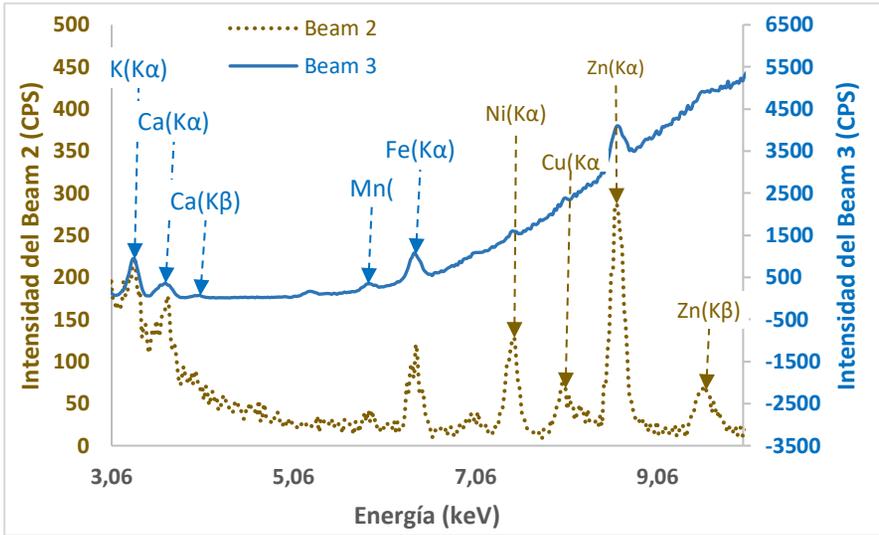
d) Espectro de CU00LP



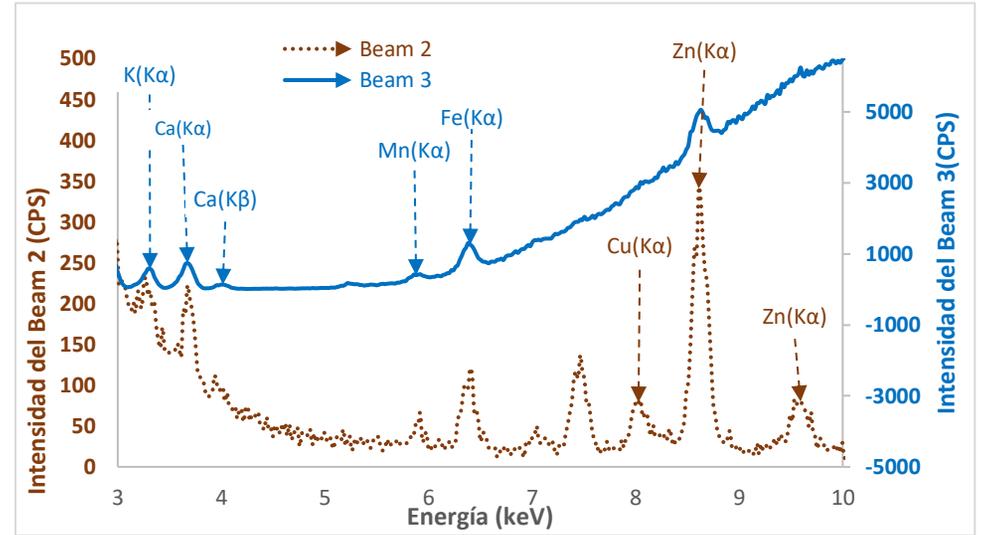
e) Espectro de CU06LP



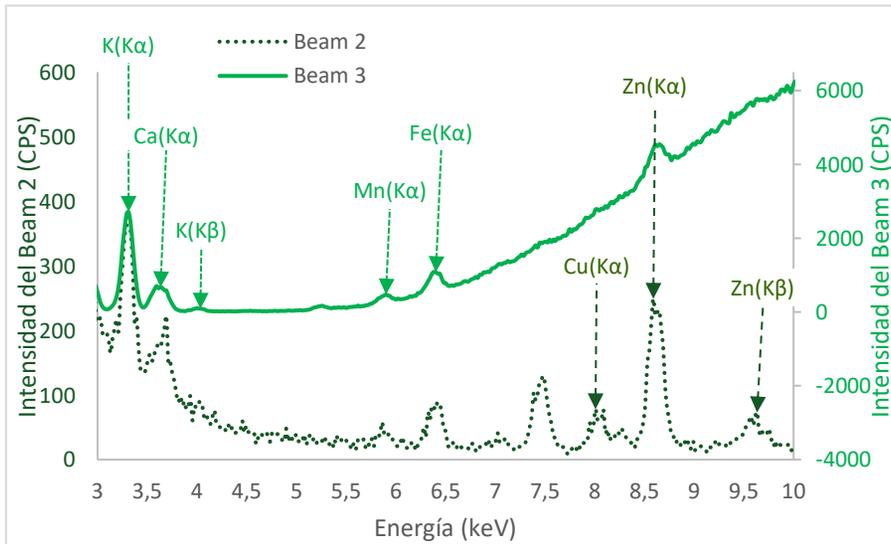
f) Espectro de PA00LG



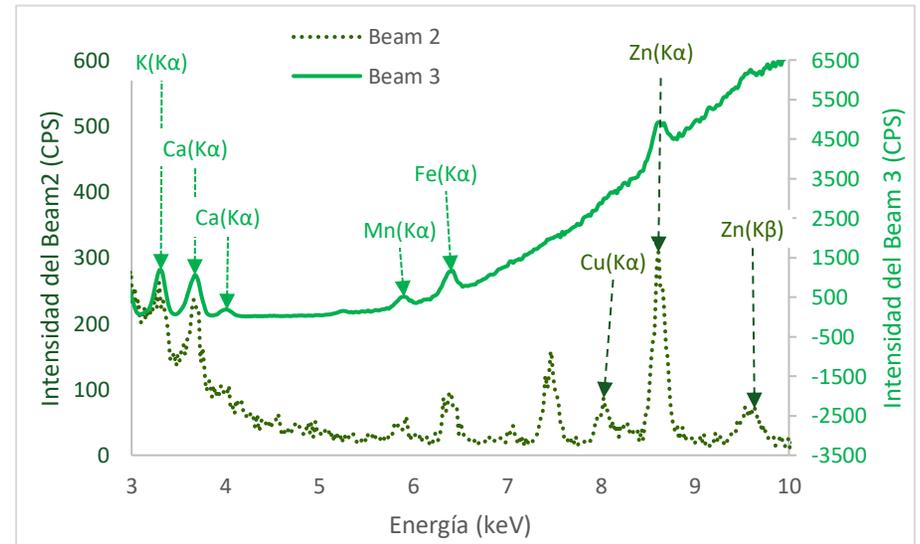
g) Espectro de PA06LG



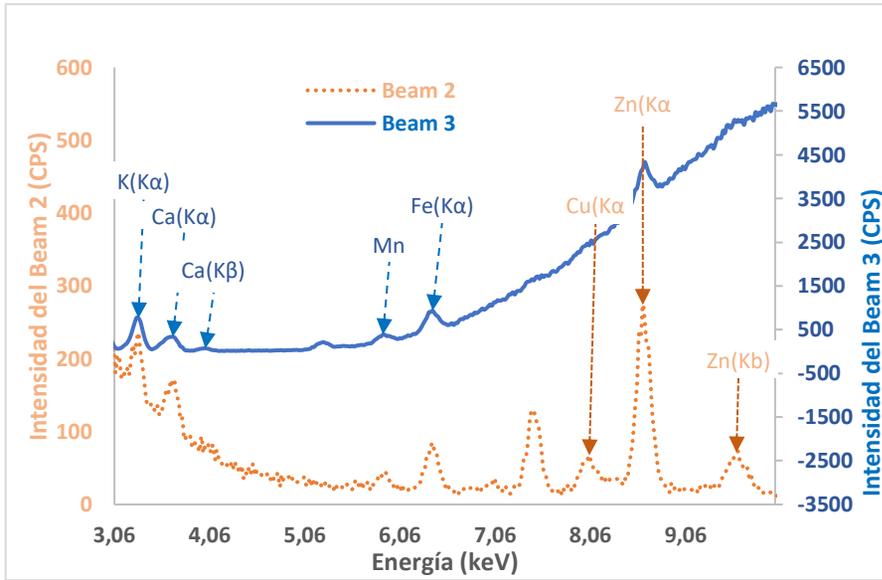
h) Espectro de AN00LG



i) Espectro de AN06LG

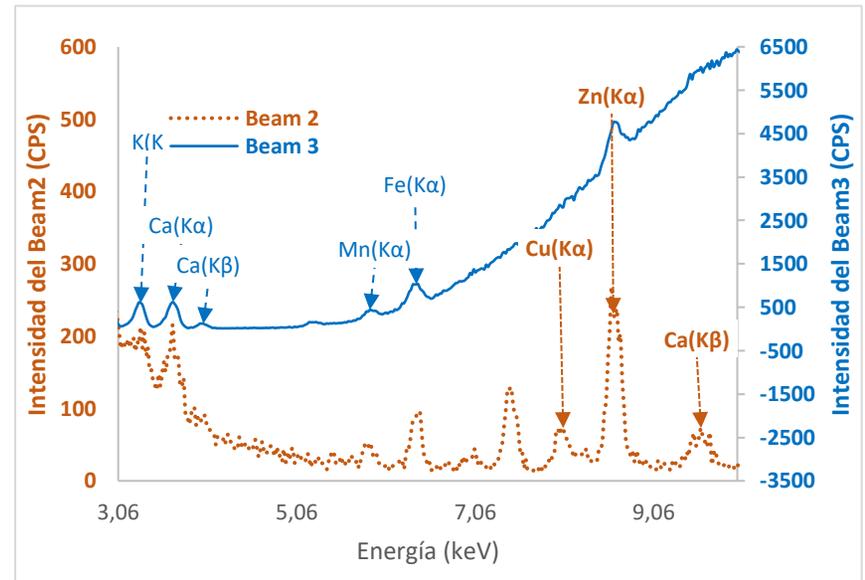


j) Espectro de CU00LG



Fuente : Todo los espectros son elaboración propia

i) Espectro de CU06LG



ANEXO N

Datos de LIBS de la Quinua Amarilla Lavada en Pastilla de la Provincia de Anta

n°	λ (nm)	I1(cps)	I2(cps)	I3(cps)	I4(cps)	I5(cps)	Suma(cps)
1	181,024	-340	-103	-205	-335	-253	-1236
2	181,068	-106	-26	-335	-138	-81	-686
3	181,112	-135	-53	157	-169	16	-184
4	181,155	-234	-269	-209	-71	-117	-900
5	181,199	61	10	-199	-206	-223	-557
6	181,243	5	-86	176	121	140	356
7	181,286	232	27	143	226	-84	544
8	181,33	186	-45	186	264	288	879
9	181,374	-31	125	-38	-86	-19	-49
10	181,417	106	-78	-68	-78	-86	-204
11	181,461	73	217	126	-77	-198	141
12	181,504	-203	-128	110	-16	69	-168
13	181,548	88	237	-49	-139	-123	14
14	181,592	-90	-25	239	-33	218	309
15	181,635	-390	-229	-263	-162	-238	-1282
16	181,679	-196	-208	31	-125	-86	-584
17	181,722	-456	-195	30	-180	-252	-1053
18	181,766	-385	-132	-149	-104	-261	-1031
19	181,81	66	85	38	2	-12	179
20	181,853	101	-104	271	323	167	758
21	181,897	-111	-67	-217	-43	-32	-470
22	181,94	28	-78	-37	44	-64	-107
23	181,984	-276	25	-276	-293	-221	-1041
24	182,027	-206	-296	-120	8	-8	-622
25	182,071	-56	-164	-118	-224	-125	-687
26	182,114	-36	-20	55	73	134	206
27	182,158	269	183	83	138	120	793
28	182,202	-24	-209	-142	81	-310	-604
29	182,245	170	155	145	-163	-59	248
30	182,289	33	5	-138	175	95	170
31	182,332	-26	216	27	-21	1	197
32	182,376	-254	-365	-258	-153	-168	-1198
33	182,419	-203	-105	-223	-311	-188	-1030
34	182,463	-76	-121	-205	-209	-66	-677
35	182,506	-56	-150	-10	-267	-79	-562
36	182,55	-227	6	32	173	162	146
37	182,593	235	120	130	196	251	932
38	182,637	-272	-459	-99	-55	1	-884
39	182,68	-98	167	48	157	-162	112

40	182,723	103	83	121	253	269	829
41	182,767	-100	70	102	33	-142	-37
42	182,81	191	89	-96	80	-119	145
43	182,854	-128	-62	103	-85	-61	-233
44	182,897	-158	-259	18	-25	-236	-660
45	182,941	-123	-2	102	-490	-354	-867
46	182,984	-45	91	-32	306	-58	262
47	183,028	-24	-19	-62	-198	43	-260
48	183,071	-212	-161	-278	-49	3	-697
49	183,114	-11	-100	-120	-142	84	-289
50	183,158	90	-179	-13	-126	139	-89
51	183,201	-110	-94	-297	-152	105	-548
52	183,245	-206	112	-86	-44	-175	-399
53	183,288	-242	-234	-36	-242	-225	-979
54	183,331	88	-92	-8	33	-165	-144
55	183,375	282	167	94	126	107	776
56	183,418	130	43	193	319	109	794
57	183,462	-190	-164	-275	28	-19	-620
58	183,505	0	61	270	23	178	532
59	183,548	-127	100	-104	119	-117	-129
60	183,592	-2	-103	90	273	26	284
61	183,635	-27	-168	-267	-228	-218	-908
62	183,678	56	127	-48	106	24	265
63	183,722	-70	-270	-558	-216	-127	-1241
64	183,765	-411	-66	-89	-280	-277	-1123
65	183,808	-219	14	-147	-304	-412	-1068
66	183,852	-108	211	153	345	184	785
67	183,895	64	-132	-221	-34	-51	-374
68	183,938	-87	143	-56	166	51	217
69	183,982	318	225	-23	-51	-363	106
70	184,025	89	145	49	58	97	438
71	184,068	264	48	265	118	238	933
72	184,112	-66	78	-70	-37	36	-59
73	184,155	-174	42	-156	-87	-142	-517
74	184,198	-409	-272	-359	61	-135	-1114
75	184,241	4	28	-82	-182	46	-186
76	184,285	-72	-78	0	-10	16	-144
77	184,328	-106	-46	133	54	128	163
78	184,371	-30	-213	2	306	74	139
79	184,414	-244	-87	-170	45	-268	-724
80	184,458	-130	-234	-205	-120	-191	-880
81	184,501	-29	-44	-200	-116	-118	-507
82	184,544	-90	-175	88	50	-139	-266

83	184,587	-133	-148	-196	-183	-100	-760
84	184,631	205	99	-163	142	-75	208
85	184,674	-322	16	-189	-233	-173	-901
86	184,717	48	-104	-171	-43	33	-237
87	184,76	-251	-42	-182	-428	-184	-1087
88	184,803	-176	-287	-176	-52	-143	-834
89	184,847	81	-141	87	-134	-158	-265
90	184,89	-38	-27	132	157	295	519
91	184,933	146	161	73	-122	77	335
92	184,976	-171	-355	37	-133	-272	-894
93	185,019	127	4	28	-290	101	-30
94	185,063	-314	-141	-100	55	-235	-735
95	185,106	-109	-2	-188	-23	77	-245
96	185,149	355	508	337	366	335	1901
97	185,192	200	227	91	-107	146	557
98	185,235	-62	270	5	30	-78	165
99	185,278	-251	-409	-239	-331	-301	-1531
100	185,321	334	175	155	339	242	1245

Nota: 100 datos de LIBS, en vista de que son 15000 datos

Fuente: Elaboración propia