



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN CIENCIAS MENCION FÍSICA

TESIS

**ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA KIWICHA DE
PARURO, PAUCARTAMBO Y KAYRA COMERCIALIZADA EN CUSCO
Y MEDIDA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)**

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

AUTOR

Br. GLADIS VERA SINGUÑA

ASESOR:

Dr. MARCO ANTONIO ZAMALLOA

Código orcid: 0000-0002-7216-4659

CO ASESOR:

Dra. CELINA LUIZAR OBREGON

Código orcid: 0000-0001-9340-9478

CUSCO – PERU

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Marco Antonio Zamalloa Jara.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: Análisis de la composición mine-
ral de la Kivicha de Paruro, Paucartambo y Kayra
comercializada en Cusco y medida por fluorescen-
cia de rayos X (FRX).....

Presentado por: Gladis Vera Sanguña..... DNI N° 23954325 ;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Maestro en Ciencias
Mención Física.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de Octubre..... de 2025.....

Firma

Post firma Marco Antonio Zamalloa Jara

Nro. de DNI 06445847

ORCID del Asesor 0000 0002 7216 4659

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:513234182

GLADIS VERA SINGUÑA

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA KIWICHA DE PARURO, PAUCARTAMBO Y KAYRA COMERCIALIZADA EN ...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:513234182

132 páginas

Fecha de entrega

15 oct 2025, 11:43 a.m. GMT-5

27.555 palabras

Fecha de descarga

15 oct 2025, 11:48 a.m. GMT-5

145.554 caracteres

Nombre del archivo

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA KIWICHA DE PARURO, PAUCARTAMBO Y KAYRA C....pdf

Tamaño del archivo

4.3 MB

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
3276 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dr. TITO LIVIO PAREDES GORDON, Director (e) de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA KIWICHA DE PARURO, PAUCARTAMBO Y KAYRA COMERCIALIZADA EN CUSCO Y MEDIDA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)** de la Br. Br. GLADIS VERA SINGUÑA. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **DIECIOCHO DE SETIEMBRE DE 2025**.

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, 10 Octubre del 2025


DR. EDILBERTO ATAU ENRIQUEZ
Primer Replicante


DR. SANTIAGO SONCCO TUMPI
Segundo Replicante


MGT. ESTELA HUAMAN MORALES
Primer Dictaminante


MGT. VENANCIA CCOLLATUPA BALLON
Segundo Dictaminante

DEDICATORIA

A mis padres Belén, Rodolfo y hermanos, por su motivación y apoyo incondicional.

A mi familia: Jorge, Yerans, Gresian y Graham, por el apoyo permanente día a día en nuestro hogar. Gracias por el humor, la paciencia, coordinación y pre disposición para seguir avanzando.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud y la oportunidad de seguir evolucionando por un mundo mejor.

A los Dres. Marco Zamalloa Jara y Celina Luizar Obregon por su apoyo, orientación y asesoría.

A todos y cada uno de los miembros del DAF, por su aporte personal y académico en nuestra interacción en la Facultad.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice general	iv
Índice de cuadros.....	ix
Índice de figuras.....	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	2
1.1 Situación Problemática	2
1.2 Formulación del Problema.....	4
a. Problema general.....	4
b. Problemas específicos.....	4
1.3 Justificación de la Investigación	4
1.4 Objetivos de la Investigación.....	5
a. Objetivo general.....	5
b. Objetivos específicos.....	5
Capítulo II: Marco Teórico Conceptual	6
2.1 Bases Teóricas	6
2.1.1 Radiación electromagnética	6
2.1.2 Interacción de la Radiación con la Materia	7
2.1.2.1 Efecto Fotoeléctrico	7
2.1.2.2 El Efecto Compton.....	8
2.1.3 Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (FRX)	9
2.1.3.1 Fundamentos básicos	9

2.1.3.2 Producción de radiación fluorescente característica	10
2.1.3.3 Proceso de fluorescencia	12
2.1.3.4 Descripción de los espectros fluorescentes	13
2.1.4 Espectrómetro FRX	14
2.2 Marco Conceptual	15
2.2.1 Amaranthus	15
2.2.2 Amaranthus Caudatus (kiwicha)	16
2.2.3 Clasificación taxonómica	17
2.2.4 Minerales	17
2.2.4.1 Calcio	19
2.2.4.2 Fósforo	19
2.2.4.3 Hierro	19
2.2.4.4 Composición mineral de la kiwicha	20
2.3 Antecedentes Empíricos de la Investigación (estado del arte)	22
2.4 Hipótesis	24
a. Hipótesis general	24
b. Hipótesis específicas	25
2.5 Identificación de Variables e Indicadores	25
2.6 Operacionalización de Variables	25
Capítulo III: Metodología	26
3.1 Ámbito de Estudio: Localización Política y Geográfica	26
3.2 Tipo y Nivel de Investigación	26
3.3 Unidad de Análisis	26
3.4 Esquema del Diseño de la Investigación	27
3.5 Población y Tamaño de Muestra	28
3.6 Técnicas de Selección de Muestra	28

3.7 Técnica de Preparación de la Muestra	28
3.8 Codificación de las Muestras.....	29
3.9 Técnicas de Recolección de Información	30
3.9.1 Técnica de Espectroscopía FRX.....	30
3.9.2 Especificaciones técnicas del espectrómetro	32
3.9.3 Archivos entregados por el espectrómetro: Data Export, SPM Export	33
3.10 Procesamiento de Datos	35
3.11 Técnica de Análisis e Interpretación de la Información	37
3.12 Mediciones Realizadas.....	44
3.13 Adaptación de Container para Solución de la Contaminación de Hierro	45
3.14 Técnica para Demostrar la Verdad o Falsedad de la Hipótesis Planteada.....	47
Capitulo IV. Resultados y Discusión	48
4.1 Procesamiento, Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados.....	48
4.1.1 Análisis de mediciones con contaminación de hierro	48
4.1.1.1 Análisis de Paru1–K1(Test1–B1)	48
4.1.1.2 Análisis de Paru1–K1 (Test1–B2)	50
4.1.1.3 Análisis de Paru–K1 (Test1–B3)	51
4.1.1.4 Análisis de Paru1–K1 (Test2–B1)	53
4.1.1.5 Análisis de Paru1–K1 (Test2–B2)	54
4.1.1.6 Análisis de Paru1–K1 (Test2–B3)	56
4.1.1.7 Análisis de Pauc1–K1 (Test1–B1)	57
4.1.1.8 Análisis de Pauc1–K1 (Test1–B2)	59
4.1.1.9 Análisis de Pauc1–K1 (Test1–B3)	61
4.1.1.10 Análisis de Pauc1–K1 (Test2–B1)	62
4.1.1.11 Análisis de Pauc1–K1 (Test2–B2)	64
4.1.1.12 Análisis de Pauc1–K1 (Test2–B3)	65

4.1.1.13	Análisis de 257C–K1 (Test1–B1)	67
4.1.1.14	Análisis de 257C–K1 (Test1 – B2)	69
4.1.1.15	Análisis de 257C–K1 (Test1–B3)	70
4.1.1.16	Análisis 257C–K1 (Test2 – B1)	72
4.1.1.17	Análisis de 257C–K1 (Test2 – B2)	74
4.1.1.18	Análisis de 257C–K1 (Test2–B3)	75
4.1.2	Análisis de mediciones sin contaminación de hierro	76
4.1.2.1	Análisis de C5 PARU (Test1 – B1)	77
4.1.2.2	Análisis de C5 PARU (Test1–B2).....	78
4.1.2.3	Análisis de C5 PARU (Test1–B3).....	79
4.1.2.4	Análisis de C5 PARU (Test2–B1).....	81
4.1.2.5	Análisis de C5 PARU (Test2–B2).....	82
4.1.2.6	Análisis de C5 PARU (Test2–B3).....	83
4.1.2.7	Análisis de C5 PAUCAR (Test1–B1)	84
4.1.2.8	Análisis de C5 PAUCAR (Test1–B2)	85
4.1.2.9	Análisis de C5 PAUCAR (Test1–B3)	86
4.1.2.10	Análisis de C5 PAUCAR (Test2–B1)	87
4.1.2.11	Análisis de C5 PAUCAR (Test2–B2)	88
4.1.2.12	Análisis de C5 PAUCAR (Test2 – B3)	89
4.1.2.13	Análisis de C5 257C (Test1–B1).....	90
4.1.2.14	Análisis de C5 257C (Test1–B2).....	91
4.1.2.15	Análisis de C5 257C (Test1–B3).....	92
4.1.2.16	Análisis de C5 257C (Test2–B1).....	93
4.1.2.17	Análisis de C5 257C (Test2–B2).....	94
4.1.2.18	Análisis de C5 257C (Test2–B3).....	95
4.2	Presentación de Resultados.....	96

4.2.1 Composición de la kiwicha mediante análisis de Export SPM	96
4.2.1.1 Resultados del Beam 1	96
4.2.1.2 Resultados del Beam 2	97
4.2.1.3 Resultados del Beam 3	98
4.2.2 Composición de la kiwicha mediante análisis del Export Data	99
4.2.2.1 Composición de la muestra de kiwicha.....	99
4.2.2.2 Composición mineral de la kiwicha	101
4.2.3 Composición de la kiwicha comparada con investigaciones extranjeras.	103
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
5.1 Conclusiones	105
5.2 Recomendaciones	106
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	109
ANEXO 1: Matriz de consistencia	109
ANEXO 2: Características del instrumento de recolección de información	110
ANEXO 3: Otros.....	111

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1 <i>Clasificación Botánica del Amarantho Cultivado</i>	17
Tabla 2 <i>Contenido mineral de tres tipos de grano seco de kiwicha</i>	20
Tabla 3 <i>Composición química de kiwicha en 100 g de porción comestible en base seca</i>	21
Tabla 4 <i>Referencia de ingesta dietética 2002-2005</i>	21
Tabla 5 <i>Semilla cruda de Amarantho y su valor nutritivo comparado con cereales crudos</i>	22
Tabla 6 <i>Operacionalización de variables de la investigación</i>	25
Tabla 7 <i>Codificación asignada a las muestras</i>	29
Tabla 8 <i>Características del modo de operación del espectrómetro</i>	30
Tabla 9 <i>Especificaciones del espectrómetro</i>	32
Tabla 10 <i>Formato de tabla de registro</i>	42
Tabla 11 <i>Elementos identificados en PARU1-K1 (Test1-B1)</i>	49
Tabla 12 <i>Elementos identificados en PARU1-K1 (Test1-B2)</i>	50
Tabla 13 <i>Elementos identificados en PARU1-K1 (Test1-B3)</i>	52
Tabla 14 <i>Elementos identificados en Paru1-K1(Test 2-B1)</i>	53
Tabla 15 <i>Elementos identificados en PARU1-K1 (Test2-B2)</i>	55
Tabla 16 <i>Elementos identificados en PARU1-K1 (Test2-B3)</i>	56
Tabla 17 <i>Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test1-B1)</i>	58
Tabla 18 <i>Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test1-B2)</i>	60
Tabla 19 <i>Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test1-B3)</i>	61
Tabla 20 <i>Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test2-B1)</i>	63
Tabla 21 <i>Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test2-B2)</i>	64
Tabla 22 <i>Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test2-B3)</i>	66
Tabla 23 <i>Elementos identificados en 257C-K1 (Test1-B1)</i>	68
Tabla 24 <i>Elementos identificados en 257C-K1 (Test1-B2)</i>	69
Tabla 25 <i>Elementos identificados en 257C-K1 (Test1-B3)</i>	71

Tabla 26 <i>Elementos identificados en 257C-K1 (Test2-B1)</i>	73
Tabla 27 <i>Elementos identificados en 257C-K1 (Test2-B2)</i>	74
Tabla 28 <i>Elementos identificados en 257C-K1 (Test2-B3)</i>	76
Tabla 29 <i>Elementos identificados en C5 PARU (Test1-B1)</i>	77
Tabla 30 <i>Elementos identificados en C5 PARU (Test1-B2)</i>	79
Tabla 31 <i>Elementos identificados en C5 PARU (Test1-B3)</i>	80
Tabla 32 <i>Elementos identificados en C5 PARU (Test2-B1)</i>	81
Tabla 33 <i>Elementos identificados en C5 PARU (Test2-B2)</i>	82
Tabla 34 <i>Elementos identificados en C5 PARU (Test2-B3)</i>	83
Tabla 35 <i>Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test1-B1)</i>	84
Tabla 36 <i>Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test1-B2)</i>	85
Tabla 37 <i>Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test1-B3)</i>	86
Tabla 38 <i>Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test2-B1)</i>	87
Tabla 39 <i>Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test2-B2)</i>	88
Tabla 40 <i>Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test2-B3)</i>	89
Tabla 41 <i>Elementos identificados en C5 257C (Test1-B1)</i>	90
Tabla 42 <i>Elementos identificados en C5 257C (Test1-B2)</i>	91
Tabla 43 <i>Elementos identificados en C5 257C (Test1-B3)</i>	92
Tabla 44 <i>Elementos identificados en C5 257C (Test2-B1)</i>	93
Tabla 45 <i>Elementos identificados en C5 257C (Test2-B2)</i>	94
Tabla 46 <i>Elementos identificados en C5 257C (Test2-B3)</i>	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Espectro Electromagnético</i>	6
Figura 2 <i>Efecto Compton</i>	8
Figura 3 <i>Radiación Característica</i>	10
Figura 4 <i>Líneas Principales</i>	11
Figura 5 <i>Proceso de Fluorescencia</i>	12
Figura 6 <i>Espectro de Fluorescencia de Rayos X</i>	14
Figura 7 <i>Esquema de un espectrómetro</i>	15
Figura 8 <i>Vista satelital de Cusco</i>	26
Figura 9 <i>Flujo seguido en el transcurso de la investigación</i>	27
Figura 10 <i>Conexión del espectrómetro en el Laboratorio LEOnoD – UNSAAC</i>	31
Figura 11 <i>Conexión del espectro y medición</i>	31
Figura 12 <i>Pastillas elaboradas con portamuestra metálico</i>	32
Figura 13 <i>Modo de operación del espectrómetro</i>	33
Figura 14 <i>Archivo Export SPM (en formato delimitado por comas)</i>	34
Figura 15 <i>Archivo Export Data (delimitado por comas)</i>	34
Figura 16 <i>Espectro en cada beam (Intensidad (cps)- Energía)</i>	36
Figura 17 <i>Espectros de los 3 beams</i>	37
Figura 18 <i>Registro de valores significativos</i>	38
Figura 19 <i>Líneas características en el espectro</i>	39
Figura 20 <i>Formato utilizado para seguimiento de picos (un beam)</i>	41
Figura 21 <i>Seguimiento de picos (3 beams)</i>	42
Figura 22 <i>Beams que detectan los elementos que componen las muestras</i>	43
Figura 23 <i>Mediciones realizadas</i>	45
Figura 24 <i>Jeringa y partes</i>	46
Figura 25 <i>Secuencia de adaptación física</i>	47

Figura 26 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	48
Figura 27 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	50
Figura 28 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	51
Figura 29 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	53
Figura 30 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	54
Figura 31 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	56
Figura 32 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	57
Figura 33 <i>Intensidad(cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	59
Figura 34 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	61
Figura 35 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	62
Figura 36 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	64
Figura 37 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	65
Figura 38 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	67
Figura 39 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	69
Figura 40 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	70
Figura 41 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	72
Figura 42 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	74
Figura 43 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	75
Figura 44 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	77
Figura 45 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	78
Figura 46 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	79
Figura 47 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elemento</i>	81
Figura 48 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	82
Figura 49 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	83
Figura 50 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	84
Figura 51 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	85

Figura 52 <i>Intensidad(cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	86
Figura 53 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	87
Figura 54 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elemento</i>	88
Figura 55 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	89
Figura 56 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	90
Figura 57 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	91
Figura 58 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	92
Figura 59 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	93
Figura 60 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	94
Figura 61 <i>Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos</i>	95
Figura 62 <i>Resultados del Beam 1 en las tres procedencias</i>	97
Figura 63 <i>Resultados del Beam 2 en las tres procedencias</i>	97
Figura 64 <i>Resultados del Beam 3 en las tres procedencias</i>	98
Figura 65 <i>Composición elemental de kiwicha de las 3 procedencias según beams</i>	99
Figura 66 <i>Composición inicial de la muestra de kiwicha</i>	100
Figura 67 <i>Composición de la kiwicha luego de filtrar los elementos del portamuestra</i>	101
Figura 68 <i>Composición mineral de la kiwicha</i>	102
Figura 69 <i>Composición macro mineral de la kiwicha</i>	102
Figura 70 <i>Composición macro mineral de la kiwicha</i>	103
Figura 71 <i>Composición de la kiwicha comparada con investigaciones extranjeras</i>	104

RESUMEN

La kiwicha (*Amaranthus caudatus*) es un pseudocereal de alto valor nutritivo producido en Cusco y los Andes Sudamericanos. Su composición mineral ha sido poco estudiada mediante métodos espectroscópicos con la participación de la Física. Entre estas técnicas se encuentra la espectroscopía de fluorescencia de rayos X (FRX), técnica multi elemental aplicada al estudio de la composición de los alimentos. En este sentido, se planteó como objetivo de esta tesis determinar la composición mineral de la kiwicha de Paruro, Paucartambo y Kayra, comercializada en Cusco, mediante un procedimiento específico para el análisis de la base de datos obtenida con fluorescencia de rayos X (FRX). Se elaboró una porta muestra y se realizaron las mediciones en rangos de energía de 0 a 40 keV. Se obtuvieron 36 espectros cuyo procesamiento y análisis (cuentas por segundo y concentración) requirió el desarrollo de un procedimiento particular que transforma la base de conteos por canales en una base de conteos por energía; posteriormente, se graficaron los espectros e identificaron los picos en base a las energías de emisión característica de los elementos presentes. Como resultado, se confirmó la presencia de los elementos hierro, potasio, calcio, fósforo, manganeso, zinc, estroncio, cobre y níquel, determinando así la composición de la kiwicha comercializada en Cusco y obtenida mediante un procedimiento elaborado y sistemático. Estos hallazgos permiten comparar cualitativa y cuantitativamente la kiwicha de la región con otros estudios a nivel internacional, aportando información científica que sustenta su valor nutricional y favorece su consumo informado.

Palabras clave : Espectroscopía, fluorescencia de rayos X, kiwicha, minerales.

ABSTRACT

Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) is a pseudo-cereal with high nutritional value produced in Cusco and the South American Andes. Its mineral composition has been little studied using spectroscopic methods involving Physics. Among these techniques is X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), a multi-elemental technique applied to the study of food composition. In this regard, the objective of this thesis was to determine the mineral composition of kiwicha from Paruro, Paucartambo, and Kayra, sold in Cusco, using a specific procedure for analyzing the database obtained with X-ray fluorescence (XRF). A sample holder was prepared, and measurements were taken in energy ranges from 0 to 40 keV. Thirty-six spectra were obtained, whose processing and analysis (counts per second and concentration) required the development of a particular procedure that transforms the counts per channel basis into a counts per energy basis; subsequently, the spectra were plotted and the peaks were identified based on the characteristic emission energies of the present elements. As a result, the presence of iron, potassium, calcium, phosphorus, manganese, zinc, strontium, copper, and nickel was confirmed, thus determining the composition of the kiwicha marketed in Cusco and obtained through a detailed and systematic procedure. These findings allow a qualitative and quantitative comparison of kiwicha from the region with other studies at an international level, providing scientific information that supports its nutritional value and promotes informed consumption.

Keywords: Spectroscopy, X-rays fluorescence, Kiwicha, minerals

INTRODUCCIÓN

El estudio se inicia con la adquisición de la kiwicha comercializada en Cusco y el tratamiento reiterado de la muestra como unidad de trabajo, donde se aplica la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos X con el objetivo de determinar la composición mineral de la kiwicha a partir de la medición de sus emisiones y el posterior análisis con una metodología específica adaptada para este estudio. Es así que se enfoca la investigación en la estimulación previa de los átomos de la muestra mediante rayos X producto de lo cual las partículas subatómicas emiten radiación característica de cada elemento; siendo necesario su registro para continuar con una etapa de procesamiento y análisis de datos para determinar los valores picos representativos y su ubicación en la emisión de fluorescencia. Este proceso de investigación es estructurado en cinco capítulos de la siguiente forma:

Capítulo I: Se presenta la formulación del problema, su justificación de estudio y las actividades específicas asumidas para llegar al objetivo

Capítulo II: Resume las teorías y conceptos utilizados en la investigación, además establece las hipótesis y variables.

Capítulo III: Presenta la metodología utilizada y sus características, las técnicas de recolección de información, las mediciones realizadas y las técnicas de procesamiento y análisis

Capítulo IV: Resume los resultados finales, su interpretación y discusión

Capítulo V: Se resumen las conclusiones del estudio y las recomendaciones sobre el uso de la técnica y procedimiento.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

En Cusco los productores y consumidores de kiwicha (*Amaranthus Caudatus*) están interesados en el incremento de su producción y no necesariamente en el valor nutricional. Esta investigación nos permite determinar la composición mineral – nutricional de la kiwicha comercializada localmente, utilizando metodos físicos (interacción de la radiación con la materia), como es la espectroscopía de fluorescencia de rayos X.

La kiwicha ha sido estudiada de manera general en diferentes zonas, con diferentes resultados de composición y valor nutricional como se indica a continuación.

Según Tapia y Fries (2007)

“Los granos andinos son superiores al arroz en calcio, fósforo y hierro. Se destacan otros minerales, como el magnesio, cobre y zinc y micro elementos para el buen funcionamiento del organismo humano. Además, la kiwicha es rica en calcio”

Según Ligarda y otros (2021):

Los granos andinos son plantas con gran diversidad a nivel genético; aunque actualmente muy pocas variedades son utilizadas para su procesamiento, fomentar el estudio de los cultivos andinos es una tarea que debe emprenderse como una forma de lograr el desarrollo tecnológico del país. Los granos andinos pertenecen al Perú y otros países de sudamérica, se adaptan bien a las condiciones de los andes: altura, clima, suelo y presentan una gran variabilidad en cuanto a tamaño, forma y colores de planta y grano.

Según Aliel Kachiguma, Mwase, Maliro y Damalipephetsa (2015):

El análisis químico y composición mineral de veinte accesiones de grano y hoja de *Amarantho* (*Amaranthus L.*) recolectados en diferentes zonas agroecológicas de Malawi Central se llevaron a cabo de acuerdo con los estándares de los análisis en mg/100 gramos en base a peso seco indicaron que el grano tenía calcio (78,3 a 1004,6), hierro (3,61 a 22,51), magnesio (44,31 a 97,38), potasio (267,8 a 473,6) y zinc (0,53 a 1,20).

Se puede asegurar una dieta saludable y balanceada mediante el consumo de frutas y vegetales como una fuente de vitaminas y minerales que complementan el alimento básico. Además, se protege la salud humana y reduce el riesgo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades crónicas mediante la alimentación de frutas y vegetales (Sarker, Oba, & Daramy, 2020).

Según INIA (2011) :

La kiwicha (*Amaranthus* sp), es cultivada en América, África y Asia. Las áreas de producción en América del Sur se concentran en los valles interandinos del Perú, Bolivia y el norte de Argentina. En la región andina del Perú es conocido como: kiwicha en Cusco, achita en Ayacucho, achis en Ancash, coyo en Cajamarca y qamaya en Arequipa. En Bolivia le denominan coimi; millmi en Argentina y un amaranto de color oscuro se llama sangoracha en Ecuador.

Bressani afirma que, la kiwicha era el grano sagrado de los aztecas y mayas. Los españoles prohibieron su cultivo por sus efectos afrodisíacos y por ser un grano sagrado. En realidad, no es un cereal auténtico, aunque por su forma y cocinado se considera como tal. Tiene un alto porcentaje de proteínas(16g) de alto valor biológico (es rico en lisina y metionina), con la ventaja de que son proteínas más fáciles de asimilar que los animales (el organismo asimila el 74% de estas frente al 60% de la carne). Es un grano muy rico en grasas vegetales como el ácido oleico y linoleico. Aporta vitamina C, B2, ácido pantoténico y minerales como el hierro, fósforo, magnesio, zinc y manganeso (Bressani & Mertz, 1993).

La mayoría de estudios relacionados a los recursos andinos provienen de investigadores extranjeros, por ello es necesario generar y participar en trabajos de investigación que contribuyan a determinar el valor de nuestros productos naturales en la región, además de crear conocimiento científico y aporte a la riqueza cultural de nuestra nación.

Los métodos más utilizados para el estudio de alimentos son técnicas que requieren preparación de muestras y tratamientos químicos especiales, para obtener muestras sólidas o líquidas. En la facultad de Ciencias de la carrera profesional de Física de la UNSAAC se cuenta con un espectrometro FRX , el cual permite obtener el espectro de diferentes tipos de materiales.

Considerando la situación problemática descrita, este trabajo de tesis tiene como propósito el análisis de la composición mineral de la kiwicha consumida en Paruro, Paucartambo y Kayra, y medida mediante la técnica de espectroscopía FRX.

1.2 Formulación del Problema

a. Problema general

¿Es posible realizar un análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha, producida en Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco, mediante un tratamiento de la base de datos obtenida con fluorescencia de rayos X (FRX)?

b. Problemas específicos

PE1: ¿Qué procedimiento debe seguirse para obtener los espectros FRX y determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, a partir de la base de mediciones?

PE2: ¿Cuál es el resultado del análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, sus coincidencias y diferencias?

1.3 Justificación de la Investigación

Para la justificación del trabajo se ha considerado los criterios de la metodología en trabajos de investigación experimentales:

Por su conveniencia:

Es conveniente porque se confirmaría los minerales de la kiwicha (*Amaranthus Caudatus*) en la región, siendo posible su comparación con los obtenidos por otros métodos, en otras zonas y determinando las semejanzas y diferencias.

Por su relevancia social:

La validación de los minerales de la kiwicha en la región permite dimensionar el valor nutricional de este producto andino en favor de la salud de la población.

La comunidad beneficiada con este trabajo de investigación son los productores y consumidores del país incluso el extranjero mediante la exportación.

Implicaciones prácticas:

Se confirmaría el nivel de eficiencia de medición de este tipo de productos andinos mediante la espectroscopía de rayos X (FRX).

Utilidad metodológica:

Según los resultados se puede determinar la relevancia del método de análisis propuesto para este tipo de estudio, apartir de la base de mediciones espectrométricas.

1.4 Objetivos de la Investigación**a. Objetivo general**

Realizar el análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco, mediante un procedimiento para el tratamiento de los datos obtenidos con fluorescencia de rayos X (FRX) y considerando sus picos de conteo, sus energías, el error relativo porcentual y la probabilidad de transición.

b. Objetivos específicos.

OE1: Desarrollar un procedimiento para obtener los espectros FRX y determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, a partir de la base de datos, identificando sus picos de conteo y energías asociadas.

OE. 2 Realizar un análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, tomando en cuenta el error porcentual respecto al teórico y la probabilidad de cada transición electrónica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Radiación electromagnética

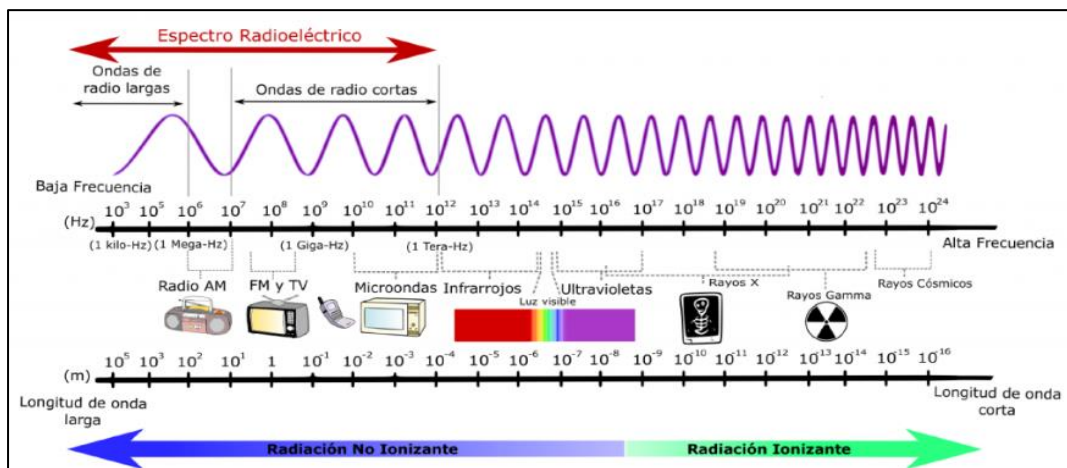
La energía de un campo electromagnético estático es invariable en el tiempo; es decir se mantiene sin cambio; sin embargo, en el caso de dependencia del tiempo, esta energía dependerá a la vez del espacio. La variación de un campo electromagnético en el tiempo origina ondas electromagnéticas que se trasladan con velocidad c (velocidad de la luz en el vacío).

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.1)$$

Se puede expresar que la onda contiene la energía del campo electromagnético. La traslación de energía por parte de una onda electromagnética es llamada a veces radiación electromagnética (Alonso & Finn, 1986, pág. 5). El ordenamiento de los tipos de radiación electromagnética en base a su frecuencia es llamado espectro electromagnético, según se muestra en la fig. 1.

Figura 1

Espectro Electromagnético



Nota. Espectro electromagnético mostrando el tipo de longitud de onda, frecuencia y sus aplicaciones tecnológicas. (<https://pantoniamontes.blogspot.com/2018/02/espectro-electromagnetico.html>)

2.1.2 Interacción de la Radiación con la Materia

2.1.2.1 Efecto Fotoeléctrico

Según Alonso y Finn (1986, pág. 13).

Los metales tienen electrones que se mueven con libertad parcial mediante la red cristalina. A temperaturas ambientales estos electrones no se liberan del metal debido a que no cuentan con energía suficiente para superar la energía potencial en la superficie del metal. Una manera de aumentar la energía de estos electrones es calentar el metal, otra forma de liberar a los electrones del metal es primero tratar que éstos absorban la energía de lo radiado (onda electromagnética). Tomemos ϕ como la energía que se requiere para que el electrón pueda escapar de la superficie de un metal. Después, en caso el electrón pueda absorber una energía E , la diferencia $E - \phi$ será la energía cinética del electrón que se libera, y puede escribirse entonces: $E_k = E - \phi$. A partir de esta ecuación deducimos que si E es menor que ϕ entonces no habrá emisión electrónica.

En el año 1905, el físico Albert Einstein publicó una explicación alternativa para la emisión fotoeléctrica y su dependencia de una característica de la radiación, la frecuencia. Einstein afirmó como propuesta que los electrones libres interactúan con la radiación electromagnética y actuarán de la manera indicada por Planck en la teoría de radiación del cuerpo negro y para los osciladores atómicos. Luego según la ecuación $E = h\nu$, la energía E que en un solo proceso un electrón absorbe de una radiación electromagnética con frecuencia ν es:

$$E_{k,\max} = h\nu - \phi_0 \quad (2.2)$$

Según esta ecuación vemos que para una frecuencia ν_0 es tal que

$$h\nu_0 - \phi_0 = 0 \quad (2.3)$$

es decir: $\nu_0 = \phi_0/h$, para este caso la energía cinética máxima del electrón es cero.

Por lo tanto, ν_0 es la frecuencia mínima para el cual empezará esta emisión.

2.1.2.2 El Efecto Compton

En el análisis de la radiación electromagnética que ha pasado por una región con electrones libres, vemos que, además de la incidencia de la radiación, existe otra frecuencia de diferente valor. Esta segunda radiación ocurre por la dispersión debido a los electrones libres.

La radiación incidente tiene una mayor frecuencia que la de la radiación dispersada por ello la radiación dispersada tiene mayor longitud de onda que la de la incidente. La longitud de onda de la radiación dispersada es dependiente de un parámetro importante: la dirección de dispersión. Este fenómeno de la naturaleza es denominado Efecto Compton.

Si λ es la longitud de onda de la incidente y λ' la longitud de onda de la radiación dispersada; Compton determinó que $\lambda' - \lambda$ es función sólo de la dirección de dispersión.

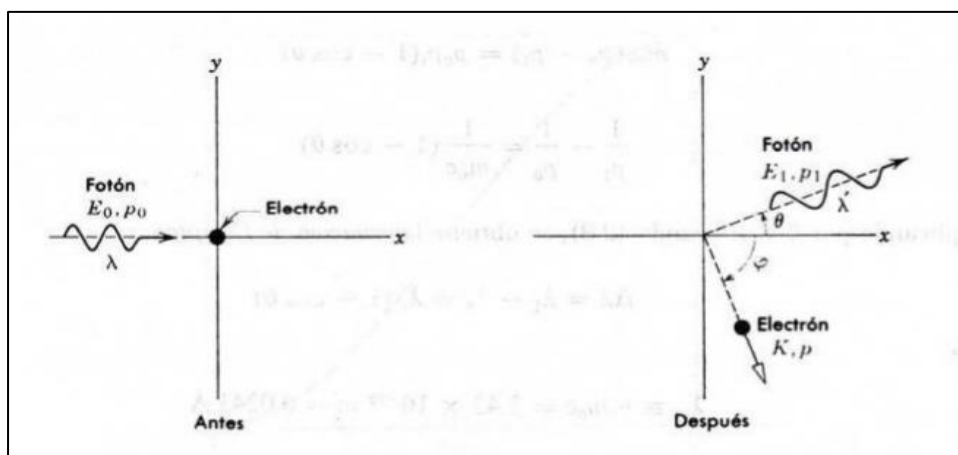
Así, si θ es el ángulo entre la dirección de las ondas incidentes y la dirección de las ondas dispersadas, la longitud de onda λ' de la radiación dispersada está establecida por la radiación experimental.

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos \theta) \quad (2.4)$$

donde λ_c es una constante cuyo valor es $\lambda_c = 2,4262 \times 10^{-12}\text{m}$ (es llamada longitud de onda Compton para electrones) (Alonso & Finn, 1986, pág. 16)

Figura 2

Efecto Compton



Nota. Colisión de un fotón con un electrón libre en reposo, (Alonso & Finn, 1986).

2.1.3 Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (FRX)

2.1.3.1 Fundamentos básicos

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) permite determinar la composición elemental de un material. Este método detecta los elementos presentes en una sustancia y cuantifica su proporción. Cada elemento está identificado por las longitudes de onda o energías de emisión características, mientras que la cantidad de un elemento en la muestra se determina mediante la medición de la intensidad de sus líneas características (Brouwer, 2010, pág. 10).

Los rayos X son la radiación ubicada entre el UV y los rayos Gamma en el espectro electromagnético. Por lo tanto, los rayos X pueden ser definidos como ondas electromagnéticas caracterizadas por el rango de su longitud de onda o como fotones con un valor determinado de E(energía). Asimismo, la difracción de los rayos X por la materia puede describirse más fácilmente si se consideran los rayos X como ondas, mientras que otros fenómenos, como la absorción o la dispersión son mejor comprendidos si consideramos los rayos X como fotones (Ríos, Cruz Moreno, & Simonet, 2012, pág. 162).

La ecuación 2.5 muestra la relación entre la longitud de onda y la energía

$$E = hc/\lambda \quad (2.5)$$

Donde: h es la constante de Planck (6.6254×10^{-34} Js)

c: es la velocidad de propagación de la onda asociada (3×10^8 m/s) en el vacío

λ : es la longitud de onda en (m)

E: es la energía en Julios.

La ecuación 2.5 también se puede expresar en

$$E(\text{KeV}) = 12.4/\lambda(\text{\AA}) \quad (2.6)$$

Donde: λ : longitud de onda en Angstrom

2.1.3.2 Producción de radiación fluorescente característica

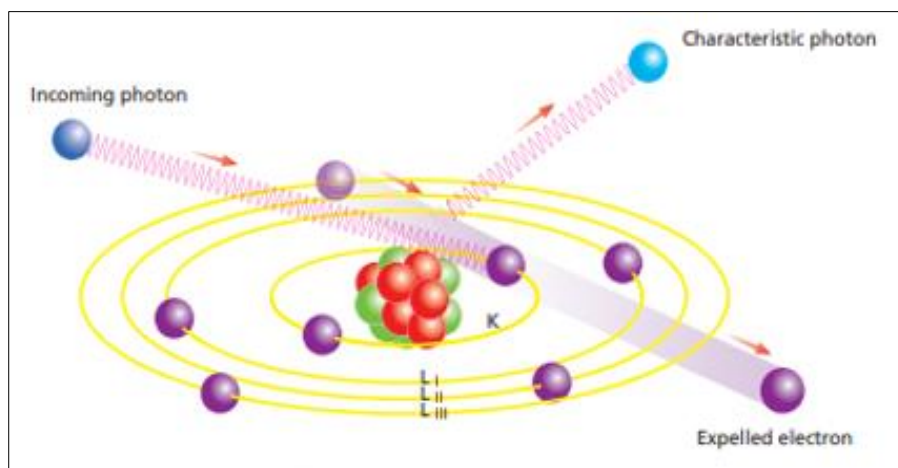
Como modelo clásico del átomo tenemos el núcleo con protones (carga positiva), neutrones (sin carga) y electrones agrupados en capas u órbitas (carga negativa).

Según Brouwer (2010, pág. 11):

La capa más interna del átomo es la capa *K*, seguida por las capas *L*, *M*, y así sucesivamente, a medida que se avanza hacia el exterior del átomo. La capa *L* cuenta con tres subcapas denominadas *L_I*, *L_{II}* y *L_{III}*, mientras que la capa *M* posee cinco subcapas: *M_I*, *M_{II}*, *M_{III}*, *M_{IV}* y *M_V*. La capa *K* puede albergar hasta dos electrones, la capa *L* ocho y la capa *M* dieciocho. La energía de un electrón depende de la capa que ocupa y del elemento al que pertenece. Cuando se irradia un átomo con partículas como fotones de rayos X, estos pueden expulsar un electrón del átomo, generando un vacío o “agujero” en una de sus capas, como se muestra en la Figura 3 (p. 11).

Figura 3

Radiación Característica



Nota. Producción de radiación característica, tomado de Brouwer, 2010,

Así ocurre un agujero en la capa K, llamado vacancia inicial, esto pone al átomo en un estado excitado inestable y con una energía mayor. El átomo tiende a retomar a su configuración inicial en base al flujo de un electrón desde una capa externa tal como la capa L al agujero en la capa K. Un electrón en la capa L cuenta con mayor energía que un electrón en la capa K, y

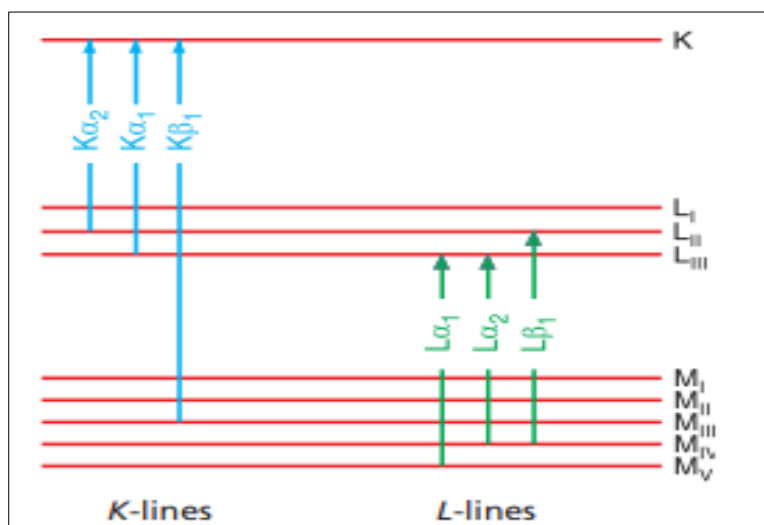
cuando un electrón se transfiere de la capa L a la capa K, la energía excedente puede ser emitida como un fotón de rayos X. Esto será apreciado como una línea en un espectro. (Brouwer, 2010, pág. 12).

Los rayos X emitidos tienen energía que depende de la diferencia en energía entre la capa donde se origina el hoyo inicial y la energía del electrón que llena el agujero desde su órbita original. Cada átomo tiene niveles de energía específicos, entonces la radiación emitida será característica de ese átomo. El átomo no emite sólo una energía porque diferentes agujeros pueden ser producidos y diferentes electrones pueden llenar éstos. El grupo de emisiones que generan éstas líneas es característico de cada elemento y puede ser tomado como su huella digital (Brouwer, 2010, pág. 12).

La notación Siegbahn indica la traslación del electrón, es decir de que capa viene el electrón. En la notación IUPAC, una línea se ubica por el elemento y la capa donde estuvo el agujero inicial, seguido por la capa de donde proviene el electrón que llenó el agujero.

Figura 4

Líneas Principales



Nota. Líneas principales y sus transiciones, Brouwer, 2010

Por ejemplo, Cr KL_{III} es radiación de cromo debido a un agujero producido en la capa K y llenado por un electrón de la capa L_{III} (Brouwer, 2010, pág. 14).

2.1.3.3 Proceso de fluorescencia

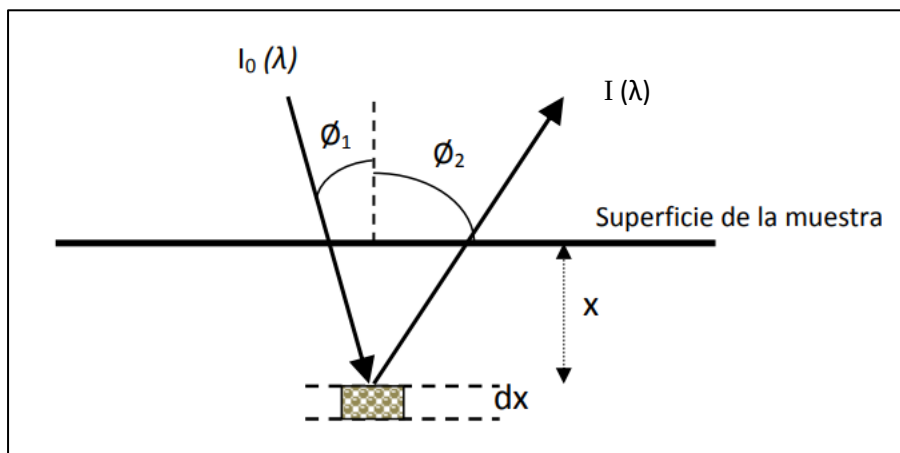
El método analítico de Fluorescencia de Rayos X (FRX) permite determinar la composición química de los materiales. Esta técnica es altamente versátil, ya que la muestra puede estar en estado sólido, líquido o en polvo o en otras formas. Adicionalmente, el FRX es utilizado en diversas aplicaciones, como determinar el espesor y la composición de capas y recubrimientos (Brouwer, 2010).

La fluorescencia como proceso se comprende fácilmente en el caso de la excitación monocromática, yendo luego a la excitación policromática, que corresponde al tubo de rayos X.

En la Fig. 5 se toma un espesor dx que se encuentra a cierta profundidad x de la superficie de la muestra cuya densidad es " ρ ", mientras la radiación incidente tiene intensidad I_0 y longitud de onda λ .

Figura 5

Proceso de Fluorescencia



Nota. Proceso de fluorescencia, Tesis Ismael Fuente Merino

La radiación debe sobrevivir al paso de la distancia x , esta radiación que llega a esta profundidad puede excitar al elemento " dx " e incide con:

$$I_0 \cdot e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M(\lambda) \cdot \frac{\rho \cdot x}{\cos \phi_1}\right]} \quad (2.7)$$

Mientras la emisión de radiación (fluorescente) por el elemento i en el espesor dx será:

$$dI(\lambda, x) = I_0 \cdot C_i \cdot \tau_i(\lambda) \cdot \omega_{ip} \cdot \Gamma_{ip} \cdot \kappa_{ip} \cdot e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M(\lambda) \cdot \frac{\rho \cdot x}{\cos \phi_1}\right]} \frac{dx}{\cos \phi_1} \quad (2.8)$$

Para calcular la radiación de toda la muestra, debe integrarse la ecuación debida a cada longitud de onda, es decir integrar la expresión en la variable λ . Entonces la radiación de fluorescencia que llega al detector mediante la radiación incidente policromática en una muestra de multiples elementos será:

$$I(\lambda, x) = \frac{\Omega}{4\pi} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \int_0^{\infty} I_0 \cdot C_i \cdot \tau_i(\lambda) \cdot \omega_{ip} \cdot \Gamma_{ip} \cdot \kappa_{ip} \cdot e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M(\lambda) \cdot \frac{x}{\cos \phi_1} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M(ip) \cdot \frac{x}{\cos \phi_2}\right]} \rho \frac{dx}{\cos \phi_1} d\lambda \quad (2.9)$$

Debe ahora integrarse en “ x ”, obteniéndose la siguiente expresión para la radiación fluorescente que llega al detector :

$$I(\lambda) = \frac{\Omega}{4\pi} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \frac{I_0 \cdot C_i \cdot \tau_i(\lambda) \cdot \omega_{ip} \cdot \Gamma_{ip} \cdot \kappa_{ip}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M(\lambda) + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_M(ip) \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2}} d\lambda \quad (2.10)$$

Esta expresión abarca la concentración del elemento analizado en la muestra.

Puede obtenerse de esta manera información no sólo cualitativa de la muestra si no también cuantitativa. Se determina así los elementos que forman la muestra y además la cantidad de cada uno.

2.1.3.4 Descripción de los espectros fluorescentes

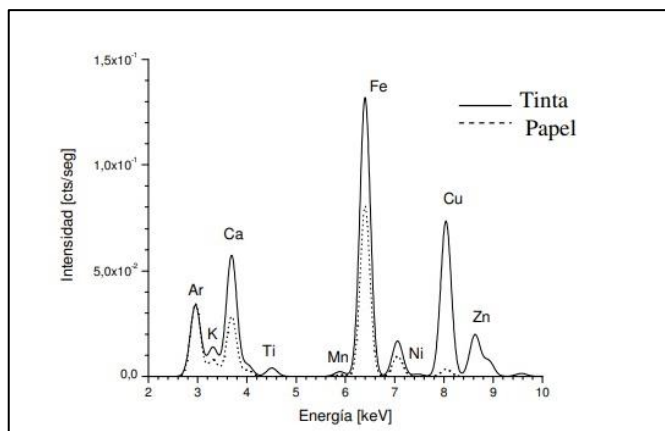
La muestra emite la radiación fluorescente y va hacia el detector; para un semi conductor (de Si dopado con Li) los fotones fluorescentes, al llegar a él, causarán ionización y cada una será convertida a voltaje, siendo su amplitud proporcional a la energía que incide.

Se obtiene entonces el espectro mostrado en la figura 6, el cual corresponde al análisis de piezas postales.

La Fig. 6 muestra los picos de las líneas de emisión característica (K,Ca,Ti,Mn,Fe,Ni,Cu,Zn; el Ar corresponde a la absorción en el aire); mientras el área bajo los valores pico representa la cantidad de fotones fluorescentes que terminan llegando al detector.

Figura 6

Espectro de Fluorescencia de Rayos X



Nota. Espectro del análisis de pieza postal (por FRX)

2.1.4 Espectrómetro FRX

En general, los sistemas de espectrometría pueden ser clasificados en dos grandes grupos: Sistemas por dispersión de energía (FRX-ED) y Sistemas por dispersión de longitud de onda (FRX-WD). Los elementos que se pueden analizar y sus niveles de detección dependen principalmente del sistema usado.

Según Bouwer (2010):

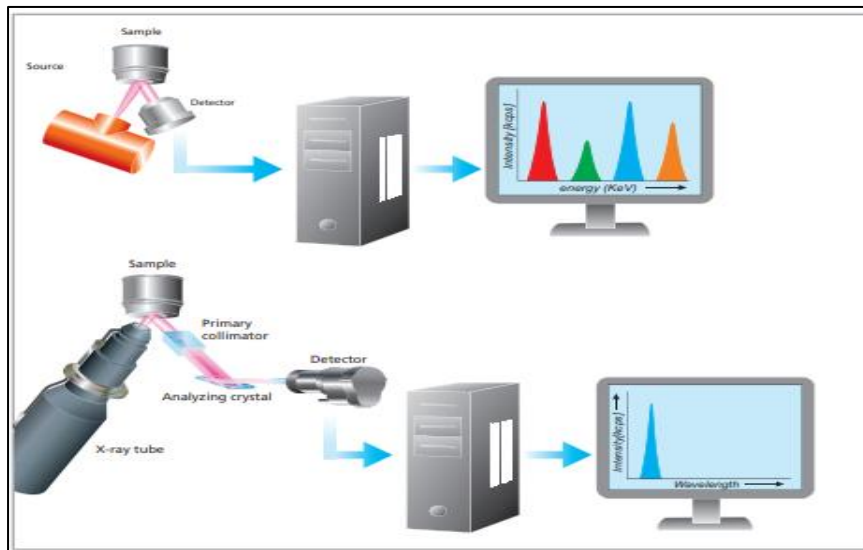
El rango elemental para FRX-ED va desde sodio hasta uranio (Na a U). Para FRX-WD es más amplio, desde berilio hasta uranio. En general, los elementos con números atómicos altos tienen mejores límites de detección que los elementos ligeros.

En el trabajo de investigación, se utilizó un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva, generalmente llamada analizador FRX. Este instrumento pertenece a la familia Innov-X Delta de analizadores FRX portátiles y entrega una identificación de análisis por elementos, desde Magnesio hasta uranio dependiendo del modo seleccionado.

Todo espectrómetro está comprendido por fuente, muestra y un sistema de detección. La fuente irradia a una muestra, y un detector se encarga de medir la radiación emitida por la muestra. Se resume en la Fig. 7.

Figura 7

Esquema de un espectrómetro



Nota. Diseños básicos de espectrómetros EDXRF y WDXRF, DASS.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 *Amaranthus*

Según Das (2016) :

Amaranthus es una especie cuya existencia en varias partes del mundo la hace cosmopolita, tiene un proceso anual o perenne de vida corta. La mayor parte de estas especies son malezas anuales de verano y son conocidas como “amaranto”. Tienen semillas ricas en proteínas, semillas conocidas como amarantos de grano, éstas se consumen como pseudocereales. *Amaranthus* se presenta como una considerable diversidad morfológica entre ciertas especies e incluso dentro de cada especie, y no existe un acuerdo general sobre la taxonomía o el número de especies. Actualmente, se

considera que el género *Amaranthus* incluye tres subgéneros y 70 especies. *Amaranthus* ofrece potencialmente un cultivo alternativo en climas templados y tropicales.

Según el National Research Council (1984):

Tres especies del género *Amaranthus* producen grandes cabezas de semillas cargadas de semillas comestibles. *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* son originarias de México y Guatemala; *Amaranthus caudatus* es originario de Perú y otros países andinos.

2.2.2 *Amaranthus Caudatus* (kiwicha)

Según Tapia y Fries (2007):

La kiwicha es conocida desde tiempos inmemoriales en los Andes del Perú, siendo las primeras evidencias registradas en Cusco. A través de los años, su cultivo se diversificó hacia otras regiones, con otros nombres como *coyo* en La Libertad y Cajamarca, *achis* en Ancash, *achita* en Apurímac y Ayacucho. En países vecinos es posible encontrar este grano con estos nombres; en regiones específicas puede haber variaciones de nombre como *coimi* y *millmi* en Tarija (Bolivia) y sangorache en Ecuador; haciendo referencia a la kiwicha de grano oscuro.

Según Jacobsen, Mujica y Ortiz (2001):

La kiwicha tiene ventajas comparativas en contraste con los demás granos andinos. Una de ellas es que, por su versatilidad en la forma de consumo y transformación, no necesita un tratamiento previo para su consumo en grano, como sí ocurre con la quinua, la cual contiene saponina.

2.2.3 Clasificación taxonómica

Según Tapia M (1997):

Tabla 1

Clasificación Botánica del Amarantho Cultivado

Reino	Vegetal
División	Embryophyta Siphonogama
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Dicotyledonae
Subclase	Archiclomidae
Serie	Centrospermae
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Amaranthus</i>
Especies cultivadas por grano	Hypochondriacus, Cruentus y Caudatus

Nota. Cultivos andinos Subexplotados y su aporte a la alimentación, (Tapia M. , 1997) .

2.2.4 Minerales

Los minerales se forman mediante procesos inorgánicos y son sustancias naturales sólidas que forman parte importante del planeta Tierra y de los cuerpos extraterrestres accesibles al hombre.

Los minerales se caracterizan por tener propiedades físicas homogéneas; es decir, iguales en dos porciones diversas. Su composición química característica puede ser variable dentro de ciertos límites, pero que siempre está bien definida, sobre todo por el hecho de poseer una disposición atómica (retículo cristalino) fija y característica para cada mineral. (Mottana , Crespi, & Liborio, 1977).

Nuestros alimentos tienen diversos elementos químicos que, por costumbre, son denominados “minerales” (traducción directa de “minerals”). Sin embargo, los diccionarios

asocian el término mineral con lo “inorgánico” o relacionado “con los metales de las minas”. En la literatura científica en español, se continúa utilizando el término “minerales”, aunque existen autores que sugieren reemplazarlo por “nutrimentos inorganicos”, por ser una denominación más precisa (Badui, 2006, pág. 396).

Algunos elementos químicos son nutrimentos indispensables para el correcto funcionamiento del organismo humano, al igual que las vitaminas, siendo su carencia un factor de riesgo para el desarrollo de problemas de salud. La más eficaz de evitar cualquier deficiencia de éstos y de otros nutrimentos es mediante una alimentación variada.

Los minerales son esenciales y participan de diversas maneras en el cuerpo humano: en la formación de tejidos rígidos (Ca, P, F, Mg, entre otros), como cofactores de enzimas (Mn, Zn, Cu, Mo, Na, entre otros); como interantes de vitaminas, hormonas, mioglobina y hemoglobina (Co, I, Fe, entre otros), y como parte constitutiva de algunas macromoléculas (S, P, Fe, entre otros) (Badui, 2006, pág. 396).

Según La FAO (2015):

En el cuerpo podemos encontrar los minerales en forma ionizada, éstos se clasifican en macro minerales y micro minerales (o minerales traza). En el organismo tenemos los siguientes minerales: calcio, potasio, hierro, sodio y magnesio. Por ejemplo, el hierro es un componente de la hemoglobina que está presente en la sangre.

Nuestro organismo necesita una cantidad tanto de macro minerales como de micro minerales. Entre los micro minerales se encuentran el cobre, zinc, cobalto, cromo y fluoruro. Los micro minerales son, en su mayoría, cofactores necesarios para la función de las enzimas en el cuerpo. Cabe mencionar que aproximadamente el 4% de la masa del cuerpo se compone de minerales (FAO, 2015, p. 12).

2.2.4.1 Calcio

Según Badui (2006):

El calcio es el elemento químico más abundante en el organismo humano y representa aproximadamente el 2% del peso corporal, lo cual equivale entre 1,000 – 1,500 g en un adulto.

La distribución aproximada es 99% de este elemento en las estructuras óseas y el resto, 1%, en los fluidos celulares y en el interior de los tejidos. A pesar de representar una fracción pequeña, este 1% posee una enorme relevancia funcional, ya que interviene en numerosos procesos fisiológicos, como coagulación de sanguínea, la contracción muscular, la activación enzimática y la transmisión de impulsos nerviosos.

2.2.4.2 Fósforo

Según Badui (2006) :

Este elemento se encuentra como fosfato, representa 1.0% del peso corporal, está muy relacionado con el calcio ya que juntos forman la hidroxapatita y 80% se localiza en los huesos y en los dientes; el resto se concentra en los fluidos extracelulares y actúa como un amortiguador del PH en la sangre, o en las células en donde participa en el metabolismo de las proteínas, los lípidos y los hidratos de carbono; intervienen en la fosforilación de la glucosa y del glicerol, se combina con ácidos grasos en los fosfolípidos.

2.2.4.3 Hierro

En el ser humano, el hierro cumple diversas funciones biológicas, principalmente el transporte y almacenamiento de oxígeno mediante la hemoglobina y la mioglobina, respectivamente, además de actuar como cofactor de varias enzimas. El hierro está presente en los alimentos en dos formas: como hierro hemo (Fe hemo), el cual se encuentra en carnes (res, pollo, pescado, etc.), y como hierro no hemo (Fe no hemo) o inorgánico presente en granos, leguminosas y vegetales en general. La primera forma tiene una mayor biodisponibilidad (20-30%) que el segundo, que es de tan sólo de 2 –

10%. Esta biodisponibilidad de Fe no hemo depende de la presencia de los inhibidores de la absorción (fitatos, polifenoles, calcio y fosfatos) y de promotores de absorción (vitamina C, ácido cítrico, péptidos con cisteína, etanol y productos fermentados) (Badui, 2006).

2.2.4.4 Composición mineral de la kiwicha

Se resume la composición de la kiwicha en la siguiente tabla, considerando 3 tipos de granos crudos.

Tabla 2

Contenido mineral de tres tipos de grano seco de kiwicha

Sample	Iron	Calcium	Magnesium	Zinc	Manganese	Copper	Sodium	Potassium
White Amaranth	20.82	139.9	278.33	3.09	3.02	0.26	21.21	359.45
Red Amaranth	34.6	173.55	293.48	2.62	4.19	0.3	31.21	420.3
Brown Amaranth	35.09	153.08	261.25	2.53	4.1	0.16	9.67	322.38

Nota. Fuente: Mekonnen G, Woldesenbet M, 2018

La kiwicha cuenta con gran contenido de proteínas, vitaminas y minerales que favorece el crecimiento de los niños. A su vez rica en Lisina, ésta beneficia al desarrollo de las células cerebrales, a favor de la memoria y el aprendizaje. En la tabla 3 se adjunta la composición química de la kiwicha (Martínez, Millán, Rodríguez, Millán, & Montserrat, 2020)

Tabla 3

Composición química de kiwicha en 100 g de porción comestible en base seca

Características	Contenido
Tipo: Proteínas(g)	12 a 19
Tipo: Carbohidratos (g)	71.8
Tipo: Lípidos (g)	6.1 a 8.1
Tipo: Fibra (g)	5.5 a 5.0
Tipo: Cenizas (g)	3.0 a 3.3
Tipo: Energía(kcal)	391
Elem.: calcio(mg)	130 a 164
Elem.: fosforo	530
Elem.: potasio	800
Tipo: Vitamina C	1.5

Nota. Fuente: (Martinez, Millan, Rodriguez , Millan, & Montserrat, 2020) .

En la siguiente tabla se resume la composición mineral de *Amaranthus Caudatus* y la ingesta dietética recomendada para adultos.

Tabla 4

Referencia de ingesta dietética 2002-2005

Nutrient	mg/100g	mg/L(Gamel et al.,2005)	g/100(Alvares-Jubete et al,2009)	DRIs*Men/Women (mg/day)
Ca	159	1300 – 2850	180.1 ± 6.1	1000
Fe	7.61	72 174	9.2 ± 0.2	8/18
Mg	248	2300 – 3360	279 ± 1.1	420/320
P	557			700
Zn	2.87	36.2 – 40	1.6 ± 0.0	11/8
Mn	3.33			2.3 / 1.8

Nota. Fuente: Mekonnen G, Woldesenbet M, 2028

Asimismo, en la tabla 5 se presenta el valor nutritivo de la semilla cruda de *Amarantho* comparado con cereales comunes.

Tabla 5

Semilla cruda de Amarantho y su valor nutritivo comparado con cereales crudos

	Amarantho	Arroz	Trigo	Maiz Amarillo	Avena
Fibra dietetica	14.5 g	6.5 g	10.7 g	9.4 g	16.9 g
Proteina	9.3 g	2.8 g	12.7 g	7.3 g	10.6 g
Grasas	6.5 g	0.5 g	2.0 g	4.7 g	6.9 g
Carbohidratos	66.2 g	79.2	75.4 g	74.3 g	66.3 g
calcio	156.0 mg	3.0 mg	34.0 mg	7.0 mg	54.0 mg
Hierro	7.6 mg	4.23 mg	5.4 mg	2.7 mg	4.7mg
Calorias	374.0 Kcal	358.0 kcal	340 kcal	365 Kcal	389 kcal

Nota. Fuente: USDA (United States Department of Agriculture)

2.3 Antecedentes Empíricos de la Investigación (estado del arte)

Antecedentes:

Bravo, Reyna, Gomez Sachez y huapaya (2013) realizaron el estudio “Químico y Nutricional de Granos Andinos Germinados de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amarantus caudatus*)”, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Sus objetivos fueron generar cambios físico-químicos en estos granos e incrementar sus nutrientes. La metodología siguió los estándares de análisis químico según AOAC y análisis proximal, y obtuvieron los siguientes resultados de minerales para la kiwicha: 7,7 mg% de hierro, 346 mg% de calcio y 49,0 mg% de fósforo.

Mekonnen, Woldesenbet, Teshale, y Biru (2018) determinaron en su estudio que el grano de amaranto está compuesto por minerales fundamentales para el ser humano. Resaltaron, especialmente zinc y hierro, los cuales podrían contribuir a la estabilidad de la función

inmunológica y a la disminución de enfermedades como la anemia, respectivamente. Asimismo, identificaron el magnesio y manganeso como cruciales para el desarrollo de los infantes.

La investigación titulada *Elemental Analysis of Amaranth, Chia, Sesame, Linen, and Quinoa Seeds by ICP-OES: Assessment of Classification by Chemometrics* fue publicada por investigadores de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina. Su objetivo fue ejecutar el análisis elemental de estos productos mediante la técnica ICP-OES y evaluar su clasificación utilizando Quimiometría. El análisis desarrollado en lino, sésamo, amaranto, chía y quinua mostró, en general, altas concentraciones de macroelementos y bajas concentraciones de elementos tóxicos (Bolaños, Marchevsky, & Camiña, 2016).

La investigación *Evaluación nutricional y compuestos bioactivos de accesiones promisorias de kiwicha (Amaranthus Caudatus) del INIA*, realizada en Universidad Agraria La Molina, tuvo como objetivo evaluar la composición química de 30 accesiones de kiwicha. El estudio concluyó que se encontraron diferencias estadísticas significativas para todos los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en las kiwichas evaluadas, lo que demuestra que la composición varía notablemente según la accesión procedencia (Chamorro, 2018).

Según Torres (2019) :

Los resultados demostraron que el producto en grano de kiwicha tostada presentó la mayor concentración media de calcio con 111.487mgCa/g. La mayor concentración de hierro correspondió al producto grano de Cañihua con 24.9567mgFe/100g, etc. El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software STATGRAPHICS Centurión XV.

La Universidad Mayor de San Marcos (UNMSM) realizó una investigación enfocada en la Contribución de los productos tradicionales andinos (Maca, kiwicha, Cañihua, Mashua), cuyo principal objetivo fue determinar los parámetros de calidad de estos productos naturales peruanos. Este estudio concluyó que, en general, los productos andinos evaluados tienen un contenido esencial de macro minerales y micro minerales (Chasquibol, y otros, 1999).

La investigación realizada sobre especie de *Amaranthus* demostró que tanto las hojas como el grano contienen cantidades importantes de proteínas, vitamina C y elementos minerales. Las mediciones revelaron que los genotipos de amaranto en las tres zonas agroecológicas del centro de Malawi muestran una amplia diversidad nutricional. Además, se observó que esta gran gama nutricional también existe dentro de la zona agroecológica húmeda de altitud media, lo cual evidencia la variabilidad de la composición influenciada por factores ambientales (Aliel Kachiguma, Mwase, Maliro, & Damalipephetsa, 2015).

Investigaciones sobre el amaranto en el centro de Malawi, han demostrado que, en términos de valor nutricional, las hojas de amaranto tienen un mayor contenido de nutrientes que el grano. El estudio también evidenció variabilidad entre especies: La especie *Amaranthus hybridus* mostró niveles superiores de calcio, hierro y fósforo, mientras que *Amaranthus cruentus* es mayor en vitamina C. Asimismo, se determinó que las accesiones adaptadas localmente poseen un contenido nutricional significativamente más alto en comparación con las accesiones introducidas, sugiriendo la necesidad de priorizar los genotipos locales en programas de mejoramientos de cultivos. En general, los hallazgos demuestran que los genotipos de amaranto estudiados pueden dar un aporte nutricional significativo a la dieta humana (Kachiguma, Mwase, Maliro, & Damaliphetsa, 2015).

2.4 Hipótesis

a. Hipótesis general

Se puede realizar un análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco, mediante un procedimiento que tome en cuenta la identificación de los picos de conteo en el espectro FRX y las energías correspondientes.

b. Hipótesis específicas

H1: Puede desarrollarse un procedimiento específico para determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, apartir de la base de mediciones obtenida con el espectrómetro FRX (archivo Export SPM), considerando la conversión de canales de medición a energía y desarrollando una técnica de búsqueda e identificación de elementos a partir de sus picos de conteo.

H2: El análisis comparativo de las composiciones minerales de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra puede realizarse mediante la contrastación de los resultados por cada beam.

2.5 Identificación de Variables e Indicadores

a) Variable independiente: Procedencia de la kiwicha

b) Variable dependiente: Composición macro y micro mineral de la kiwicha

2.6 Operacionalización de Variables

Tabla 6

Operacionalización de variables de la investigación

Variable	Indicadores
Procedencia de la kiwicha	Paruro, Paucartambo y Kayra
Composición macro y micro mineral de la kiwicha	Intensidad (cps) PPM

Nota. Elaboración propia

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Ámbito de Estudio: Localización Política y Geográfica

El ámbito de estudio comprende la kiwicha de 3 procedencias de Cusco:

- Paruro : Pueblo San Lorenzo, Distrito Colcha, Prov. Paruro, Dpto. Cusco
- Paucartambo: Distrito Challabamba, Prov. Paucartambo, Dpto. Cusco
- Kayra: : Distrito San Jerónimo, Prov. Cusco. Dpto. Cusco.

Figura 8

Vista satelital de Cusco



Nota. Vista satelital considerando los lugares de procedencia de la kiwicha

3.2 Tipo y Nivel de Investigación

La investigación es de tipo cuantitativo porque determina los elementos existentes y en qué concentración se encuentran. Es de diseño cuasi-experimental porque no hay control de todas las variables. Es de nivel correlacional porque asocia las variables de procedencia de la kiwicha con la composición elemental mineral.

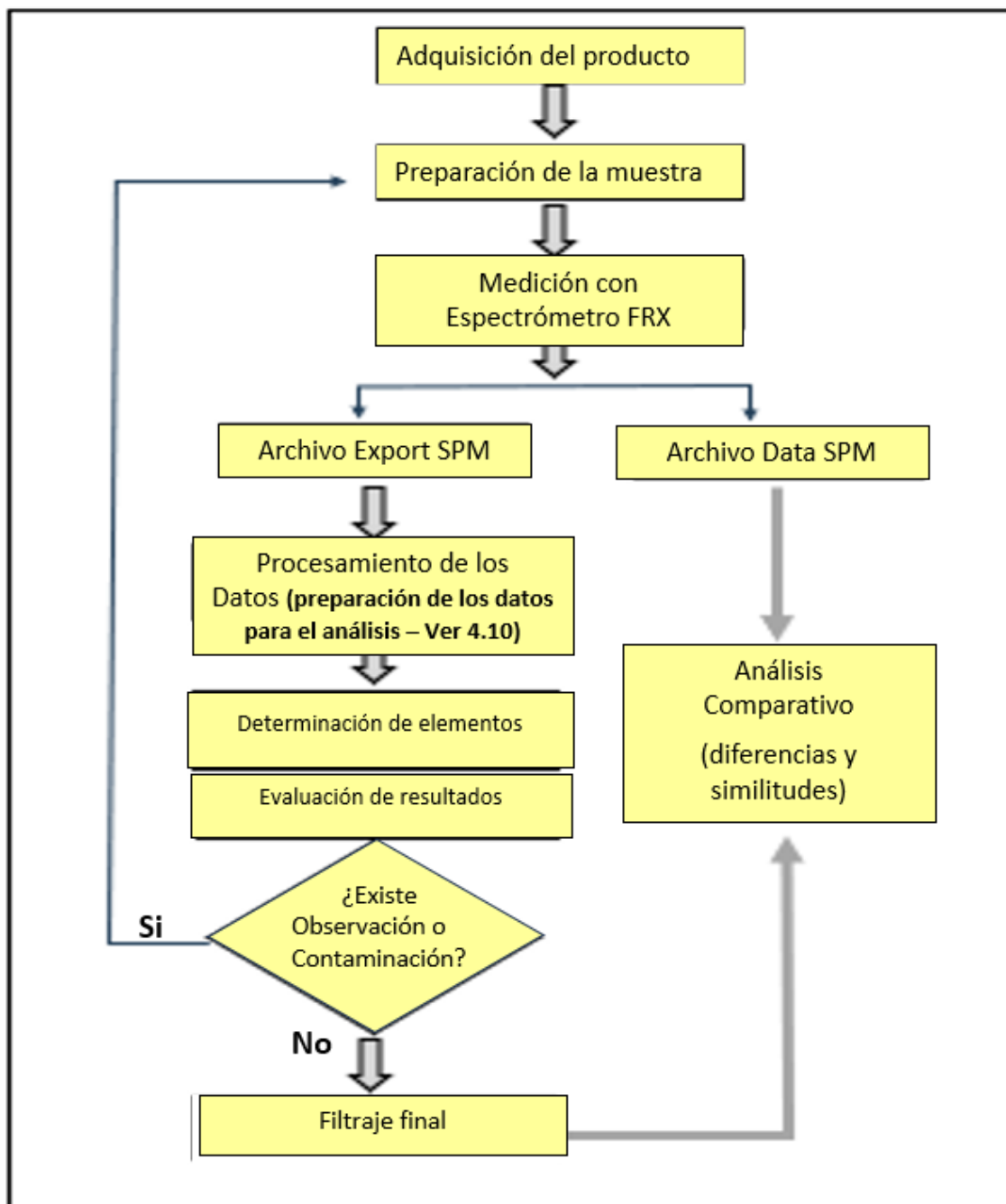
3.3 Unidad de Análisis

La unidad de análisis es la muestra preparada de kiwicha de las 3 procedencias. Porque hay una medición numérica y enfoque estadístico.

3.4 Esquema del Diseño de la Investigación

Figura 9

Flujo seguido en el transcurso de la investigación



Nota. Elaboración propia

3.5 Población y Tamaño de Muestra

La población corresponde a la kiwicha procedente de las 3 localidades que a su vez comprenden el ámbito de estudio: Paruro, Paucartambo y Kayra

Las muestras finales tuvieron valores de masa indicados a continuación:

PARU: 1041.5 mg

PAUC: 890 mg

257C: 2149.6mg (incluye masa del container)

3.6 Técnicas de Selección de Muestra

La adquisición de la kiwicha se realiza de modo directo en los centros de abasto de la ciudad y centro de investigación de la UNSAAC. Se lista los centros de adquisición:

- Mercado de Cascaparo
- Mercado de Vinocanchón
- Feria de Huancaro
- Centro de Investigación Kayra - UNSAAC

Para la selección de muestra se utiliza la técnica aleatoria de representatividad cuantitativa y cualitativa (granos limpios, buen tamaño, color amarillo y marron), apropiada para una población homogénea como lo es la producción de kiwicha.

3.7 Técnica de Preparación de la Muestra

Para la preparación de la muestra se sigue los siguientes procedimientos:

- a) Molienda con ágata, uso de espátula metálica y preparación de pastilla con prensa
- b) Molienda con ágata, uso de cuchara plástica, film en portamuestra y preparación de pastilla con prensa
- c) Molienda con ágata, uso de cuchara y container plástico (10mg), sin preparación de pastilla (sin prensa)

Nota: También se mide kiwicha en grano, utilizando un container de plástico y film en base y parte superior

3.8 Codificación de las Muestras

Para las mediciones es necesario codificar cada muestra, debido a sus variadas procedencias, permitiendo a la vez su mejor clasificación en las etapas comparativas entre muestras del mismo origen y muestras de distinta procedencia

Tabla 7

Codificación asignada a las muestras

Procedencia	Código	Observaciones
Paruro	PARU	
Paucartambo	PAUC	
Kayra	257C	

Nota. Elaboración propia

3.9 Técnicas de Recolección de Información

3.9.1 Técnica de Espectroscopía FRX

Para la recolección de información se utiliza la técnica de espectroscopía FRX.

Trabajo desarrollado en Laboratorio de espectroscopía

óptica no destructiva: LEOnoD – UNSAAC y en el Laboratorio de Química de UNSAAC, ubicados en Av. De La Cultura – Cusco .

Previo a la medición tenemos la preparación de la muestra, lo cual implica el molido de la kiwicha con un mortero de ágata y un pilón (realizado en el laboratorio de Química orgánica - UNSAAC), seguido del uso de un molde de acero para la elaboración de las pastillas, lo cual es concretado con la aplicación a una prensa hidráulica del mismo laboratorio, guardando finalmente las pastillas en un molde de acero en unas bolsas ziploc.

En el inicio de la medición se necesita configurar el espectrómetro según parámetros indicados en la tabla adjunta y la posterior calibración, continuando luego con las mediciones para lo cual se debe contar con la conexión del espectrómetro y el equipo informático según se indica en las fotos.

Tabla 8

Características del modo de operación del espectrómetro

Soil Operation Mode			
Beam	Energy/KeV	Real Time/s	Tube Current Set μA
1	0- 40	35	67.171
2	0- 40	35	34
3	0-15	30	78.5
Total		100	

Nota. Elaboración propia

Figura 10

Conexión del espectrómetro en el Laboratorio LEOnoD – UNSAAC

**Figura 11**

Conexión del espectro y medición

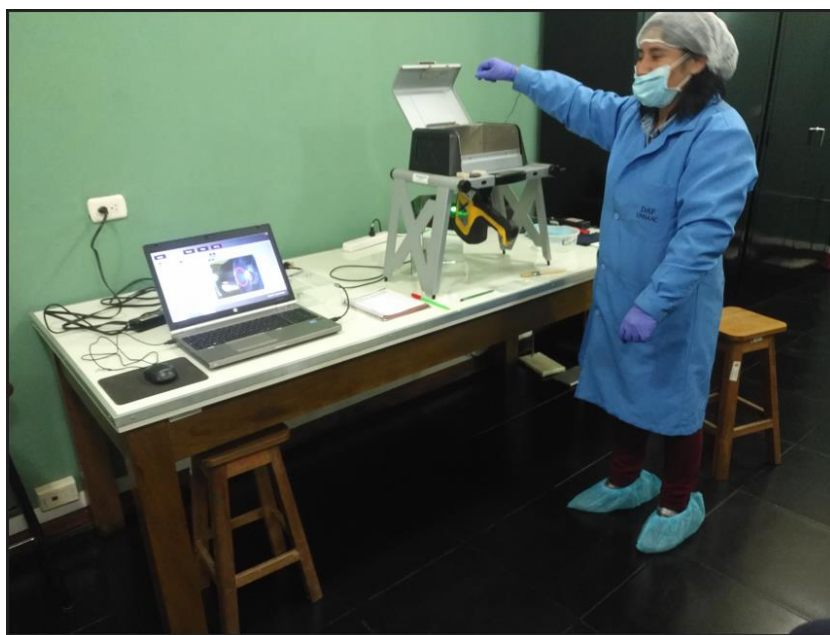


Figura 12

Pastillas elaboradas con portamuestra metálico



3.9.2 Especificaciones técnicas del espectrómetro

El equipo espectrómetro cumple las siguientes especificaciones para su funcionamiento:

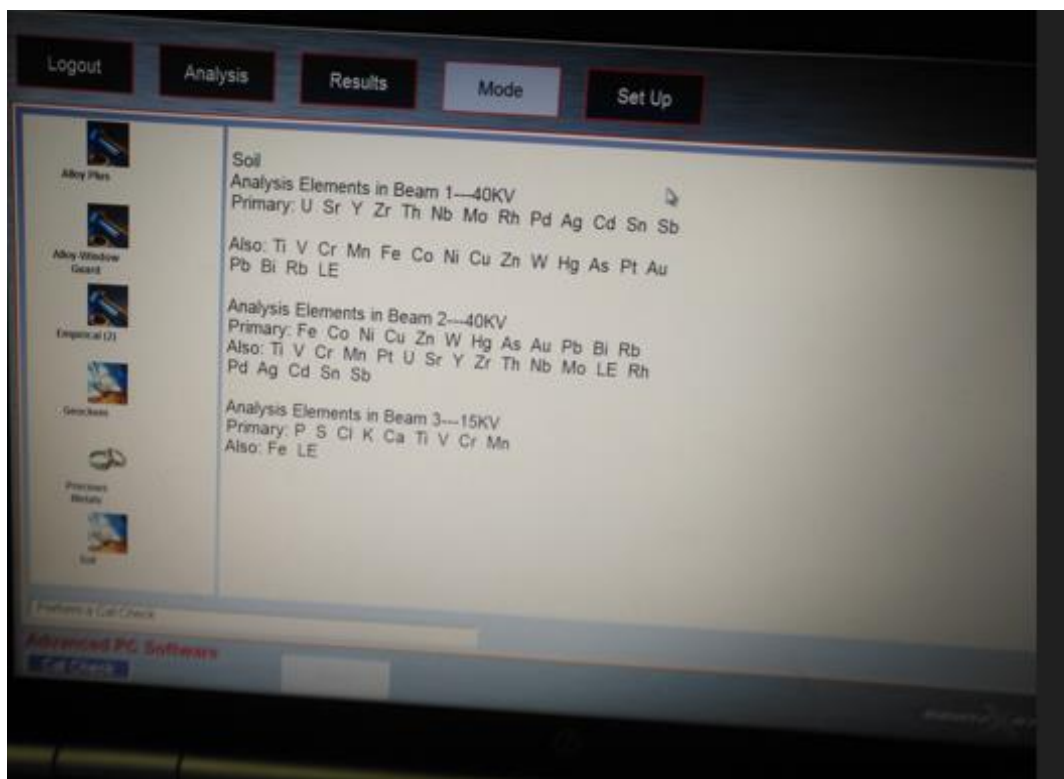
Tabla 9

Especificaciones del espectrómetro

Especificaciones del Espectrómetro	
Tipo de espectrómetro	FRX Portátil DELTA PREMIUM
Fuente de excitación (ánodo)	rodio (Rh)
Fuente de excitación (energía y corriente)	40 KeV y 100uA
Potencia	4W
Detector de deriva de Silicio (SDD)	Con 2 test de 3 beams cada uno
Software	Innov X Olympus
Nota. Elaboración propia	

Figura 13

Modo de operación del espectrómetro



Nota. Foto del modo de operación del espectrómetro con los elementos que capta cada Beam.

3.9.3 Archivos entregados por el espectrómetro: Data Export, SPM Export

Luego de las mediciones con el espectrómetro FRX, el equipo responde con dos archivos las mediciones obtenidas. Cada archivo presenta la información de forma independiente:

Archivo Export SPM

Las mediciones se presentan en archivo con formato de separación por comas.

Contiene la configuración de cada medición y los conteos obtenidos por cada canal de medición, en cada test y utilizando cada beam del modo seleccionado.

Figura 14

Archivo Export SPM (en formato delimitado por comas)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Date,Time,Reading,Mode,Elapsed Time 1,Elapsed Time 2,Elapsed Time 3,Elapsed Time Total,Numero,Codigo,Material,P,P +/-,S,S +/-,Cl,Cl +/-,K,K +/-,Ca,Ca +/-,Ti,Ti +/-,V,V +/-,Cr,Cr +/-,Mn,Mn +/-,Fe,Fe +/-,Co,Co +/-,																
2	2019-06-12,10:39:13,#1,Cal Check,15.34,,15.34,,0,12.14,,12.14,512299,Delta Premium,Rh,%686,Unknown																
3	2019-06-12,11:46:36,#2-1,Soil,34.41,33.67,29.28,97.35,C5-PARU,Container 5ml,MOLIDO,1492,395,2259,91,63017,228,3835,29,1386,15,<LOD,2.7,<LOD,0.9,<LOD,2.4,31.3,1.3,88,3,<LOD,4.2,<LOD,4.5,<LOD,2.5,44.0,1.1,<LOD,																
4	2019-06-12,11:48:21,#2-2,Soil,34.41,33.67,29.17,97.24,C5-PARU,Container 5ml,MOLIDO,<LOD,1152,2358,92,62816,227,3787,29,1396,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,31.4,1.3,84,3,<LOD,4.3,<LOD,4.5,<LOD,2.6,42.8,1.1,<LOD,																
5	2019-06-12,11:48:21,#2-Avg(2),Soil,,,,,<LOD,1168,2309,92,62917,228,3811,29,1391,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.4,31.4,1.3,86,3,<LOD,4.3,<LOD,4.5,<LOD,2.6,43.4,1.1,<LOD,1.1,4.5,0.3,3.8,0.3,<LOD,0.5,<LOD,0.9,<LOD,1.0,																
6	2019-06-12,11:56:59,#3-1,Soil,34.95,33.78,29.16,97.89,C5-PAUC,Container 5ml,MOLIDO,2180,405,2456,93,58796,219,3994,30,1413,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,36.8,1.3,71,3,<LOD,4.2,<LOD,4.6,<LOD,2.6,44.4,1.1,<LOD,																
7	2019-06-12,11:58:43,#3-2,Soil,34.45,33.72,29.22,97.39,C5-PAUC,Container 5ml,MOLIDO,1525,398,2296,91,58971,219,3997,30,1471,16,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,35.2,1.3,73,3,<LOD,4.3,<LOD,4.7,<LOD,2.7,43.9,1.1,<LOD,																
8	2019-06-12,11:58:43,#3-Avg(2),Soil,,,,,1853,402,2376,92,58883,219,3995,30,1442,16,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,36.0,1.3,72,3,<LOD,4.3,<LOD,4.7,<LOD,2.6,44.2,1.1,<LOD,1.1,5.0,0.3,4.2,0.3,<LOD,0.5,<LOD,1.0,<LOD,1.0,<																
9	2019-06-12,12:02:49,#4-1,Soil,34.46,33.83,29.18,97.47,C5-CURA,Container 5ml,MOLIDO,<LOD,1206,2919,101,70116,252,3746,29,1289,15,<LOD,2.7,<LOD,1.0,<LOD,2.6,46.1,1.4,81,3,<LOD,4.7,<LOD,5.0,<LOD,2.6,43.2,1.1,<LOD,																
10	2019-06-12,12:04:34,#4-2,Soil,34.47,33.78,29.83,98.08,C5-CURA,Container 5ml,MOLIDO,1662,405,2565,97,70216,250,3814,29,1265,15,<LOD,3.0,<LOD,0.9,<LOD,2.6,48.0,1.4,80,3,<LOD,4.4,<LOD,4.8,<LOD,2.6,41.6,1.1,<LOD,																
11	2019-06-12,12:04:34,#4-Avg(2),Soil,,,,,1300,403,2742,99,70166,251,3780,29,1277,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.6,47.1,1.4,81,3,<LOD,4.6,<LOD,4.9,<LOD,2.6,42.4,1.1,<LOD,1.2,6.9,0.4,3.4,0.3,<LOD,0.5,<LOD,1.0,<LOD,1.1,<																
12	2019-06-12,12:11:10,#5-1,Soil,34.46,33.76,29.16,97.38,C5-257C,Container 5ml,MOLIDO,3371,439,2799,101,72693,257,4463,32,2668,21,<LOD,2.9,<LOD,0.9,<LOD,2.5,45.1,1.4,143,4,<LOD,4.9,<LOD,4.8,3.7,0.9,46.2,1.1,<LOD,1																
13	2019-06-12,12:12:55,#5-2,Soil,34.47,33.77,29.35,97.59,C5-257C,Container 5ml,MOLIDO,3616,441,2690,100,72852,258,4469,32,2672,21,<LOD,3.0,<LOD,0.9,<LOD,2.6,42.4,1.4,146,4,<LOD,4.9,<LOD,4.7,3.1,0.9,44.5,1.1,<LOD,1																
14	2019-06-12,12:12:56,#5-Avg(2),Soil,,,,,3493,440,2745,100,72772,258,4466,32,2670,21,<LOD,3.0,<LOD,0.9,<LOD,2.6,43.8,1.4,145,4,<LOD,4.9,<LOD,4.7,3.4,0.9,45.3,1.1,<LOD,1.1,3.5,0.3,11.6,0.4,<LOD,0.5,<LOD,1.0,<LOD,1.0																
15	2019-06-12,12:17:52,#6-1,Soil,34.47,34.75,29.17,98.38,C5-354C,Container 5ml,MOLIDO,3080,421,2686,98,68729,247,3724,29,1235,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,36.1,1.3,103,3,<LOD,4.4,<LOD,4.7,<LOD,2.6,54.4,1.2,<LOD,																
16	2019-06-12,12:19:36,#6-2,Soil,34.49,33.78,29.25,97.52,C5-354C,Container 5ml,MOLIDO,2865,419,2755,99,68750,247,3742,29,1233,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,34.4,1.3,97,3,<LOD,4.6,<LOD,4.8,<LOD,2.8,53.1,1.2,<LOD,1																
17	2019-06-12,12:19:36,#6-Avg(2),Soil,,,,,2973,420,2721,99,68739,247,3733,29,1234,15,<LOD,2.8,<LOD,0.9,<LOD,2.5,35.2,1.3,100,3,<LOD,4.5,<LOD,4.7,<LOD,2.7,53.7,1.2,<LOD,1.1,3.9,0.3,4.8,0.3,<LOD,0.5,<LOD,1.0,<LOD,1.0																

Nota. El Espectrómetro XRF portátil entrega este archivo luego de medición

Archivo Export Data:

Las mediciones en este caso son procesadas internamente por un algoritmo propio del espectrómetro, obteniendo una tabla preliminar de composición de la muestra con un porcentaje de error.

Figura 15

Archivo Export Data (delimitado por comas)

Date,Time,Reading,Mode,Elapsed Time 1,Elapsed Time 2,Elapsed Time 3,Elapsed Time Total,Numero,Codigo,Material,P,P +/-,S,S +/-,Cl,Cl +/-,K,K +/-,Ca,Ca +/-,Ti,Ti +/-,V,V +/-,Cr,Cr +/-,Mn,Mn +/-,Fe,Fe +/-,																	
2019-06-18,16:28:48,#1,Cal Check,14.94,,14.94,,0,11.80,,11.80,512299,Delta Premium,Rh,%683,Unknown																	
2019-06-18,16:48:42,#2-1,Soil,34.51,34.19,29.06,97.76,C5g-PARU,Container 5ml,GRANO,50445,4449,25289,1186,940,250,<LOD,305,<LOD,383,<LOD,171,118,12,129427,1573,9921,145,2267330,31245,<LOD,1986,1																	
2019-06-18,16:50:28,#2-2,Soil,34.55,33.92,29.32,97.79,C5g-PARU,Container 5ml,GRANO,50336,4360,22073,1114,<LOD,711,<LOD,294,<LOD,376,<LOD,168,132,12,127774,1529,9774,141,2239354,30746,<LOD,1969																	
2019-06-18,16:50:28,#2-Avg(2),Soil,,,,,50390,4404,23681,1150,<LOD,730,<LOD,299,<LOD,379,<LOD,169,125,12,128600,1551,9847,143,2253342,30995,<LOD,1977,129644,1817,5369,120,<LOD,55,<LOD,44,<LOD,1																	
2019-06-18,16:53:01,#3,Cal Check,14.91,,14.91,,0,11.78,,11.78,512299,Delta Premium,Rh,%683,Unknown																	
2019-06-18,16:56:55,#4-1,Soil,34.08,33.03,29.09,96.20,C5g-PARU,Container 5ml,GRANO,<LOD,889,2178,80,50468,180,3843,27,2051,17,<LOD,2.5,<LOD,0.8,<LOD,2.0,9.9,1.1,61,3,<LOD,3.7,<LOD,3.9,<LOD,2.2,31.6																	
2019-06-18,16:58:41,#4-2,Soil,34.32,33.21,29.30,96.82,C5g-PARU,Container 5ml,GRANO,<LOD,888,2170,80,50464,180,3791,26,2040,16,<LOD,2.6,<LOD,0.8,<LOD,2.0,10.7,1.1,59,3,<LOD,3.6,<LOD,3.8,<LOD,2.2,31.1																	
2019-06-18,16:58:41,#4-Avg(2),Soil,,,,,<LOD,889,2174,80,50466,180,3817,26,2045,17,<LOD,2.5,<LOD,0.8,<LOD,2.0,10.3,1.1,60,3,<LOD,3.6,<LOD,3.9,<LOD,2.2,31.4,0.9,<LOD,1.0,3.3,0.3,4.9,0.2,<LOD,0.4,<LOD,0.8																	
2019-06-18,17:02:47,#5-1,Soil,34.17,33.22,29.03,96.42,C5g-PAUC,Container 5ml,GRANO,<LOD,921,2061,81,53780,190,3618,26,1870,16,<LOD,2.7,<LOD,0.8,<LOD,2.1,14.9,1.1,57,3,<LOD,3.6,<LOD,3.7,<LOD,2.2,32.2																	
2019-06-18,17:04:32,#5-2,Soil,34.18,33.20,29.05,96.42,C5g-PAUC,Container 5ml,GRANO,<LOD,906,2115,81,53947,190,3599,26,1894,16,<LOD,2.6,<LOD,0.8,<LOD,2.1,16.7,1.1,54,3,<LOD,3.5,<LOD,3.9,<LOD,2.2,32.2																	
2019-06-18,17:04:32,#5-Avg(2),Soil,,,,,<LOD,913,2088,81,53864,190,3608,26,1882,16,<LOD,2.6,<LOD,0.8,<LOD,2.1,15.8,1.1,56,3,<LOD,3.6,<LOD,3.8,<LOD,2.2,32.5,0.9,<LOD,1.0,3.6,0.3,3.5,0.2,<LOD,0.4,<LOD,0.8																	
2019-06-18,17:09:00,#6-1,Soil,34.15,33.21,29.10,96.45,C5g-CURA,Container 5ml,GRANO,<LOD,916,2328,83,49532,181,3940,27,1736,16,<LOD,2.4,<LOD,0.8,<LOD,2.1,22.5,1.1,88,3,<LOD,4.0,<LOD,4.0,<LOD,2.2,32.2																	
2019-06-18,17:10:45,#6-2,Soil,34.19,33.19,29.12,96.49,C5g-CURA,Container 5ml,GRANO,<LOD,885,2252,82,49496,181,3954,27,1750,16,<LOD,2.4,<LOD,0.8,<LOD,2.1,23.1,1.1,78,3,<LOD,4.0,<LOD,4.0,<LOD,2.3,30.0																	
2019-06-18,17:10:45,#6-Avg(2),Soil,,,,,<LOD,900,2290,82,49514,181,3947,27,1743,16,<LOD,2.4,<LOD,0.8,<LOD,2.1,22.8,1.1,83,3,<LOD,4.0,<LOD,4.0,<LOD,2.3,31.0,0.9,<LOD,1.0,5.8,0.3,3.7,0.2,<LOD,0.4,<LOD,0.8																	
2019-06-18,17:15:04,#7-1,Soil,34.21,33.15,29.18,96.54,C5g-257C,Container 5ml,GRANO,<LOD,917,1592,80,64411,217,3221,24,3591,22,<LOD,2.4,<LOD,0.8,<LOD,2.1,20.7,1.1,75,3,<LOD,3.8,<LOD,3.9,<LOD,2.2,35.5																	
2019-06-18,17:16:49,#7-2,Soil,34.14,33.13,29.10,96.37,C5g-257C,Container 5ml,GRANO,<LOD,914,1639,80,64366,217,3257,25,3556,22,<LOD,2.4,<LOD,0.8,<LOD,2.1,21.2,1.1,81,3,<LOD,3.8,<LOD,3.8,<LOD,2.3,33.3																	
2019-06-18,17:16:49,#7-Avg(2),Soil,,,,,<LOD,915,1616,80,64388,217,3239,24,3574,22,<LOD,2.4,<LOD,0.8,<LOD,2.1,20.9,1.1,78,3,<LOD,3.8,<LOD,3.8,<LOD,2.3,34.4,0.9,<LOD,0.9,2.5,0.3,10.6,0.3,<LOD,0.4,<LOD,0.8																	

Nota. El Espectrómetro XRF portátil entrega este archivo luego de medición

3.10 Procesamiento de Datos

La técnica comprende el procesamiento previo de la información, esto debido a que en la etapa de adquisición de datos se obtiene básicamente los conteos detectados por el espectrómetro, por ello es necesario la conversión de los datos al formato Conteos x Energía.

De esta forma, la información puede ser graficada identificando sus picos y permitiendo, mediante sus energías, la búsqueda de cada elemento correspondiente en la tabla de emisión de rayos X de elementos y sus transiciones. Producto de esta identificación se confirma la composición elemental de la muestra y a partir de ella se precisa su composición macro y micro mineral .

En la etapa de procesamiento se validaron los pasos ejecutados respecto al pre-análisis de la información, considerándose los siguientes puntos:

a) Evaluación del archivo Export SPM

El acceso a la información de los datos obtenidos por el espectrómetro permite iniciar el análisis en base a las mediciones obtenidas directamente de las muestras, en longitud de onda y conteos por segundo; así se evita el filtro que puede representar un programa de análisis propio del equipo y que por sus características, capacidad y limitaciones en su proceso interno, refleja un margen de error en los resultados que ofrece. De esta forma se justifica el acceso al archivo "Export SPM" que contiene el resultado de las mediciones del Espectrómetro FRX; siendo necesario el posterior procesamiento de sus datos para pasar al "conteo de emisiones por energía"; lo cual permite continuar con el análisis de la información.

b) Cálculo de energías por cada canal y de cada procedencia.

La transformación al formato de energía por cada canal de longitud de onda y su asociación al conteo de emisiones permite ubicar cada caso detectado en la tabla de energías emitidas por los diferentes elementos debido a la absorción y emisión de rayos X; sin embargo, la detección de los casos pico de mayor valor exige un paso previo, la gráfica en los ejes de energía por conteos.

Para la conversión a energía se utiliza la ecuación lineal brindada por el fabricante del espectrometro:

$$E = C * \text{Slope} + \text{Offset}$$

E: Energía (KeV)

C: Canal (entre 1 y 2048)

Slope: Pendiente indicada por cada medición

Offset: Compensación de energía indicada por cada medición

c) Diagramación de la base de datos

La gráfica de la detección de emisiones por energía permite tres avances importantes:

- La cobertura diferenciada de los 3 beams de cada medición
- La determinación de los picos de valor existentes permitiendo con ello la selección de

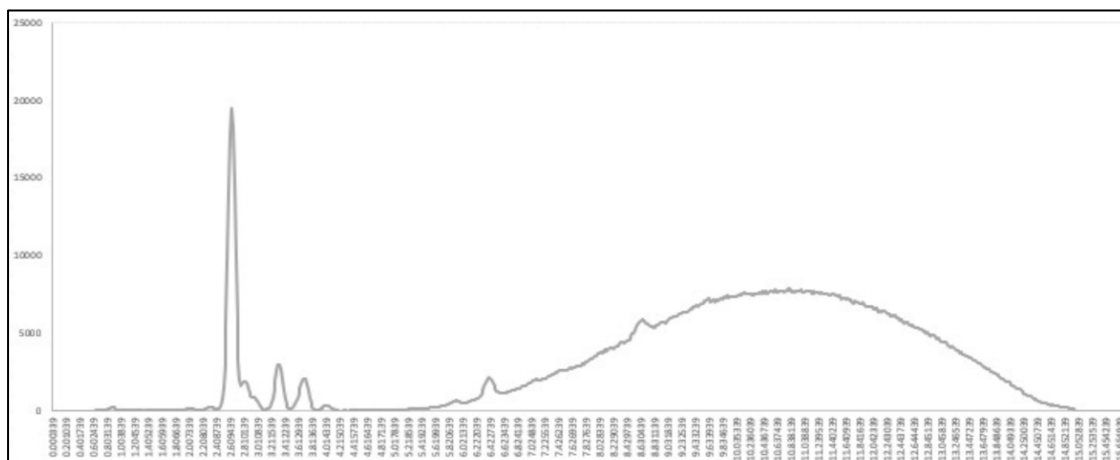
energías a ubicar en la tabla de emisiones Rayos X para identificar los elementos

existentes en la muestra.

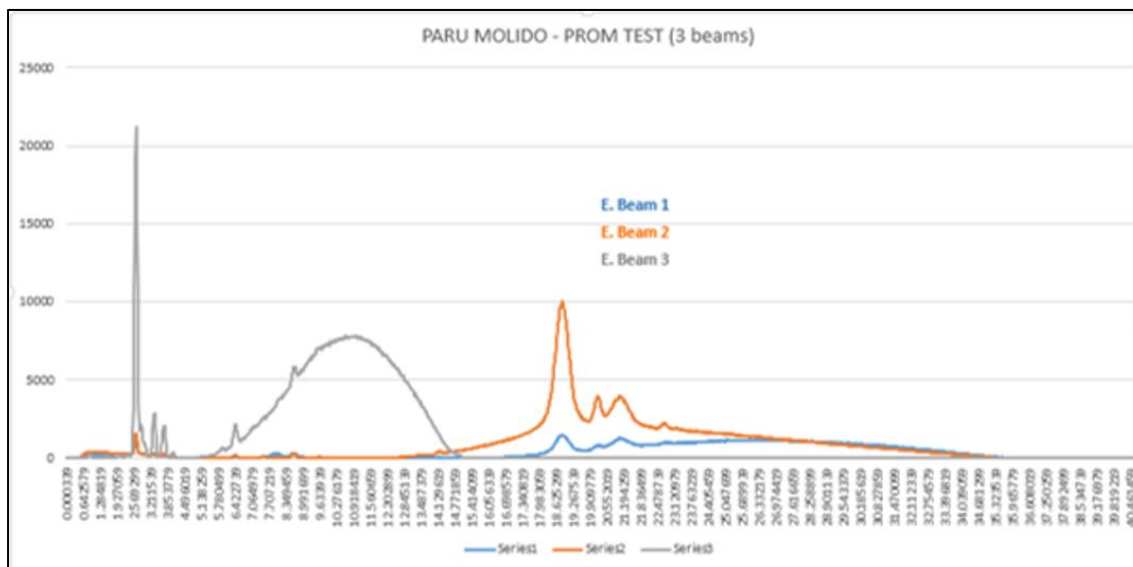
- La comparación de los espectros de las procedencias, obteniendo información adicional de diferencias y similitudes en sus líneas características

Figura 16

Espectro en cada beam (Intensidad (cps)- Energía)



Nota. Elaboración propia

Figura 17*Espectros de los 3 beams*

Nota. Elaboración propia

3.11 Técnica de Análisis e Interpretación de la Información

La técnica de análisis se realiza en 4 etapas para determinar los elementos de cada muestra:

a) Diseño de la tabla final para el registro de los valores significativos

En el objetivo de determinar los elementos de la muestra se diseña una tabla (descrita en Fig. 18) de registro tomando en cuenta los valores pico encontrados en la diagramación de cada espectro; así se considera 5 columnas por cada beam de medición y descritas de la siguiente manera:

- **Elemento:** Para el registro de los elementos de cada grupo de detección de los beams:
 - En azul (primer grupo de detección del beam)
 - En verde (segundo grupo de detección del beam)
 - En blanco (elementos fuera de rango de detección).

- **Transición:** Para registrar la transición asociada al valor de energía.
- **Energía teórica:** Valores que se obtienen de la tabla de emisiones de Rayos X.
- **Pico:** Valor de energía detectado en la diagramación de cada espectro.
- **Error porcentual:** Cálculo para determinar en que porcentaje estamos

cercanos o lejanos del valor teórico .

En conjunto estas tablas se utilizan para el primer registro de picos de valor de energía y la determinación de los elementos relacionados, los mismos que están sustentados por el valor porcentual de error como instrumento de validación.

Figura 18

Registro de valores significativos

PARQ Modelo (Beam 1)				
Elemento	Transic.	Teórico	Pico	Error (%)
Sr (Stroncio)	K α	14.165	14.1497	0.11%
	K β	15.835		100.00%
	L α	1.806		100.00%
	L β	1.871		100.00%
P (Fósforo)	K α	2.01		100.00%
	K β	2.139		100.00%
S (Azufre)	K α	2.309		100.00%
	K β	2.465		100.00%
Cl (Cloro)	K α	2.622	2.6295	0.29%
	K β	2.812		100.00%
K (Potasio)	K α	3.314	3.29182	0.67%
	K β	3.59		100.00%
Ca (Calcio)	K α	3.692	3.69322	0.03%
	K β	4.013		100.00%
Mn (Manganeso)	K α	5.9		100.00%
	K β	6.492		100.00%
Fe (Hierro)	K α	6.405	6.42274	0.28%
	K β	7.059		100.00%
Ni (Níquel)	K α	7.48	7.50652	0.35%
	K β	8.267		100.00%
Cu (Cobre)	K α	8.046	8.02834	0.22%
	K β	8.904		100.00%
Zn (Zinc)	K α	8.637	8.61037	0.31%
	K β	9.57		100.00%
Rb (Rubidio)	L α	13.396	13.367	0.22%
	L β	14.961		100.00%
Nb (Niobio)	K α	16.615		100.00%
	K β	18.625	18.8461	1.19%
Rh (Rodio)	K α	20.216	20.1908	0.12%
	K β	22.724	22.7597	0.16%
Pd (Paladio)	K α	21.177	21.0538	0.58%
	K β	23.818		100.00%

Elementos:

EN AZUL, elementos que pertenecen al primer grupo de detección del Beam correspondiente.

EN VERDE, elementos que pertenecen al segundo grupo de detección del Beam correspondiente.

EN BLANCO, elementos que no pertenecen a ningún grupo de detección (existen casos en que el SPM capta elementos así no estén en sus grupos de detección).

ENERGÍA:

En naranja, valores de energía captados como picos en el espectro o en la gráfica.

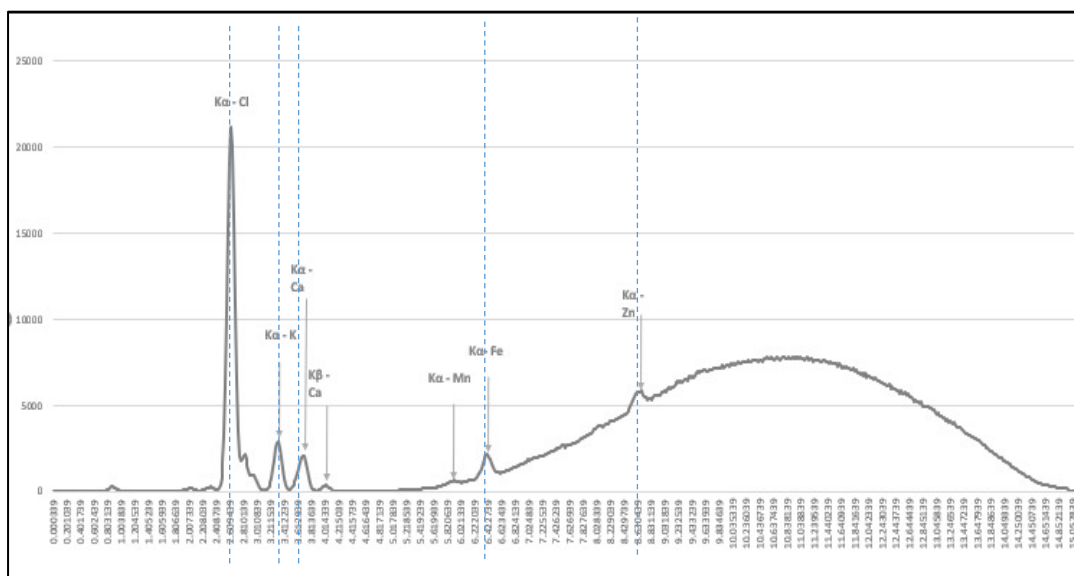
Nota. Elaboración propia

b) Identificación de las líneas características en el espectro

Esta identificación de las líneas características se realiza con apoyo de la gráfica de las mediciones con ejes de Conteos por Energía, se toma en cuenta los picos de valor a lo largo del espectro como se indica en la gráfica adjunta

Figura 19

Líneas características en el espectro



Nota. Elaboración propia

c) Determinación de elementos asociados

Luego de la identificación de las líneas características podemos determinar los elementos asociados a los picos de las mediciones realizadas.

Para esta determinación se toma en cuenta las mayores intensidades (cps) identificadas en las mediciones (cada pico), se determina los valores de energía anterior y posterior al pico detectado, luego:

(c.1) Se ubica las energías de emisión en este intervalo de energía en la tabla de emisión de rayos X (Fig.20) y se identifica el elemento (o dos elementos) con la energía emitida más cercana.

(c.2) Se registra el elemento (o dos elementos) en la tabla de registro (Tabla 10), se evalúa luego en la tabla diseñada (Fig. 21), además la transición y el beam utilizado en la medición.

(c.3) Se calcula el valor de error porcentual de la energía del pico respecto a la energía teórica.

(c.4) Si existen varios elementos cercanos a la energía emitida, se debe seleccionar el elemento con menor error porcentual y transición de mayor probabilidad. Se registra finalmente los datos en el resumen final ilustrado en la Fig. 21.

Figura 20

Formato utilizado para seguimiento de picos (un beam)

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_{r_1}	M_{r_2}
3	Li					34	Se	11,224	12,497	1,379	1,419	65	Tb	44,482	50,385	6,273	6,975	1,240	1,269
4	Be	0.108				35	Br	11,924	13,292	1,481	1,526	66	Dy	45,999	52,113	6,498	7,248	1,293	1,325
5	B	0.183				36	Kr	12,648	14,112	1,585	1,636	67	Ho	47,547	53,877	6,720	7,526	1,348	1,383
6	C	0.277				37	Rb	13,396	14,961	1,692	1,751	68	Er	49,128	55,674	6,949	7,811	1,404	1,448
7	N	0.392				38	Sr	14,165	15,835	1,806	1,871	69	Tm	50,742	57,505	7,180	8,102	1,462	1,503
8	O	0.525				39	Y	14,958	16,739	1,924	1,998	70	Yb	52,388	59,382	7,416	8,402	1,526	1,573
9	F	0.677				40	Zr	15,775	17,668	2,044	2,126	71	Lu	54,070	61,290	7,655	8,710	1,580	1,630
10	Ne	0.849				41	Nb	16,615	18,625	2,169	2,260	72	Hf	55,790	63,244	7,899	9,023	1,646	1,700
11	Na	1.040				42	Mo	17,480	19,606	2,292	2,394	73	Ta	57,535	65,222	8,146	9,343	1,712	1,770
12	Mg	1.254	1.302			43	Tc	18,367	20,626	2,423	2,535	74	W	59,318	67,244	8,398	9,672	1,775	1,838
13	Al	1.486	1.557			44	Ru	19,279	21,656	2,558	2,683	75	Re	61,141	69,309	8,652	10,010	1,843	1,906
14	Si	1.740	1.837			45	Rh	20,216	22,724	2,697	2,834	76	Os	63,000	71,414	8,911	10,354	1,907	1,978
15	P	2.010	2.139			46	Pd	21,177	23,818	2,838	2,990	77	Ir	64,896	73,560	9,175	10,708	1,980	2,052
16	S	2.309	2.465			47	Ag	22,163	24,941	2,983	3,150	78	Pt	66,831	75,750	9,442	11,071	2,050	2,127
17	Cl	2.622	2.812			48	Cd	23,173	26,093	3,133	3,315	79	Au	68,806	77,982	9,713	11,443	2,123	2,203
18	Ar	2.958	3.190			49	In	24,210	27,275	3,286	3,487	80	Hg	70,818	80,255	9,989	11,824	2,195	2,281
19	K	3.314	3.590			50	Sn	25,271	28,485	3,444	3,663	81	Tl	72,872	82,573	10,269	12,213	2,271	2,363
20	Ca	3.692	4.013	0.341	0.345	51	Sb	26,359	29,725	3,604	3,842	82	Pb	74,970	84,939	10,551	12,614	2,342	2,444
21	Sc	4.093	4.464	0.395	0.400	52	Te	27,473	30,993	3,768	4,029	83	Bi	77,107	87,349	10,839	13,023	2,423	2,526
22	Ti	4.512	4.933	0.452	0.458	53	I	28,612	32,294	3,938	4,221	84	Po	79,291	89,803	11,131	13,446	2,499	2,614
23	V	4.953	5.428	0.510	0.518	54	Xe	29,775	33,620	4,110	4,418	85	At	81,516	92,304	11,427	13,876	2,577	2,699
24	Cr	5.415	5.947	0.572	0.582	55	Cs	30,973	34,982	4,285	4,619	86	Rn	83,785	94,866	11,727	14,315	2,654	2,784
25	Mn	5.900	6.492	0.637	0.648	56	Ba	32,194	36,378	4,466	4,828	87	Fr	86,106	97,474	12,031	14,771	2,732	2,868
26	Fe	6.405	7.059	0.705	0.718	57	La	33,442	37,797	4,647	5,038	88	Ra	88,478	100,130	12,339	15,236	2,806	2,949
27	Co	6.931	7.649	0.775	0.790	58	Ce	34,720	39,256	4,839	5,262	89	Ac	90,884	102,846	12,652	15,713	2,900	3,051
28	Ni	7.480	8.267	0.849	0.866	59	Pr	36,027	40,749	5,035	5,492	90	Th	93,351	105,605	12,968	16,202	2,996	3,149
29	Cu	8.046	8.904	0.928	0.947	60	Nd	37,361	42,272	5,228	5,719	91	Pa	95,888	108,427	13,291	16,703	3,082	3,240
30	Zn	8.637	9.570	1.012	1.035	61	Pm	38,725	43,827	5,432	5,961	92	U	98,440	111,303	13,614	17,220	3,171	3,336
31	Ga	9.251	10,267	1.098	1.125	62	Sm	40,118	45,414	5,633	6,201	93	Np	101,059	114,234	13,946	17,751	3,250	3,435
32	Ge	9.886	10,982	1.188	1.218	63	Eu	41,542	47,038	5,849	6,458	94	Pu	103,734	117,228	14,282	18,296	3,339	3,534
33	As	10,543	11,726	1,282	1,317	64	Gd	42,996	48,695	6,053	6,708	95	Am	106,472	120,284	14,620	18,856	3,438	3,646

www.bruker.com/hxrf

Americas / Asia / Rest of World

Europe / Middle East / Africa

Nota. Página web de Bruker. Periodic_Table_of_Elements_and_X-ray_Energies_Bruker

Tabla 10

Formato de tabla de registro

PARU1-K1 (Test1-B1)

Energía	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
19.787893	315	19.6072820	molibdeno	K β 1	0.01%			
20.410002	296	20.2695260	rodio	K α 1	0.26%			
21.453.538	341	21.0722460	paladio	K α 1	0.49%			
23.13925	315	22.6977540	rodio	K β 1	0.12%			

Nota. Formato de los elementos detectados en el rango de energía analizado

Figura 21

Seguimiento de picos (3 beams)

PARU Molido (Beam 1)					PARU Molido (Beam 2)					PARU Molido (Beam 3)				
Elemento	Transic.	Teórico	Pico	Error (%)	Elemento	Transic.	Teórico	Pico	Error (%)	Elemento	Transic.	Teórico	Pico	Error (%)
Sr (Stroncio)	K α	14.165	14.1497	0.11%	Sr (Stroncio)	K α	14.165	14.1698	0.03%	Sr (Stroncio)	K α	14.165		100.00%
	K β	15.835		100.00%		K β	15.835		100.00%		K β	15.835		100.00%
	L α	1.806		100.00%		L α	1.806		100.00%		L α	2.08762		100.00%
	L β	1.871		100.00%		L β	1.871		100.00%		L β	1.871		100.00%
P (Fósforo)	K α	2.01		100.00%	P (Fósforo)	K α	2.01		100.00%	P (Fósforo)	K α	2.01	2.007525	0.13%
	K β	2.139		100.00%		K β	2.139		100.00%		K β	2.139	2.087619	2.40%
S (Azufre)	K α	2.309		100.00%	S (Azufre)	K α	2.309		100.00%	S (Azufre)	K α	2.309	2.328459	0.84%
	K β	2.465		100.00%		K β	2.465		100.00%		K β	2.465		100.00%
Cl (Cloro)	K α	2.622	2.6295	0.29%	Cl (Cloro)	K α	2.622	2.62951	0.29%	Cl (Cloro)	K α	2.622	2.629509	0.29%
	K β	2.812		100.00%		K β	2.812		100.00%		K β	2.812	2.830209	0.65%
K (Potasio)	K α	3.314	3.29182	0.67%	K (Potasio)	K α	3.314	3.33196	0.54%	K (Potasio)	K α	3.314	3.331959	0.54%
	K β	3.59		100.00%		K β	3.59		100.00%		K β	3.59		100.00%
Ca (Calcio)	K α	3.692	3.69322	0.03%	Ca (Calcio)	K α	3.692	3.69322	0.03%	Ca (Calcio)	K α	3.692	3.713289	0.58%
	K β	4.013		100.00%		K β	4.013		100.00%		K β	4.013	4.034409	0.53%
Mn (Mangan eso)	K α	5.9		100.00%	Mn (Mangan eso)	K α	5.9		100.00%	Mn (Mangan eso)	K α	5.9	5.920989	0.36%
	K β	6.492		100.00%		K β	6.492		100.00%		K β	6.492		100.00%
Fe (Hierro)	K α	6.405	6.42274	0.28%	Fe (Hierro)	K α	6.405	6.40267	0.04%	Fe (Hierro)	K α	6.405	6.402669	0.04%
	K β	7.059		100.00%		K β	7.059		100.00%		K β	7.059		100.00%
Ni (Niquel)	K α	7.48	7.50652	0.35%	Ni (Niquel)	K α	7.48	7.50652	0.35%	Ni (Niquel)	K α	7.48		100.00%
	K β	8.267		100.00%		K β	8.267		100.00%		K β	8.267	8.188899	0.94%
Cu (Cobre)	K α	8.046	8.02834	0.22%	Cu (Cobre)	K α	8.046	8.02834	0.22%	Cu (Cobre)	K α	8.046	8.048409	0.03%
	K β	8.904		100.00%		K β	8.904		100.00%		K β	8.904		100.00%
Zn (Zinc)	K α	8.637	8.61037	0.31%	Zn (Zinc)	K α	8.637	8.65051	0.16%	Zn (Zinc)	K α	8.637	8.690649	0.62%
	K β	9.57		100.00%		K β	9.57	9.61387	0.46%		K β	9.57		100.00%
Rb (Rubidio)	L α	13.396	13.367	0.22%	Rb (Rubidio)	L α	13.396	13.4272	0.23%	Rb (Rubidio)	L α	13.396		
	L β	14.961		100.00%		L β	14.961		100.00%		L β	14.961		
Nb (Niobidio)	K α	16.615		100.00%	Nb (Niobidio)	K α	16.615		100.00%	Nb (Niobidio)	K α	16.615		100.00%
	K β	18.625	18.8461	1.19%		K β	18.625	18.826	1.08%		K β	18.625		100.00%
Rh (Rodio)	K α	20.216	20.1908	0.12%	Rh (Rodio)	K α	20.216	20.1707	0.22%	Rh (Rodio)	K α	20.216		100.00%
	K β	22.724	22.7597	0.16%		K β	22.724	22.7396	0.07%		K β	22.724		100.00%
Pd (Paladio)	K α	21.177	21.0538	0.58%	Pd (Paladio)	K α	21.177	20.9936	0.87%	Pd (Paladio)	K α	21.177		100.00%
	K β	23.818		100.00%		K β	23.818		100.00%		K β	23.818		

Elementos:

EN AZUL, elementos que pertenecen al primer grupo de detección del Beam correspondiente.

EN VERDE, elementos que pertenecen al segundo grupo de detección del Beam correspondiente.

EN BLANCO, elementos que no pertenecen a ningún grupo de detección (existen casos en que el SPM capta elementos así no estén en sus grupos de detección).

ENERGÍA:

En naranja, valores de energía captados como picos en el espectro o en la gráfica.

Nota. Elaboración propia

d) Filtraje y validación de las líneas características

Para el filtraje de las líneas no relevantes se tomó en cuenta los valores propios del espectrómetro para su retiro del espectro de medición, considerando así sólo los valores correspondientes a la muestra.

Un punto de interés es determinar que beams intervinieron en la detección de los elementos y cuando la detección ocurre a pesar de que el elemento no está en el rango del beam.

Esta información permite identificar dos elementos como el azufre y el cloro no esperados en la composición de la kiwicha pero detectados en los 3 beams. Esto requirió una revisión de los elementos intervinientes en la medición, encontrando estos elementos en la composición del container de plástico utilizado (Anexo 3).

Figura 22

Beams que detectan los elementos que componen las muestras

Elemento	LEOnoD (EXPORTSPM - DETECCIÓN CON BEAMS)			Observación
	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF) - Análisis del ExportSPM			
	PARURO	PAUCAR	257C	Observaciones
Stroncio (Sr)	B1, B2	B1, B2	B1, B2	
Fósforo (P)	B3	B3	B3	
Azufre (S)	B3	B3	B3	Tal vez por container plástico
Cloro (Cl)	B1, B2, B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3	Tal vez por container plástico
Potasio (K)	B1, B2, B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3	
Calcio (Ca)	B1, B2, B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3	
Manganeso (Mn)	B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3	
Hierro (Fe)	B1	B1, B2, B3	B1, B2, B3	
Níquel (Ni)	B1, B2, B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3	
Cobre (Cu)	B1, B2, B3	B1, B2	B1, B2	
Zinc (Zn)	B1, B2, B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3	
Rubidio (Rb)	B1, B2	B1, B2	B2	
Niobidio ((Nb)	B1, B2	B1, B2	B1, B2	Captados en todos los espectros
Rodio (Rh)	B1, B2	B1, B2	B1, B2	Captados en todos los espectros
Paladio (Rb)	B1, B2	B1, B2	B1, B2	Captados en todos los espectros
Magnesio				
Sodio				

LEYENDA

Beams (B1, B2, B3)
En negro los considerados en el grupo de detección de cada beam.
En rojo cuando el elemento no está incluido en el grupo de detcción del beam.

Elementos:
En celeste, elementos esperados según papers.
En amarillo, los elementos no encontrados en papers, con observaciones en columna derecha
En melón, los elementos encontrados en los beams 1 y 2 sin importar la configuración del espectrómetro, muestra medida ni container utilizado

Nota. Elaboración propia

De esta manera se obtiene los elementos correspondientes a la medición del espectrometro pero a la vez los elementos que debemos filtrar por no corresponder al rango de detección de los beams o por deberse a fuentes de posible contaminación como el container de la muestra.

e) En base a los elementos determinados, se identifica los valores PPM y Error (declarados en el archivo Data Export por cada elemento)

Para trabajar en el archivo Export Data, primero se pasa del formato CSV (separado por comas) al formato excel, con lo que se obtiene una tabla con las mediciones realizadas en las 3 procedencias. De esta manera tenemos el resultado por cada test con los PPM y el valor de error por cada elemento. En esta etapa se realiza el filtro final, se retiran los valores que estén fuera de rango (indicados como "<LOD") y los valores que presenten un error mayor al 10%.

3.12 Mediciones Realizadas

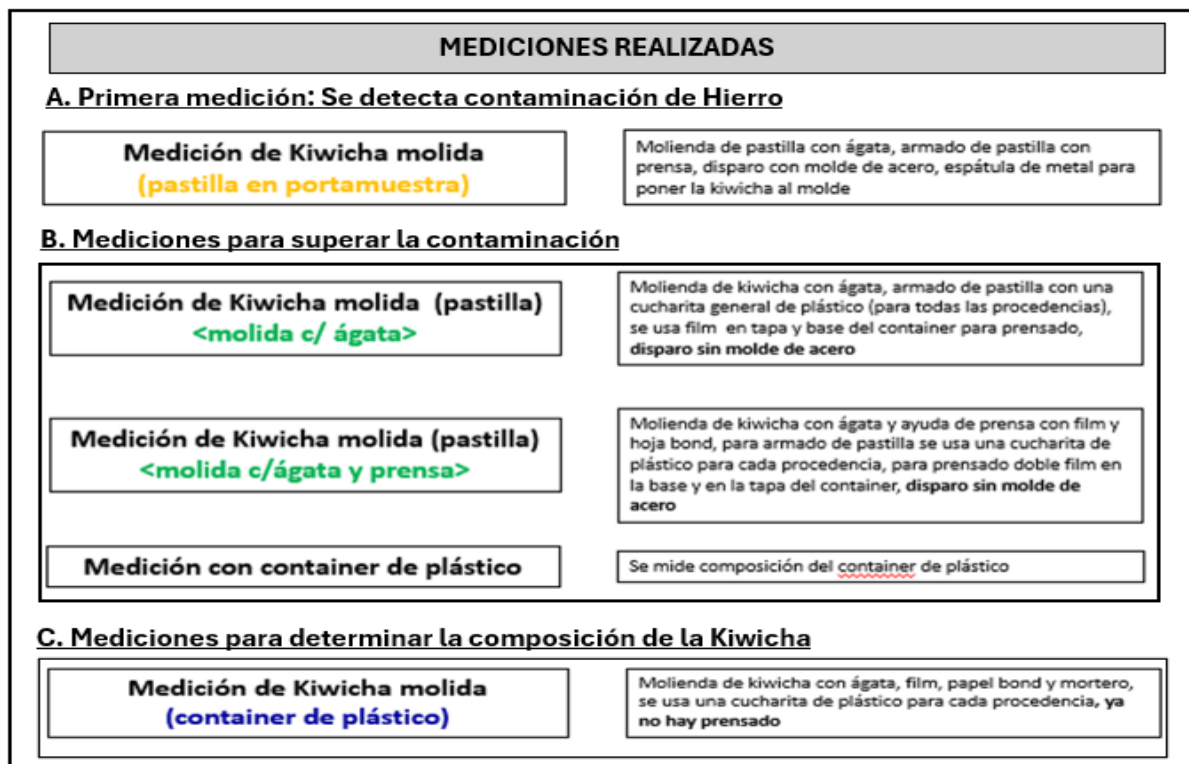
En las primeras mediciones realizadas se detecta una contaminación de hierro visible claramente en el espectro y en el archivo Export Data, esto exige un proceso de pruebas para la identificación del problema, su origen y la solución respectiva.

La contaminación permanece en las pruebas con molienda de pastilla con ágata, espátula de metal (y otro de plástico) para poner la kiwicha al molde, armado de pastilla con prensa (con y sin film en las bases), disparo con molde de acero y otra prueba de disparo sin molde de acero. En todos estos casos la contaminación de hierro continuó reflejándose en el resultado del Export Data. Como se ve en estas pruebas, la parte común es el uso del molde de acero, por lo cual se decide utilizar moldes de otro material, cambiando así a un container de plástico (polipropileno). Se elabora entonces un container de plástico, adaptado para contener la mezcla de kiwicha; su uso da resultados positivos en los reportes del Export Data, incluyendo así el container plástico en el proceso experimental.

En la siguiente figura se resumen las mediciones realizadas.

Figura 23

Mediciones realizadas



Nota. Elaboración propia

3.13 Adaptación de Container para Solución de la Contaminación de Hierro

Para superar la contaminación de hierro se opta por evitar el uso del porta muestra metálico, confeccionando en cambio un contenedor a partir de una jeringa de inyectables, al utilizar este accesorio se evita además el uso de la prensa para generación de pastillas.

Según los resultados iniciales la contaminación no sólo se refleja en un valor muy alto de hierro, sino también de cromo, esto justificó el cambio de material.

Para la adaptación de un container de plástico se realiza el siguiente procedimiento:

- Se utiliza una jeringa de 10 mL (Fig. 24)

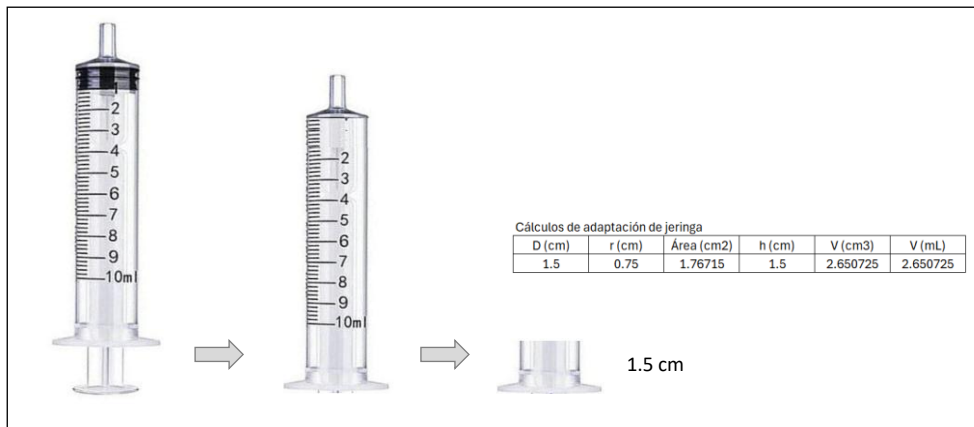
- Nos quedamos sólo con el tubo o cilindro de la jeringa, retirando el pivote y el émbolo con el pistón de hule
- Se realiza un corte desde la base a una altura de 1.5 cm (evitando la tinta de las marcas en el tubo) (Fig. 25)
- Se lija el porta muestra para retirar residuos en el punto de corte
- Se realiza dos lavados con agua destilada y se deja secar
- Utilizando medidas básicas de protección (lentes y guantes) se realiza un lavado con ácido nítrico, para eliminar residuos de tinta y suciedad
- Se lava dos veces con agua destilada y se deja secar

Figura 24

Jeringa y partes



Nota. Elaboración propia

Figura 25*Secuencia de adaptación física**Nota. Elaboración propia***3.14 Técnica para Demostrar la Verdad o Falsedad de la Hipótesis Planteada**

Se utiliza la comparación de resultados de la composición macro y micro mineral de las mediciones con espectroscopía FRX de las diferentes procedencias y finalmente comparado con los resultados de estudios extranjeros en artículos científicos.

En el análisis comparativo se toma en cuenta los elementos existentes en la composición química de la kiwicha, así como el porcentaje entre los elementos de una misma atribución y muestra.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Procesamiento, Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

Con la adquisición de los datos y la entrega de información por parte del espectrómetro, se inicia la etapa del procesamiento, orientado a preparar las condiciones para llevar a cabo el análisis. Es en la ejecución de este procedimiento que se detectó elementos en proporciones no esperadas (hierro, cromo). Por este motivo, el procesamiento y análisis se realiza en 2 grupos, un primer grupo donde se trabaja las mediciones con presencia contaminante del hierro y un segundo grupo donde se ha reemplazado el porta-muestra por uno adaptado no metálico y retirando con ello la contaminación inicial. De esta forma se presentan a continuación el procesamiento y análisis de estos dos grupos.

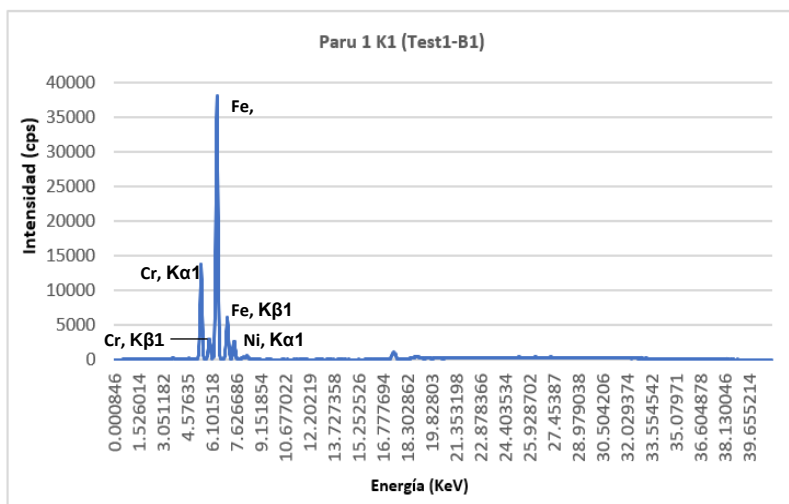
4.1.1 Análisis de mediciones con contaminación de hierro

A continuación se realiza el análisis de las mediciones iniciales realizadas con el portamuestra metálico, los análisis se efectuaron aplicando las técnicas descritas en 3.10 y 3.11.

4.1.1.1 Análisis de Paru1–K1(Test1–B1)

Figura 26

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 11*Elementos identificados en PARU1–K1 (Test1–B1)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.2518620	3.412406	174	3.3120660	potasio	K α 1	0.06%			
3.6130860	3.793698	240	3.6732900	calcio	K α 1	0.51%			
4.5562820	4.736894	180	4.6766900	lantano	L α 1	0.64%			
5.2586620	5.599818	13715	5.4192060	cromo	K α 1	0.08%			
5.8205660	6.041314	2930	5.9409740	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.3222660	6.502878	38056	6.4025380	hierro	K α 1	0.08%			
6.9644420	7.165122	6067	7.0647820	hierro	K β 1	0.09%			
7.3658020	7.606618	2534	7.4661420	níquel	K α 1	0.03%			
8.1885940	8.409338	526	8.2889300	níquel	K β 1	0.21%			
8.5698820	9.031446	170	8.6902900	zinc	K α 1	0.62%			
17.2994620	17.62055	1093	17.4600060	molibdeno	K α 1	0.11%			
18.7042220	19.12565	400	18.8045620	niobio	K β 1	0.96%			
19.4868740	19.787893	315	19.6072820	molibdeno	K β 1	0.01%			
19.9283700	20.410002	296	20.2695260	rodio	K α 1	0.26%			
20.8314300	21.453.538	341	21.0722460	paladio	K α 1	0.49%			
22.5522780	23.13925	315	22.6977540	rodio	K β 1	0.12%			

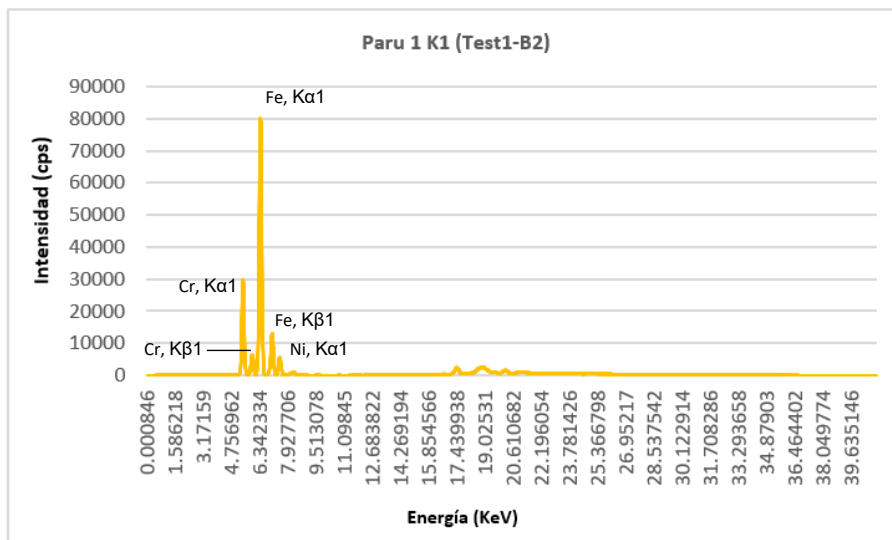
En el análisis de las mediciones PARU1-K1 (Test1–Beam 1) se encontró los macro minerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1), además los micro minerales hierro (K α 1 y K β 1) y zinc (K α 1). En estas mediciones se observa la concentración excesiva de hierro, no proveniente de la muestra debido a las concentraciones menores en investigaciones nacionales e internacionales. A su vez se detecta alto contenido de cromo (K α 1), elemento inexistente en la composición convencional de la kiwicha. Por su parte el cromo (K β 1) también presenta alta intensidad cps pero cuya energía de detección es cercana al del manganeso (K α 1), por lo cual tuvo que determinarse su presencia en base a su menor error porcentual relativo.

Por su parte, la presencia de níquel (K α 1 y K β 1) está en relación 5 a 1 respectivamente, y se mantiene así también en los siguientes análisis de medición.

4.1.1.2 Análisis de Paru1-K1 (Test1-B2)

Figura 27

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 12

Elementos identificados en PARU1-K1 (Test1-B2)

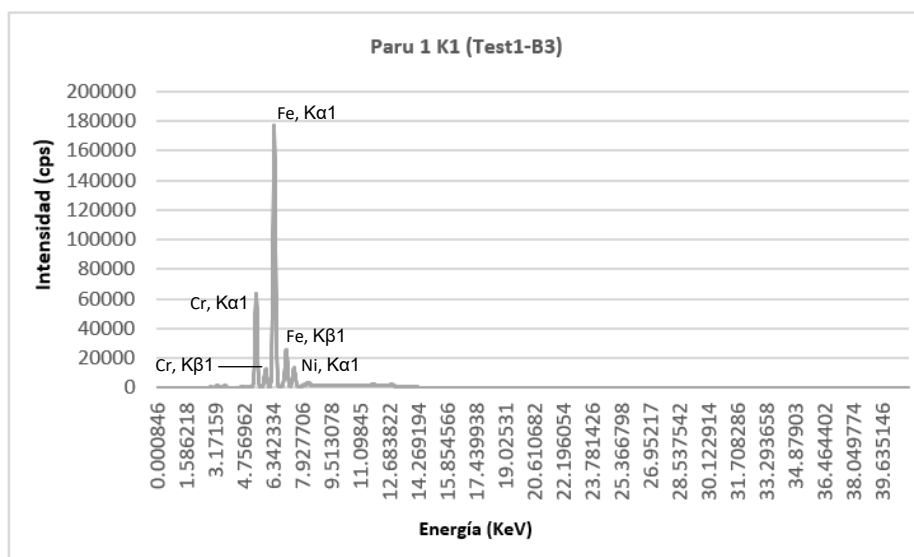
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.2518620	3.412406	295	3.3321340	potasio	Ka1	0.55%			
3.5930180	3.77363	406	3.6933580	calcio	Ka1	0.04%			
4.5562820	4.756962	384	4.6566220	lantano	La1	0.21%			
5.2586620	5.619886	29700	5.4192060	cromo	Ka1	0.80%			
5.8004980	6.08145	5524	5.9409740	manganeso	Ka1	0.69%	cromo	Kb1	0.10%
6.2620620	6.563082	80124	6.4025380	hierro	Ka1	0.04%			
6.9042380	7.225326	12830	7.0647820	hierro	Kb1	0.08%			
7.3457340	7.666822	5844	7.4862100	níquel	Ka1	0.08%			
7.9879100	8.168522	493	8.0481140	cobre	Ka1	3.20%			
8.1885900	8.429406	1094	8.2688620	níquel	Kb1	0.02%			
8.5096780	8.730426	153	8.6501540	zinc	Ka1	0.15%			
17.2392580	17.660686	2516	17.4600060	molibdeno	Ka1	0.11%			
18.5436780	19.286194	2572	18.8647660	niobio	Kb1	1.28%			
19.4868740	19.787894	1075	19.6474180	rodio	Ka1	2.81%			
19.9083020	20.410002	1587	20.2093220	rodio	Ka1	0,03%			
20.8514980	21.453538	1029	21.2528580	paladio	Ka1	0.36%			
22.5373100	22.958638	779	22.7178220	rodio	Kb1	0.03%			

En el análisis de las mediciones PARU1–K1 (Test1–Beam 2) se encontró los macro minerales potasio ($K\alpha 1$) y calcio ($K\alpha 1$), siendo éste último el elemento con menor porcentaje de error relativo (0.04%). En este caso también se detectaron los micro minerales hierro ($K\alpha 1$ y $K\beta 1$) y zinc ($K\alpha 1$); sin embargo, aparece a la vez cobre ($K\alpha 1$) aunque con un mayor error porcentual relativo (3.2%). La concentración excesiva de hierro y cromo superan los niveles esperados, por lo que no proviene de la muestra. Nuevamente se tiene la presencia de cromo ($K\alpha 1$), elemento inesperado en seudocereales como la kiwicha, pero si asociado a la presencia de aleaciones hierro - cromo. Por su parte, el cromo ($K\beta 1$) presenta una menor intensidad (cps) que el cromo ($K\alpha 1$), siendo su energía de detección también cercana al del manganeso ($K\alpha 1$), por ello fue necesario determinar el elemento mediante su menor error relativo. Adicionalmente se detecta níquel ($K\alpha 1$ y $K\beta 1$), pero en niveles superiores a las referencias en otros estudios. Por este motivo se hizo necesario verificar la relación de existencia de hierro en aleación con cromo y níquel.

4.1.1.3 Análisis de Paru–K1 (Test1–B3)

Figura 28

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 13*Elementos identificados en PARU1-K1 (Test1-B3)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.8505020	3.011046	511	2.9609100	paladio	Lβ1	0.64%			
3.1916580	3.47261	1567	3.3321340	potasio	Kα1	0.55%			
3.5528820	3.793698	1573	6.6933580	calcio	Kα1	0.04%			
4.5562820	4.817166	819	4.6566220	lantano	Lα1	0.21%			
4.8974380	5.037914	307	4.9375740	Titanio	Kβ1	0.09%			
5.1984580	5.660022	63482	5.4192060	cromo	Kα1	0.08%			
5.8607020	6.001178	12868	5.9409740	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.3021980	6.522946	177526	6.4025380	hierro	Kα1	0.04%			
7.0045780	7.145054	25912	7.0647820	hierro	Kβ1	0.08%			
7.4059380	7.566482	13536	7.4862100	níquel	Kα1	0.08%			
7.9477740	8.108318	2009	8.0681820	cobre	Kα1	0.28%			
8.148454	8.409338	3263	8.2688620	níquel	Kβ1	0.02%			
11.660354	12.021578	2296	11.840966	mercurio	Lβ1	0.14%	bromo	Kα1	0.70%
12.643686	12.984842	2104	12.804230	Actinio	Lα1	1.20%	torio	Lα1	1.26%
13.366134	13.647086	997	13.486542	Polonio	Lβ1	0.30%	Rubidio	Kα1	0.68%
13.747426	13.968174	649	13.867834	uranio	Lα1	1.86%	Astato	Lβ1	0.06%

En el análisis de las mediciones PARU1–K1 (Test1–Beam 3) se tiene un menor rango de energía (entre 0 y 15 KeV), por ello este beam tiene menor capacidad de detección. A nivel de macro minerales se encontró potasio (Kα1) y calcio (Kα1), ambos reiterativos en los beams anteriores. En micro minerales se encontró hierro (Kα1 y Kβ1).

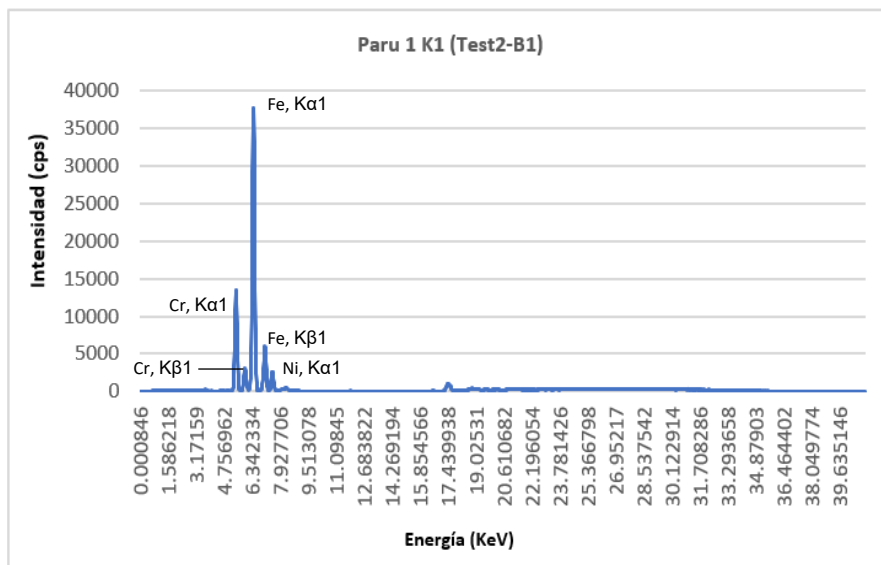
Los niveles detectados en hierro y cromo exceden a lo esperado, siendo incluso mayores que los encontrados con los beams 1 y 2 anteriores. Estos elementos fueron encontrados en los mismos valores de energía, por ello se trata de las mismas transiciones en ambos casos.

No se considera níquel ni cobre por no corresponder al rango de detección del beam 3.

4.1.1.4 Análisis de Paru1-K1 (Test2-B1)

Figura 29

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 14

Elementos identificados en Paru1-K1(Test 2-B1)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.27193	3.492678	180	3.312066	potasio	Kα1	0.06%			
3.532814	3.813766	234	3.673290	calcio	Kα1	0.51%			
4.516146	4.837234	177	4.676690	lantano	Lα1	0.64%			
5.298798	5.559682	13487	5.419206	cromo	Kα1	0.08%			
5.760362	6.101518	3008	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.221926	6.603218	37711	6.402538	hierro	Kα1	0.04%			
6.924306	7.165122	6000	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%			
7.365802	7.566482	2551	7.486210	níquel	Kα1	0.08%			
7.88757	8.108318	374	8.068182	Cobre	Kα1	0.28%			
8.128386	8.449474	476	8.268862	níquel	Kb1	0.02%			
8.449474	8.810698	165	8.630086	Zinc	Kα1	0.08%			
17.259326	17.700822	1075	17.460006	uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.383134	19.366466	417	18.824630	niobio	Kβ1	1.07%	americio	Lβ1	0.17%
19.366466	19.787894	330	19.607282	molibdeno	Kβ1	0.01%	rodio	Kα1	3.01%
19.868166	20.450138	296	20.209322	molibdeno	Kβ1	3.08%	rodio	Kα1	0.03%
20.650818	22.015442	340	21.172586	tecnecio	Kβ1	2.65%	paladio	Kα1	0.02%
22.23619	24.420202	361	25.467138	estaño	Kα1	0.78%	cadmio	Kβ1	2.40%

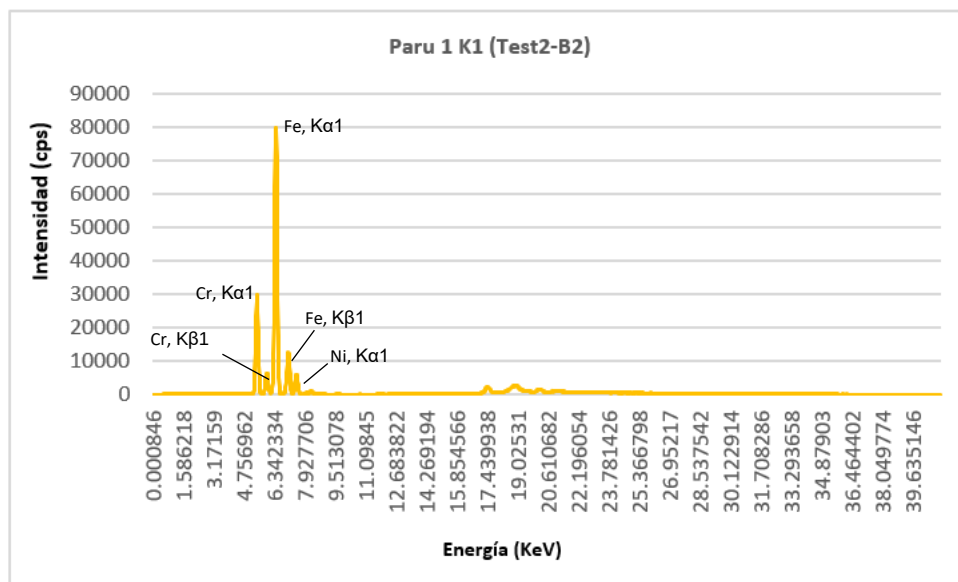
En el análisis de las mediciones PARU1–K1 (Test2–Beam 1) se encontró los macro minerales potasio ($K\alpha 1$) y calcio ($K\alpha 1$), además los micro minerales hierro ($K\alpha 1$ y $K\beta 1$), cobre ($K\alpha 1$) y zinc ($K\alpha 1$). En estas mediciones se mantiene la concentración excesiva de hierro, cromo y níquel, contando con intensidad (cps) semejante para cada elemento en PARU1-K1(Test1-B1).

La relación de níquel ($K\alpha 1$) y níquel $K\beta 1$) continúa en relación aprox. de 5 a 1, tal como en el análisis de PARU1-K1 (Test1-B1).

4.1.1.5 Análisis de Paru1–K1 (Test2–B2)

Figura 30

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 15*Elementos identificados en PARU1-K1 (Test2-B2)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.810366	3.111386	159	2.990978	paladio	L β 1	0.03%	torio	M α 1	0.17%
3.211726	3.452542	290	3.332134	cadmio	L β 1	0.52%	potasio	K α 1	0,54%
3.633154	3.77363	425	3.693358	calcio	K α 1	0.04%			
4.516146	4.817166	380	4.656622	lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
5.338934	5.519546	29777	5.419206	cromo	K α 1	0.08%			
5.840634	6.021246	6303	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.241994	6.58315	79943	6.402538	hierro	K α 1	0.04%			
6.944374	7.18519	12686	7.064782	hierro	K β 1	0.08%			
7.405938	7.566482	5871	7.486210	níquel	K α 1	0.08%			
7.867502	8.08825	497	8.048114	cobre	K α 1	0.03%			
8.108318	8.38927	1005	8.248794	níquel	K β 1	0.22%			
11.680422	12.061714	204	11.861034	bromo	K α 1	0.53%			
17.21919	17.740958	2377	17.460006	uranio	L β 1	1.39%	molibdeno	K α 1	0.11%
18.443338	19.42667	2635	18.864766	americio	L β 1	0.05%	niobio	K β 1	1.28%
19.42667	19.848098	1093	19.567146	rutenio	K α 1	1.49%	molibdeno	K β 1	0.20%
19.908302	20.43007	1509	20.189254	molibdeno	K β 1	2.97%	rodio	K α 1	0.13%
20.690954	21.774626	1067	21.112382	tecnecio	K β 1	2.36%	paladio	K α 1	0.31%
22.416802	23.099114	747	22.717822	plata	K α 1	2.50%	rodio	K β 1	0.03%

En PARU1–K1 (Test2–Beam 2) el análisis encontró los macro minerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1), teniendo éste último un error relativo de 0.04%, igual que en el análisis de PARU1–K1 (Test1–Beam 2). En la detección de potasio se captó también cadmio, pero prevaleció potasio debido a que su transición K α 1 tiene mayor probabilidad que L β 1 del cadmio.

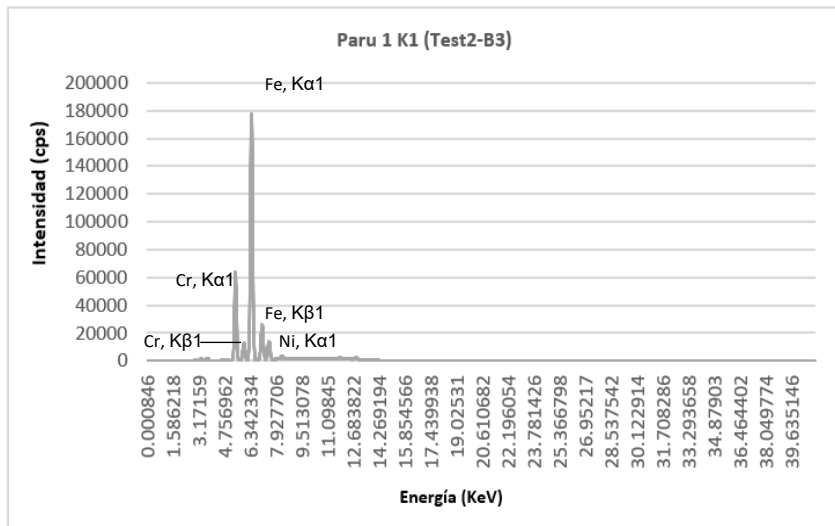
En microminerales se detectaron: hierro (K α 1 y K β 1) y cobre (K α 1), éste último con menor error relativo que en PARU1–K1 (Test1–Beam 2). Otra diferencia es que en este análisis PARU1–K1 (Test2–Beam 2) no se detecta zinc. En cambio, se mantienen los niveles altos en cromo, hierro y níquel, siendo aproximadamente iguales.

El cromo (K α 1) sigue presentando mayor intensidad que el cromo (K β 1); en éste último su energía de detección es cercana al del manganeso (K α 1), por ello fue necesario determinar el elemento considerando el de menor error relativo.

4.1.1.6 Análisis de Paru1-K1 (Test2-B3)

Figura 31

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 16

Elementos identificados en PARU1-K1 (Test2-B3)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.26853	2.449142	125	2.288598	mercurio	Mβ1	0.33%	molibdeno	Lα1	0.15%
2.850502	3.151522	558	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.64%
3.251862	3.392338	1617	3.312066	potasio	Kα1	0.06%			
3.57295	3.77363	1585	3.693358	Calcio	Kα1	0.04%			
4.516146	4.817166	797	4.676690	lantano	Lα1	0.64%	bario	Lβ1	3.13%
5.27873	5.559682	63920	5.419206	Cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.021246	12716	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	177375	6.402538	Hierro	Kα1	0.04%			
6.964442	7.165122	25915	7.064782	Hierro	Kβ1	0.08%			
7.38587	7.58655	13457	7.466142	níquel	Kα1	0.19%			
7.867502	8.148454	1984	8.148454	níquel	Kβ1	1.43%			
8.18859	8.409338	3291	8.288930	níquel	Kβ1	0.27%			
11.60015	12.041646	2278	11.820898	Radón	Lα1	0.80%	bromo	Kα1	0.87%
13.346066	13.70729	1037	13.446406	Polonio	Lβ1	0.00%	Rubidio	Kα1	0.38%
18.32293	19.406602	424	18.904902	Niobio	Kβ1	1.50%	rutenio	Kα1	1.94%
19.42667	19.82803	325	19.607282	molibdeno	Kβ1	0.01%	rodio	Kα1	3.01%
19.948438	20.490274	317	20.169186	molibdeno	Kβ1	2.87%	rodio	Kα1	0.23%
20.510342	21.73449	366	21.152518	tecnecio	Kβ1	2.55%	paladio	Kα1	0.12%

El análisis de PARU1–K1 (Test2–Beam 3) tiene un menor rango de energía (entre 0 y 15 KeV), debido a característica del 3er. beam. Producto de este segundo test del beam 3, se obtuvo los siguientes macrominerales: potasio ($K\alpha_1$) y calcio ($K\alpha_1$); mientras en microminerales se tiene: hierro ($K\alpha_1$ y $K\beta_1$), no encontrándose cobre, como si se encontró en PARU1–K1 (Test1–Beam 3).

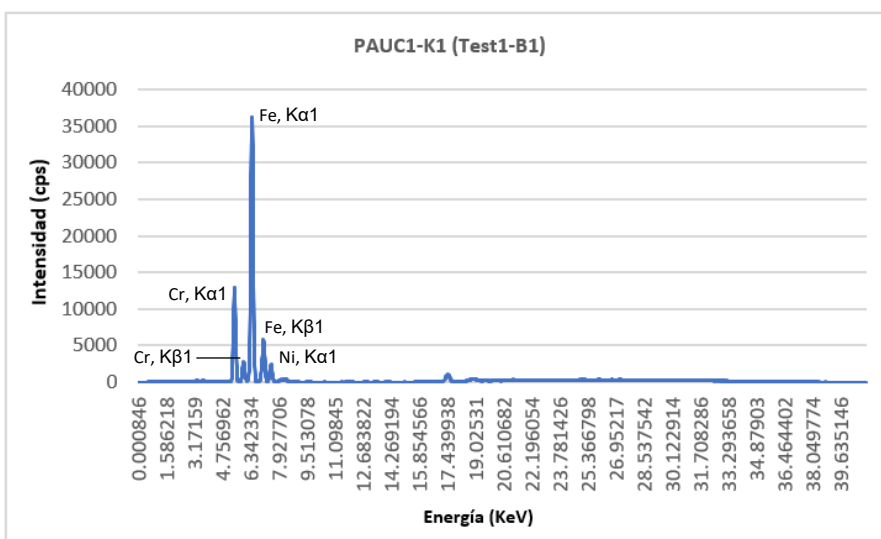
Los niveles detectados en hierro y cromo en ambos test (1 y 2) son semejantes y siempre son mayores que los encontrados con los beams 1 y 2 de ambos tests. .

Respecto al níquel, está presente en ambas transiciones ($K\alpha_1$ y $K\beta_1$) y mantiene su relación aproximada de 4 a 1, igual que en el test 1.

4.1.1.7 Análisis de Pauc1–K1 (Test1–B1)

Figura 32

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 17*Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test1-B1)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.211726	3.432474	198	3.312066	Indio	L α 1	0.79%	potasio	K α 1	0.06%
3.552882	3.833834	216	3.693358	calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
4.536214	4.77703	173	4.676690	lantano	L α 1	0.64%	bario	L β 1	3.13%
5.318866	5.539614	12949	5.419206	cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.800498	6.061382	2866	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.241994	6.58315	36273	6.402538	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.924306	7.18519	5886	7.064782	hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.405938	7.566482	2397	7.486210	níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.927706	8.18859	390	8.048114	cobre	K α 1	0.03%	tulio	L β 1	0.67%
8.208658	8.409338	485	8.288930	níquel	K β 1	0.27%	wolframio	L α 1	1.30%
8.48961	9.031446	171	8.650154	zinc	K α 1	0.15%	Renio	L α 1	0.02%
17.21919	17.700822	1063	17.439938	uranio	L β 1	1.28%	molibdeno	K α 1	0.23%
22.577346	22.83823	345	22.757958	rodio	K β 1	0.15%	cadmio	K α 1	1.79%

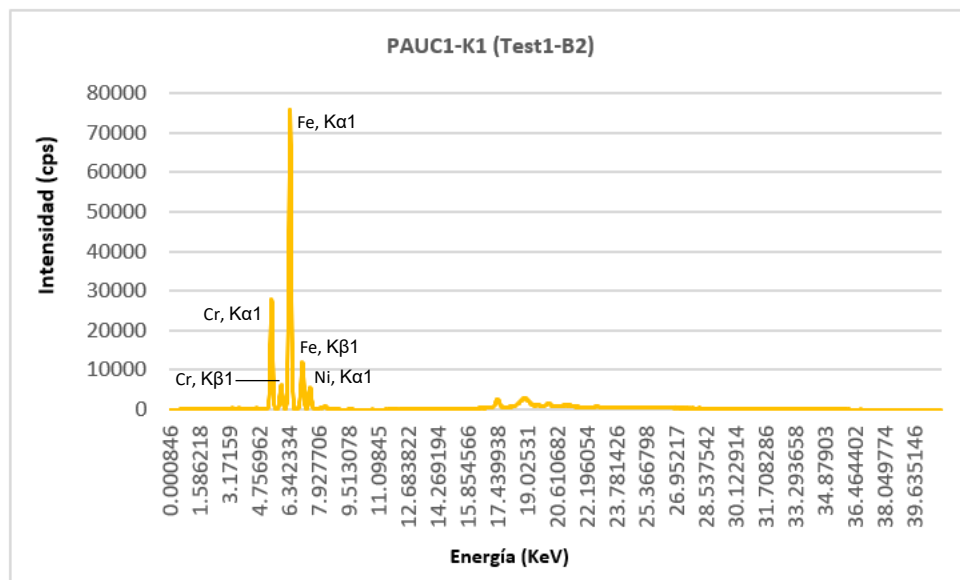
En el análisis de las mediciones PAUC1–K1 (Test1–Beam1) se encontró los macrominerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1), también los microminerales hierro (K α 1 y K β 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1). En estas mediciones se mantiene la alta intensidad (cps) de hierro, cromo y níquel, siendo sus valores semejantes a lo medido en PARU1-K1 (Test1-B1)..

La relación entre níquel (K α 1) y níquel K β 1) continúa en aprox. de 5 a 1, tal como en el análisis de PARU1-K1 (Test1-B1).

4.1.1.8 Análisis de Pauc1-K1 (Test1-B2)

Figura 33

Intensidad(cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 18*Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test1-B2)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.251862	3.47261	372	3.312066	Indio	L α 1	0.79%	Potasio	K α 1	0.06%
3.593018	3.833834	445	3.673290	Estaño	L β 1	0.28%	Calcio	K α 1	0.51%
4.57635	4.77703	388	4.656622	Lantano	L α 1	0.21%	Bario	L β 1	3.55%
5.338934	5.519546	27880	5.419206	Cromo	K α 1	0.08%	Vanadio	K β 1	0.16%
5.78043	6.08145	6110	5.940974	Manganeso	K α 1	0.69%	Cromo	K β 1	0.10%
6.28213	6.543014	75685	6.402538	Terbio	L α 1	2.07%	Hierro	K α 1	0.04%
6.964442	7.165122	12096	7.064782	Hierro	K β 1	0.08%	Tulio	L α 1	1.60%
7.325666	7.646754	5622	7.486210	Níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.947774	8.148454	493	8.048114	Cobre	K α 1	0.03%	Tulio	L β 1	0.67%
8.168522	8.48961	969	8.248794	Tántalo	L α 1	1.26%	Níquel	K β 1	0.22%
8.529746	8.79063	158	8.650154	Zinc	K α 1	0.15%	Renio	L α 1	0.02%
17.179054	17.740958	2496	17.460006	Uranio	L β 1	1.39%	Molibdeno	K α 1	0.11%
18.403202	19.406602	2909	18.945038	Niobio	K β 1	1.72%	Rutenio	K α 1	1.73%
19.466806	19.787894	1202	19.587214	Rutenio	K α 1	1.60%	Molibdeno	K β 1	0.10%
19.968506	20.410002	1643	20.169186	Molibdeno	K β 1	2.87%	Rodio	K α 1	0.23%
20.550478	21.573946	1158	21.032110	Tecnecio	K β 1	1.97%	Paladio	K α 1	0.68%
22.416802	23.058978	801	22.697754	Plata	K α 1	2.41%	Rodio	K β 1	0.12%

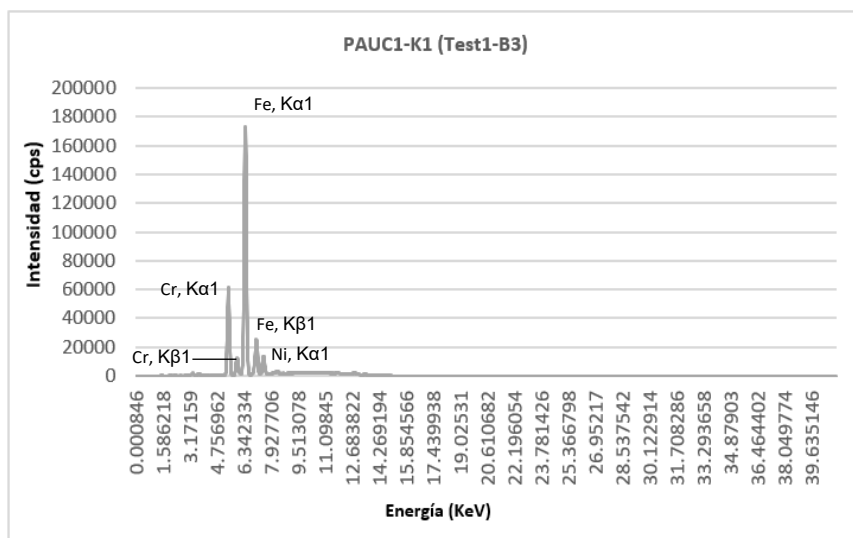
En PAUC1–K1 (Test1–Beam 2) el análisis encontró los macrominerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1). En la detección de potasio se captó también Indio, pero prevaleció potasio debido a que su transición K α 1 tiene mayor probabilidad que L β 1 del Indio.

En microminerales se detectaron: hierro (K α 1 y K β 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1). A la vez se mantienen los niveles altos en cromo, hierro y níquel.

4.1.1.9 Análisis de Pauc1-K1 (Test1-B3)

Figura 34

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 19

Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test1-B3)

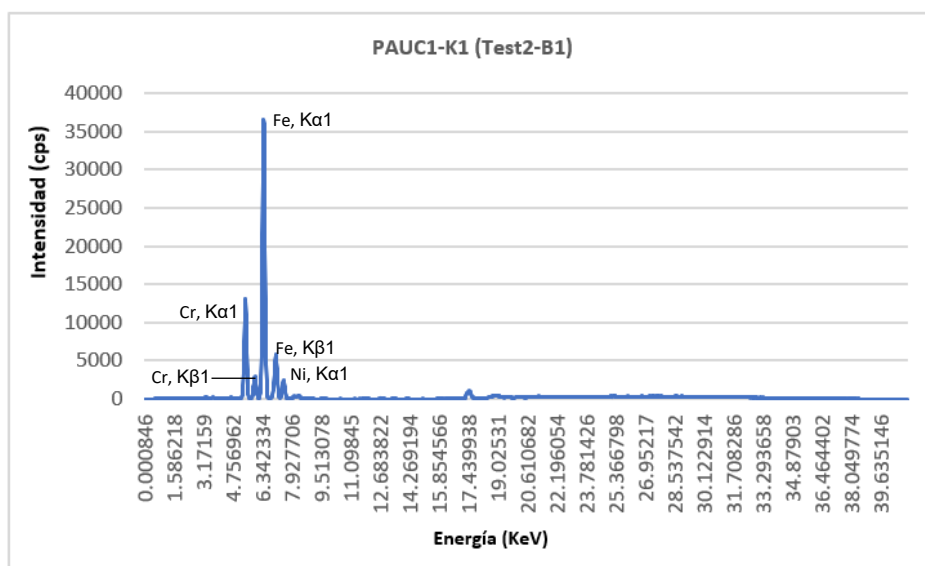
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.927374	2.128054	134	2.027714	fósforo	Kα1	0.88%	Circonio	Lα1	0.80%
2.228394	2.4096	173051	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
2.850502	3.07125	543	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.64%
3.27193	3.392338	2151	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	potasio	Kα1	0.55%
3.633154	3.753562	1759	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
3.934174	4.114786	252	4.014446	calcio	Kβ1	0.04%	telurio	Lβ1	0.36%
4.556282	4.756962	767	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
4.87737	5.057982	302	4.957642	vanadio	Kα1	0.09%	Titanio	Kβ1	-0.50%
5.218526	5.57975	61059	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.860702	6.021246	12300	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.302198	6.543014	173051	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.964442	7.145054	25561	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.345734	7.646754	13484	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
8.168522	8.38927	3357	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
12.70389	13.125318	2165	12.844366	Actinio	Lα1	1.52%	torio	Lα1	0.95%
13.346066	13.586882	1109	13.426338	Rubidio	Kα1	0.23%	Polonio	Lβ1	0.15%
13.827698	13.988242	661	13.928038	estroncio	Kα1	1.67%	Neptunio	Lα1	0.13%
14.931438	15.01171	109	14.971574	Rubidio	Kβ1	0.07%	Radio	Lβ1	1.74%

El análisis de PAUC-K1 (Test1 – Beam 3) obtuvo los siguientes macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1); mientras en microminerales se tiene: hierro (K α 1 y K β 1), no encontrándose cobre. Otro elemento encontrado es: estroncio (K α 1).

4.1.1.10 Análisis de Pauc1-K1 (Test2-B1)

Figura 35

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 20*Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test2-B1)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.231794	3.37227	226	3.332134	cadmio	L β 1	0.52%	potasio	K α 1	0.55%
3.57295	3.813766	233	3.673290	estaño	L β 1	0.28%	calcio	K α 1	0.51%
4.516146	4.817166	196	4.656622	lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
5.318866	5.519546	13099	5.419206	cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.840634	6.021246	3046	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.302198	6.522946	36573	6.402538	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.924306	7.165122	5781	7.064782	hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.405938	7.546414	2492	7.486210	níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.927706	8.168522	361	8.068182	cobre	K α 1	0.28%	tulio	L β 1	0.42%
8.228726	8.429406	483	8.308998	níquel	K β 1	0.51%	wolframio	L α 1	1.06%
8.509678	8.911038	166	8.650154	Zinc	K α 1	0.15%	Renio	L α 1	0.02%
17.239258	17.660686	1053	17.460006	uranio	L β 1	1.39%	molibdeno	K α 1	0.11%
18.503542	19.22599	434	18.864766	niobio	K β 1	1.29%	rutenio	K α 1	2.15%
19.42667	19.767826	339	19.607282	molibdeno	K β 1	0.01%	rodio	K α 1	3.01%
19.948438	20.470206	323	20.169186	molibdeno	K β 1	2.87%	rodio	K α 1	0.23%
20.93177	21.814762	374	21.192654	paladio	K α 1	0.07%	rutenio	K β 1	2.14%

En el análisis de las mediciones PAUC1–K1 (Test2–Beam1) se encontró los macrominerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1), siempre en estas transiciones más probables que los otros elementos en el mismo rango pero con transiciones L β 1.

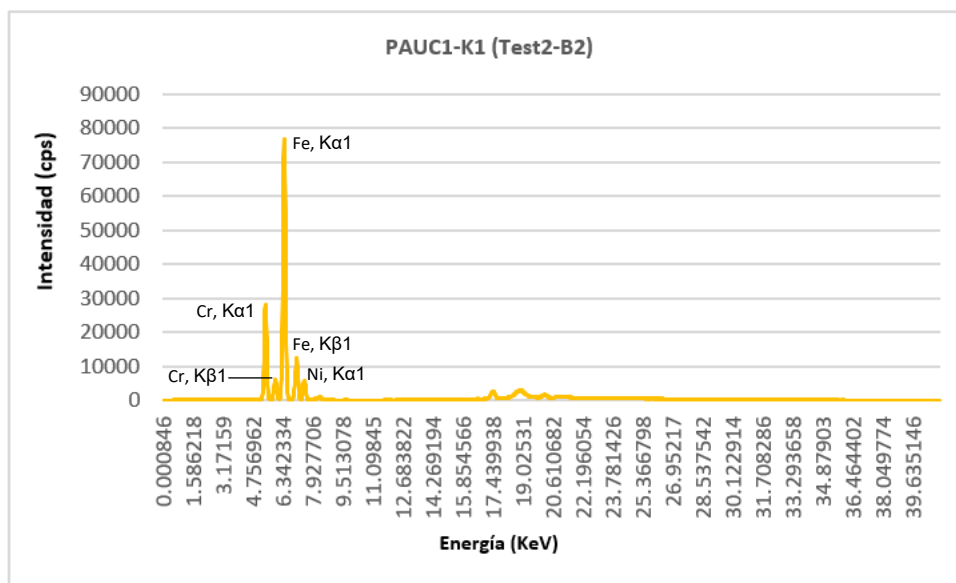
También se encontraron los microminerales: hierro (K α 1 y K β 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1). Encontramos que se mantiene la alta intensidad (cps) de hierro, cromo y níquel, siendo sus valores semejantes a PAUC1-K1 (Test1-B1)..

La relación entre níquel (K α 1) y níquel K β 1) continúa en aprox. de 5 a 1, tal como en el análisis de PAUC1-K1 (Test1-B1).

4.1.1.11 Análisis de Pauc1-K1 (Test2-B2)

Figura 36

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 21

Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test2-B2)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.191658	3.392338	409	3.332134	Cadmio	Lβ1	0.52%	potasio	Kα1	0.55%
3.532814	3.853902	428	3.673290	Estaño	Lβ1	0.28%	calcio	Kα1	0.51%
4.57635	4.77703	364	4.676690	Lantano	Lα1	0.64%	bario	Lβ1	3.13%
4.857302	5.057982	159	4.977710	Vanadio	Kα1	0.50%	Praseodimio	Lα1	1.14%
5.338934	5.519546	28065	5.419206	Cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.041314	6070	5.940974	Manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	76667	6.402538	Terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.964442	7.145054	12499	7.064782	Hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.405938	7.566482	5762	7.486210	Níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.927706	8.128386	478	8.048114	Cobre	Kα1	0.03%	tulio	Lβ1	0.67%
8.168522	8.38927	1005	8.268862	Níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
17.239258	17.680754	2563	17.460006	Uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.463406	19.386534	2925	18.945038	Americio	Lβ1	0.47%	niobio	Kβ1	1.718%
19.466806	19.787894	1169	19.567146	Rutenio	Kα1	1.49%	molibdeno	Kβ1	0.20%
19.948438	20.470206	1618	20.169186	Molibdeno	Kβ1	2.87%	rodio	Kα1	0.23%
20.711022	21.674286	1170	21.132450	Tecnecio	Kβ1	2.46%	paladio	Kα1	0.21%
22.617482	22.83823	821	22.697754	Plata	Kα1	2.41%	rodio	Kβ1	0.12%

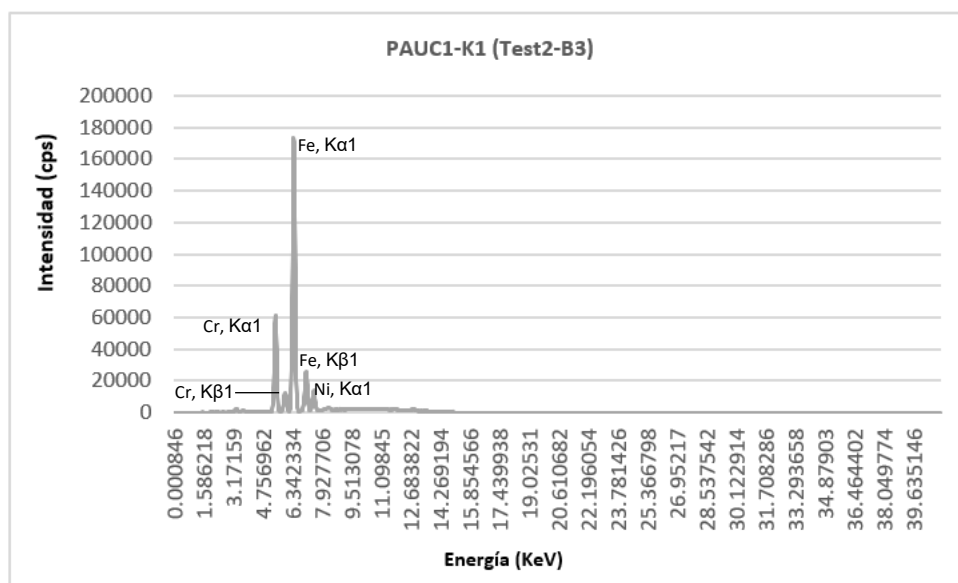
En PAUC1–K1 (Test2–Beam 2) el análisis encuentra los macrominerales potasio ($K\alpha 1$) y calcio ($K\alpha 1$). En la detección de potasio se captó también cadmio; sin embargo, se considera potasio debido a que su transición $K\alpha 1$ tiene mayor probabilidad que $L\beta 1$ del cadmio.

Respecto a microminerales, se detectaron: hierro ($K\alpha 1$ y $K\beta 1$) y cobre ($K\alpha 1$). cromo, hierro y níquel continúan con altas intensidades (cps).

4.1.1.12 Análisis de Pauc1–K1 (Test2–B3)

Figura 37

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 22*Elementos identificados en PAUC1-K1 (Test2-B3)*

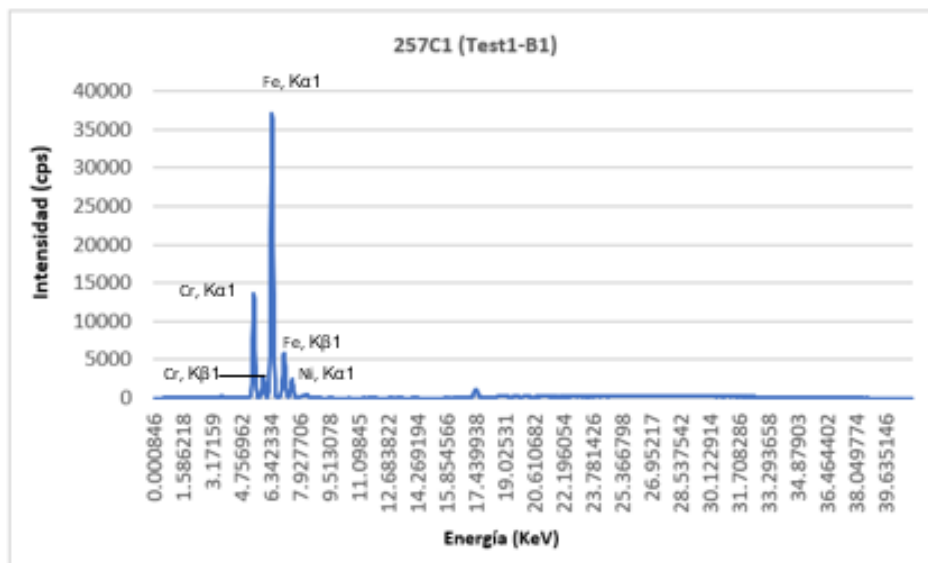
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.425674	1.626354	83	1.505946	Tulio	M β 1	0.20%	bromo	L β 1	1.31%
1.947442	2.107986	138	1.987578	Fósforo	K α 1	1.12%	Itrio	L β 1	0.52%
2.228394	2.409006	150	2.308666	Molibdeno	L α 1	0.73%	azufre	K α 1	0.01%
2.850502	3.091318	521	2.950842	Paladio	L β 1	1.31%	Argón	K α 1	0.24%
3.231794	3.432474	2171	3.332134	cadmio	L β 1	0.52%	uranio	M β 1	0.12%
3.57295	3.793698	1730	3.693358	calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
3.954242	4.114786	249	4.014446	calcio	K β 1	0.04%	telurio	L β 1	0.36%
4.57635	4.736894	752	4.656622	lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
4.897438	5.037914	312	4.997778	vanadio	K α 1	0.90%	Rubidio	K α 1	-0.53%
5.27873	5.559682	61116	5.419206	cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.840634	6.041314	12414	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.241994	6.563082	173477	6.402538	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.964442	7.165122	25522	7.064782	hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.38587	7.566482	13765	7.486210	níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.907638	8.108318	2010	8.088250	cobre	K α 1	0.53%	tulio	L β 1	0.17%
8.148454	8.349134	3331	8.268862	níquel	K β 1	0.02%	wolframio	L α 1	1.54%
11.740626	12.021578	2354	11.820898	Radón	L α 1	0.80%	mercurio	L β 1	0.03%
13.366134	13.546746	1115	13.466474	Polonio	L β 1	0.15%	Rubidio	K α 1	-0.53%

En PAUC-K1 (Test2-Beam 3) el análisis obtuvo los siguientes macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1); mientras en microminerales se tiene: hierro (K α 1 y K β 1), no encontrándose cobre. Respecto al níquel, está presente en ambas transiciones (K α 1 y K β 1) y mantiene su relación aproximada de 4 a 1, igual que en el test 1.

4.1.1.13 Análisis de 257C-K1 (Test1-B1)

Figura 38

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 23*Elementos identificados en 257C-K1 (Test1-B1)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.2518620	3.4726100	167	3.332134	cadmio	L β 1	0.52%	potasio	K α 1	0.55%
3.57295	3.77363	263	3.693358	calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
4.47601	4.77703	183	4.656622	lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
5.27873	5.539614	13592	5.419206	cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.840634	6.021246	2797	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.241994	6.563082	37057	6.402538	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.904238	7.165122	5909	7.064782	hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.345734	7.566482	2408	7.486210	níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.88757	8.108318	335	8.068182	cobre	K α 1	0.28%	tulio	L β 1	0.42%
8.168522	8.38927	488	8.268862	níquel	K β 1	0.02%	wolframio	L α 1	1.54%
8.509678	8.770562	149	8.610018	iterbio	L β 1	2.48%	zinc	K α 1	0.31%
11.640286	12.141986	129	11.881102	mercurio	L β 1	0.48%	bromo	K α 1	0.36%
17.239258	17.660686	1048	17.460006	uranio	L β 1	1.39%	molibdeno	K α 1	0.11%
18.383134	19.306262	303	18.985174	niobio	K β 1	1.93%	rutenio	K α 1	1.52%
19.346398	19.747758	316	19.607282	molibdeno	K β 1	0.01%	rodio	K α 1	3.01%
19.948438	20.450138	263	20.169186	molibdeno	K β 1	2.87%	rodio	K α 1	0.23%
20.650818	21.614082	265	21.192654	paladio	K α 1	0.07%	rutenio	K β 1	2.14%

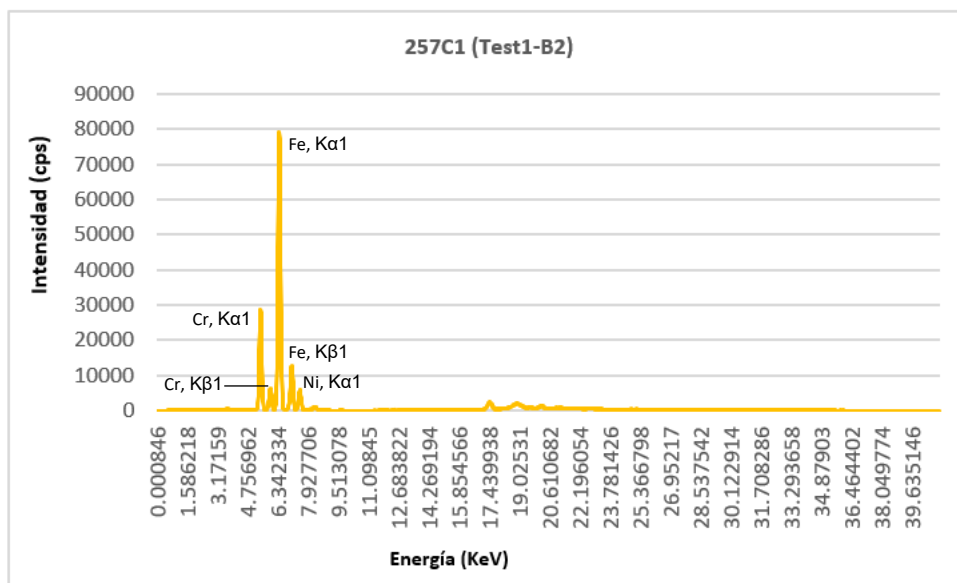
En el análisis de 257C-K1 (Test1 – Beam 1) se encontró los macrominerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1), también los microminerales hierro (K α 1 y K β 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1). En estas mediciones se mantiene la alta intensidad (cps) de hierro, cromo y níquel, siendo sus valores semejantes a lo medido en PARU1-K1 (Test1-B1)..

La relación entre níquel (K α 1) y níquel K β 1) continúa en aprox. de 5 a 1, tal como en el análisis de PARU1-K1 (Test1-B1).

4.1.1.14 Análisis de 257C–K1 (Test1 – B2)

Figura 39

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 24

Elementos identificados en 257C-K1 (Test1-B2)

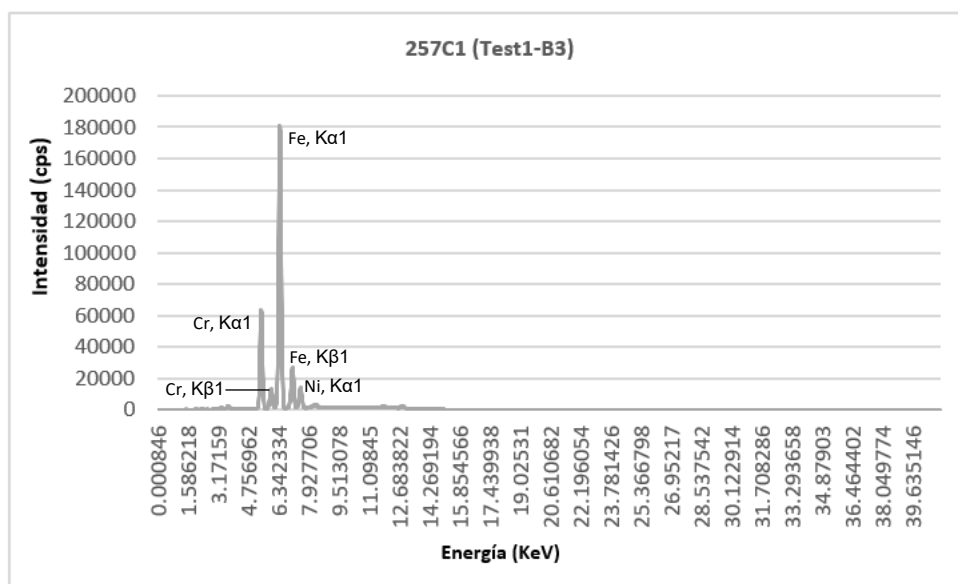
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.2317940	3.4726100	300	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	potasio	Kα1	0.55%
3.552882	3.793698	529	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.47601	4.77703	380	4.676690	lantano	Lα1	0.64%	bario	Lβ1	3.13%
5.298798	5.539614	28757	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.021246	6232	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.241994	6.563082	79224	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.924306	7.165122	12600	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.405938	7.566482	5867	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.967842	8.108318	462	8.088250	cobre	Kα1	0.53%	tulio	Lβ1	0.17%
8.128386	8.449474	1032	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
8.509678	8.810698	160	8.650154	zinc	Kα1	0.15%	Renio	Lα1	0.02%
11.660354	12.081782	364	11.921238	mercurio	Lβ1	0.82%	bromo	Kα1	0.02%
17.179054	17.660686	2386	17.439938	uranio	Lβ1	1.28%	molibdeno	Kα1	0.23%
18.403202	19.466806	1978	18.844698	niobio	Kβ1	1.18%	americio	Lβ1	0.06%
19.406602	19.908302	926	19.587214	rutenio	Kα1	1.60%	molibdeno	Kβ1	0.10%
19.868166	20.450138	1300	20.209322	molibdeno	Kβ1	3.08%	rodio	Kα1	0.03%
20.690954	21.493674	812	20.951838	tecnecio	Kβ1	1.58%	paladio	Kα1	1.06%
22.456938	22.898434	626	22.697754	Plata	Kα1	2.41%	rodio	Kβ1	0.12%

En 257C-K1 (Test1-Beam2) el análisis encontró los macrominerales potasio (K α 1) y calcio (K α 1). En microminerales, se detectaron: hierro (K α 1 y K β 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1). Se mantienen las altas intensidades (cps) en cromo, hierro y níquel.

4.1.1.15 Análisis de 257C-K1 (Test1-B3)

Figura 40

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 25*Elementos identificados en 257C-K1 (Test1-B3)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.927374	2.06785	132	2.027714	fósforo	Kα1	0.88%	Circonio	Lα1	0.80%
2.248462	2.388938	155	2.328734	azufre	Kα1	0.85%	Plomo	Ma1	0.57%
2.8505020	3.0511820	527	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	plata	Lα1	0.41%
3.191658	3.412406	1741	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	potasio	Kα1	0.55%
3.552882	3.853902	2368	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
3.914106	4.215126	374	4.034514	telurio	Lβ1	0.14%	Escandio	Kα1	1.43%
4.47601	4.837234	790	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.27873	5.559682	63873	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.800498	6.041314	12857	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	180527	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.944374	7.165122	26518	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.365802	7.58655	14049	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.867502	8.128386	1912	8.088250	cobre	Kα1	0.53%	tulio	Lβ1	0.17%
8.128386	8.509678	3258	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
11.640286	12.021578	2063	11.820898	Radón	Lα1	0.80%	mercurio	Lβ1	0.03%
12.60355	13.00491	1983	12.824298	Actinio	Lα1	1.36%	torio	Lα1	1.11%
13.366134	13.647086	898	13.486542	Polonio	Lβ1	0.30%	Rubidio	Kα1	0.68%

En 257C–K1 (Test1 – Beam 3) se obtuvo los siguientes macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1). En microminerales se detectó: hierro (Kα1 y Kβ1) y cobre (Kα1).

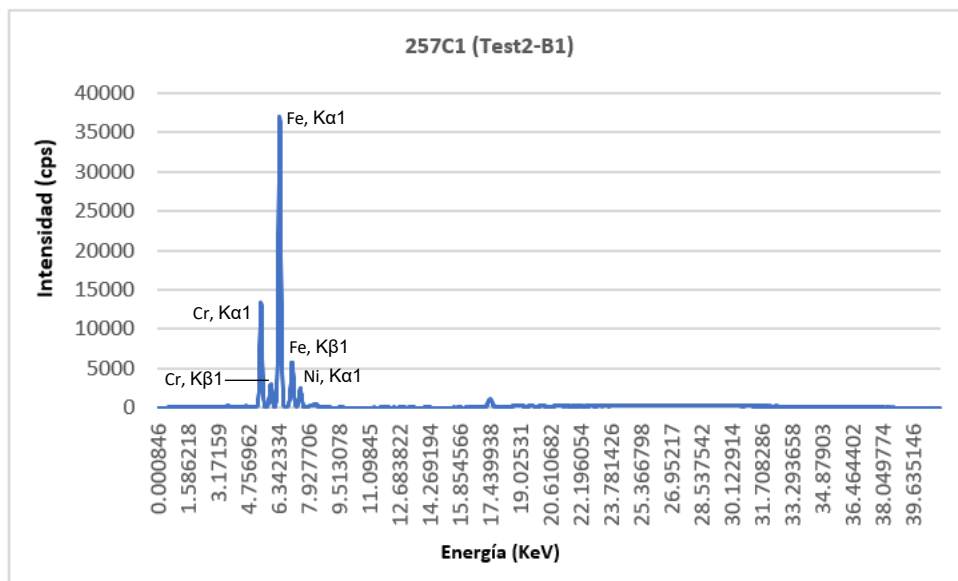
Respecto al níquel, está presente en ambas transiciones (Kα1 y Kβ1) y mantiene su relación aproximada de 4 a 1.

Las intensidades (cps) de hierro, cromo y níquel siguen siendo altas.

4.1.1.16 Análisis 257C-K1 (Test2 – B1)

Figura 41

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 26*Elementos identificados en 257C-K1 (Test2-B1)*

Energía 1	Energía 2	Energía pico	Conteo	Elem1	T1	Error 1	Elem2	T2	Error 2
3.2919980	3.3321340	3.312066	151	potasio	Kα1	0.06%			
3.2317940	3.4124060	3.352202	158	Plutonio	Mα1	0.40%	Neptunio	Mβ1	2.41%
3.593018	3.833834	3.693358	274	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.496078	4.817166	4.656622	214	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.298798	5.539614	5.419206	13328	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.041314	5.940974	2910	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	6.402538	37051	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
8.509678	8.99131	8.569882	146	iterbio	Lβ1	2.00%	zinc	Kα1	0.78%
6.904238	7.165122	7.044714	5685	terbio	Lβ1	1.00%	hierro	Kβ1	0.20%
7.405938	7.566482	7.466142	2457	iterbio	Lα1	0.68%	níquel	Kα1	0.19%
7.847434	8.168522	8.068182	344	cobre	Kα1	0.28%	tulio	Lβ1	0.42%
8.168522	8.429406	8.268862	501	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
8.469542	9.031446	8.569882	146	iterbio	Lβ1	2.00%	zinc	Kα1	0.78%
11.740626	12.061714	11.921238	121	mercurio	Lβ1	0.82%	bromo	Kα1	0.02%
17.179054	17.761026	17.460006	1051	uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.363066	19.266126	18.884834	320	americio	Lβ1	0.15%	rutenio	Kα1	2.04%
19.386534	19.82803	19.627350	278	molibdeno	Kβ1	0.11%	rodio	Kα1	2.91%
19.908302	20.309662	20.169186	273	molibdeno	Kβ1	2.87%	rodio	Kα1	0.23%
20.771226	21.93517	21.152518	280	tecnecio	Kβ1	2.55%	paladio	Kα1	0.12%

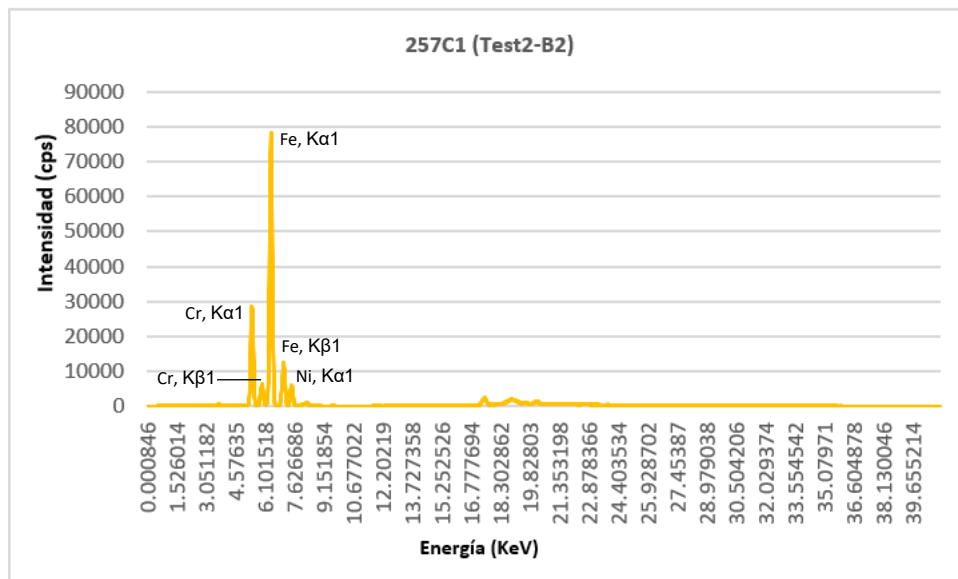
En el análisis de 257C-K1 (Test2–Beam 1) se detectó los macrominerales: potasio (Kα1), calcio (Kα1). En microminerales se detectó: hierro (Kα1 y Kβ1), cobre (Kα1) y zinc (Kα1). Siguen detectándose intensidades (cps) altas de hierro, cromo y níquel.

Otro elemento encontrado es: níquel (Kα1 y Kβ1)

4.1.1.17 Analisis de 257C–K1 (Test2 – B2)

Figura 42

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 27

Elementos identificados en 257C-K1 (Test2-B2)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.231794	3.452542	319	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	potasio	Kα1	0.55%
3.512746	3.853902	495	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.556282	4.87737	354	4.636554	Cesio	Lβ1	0.38%	lantano	Lα1	0.22%
5.27873	5.559682	28630	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.800498	6.021246	6249	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.241994	6.563082	78226	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.944374	7.18519	12478	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.365802	7.566482	5831	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.867502	8.148454	475	8.028046	Hafnio	Lα1	1.63%	cobre	Kα1	0.22%
8.168522	8.409338	1007	8.288930	níquel	Kβ1	0.27%	wolframio	Lα1	1.30%
8.509678	8.770562	157	8.650154	zinc	Kα1	0.15%	Renio	Lα1	0.02%
11.760694	12.081782	350	11.921238	mercurio	Lβ1	0.82%	bromo	Kα1	0.02%
17.21919	17.700822	2452	17.460006	uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.202522	19.366466	1984	18.864766	niobio	Kβ1	-1.29%	rutenio	Kα1	2.15%
19.406602	19.72769	938	19.587214	rutenio	Kα1	1.60%	molibdeno	Kβ1	0.10%
19.888234	20.450138	1311	20.209322	molibdeno	Kβ1	3.08%	rodio	Kα1	0.03%
20.751158	21.654218	794	21.112382	tecnecio	Kβ1	2.36%	paladio	Kα1	0.31%

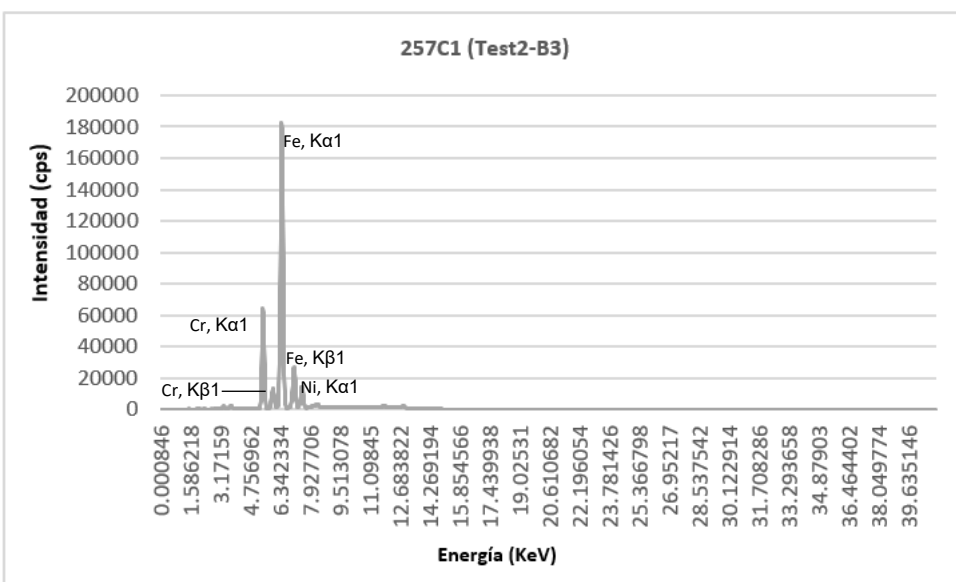
El análisis de 257C–K1 (Test2–Beam 2) encontró los macrominerales: potasio ($K\alpha 1$) y calcio ($K\alpha 1$). Y en microminerales se detectaron: hierro ($K\alpha 1$ y $K\beta 1$), cobre ($K\alpha 1$) y zinc ($K\alpha 1$). La intensidad (cps) alta en cromo, hierro y níquel se mantuvieron incluso en niveles semejantes a los obtenidos en 257C–K1 (Test1–Beam 2).

Otro elemento encontrado es: níquel ($K\alpha 1$ y $K\beta 1$)

4.1.1.18 Análisis de 257C–K1 (Test2–B3)

Figura 43

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 28*Elementos identificados en 257C-K1 (Test2-B3)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.425674	1.606286	99	1.505946	tulio	M β 1	0.20%	bromo	L β 1	1.31%
1.907306	2.128054	123	2.007646	Itrio	L β 1	0.48%	fósforo	K α 1	0.12%
2.248462	2.409006	137	2.308666	molibdeno	L α 1	0.73%	azufre	K α 1	0.01%
2.549482	2.730094	83	2.689958	rutenio	L β 1	0.26%	cloro	K α 1	2.59%
2.830434	3.111386	526	2.970910	Argón	K α 1	0.44%	paladio	L β 1	0.64%
3.231794	3.432474	1813	3.332134	cadmio	L β 1	0.52%	potasio	K α 1	0.55%
3.552882	3.853902	2484	3.693358	calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
4.516146	4.797098	799	4.656622	lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
5.258662	5.559682	64077	5.419206	cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.760362	6.041314	12943	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.18179	6.563082	182323	6.402538	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.904238	7.18519	26992	7.064782	hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.325666	7.58655	14025	7.486210	níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.847434	8.148454	1969	8.148454	Tántalo	L α 1	0.03%	níquel	K β 1	1.43%
8.148454	8.429406	3327	8.288930	níquel	K β 1	0.27%	wolframio	L α 1	1.30%
11.660354	12.041646	2082	11.820898	Radón	L α 1	0.80%	mercurio	L β 1	0.03%
12.683822	12.984842	1943	12.824298	Actinio	L α 1	1.36%	torio	L α 1	1.11%
13.285862	13.687222	927	13.486542	Polonio	L β 1	0.30%	Rubidio	K α 1	0.68%

En 257C–K1 (Test2 – Beam 3) se obtuvo los siguientes macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1). En microminerales se detectó: hierro (K α 1 y K β 1). Continúa la alta intensidad (cps) en hierro, cromo, níquel. En níquel se mantiene la relación aprox. 4 a 1 entre níquel (K α 1) y níquel (K β 1).

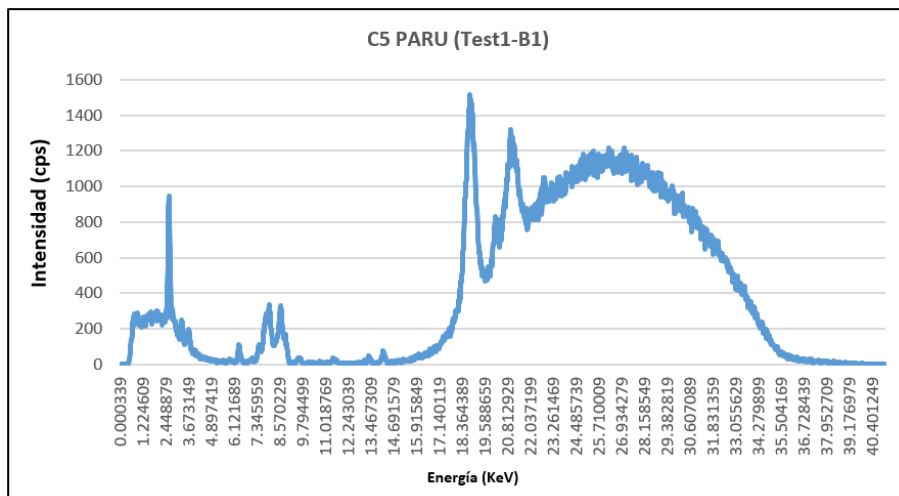
4.1.2 Análisis de mediciones sin contaminación de hierro

Finalmente se realiza el análisis del 2do grupo; es decir, las mediciones realizadas con el nuevo container de plástico, estos análisis se efectuaron aplicando las técnicas descritas en 3.10 y 3.11.

4.1.2.1 Análisis de C5 PARU (Test1 – B1)

Figura 44

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 29

Elementos identificados en C5 PARU (Test1-B1)

			Energía						
Energía 1	Energía 2	Conteo	pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.5291590	2.7298590	943	2.649579	cloro	Kα1	1.05%	Radón	Mα1	0.17%
2.790069	2.890419	315	2.830209	cloro	Kβ1	0.65%	rodio	Lβ1	0.13%
3.2516790	3.3720990	251	3.291819	Indio	Lα1	0.18%	potasio	Kα1	0.67%
3.6530790	3.7534290	196	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
6.3223890	6.4628790	109	6.402669	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
7.426239	7.647009	112	7.486449	níquel	Kα1	0.09%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.9279890	8.0885490	338	8.028339	Hafnio	Lα1	1.64%	cobre	Kα1	0.22%
8.5902990	8.6505090	332	8.610369	iterbio	Lβ1	2.48%	zinc	Kα1	0.31%
8.6505090	8.6906490	309	8.670579	Renio	Lα1	0.21%	zinc	Kα1	0.39%
18.705579	18.966489	1513	18.805929	niobio	Kβ1	0.97%	americio	Lβ1	0.27%
20.110479	20.351319	833	20.190759	molibdeno	Kβ1	2.98%	rodio	Kα1	0.12%
20.933349	21.374889	1322	21.013629	tecnecio	Kβ1	1.88%	paladio	Kα1	0.77%
22.699509	22.799859	1052	22.759719	rodio	Kβ1	0.16%	cadmio	Kα1	1.78%

El análisis de C5 PARU (Test1 – Beam 1) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1). En microminerales se detectó: hierro (Kα1), cobre (Kα1) y zinc (Kα1). Se detallan estos elementos en la tabla previa. Adicionalmente se detecta

alta intensidad (cps) de cloro ($K\alpha_1$ y $K\beta_1$) con energía menor a 3 KeV; es decir esta presencia de cloro no se encuentra en la zona de energías de los minerales encontrados.

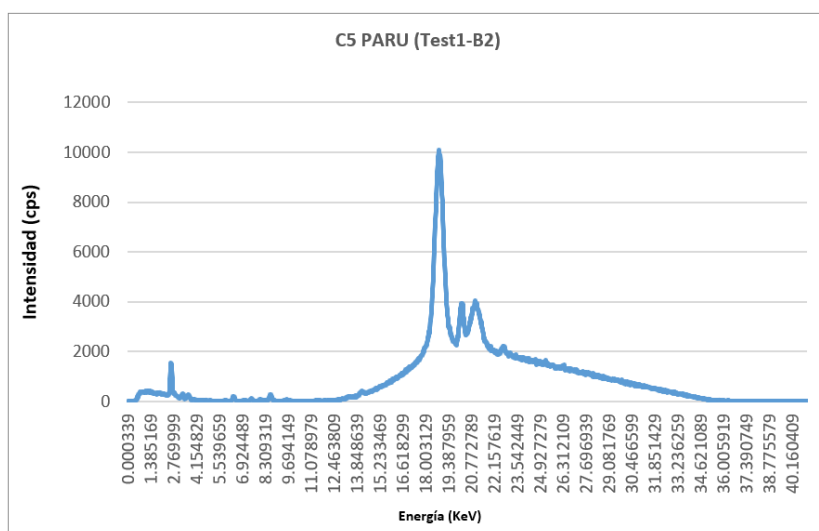
Cabe mencionar que ya no se detectan las intensidades altas del hierro, cromo y níquel, esto es una mejora, consecuencia del uso del nuevo portamuestra elaborado (de polipropileno).

Otro elemento detectado es: níquel ($K\alpha_1$)

4.1.2.2 Análisis de C5 PARU (Test1–B2)

Figura 45

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 30*Elementos identificados en C5 PARU (Test1-B2)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.509089	2.769999	1531	2.629509	cloro	K α 1	0.29%	Radón	M α 1	0.92%
3.231609	3.452379	330	3.331959	cadmio	L β 1	0.51%	potasio	K α 1	0.54%
3.532659	3.873849	263	3.693219	calcio	K α 1	0.03%	telurio	L α 1	1.98%
6.262179	6.603369	198	6.402669	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
7.345959	7.667079	126	7.506519	níquel	K α 1	0.35%	Holmio	L β 1	0.26%
8.489949	8.831139	285	8.650509	zinc	K α 1	0.16%	Renio	L α 1	0.02%
13.226469	13.547589	208	13.427169	Rubidio	K α 1	0.23%	Polonio	L β 1	0.14%
14.009199	14.350389	436	14.169759	estroncio	K α 1	0.03%	Plutonio	L α 1	0.79%
18.464739	19.207329	10093	18.825999	niobio	K β 1	1.08%	americio	L β 1	0.16%

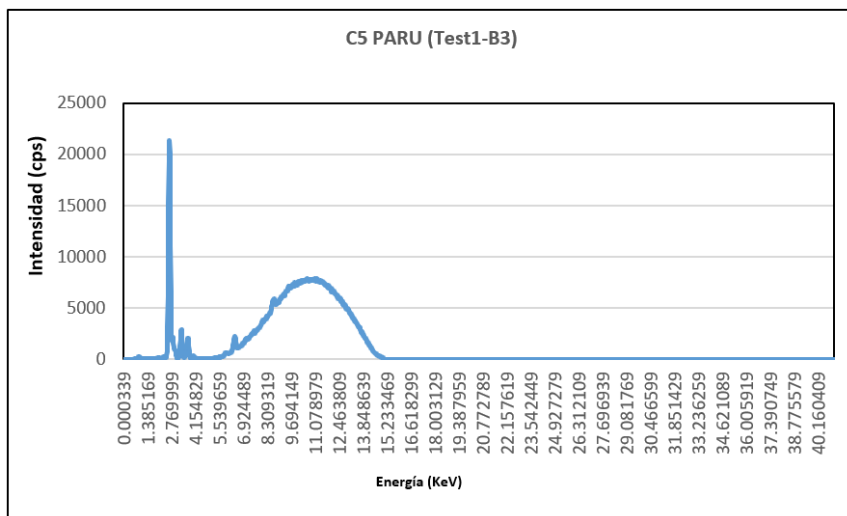
El análisis de C5 PARU (Test1 – Beam 2) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1). En microminerales se detectó: hierro (K α 1) y zinc (K α 1). Igual como en el Test 1 - Beam 1, se detecta alta intensidad (cps) de cloro (K α 1) con energía menor a 3 KeV. Esta presencia de cloro en las mediciones se debe a la composición del container de polipropileno.

Otros elementos detectados son: estroncio (K α 1) y níquel (K α 1)

4.1.2.3 Análisis de C5 PARU (Test1–B3)

Figura 46

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 31*Elementos identificados en C5 PARU (Test1-B3)*

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
0.803139	0.963699	280	0.883419	Níquel	Lβ1	2.011%	cobre	Lα1	4.804%
1.967199	2.087619	195	2.007339	Itrio	Lβ1	0.467%	fósforo	Kα1	0.132%
2.268249	2.388669	259	2.328459	Azufre	Kα1	0.843%	Plomo	Mα1	0.578%
2.529159	2.749929	21325	2.629509	Cloro	Kα1	0.286%	Radón	Mα1	0.923%
3.251679	3.392169	2916	3.331959	cadmio	Lβ1	0.512%	potasio	Kα1	0.542%
3.572799	3.753429	2076	3.713289	Calcio	Kα1	0.577%	telurio	Lα1	1.452%
3.954129	4.154829	353	4.034409	Telurio	Lβ1	0.134%	calcio	Kβ1	0.533%
5.740359	6.081549	628	5.961129	Prometio	Lβ1	0.002%	manganeso	Kα1	1.036%
6.262179	6.563229	2207	6.402669	Terbio	Lα1	2.067%	hierro	Kα1	0.036%
8.510019	8.811069	5860	8.690649	Zinc	Kα1	0.621%	Lutecio	Lβ1	0.222%

El análisis de C5 PARU (Test1–Beam 3) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (Kα1), calcio (Kα1), fósforo (Kα1) y azufre (Kα1). En microminerales se detectó el hierro (Kα1) y manganeso (Kα1). No se considera el níquel (Kα1) y zinc (Kα1) por no pertenecer al rango de detección del Beam 3; sin embargo este elemento ya es detectado en los beams anteriores (1 y 2).

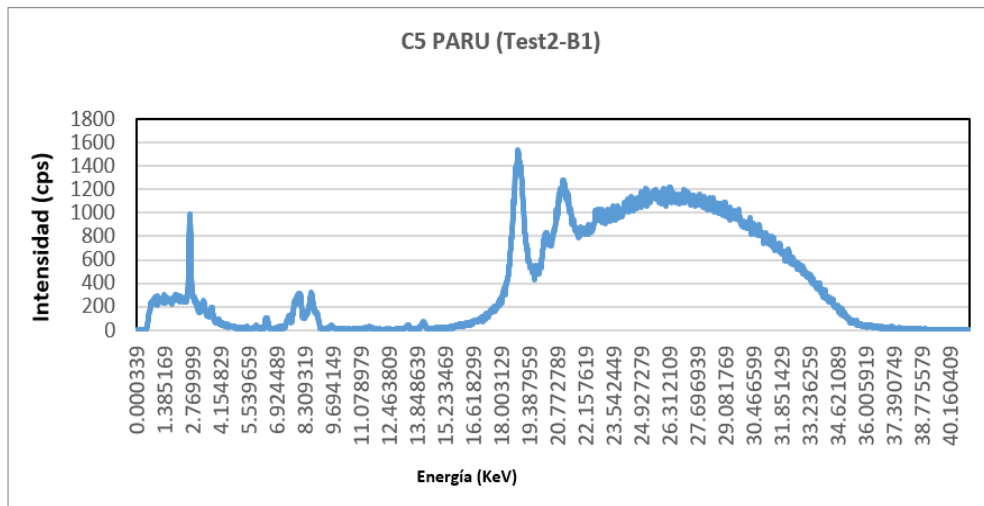
La presencia de cloro se explica por la composición del polipropileno de la nueva portamuestra.

Si bien existe alta intensidad (cps) de cloro (Kα1), ésta se encuentra en zona donde no se encuentran los macro y micro minerales.

4.1.2.4 Análisis de C5 PARU (Test2-B1)

Figura 47

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elemento



Nota. Elaboración propia

Tabla 32

Elementos identificados en C5 PARU (Test2-B1)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.549229	2.729859	993	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Mα1	0.92%
3.211539	3.432309	255	3.291819	Indio	Lα1	0.18%	potasio	Kα1	0.67%
3.552729	3.873849	195	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
6.322389	6.462879	107	6.422739	hierro	Kα1	0.28%	Europio	Lβ1	0.55%
7.386099	7.586799	121	7.506519	níquel	Kα1	0.35%	Holmio	Lβ1	0.26%
6.462879	6.482949	87	6.462879	Europio	Lβ1	0.08%	manganeso	Kβ1	0.45%
7.526589	7.586799	115	7.546659	Holmio	Lβ1	0.27%	níquel	Kα1	0.89%
7.988199	8.108619	313	8.068479	cobre	Kα1	0.28%	tulio	Lβ1	0.41%
8.570229	8.710719	324	8.610369	iterbio	Lβ1	2.48%	zinc	Kα1	0.31%
13.989129	14.330319	70	14.149689	Kriptón	Kβ1	0.27%	estroncio	Kα1	0.11%

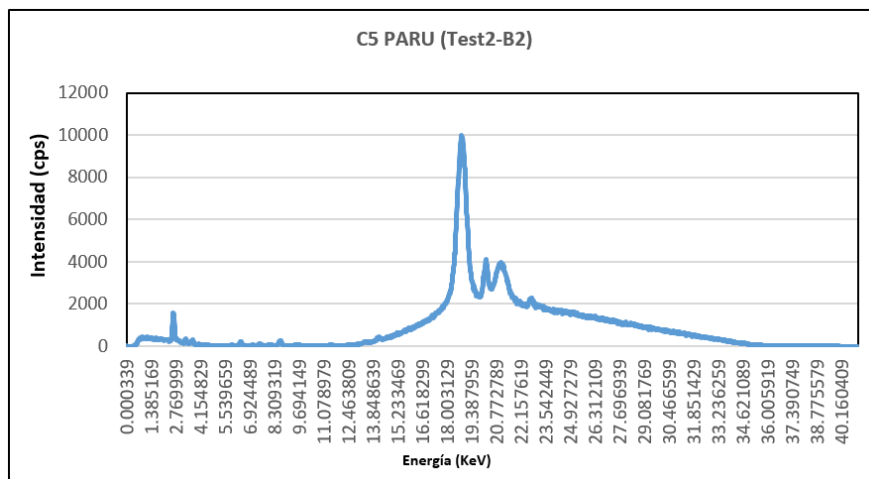
El análisis de C5 PARU (Test2 – Beam 1) obtuvo los macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1). En microminerales se obtuvo: hierro (Kα1), cobre (Kα1), manganeso (Kβ1) y zinc (Kα1). Se confirma la presencia de cloro (Kα1) con energía menor a 3 KeV; con lo que no se cae en contaminación de la medición de los macro y microminerales.

Otros elementos detectados son: estroncio (Kα1) y níquel (Kα1)

4.1.2.5 Análisis de C5 PARU (Test2-B2)

Figura 48

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 33

Elementos identificados en C5 PARU (Test2-B2)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.509089	2.729859	1584	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Mα1	0.92%
3.231609	3.452379	346	3.311889	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.572799	3.853779	307	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
6.262179	6.563229	196	6.442809	hierro	Kα1	0.59%	Europio	Lβ1	0.24%
7.386099	7.667079	118	7.446309	iterbio	Lα1	0.41%	níquel	Kα1	0.45%
8.550159	8.770929	272	8.670579	Renio	Lα1	0.21%	zinc	Kα1	0.38%
13.246539	13.587729	205	13.346889	bromo	Kβ1	0.41%	Rubidio	Kα1	0.37%
14.029269	14.350389	439	14.169759	estroncio	Kα1	0.03%	Plutonio	Lα1	0.79%

El análisis de C5 PARU (Test2-Beam 2) obtuvo los macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1). En microminerales se obtuvo: hierro (Kα1) y zinc (Kα1).

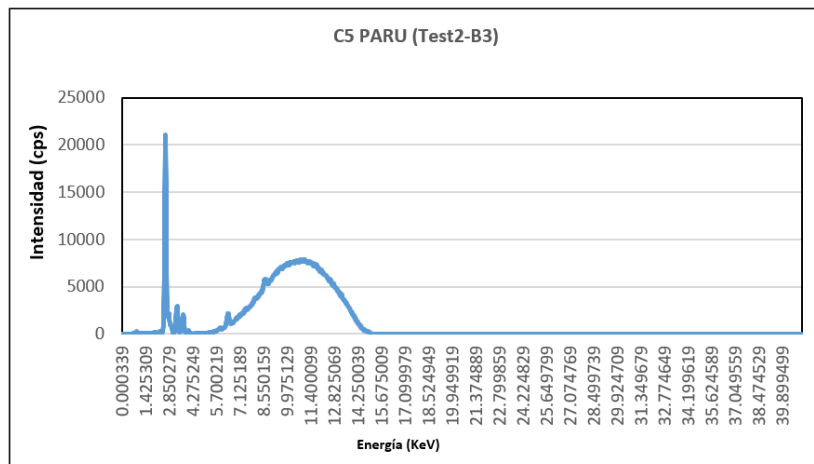
Continúa la alta intensidad (cps) de cloro (Kα1) en 2.62 KeV. Esta presencia de cloro está al inicio de la tabla de detección, por lo que no se cruza con la detección de los minerales.

Otros elementos detectados son: estroncio (Kα1) y níquel (Kα1)

4.1.2.6 Análisis de C5 PARU (Test2-B3)

Figura 49

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 34

Elementos identificados en C5 PARU (Test2-B3)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
0.823209	1.023909	305	0.883419	níquel	Lβ1	2.01%	cobre	Lα1	4.80%
1.927059	2.147829	198	2.007339	litrio	Lβ1	0.47%	fósforo	Kα1	0.13%
2.248179	2.428809	264	2.328459	azufre	Kα1	0.84%	Plomo	Ma1	0.58%
2.549229	2.729859	21095	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Ma1	0.92%
2.769999	2.890419	2124	2.830209	cloro	Kβ1	0.65%	rodio	Lβ1	0.13%
3.231609	3.412239	2913	3.331959	cadmio	Lβ1	0.51%	potasio	Kα1	0.54%
3.592869	3.793569	2090	3.713289	calcio	Kα1	0.58%	telurio	Lα1	1.45%
3.954129	4.134759	356	4.034409	telurio	Lβ1	0.13%	calcio	Kβ1	0.53%
5.800569	6.041409	662	5.920989	manganeso	Kα1	0.36%	cromo	Kβ1	0.44%
6.302319	6.543159	2127	6.402669	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
8.530089	8.750859	5839	8.690649	Renio	Lα1	0.45%	zinc	Kα1	0.62%

El análisis de C5 PARU (Test2-Beam 3) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (Kα1), calcio (Kα1), fósforo (Kα1) y azufre (Kα1). En microminerales se detectó el hierro (Kα1) y manganeso (Kα1). No se considera los elementos níquel (Kα1) y zinc

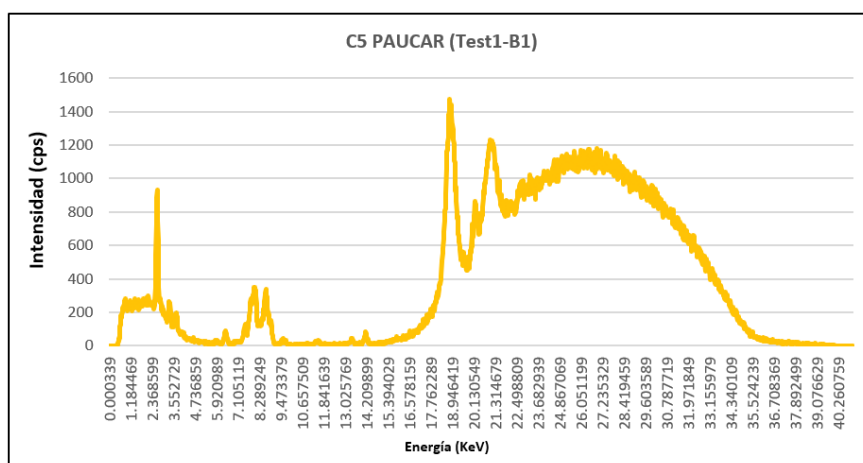
(K α 1) por no pertenecer al rango de detección del Beam 3; en este test también ambos elementos ya son detectados en los beams anteriores (1 y 2).

Se mantiene la presencia de cloro, ya explicada por la composición del polipropileno de la nueva portamuestra.

4.1.2.7 Análisis de C5 PAUCAR (Test1-B1)

Figura 50

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 35

Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test1-B1)

			Energía							
Energía 1	Energía 2	Conteo	pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2	
2.569299	2.709789	934	2.629509	cloro	K α 1	0.29%	Radón	M α 1	0.92%	
3.231609	3.392169	262	3.291819	Indio	L α 1	0.18%	potasio	K α 1	0.67%	
3.612939	3.753429	197	3.693219	calcio	K α 1	0.03%	telurio	L α 1	1.98%	
6.322389	6.523089	87	6.402669	terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%	
7.386099	7.606869	130	7.486449	níquel	K α 1	0.09%	Holmio	L β 1	0.53%	
7.727289	8.128689	349	7.988199	Hafnio	L α 1	1.13%	cobre	K α 1	0.72%	
8.530089	8.770929	336	8.630439	iterbio	L β 1	2.72%	zinc	K α 1	0.08%	
13.989129	14.290179	85	14.149689	Kriptón	K β 1	0.27%	estroncio	K α 1	0.11%	

El análisis de C5 PAUCAR (Test1–Beam 1) obtuvo los macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1). En microminerales se obtuvo: hierro (K α 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1).

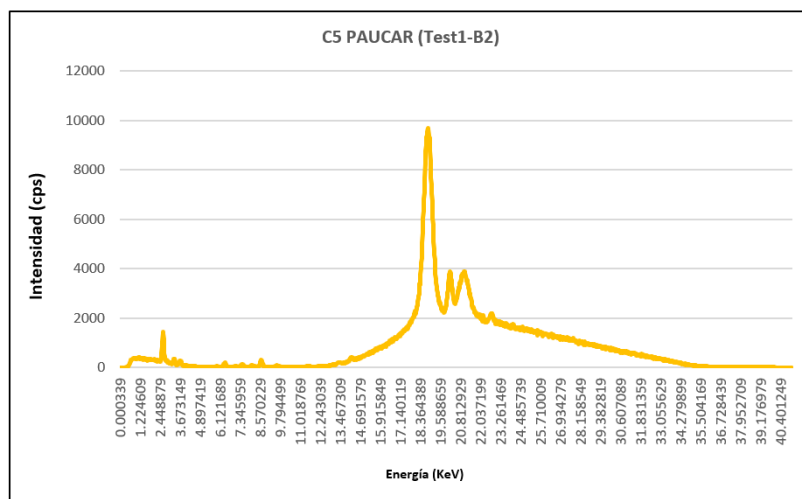
La presencia de cloro ($K\alpha 1$) en energía de 2.6295 KeV muestra la influencia del container en la tabla de elementos.

Otros elementos detectados son: estroncio ($K\alpha 1$) y níquel ($K\alpha 1$)

4.1.2.8 Análisis de C5 PAUCAR (Test1-B2)

Figura 51

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 36

Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test1-B2)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.509089	2.729859	1438	2.629509	cloro	$K\alpha 1$	0.29%	Radón	$M\alpha 1$	0.92%
3.231609	3.432309	338	3.291819	Indio	$L\alpha 1$	0.18%	potasio	$K\alpha 1$	0.67%
3.572799	3.813639	279	3.673149	estaño	$L\beta 1$	0.28%	calcio	$K\alpha 1$	0.51%
6.282249	6.563229	185	6.422739	hierro	$K\alpha 1$	0.28%	Europio	$L\beta 1$	
7.366029	7.606869	120	7.466379	iterbio	$L\alpha 1$	0.68%	níquel	$K\alpha 1$	0.18%
8.550159	8.750859	320	8.630439	iterbio	$L\beta 1$	2.72%	zinc	$K\alpha 1$	0.08%
9.513519	9.734289	82	9.613869	zinc	$K\beta 1$	0.46%	wolframio	$L\beta 1$	0.60%
13.226469	13.688079	210	13.326819	bromo	$K\beta 1$	0.26%	Rubidio	$K\alpha 1$	0.52%
14.009199	14.270109	424	14.129619	Kriptón	$K\beta 1$	0.12%	estroncio	$K\alpha 1$	0.25%

El análisis de C5 PAUCAR (Test1–Beam 2) obtuvo los macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1). En microminerales se obtuvo: hierro (K α 1) y zinc (K α 1).

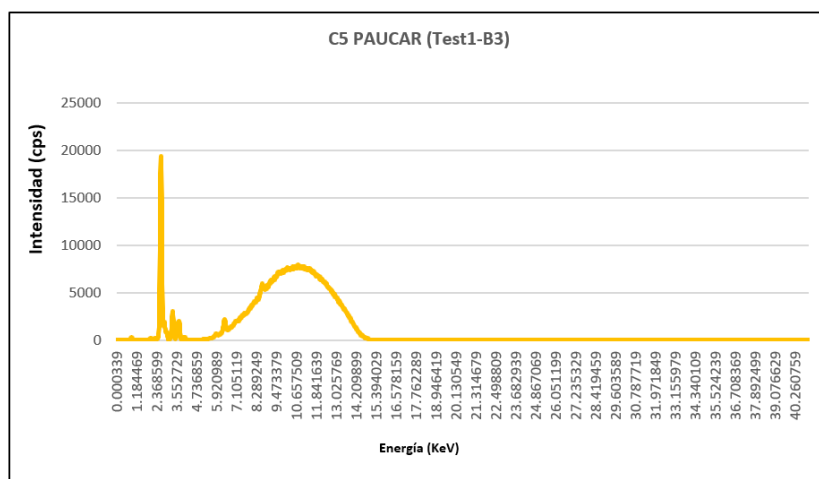
Continúa la alta intensidad (cps) de cloro (K α 1) en 2.62 KeV.

Otros elementos detectados son: estroncio (K α 1) y níquel (K α 1).

4.1.2.9 Análisis de C5 PAUCAR (Test1–B3)

Figura 52

Intensidad(cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 37

Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test1-B3)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
0.783069	0.983769	288	0.883419	Níquel	L β 1	2.01%	cobre	L α 1	4.80%
1.906989	2.127759	226	2.027409	fósforo	K α 1	0.87%	Circonio	L α 1	0.81%
2.228109	2.408739	260	2.328459	Azufre	K α 1	0.84%	Plomo	M α 1	0.58%
2.549229	2.729859	19382	2.629509	Cloro	K α 1	0.29%	Radón	M α 1	0.92%
2.769999	2.870349	1928	2.810139	Radio	M α 1	0.15%	cloro	K β 1	0.07%
3.211539	3.432309	3054	3.331959	cadmio	L β 1	0.51%	potasio	K α 1	0.54%
3.552729	3.773499	2038	3.693219	Calcio	K α 1	0.03%	telurio	L α 1	1.98%
3.934059	4.134759	360	4.014339	Calcio	K β 1	0.03%	telurio	L β 1	0.36%
5.780499	6.061479	679	5.900919	manganeso	K α 1	0.02%	cromo	K β 1	0.77%
6.262179	6.543159	2180	6.402669	Terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
8.530089	8.811069	5987	8.650509	Zinc	K α 1	0.16%	Renio	L α 1	0.02%

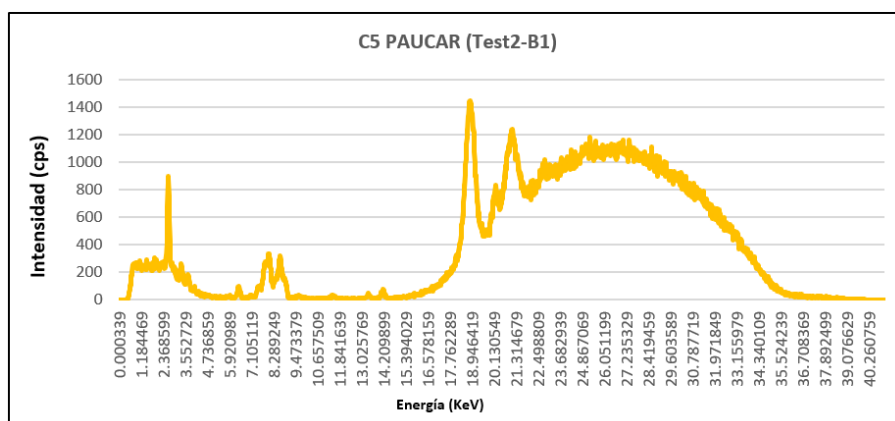
El análisis de C5 PAUCAR (Test1–Beam 3) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (K α 1), calcio (K α 1), fósforo (K α 1) y azufre (K α 1). En microminerales se detectó el hierro (K α 1) y manganeso (K α 1). No se considera el níquel (K α 1) y zinc (K α 1) por no pertenecer al rango de detección del Beam 3; en este test también ambos elementos ya son detectados en los beams anteriores (1 y 2).

La presencia de cloro fue explicada por la composición de la nueva porta muestra.

4.1.2.10 Análisis de C5 PAUCAR (Test2–B1)

Figura 53

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 38

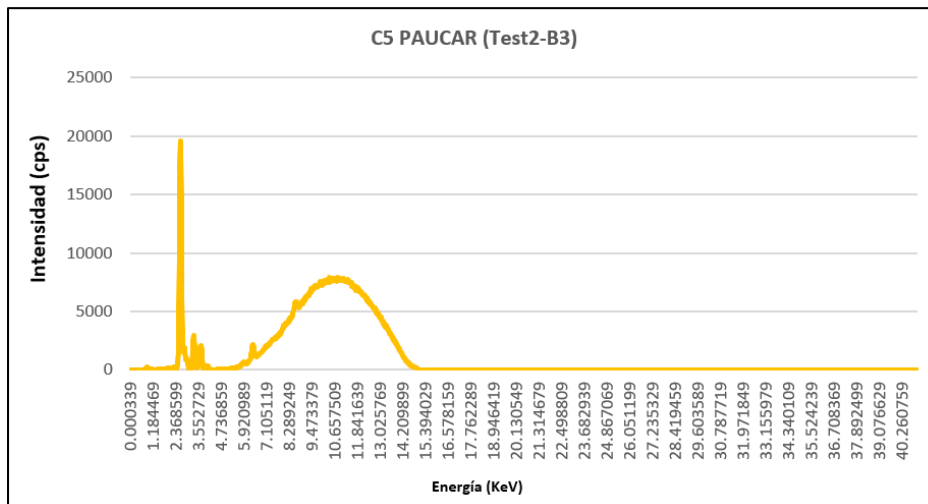
Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test2-B1)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.5692990	2.7097890	899	2.629509	Cloro	K α 1	0.29%	Radón	M α 1	0.92%
3.251679	3.372099	261	3.331959	cadmio	L β 1	0.51%	potasio	K α 1	0.54%
3.633009	3.753429	181	3.693219	Calcio	K α 1	0.03%	telurio	L α 1	1.98%
6.342459	6.482949	96	6.422739	Hierro	K α 1	0.28%	Europio	L β 1	0.55%
7.406169	7.586799	107	7.546659	Holmio	L β 1	0.27%	níquel	K α 1	0.89%
7.948059	8.088549	334	8.028339	Hafnio	L α 1	1.64%	cobre	K α 1	0.22%
8.550159	8.690649	316	8.650509	Zinc	K α 1	0.16%	Renio	L α 1	0.02%

4.1.2.12 Análisis de C5 PAUCAR (Test2 – B3)

Figura 55

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 40

Elementos identificados en C5 PAUCAR (Test2-B3)

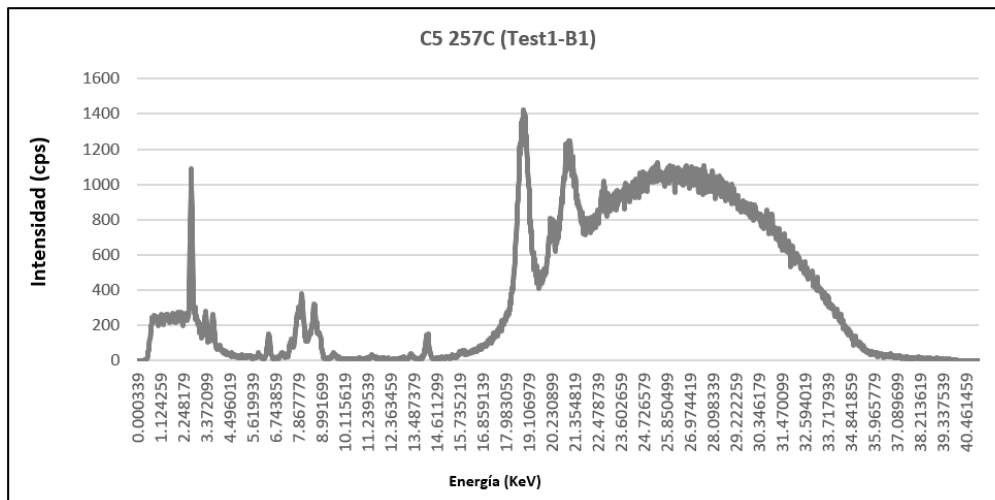
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
0.783069	1.003839	290	0.883419	níquel	Lβ1	2.01%	cobre	Lα1	4.80%
1.927059	2.127759	184	1.987269	fosforo	Kα1	1.13%	litrío	Lβ1	0.54%
2.228109	2.408739	247	2.348529	azufre	Kα1	1.71%	Talio	Mβ1	0.61%
2.549229	2.729859	19558	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Mα1	0.92%
2.769999	2.870349	1867	2.830209	cloro	Kβ1	0.65%	rodio	Lβ1	0.13%
3.231609	3.392169	2986	3.331959	cadmio	Lβ1	0.51%	potasio	Kα1	0.54%
3.612939	3.773499	2119	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
3.893919	4.174899	371	4.034409	telurio	Lβ1	0.13%	calcio	Kβ1	0.53%
5.800569	6.061479	674	5.941059	manganeso	Kα1	0.70%	cromo	Kβ1	0.10%
6.302319	6.543159	2182	6.402669	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%

El análisis de C5 PAUCAR (Test2–Beam 3) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (Kα1), calcio (Kα1), fósforo (Kα1) y azufre (Kα1). En microminerales se detectó el hierro (Kα1) y manganeso (Kα1). En el caso del níquel y cobre, ambos elementos no pertenecen al rango de detección del beam 3, en este caso sus energías características distan con mayor error porcentual de la energía pico detectada.

4.1.2.13 Análisis de C5 257C (Test1–B1)

Figura 56

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 41

Elementos identificados en C5 257C (Test1-B1)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.529159	2.729859	1091	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Mα1	0.92%
3.231609	3.412239	277	3.331959	cadmio	Lβ1	0.51%	potasio	Kα1	0.54%
3.592869	3.833709	260	3.673149	estaño	Lβ1	0.28%	calcio	Kα1	0.51%
6.282249	6.543159	151	6.402669	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
7.366029	7.626939	120	7.506519	níquel	Kα1	0.35%	Holmio	Lβ1	0.26%
8.489949	8.790999	318	8.630439	iterbio	Lβ1	2.72%	zinc	Kα1	0.08%
13.989129	14.310249	150	14.209899	estroncio	Kα1	0.32%	Plutonio	Lα1	0.50%

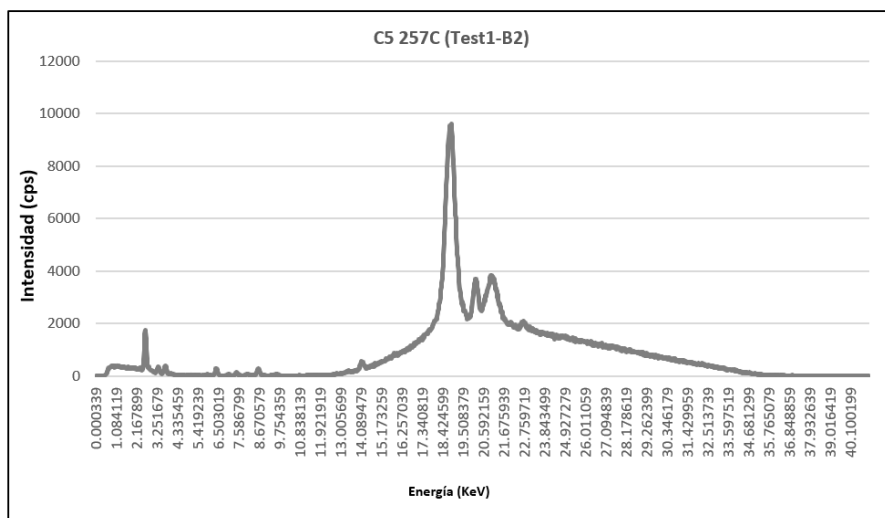
En C5 257C (Test1–Beam 1) se obtuvo los macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1), mientras en microminerales tenemos: hierro (Kα1) y zinc (Kα1).

Otros elementos obtenidos son: cloro (Kα1) a 2.629 KeV, níquel (Kα1) a 7.506 KeV y estroncio a 14.2 KeV.

4.1.2.14 Análisis de C5 257C (Test1–B2)

Figura 57

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 42

Elementos identificados en C5 257C (Test1-B2)

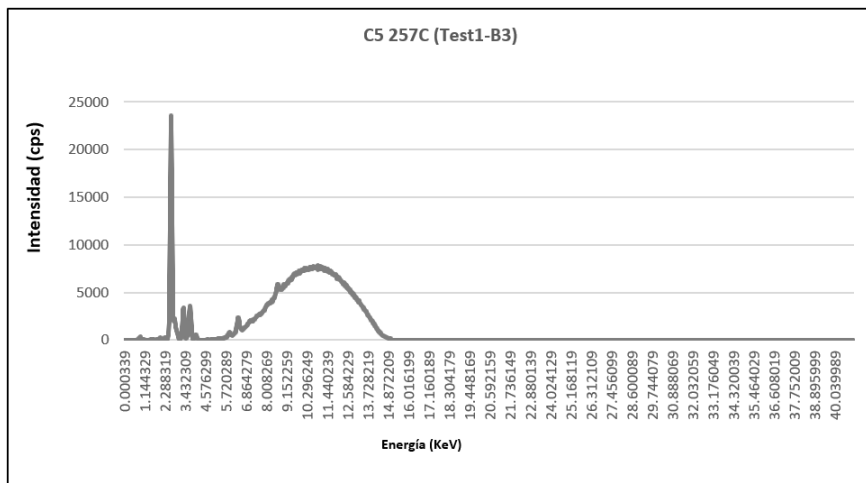
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
0.803139	0.983769	395	0.823209	cobalto	Lβ1	4.20%	níquel	Lα1	3.04%
1.967199	2.127759	334	2.027409	fósforo	Kα1	0.87%	Circonio	Lα1	0.81%
2.248179	2.408739	319	2.328459	azufre	Kα1	0.84%	Plomo	Ma1	0.58%
2.549229	2.729859	1736	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Ma1	0.92%
2.769999	2.890419	359	2.790069	Radón	Mβ1	0.22%	cloro	Kβ1	0.78%
3.251679	3.392169	372	3.311889	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.592869	3.773499	389	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
3.913989	4.154829	107	3.994269	Yodo	Lα1	1.43%	calcio	Kβ1	0.47%
5.820639	6.061479	70	5.920989	manganeso	Kα1	0.36%	cromo	Kβ1	0.44%
6.302319	6.563229	145	6.422739	hierro	Kα1	0.28%			
8.530089	8.770929	304	8.650509	Zinc	Kα1	0.16%	Renio	Lα1	0.02%

El análisis de C5 257C (Test1–Beam 2) obtuvo macrominerales: potasio (Kα1), hierro (Kα1), calcio (Kα1, Kβ1), fósforo (Kα1) y azufre (Kα1). En microminerales se obtuvo: manganeso (Kα1) y zinc (Kα1). Otro elemento encontrado es: cloro (Kα1 y Kβ1) a 2.62 y 2.79 KeV.

4.1.2.15 Análisis de C5 257C (Test1–B3)

Figura 58

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 43

Elementos identificados en C5 257C (Test1-B3)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.529159	2.729859	1736	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Mα1	0.92%
3.231609	3.372099	372	3.311889	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.633009	3.773499	389	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
6.282249	6.503019	305	6.422739	hierro	Kα1	0.28%	Europio	Lβ1	0.55%
7.386099	7.586799	134	7.486449	níquel	Kα1	0.09%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.727289	8.148759	90	8.028339	Hafnio	Lα1	1.64%	cobre	Kα1	0.22%
8.510019	8.750859	304	8.650509	zinc	Kα1	0.16%	Renio	Lα1	0.02%
13.948989	14.350389	571	14.129619	Kriptón	Kβ1	0.12%	estroncio	Kα1	0.25%

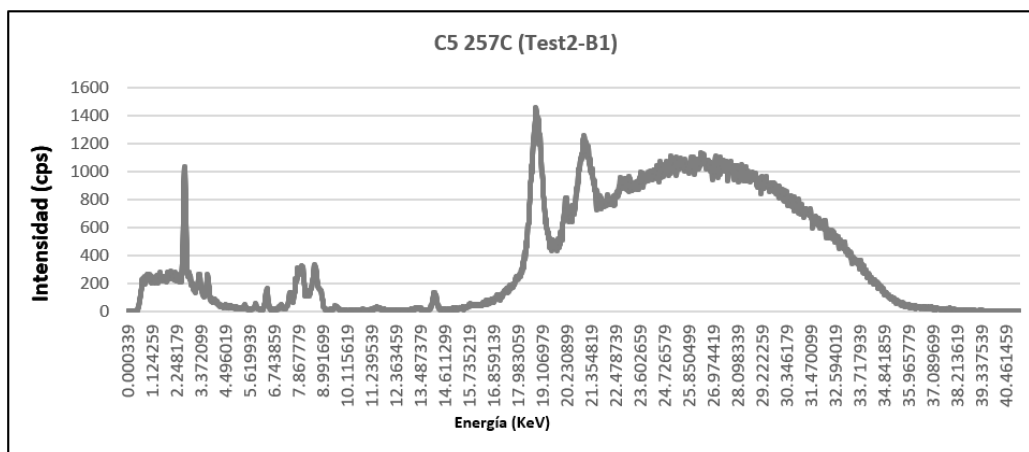
El análisis de C5 257C (Test1–Beam 3) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1). En microminerales se detectó el hierro (Kα1). En el caso del níquel y cobre, ambos elementos no pertenecen al rango de detección del beam 3,

su presencia si fue detectada en los beams anteriores 1 y 2. Otro elemento detectado es: estroncio (K α 1).

4.1.2.16 Análisis de C5 257C (Test2–B1)

Figura 59

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 44

Elementos identificados en C5 257C (Test2-B1)

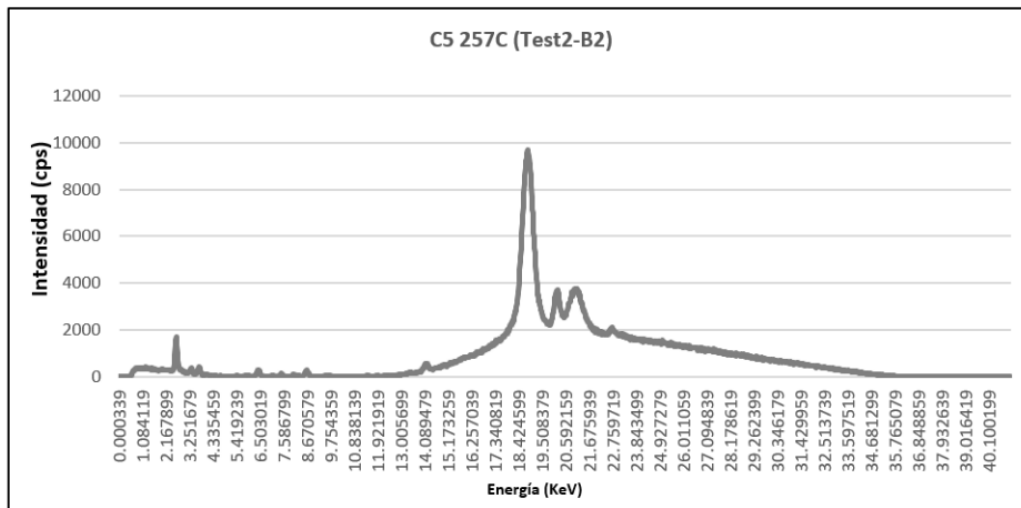
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.529159	2.729859	1039	2.629509	Cloro	K α 1	0.29%	Radón	Ma1	0.92%
3.251679	3.412239	265	3.291819	Indio	L α 1	0.18%	potasio	K α 1	0.67%
3.612939	3.773499	261	3.693219	Calcio	K α 1	0.03%	telurio	L α 1	1.98%
6.262179	6.543159	161	6.422739	Hierro	K α 1	0.28%	Europio	L β 1	0.55%
7.386099	7.647009	135	7.506519	níquel	K α 1	0.35%	Holmio	L β 1	0.26%
7.727289	8.148759	327	8.028339	Hafnio	L α 1	1.64%	cobre	K α 1	0.22%
8.469879	8.770929	334	8.610369	iterbio	L β 1	2.48%	zinc	K α 1	0.31%
14.009199	14.310249	133	14.109549	Kriptón	K β 1	0.12%	estroncio	K α 1	0.25%

En C5 257C (Test2–Beam 1) se obtuvo los macrominerales: potasio (K α 1) y calcio (K α 1), mientras en microminerales tenemos: hierro (K α 1), cobre (K α 1) y zinc (K α 1). Otros elementos obtenidos son: cloro (K α 1), níquel (K α 1) y estroncio (K α 1).

4.1.2.17 Análisis de C5 257C (Test2–B2)

Figura 60

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 45

Elementos identificados en C5 257C (Test2-B2)

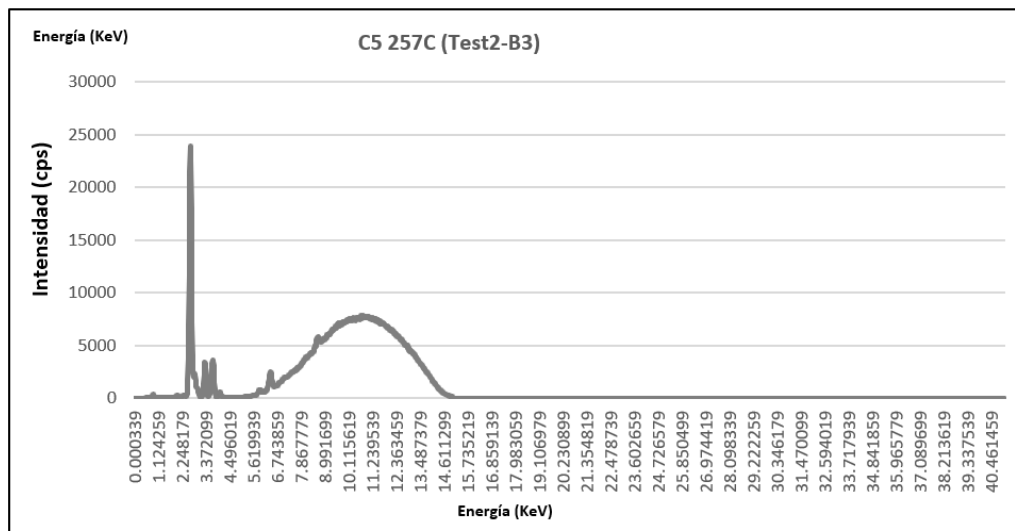
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.529159	2.729859	1716	2.629509	cloro	Kα1	0.29%	Radón	Mα1	0.92%
3.251679	3.432309	379	3.311889	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.592869	3.833709	419	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
6.302319	6.563229	304	6.402669	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
8.469879	8.790999	292	8.630439	iterbio	Lβ1	2.72%	zinc	Kα1	0.08%
14.009199	14.290179	589	14.169759	estroncio	Kα1	0.03%	Plutonio	Lα1	0.79%

El análisis de C5 257C (Test2 – Beam 2) obtuvo macrominerales: potasio (Kα1) y calcio (Kα1). En microminerales se obtuvo: hierro (Kα1) y zinc (Kα1). Otros elementos encontrados son: cloro (Kα1) y estroncio (Kα1).

4.1.2.18 Análisis de C5 257C (Test2–B3)

Figura 61

Intensidad (cps) en función de energía para identificación de elementos



Nota. Elaboración propia

Tabla 46

Elementos identificados en C5 257C (Test2-B3)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
0.823209	1.003839	313	0.883419	níquel	Lβ1	2.01%	cobre	Lα1	4.80%
1.927059	2.127759	255	2.007339	litrio	Lβ1	0.47%	fósforo	Kα1	0.13%
2.248179	2.428809	298	2.308389	molibdeno	Lα1	0.72%	azufre	Kα1	0.03%
2.769999	2.910489	2352	2.810139	Radio	Ma1	0.15%	cloro	Kβ1	0.07%
3.211539	3.432309	3434	3.311889	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.572799	3.793569	3597	3.693219	calcio	Kα1	0.03%	telurio	Lα1	1.98%
3.893919	4.174899	601	4.014339	calcio	Kβ1	0.03%	telurio	Lβ1	0.36%
5.780499	6.041409	759	5.900919	manganeso	Kα1	0.02%	cromo	Kβ1	0.77%
6.302319	6.543159	2446	6.402669	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%

El análisis de C5 257C (Test2–Beam 3) permitió la detección de los siguientes macrominerales: potasio (Kα1), calcio (Kα1), fósforo (Kα1) y azufre (Kα1). En microminerales se detectó hierro (Kα1). Observación: En el caso del níquel y cobre, ambos elementos no pertenecen al rango de detección del beam 3, su presencia si fue detectada en los beams anteriores 1 y 2.

4.2 Presentación de Resultados

En la etapa de análisis se tomó en cuenta todas las mediciones en cada prueba, verificándose así la consistencia entre cada test y cada beam respectivo. De esta manera, se consolidan los resultados y se determinan las composiciones de la kiwicha mediante Export Data (con y sin influencia del container), la Composición de la kiwicha determinada mediante lo detectado por Export SPM y la Composición comparada de la kiwicha, entre lo detectado por cada fuente (Export Data y SPM). Con estos resultados se realiza la validación de elementos y concentraciones mediante la contrastación con artículos extranjeros.

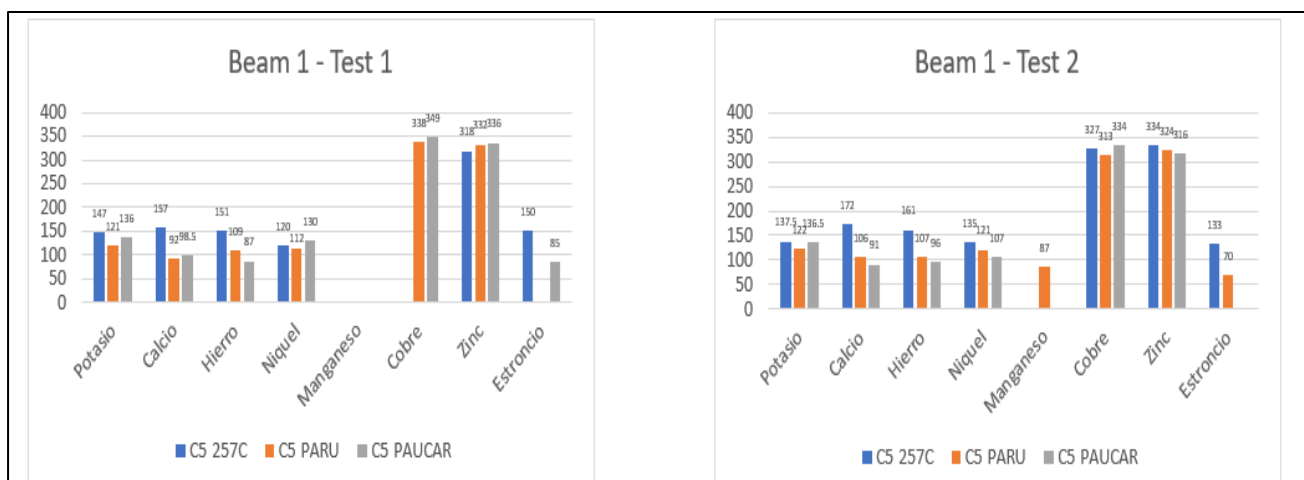
4.2.1 Composición de la kiwicha mediante análisis de Export SPM

Por cada procedencia se realizaron 2 tests, y por cada test se ejecutaron 3 beams; es decir en total se tiene 6 mediciones por cada procedencia. Por esta razón se realiza el análisis por cada tipo de beam:

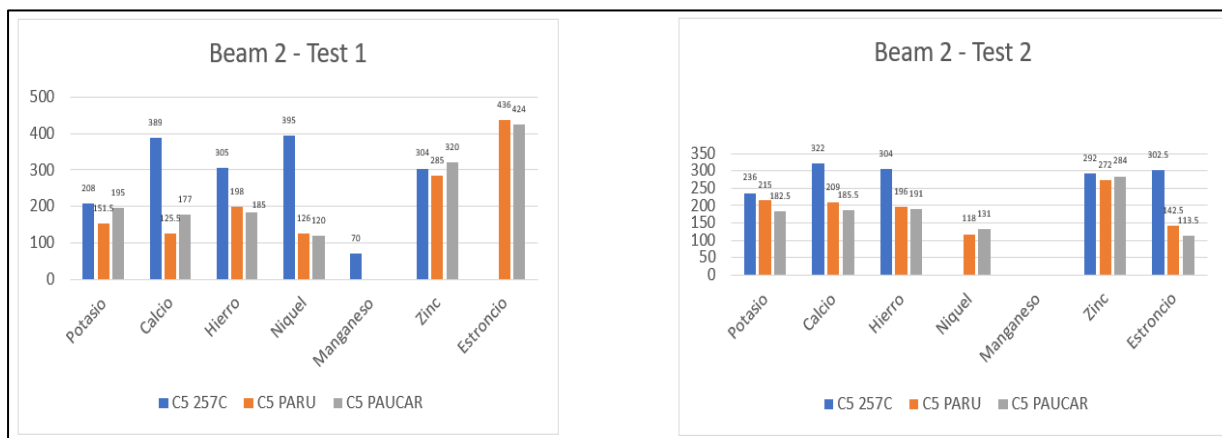
Beam 1 en test 1 y test 2, Beam 2 en test 1 y test 2, Beam 3 en test 1 y test 2.

4.2.1.1 Resultados del Beam 1

En ambos test se tiene presencia de potasio, calcio, hierro, níquel, cobre, zinc y estroncio; siendo mayor la concentración de cobre y zinc. En el caso de manganeso, fue detectado sólo en el test 2. La composición comparada entre ambos test muestra congruencia en las Intensidades(cps) de los elementos.

Figura 62*Resultados del Beam 1 en las tres procedencias**Nota. Elaboración propia***4.2.1.2 Resultados del Beam 2**

En ambos test se tiene presencia de potasio, calcio, hierro, níquel, zinc y estroncio. En el caso de manganeso fue detectado sólo en el test 1. Se aprecia que la concentración de potasio, calcio y hierro es mayor en la muestra C5 257C que en las muestras de Paruro y Paucartambo.

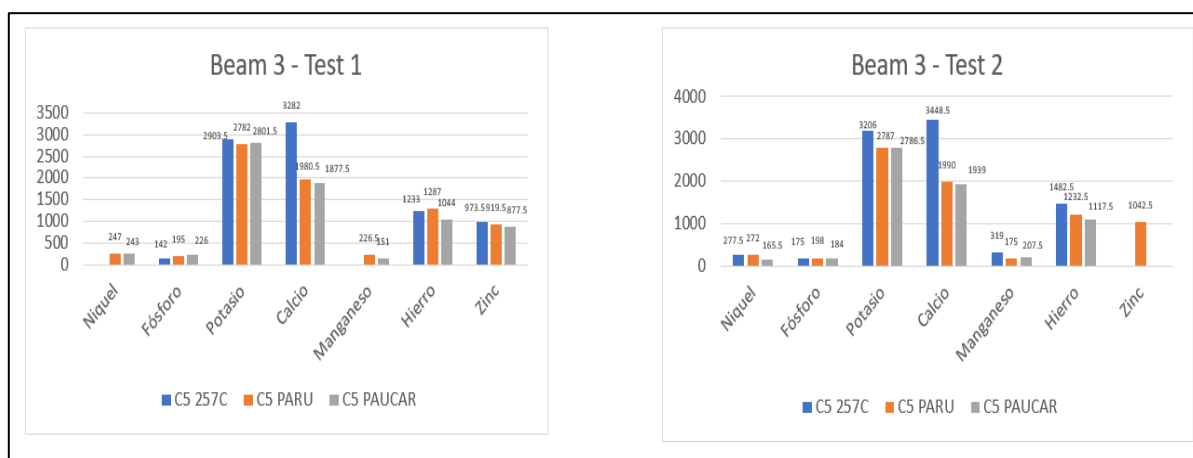
Figura 63*Resultados del Beam 2 en las tres procedencias**Nota. Elaboración propia*

4.2.1.3 Resultados del Beam 3

En ambos test se tiene presencia mayoritaria de potasio y calcio, seguida por hierro; esto se debe al rango específico de detección del beam 3. Por ello además los niveles cps son mucho mayores que en los beams 1 y 2.

Figura 64

Resultados del Beam 3 en las tres procedencias



Nota. Elaboración propia

En conclusión, considerando la presencia de los elementos en los beams del Export SPM y en cada test, se determina la composición de la kiwicha considerando los siguientes criterios:

- Presencia de elemento por lo menos en un beam
- Presencia de elemento por lo menos en un test

Composición determinada:

- Macro minerales: fósforo, potasio, calcio
- Micro minerales: manganeso, hierro, cobre, zinc
- Otros: níquel y estroncio

Estos elementos distribuidos como se indica en el siguiente resumen.

Figura 65

Composición elemental de kiwicha de las 3 procedencias según beams

BEAM 1 - TEST 1				BEAM 1 - TEST 2		
Elemento	C5 257C	C5 PARU	C5 PAUCAR	C5 257C	C5 PARU	C5 PAUCAR
Potasio	147	121	136	137.5	122	136.5
Calcio	157	92	98.5	172	106	91
Hierro	151	109	87	161	107	96
Niquel	120	112	130	135	121	107
Manganeso					87	
Cobre		338	349	327	313	334
Zinc	318	332	336	334	324	316
Estroncio	150		85	133	70	

BEAM 2 - TEST 1				BEAM 2 - TEST 2		
Elemento	C5 257C	C5 PARU	C5 PAUCAR	C5 257C	C5 PARU	C5 PAUCAR
Potasio	208	151.5	195	236	215	182.5
Calcio	389	125.5	177	322	209	185.5
Hierro	305	198	185	304	196	191
Niquel	395	126	120		118	131
Manganeso	70					
Zinc	304	285	320	292	272	284
Estroncio		436	424	302.5	142.5	113.5

BEAM 3 - TEST 1				BEAM 3 - TEST 2		
Elemento	C5 257C	C5 PARU	C5 PAUCAR	C5 257C	C5 PARU	C5 PAUCAR
Niquel		247	243	277.5	272	165.5
Fósforo	142	195	226	175	198	184
Potasio	2903.5	2782	2801.5	3206	2787	2786.5
Calcio	3282	1980.5	1877.5	3448.5	1990	1939
Manganeso		226.5	151	319	175	207.5
Hierro	1233	1287	1044	1482.5	1232.5	1117.5
Zinc	973.5	919.5	877.5		1042.5	

Nota: Las diferencias en la composición de las tres procedencias se originan con mayor probabilidad en el tratamiento que se da al terreno, incluyendo el abono utilizado.

4.2.2 Composición de la kiwicha mediante análisis del Export Data

Apartir de los elementos identificados en 5.2.1. mediante Export SPM, se filtra la información del Export Data para determinar la composición de la kiwicha en cada procedencia. Se presenta a continuación los resultados.

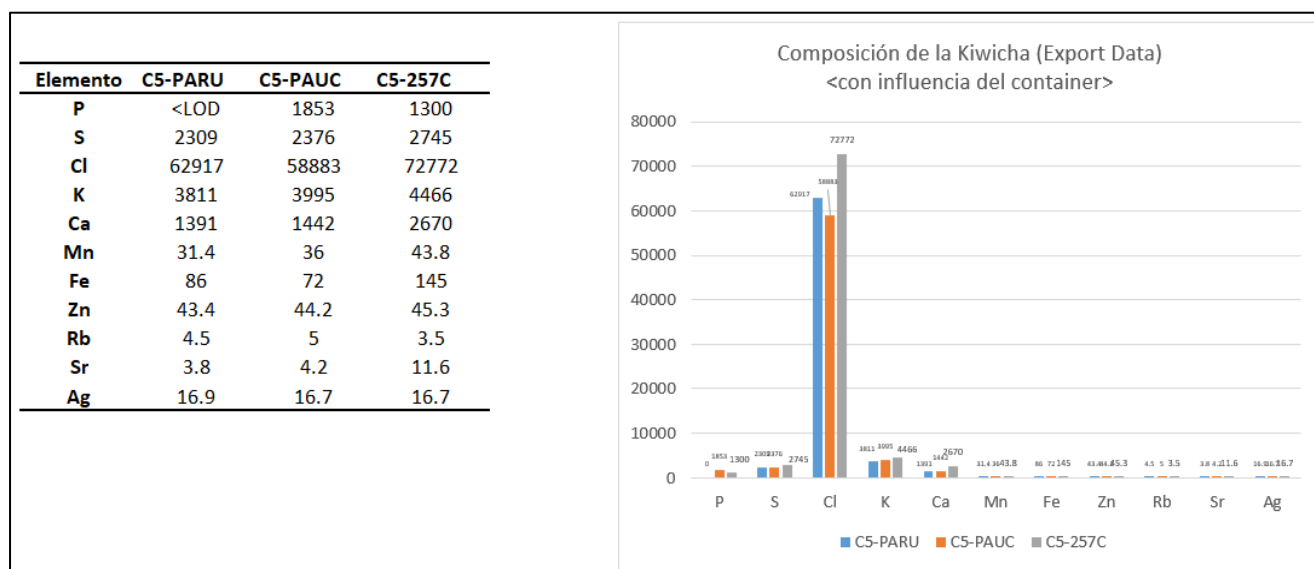
4.2.2.1 Composición de la muestra de kiwicha

En base a los elementos determinados en el análisis de los datos del Export SPM; se identifican los valores PPM en el archivo Data Export, además de otros elementos particulares identificados por el Export Data.

La Composición de la muestra en cada procedencia, incluyendo container presenta en común los siguientes elementos: fósforo, azufre, cloro, potasio, calcio, manganeso, hierro, zinc, Rubidio, estroncio y plata.

Figura 66

Composición inicial de la muestra de kiwicha

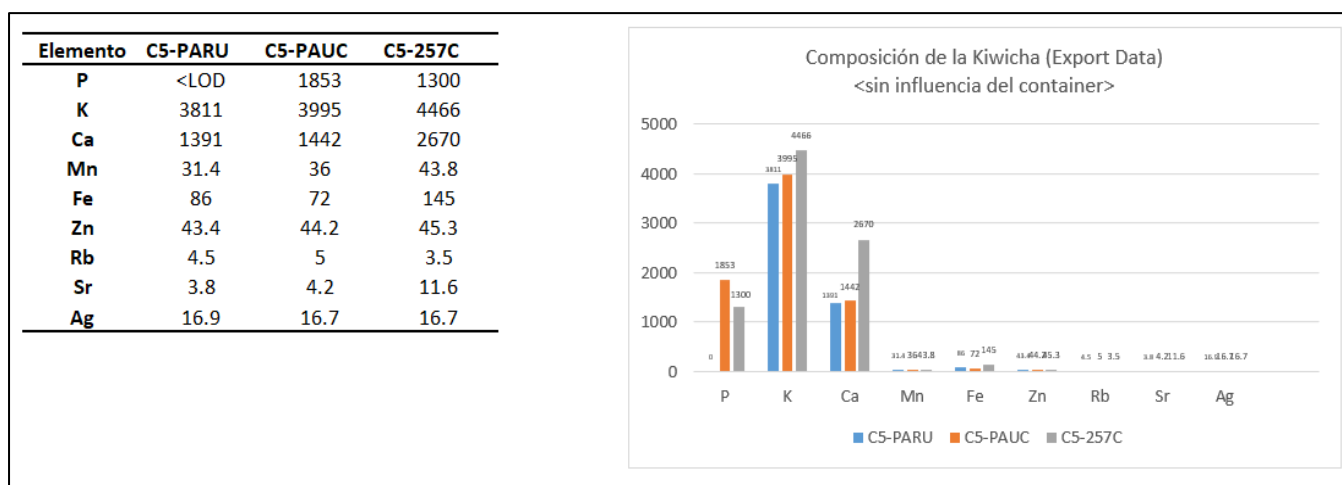


Nota. Composición de la muestra de kiwicha, incluyendo la influencia del container de polipropileno

Los elementos de cloro y azufre sin embargo, no pertenecen a la muestra; habiéndose encontrado estos elementos en el container de polipropileno utilizado (Anexo 3, Fig. 71). Retirando estos elementos obtenemos la composición final de la kiwicha mediante el Export Data.

Figura 67

Composición de la kiwicha luego de filtrar los elementos del portamuestra



Nota. Composición de la muestra de kiwicha, excluyendo la influencia del container de polipropileno

4.2.2.2 Composición mineral de la kiwicha

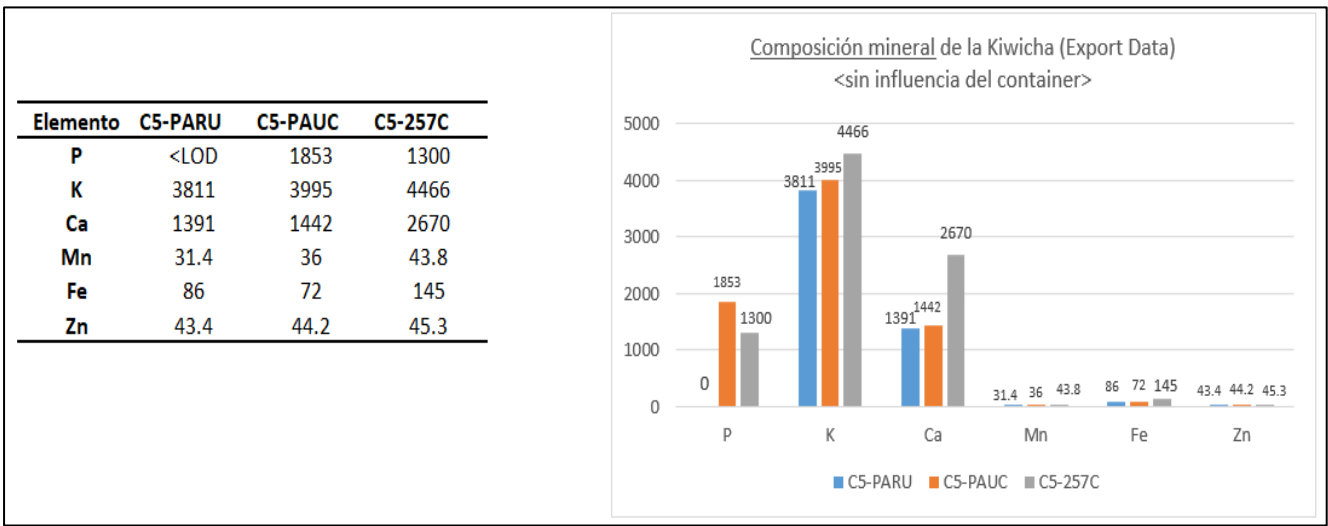
Apartir de la composición obtenida de la kiwicha podemos clasificar los elementos minerales:

- Macro minerales: fósforo, potasio y calcio.
- Micro minerales: manganeso, hierro y zinc.
- Otros: estroncio y plata.

De esta forma podemos graficar la composición mineral de la kiwicha, primero en forma general y luego independientemente, los macro minerales y los microminerales. Estas gráficas independientes muestran mejor la distribución de la composición debido a sus niveles cps mas cercanos.

Figura 68

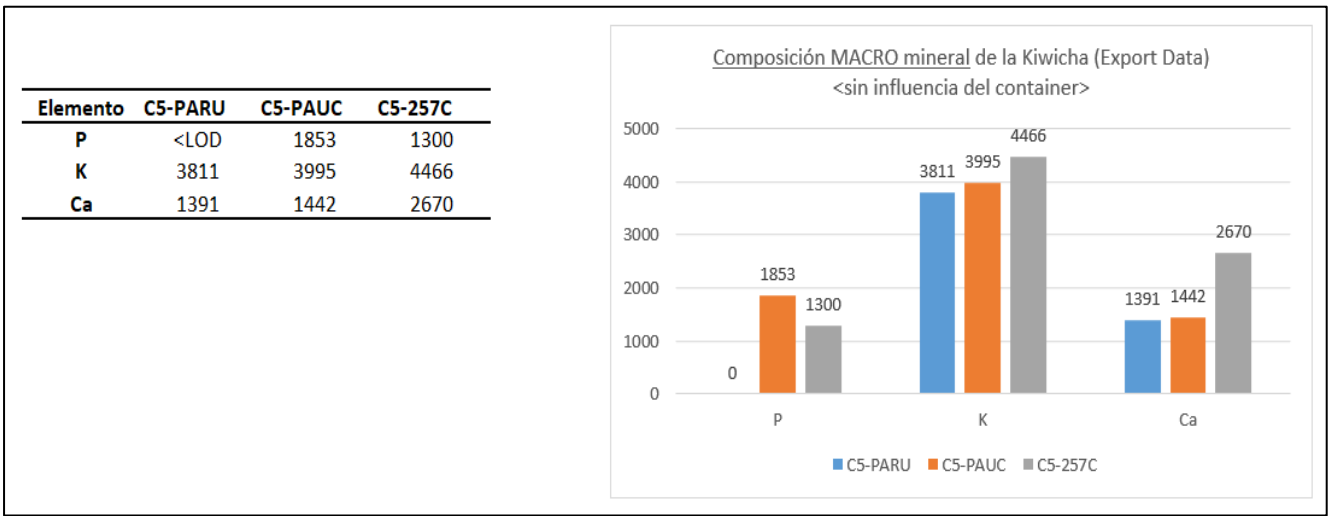
Composición mineral de la kiwicha



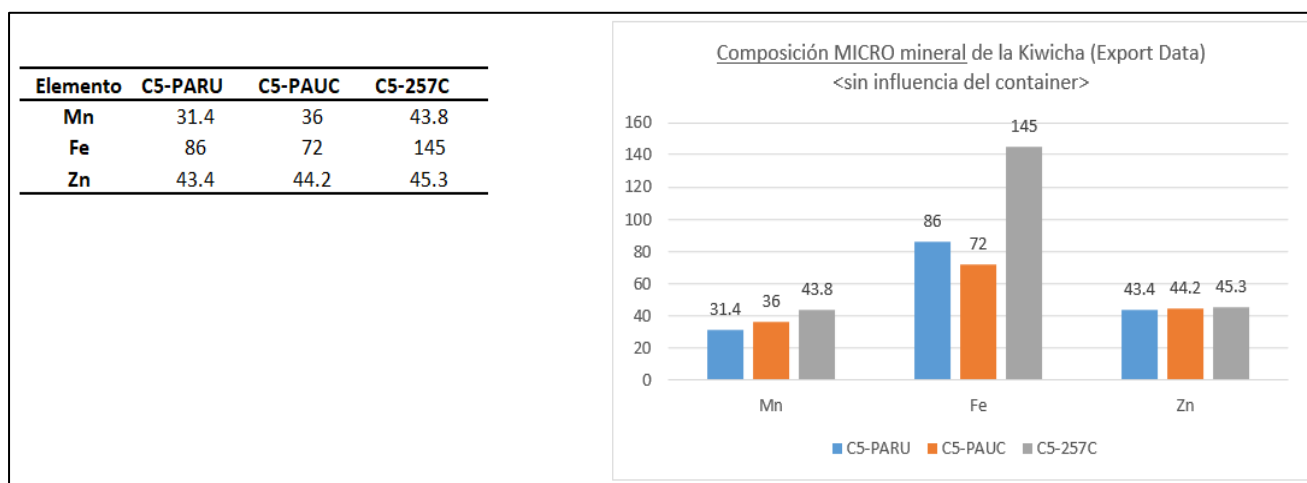
Nota. Elaboración propia

Figura 69

Composición macro mineral de la kiwicha



Nota. Elaboración propia

Figura 70*Composición macro mineral de la kiwicha*

Nota. Elaboración propia

4.2.3 Composición de la kiwicha comparada con investigaciones extranjeras

Para esta contrastación se utilizó dos investigaciones de la composición de kiwicha, una realizada en el Norte de Argentina y una segunda realizada en el NorOeste de Ethiopia.

En la tabla comparativa se determina lo siguiente:

- Se confirma que los elementos más abundantes son los macro minerales: fósforo, potasio y calcio, tanto en los resultados FRX como en los dos papers extranjeros.
- Se confirma que los micro minerales cobre, manganeso, hierro y zinc existen en lo medido en las dos investigaciones (Argentina y Ethiopia), mientras en la medición FRX realizada se obtienen estos elementos tanto en Export Data como en el Export SPM, con excepción del cobre, el cual no fue detectado en el Export Data.
- El estroncio si fue detectado en FRX (Export Data y SPM); mientras en el 2do paper no se detecta y sólo en el primer paper se indica que el nivel está en el límite de cuantificación.
- Los elementos Magnesio y Sodio (detectados en los papers) no fueron detectados en FRX dado que los beams no tienen estos elementos en su rango de detección; es decir no se descarta su existencia.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

a) La composición mineral de la Kiwicha de Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco y medida por Fluorescencia de Rayos X (FRX) es:

Mediante análisis del Export SPM:

Macro minerales: fósforo, potasio, calcio

Micro minerales: manganeso, hierro, cobre, zinc

Mediante análisis del Export Data:

Macro minerales: fósforo, potasio y calcio

Micro minerales: manganeso, hierro y zinc.

b) Se desarrolló un procedimiento para determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, a partir de las mediciones obtenidas con el espectrómetro FRX y su reporte de conteos por canal. Esto permitió encontrar los elementos cobre y níquel, ambos no detectados por el programa del espectrómetro pero si por la metodología desarrollada.

c) Se realizó el análisis comparativo de las composiciones minerales de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra. El análisis independiente de las bases de mediciones del Export SPM (por cada beam) permitió encontrar la diferenciación y similitud elemental de la producción de kiwicha en las tres procedencias. Entre lo que se determina que K, Ca, Fe y Zinc son los minerales con mayor concentración; Kayra contiene la mayor concentración de K, Ca, Fe y Mn; mientras, Paruro y Paucartambo presentan mayor concentración de Cu que Kayra.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda el consumo de la Kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, dada su composición relevante en hierro y calcio, siendo a la vez importante su integración a los programas de nutrición infantil brindados a nivel urbano y rural, abarcando nuestras comunidades y para el fomento del desarrollo integral considerando el papel crucial de la nutrición en el desarrollo cognitivo desde las primeras etapas.

En el campo metodológico, se recomienda tener especial cuidado en los porta muestras utilizados en espectroscopía, estos containers pueden contaminar las mediciones en uno o varios elementos, por ello debe validarse las primeras mediciones para determinar si existe influencia en los espectros obtenidos; si fuera así, debe cambiarse o implementarse una solución para evitar afectación en las mediciones posteriores, esto debe incluir la medición del container sin muestra y la revisión espectral para identificar los rangos de energía en que se presentan picos de conteo; con esta evaluación se contará con una base de datos para el filtraje de información en las mediciones propias de las muestras, sus espectros, energías y elementos relacionados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliel Kachiguma, N., Mwase, W., Maliro, M., & Damalipephetsa, A. (2015). Chemical and Mineral Composition of Amaranth (*Amaranthus L.*) Species Collected from Central Malawi. *Journal of Food Research*, 4(4). doi:10.5539/jfr.v4n4p92
- Alonso, M., & Finn, E. J. (1986). *Fundamentos Cuánticos y Estadísticos*. ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA, S.A.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta edición ed.). Mexico: Perason.
- Bolaños, D., Marchevsky, E., & M, C. J. (2016). Elemental analysis of amaranth chia, sesame, linen, and quinoa seeds. *Food Analytical Methods*, 477- 484.
- Bravo, M., Reyna, J., Gomez Sanchez, I., & Huapaya, M. (2013). *Estudio Químico y Nutricional de Granos Andinos Germinados de Quinoa (Chenopodium quinoa) y Kiwicha (amarantus Caudatus)* (Vol. 16). Lima.
- Bressani, R., & Mertz, E. (1993). Studies on corn protein.
- Brouwer, P. (2010). *Theory of XRF*. The Netherlands: PANalytical.
- Chamorro, R. (2018). "Evaluación nutricional y compuestos bioactivos de accesiones promisorias de Kiwicha (*Amaranthus Caudatus*) del INIA".
- Chasquibol, N., Delmas, D., Ribera, D., Lengua, R., Aguirre, R., Bazan, D., . . . Bautista, M. (1999). Contribución a la Normalización de Productos Tradicionales Andinos: Maca, Kiwicha, Cañihua, Mashua. *Revista Peruana Quimica*.
- Das, S. (2016). *Amaranthus: A promising Crop of Future*. Berlin, Alemania.: Springer. doi:doi.org/10.100/978-981-10.1469-7
- FAO. (2015). Obtenido de www.foodpyramid.com/6-essential-nutrients
- INIA. (2011). *Kiwicha alimento nuestro para el mundo*. Cusco: EEA Andenes Cusco.
- Jacobsen, S. E., Mujica, A., & Ortiz, R. (2001). *La importancia de los Cultivos Andinos*. Merida - Venezuela: Fermetum.
- Kachiguma, N. A., Mwase, W., Maliro, M., & Damaliphetsa, A. (2015). Chemical and Mineral Composition of Amaranth (*Amaranthus L.*) Species Collected From Central Malawi. *Journal of Food Research*, 4. doi:doi:10.5539/jfr.v4n4p92
- Ligarda, C., Choque, D., Palomino, H., Yaranga, R., Ramos, B., Huamán, M., . . . Moscoso, E. (2021). Quinoa, Kiwicha y Cañihua. Paraná: Atena. doi:10.22533/at.ed.071212403
- Martinez, A., Millan, M. C., Rodriguez, N., Millan, F., & Montserrat, S. (2020). Nutritional Value of Kiwicha (*Amaranthus caudatus L.*). *Journal of Functional Foods*. doi:doi.org/10.1016/j.jff.2019.103735
- Mekonnen, G., Woldesenbet, M., Teshale, T., & Biru, T. (2018). Amaranthus Caudatus Production and Nutrition contents for Food Security and Healthy Living in Menit Shasha, Menit Goldya and Maji

- Districts of Bench Maji Zone, South Western Ethiopia. *Nutrition & Food Science*, 7. doi:10.19080/NFSIJ.2018.07.555712
- Mottana , A., Crespi, R., & Liborio, G. (1977). *Guía de Minerales y Rocas* . Milán: Ediciones Grjalbo, S.A.
- National Research Council. (1984). *Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop*. Washington: National Academy Press, Washington, D.C.
- OLYMPUS. (2015). *Analizador XRF Portátil DELTA*.
- Rios Castro, Á., Moreno Bondi , M. C., & Simonet Suau, B. (2012). *Técnicas espectroscópicas en química analítica*. Madrid: Síntesis.
- Ríos, Á., Cruz Moreno, M., & Simonet, B. (2012). *Técnicas Espectroscópicas en Química Analítica*. Madrid: Síntesis.
- Sarker, U., Oba, S., & Daramy, M. (2020). Nutrients, minerals, antioxidant pigments and phytochemicals, and antioxidant capacity of the leaves of stem smranth. *Scientific Report*. doi:10.1038/s41598-020-6026752-7
- Tapia , M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima, Perú: FAO-ANPE. Perú, Bolivia: Organizaciòn de las Naciones Unidas para la Alimentaciòn y la Agricultura(FAO).
- Tapia, M. (1997). *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. (2a. Edición ed.). Santiago, Santiago: FAO.
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los cultivos andinos*. Lima: FAO Y ANPE.
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. Lima: FAO y ANPE.
- Torres, J. (2019). Efecto Comparativo de las Variaciones Producidas en los Constituyentes Funcionales y Capacidad Antioxidante Durante el Procesamiento de Harinas Tostadas de Quinua, Cañihua y Kiwicha. *Tesis de Maestría*.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

Figura 72: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES
Problema General ¿Es posible realizar un análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha, producida en Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco, mediante un tratamiento de la base de datos obtenida con fluorescencia de rayos X (FRX)?	Objetivo General Realizar el análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco, mediante un procedimiento para el tratamiento de los datos obtenidos con fluorescencia de rayos X (FRX) y considerando sus picos de conteo, sus energías, el error relativo porcentual y la probabilidad de transición.	Hipótesis General Se puede realizar un análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra comercializada en Cusco, mediante un procedimiento que tome en cuenta la identificación de los picos de conteo en el espectro FRX y las energías correspondientes.	Variable Independiente Procedencia de la Kiwicha Variable Dependiente Composición macro y micro mineral de la kiwicha
Problemas Específicos ¿Qué procedimiento debe seguirse para obtener los espectros FRX y determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, a partir de la base de mediciones? ¿Cuáles es el resultado del análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, sus coincidencias y diferencias?	Objetivo Específicos Desarrollar un procedimiento para obtener los espectros FRX y determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, a partir de la base de datos, identificando sus picos de conteo y energías asociadas. Realizar un análisis comparativo de la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, tomando en cuenta el error porcentual respecto al teórico y la probabilidad de cada transición electrónica.	Hipótesis Específicas Puede desarrollarse un procedimiento específico para determinar la composición mineral de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra, a partir de la base de mediciones obtenida con el espectrómetro FRX (archivo Export SPM), considerando la conversión de canales de medición a energía y desarrollando una técnica de búsqueda e identificación de elementos a partir de sus picos de conteo. El análisis comparativo de las composiciones minerales de la kiwicha producida en Paruro, Paucartambo y Kayra puede realizarse mediante la contrastación de los resultados por cada beam.	

ANEXO 2: Características del instrumento de recolección de información

El instrumento utilizado, espectrómetro FRX, cuenta con los siguientes modelos

Delta Types and Models		
Type	Modes	Models
Premium	Alloy	DP-2000
	Environmental	DP-4000
	Mining	DP-6000
	RoHS	DP-6500
Standard	Alloy	DS-2000
	Environmental	DS-4000
	Mining	DS-6000
	RoHS	DS-6500
Classic	Alloy	DC-2000
	Environmental	DC-4000
	Mining	DC-6000
	RoHS	DC-6500

Entre los modos de operación se selecciona el análisis SOIL por corresponder al campo de análisis ambiental y exploración de suelos.

Modes and Calibrations					
ALLOY Analysis	Alloy	MINING	Mining Mode	LEAD PAINT	Lead in Paint (HUD)
	Alloy Plus		2 Beam Mining		Lead in Paint (Industrial)
	FastID & Pass/Fail		Car Catalyst	THIN	Filter Analysis
	Precious Metals	CONSUMER GOODS	RoHS		Dust Wipe
SOIL Analysis	Environmental		Consumer Products		
	Exploration				

Como parte de la calibración se realiza una primera etapa llamada Cal Check, en conjunto con la indicación del aplicativo del instrumento

Cal Check (Standardization) Coupon

This part is used as a reference sample to provide a test standard for a Cal Check procedure if the Docking Stations is not available. The instrument indicates when a Cal_Check is necessary.





See Chapter 4, Page 51
"Cal Check Information"

ANEXO 3: Otros

354C1-K1 (Test1-B1): Análisis de los elementos presentes

354C1-K1 (Test1-B1)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.830434	3.091318	123	2.910706	Actinio	Mα1	0.37%	Radio	Mβ1	1.30%
3.191658	3.412406	178	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	uranio	Mβ1	0.12%
3.532814	3.793698	215	3.673290	estaño	Lβ1	0.28%	calcio	Kα1	0.51%
4.496078	4.777703	176	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.318866	5.519546	12292	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
6.041314	6.28213	5271	6.282130	terbio	Lα1	0.15%	hierro	Kα1	1.92%
6.262062	6.563082	34491	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.964442	7.165122	5440	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.345734	7.566482	2357	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.867502	8.128386	389	8.048114	cobre	Kα1	0.03%	tulio	Lβ1	0.67%
8.148454	8.409338	459	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
17.179054	17.72089	1091	17.460006	niobio	Kβ1	1.61%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.242658	19.32633	479	18.924970	americio	Lβ1	0.37%	rutenio	Kα1	1.84%
19.446738	19.807962	341	19.567146	rutenio	Kα1	1.49%	molibdeno	Kβ1	0.20%
19.868166	20.450138	331	20.169186	molibdeno	Kβ1	2.87%	rodio	Kα1	0.23%
20.53041	21.654218	417	21.012042	tecnecio	Kβ1	1.87%	paladio	Kα1	0.78%

354C1-K1 (Test1-B2): Análisis de los elementos presentes

354C1-K1 (Test1-B2)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.211726	3.492678	308	3.312066	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.552882	3.793698	440	3.673290	estaño	Lβ1	0.28%	calcio	Kα1	0.51%
4.536214	4.756962	344	4.676690	lantano	Lα1	0.64%	bario	Lβ1	3.13%
5.258662	5.559682	27252	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.820566	6.021246	6042	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	74672	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.964442	7.165122	11876	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.405938	7.566482	5426	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.907638	8.148454	483	8.048114	cobre	Kα1	0.03%	tulio	Lβ1	0.67%
8.148454	8.449474	998	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
11.680422	12.081782	202	11.881102	mercurio	Lβ1	0.48%	bromo	Kα1	0.36%
17.299462	17.640618	2507	17.460006	niobio	Kβ1	-1.29%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.242658	19.32633	3241	18.864766	americio	Lβ1	0.05%	rutenio	Kα1	2.15%
19.466806	19.767826	1272	19.527010	rutenio	Kα1	1.29%	molibdeno	Kβ1	0.40%
19.848098	20.410002	1815	20.189254	molibdeno	Kβ1	2.97%	rodio	Kα1	0.13%
20.570546	21.594014	1294	21.132450	tecnecio	Kβ1	2.46%	paladio	Kα1	0.21%
22.376666	22.998774	871	22.717822	plata	Kα1	2.50%	rodio	Kβ1	0.03%

354C1-K1 (Test1-B3): Análisis de los elementos presentes en gráfica de conteos

**354C1
(Test1-B3)**

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.887238	2.128054	114	2.007646	Itrio	Lβ1	0.48%	fósforo	Kα1	0.12%
2.228394	2.449142	152	2.308666	paladio	Lβ1	0.638%	azufre	Kα1	0.01%
2.830434	3.111386	549	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	plata	Lα1	0.41%
3.151522	3.432474	1772	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	uranio	Mβ1	0.12%
3.532814	3.813766	1734	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.536214	4.756962	799	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.218526	5.559682	59722	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.700158	6.041314	12078	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.221926	6.563082	167964	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.864102	7.165122	24886	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.305598	7.58655	13342	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.807298	8.108318	2203	8.068182	cobre	Kα1	0.28%	tulio	Lβ1	0.42%
8.128386	8.369202	3519	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
11.680422	11.981422	2508	11.861034	mercurio	Lβ1	0.31%	bromo	Kα1	0.53%
12.643686	12.984842	2298	12.804230	Actinio	Lα1	1.20%	torio	Lα1	1.26%
13.325998	13.667154	1154	13.426338	Rubidio	Kα1	0.23%	Polonio	Lβ1	0.15%

354C1-K1 (Test2-B1): Análisis de los elementos presentes

354C1-K1 (Test2-B1)

Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.830434	3.111386	135	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.64%
3.17159	3.492678	181	3.352202	Plutonio	Mα1	0.40%	Neptunio	Mβ1	2.41%
3.593018	3.793698	229	3.713426	calcio	Kα1	0.58%	telurio	Lα1	1.45%
4.556282	4.797098	182	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.258662	5.599818	12414	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.021246	2655	5.961042	Prometio	Lβ1	0.00%	cromo	Kβ1	0.24%
6.241994	6.563082	34714	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.904238	7.18519	5439	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.405938	7.546414	2369	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.907638	8.128386	396	8.048114	cobre	Kα1	0.03%	tulio	Lβ1	0.67%
8.168522	8.369202	466	8.288930	níquel	Kβ1	0.27%	wolframio	Lα1	1.30%
8.509678	8.830766	207	8.650154	zinc	Kα1	0.15%	Renio	Lα1	0.02%
17.158986	17.700822	1065	17.480074	molibdeno	Kα1	0.00%	Circonio	Kβ1	1.06%
18.202522	19.366466	481	18.904902	americio	Lβ1	0.26%	niobio	Kβ1	1.50%
19.386534	19.888234	355	19.567146	rutenio	Kα1	1.49%	molibdeno	Kβ1	0.20%
20.650818	21.714422	431	21.232790	paladio	Kα1	0.26%	rutenio	Kβ1	1.95%

354C1-K1 (Test2-B2): Análisis de los elementos presentes

354C1-K1 (Test2-B2)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.830434	3.07125	157	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.638%
3.191658	3.432474	307	3.332134	Cadmio	Lβ1	0.52%	uranio	Mβ1	0.12%
3.593018	3.833834	428	3.693358	Calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.516146	4.857302	351	4.676690	Lantano	Lα1	0.64%	bario	Lβ1	3.13%
5.318866	5.539614	26347	5.419206	Cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.820566	6.021246	5753	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	72548	6.402538	Terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.904238	7.165122	11482	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.405938	7.546414	5445	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.867502	8.148454	451	8.068182	cobre	Kα1	0.28%	tulio	Lβ1	0.42%
8.148454	8.429406	957	8.248794	Tántalo	Lα1	1.26%	níquel	Kβ1	0.22%
8.509678	8.730426	179	8.650154	zinc	Kα1	0.15%	Renio	Lα1	0.02%
11.720558	12.021578	199	11.881102	mercurio	Lβ1	0.48%	bromo	Kα1	0.36%
12.70389	12.944706	143	12.804230	Actinio	Lα1	1.20%	torio	Lα1	1.26%
13.245726	13.586882	134	13.386202	bromo	Kβ1	0.71%	Rubidio	Kα1	0.07%
17.259326	17.62055	2400	17.460006	uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.543678	19.286194	3220	18.864766	americio	Lβ1	0.05%	niobio	Kβ1	1.287%
19.386534	19.767826	1256	19.587214	rutenio	Kα1	1.60%	molibdeno	Kβ1	0.10%
19.888234	20.410002	1769	20.189254	molibdeno	Kβ1	2.97%	rodio	Kα1	0.13%
20.73109	21.553878	1281	21.132450	tecnecio	Kβ1	2.46%	paladio	Kα1	0.21%
22.33653	23.119182	850	22.717822	plata	Kα1	2.50%	rodio	Kβ1	0.03%

354C1-K1 (Test2-B3): Análisis de los elementos presentes

354C1-K1 (Test2-B3)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.907306	2.087918	115	1.987578	fósforo	Kα1	1.12%	Itrio	Lβ1	0.52%
2.208326	2.36887	145	2.328734	azufre	Kα1	0.85%	Plomo	Ma1	0.57%
2.830434	3.091318	530	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.64%
3.191658	3.492678	1693	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	uranio	Mβ1	0.12%
3.512746	3.793698	1707	3.673290	estaño	Lβ1	0.28%	calcio	Kα1	0.51%
3.934174	4.114786	247	4.014446	calcio	Kβ1	0.04%	telurio	Lβ1	0.36%
4.556282	4.77703	761	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.298798	5.539614	59207	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.021246	11895	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	168090	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.964442	7.145054	24852	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.365802	7.546414	13264	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.867502	8.128386	2244	8.068182	cobre	Kα1	0.28%	tulio	Lβ1	0.42%
8.128386	8.38927	3510	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
8.509678	8.810698	2124	8.630086	iterbio	Lβ1	2.71%	zinc	Kα1	0.08%
11.720558	11.981442	2637	11.800830	Radón	Lα1	0.63%	bromo	Kα1	1.03%
12.70389	13.024978	2312	12.804230	Actinio	Lα1	1.20%	torio	Lα1	1.26%
13.285862	13.60695	1196	13.446406	Polonio	Lβ1	0.00%	Rubidio	Kα1	0.38%

CURA-K1 (Test1-B1): Análisis de los elementos presentes

CURA-K1 (Test1-B1)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
2.930774	3.091318	123	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.64%
3.211726	3.452542	213	3.332134	cadmio	Lβ1	0.52%	uranio	Mβ1	0.12%
3.593018	3.77363	210	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.616486	4.797098	172	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.338934	5.519546	11871	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.800498	6.041314	2609	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	34187	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.964442	7.165122	5424	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.365802	7.626686	2247	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.927706	8.168522	352	8.048114	cobre	Kα1	0.03%	tulio	Lβ1	0.67%
8.148454	8.38927	491	8.248794	Tántalo	Lα1	1.26%	níquel	Kβ1	0.22%
17.199122	17.640618	1077	17.439938	uranio	Lβ1	1.28%	molibdeno	Kα1	0.23%
18.32293	19.346398	475	18.864766	americio	Lβ1	0.05%	niobio	Kβ1	1.29%
19.406602	19.82803	323	19.607282	molibdeno	Kβ1	0.01%	rodio	Kα1	3.01%
19.968506	20.450138	321	20.229390	rodio	Kα1	0.07%	tecnecio	Kβ1	1.92%
20.570546	21.614082	384	21.092314	tecnecio	Kβ1	2.26%	paladio	Kα1	0.40%

CURA-K1 (Test1-B2): Análisis de los elementos presentes

CURA-K1 (Test1-B2)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.251862	3.452542	326	3.312066	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.593018	3.793698	415	3.653222	calcio	Kα1	1.05%	estaño	Lβ1	0.27%
4.516146	4.797098	326	4.656622	lantano	Lα1	0.21%	bario	Lβ1	3.55%
5.338934	5.519546	24682	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.860702	6.021246	5453	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	69402	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.98451	7.145054	10991	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.365802	7.58655	5170	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.967842	8.168522	437	8.168522	Tántalo	Lα1	0.28%	níquel	Kβ1	1.19%
8.168522	8.429406	1001	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
11.760694	12.081782	243	11.901170	mercurio	Lβ1	0.65%	bromo	Kα1	0.19%
17.170054	17.680754	2988	18.864766	americio	Lβ1	0.05%	rutenio	Kα1	2.15%
17.158986	17.700822	2389	17.460006	uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.302862	19.32633	2988	18.864766	americio	Lβ1	0.05%	niobio	Kβ1	1.29%
19.406602	19.767826	1137	19.547078	rutenio	Kα1	1.39%	molibdeno	Kβ1	0.30%
19.908302	20.450138	1685	20.209322	molibdeno	Kβ1	3.08%	rodio	Kα1	0.03%
20.550478	21.694354	1170	21.192654	paladio	Kα1	0.07%	rutenio	Kβ1	2.14%
22.456938	23.179386	800	22.717822	plata	Kα1	2.50%	rodio	Kβ1	0.03%

CURA-K1 (Test1-B3): Análisis de los elementos presentes

CURA-K1 (Test1-B3)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.947442	2.087918	121	1.987578	Iridio	Mα1	0.38%	Itrio	Lβ1	0.52%
2.248462	2.4096	167349	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
2.810366	3.151522	554	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	plata	Lα1	0.41%
2.810366	3.151522	554	2.970910	Argón	Kα1	0.44%	paladio	Lβ1	0.64%
3.17159	3.452542	2017	3.312066	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.552882	3.793698	2005	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
3.914106	4.114786	297	4.034514	calcio	Kβ1	-0.54%	Escandio	Kα1	1.43%
4.496078	4.857302	723	4.676690	lantano	Lα1	0.64%	bario	Lβ1	3.13%
5.298798	5.539614	57581	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.041314	11876	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	167349	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.904238	7.165122	24897	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.405938	7.546414	13701	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.907638	8.108318	2291	8.088250	cobre	Kα1	0.53%	tulio	Lβ1	0.17%
8.168522	8.449474	3642	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
11.640286	12.021578	2583	11.840966	mercurio	Lβ1	0.14%	bromo	Kα1	0.70%
12.623618	13.024978	2264	12.824298	Actinio	Lα1	1.36%	torio	Lα1	1.11%
13.185522	13.928038	1147	13.426338	Rubidio	Kα1	0.23%	Polonio	Lβ1	0.15%

CURA-K1 (Test2-B1): Análisis de los elementos presentes

CURA-K1 (Test2-B1)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.231794	3.432474	182	3.312066	Indio	Lα1	0.79%	potasio	Kα1	0.06%
3.593018	3.77363	255	3.693358	calcio	Kα1	0.04%	telurio	Lα1	1.98%
4.435874	4.857302	161	4.636554	Cesio	Lβ1	0.38%	lantano	Lα1	0.22%
5.318866	5.519546	11748	5.419206	cromo	Kα1	0.08%	vanadio	Kβ1	0.16%
5.840634	6.041314	2696	5.940974	manganeso	Kα1	0.69%	cromo	Kβ1	0.10%
6.262062	6.563082	34086	6.402538	terbio	Lα1	2.07%	hierro	Kα1	0.04%
6.924306	7.145054	5371	7.064782	hierro	Kβ1	0.08%	tulio	Lα1	1.60%
7.345734	7.566482	2304	7.486210	níquel	Kα1	0.08%	Holmio	Lβ1	0.53%
7.907638	8.168522	349	8.028046	Hafnio	Lα1	1.63%	cobre	Kα1	0.22%
8.128386	8.369202	512	8.268862	níquel	Kβ1	0.02%	wolframio	Lα1	1.54%
8.509678	9.011378	190	8.610018	terbio	Lβ1	2.48%	zinc	Kα1	0.31%
17.138918	17.72089	1059	17.460006	uranio	Lβ1	1.39%	molibdeno	Kα1	0.11%
18.342998	19.386534	488	18.884834	niobio	Kβ1	1.40%	rutenio	Kα1	2.04%
19.406602	19.807962	366	19.587214	rutenio	Kα1	1.60%	molibdeno	Kβ1	0.10%
19.908302	20.309662	317	20.229390	rodio	Kα1	0.07%	tecnecio	Kβ1	1.92%
20.369866	21.93517	405	21.172586	tecnecio	Kβ1	2.65%	paladio	Kα1	0.02%

CURA-K1 (Test2-B2): Análisis de los elementos presentes

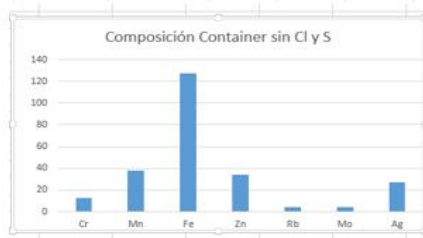
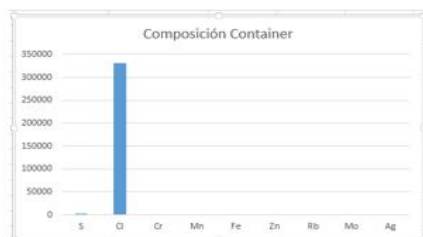
CURA-K1 (Test2-B2)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
3.151522	3.47261	327	3.332134	Cadmio	L β 1	0.52%	uranio	M β 1	0.12%
3.613086	3.793698	382	3.693358	Calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
4.536214	4.817166	333	4.656622	Lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
5.318866	5.539614	25122	5.419206	Cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.820566	6.001178	5576	5.940974	Manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.241994	6.563082	69217	6.402538	Terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.924306	7.165122	11371	7.064782	Hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.405938	7.566482	5173	7.486210	Níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.907638	8.128386	445	8.048114	Cobre	K α 1	0.03%	tulio	L β 1	0.67%
8.208658	8.509678	931	8.268862	Níquel	K β 1	0.02%	wolframio	L α 1	1.54%
8.549814	8.730426	168	8.650154	Zinc	K α 1	0.15%	Renio	L α 1	0.02%
11.680422	12.041646	246	11.901170	Mercurio	L β 1	0.65%	bromo	K α 1	0.19%
17.179054	17.680754	2380	17.460006	Uranio	L β 1	1.39%	molibdeno	K α 1	0.11%
18.302862	19.32633	2985	18.904902	Niobio	K β 1	1.50%	rutenio	K α 1	1.94%
19.506942	19.868166	1183	19.607282	Molibdeno	K β 1	0.01%	rodio	K α 1	3.01%
19.948438	20.43007	1744	20.169186	Molibdeno	K β 1	2.87%	rodio	K α 1	0.23%
20.650818	21.774626	1203	21.072246	Tecnecio	K β 1	2.16%	paladio	K α 1	0.49%
22.456938	23.058978	810	22.677686	Plata	K α 1	2.32%	rodio	K β 1	0.20%

CURA-K1 (Test2-B3): Análisis de los elementos presentes

CURA-K1 (Test2-B3)									
Energía 1	Energía 2	Conteo	Energía pico	Elem1	T1	Error1	Elem2	T2	Error2
1.927374	2.087918	117	2.027714	Fósforo	K α 1	0.88%	Circonio	L α 1	0.80%
2.26853	2.388938	164	2.288598	Mercurio	M β 1	0.33%	molibdeno	L α 1	0.15%
2.830434	3.111386	558	2.990978	Paladio	L β 1	0.03%	torio	M α 1	0.17%
3.211726	3.452542	2136	3.312066	Indio	L α 1	0.79%	potasio	K α 1	0.06%
3.552882	3.87397	2083	3.693358	Calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
3.552882	3.813766	2083	3.693358	Calcio	K α 1	0.04%	telurio	L α 1	1.98%
4.496078	4.817166	718	4.656622	Lantano	L α 1	0.21%	bario	L β 1	3.55%
5.318866	5.519546	57420	5.419206	Cromo	K α 1	0.08%	vanadio	K β 1	0.16%
5.800498	6.041314	11992	5.940974	manganeso	K α 1	0.69%	cromo	K β 1	0.10%
6.241994	6.58315	166465	6.402538	Terbio	L α 1	2.07%	hierro	K α 1	0.04%
6.924306	7.165122	25022	7.064782	Hierro	K β 1	0.08%	tulio	L α 1	1.60%
7.405938	7.566482	13608	7.486210	Níquel	K α 1	0.08%	Holmio	L β 1	0.53%
7.827366	8.168522	2343	8.168522	Tántalo	L α 1	0.28%	níquel	K β 1	1.19%
8.168522	8.429406	3623	8.288930	Níquel	K β 1	0.27%	bromo	K α 1	0.86%
11.640286	12.041646	2588	11.820898	Radón	L α 1	0.80%	mercurio	L β 1	0.03%
12.643686	12.964774	2313	12.804230	Actinio	L α 1	1.20%	Rubidio	K α 1	-0.38%
13.185522	13.948106	1118	13.446406	Polonio	L β 1	0.00%	uranio	L α 1	1.23%

Composición del container

Composición del container elaborado



Elementos (PPM) del container	
Azufre(S)	2422
Cloro(Cl)	331230
Cromo(Cr)	13
Manganeso(Mn)	38
Hierro(Fe)	127
Zinc(Zn)	34
Rubidio(Rb)	4.6
Molibdeno(Mo)	4
Plata(Ag)	27