

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

SELECCIÓN DE UN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE COMPUESTOS ANTINUTRICIONALES EN EL GRANO Y HOJAS DE AMARANTO (*Amaranthus caudatus* L.) Y SANGORACHE (*Amaranthus hybridus* L.)

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL

ANDREA DANIELA GÓMEZ PONCE
andaniela17@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CLARA ELENA VILLACRÉS POVEDA, MSc.
elenavillacres9@hotmail.com

CODIRECTOR: ING. NEYDA FERNANDA ESPÍN FÉLIX, MSc.
neyda.espin@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2013

© Escuela Politécnica Nacional 2013
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Andrea Daniela Gómez Ponce declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Andrea Daniela Gómez Ponce

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Andrea Daniela Gómez Ponce, bajo mi supervisión.

Ing. Elena Villacrés, Msc.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Neyda Espín, Msc.
CODIRECTORA DEL PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto 1514 (2100068001), Alternativas Tecnológicas para Mejorar la Competitividad de los Granos Andinos: Chocho (*Lupinus mutabilis*), Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), Amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y Sangorache (*Amaranthus hybridus* L.), que se ejecuta en Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos (PRONALEG-GA) y en el Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) – Estación Experimental Santa Catalina.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), y a quienes lo integran, por brindarme la oportunidad de realizar mi Proyecto de Titulación en sus instalaciones, además de otorgarme el financiamiento para el mismo.

A la Escuela Politécnica Nacional, por darme la oportunidad de desarrollarme como estudiante y como ser humano, así como a todos mis maestros que con sus conocimientos y experiencia han sido una guía importante a lo largo de mi trayectoria universitaria.

A mi directora de tesis, Ing. Elena Villacrés Msc., por brindarme este tema de tesis muy interesante y que aportará con información valiosa para investigaciones futuras, por su paciencia, guía, comprensión y apoyo constantes. A la Ing. Neyda Espín Msc., codirectora, por sus consejos oportunos, conocimientos y experiencias. Al Ing. Luis Egas por compartir generosamente su tiempo y conocimientos.

A mis abuelitos Rosario y Luis, quienes han sido más que unos padres para mí, que con su ejemplo de lucha han sido más que mi inspiración, mi orgullo. A mi madre Martha que con su confianza, apoyo y motivación me ha ayudado salir adelante. A Manfred por ser parte de mi familia y por ayudarme en todo lo que esté a su alcance. A mi hermana Gaby por su carisma, alegría, y cariño; a y mis tíos que son como mis hermanos, Luis, Laly y Ricardo, por ser parte importante de mi vida. A Byron, por su amor, apoyo incondicional, y por ayudarme cada día a ser mejor ser humano.

A mis amigos y compañeros de clase, Andre, Gina, Richie, Carlitos, Taty, Edu, Estelita, Dianita, Gaby Galarza, y a todas las personas que me brindaron su amistad, apoyo, y ayuda tanto en la vida académica como personal. A Dany Villacís y Gaby Hidrobo quienes supieron guiarme y apoyarme para alcanzar mis metas estudiantiles. A César y Mishel, que pese a no frecuentarnos mucho sé que siempre contaré con ustedes en las buenas y en las malas.

DEDICATORIA

A mis abuelos Rosario y Luis, por brindarme su cariño y apoyo.

A mis padres Martha y Manfred, por su amor y comprensión.

A Gaby por ser más que mi hermana, mi amiga.

A Byron por la fe tan grande que deposita en mí, y por hacerme tan feliz.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN		xv
INTRODUCCIÓN		xvii
1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1	EL AMARANTO (<i>Amaranthus caudatus</i> L) Y EL SANGORACHE (<i>Amaranthus hybridus</i> L).....	1
1.1.1	Generalidades.....	1
1.1.2	Origen.....	2
1.1.3	Identificación taxonómica.....	2
1.1.4	Descripción botánica.....	3
1.1.5	Aspectos agroecológicos.....	4
1.1.6	Composición nutricional.....	5
1.1.7	Composición antinutricional.....	8
1.2	Factores antinutricionales.....	8
1.2.1	Generalidades.....	8
1.2.2	Tipos de factores antinutricionales.....	8
1.2.2.1	Ácido fítico.....	8
1.2.2.2	Nitratos.....	10
1.2.2.3	Ácido oxálico.....	11
1.2.2.4	Taninos.....	11
1.2.2.5	Saponinas.....	13
1.2.2.6	Inhibidores de tripsina.....	14
1.2.2.7	Fibra dietética total.....	14
1.3	Procesos aplicados.....	15
1.3.1	Remojo.....	15
1.3.2	Cocción en olla abierta.....	16
1.3.3	Cocción en olla de presión.....	16
1.3.4	Cocción al vapor.....	17
1.3.5	Fritura.....	17
1.3.6	Reventado.....	18
1.3.7	Horneado.....	18
1.3.8	Germinación.....	19

2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1	Materiales.....	20
2.2	Determinación de las características químicas del grano y hojas de amaranto y sangorache en estado nativo.....	20
2.3	Efecto de los procesos aplicados sobre los componentes anti nutricionales del grano de amaranto y sangorache.....	22
2.3.1	Determinación del contenido de antinutricionales en el agua de remojo y cocción del grano de amaranto y sangorache.....	26
2.4	Efecto de los procesos aplicados sobre los componentes anti nutricionales de las hojas de amaranto y sangorache.....	28
2.4.1	Determinación del contenido de antinutricionales en el agua de cocción de las hojas de amaranto y sangorache.....	31
2.5	Determinación del perfil nutricional del grano y las hojas de amaranto y sangorache.....	31
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1	Determinación de las características químicas del grano y hojas de amaranto y sangorache en estado nativo.....	32
3.1.1	Perfil nutricional.....	32
3.1.2	Factores antinutricionales.....	36
3.1.2.1	Nitratos.....	38
3.1.2.2	Ácido oxálico.....	39
3.1.2.3	Ácido fítico.....	40
3.1.2.4	Taninos.....	40
3.1.2.5	Saponinas.....	41
3.1.2.6	Inhibidores de tripsina.....	42
3.1.2.7	Fibra dietética total (FDT).....	43
3.2	Efecto de los procesos aplicados sobre los componentes antinutricionales de grano de amaranto y sangorache.....	44
3.2.1	Determinación del contenido de antinutricionales en el agua de remojo y cocción del grano de amaranto y sangorache.....	58
3.3	Efecto de los procesos aplicados sobre los componentes antinutricionales de las hojas de amaranto y sangorache.....	66
3.3.1	Determinación del contenido de antinutricionales en el agua de cocción de las hojas de amaranto y sangorache.....	76

3.4	Determinación del perfil nutricional del grano y las hojas de amaranto y sangorache.....	79
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
4.1	Conclusiones.....	107
4.2	Recomendaciones.....	109
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
	ANEXOS.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 3.1. Contenido de humedad (%) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	80
Figura 3.2. Contenido de humedad (%) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	81
Figura 3.3. Contenido de cenizas (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	82
Figura 3.4. Contenido de cenizas (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	82
Figura 3.5. Contenido de extracto etéreo (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	83
Figura 3.6. Contenido de extracto etéreo (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	84
Figura 3.7. Contenido de proteína (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	85
Figura 3.8. Contenido de proteína (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	85
Figura 3.9. Contenido de fibra cruda o bruta (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	86
Figura 3.10. Contenido de fibra cruda o bruta (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	87
Figura 3.11. Contenido de Ca (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	88
Figura 3.12. Contenido de Ca (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	89
Figura 3.13. Contenido de P (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	90
Figura 3.14. Contenido de P (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	90
Figura 3.15. Contenido de Mg (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	91

Figura 3.16.	Contenido de Mg (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	92
Figura 3.17.	Contenido de K (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	93
Figura 3.18.	Contenido de K (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	93
Figura 3.19.	Contenido de Na (% B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	94
Figura 3.20.	Contenido de Na (% B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	95
Figura 3.21.	Contenido de Cu (ppm B.S), en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	96
Figura 3.22.	Contenido de Fe (ppm B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	96
Figura 3.23.	Contenido de Mn (ppm B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	97
Figura 3.24.	Contenido de Zn (ppm B.S) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	97
Figura 3.25.	Contenido de Cu (ppm B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	98
Figura 3.26.	Contenido de Fe (ppm B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	98
Figura 3.27.	Contenido de Mn (ppm B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	99
Figura 3.28.	Contenido de Zn (ppm B.S) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	99
Figura 3.29.	Digestibilidad proteica (%), en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	100
Figura 3.30.	Digestibilidad proteica (%), en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	101
Figura 3.31.	Lisina disponible (g/100g proteína), en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	102

Figura 3.32. Lisina disponible (g/100g proteína), en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	103
Figura 3.33. Biodisponibilidad de Fe (%) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	104
Figura 3.34. Biodisponibilidad de Zn (%) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado	104
Figura 3.35. Biodisponibilidad de Fe (%) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	105
Figura 3.36. Biodisponibilidad de Zn (%) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas	106

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1. Identificación taxonómica del amaranto y sangorache	2
Tabla 1.2. Composición del grano de amaranto (<i>Amaranthus caudatus</i> L)	7
Tabla 1.3. Composición de las hojas de amaranto (<i>Amaranthus caudatus</i> L)	7
Tabla 2.1. Material vegetal empleado	20
Tabla 2.2. Parámetros tecnológicos para el procesamiento del grano	23
Tabla 2.3. Tratamientos para la determinación del efecto de varios procesos sobre la composición de antinutricionales en el grano de amaranto	24
Tabla 2.4. Tratamientos para la determinación del efecto de varios procesos sobre la composición de antinutricionales en el grano de sangorache	24
Tabla 2.5. Esquema del análisis de varianza	25
Tabla 2.6. Tratamientos para la determinación del contenido de antinutricionales en el agua de remojo y cocción del grano de amaranto	26
Tabla 2.7. Tratamientos para la determinación del contenido de antinutricionales en el agua de remojo y cocción del grano de sangorache	27
Tabla 2.8. Esquema del análisis de varianza	27
Tabla 2.9. Parámetros tecnológicos para el procesamiento de las hojas de amaranto y sangorache	28
Tabla 2.10. Tratamientos para la determinación del efecto del procesamiento sobre el contenido de antinutricionales en hojas de amaranto	29
Tabla 2.11. Tratamientos para la determinación del efecto del procesamiento sobre el contenido de antinutricionales en hojas de sangorache	29
Tabla 2.12. Esquema del análisis de varianza	30
Tabla 3.1. Composición proximal del grano y hojas de amaranto y sangorache	32
Tabla 3.2. Contenido de macroelementos en el material vegetal en estado nativo	33
Tabla 3.3. Contenido de microelementos, en el material vegetal en estado nativo	34

Tabla 3.4.	Digestibilidad proteica, lisina disponible y biodisponibilidad de Fe y Zn en el material vegetal en estado nativo	35
Tabla 3.5.	Contenido de factores antinutricionales en el material vegetal en estado nativo	37
Tabla 3.6.	Codificación de los granos de amaranto y sangorache procesados	44
Tabla 3.7.	Contenido de factores antinutricionales en los granos de amaranto procesados	45
Tabla 3.8.	Contenido de factores antinutricionales en los granos de sangorache procesados	45
Tabla 3.9.	Contenido de factores antinutricionales en los granos de amaranto y sangorache sometidos al proceso de remojo	46
Tabla 3.10.	Efecto del procesamiento en el contenido de nitratos de los granos de amaranto y sangorache	47
Tabla 3.11.	Efecto de diferentes procesos en el contenido de ácido oxálico de los granos de amaranto y sangorache	49
Tabla 3.12.	Efecto del procesamiento en el contenido de ácido fítico de los granos de amaranto y sangorache	51
Tabla 3.13.	Variación en el contenido de taninos de los granos de amaranto y sangorache por efecto del procesamiento	52
Tabla 3.14.	Efecto de varios procesos sobre los inhibidores de tripsina de los granos de amaranto y sangorache	54
Tabla 3.15.	Efecto del procesamiento sobre el contenido de fibra dietética total en los granos de amaranto y sangorache	56
Tabla 3.16.	Codificación del líquido residual obtenido de los procesos de remojo y cocción de los granos de amaranto y sangorache	59
Tabla 3.17.	Contenido de factores antinutricionales en el líquido residual obtenido de los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión de los granos de amaranto	60
Tabla 3.18.	Contenido de factores antinutricionales en el líquido residual obtenido de los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión de los granos de sangorache	60
Tabla 3.19.	Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de antinutricionales de los granos de amaranto y sangorache	61

Tabla 3.20. Codificación de las hojas de amaranto y sangorache procesadas	66
Tabla 3.21. Contenido de factores antinutricionales en las hojas de amaranto procesadas	67
Tabla 3.22. Contenido de factores antinutricionales en las hojas sangorache procesadas	67
Tabla 3.23. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de nitratos, en las hojas de amaranto y sangorache	68
Tabla 3.24. Disminución de ácido oxálico en las hojas de amaranto y sangorache procesadas	69
Tabla 3.25. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de ácido fítico, de las hojas de amaranto y sangorache procesadas	70
Tabla 3.26. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de taninos de las hojas de amaranto y sangorache	71
Tabla 3.27. Nivel de reducción de las saponinas en las hojas de amaranto y sangorache procesadas	73
Tabla 3.28. Nivel de reducción de los inhibidores de tripsina en las hojas de amaranto y sangorache procesadas	74
Tabla 3.29. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción o aumento de la FDT de las hojas de amaranto y sangorache	75
Tabla 3.30. Codificación del líquido residual obtenido del proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache.	76
Tabla 3.31. Contenido de factores antinutricionales en el líquido residual obtenido del proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache	77
Tabla 3.32. Contenido de antinutricionales detectado en el líquido residual, con respecto al total eliminado por el proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache	77

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Métodos utilizados para determinar el perfil nutricional	125
ANEXO II	
Métodos de análisis de factores antinutricionales	144
ANEXO III	
Análisis de la varianza y prueba de Tukey al 5% para los factores antinutricionales del grano de amaranto procesado	166
ANEXO IV	
Análisis de la varianza y prueba de Tukey al 5% para los factores antinutricionales del grano de sangorache procesado	172
ANEXO V	
Análisis de la varianza y prueba de Tukey al 5% para los factores antinutricionales de las hojas de amaranto	178
ANEXO VI	
Análisis de la varianza y prueba de Tukey al 5% para los factores antinutricionales de las hojas de sangorache	182
ANEXO VII	
Análisis de la varianza y prueba de Tukey al 5% para los factores antinutricionales de los líquidos residuales del grano de amaranto	186
ANEXO VIII	
Análisis de la varianza y prueba de Tukey al 5% para los factores antinutricionales de los líquidos residuales del grano de sangorache	189
ANEXO IX	
Material vegetal empleado	193

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Anticarcinógena: Relativo a una sustancia o mecanismo que neutraliza los efectos de un carcinógeno o producto químico capaz de inducir el desarrollo de un cáncer (DiSaia y Creasman, 2002, p. 425).

Antipirética: Sustancia que disminuye la fiebre (Kelley, 1993, p. 1782).

Convección: Transferencia de calor que se produce a través de un fluido (líquido o gas) que transporta calor entre dos zonas con diferentes temperaturas (Esplugas y Chamarro, 2005, p. 12).

Diploide: Número cigótico de cromosomas ($2n$), por oposición al número haploide (n) (Barioglio, 2006, p. 152).

Diverticulosis: Es la presencia de divertículos o dilataciones de la pared intestinal formando bolsas en donde se acumulan restos alimenticios (Rodríguez, 2006, p. 95).

Eritrocitos: Los glóbulos rojos o eritrocitos, son células sanguíneas sin núcleo que contienen en su interior a la hemoglobina (Welsch y Sobotta, 2009, p. 207).

Filiforme: Objetos que tienen forma alargada y fina, parecida a la de un hilo (Vásquez, 2001, p. 228).

Glúcido: Término genérico que cubre al grupo de sustancias compuestas únicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno, denominadas comúnmente como azúcares o hidratos de carbono (Fraume, 2007, p. 225).

Hemoglobina: Nombre genérico de un grupo de proteínas globulares que aparecen en los animales como portadores del oxígeno de la sangre (Julián, 2003, p. 333).

Hemolítica: Relativo a la destrucción de los hematíes o eritrocitos en el torrente sanguíneo (Arias, 2000, p. 303).

Hiperplasia: Aumento de tamaño de un órgano o de un tejido debido a que sus células han aumentado en número (Bennington, 2000, p.148).

Lisar: Acción de lisar o destruir la membrana celular (Vásquez, 2001, p. 326).

Metabolito: Compuesto que se obtiene o que participa en las reacciones químicas que se dan en los organismos vivos, o metabolismo (Vásquez, 2000, p. 665).

Nutraceutico: Cualquier sustancia que puede ser considerada como un alimento o parte del mismo, que produce beneficios medicinales o saludables, incluyendo la prevención y el tratamiento de una enfermedad (Aranceta y Gil, 2009, p. 4).

Piloso: Dícese de cualquier órgano vegetal cubierto de pelo fino y suave (pubescencia) (Cardona, 2008, p. 118).

Pivotante: Raíz principal, robusta y penetrante en profundidad, que fija algunas plantas firmemente en el suelo (Barioglio, 2006, p. 361).

Quelante: Sustancia orgánica capaz de inactivar un ion metálico, con la formación de una estructura cíclica o de anillo en la que el metal ocupa el centro; así el ión metálico queda fuera de su acción química normal, al ser "quelado" o secuestrado (Mata, 2005, p. 381).

Surfactante: Sustancia, como un detergente, que se añade a un líquido para aumentar su capacidad de cubrir o mojar una superficie, reduciendo su tensión superficial (Julián, 2003, p. 574).

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

% p/v:	Porcentaje de peso sobre volumen
% v/v:	Porcentaje de volumen sobre volumen
%B.S.:	Porcentaje en base seca
°C:	Grados centígrados
µg:	Microgramos
µL:	Microlitros
µn:	Micronanómetros
A.O.A.C.:	Association of Official Analytical Chemists
cm:	Centímetros
DS:	Desviación estándar
EFSA:	European Food Safety Authority
g:	Gramos
h:	Horas
INCAP:	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
INIAP:	Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
IU:	Internacional Unit (Unidad internacional)
Kcal:	Kilocalorías
kg:	Kilogramos
L:	Litros
lb:	Libras
m:	Metros
M:	Concentración molar
mg:	Miligramos
min:	Minutos
mL:	Mililitros
mM:	Concentración milimolar
msnm:	Metros sobre el nivel del mar
N:	Concentración normal o normalidad
nm:	Nanómetros

OPS:	Organización Panamericana de la Salud
pH:	Potencial de hidrógeno
ppm:	Partes por millón
pulg ² :	Pulgada al cuadrado
rpm:	Revoluciones por minuto
s:	Segundos
U:	Unidades
UIT:	Unidades inhibidoras de tripsina
Xm:	Promedio

RESUMEN

La presente investigación se orientó a determinar el contenido de factores antinutricionales en el grano y hojas de amaranto (*Amaranthus caudatus* L) y sangorache (*Amaranthus hybridus* L) en estado crudo o nativo, y procesados. El estudio de estas especies se realizó, dadas sus características nutricionales, potencial agroindustrial y farmacéutico.

Las técnicas de transformación aplicadas en el presente trabajo son comúnmente utilizadas en preparaciones culinarias y en la industria alimenticia, y fueron consideradas con el fin de determinar su efecto sobre la composición nutricional y antinutricional. Los procesos aplicados en el grano fueron: germinación, remojo más cocción en olla abierta, remojo más cocción en olla de presión, reventado y horneado; mientras que en las hojas se aplicó: cocción en olla abierta, cocción a vapor, y fritura.

Se buscó determinar el efecto de los procesos aplicados en el contenido de antinutricionales en el material vegetal empleado, manifestado en la reducción significativa de estos compuestos. Es así que todos los procesos aplicados tanto en el grano como en las hojas de las dos especies redujeron de forma significativa los factores antinutricionales: nitratos, ácido fítico, ácido oxálico, taninos, saponinas e inhibidores de tripsina. Con respecto a la fibra dietética total, los procesos aplicados incrementaron su contenido, con excepción del horneado y reventado en los granos, y de la fritura en las hojas.

Los líquidos residuales obtenidos de los procesos de: remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión fueron analizados, y se encontraron cantidades importantes de la mayoría de antinutricionales los cuales estaban constituidos de una porción soluble, como fueron: nitratos, ácido fítico, ácido oxálico, taninos, saponinas e inhibidores de tripsina.

Con base a la reducción en el número y cantidad de factores antinutricionales, se determinó como proceso más efectivo al remojo más cocción en olla abierta; este

proceso disminuyó el contenido de nitratos en un 100% y de ácido oxálico en una proporción superior al 65%, tanto en el grano como en las hojas de amaranto y sangorache. El contenido de ácido fítico fue reducido en 60,24% en el grano de amaranto, 1,85% en el grano de sangorache, 75,00% en las hojas de amaranto y 88,89% en las hojas de sangorache. Los taninos e inhibidores de tripsina disminuyeron en proporciones superiores al 50% en los cuatro tipos de material vegetal analizado, mientras que las saponinas en el grano de sangorache y en las hojas de las dos especies vegetales se redujeron en un 100%.

Posteriormente se determinaron las características químicas o componentes nutritivos del material vegetal sometido al proceso de remojo más cocción en olla abierta, comparándolo con el material vegetal crudo, a fin de conocer si existió un aumento o reducción significativa de estos elementos.

INTRODUCCIÓN

A partir del año 2009, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Salud, impulsa la diversificación y mejoramiento de la alimentación, a través del consumo de alimentos ricos en aminoácidos esenciales, vitamina A y minerales como el hierro y el zinc. El amaranto y el sangorache son alimentos estratégicos para el combate de los cuadros de anemia y desnutrición (Peralta, Mazón, Murillo, Villacrés, Rivera, Subía., 2009, p. 19).

En el Ecuador se busca además fomentar la producción y consumo de productos nativos para favorecer a los pequeños productores, conservar el medio ambiente y reducir el precio de los productos de consumo masivo que emplean materia prima extranjera como es el caso del trigo en la elaboración de pan (Peralta, Villacrés, Mazón, Rivera, Subía, 2008, p. 9).

El grano de amaranto y sangorache pueden utilizarse en la preparación de diversos productos como harinas, para la preparación de galletas, dulces, tamales, tortillas, bebidas refrescantes, etc., y reemplazar fácilmente a otras semillas como cobertura de pan especial de amplia demanda y precio (poppy seed muffins, beegel). Adicionalmente, las hojas pueden consumirse en estado tierno, igual que otras hortalizas, obteniéndose mayores ventajas nutritivas y económicas que el sólo uso del grano; estas además son utilizadas en la medicina tradicional en el tratamiento de la diarrea y otras afecciones de tipo inflamatorio.

La planta y el grano pueden utilizarse como colorante, debido a la presencia de pigmentos de color púrpura o negro en las hojas, inflorescencias y en el grano del sangorache o ataco. El pigmento característico es la amarantina, una betacianina que se caracteriza por ser soluble en agua y compuestos polares, la cual es de amplio uso en culinaria, industria alimenticia y textil, principalmente en EE.UU, México, Bolivia, Ecuador y Argentina. Este pigmento es digerible pero no transformado en el organismo humano por lo que es eliminado a través de las heces y orina (Mujica, Berti, Izquierdo, 1997, p. 2).

También se registra interés y demanda en los EE.UU, Inglaterra, Australia, Italia y Francia, especialmente por el grano negro, debido a su mejor sabor, valor nutritivo y potenciales propiedades farmacológicas. El color oscuro del sangorache es de interés para el consumidor porque lo asocia con la integralidad y naturalidad. Con el fin de aprovechar sus propiedades, los grupos privados, agricultores e industriales demandan tecnologías mejoradas de producción, manejo postcosecha y valor agregado (Peralta *et al.*, 2008, p. 9).

Sin embargo, en estas especies como en la mayoría de plantas, coexisten los factores nutricionales y los antinutricionales; estos últimos actúan reduciendo la disponibilidad y/o ingesta de nutrientes de los alimentos, al respecto, Mazza (2000) señala que el amaranto presenta factores antinutricionales como: ácido fítico, ácido oxálico, nitratos, saponinas, inhibidores de tripsina, taninos, fibra alimentaria o dietética, tanto en el grano como en sus hojas (p. 299).

A nivel nutricional, la determinación de compuestos antinutricionales es necesaria para garantizar que los alimentos en estado nativo y procesado, puedan ser consumidos sin provocar afecciones al organismo humano. A nivel industrial estos compuestos pueden ser extraídos para su uso cosmético, farmacológico, textil o como aditivos alimenticios.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 EL AMARANTO (*Amaranthus caudatus* L.) Y EL SANGORACHE (*Amaranthus hybridus* L.)

1.1.1 GENERALIDADES

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y el sangorache (*Amaranthus hybridus* L.) pertenecen a la familia de las Amaranthaceas y al género *Amaranthus*. Estas especies fueron parte de los principales productos para la alimentación de las culturas precolombinas de América. Para los Mayas, Aztecas e Incas, el amaranto fue la principal fuente de proteínas, se consumían las hojas como hortaliza y el grano en forma reventada (Mujica *et al.*, 1997, p. 4).

El relegamiento de estos cultivos de la dieta indígena en América, se remonta a la conquista española, por razones religiosas y políticas. El cultivo y consumo casi desaparecen, y su producción se mantuvo solamente en los lugares más apartados de la conquista española (Peralta, 2009, p. 4).

El amaranto y el sangorache son fuentes importantes de proteínas, minerales, vitaminas: A, C, B₁, B₂, B₃; ácido fólico, niacina, calcio, hierro y fósforo (Peralta, 2009, p. 6).

Mujica *et al.* (1997) señala la importancia del amaranto y del sangorache en la alimentación y en la agricultura, dada su fácil adaptación a diversas condiciones climáticas y sistemas de cultivo, ya sea a nivel de pequeños productores como en la agricultura extensiva. Pueden emplearse como plantas forrajeras en la alimentación del ganado por su adecuada digestibilidad. Se caracterizan por su alto valor proteico, balance adecuado de aminoácidos esenciales tanto en las semillas como en las hojas, y contenidos importantes de lisina, leucina y metionina (p. 73).

1.1.2 ORIGEN

Se han identificado más de 70 especies dentro del género *Amaranthus*, de las cuales la mayoría son provenientes de América, y solo 15 de Europa, Asia, África y Australia, cuyas características van a variar de acuerdo al lugar en donde se desarrollan. Las especies *Amaranthus caudatus* L. y *Amaranthus hybridus* L. son originarias de la región Andina (Peralta, 2009, p. 2).

El amaranto es conocido con diferentes nombres comunes, propios del lugar en donde se produce o consume, entre los que se tienen: kiwicha, achita, coyo, achis en Perú, coimi, millmi e inca pachaqui o grano inca en Bolivia, sangorache, ataco, quinua de castilla en Ecuador, alegría y huanthi en México, rejgira, ramdana, eeerai en la India (Tapia y Fries, 2007, p. 93).

1.1.3 IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

La identificación taxonómica del amaranto y el sangorache se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Identificación taxonómica del amaranto y sangorache

Reino	Vegetal
División	Fanerógama
Tipo	Embryophyta siphonogama
Subtipo	Angiosperma
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Archyclamidaeae
Orden	Centrospermales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Amaranthus</i>
Sección	<i>Amaranthus</i>
Especies	<i>Amaranthus caudatus</i> y <i>Amaranthus hybridus</i>

(Mujica *et al.*, 1997, p. 4)

1.1.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Las especies *Amaranthus caudatus* y *Amaranthus hybridus* son diploides con $2n = 2x = 32$ cromosomas (Solano y Porfirio, 2010, p. 89).

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y el sangorache (*Amaranthus hybridus*) poseen una raíz pivotante con muchas raíces laterales, secundarias y terciarias. La raíz principal sostiene el peso de la planta y las raíces primarias pueden obtener una consistencia leñosa, lo cual permite que la planta alcance dimensiones considerables cuando existe una baja densidad del cultivo (Mujica *et al.*, 1997, p. 6).

El tallo de estas especies es herbáceo, cilíndrico y anguloso. El tallo del sangorache es de color púrpura, presenta estrías longitudinales de color morado o púrpura que le otorgan una apariencia acanalada, y puede alcanzar una altura de 2 m. El color del tallo de amaranto es de color verde hasta la etapa de floración, y de color verde con rosado hasta la época de cosecha; éste puede alcanzar una altura de 1,8 m (Mujica *et al.*, 1997, p. 6).

Las hojas de amaranto son de forma romboidal, lisas, presentan poca pubescencia y nervaduras gruesas, su color es verde claro cuando son jóvenes y verde amarillento al llegar a la madurez, llegan a medir 20 cm de largo y 8 cm de ancho en la base. Las hojas de sangorache son de forma ovalada, son simples, alternas, opuestas, pecioladas, de color verde cuando son jóvenes y de color rojo, morado o púrpura al madurar. Pueden llegar a medir 15 cm de largo y 10 cm de ancho (Peralta, 2009, p. 3).

La inflorescencia o panoja del amaranto y del sangorache es similar, puede ser terminal o axilar, así como, erecta o decumbente, es muy vistosa, y es de color morado o púrpura intenso (Peralta, 2009, p. 3). Las flores encontradas en la inflorescencia son numerosas y presentan un comportamiento autógeno, aunque el viento y los insectos pueden provocar fecundación cruzada. Son unisexuales y presentan las siguientes características:

Un gineceo con ovario esférico, súpero, que aloja a una sola semilla, tres estigmas filiformes y pilosos, los cuales son receptivos días antes a la maduración de los estambres. El androceo tiene cinco estambres con anteras de color amarillo (Peralta, 2010, p. 15).

El fruto es utrículo, es decir, presenta un pixidio unilocular o cápsula pequeña, que está compuesta por un opérculo y una urna en donde se aloja la semilla. Al momento de llegar la maduración el opérculo se separa y deja en descubierto a la urna, la misma que al desprenderse provoca la dehiscencia o caída de las semillas (Peralta, 2010, p. 15).

La semilla del sangorache es redonda, lisa, pequeña, brillante, de color negro o púrpura intenso, es dura al moler y revienta con dificultad. La semilla del amaranto, es redonda, pequeña, de color blanco a blanco amarillento, es menos dura al moler y revienta fácilmente a altas temperaturas (Peralta, 2010, p. 15).

1.1.5 ASPECTOS AGROECOLÓGICOS

El amaranto y el sangorache son especies anuales, herbáceas, ligeramente arbustivas; además son termófilas por lo que no soportan heladas (Tapia y Fries, 2007, p. 93).

Actualmente en el Ecuador no existen cultivos comerciales de estas especies; se los encuentra en pequeñas extensiones como plantas nativas formando parte de bordes de otros cultivos comerciales, y en parcelas experimentales. Las zonas en donde se encuentran estas especies en la región Sierra son: Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua, Cañar, Azuay, Loja (Peralta *et al.*, 2009, p. 19).

El amaranto y el sangorache pueden ser cultivados en un rango altitudinal de 2000 a 3000 msnm, en zonas libres de heladas (Peralta, 2009, p. 5). Las temperaturas óptimas de crecimiento están en el rango de 18°C a 24°C, pero

crecen muy bien si la temperatura promedio no es inferior a 15°C (Mujica *et al.*, 1997, p. 24).

Estos cultivos requieren de 300 a 400 mm de precipitación anual como mínimo; necesitan de humedad adecuada durante la germinación y crecimiento inicial de la planta, pero cuando las plántulas se encuentran desarrolladas, pueden prosperar en ambientes con humedad reducida (Mujica *et al.*, 1997, p. 42).

Estas especies pueden ser cultivadas en suelos arenosos y arcillosos, ya sea solos o asociados con otros cultivos como el maíz (Peralta, 2009, p. 5). Estos prosperan en suelos bien drenados; el *Amaranthus caudatus* se desarrolla en suelos con pH neutro o alcalino (superior a 6), mientras que *Amaranthus hybridus* en suelos con pH más bajo (Mujica *et al.*, 1997, p. 25).

La época de siembra de estos cultivos está comprendida entre enero y marzo (Peralta, 2009, p. 5). La cosecha del grano se realiza entre junio y agosto, mientras que las hojas pueden ser cosechadas a los 80 días después de la siembra, para ser consumidas como verdura (Peralta, 2009, p. 5; Ortega, 2009, p. 4).

El grano debe ser almacenado en lugares ventilados y secos, envasado en costales de tela o yute. La humedad del grano debe ser inferior al 12% (Mujica *et al.*, 1997, p. 43).

Las hojas tiernas e incluso las plántulas son utilizadas como verdura, y no requieren de almacenamiento (Mujica *et al.*, 1997, p. 73).

1.1.6 Composición nutricional

Los granos de amaranto y sangorache poseen un alto contenido de proteínas, incluso superior a los cereales con valores entre 12,00 y 19,00%. Las hojas de amaranto y sangorache presentan contenidos de proteína entre 14,00 y 33,30%.

Las proteínas presentan un balance adecuado de aminoácidos esenciales tanto en semillas como en hojas, principalmente lisina, metionina y triptófano (Mujica *et al.*, 1997, p. 2; Peralta, Villacrés, Mazón, Rivera y Subía, 2008, p. 10; Tapia y Fries, 2007, p. 205).

El contenido de extracto etéreo de estos granos andinos, es superior al encontrado en los cereales, con valores de 4 a 7% (Peralta *et al.*, 2008, p. 10; Tapia y Fries, 2007, p. 205). El aceite de estas especies vegetales posee un alto contenido de escualeno, aproximadamente un 6%, y contiene como principales ácidos grasos al ácido oleico y ácido linolénico. El contenido de extracto etéreo en las hojas de estas especies es bajo, aproximadamente 0,50 g por cada 100 g de materia seca (Mujica *et al.*, 1997, p. 79).

El contenido de carbohidratos en los granos de amaranto y sangorache varía entre 56,00 y 62,00%, mientras que las hojas de estas especies presentan valores cercanos al 6,00% (Mujica *et al.*, 1997, p. 77).

Los granos de amaranto y sangorache, contienen gran cantidad de minerales principalmente: calcio, magnesio y hierro (Mujica *et al.*, 1997, p. 77). Las hojas también poseen un alto contenido de calcio y magnesio, debido a la gran cantidad de ácido oxálico presente, sobre todo durante la fase de crecimiento vegetativo, además presentan mayores contenidos de nutrientes como: fósforo, hierro, calcio, en relación a otros vegetales de hoja como son la acelga y la espinaca (Mujica *et al.*, 1997, p. 79).

Los granos de amaranto y sangorache presentan: tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C (Mujica *et al.*, 1997, p. 76). Mientras que las hojas de estas especies contienen valores de vitamina C y niacina, mayores a las encontradas en la acelga y la espinaca, además poseen vitamina A, tiamina y riboflavina (Mujica *et al.*, 1997, p. 79).

La composición del grano y hojas de la especie *Amaranthus caudatus* L., se detalla en las Tablas 1.2 y 1.3.

Tabla 1.2. Composición del grano de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.)

Componente	Cantidades por 100 g de materia seca
Proteína (g)	12,00 – 19,00
Carbohidratos (g)	66,17 – 71,80
Extracto etéreo (g)	6,10 – 8,10
Fibra (g)	3,50 – 9,30
Cenizas (g)	3,00 – 3,30
Calcio (mg)	130,00 – 164,00
Fósforo (mg)	455,00 – 530,00
Potasio (mg)	366,00 – 800,00
Vitamina C (mg)	1,50 – 4,00
Tiamina (mg)	0,07 – 0,25
Riboflavina (mg)	0,19 – 0,29
Niacina (mg)	1,15 – 1,45

(Mujica *et al.*, 1997, p. 75; INCAP y OPS, 2007, p. 45)

Tabla 1.3. Composición de las hojas de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.)

Componente	Cantidades por 100 g de materia seca
Materia seca (g)	12,23 – 13,10
Proteína (g)	2,72 – 3,50
Extracto etéreo (g)	0,50 – 0,55
Fibra cruda (g)	1,30 – 1,73
Carbohidratos	5,73 – 6,50
Cenizas (g)	2,54 – 2,60
Calcio (mg)	267,00 – 278,00
Fósforo (mg)	67,00 – 81,00
Hierro (mg)	3,90 – 6,34
Potasio (mg)	411,00 – 420,00
Vitamina A (IU)	5170,00 – 6100,00
Tiamina (mg)	0,08 – 0,10
Riboflavina (mg)	0,16 – 0,18
Niacina (mg)	1,40 – 1,70
Vitamina C (mg)	80,00 – 96,00

(Mujica *et al.*, 1997, p. 79; INCAP y OPS, 2007, p. 33)

1.1.7 Composición antinutricional

Al respecto, Mazza (2000) señala que el amaranto y el sangorache presentan factores antinutricionales entre los cuales se encuentran: ácido fítico, ácido oxálico, nitratos, saponinas, inhibidores de tripsina, taninos, fibra alimentaria o dietética, tanto en el grano como en las hojas (p. 299).

1.2 FACTORES ANTINUTRICIONALES

1.2.1 GENERALIDADES

Los factores antinutricionales son compuestos naturales que actúan reduciendo la disponibilidad y/o ingesta de nutrientes de los alimentos. Los antinutricionales son de naturaleza variada y por tanto reaccionan de diferente manera con las sustancias alimenticias (Mcanuff, Omoruyi, Sotelo y Asemota, 2005, p. 93).

1.2.2 TIPOS DE FACTORES ANTINUTRICIONALES

1.2.2.1 Ácido fítico

Según Martínez, Gómez y Rincón (2002) el ácido fítico o polifosfato de inositol, es una molécula con seis grupos ortofosfato (InsP6), de nombre químico myo-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6 - hexaquis (dihidrógeno fosfato) (p. 220).

El ácido fítico constituye entre el 1 - 3% en peso de las semillas de especies oleaginosas, leguminosas y cereales; además está compuesto por un 60 - 90% de fósforo (Martínez *et al.*, 2002, p. 219).

Debido a su gran potencial quelante otorgado por los seis grupos fosfato que posee la molécula de ácido fítico, y su efecto en la absorción de compuestos policatiónicos como: Cu^{+2} , Co^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Zn^{+2} , este factor

antinutricional ha sido sujeto de intensa investigación en las últimas décadas. El ácido fítico a pHs intermedios y altos forma complejos insolubles con los cationes polivalentes que se encuentran en el intestino, reduciendo así la biodisponibilidad nutricional de minerales traza. Esta interferencia en la absorción intestinal podría ser la causa de la deficiencia de ciertos minerales en el organismo humano bajo ciertas circunstancias. Además, este ácido en ausencia de cationes de los minerales, a pHs bajos, se une a los residuos catiónicos de las proteínas y las precipita (Martínez *et al.*, 2002, p. 220).

La preocupación sobre la interrelación entre el ácido fítico y la biodisponibilidad nutricional de proteínas se ha visto incrementada, dado que aún a bajos niveles de ácido fítico, este compuesto inhibe sustancialmente a la enzima digestiva tripsina (Martínez *et al.*, 2002, p. 224).

El procesado y almacenamiento de los alimentos, permiten que el ácido fítico, pueda ser parcialmente desfosforilado dando lugar a inositoles con un menor número de fosfatos, los cuales presentan una menor capacidad quelante de minerales (Chen, 2004, p. 4604).

Como nutraceutico, el ácido fítico puede ser aprovechado por sus propiedades antioxidantes y anticarcinógenas, proponiéndose el ácido fítico como un agente capaz de inhibir la aparición de cáncer de colon (Harland y Gurleen, 1999, p. 947). Su propiedad antioxidante no es del todo clara pero se conoce es capaz de inhibir la formación de radicales hidroxilo, al quelar el hierro libre y bloquear por tanto el lugar de coordinación del mismo (Park *et al.*, 2006, p. 727).

De acuerdo a Egli (2001), el ácido fítico puede inhibir la formación de cálculos renales, reducir los niveles de colesterol en la sangre, y por su capacidad quelante del hierro y supresora de la formación de radicales libres, supone también un efecto protector del corazón. Sin embargo no se han realizado experimentos al respecto en humanos (p. 60).

1.2.2.2 Nitratos

Los nitratos son compuestos iónicos que se encuentran en la naturaleza formando parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato (NO_3^-) es la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno, y a pesar de su baja reactividad química puede ser reducido por acción microbiológica. El nitrito (NO_2^-), es oxidado con facilidad por procesos químicos o biológicos a nitrato, o bien reducido originando diversos compuestos (Antón y Lizaso, 2002, p. 1).

El nitrato en sí no es tóxico, pero sus metabolitos y productos de su reacción como nitritos, óxido nitroso, compuestos de N-nitroso, provocan efectos adversos en la salud humana como la metahemoglobinemia y la carcinogénesis o inducción al cáncer (EFSA, 2008, p. 1). La metahemoglobinemia es un trastorno sanguíneo en el cual una cantidad anormal de hemoglobina se acumula en la sangre y en algunos casos, la hemoglobina es incapaz de transportar el oxígeno de manera efectiva a los tejidos corporales (Ruza, 2003, p. 1531).

La Ingesta Diaria Aceptable (IDA) de nitratos recomendada por el comité conjunto de la FAO/OMS es de 0,00 – 3,70 mg/kg peso corporal, y considerando que la toxicidad de los nitratos proviene de su conversión en nitritos, se debe tener en cuenta también la IDA de nitritos, fijada en 0,00 – 0,06 mg/kg de peso corporal. El empleo de nitritos como aditivo en alimentos infantiles para niños menores de tres meses no está permitido (Antón y Lizaso, 2002, p. 3).

Los nitratos son utilizados como aditivos, y en forma natural pueden encontrarse en productos cárnicos frescos, leche y productos lácteos, cereales, frutas, bebidas alcohólicas y verduras. En la mayoría de estos alimentos se encuentran en bajas concentraciones, generalmente inferiores a 10 mg/kg y rara vez exceden los 100 mg/kg. Sin embargo, las verduras aportan mayormente con estos compuestos en la dieta junto con los embutidos, los cuales presentan contenidos que oscilan entre 200 y 2500 mg/kg (Antón y Lizaso., 2002, p. 3).

1.2.2.3 Ácido oxálico

El ácido oxálico (HOOC - COOH), es el más sencillo de los ácidos dicarboxílicos, es una sustancia habitualmente reductora y tóxica; son tóxicas debido a que en presencia de iones calcio forman el oxalato de calcio (CaC_2O_4), el cual es una sal muy poco soluble, eliminando así el calcio como elemento esencial del organismo; por otra parte esta sal se cristaliza formando cálculos que pueden obstaculizar los conductos renales, lo que puede conducir a la insuficiencia renal (García, 2009, p. 1).

Esta concentración excesiva de oxalatos, conocida como “hiperoxaluria”, y que se manifiesta fundamentalmente por la alta concentración de oxalatos de calcio en la orina, se debe al consumo en altas cantidades de ácido oxálico u oxalatos ó a desórdenes metabólicos. En este caso las bacterias del género oxalobacter fomigenes y las enzimas endógenas oxalato oxidasa deben exceder su actividad para degradar los oxalatos (Jáuregui y Moreno, 2004, p. 21).

El contenido de ácido oxálico en los vegetales depende de factores como: especie vegetal, fertilización, fase de crecimiento de la planta (Makus y Hettiarachchy, 1999, p. 10).

El ácido oxálico es estudiado y aplicado hoy en día como producto acaricida, especialmente en la apicultura orgánica debido a que se encuentra en forma natural en la miel, algunas hortalizas y frutas (Flores, Ruiz, Puerta, Campano y García, 2002, p. 35).

1.2.2.4 Taninos

El término “tanino” es antiguo y hace referencia al curtido de pieles (del francés *tanner*); abarca a un grupo de sustancias que poseen ciertas características químicas comunes entre sí, como el ser compuestos polifenólicos con el suficiente peso molecular y número de grupos hidroxilo o similares (por ejemplo carboxilo)

adecuado, capaces de formar enlaces con proteínas y otras macromoléculas (celulosa, almidón, etc.) bajo condiciones determinadas (Caygill y Mueller, 1999, p. 3; Van Soest, 1994, p. 198).

Convencionalmente se los clasifica en taninos hidrolizables (gálicos) y taninos condensados (catéquicos o proantocianidinas). Los taninos hidrolizables son compuestos constituidos por un núcleo que contiene un glúcido, que a la vez posee grupos hidroxilo que se encuentran esterificados con ácidos fenólicos (ácido gálico, elágico y hexahidroxiidifénico); mientras que los taninos condensados son polímeros no ramificados de hidroxiflavonoles (flavan-3-ol, flavan 3,4-diol), como la catequina, unidos mediante enlaces entre carbonos, y que carecen del grupo glucídico que caracteriza a los taninos hidrolizables (Román *et al.*, 2003, p. 143).

Los taninos forman complejos con proteínas, carbohidratos y otros polímeros de los alimentos, por lo que son considerados tóxicos. Son solubles en agua e insolubles en alcohol y solventes inorgánicos. Pueden inhibir las enzimas digestivas y formar complejos con las membranas mucosas, provocando daños en las mismas. Los complejos taninos - proteína son insolubles y esto disminuye la digestibilidad proteica. Reducen la digestibilidad de los nutrientes nitrogenados en general, y se reporta podrían causar efectos tóxicos a nivel sistémico (Makkar, 2003). Además se conoce que reducen la biodisponibilidad de vitamina B₁₂, destruyen la vitamina B₁, y disminuyen las reservas de vitamina A (Caballero, 2008, p. 88).

En la industria son utilizados por sus propiedades astringentes, es decir precipitar las proteínas, y su capacidad de curtir la piel, tienen actividad antimicrobiana, antifúngica, inhibitoria enzimática, e incluso se usa como antídoto de alcaloides y metales pesados por su capacidad quelante. Poseen efectos farmacológicos como potentes antioxidantes, antivirales, anticancerígenos y sobre enfermedades cardiovasculares (Sánchez, Fraga, Macebo y Lorenzo, 2008, p. 6).

1.2.2.5 Saponinas

Las saponinas son metabolitos secundarios de glucosídicos libres de nitrógeno, que consisten en una sapogenina y un azúcar; la sapogenina puede ser un esteroide o un triterpeno, y el azúcar es generalmente glucosa, galactosa, pentosa, o metilo pentosa. En la naturaleza se hallan ampliamente distribuidas tanto en plantas superiores como en invertebrados marinos. A pesar de su amplia diversidad estructural, las saponinas presentan la función biológica de lisar eritrocitos fenómeno denominado como hemólisis; comparten además la propiedad de espumar y poseen un sabor amargo (Rao y Gurfinkel 2000, p. 211; Francis, Kerem y Makkar, 2002, p. 587). La capacidad de espumar fue lo que contribuyó a denominar a este grupo como “saponinas”, que se deriva del latín sapo, que significa jabón. El efecto más común que se deriva de la hemólisis en el organismo humano es la anemia hemolítica (Gauthier, Legault y Girard-Lalancette, 2009, p. 2002).

Las saponinas tienen una influencia directa sobre el sistema nervioso central, presumiblemente afecta a la permeabilidad de las células nerviosas. Los síntomas iniciales de intoxicación aguda son violentas convulsiones y parálisis, seguida de la muerte. Pequeñas dosis causan trastornos intestinales y la muerte después de varios días (UNU, 1998, p. 66).

A nivel medicinal, las saponinas son beneficiosas para prevenir enfermedades crónicas como el cáncer, combatir desórdenes cardiovasculares, y reducir el contenido de colesterol en el organismo. Además se han encontrado saponinas en ciertas especies vegetales, que poseen actividad antileucémica, antitumoral, antihipertensiva, analgésica, antipirética y antiinflamatoria (Barrón, Villanueva, García y Colinas, 2009, p. 237).

En la industria las saponinas son empleadas por su capacidad surfactante, en la elaboración de detergentes, lavaplatos e incluso shampoo para el cabello. Además son utilizadas como agentes espumantes (UP, 2004, p. 73).

1.2.2.6 Inhibidores de tripsina

La tripsina al ser una proteasa, permite la hidrolización de proteínas a aminoácidos, los cuales son absorbidos por el organismo humano. Los inhibidores de esta proteasa se pueden encontrar comúnmente en leguminosas y cereales, y al unirse con la enzima tripsina forman complejos inactivos. Los inhibidores de tripsina como producto de su actividad, pueden generar efectos dañinos como: hiperplasia pancreática, hipersecreción pancreática de enzimas inactivas, disminución de aminoácidos azufrados, reducción de la absorción de grasas y retraso de crecimiento hasta el 30 o 40% (Gil, 2010, p. 703).

Los inhibidores de tripsina pueden ser inactivados a través de tratamientos térmicos, permitiendo que la eficiencia proteica (PER) aumente. Sin embargo, si se trata de destruirlas completamente, las condiciones para ello son bastante drásticas, ocasionando la degradación de componentes nutritivos (Valle y Lucas, 2000, p. 73).

1.2.2.7 Fibra dietética total

El término “fibra dietética” es un concepto nutricional y no un componente en la dieta, pues está compuesta por una mezcla de sustancias como: polisacáridos de células vegetales, lignina y sustancias asociadas, las cuales son resistentes a la digestión (hidrólisis) por parte de enzimas digestivas humanas (Prosky, 2000, p. 289).

Su importancia radica en su actividad funcional cuando imparte una función especial para que los alimentos reduzcan su tiempo de residencia en el estómago, debido a que mantiene un nivel de humedad alto que posibilita que las vías digestivas puedan moverse con facilidad, lo que favorece la digestión aún cuando la fibra se utiliza como aditivo en los alimentos (Prosky, 2000, p. 289).

La fibra dietética se clasifica de acuerdo a la forma de ser digerida o procesada en el organismo: fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI). La FDS, retrasa el tiempo de tránsito de los alimentos en el estómago y en el intestino delgado, es rápidamente fermentada por las bacterias en el colon pues se torna viscosa, y no tiene efecto laxante. La FDI tiene efecto laxante y no es fermentada o lo es escasamente, por las bacterias del colon (Román *et al.*, 2003, p. 148).

La fibra dietética consumida en la porción adecuada, protege al organismo del estreñimiento, la diverticulosis, el cáncer de colon, la diabetes, la obesidad y de enfermedades cardiovasculares (Román *et al.*, 2003, p. 148).

Sin embargo, el exceso de fibra dietética puede ser contraproducente pues según Morais, Vítolo, Aguirre y Fagundes (1999), el rango máximo de fibra dietética recomendada es la edad en años más 10 g/día, debido a que el consumo excesivo de fibra puede convertirse en un factor antinutricional, ocasionando diarreas e impidiendo la absorción de nutrientes (p. 132).

1.3 PROCESOS APLICADOS

1.3.1 Remojo

En el remojo de tipo artesanal e industrial, los granos se colocan en cubas o tinas plásticas, y se someten a una hidratación en agua por varios días, con cambio diario del agua de remojo, con el propósito principal de reducir el contenido de saponinas; pero se conoce que otros factores antinutricionales como: ácido fítico, nitratos, taninos, e inhibidores de tripsina también son removidos del grano, debido a la solubilidad de estos en el agua (Admassu y Kumar, 2007, p. 161).

La cantidad de agua a emplear debe cubrir todo el grano, dejando una capa de agua superficial de 1 a 2 cm de altura. La eliminación del agua se puede realizar manualmente o a través de una máquina eliminadora de agua que consta de una

tolva de acero inoxidable, la cual es accionada por un motor reductor (Sánchez, 2003, p. 417).

Para el remojo se deben considerar factores como: tiempo total de remojo, temperatura del agua de remojo, frecuencia de recambio del agua de remojo (Chaparro, Pismag, Elizalde, Vivas y Erazo, 2010, p. 37).

1.3.2 Cocción en olla abierta

Este proceso consiste en la cocción total de un alimento por inmersión en un medio acuoso, que llega a la temperatura de ebullición a presión atmosférica normal. Este tipo de cocción reduce la pérdida de nutrientes por efecto de la temperatura, pero aumenta la pérdida por solubilidad de los nutrientes en el medio acuoso, principalmente de sales minerales (Armada y Ros, 2007, p. 80). En este proceso se deben considerar: el tiempo de cocción, el cual va a variar de acuerdo a la calidad y volumen del alimento, y la cantidad de agua suficiente para no mermar durante el proceso de cocción (Bello, 1998, p. 163).

1.3.3 Cocción en olla de presión

Es la cocción total de un alimento por inmersión en agua, empleada como medio de transferencia de calor, dentro de un recipiente con cierre hermético que aumenta la presión interior del aire existente sobre la superficie del líquido, lo que a su vez, incrementa la temperatura de ebullición del agua (hasta 130°C); estas condiciones de presión y temperatura permiten una cocción más rápida de los alimentos, pese a que el agua en el interior no llega a hervir, debido a que la cantidad de agua evaporada es igual a la cantidad de vapor condensado (Hewitt, 2004, p. 329). El recipiente cuenta además con una válvula de seguridad que libera una mezcla vapor - aire, cuando la presión y la temperatura son muy altas (Armada y Ros, 2007, p. 80).

La presión en el interior de la olla de presión es igual a la suma de la presión parcial ejercida por el vapor de agua, la cual se incrementa a medida que aumenta la cantidad de vapor producto del aumento de la temperatura, y la presión ejercida por el aire contenido, como se muestra en la fórmula [1.1].

$$P_t = P_v + P_a \quad [1.1]$$

Donde:

P_t: presión total

P_v: presión de vapor en el interior de la olla de presión

P_a: presión del aire en el interior de la olla de presión

1.3.4 Cocción al vapor

Es el proceso que emplea vapor de agua para cocinar. El vapor presenta alta temperatura, 100°C o más, y al entrar en contacto con los alimentos, se condensa cediendo gran cantidad de energía cinética, además el líquido condensado presenta inicialmente la temperatura de ebullición (Hewitt, 2004, p. 329). Esta cocción se realiza generalmente en un recipiente compuesto de una cestilla en la parte superior en donde se colocan los productos, y en la parte inferior se coloca agua, que al ser calentada genera vapor. (Armada y Ros, 2007, p. 80). Con este proceso se busca facilitar la digestión de los alimentos, brindar una textura agradable y comestible, y disminuir la pérdida de nutrientes. Se deben tomar en cuenta factores como: presión de vapor, grado de calor aplicado, tiempo de cocción (Bello, 1998, p. 164).

1.3.5 Fritura

Es la cocción total de un alimento por inmersión en un medio graso, previamente calentado a altas temperaturas (alrededor de 180°C) a presión atmosférica normal (Armada y Ros, 2007, p. 80; Valencia, Valenzuela, Núñez y Barrera, 2002, p. 19).

Este proceso se realiza en un período de tiempo corto pues no suele superar los 5 min; la grasa o aceite utilizado forma parte del producto final en proporciones del 10 al 40% y dada la baja actividad de agua en el medio graso, la pérdida de nutrientes por lixiviación es mínima en relación a los procesos de cocción en medio acuoso. El medio graso adecuado para la fritura, debe tener una temperatura de ebullición superior a 218°C (Gil, 2010, p. 536).

En este proceso se deben considerar factores como: temperatura del medio graso, tiempo de fritura, tipo y cantidad de alimento (Alvis y Vélez, 2008, p. 11).

1.3.6 Reventado

Este proceso consiste en un ligero tostado de semillas, hasta lograr la eliminación de la testa, se realiza en contacto directo con una superficie caliente (aproximadamente 140 -190 °C) como un sartén de teflón, y se realiza por pocos segundos (4 a 10 s) considerando que a mayor temperatura el tiempo de reventado es menor. Además del tiempo y la temperatura se debe considerar la cantidad de semilla a reventar. El reventado permite cambiar la configuración de las proteínas haciéndolas más digeribles (Mujica *et al.*, 1997, p. 72).

1.3.7 Horneado

El horneado por convección es uno de los métodos más empleados en la producción de alimentos. Al aplicarse este proceso pueden existir pérdidas de proteínas en la corteza por reacciones de Maillard, y de vitaminas termolábiles. Además por la desnaturalización de proteínas aumenta su digestibilidad, y en algunos productos como el pan se eliminan factores antinutricionales (Gil, 2010, p. 536).

En el proceso de horneado se deben tomar en cuenta factores como: temperatura de horneo, tiempo de horneo, tipo y tamaño del alimento (Sánchez, 2003, p. 134).

1.3.8 Germinación

La germinación es la recuperación de la actividad biológica de la semilla, para lo cual se requiere de condiciones favorables como: sustrato húmedo, disponibilidad de oxígeno, temperatura adecuada para los diferentes procesos metabólicos y desarrollo de la plántula. Además, se debe considerar el tiempo de germinación y el número de semillas por superficie para obtener un porcentaje de germinación adecuado (mayor al 90%). Al producirse la absorción del agua, la semilla genera cambios metabólicos que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas. A la vez se producen división y alargamiento celular, lo que ocasiona la emergencia de la radícula (García, Roselló y Santamaría, 2006, p. 163).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

Los genotipos que se emplearon en este trabajo corresponden al amaranto (*Amaranthus caudatus* L.), variedad INIAP – Alegría y sangorache (*Amaranthus hybridus* L.), 17 758, seleccionados por sus características nutricionales, potencial agroindustrial y farmacéutico. Los materiales experimentales fueron cultivados en la granja del Colegio Simón Rodríguez, provincia de Cotopaxi.

El material vegetal que se analizó se detalla en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Material vegetal empleado

Material vegetal	Color
Grano de amaranto variedad INIAP-Alegría	Blanco
Grano de sangorache línea 17 758	Negro
Hojas de amaranto variedad INIAP-Alegría	Verde
Hojas de sangorache línea 17 758	Verde con franjas púrpuras

Las hojas fueron recolectadas a los 80 días después de la siembra, mientras que la cosecha del grano se realizó entre 150 a 180 días. Una vez cosechado el material vegetal, este fue transportado al laboratorio y clasificado de acuerdo con el tratamiento y tipo de análisis a realizarse.

2.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL GRANO Y HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE EN ESTADO NATIVO

Las hojas fueron lavadas, escurridas y al igual que el grano se sometieron a un proceso de secado en una estufa de aire forzado marca HS 122A, para disminuir

la humedad a un nivel seguro para el almacenamiento (12%). Los productos secos fueron molidos a un tamaño de partícula de 20 mesh en un molino de café Cuicinar Modelo DCG-20N Series.

Para la determinación del perfil nutricional se realizó:

- Análisis proximal:
 - Humedad (A.O.A.C., 2000, p. 42)
 - Proteína (A.O.A.C., 1984, p. 173)
 - Cenizas (A.O.A.C., 1984, p. 168)
 - Grasa o extracto etéreo (A.O.A.C., 2000, p. 32)
 - Fibra cruda o bruta (A.O.A.C., 2000, p. 28)

- Minerales: Ca, P, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn (Fick *et al.*, 1979, p. 301)
- Digestibilidad de la proteína (Hsu, Vavak, Satterlee y Miller, 1977, p. 1269)
- Biodisponibilidad de minerales: Fe y Zn (Binaghi, López, Ronayne de Ferrer, y Valencia, 2007, p. 56)
- Lisina disponible (Kakade y Liener, 1969, p. 273)

Los factores antinutricionales analizados fueron:

- Ácido fítico (Megazyme, 2007, p. 1)
- Nitratos (A.O.A.C., 1998, p. 360)
- Ácido oxálico (Jinap y Dimick, 1990, p. 547)
- Taninos (A.O.A.C., 1964, p. 80)
- Saponinas (Koziol, 1990, p. 212)
- Inhibidores de tripsina (Kakade, 1974, p. 376)
- Fibra dietética total (Asp, **Johansson**, **Hallmer** y **Siljestrom**, 1983, p. 476)

Los métodos de análisis mencionados, se encuentran detallados en el Anexo I y II.

2.3 EFECTO DE LOS PROCESOS APLICADOS SOBRE LOS COMPONENTES ANTINUTRICIONALES DEL GRANO DE AMARANTO Y SANGORACHE

Los granos de amaranto y sangorache fueron divididos en 6 porciones: tres porciones se sometieron al proceso de remojo, luego del cual una porción se sometió a cocción en olla abierta y otra a cocción en olla de presión, mientras que la tercera fue analizada con el fin de determinar el efecto del remojo en la composición de factores antinutricionales; las otras tres porciones se emplearon en los procesos de reventado, horneado y germinación, respectivamente.

Mediante pruebas preliminares se determinaron los parámetros tecnológicos para el procesamiento del grano, lo cual consta en la Tabla 2.2. Para los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión se empleó agua potable, con una relación agua: grano igual a 3:1 en el proceso de remojo, y 10:1 en los procesos de cocción en olla abierta y cocción en olla de presión.

Previo a los procesos de cocción tanto en olla abierta como en olla de presión, el grano fue remojado por un tiempo de 4 horas, en el caso del amaranto y 16 horas en el caso del sangorache. Este periodo, se determinó con base en la capacidad de hidratación de los granos, la cual hace referencia a la cantidad de agua absorbida por el grano a temperatura ambiente. El grano de amaranto alcanzó una humedad del 56 % en un tiempo promedio de 4 h, mientras que el grano de sangorache presentó 60% de humedad en un tiempo de 16 h. Con base en la textura adecuada para el consumo, se determinó el tiempo de cocción de los granos, tanto en olla abierta como de presión.

En el proceso de reventado se registró el tiempo en que ocurre la eliminación de la testa, y la expansión del almidón contenido en los granos. Para el horneado se tomó como indicador el color de la superficie de la masa elaborada con grano de amaranto o sangorache. Mientras que para el tiempo de germinación se consideró la emergencia de la radícula en el 90% de las semillas.

Tabla 2.2. Parámetros tecnológicos para el procesamiento del grano

Grano de amaranto		
Proceso	Tiempo	Temperatura
Remojo	4 h	17°C
Cocción en olla abierta	20 min	91°C
Cocción a presión	10 min	130°C
Reventado	4 s	198°C
Horneado	10 min	180°C
Germinado	48 h	32°C
Grano de sangorache		
Remojo	16 h	17°C
Cocción en olla abierta	60 min	91°C
Cocción a presión	30 min	130°C
Reventado	8 s	200°C
Horneado	15 min	180°C
Germinado	72 h	32°C

Después del remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión, los granos se escurrieron durante 10 - 15 min; luego se secaron hasta una humedad del 12% en una estufa de aire forzado marca HS 122A a 60°C, y se molieron a un tamaño de partícula de 20 mesh en un molino de café Cuicinar Modelado DCG-20N Series. Los procesos de secado y molienda también se aplicaron en los granos después del reventado, horneado y germinado.

- **Factores en estudio**

Factor A: Proceso

- a₁ Cocción en olla abierta
- a₂ Cocción en olla de presión
- a₃ Reventado
- a₄ Horneado
- a₅ Germinado

- **Diseño experimental**

Se aplicó un diseño completamente al azar con 3 observaciones por tratamiento. Se evaluaron 5 tratamientos, que se describen en las Tablas 2.3 y 2.4.

Tabla 2.3. Tratamientos para la determinación del efecto de varios procesos sobre la composición de antinutricionales en el grano de amaranto

Tratamientos	Descripción
T ₁	Amaranto INIAP Alegría sometido a los procesos de Remojo y Cocción en olla abierta
T ₂	Amaranto INIAP Alegría sometido a los procesos de Remojo y Cocción en olla de presión
T ₃	Amaranto INIAP Alegría sometido al proceso de Reventado
T ₄	Amaranto INIAP Alegría sometido al proceso de Horneado
T ₅	Amaranto INIAP Alegría sometido al proceso de Germinado

Tabla 2.4. Tratamientos para la determinación del efecto de varios procesos sobre la composición de antinutricionales en el grano de sangorache

Tratamientos	Descripción
T ₁	Sangorache línea 17 758 sometido a los procesos de Remojo y Cocción en olla abierta
T ₂	Sangorache línea 17 758 sometido a los procesos de Remojo y Cocción en olla de presión
T ₃	Sangorache línea 17 758 sometido al proceso de Reventado
T ₄	Sangorache línea 17 758 sometido al proceso de Horneado
T ₅	Sangorache línea 17 758 sometido al proceso de Germinado

- **Unidad experimental**

Se empleó 1 kg de cada tipo de material vegetal.

- **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSTAT. El análisis de varianza se detalla en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	14
Tratamientos	4
Error	10

- **Análisis funcional**

Para los factores e interacciones significativas se aplicó la prueba de Tukey al 5%, y se determinó el coeficiente de variación (%).

- **Variables y métodos de evaluación**

Se determinó el contenido de antinutricionales: ácido fítico, nitratos, ácido oxálico, taninos, saponinas, inhibidores de tripsina y fibra dietética total.

Los resultados del análisis estadístico, orientaron a la selección del tratamiento con el menor contenido de antinutricionales, en el cual se realizaron los siguientes análisis:

- Análisis proximal
- Minerales
- Digestibilidad de la proteína
- Biodisponibilidad de minerales
- Lisina disponible

2.3.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTINUTRICIONALES EN EL AGUA DE REMOJO Y COCCIÓN DEL GRANO DE AMARANTO Y SANGORACHE

Para conocer la concentración de factores antinutricionales en el agua de remojo y el líquido de cocción de los 2 genotipos de grano, estos fueron concentrados por liofilización hasta obtener extractos en un liofilizador Labconco modelo LYPH - LOCK 12, para su posterior análisis.

Factores en estudio

Factor A: Condición del agua utilizada para el procesamiento

- a₁ Agua de remojo
- a₂ Agua de cocción en olla abierta
- a₃ Agua de cocción en olla de presión

- **Diseño experimental**

Se aplicó un diseño completamente al azar con 3 observaciones por tratamiento. Se evaluaron 3 tratamientos, que se describen en las Tablas 2.6 y 2.7.

Tabla 2.6. Tratamientos para la determinación del contenido de antinutricionales en el agua de remojo y cocción del grano de amaranto

Tratamiento	Descripción
T ₁	grano de amaranto, agua de remojo
T ₂	grano de amaranto, agua de cocción en olla abierta
T ₃	grano de amaranto, agua de cocción en olla de presión

Tabla 2.7. Tratamientos para la determinación del contenido de antinutricionales en el agua de remojo y cocción del grano de sangorache

Tratamiento	Descripción
T ₁	grano de sangorache, agua de remojo
T ₂	grano de sangorache, agua de cocción en olla abierta
T ₃	grano de sangorache, agua de cocción en olla de presión

- **Unidad experimental**

Se emplearon 100 g de cada líquido.

- **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSTAT. El análisis de varianza se detalla en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	8
Tratamientos	2
Error	6

- **Análisis funcional**

Para los tratamientos significativos se aplicó la prueba de Tukey al 5% y se determinó el coeficiente de variación (%).

- **Variables y métodos de evaluación**

Se determinó el contenido de los factores antinutricionales: ácido fítico, nitratos, ácido oxálico, taninos, saponinas, e inhibidores de tripsina.

2.4 EFECTO DE LOS PROCESOS APLICADOS SOBRE LOS COMPONENTES ANTINUTRICIONALES DE LAS HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE

Las hojas se dividieron en 3 porciones a fin de someterlas a los procesos de: cocción al vapor, cocción en agua en olla abierta y fritura.

Mediante pruebas preliminares se determinaron los parámetros tecnológicos para el procesamiento de las hojas, según consta en la Tabla 2.9. Para la cocción al vapor y en olla abierta, se empleó agua potable, manteniendo una relación hojas: agua igual a 1:6. Para los tiempos de cocción en olla abierta y al vapor, se consideró la comestibilidad de las hojas, mientras que para el proceso de fritura se tomó en cuenta que la crocancia sea uniforme.

Tabla 2.9. Parámetros tecnológicos para el procesamiento de las hojas de amaranto y sangorache

Hojas de amaranto		
Proceso	Tiempo	Temperatura
Cocción al vapor	15 min	110°C
Cocción en olla abierta	15 min	91°C
Fritura	2 min	180°C
Hojas de sangorache		
Cocción al vapor	15 min	110°C
Cocción en olla abierta	15 min	91°C
Fritura	2 min	180°C

Después de la aplicación de los procesos mencionados, las hojas se secaron hasta una humedad menor al 14% en una estufa de aire forzado marca HS 122A a 60°C. Las hojas secas se molieron a un tamaño de partícula de 20 mesh en un molino de café Cuicinar Modelado DCG-20N Series.

- **Factores en estudio**

Factor A: Proceso.

- a₁ Cocción al vapor
- a₂ Cocción en olla abierta
- a₃ Fritura

- **Diseño experimental**

Se aplicó un diseño completamente al azar con 3 observaciones por tratamiento. Se evaluaron 3 tratamientos, que se describen en las Tablas 2.10 y 2.11.

Tabla 2.10. Tratamientos para la determinación del efecto del procesamiento sobre el contenido de antinutricionales en hojas de amaranto

Tratamiento	Descripción
T ₁	Amaranto INIAP Alegría, sometido al proceso de Cocción al vapor
T ₂	Amaranto INIAP Alegría, sometido al proceso de Cocción en olla abierta
T ₃	Amaranto INIAP Alegría, sometido al proceso de Fritura

Tabla 2.11. Tratamientos para la determinación del efecto del procesamiento sobre el contenido de antinutricionales en hojas de sangorache

Tratamiento	Descripción
T ₁	Sangorache línea 17 758, sometido al proceso de Cocción al vapor
T ₂	Sangorache línea 17 758, sometido al proceso de Cocción en olla abierta
T ₃	Sangorache línea 17 758, sometido al proceso de Fritura

- **Unidad experimental**

Se emplearon 100 g de cada tipo de material vegetal.

- **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSTAT. El análisis de varianza de esta parte del experimento se detalla en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	8
Tratamientos	2
Error	6

- **Análisis funcional**

Para los factores e interacciones significativas se aplicó la prueba de Tukey al 5% y se determinó el coeficiente de variación.

- **Variables y métodos de evaluación**

Se determinó el contenido de antinutricionales: ácido fítico, nitratos, ácido oxálico, taninos, saponinas, inhibidores de tripsina y fibra dietética total.

Los resultados del análisis estadístico, orientaron la selección del tratamiento con el menor contenido de antinutricionales, en el cual se realizaron los siguientes análisis:

- Análisis proximal
- Minerales
- Digestibilidad de la proteína
- Biodisponibilidad de minerales
- Lisina disponible

2.4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTINUTRICIONALES EN EL AGUA DE COCCIÓN DE LAS HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE.

Para determinar la concentración de factores antinutricionales en el líquido de cocción en olla abierta, de los dos tipos de hoja, estos fueron concentrados por liofilización hasta obtener un extracto, en un liofilizador Labconco modelo LYPH - LOCK 12, para su posterior análisis. Se determinó el contenido de los factores antinutricionales: ácido fítico, nitratos, ácido oxálico, taninos, saponinas, e inhibidores de tripsina.

2.5 DETERMINACIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL DEL GRANO Y LAS HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE

Se comparó el perfil nutricional del grano y las hojas de amaranto y sangorache en estado nativo o crudo, con el material vegetal procesado.

Para determinar el mejor tratamiento, se consideró:

1. La pérdida o eliminación de factores antinutricionales.
2. Grado de pérdida de cada factor antinutricional.

La importancia de analizar el perfil nutricional del material vegetal procesado con el mejor tratamiento, radica en conocer la cantidad de parámetros nutritivos perdidos o incrementados, con respecto al contenido en el material vegetal crudo. Se determinó el perfil nutricional a través de los análisis:

- Análisis proximal:
- Minerales
- Digestibilidad de la proteína
- Biodisponibilidad de minerales
- Lisina disponible

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL GRANO Y HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE EN ESTADO NATIVO

3.1.1 PERFIL NUTRICIONAL

Los parámetros considerados fueron: humedad, proteína, cenizas, grasa o extracto etéreo, fibra cruda o bruta, minerales, digestibilidad de la proteína, biodisponibilidad de minerales, y lisina disponible. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 3.1, 3.2, 3.3, y 3.4.

Tabla 3.1. Composición proximal del grano y hojas de amaranto y sangorache

Material vegetal	Humedad	Cenizas	Extracto Etéreo	Proteína	Fibra	CHO
	(%)	g/100 g muestra seca				
Grano amaranto	10,38 ± 0,098	3,05 ± 0,065	6,08 ± 0,089	14,67 ± 0,145	3,30 ± 0,165	72,9 ± 0,116
Grano de sangorache	12,29 ± 0,295	3,42 ± 0,143	5,50 ± 0,045	18,12 ± 0,623	9,85 ± 0,709	63,11 ± 0,380
Hojas de amaranto	91,34 ± 0,506	15,96 ± 0,070	2,87 ± 0,342	20,11 ± 0,168	9,11 ± 0,163	51,95 ± 0,343
Hojas de sangorache	88,31 ± 1,221	13,59 ± 0,304	6,59 ± 0,437	22,12 ± 0,622	9,10 ± 0,221	48,6 ± 0,396

Xm ± DS; n=3
CHO: carbohidratos totales

En la Tabla 3.1 se observa que la humedad del grano de sangorache fue igual a 12,29% y la del grano de amaranto 10,38%; valores cercanos a los reportados por Tapia y Fries (2007) en *Amaranthus caudatus* con humedades del 9,80 al 12,30% (p. 205). Los contenidos en base seca de cenizas (3,42 g/100 g), proteína (18,12 g/100 g) y fibra (9,85 g/100 g) del grano de sangorache fueron superiores con relación al grano de amaranto (3,05; 14,67 y 3,30 g/100 g, respectivamente); sin embargo los valores de las dos especies fueron similares a los presentados por la Mujica *et al.* (1997) en grano de *Amaranthus caudatus*, que en cenizas

presentaron contenidos de 3,00 a 3,30 g/100 g muestra seca, de proteína 12,00 a 19,00 g/100 g muestra seca, y de fibra 3,50 a 5,00 g/100 g muestra seca (p. 75).

El extracto etéreo del grano de amaranto (6,08 g/100 g muestra seca) fue mayor al del sangorache (5,50 g/100 g muestra seca) como se observa en la Tabla 3.1, valores dentro del rango presentado por la Mujica *et al.* (1997) en grano de *Amaranthus caudatus*, con valores del 6,10 al 8,10 g/100 g muestra seca (p. 75).

En general el grano de sangorache presentó un mejor perfil nutricional en comparación al grano de amaranto, expresado en el mayor contenido de cenizas, proteína y fibra.

En la Tabla 3.1, se observa que las hojas de amaranto presentaron un mayor contenido de humedad con respecto a las hojas de sangorache, con un valor de 91,34%, además este porcentaje fue superior a los reportados por la Mujica *et al.* (1997) en *Amaranthus caudatus* con humedades del 86,90 al 87,77% (p. 79).

Tabla 3.2. Contenido de macroelementos en el material vegetal en estado nativo

Material vegetal	Ca	P	Mg	K	Na
	g/100 g muestra seca				
Grano amaranto	0,14 ± 0,026	0,46 ± 0,021	0,28 ± 0,035	0,52 ± 0,129	0,01 ± 0,006
Grano de sangorache	0,27 ± 0,097	0,59 ± 0,047	0,36 ± 0,052	0,65 ± 0,061	0,01 ± 0,006
Hojas de amaranto	3,87 ± 0,361	0,29 ± 0,021	2,16 ± 0,150	0,62 ± 0,198	0,11 ± 0,034
Hojas de sangorache	2,38 ± 0,254	0,31 ± 0,025	2,36 ± 0,445	2,30 ± 0,237	0,14 ± 0,010

Xm ± DS; n=3

En la Tabla 3.2. se observa que el contenido de calcio del grano de amaranto fue igual a 0,14 g/100 g muestra seca, y del grano de sangorache igual a 0,27 g/100 g muestra seca, valores cercanos a los reportados por la Mujica *et al.* (1997) en grano de *Amaranthus caudatus*, con valores de 0,13 a 0,164 g/100 g muestra seca (p. 75).

Los contenidos de fósforo y potasio fueron superiores en el grano de sangorache con respecto al grano de amaranto como se puede observar en la Tabla 3.2, con valores de 0,59 y 0,65 g/100 g muestra seca. El contenido de fósforo del grano de sangorache fue superior al presentado por Mujica *et al.* (1997) en grano *Amaranthus caudatus*, que reportó valores entre el 0,45 y 0,53 g/100 g muestra seca; mientras que el contenido de potasio se encontró dentro del rango reportado por Mujica *et al.* (0,366 y 0,80 g/100 g muestra seca) (p. 75).

Tabla 3.3. Contenido de microelementos, en el material vegetal en estado nativo

Material vegetal	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/kg de muestra seca			
Grano amaranto	6,00 ± 1,000	111,00 ± 18,520	27,33 ± 2,887	50,67 ± 4,163
Grano de sangorache	6,67 ± 0,577	120,67 ± 11,372	30,00 ± 2,646	57,67 ± 1,155
Hojas de amaranto	10,67 ± 1,528	744,33 ± 11,015	217,67 ± 1,155	40,67 ± 3,512
Hojas de sangorache	9,00 ± 1,000	592,33 ± 5,132	89,00 ± 2,000	37,00 ± 2,000

$X_m \pm DS; n=3$

En la Tabla 3.3 se observa que las hojas de amaranto y sangorache presentaron un contenido de hierro igual a 744,33 y 592,33 mg/kg de muestra seca, respectivamente. Estos valores son cercanos a los reportados por Mujica *et al.* (1997) en hojas de *Amaranthus caudatus* con valores de 390 a 634 mg/kg de muestra seca (p. 79).

Los contenidos de minerales presentados muestran que tanto el grano como las hojas son fuente importante de minerales, especialmente de hierro y manganeso. Sin embargo, la concentración expuesta no está totalmente disponible para su absorción en el organismo, según muestran los datos de biodisponibilidad de la Tabla 3.4.

Desde el punto de vista nutricional, es importante conocer qué cantidad de un nutriente presente en un alimento, está disponible para ser absorbido por el

organismo humano, por lo que se procedió a determinar los parámetros presentados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Digestibilidad proteica, lisina disponible y biodisponibilidad de Fe y Zn en el material vegetal en estado nativo

Material vegetal	Digestibilidad proteica (%)	Lisina disponible (g/100 g proteína)	Biodisponibilidad (%)	
			Fe	Zn
Grano amaranto	70,43 ± 0,209	4,28 ± 0,051	1,273 ± 0,0009	0,217 ± 0,0004
Grano de sangorache	63,25 ± 0,276	9,71 ± 0,042	0,760 ± 0,0005	0,140 ± 0,0004
Hojas de amaranto	67,95 ± 0,582	2,98 ± 0,017	0,557 ± 0,0001	1,69 ± 0,0015
Hojas de sangorache	76,10 ± 1,164	2,99 ± 0,035	0,597 ± 0,0002	2,14 ± 0,0015

Xm ± DS; n=3

La digestibilidad proteica presentada, es diferente tanto entre tipos de grano como entre tipos de hoja como se puede observar en la Tabla 3.4. La mayor digestibilidad proteica entre granos la presentó el amaranto con un valor de 70,43%, y entre hojas las de sangorache con un valor de 76,10%. Sin embargo, estos valores son inferiores a la digestibilidad proteica de los alimentos de origen animal (superior al 90,00%), lo cual puede estar relacionado con la composición química característica de estas especies, y la presencia de ciertos antinutricionales que interfieren tanto en la digestibilidad de la proteína como en la disponibilidad de algunas vitaminas y minerales (Mataix, 2005, p. 106).

La lisina disponible entre tipos de grano fue diferente, observándose en la Tabla 3.4, que el grano de sangorache presentó el mayor valor (9,71 g de lisina disponible por cada 100 g de proteína). Entre tanto, las hojas de amaranto y sangorache no presentaron diferencia en el contenido de lisina disponible, aproximándose a valores cercanos a 3 g de lisina disponible por cada 100 g de proteína. Este aminoácido es esencial porque no es producido por el organismo y contribuye a la formación de enzimas y anticuerpos, a la vez que permite el aprovechamiento eficiente del calcio, por lo que es muy importante su consumo y

biodisponibilidad ya que el cuerpo humano requiere una dosis de 500 – 1 000 mg diarios (Pensanti, 2002, p. 74).

En la Tabla 3.4., se aprecia que la biodisponibilidad de hierro en el grano de amaranto, fue mayor al presentado en el grano de sangorache con un valor igual al 1,273% de mineral biodisponible. Mientras que las hojas de sangorache presentaron un valor de 0,587% de mineral biodisponible, el cual fue mayor al que se observa en las hojas de amaranto.

La biodisponibilidad de zinc no fue diferente entre los dos tipos de grano, como se observa en la Tabla 3.4. Por otro lado, en las hojas de sangorache se observó que la biodisponibilidad de zinc presentó un valor de 2,14%, el cual fue mayor al encontrado en las hojas de amaranto.

3.1.2 FACTORES ANTINUTRICIONALES

Los factores antinutricionales analizados en el presente trabajo fueron: nitratos, ácido oxálico, ácido fítico, taninos, saponinas, inhibidores de tripsina y fibra alimentaria o dietética. El contenido de estos compuestos en el material vegetal en estado nativo se presenta en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Contenido de factores antinutricionales en el material vegetal en estado nativo

Código	Factores en estudio	Factores antinutricionales							
		Nitratos (mg/kg)	Ácido oxálico (g/100 g)	Ácido fítico (g/100 g)	Taninos (mg/100 g)	Saponinas (mg/100 g)	Inhibidores de tripsina (UIT/g)	Fibra dietética total (mg/100 g)	
GACr	Grano amaranato	201,00 ± 13,50	1,31 ± 0,014	0,83 ± 0,014	252,42 ± 16,653	B.L.D.	3 238,69 ± 7,434	17,33 ± 1,309	
GSCr	Grano de sangorache	346,17 ± 31,17	1,33 ± 0,117	1,08 ± 0,014	409,75 ± 8,000	105,13 ± 2,383	1 666,10 ± 9,022	20,33 ± 0,577	
HACr	Hojas de amaranato	1 228,33 ± 93,41	1,70 ± 0,028	0,14 ± 0,014	2 108,42 ± 12,220	218,95 ± 12,457	1 219,19 ± 3,545	4,00 ± 1,000	
HSCr	Hojas de sangorache	2 680,00 ± 58,024	1,34 ± 0,014	0,09 ± 0,014	2 513,75 ± 34,871	384,59 ± 32,490	1 394,59 ± 3,490	5,60 ± 0,529	

Xm ± DS; n=3

B.L.D.: Bajo el límite de detección

3.1.2.1 Nitratos

En la Tabla 3.5 se observa que el grano de amaranto y de sangorache presentaron una concentración de nitratos igual a 201,00 y 346,17 ppm, respectivamente; estos valores son similares a los presentados por Mazza (2000) quien reportó valores de 290,00 a 620,00 ppm para el grano de *Amaranthus caudatus* (p. 299).

El contenido de nitratos en las hojas de sangorache fue igual a 2 680,00 ppm, valor superior al presentado por las hojas de amaranto (1 228,33 ppm) como se aprecia en la Tabla 3.5; los niveles encontrados están dentro de los límites permisibles para la espinaca y la lechuga fresca (3 000,00 y 4 000,00 ppm, respectivamente), y facultan su utilización para el consumo en estado crudo, en forma de verdura (EFSA, 2008, p. 11). El contenido de nitratos de las hojas de sangorache fue similar al presentado por la EFSA (2008), en hojas de *Amaranthus caudatus*, con valores entre 2 167,00 a 3 483,00 ppm (p. 11).

La ingesta diaria aceptada (IDA) de nitratos es de 3,70 mg/kg de peso corporal (EFSA, 2008, p. 12), por lo que en una persona adulta de 60 kg de peso podría admitir 222 mg, pero se deben considerar otras fuentes de nitratos, como la proveniente del agua potable u otros alimentos como los embutidos, por lo que es recomendable que el aporte de nitratos de fuentes vegetales en este caso no supere los 157 mg/día, y al considerar esto, es inofensivo para una persona el consumir los granos de amaranto y sangorache en cantidades inferiores a 500 g al día. En cuanto a las hojas de amaranto estas podrían consumirse en cantidades de 100 a 125 g al día, y en el caso de las hojas de sangorache en cantidades menores a los 55 g al día, en caso de que no se consuma otra fuente vegetal.

La mayor concentración de nitratos en la planta se observa en las hojas, mientras que la menor concentración se presenta en las semillas y tubérculos; esta distribución desigual de nitratos en la planta se debe a que estos elementos se encuentran principalmente en las vacuolas de las células vegetales y son transportados por el xilema, el mismo que transporta agua y nutrientes desde las raíces hasta las hojas, mientras que el floema

transporta los productos de la fotosíntesis desde las hojas hacia las raíces. Otra consecuencia del sistema de transporte de nutrientes de las plantas, es la mayor concentración de nitratos en las hojas más viejas (EFSA, 2008, p. 13).

Tanto los factores medioambientales como las condiciones agrícolas pueden influenciar en la concentración de nitratos en los vegetales. Entre los primeros se incluyen: composición del suelo, intensidad luminosa, y temperatura; mientras que entre los factores agrícolas se encuentran: variedad de la planta, fertilización y manejo del cultivo. (EFSA, 2008, p. 13).

3.1.2.2 Ácido oxálico

Los contenidos de ácido oxálico en el grano de amaranto y de sangorache, no fueron diferentes entre sí, ya que presentaron valores alrededor del 1,30% como se observa en la Tabla 3.5, y fueron similares a los registrados en USDA (2009), con un promedio de 1,09%.

En las hojas de amaranto se determinó un contenido de ácido oxálico igual a 1,70%, este valor es superior al presentado por las hojas de sangorache (1,34%), como se registra en la Tabla 3.5. Casillas (1986) reportó valores de ácido oxálico entre 1,27 a 2,11%, en hojas de diferentes especies de *Amaranthus spp*; estos valores son similares a los registrados experimentalmente para las hojas de amaranto y sangorache, pero superan a los reportados para las hojas de espinaca (0,40 - 0,90%) (p. 289).

La IDA de ácido oxálico no debe superar los 150 mg (Kotz, Treichel y Weaver, 2006, p. 691), por lo que la cantidad de grano de amaranto y sangorache (1,30% de ácido oxálico aproximadamente) consumida al día, debe ser inferior a los 13,50 g, y de las hojas de amaranto (1,70% de ácido oxálico) menor a 8,00 g al día, sin considerar otra fuente de ácido oxálico, lo que demuestra que tanto los granos como las hojas de amaranto y sangorache no deben ser consumidas en estado nativo o crudo dado su alto contenido de ácido oxálico.

3.1.2.3 Ácido fítico

En la Tabla 3.5 se aprecia que el contenido de ácido fítico en el grano de sangorache fue superior al presentado en el grano de amaranto, con valores de 1,08 y 0,83% respectivamente. Estas concentraciones son superiores a las reportadas por Mazza (2000) en grano de *Amaranthus caudatus* con valores de 0,34 a 0,61% (p. 299).

Las hojas de amaranto presentaron una concentración de ácido fítico de 0,14%, y fue superior al encontrado en hojas de sangorache (0,09%) como puede observarse en la Tabla 3.5. Ferguson, Gibson, Thompson, Ounpuu y Berry (1988), analizaron el contenido de ácido fítico en algunas especies de hoja que sirven como alimento en varias regiones de África, entre las cuales se consideraron a las hojas de yuca, hojas de calabaza y col china, y encontraron contenidos de este ácido comprendidos entre 0,004 y 0,097% (p. 316); al comparar estas cifras con las obtenidas en hojas de amaranto y sangorache, se observa que las hojas de sangorache están dentro de ese rango mientras que las hojas de amaranto presentaron un contenido de ácido fítico superior, lo que podría afectar en mayor grado la biodisponibilidad de minerales en las hojas de esta especie.

La IDA de ácido fítico no debe superar los 70 mg/kg de peso corporal, ya que ingestas mayores disminuyen la absorción de calcio, hierro y magnesio en el organismo (Ibáñez, Torre y Irigoyen, 2003, p. 7). En una persona de 60 kg de peso, la IDA sería igual a 4 200 mg, por lo que se podría consumir alrededor de 380 g al día de grano de sangorache, al tomar en cuenta que ésta especie presentó el mayor contenido de ácido fítico (1,08%).

3.1.2.4 Taninos

En la Tabla 3.5 se observa que el grano de sangorache presentó una concentración de 409,75 mg por cada 100 g de muestra, valor superior al encontrado en el grano de amaranto con 252,42 mg de taninos por cada 100 g de muestra. Gamel, Linssen, Mesallam, Damir y Shekib (2006) analizaron el contenido de taninos en una especie de

amaranto y reportaron un valor de 524,00 mg de taninos por cada 100 g de muestra (p. 1098).

La concentración de taninos en las hojas de sangorache fue 10 veces más alta que en el grano, y alcanzó un valor de 2 513,75 mg por cada 100 g de muestra. Esta cifra a su vez fue mayor a la encontrada en las hojas de amaranto con 2 108,42 mg de taninos por cada 100 g de muestra. Estos valores son superiores al reportado por Gupta y Verma (2011) en espinaca, especie que es consumida como una verdura y cuyo contenido de taninos asciende a 1 960,00 mg de taninos por cada 100 g de muestra (p. 180).

La toxicidad de los taninos es baja, pero su consumo excesivo, especialmente de taninos hidrolizables, puede provocar molestias gástricas debido a su acción inhibitoria sobre las secreciones gastrointestinales, causando náusea, vómito, estreñimiento, dolor de cabeza, mareos, dolor de extremidades, baja de presión e incluso abortos (Hall, Rocha y Rodríguez, 2002, p. 14).

No se presentan datos de IDA de taninos, pero se recomienda que su consumo diario sea menor a 1 000 mg/kg de peso corporal, para evitar problemas de toxicidad (Sánchez *et al.*, 2008, p. 6), resulta entonces, que el consumo de grano y hojas de amaranto y sangorache en estado nativo, no sería perjudicial con respecto al contenido de este factor antinutricional.

3.1.2.5 Saponinas

El grano de amaranto no presentó saponinas en su composición como se observa en la Tabla 3.5, mientras que para el grano de sangorache se determinó 105,13 mg por cada 100 g de muestra.

La concentración de saponinas varía según la especie, la variedad y las condiciones ambientales (Koziol, 1990, p. 211). Dentro de la familia *Amaranthaceae*, el *Amaranthus*

leucocarpus, presenta un contenido promedio de 42,84 mg de saponinas por cada 100 g de muestra (Barrón *et al.*, 2009), en tanto que Mazza (2000) reportó que la concentración de saponinas en el *Amaranthus caudatus* está bajo el límite de detección (p. 299).

Como comparación incluso, se puede citar el contenido de saponinas que posee el grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), otro grano andino de gran interés nutritivo, el cual, en estado nativo (sin procesar) presenta entre 10,00 a 4 650,00 mg de saponinas por cada 100 g de muestra (Koziol, 1990, p. 218). Se han encontrado saponinas en todas las partes de la planta, como en hojas, flores, frutos y semillas (Kuljanabhagavad y Wink, 2008, p. 474). Además la concentración de estos compuestos varía en función del estado de desarrollo de la planta, registrándose un elevado contenido durante la floración, y una disminución, a medida que va madurando el grano (Soliz, Jasso, Rodríguez, Angulo y Méndez, 2002, p. 110).

Con respecto a las hojas de sangorache se encontró una composición de 384,59 mg de saponinas por cada 100 g de muestra, este valor es superior al encontrado en las hojas de amaranto, en las cuales se determinó una concentración de saponinas de 218,95 mg por cada 100 g de muestra, como se puede observar en la Tabla 3.5.

Las concentraciones de saponinas en el grano de sangorache y en hojas de las dos especies en estado crudo o nativo, son inferiores al descrito para alcanzar la dosis letal de 6000 mg/kg peso corporal (Cheeke, 1989, p. 98); sin embargo, la toxicidad y los efectos fisiológicos están íntimamente relacionados con la estructura química de las saponinas, por lo que se recomienda su eliminación de los alimentos (Cheeke, 1989, p. 98).

3.1.2.6 Inhibidores de tripsina

El contenido de inhibidores de tripsina en el grano de amaranto alcanzó un valor de 3 131,22 UIT (unidades de inhibidores de tripsina) por g de muestra, y es mayor al contenido que presentó el grano de sangorache (1 666,10 UIT/g de muestra), como se puede

observar en la Tabla 3.5. Los valores encontrados son similares a los reportados por Mazza (2000) para algunas variedades de amaranto, los cuales oscilan entre 300,00 y 5150,00 UIT por cada g de muestra (p. 299).

Entre tanto, las hojas de sangorache presentaron un mayor contenido de inhibidores de tripsina (1394,59 UIT) por cada g de muestra, en relación al registrado en las hojas de amaranto (1219,19 UIT por cada g de muestra), como se aprecia en la Tabla 3.5. Estos valores son inferiores a los presentados por Arellano, Albarracín, Arce y Mucciarelli (2004), para hojas de *Amaranthus dubius*, quienes reportaron concentraciones de 3200,00 UIT por cada g de muestra (p. 196).

La IDA de inhibidores de tripsina no se conoce; sin embargo, se debe considerar que son proteínas que tienen la propiedad de inhibir la enzima tripsina en una relación 1:1 molar, por lo que es necesario reducir su contenido en los alimentos (Valle y Lucas, 2000, p. 73).

3.1.2.7 Fibra dietética total (FDT)

En la Tabla 3.5, se presentan los contenidos de FDT, con un valor de 17,33% en el grano de amaranto y de 20,33% en el grano de sangorache. Estas concentraciones son similares a las presentadas por Mazza (2000), quien reportó valores entre 7,11 a 17,5% para varias especies de *Amaranthus spp* (p. 299).

En las hojas de amaranto se determinó un promedio de 4,00%, mientras que en las de sangorache ascendió a 5,60%, como se observa en la Tabla 3.5. Estos valores son superiores a los reportados para otros vegetales de hojas comestibles como es la espinaca, cuyo contenido de fibra dietética es 2,20% (USDA, 2011).

Román *et al.*, (2003) señalan que la IDA de FDT es de 25 a 30 g, ó de 10 a 13 g/Kcal en personas adultas, por lo que el consumo de 100 g de grano u hojas de amaranto o

sangorache en estado crudo no supera la ingesta recomendada de este antinutricional (p. 148).

3.2 EFECTO DE LOS PROCESOS APLICADOS SOBRE LOS COMPONENTES ANTINUTRICIONALES DEL GRANO DE AMARANTO Y SANGORACHE

Para identificar de mejor manera cada tipo de grano con su respectivo proceso, se consideró la codificación detallada en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Codificación de los granos de amaranto y sangorache procesados

Codificación	Grano procesado
GAG	Grano amaranto germinado
GAROA	Grano amaranto en remojo y cocido en olla abierta
GAROP	Grano amaranto en remojo y cocido en olla de presión
GAH	Grano amaranto horneado
GARv	Grano amaranto reventado
GSG	Grano sangorache germinado
GSROA	Grano sangorache en remojo y cocido en olla abierta
GSROP	Grano sangorache en remojo y cocido en olla de presión
GSH	Grano sangorache horneado
GSRv	Grano sangorache reventado

En las Tablas 3.7 y 3.8, se presentan los resultados del análisis estadístico para el contenido de antinutricionales en los granos de amaranto y sangorache procesados.

Tabla 3.7. Contenido de factores antinutricionales en los granos de amaranto procesados

Grano procesado	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fítico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	Fibra dietética total (%)
GAG	B.L.D.	0,61 ^{cd} ± 0,021	0,70 ^d ± 0,014	172,42 ^c ± 9,463	778,54 ^c ± 3,297	23,33 ^b ± 2,066
GAROA	B.L.D.	0,34 ^a ± 0,033	0,33 ^a ± 0,003	0,58 ^a ± 0,010	157,17 ^a ± 0,835	17,67 ^{ab} ± 1,055
GAROP	B.L.D.	0,53 ^{bc} ± 0,034	0,30 ^a ± 0,008	52,42 ^{ab} ± 4,222	230,30 ^a ± 0,997	21,67 ^{ab} ± 2,087
GAH	89,33 ^b ± 5,172	0,76 ^d ± 0,024	0,50 ^c ± 0,021	135,08 ^{bc} ± 13,061	457,37 ^b ± 7,098	16,67 ^a ± 1,082
GARv	67,00 ^{ab} ± 3,500	0,41 ^{ab} ± 0,008	0,41 ^b ± 0,006	188,42 ^c ± 18,095	164,37 ^a ± 0,388	17,00 ^{ab} ± 1,000

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, p≤ 0,05) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

Tabla 3.8. Contenido de factores antinutricionales en los granos de sangorache procesados

Grano procesado	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fítico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	Fibra dietética total (%)
GSG	B.L.D.	0,51 ^{ab} ± 0,021	0,72 ^a ± 0,021	361,75 ^b ± 8,000	1 124,14 ^c ± 18,232	26,33 ^d ± 0,907
GSROA	B.L.D.	0,41 ^a ± 0,033	1,06 ^b ± 0,033	204,42 ^a ± 4,618	432,56 ^a ± 5,276	22,00 ^c ± 1,300
GSROP	111,67 ^b ± 3,700	0,42 ^a ± 0,031	0,79 ^a ± 0,037	175,08 ^a ± 9,238	686,51 ^c ± 7,622	20,33 ^{bc} ± 0,702
GSH	268,00 ^c ± 5,024	0,63 ^b ± 0,054	0,77 ^a ± 0,019	156,42 ^a ± 5,716	904,35 ^d ± 11,789	17,67 ^a ± 1,055
GSRv	134,00 ^b ± 2,800	0,42 ^a ± 0,042	1,00 ^b ± 0,024	159,08 ^a ± 8,100	565,14 ^b ± 12,376	19,00 ^{ab} ± 1,179

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, p≤ 0,05) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

Con el fin de determinar la cantidad de antinutricionales removida a través del proceso de remojo, se analizaron estos compuestos en el grano remojado, tanto en el amaranto como en el sangorache obteniéndose los contenidos expresados en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Contenido de factores antinutricionales en los granos de amaranto y sangorache sometidos al proceso de remojo

Factor antinutricional	Amaranto	Sangorache
Nitratos (ppm)	22,33 ± 1,682	234,50 ± 5,625
Ácido oxálico (%)	0,63 ± 0,009	0,43 ± 0,003
Ácido fítico (%)	0,61 ± 0,016	1,07 ± 0,024
Taninos (mg/100 g muestra)	241,75 ± 7,713	404,42 ± 4,619
Saponinas (mg/100 g muestra)	B.L.D.	B.L.D.
Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	3 131,22 ± 9,135	1 663,30 ± 4,322
Fibra dietética total (%)	17,33 ± 1,155	20,00 ± 2,000

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, $p \leq 0,05$) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

- **Nitratos**

En general todos los procesos aplicados a los granos de amaranto y sangorache, ayudaron a disminuir el contenido de nitratos en porcentajes importantes, como se puede observar en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Efecto del procesamiento en el contenido de nitratos de los granos de amaranto y sangorache

Tipo grano procesado	Disminución de nitratos (%)
GAR	88,89
GAG	100,00
GAROA	100,00
GAROP	100,00
GAH	55,56
GARv	66,67
GSR	32,26
GSG	100,00
GSROA	100,00
GSROP	67,74
GSH	22,58
GSRv	61,29

GAR: Grano de amaranto remojado; GSR: Grano de sangorache remojado

Los procesos de germinación, remojo más cocción en olla abierta y remojo más cocción en olla de presión ayudaron a eliminar el 100% de nitratos contenidos en el grano de amaranto, como se puede apreciar en la Tabla 3.10, por lo que los granos sometidos a estos procesos tienen 0,00 ppm de nitratos como se observa en la Tabla 3.7. Además, es importante señalar que sólo el proceso de remojo redujo el contenido de estos factores antinutricionales en un 88,89%.

En tanto que en el grano de sangorache, sólo la germinación y el remojo más cocción en olla abierta contribuyeron a reducir la concentración de nitratos a valores de 0,00 ppm como se puede apreciar en la Tabla 3.8.

Diferentes estudios muestran que existe reducción en los niveles de nitratos durante la cocción en agua (cocción en olla abierta y cocción en olla de presión), debido principalmente a la hidrosolubilidad de los nitratos; incluso el simple lavado de los

vegetales puede reducir el contenido de estos compuestos; en el caso de la lechuga se ha observado una reducción del 10 al 15% después del lavado (Dejonckheere, Steurbaut, Drieghe, Verstraeten y Braeckman, 1994, p. 369). Según Varoquax P., Varoquax, F. y Tichit, (1986), la difusión de nitratos durante la cocción depende de: la temperatura del agua, la superficie de contacto, y la relación agua/vegetal (p. 401). En guisantes, col, frijoles, zanahorias, patatas, espinacas, hojas de achicoria y apio, se han reportado pérdidas del 16 al 79% respectivamente, posterior a la cocción (EFSA, 2008, p. 26).

Con respecto a la germinación, durante este proceso la semilla utiliza los nitratos del producto para efectuar la síntesis de aminoácidos y proteínas (Bonete y Martínez, 2009, p. 114). Por esta causa, este proceso ayuda a disminuir el contenido de nitratos en el grano de sangorache. Sin embargo, otros procesos como el horneado y el remojo, ayudaron disminuir apenas un 22,58% y 32,26% de nitratos respectivamente; el efecto del remojo no fue tan positivo como el observado en el grano de amaranto, posiblemente por la testadura y firme que presenta el grano de sangorache.

- **Ácido oxálico**

Se determinó una reducción de ácido oxálico en todos los procesos aplicados en el grano de amaranto y sangorache como se puede observar en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Efecto de diferentes procesos en el contenido de ácido oxálico de los granos de amaranto y sangorache

Tipo grano procesado	Disminución de ácido oxálico (%)
GAR	51,91
GAG	53,44
GAROA	74,05
GAROP	59,54
GAH	41,98
GARv	68,70
GSR	67,67
GSG	61,65
GSROA	69,17
GSROP	68,42
GSH	52,63
GSRv	68,42

Los valores de la Tabla 3.11, muestran que el proceso de remojo más cocción del grano (amaranto o sangorache) en olla abierta, fue la técnica más efectiva para lograr una disminución notable de ácido oxálico. Determinándose un contenido residual de 0,34% en el grano de amaranto y 0,41% en el sangorache como se puede observar en las Tablas 3.7 y 3.8, respectivamente.

El ácido oxálico se encuentra en forma de oxalatos dentro de las especies vegetales. Este ácido forma sales solubles con sodio y potasio e insolubles con metales divalentes como el calcio (Partearroyo y Fernández, 1995, p. 115). La porción soluble puede eliminarse a través del lavado de los alimentos y de la cocción en agua (Becker *et al.*, 1981, p. 1179), al igual que con los procesos de remojo, germinación y fermentación (Savage y Dubois, 2006, p. 376; Dahlgren y Savage, 2007, p. 29; Noonan y Savage, 1999, p. 64).

Con respecto a los oxalatos insolubles, Chai y Liebman (2005) reportaron pérdidas de estos compuestos en diferentes vegetales, en un rango de 0,00 a 74,00% al aplicar cocción en agua (p. 3029).

- **Ácido fítico**

Los procesos aplicados redujeron el contenido de ácido fítico a valores entre el 15,66 - 63,86% en el grano de amaranto, y el remojo más cocción en olla de presión resultó ser el proceso más efectivo como se observa en la Tabla 3.12. En el grano de sangorache se presentaron reducciones de los niveles de ácido fítico en un rango comprendido entre 1,85 – 33,33%, y el proceso más efectivo para lograr una disminución considerable del ácido fítico fue la germinación del grano.

Es necesario considerar que el remojo en el grano de amaranto redujo el contenido de este antinutricional en un 26,51%; mientras que en el grano de sangorache se observó una disminución menor al 1%, y al comparar el valor del grano crudo con el grano remojado prácticamente no existe diferencia en la cantidad de ácido fítico encontrada ($1,08 \pm 0,014$ y $1,07 \pm 0,024$, respectivamente), por lo que se puede concluir que el simple remojo del grano de sangorache no es suficiente para reducir el contenido de este antinutricional.

Tabla 3.12. Efecto del procesamiento en el contenido de ácido fítico de los granos de amaranto y sangorache

Tipo grano procesado	Disminución de ácido fítico (%)
GAR	26,51
GAG	15,66
GAROA	60,24
GAROP	63,86
GAH	39,76
GARv	50,60
GSR	0,93
GSG	33,33
GSROA	1,85
GSROP	26,85
GSH	28,70
GSRv	7,41

Los contenidos de ácido fítico en los granos de amaranto con remojo más cocción en olla de presión y remojo más cocción en olla abierta, no variaron significativamente, por lo que sus valores promedio (0,30% y 0,33%) se ubicaron en el mismo rango estadístico (a), como se observa en la Tabla 3.7.

Los granos de sangorache germinados, horneados, y con remojo más cocción en olla de presión, no presentaron diferencia significativa en el contenido de ácido fítico, ubicándose en el rango estadístico (a), con valores de 0,72; 0,77 y 0,79%, respectivamente, como se observa en la Tabla 3.8.

Según Gamel *et al.*, (2006), los tratamientos térmicos incluyendo la cocción y el reventado, reducen los niveles de ácido fítico. Además reportaron la disminución de este compuesto en semillas germinadas en dos especies de *Amaranthus spp*, en valores de 22,00 a 25,00%; atribuible al aumento de la actividad enzimática de la enzima fitasa durante la germinación (p. 1100).

Admassu y Kumar (2007), reportaron una reducción en los niveles de ácido fítico después del remojo de fréjol cultivado en África (p. 170); estos autores atribuyen la disminución a la hidrosolubilidad del ácido fítico (Herrera, Alizaga, Guevara y Jiménez, 2006, p. 13).

- **Taninos**

En los granos de amaranto y sangorache todos los procesos aplicados ayudaron a disminuir el contenido de taninos. En el grano de amaranto se presentaron reducciones de 4,23 a 99,77%, y el proceso más efectivo fue el remojo más cocción en olla abierta; mientras que en el grano de sangorache los niveles de taninos se redujeron en 1,30 a 61,83%, y el proceso más eficiente fue el horneado, como se puede observar en la Tabla 3.13.

Es importante señalar que únicamente el remojo logró reducir el contenido de taninos en un 4,23% en el grano de amaranto y en 1,30% en el grano de sangorache.

Tabla 3.13. Variación en el contenido de taninos de los granos de amaranto y sangorache por efecto del procesamiento

Tipo grano procesado	Disminución de taninos (%)
GAR	4,23
GAG	31,69
GAROA	99,77
GAROP	79,23
GAH	46,49
GARv	25,35
GSR	1,30
GSG	11,71
GSROA	50,11
GSROP	57,27
GSH	61,83
GSRv	61,18

El contenido de taninos no varió significativamente entre el grano de amaranto con remojo más cocción en olla abierta y con remojo más cocción en olla de presión, con valores de 0,58 y 52,42 mg por cada 100 g de muestra, respectivamente, ubicándose en el mismo rango estadístico (a) como se observa en la Tabla 3.7.

El contenido de taninos no varió significativamente entre el grano de sangorache horneado, reventado, remojado y cocinado en olla abierta, remojado y cocinado en olla de presión, y presentaron: 156,42; 159,08; 175,08 y 204,42 mg de taninos por cada 100 g de muestra, respectivamente, por lo que estos valores se encuentran en el mismo rango estadístico (a), como se puede observar en la Tabla 3.8. Es así que cualquiera de estos cuatro procesos, puede ser aplicado para reducir el contenido de taninos con la misma relevancia estadística.

Gurumoorthi, Janardhanan y Myhrman (2008) reportaron una reducción en el contenido de taninos, en *Mucuna pruriens* (frijol terciopelo, chiporazo) empleando métodos como: remojo, cocción, germinación y tostado (p. 588).

La disminución de taninos por efecto de la cocción y procesos térmicos (horneo, reventado, etc.) podría tener su origen en la oxidación degradativa, la cual parece acelerarse con el incremento de la temperatura (Nasar *et al.*, 2008, p. 1265). Mientras que la reducción de taninos por efecto del remojo, puede deberse a que estos compuestos son solubles en agua (Jansman, 1993, p. 209); esta explicación podría extenderse parcialmente a los granos sometidos al proceso de germinación (Sharma y Sehgal, 1992, p. 127).

- **Saponinas**

En el grano de amaranto crudo no se detectaron saponinas, no así en el grano de sangorache el cual presentó 105,13 mg/100 g, en estado crudo como se puede observar en la Tabla 3.5; sin embargo, este antinutricional se eliminó totalmente con el procesamiento del grano. Efecto al que pueden contribuir la localización de la saponina en

las capas externas del grano y su solubilidad en agua (Admassu y Kumar, 2007, p. 170; Khokar y Chanhan, 1986, p. 1083; Ruales y Nair, 1992, p. 1).

- **Inhibidores de tripsina**

La mayoría de procesos aplicados a los granos de amaranto y sangorache, afectaron a los inhibidores de tripsina. En el grano de amaranto el proceso apropiado para lograr una reducción efectiva fue el remojo más cocción en olla abierta, lográndose una reducción del 95,15%, con respecto al grano crudo; este nivel de reducción es muy cercano al obtenido con el proceso de reventado (94,92%) como se observa en la Tabla 3.14. En el grano de sangorache, se logró una disminución del 74,04%, cuando se aplicó el remojo más cocción en olla abierta. El remojo en el amaranto sólo redujo 3,32% de inhibidores de tripsina, mientras que en el grano de sangorache prácticamente no existe diferencia entre el grano crudo y remojado ($1\ 666,10 \pm 9,022$ y $1\ 663,30 \pm 4,322$, respectivamente).

Tabla 3.14. Efecto de varios procesos sobre los inhibidores de tripsina de los granos de amaranto y sangorache

Tipo grano procesado	Disminución de Inhibidores de tripsina (%)
GAR	3,32
GAG	75,96
GAROA	95,15
GAROP	92,89
GAH	85,88
GARv	94,92
GSR	0,17
GSG	32,53
GSROA	74,04
GSROP	58,80
GSH	45,72
GSRv	66,08

El grano de amaranto remojado y cocido en olla abierta, el reventado, el remojado y cocido en olla de presión, presentaron similares contenidos de inhibidores de tripsina, por lo que se ubicaron en el mismo rango estadístico (a) con valores de 157,17, 164,37 y 230,8 UIT por g de muestra, respectivamente como se aprecia en la Tabla 3.7.

El contenido de inhibidores de tripsina en el grano de sangorache procesado por diferentes técnicas varió significativamente, es así que los resultados promedio se ubicaron en diferentes niveles como se puede observar en la Tabla 3.8.

La pérdida de inhibidores de tripsina durante el remojo puede ser causada por el cambio de gradiente en la concentración, lo que provoca una tasa de difusión de los compuestos. Generalmente, los inhibidores de tripsina son proteínas de bajo peso molecular, por lo que pueden pasar de la semilla al medio de hidratación (Bishnoi y Khetarpaul, 1994, p. 74).

El tratamiento térmico como la cocción en olla abierta y la cocción en olla de presión, causan una reducción notable de los niveles de inhibidores de tripsina, que puede ser ocasionada, por la naturaleza termolábil de estos factores antinutricionales (Grewal y Jood, 2006, p. 535).

La reducción significativa en el contenido de inhibidores de tripsina durante la germinación (75,96% en grano de amaranto y 32,53% en grano de sangorache), puede ser ocasionada por la movilización y rompimiento de los constituyentes químicos contenidos en la semilla (Chaparro, Aristizábal y Gil, 2009, p. 4848). Admassu y Kumar (2007), reportaron reducciones del 17% en los inhibidores de tripsina de *Phaseolus vulgaris* (p. 161), mientras que Alonso, Aguirre y Marzo, (2000) reportaron valores de 25% en *Vicia faba* y de 29% en *Phaseolus vulgaris* (p. 164).

- **Fibra dietética total (FDT)**

Con la aplicación de los procesos de remojo más cocción en olla abierta, remojo más cocción en olla de presión y germinación, no se observó una reducción en los niveles de

FDT en el grano de amaranto y sangorache, contrariamente, se registró un incremento, con relación al grano no procesado como se puede observar en la Tabla 3.15. Los valores de FDT en el grano de amaranto germinado, remojado y cocido en olla abierta, remojado y cocido en olla de presión, se incrementaron en porcentajes de: 34,62, 1,96 y 25,04%, respectivamente. El horneado y reventado, lograron reducciones de 3,81 y 1,90%, respectivamente. El remojo no provocó cambios notables en el contenido de FDT.

En el grano de sangorache los procesos de germinación y remojo más cocción en olla abierta incrementaron el contenido de FDT en 29,51 y 8,21% respectivamente, mientras que el remojo más cocción en olla de presión, no aumenta ni reduce los niveles de este antinutricional. Con los procesos de horneado y reventado se lograron disminuciones de 13,08 y 6,54%, respectivamente, como se observa en la Tabla 3.15. El remojo redujo el 1,62% de FDT del grano crudo.

Tabla 3.15. Efecto del procesamiento sobre el contenido de fibra dietética total en los granos de amaranto y sangorache

Tipo grano procesado	Disminución de FDT (%)	Incremento de FDT (%)
GAR	0,00	
GAG		34,62
GAROA		1,96
GAROP		25,04
GAH	3,81	
GARv	1,90	
GSR	1,62	
GSG		29,51
GSROA		8,21
GSROP	0,00	
GSH	13,08	
GSRv	6,54	

Los tratamientos aplicados como el remojo más cocción en olla abierta y el remojo más cocción en olla de presión, no redujeron los niveles de FDT, posiblemente debido a que estos compuestos no son hidrosolubles, a pesar de poseer una porción denominada “soluble”, pero esta no se disuelve, sino que al contacto con el agua forma un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de gran viscosidad, aumentándose únicamente la capacidad de absorción de agua de los alimentos durante la cocción, expresada en el hinchamiento de la fibra dietética soluble (FDS), (Escudero y González, 2006, p. 65).

El incremento en el contenido de la FDT en alimentos de origen vegetal procesados térmicamente, fue descrito por algunos autores: Ranjontra y Gelroth (1988) observaron este aumento en el proceso de elaboración de pan, y reportaron un incremento en más del 20% en el contenido de FDT, en comparación con la harina cruda (p. 155). Lintas y Cappelloni (1988), reconocieron un fenómeno similar cuando sometieron a cocción los vegetales de consumo más frecuente en Italia (p. 123). Igualmente, Phillips y Palmer (1991) señalaron un aumento en los niveles de FDT cuando al cocer zanahorias en agua encontraron un aumento considerable de la fibra dietética soluble (FDS) y una disminución en la fibra dietética insoluble (FDI) (p. 1216).

En los procesos de horneado y reventado la FDT se redujo notablemente, debido al desprendimiento de la testa durante el procesamiento; así, en el caso del horneado, el grano crudo seco fue molido y la harina tamizada, luego se añadió agua para formar una masa homogénea, que después del moldeado fue horneada. Igualmente el reventado del grano, conlleva desprendimiento de la testa, la cual en contacto con una superficie caliente tiende a quemarse antes de que el grano se expanda. Los dos procesos provocan una separación de la testa, lo que influye directamente en la reducción de la FDT. Según Gil (2010), el pelado o escarificado de las semillas reduce el contenido de FDT, ya que su fracción insoluble se encuentra mayoritariamente en la testa o cáscara (p. 484).

La germinación incrementó el contenido de FDT tanto en el grano de amaranto como en el de sangorache en porcentajes importantes (34,62% y 29,51%, respectivamente). Al

respecto Ramos y Sangronis (2006), reportaron un incremento de la FDS en una variedad de fréjol por efecto de la germinación en aproximadamente 2%, lo cual afectó al contenido de FDT (p. 531). Por su parte Martín *et al.*, (2003) analizaron el efecto de la germinación sobre el contenido de FDT en arveja, y determinaron un aumento significativo de la FDS y FDI, y por tanto de la FDT; encontraron además que el aumento de la FDI estaba asociado al incremento de celulosa, mientras que el aumento de la FDI, se debía al incremento de polisacáridos ricos en glucosa y manosa (p. 1254).

La Tabla 3.7, muestra que no existe diferencia significativa entre los granos de amaranto procesados; únicamente los granos de amaranto horneado y germinado, se encuentran en diferente nivel estadístico (a y b, respectivamente), con valores de 16,67 y 23,33%.

Los granos de sangorache horneados y reventados presentaron el menor contenido de FDT, y se encuentran en el mismo nivel estadístico (a), con valores de 17,67 y 19,00%, respectivamente, como se observa en la Tabla 3.8.

3.2.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTINUTRICIONALES EN EL AGUA DE REMOJO Y COCCIÓN DEL GRANO DE AMARANTO Y SANGORACHE

La importancia de analizar el contenido de antinutricionales en el líquido residual obtenido del remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión, radica en conocer en qué medida los compuestos eliminados de los granos son transferidos al líquido de cocimiento.

Los factores antinutricionales evaluados fueron: nitratos, ácido oxálico, ácido fítico, taninos, saponinas, e inhibidores de tripsina, a excepción de la FDT, dado que este factor antinutricional no es soluble en agua.

Para identificar de mejor manera cada tipo de líquido residual obtenido de los diferentes procesos, se consideró la codificación detallada en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Codificación del líquido residual obtenido de los procesos de remojo y cocción de los granos de amaranto y sangorache.

Codificación	Líquido residual obtenido
AAR	Agua de remojo del grano de amaranto
AAOA	Agua de cocción del grano de amaranto en olla abierta
AAOP	Agua de cocción del grano de amaranto en olla de presión
ASR	Agua de remojo del grano de sangorache
ASOA	Agua de cocción del grano de sangorache en olla abierta
ASOP	Agua de cocción del grano de sangorache en olla de presión

En la Tablas 3.17 y 3.18, se presentan los resultados del análisis estadístico para el contenido de antinutricionales en los líquidos residuales procedentes del procesamiento de los granos de amaranto y sangorache.

Tabla 3.17. Contenido de factores antinutricionales en el líquido residual obtenido de los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión de los granos de amaranto

Líquido residual obtenido	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fólico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Saponinas (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)
AAR	170,00 ^a ± 4,569	0,88 ^a ± 0,060	0,091 ^a ± 0,0014	9,75 ^b ± 0,800	0,00 ^a ± 0,000	86,06 ^b ± 1,080
AAOA	20,00 ^b ± 1,400	0,45 ^b ± 0,040	0,060 ^b ± 0,0020	71,08 ^a ± 6,653	0,00 ^a ± 0,000	86,35 ^b ± 0,720
AAOP	20,00 ^b ± 0,480	0,43 ^b ± 0,043	0,048 ^b ± 0,0010	55,08 ^a ± 2,133	0,00 ^a ± 0,000	92,52 ^a ± 2,103

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, $p \leq 0,05$) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

Tabla 3.18. Contenido de factores antinutricionales en el líquido residual obtenido de los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión de los granos de sangorache

Líquido residual obtenido	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fólico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Saponinas (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)
ASR	96,00 ^b ± 5,460	0,90 ^a ± 0,052	0,006 ^c ± 0,0005	0,00 ^a ± 0,000	21,54 ^b ± 2,061	0,00 ^c ± 0,000
ASOA	252,00 ^a ± 4,000	0,42 ^b ± 0,041	0,0181 ^b ± 0,0010	36,42 ^a ± 2,095	16,02 ^b ± 0,798	79,30 ^a ± 1,857
ASOP	216,00 ^{ab} ± 6,354	0,41 ^b ± 0,021	0,175 ^a ± 0,0135	68,42 ^a ± 5,490	30,92 ^a ± 3,028	71,10 ^b ± 1,002

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, $p \leq 0,05$) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

El contenido de factores antinutricionales detectados en los líquidos de remojo y cocción, representan la totalidad o una porción de la cantidad eliminada del grano, dependiendo del efecto de cada proceso aplicado. En la Tabla 3.19, se presentan los porcentajes de eliminación de antinutricionales, determinados a partir de la relación entre la cantidad detectada en los líquidos de remojo y cocción, con respecto al valor total de antinutricional eliminado del grano.

Tabla 3.19. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de antinutricionales de los granos de amaranto y sangorache

Líquido residual obtenido	%					
	Nitratos	Ácido oxálico	Ácido fítico	Taninos	Saponinas	Inhibidores de tripsina
AAR	95,15	100,00	41,35	91,41	B.L.D.	80,07
AAOA	9,95	46,39	12,00	28,23	B.L.D.	2,80
AAOP	9,95	55,13	9,06	27,54	B.L.D.	3,08
ASR	85,97	100,00	0,90	B.L.D.	20,48	B.L.D.
ASOA	72,80	45,65	90,50	17,74	15,24	6,43
ASOP	92,11	45,05	60,34	29,15	29,41	7,26

B.L.D.: Bajo el límite de detección

- **Nitratos**

Se determinó un contenido igual de nitratos en el líquido residual de los procesos de cocción en olla abierta y cocción en olla de presión del amaranto, por lo que los resultados obtenidos se ubicaron en el mismo rango estadístico (b), como se puede observar en la Tabla 3.17; mientras que el contenido de nitratos en el agua de remojo se encontró en el rango estadístico (a), con un valor de 170 ppm. El líquido residual obtenido del proceso de cocción en olla de presión del grano de sangorache, comparte el nivel estadístico (a), con el agua obtenida de la cocción en olla abierta, y el rango estadístico (b) con el agua de remojo, como se puede apreciar en la Tabla 3.18. El alto contenido de nitratos en los líquidos residuales, puede atribuirse a la hidrosolubilidad de los nitratos, más que al efecto de otros factores como la temperatura y el tiempo de proceso.

La proporción de nitratos eliminada del grano durante el proceso de remojo y transferida al líquido residual para el grano de amaranto fue de 170 ppm y para el sangorache 96 ppm, lo que representa el 95,15 y 85,97% del total de nitratos eliminados de los granos, como se puede apreciar en la Tabla 3.19. En el agua de cocción del amaranto en olla abierta y en olla de presión, se determinó 20 ppm de nitratos, lo que representa el 9,95% del total de antinutricional eliminado. Para el líquido de cocción del sangorache, tanto olla abierta como en olla de presión, los niveles detectados representan el 72,80 y 92,11%, de antinutricional eliminado, respectivamente.

Según Martinoia, Heck y Wiemken (1981), la porción restante de nitratos, no detectada en el líquido residual de los diferentes procesos, pudo haber sufrido una reducción a nitritos, cambio que puede ocurrir debido al efecto de diferentes factores (p. 292).

- **Ácido oxálico**

El contenido de ácido oxálico en el líquido residual de cocción del amaranto en olla abierta (0,45%), no varió significativamente del observado en el agua de cocción en olla de presión (0,43%), por lo que estos valores comparten el rango estadístico (b) como se observa en la Tabla 3.17. En el agua de remojo se determinó 0,88% de ácido oxálico, ubicándose en el nivel estadístico (a), y es equivalente al 100% de antinutricional eliminado en este proceso. Igualmente los contenidos de ácido oxálico en los líquidos resultantes del proceso de cocción del grano de sangorache, tanto en olla abierta como a presión, no resultaron estadísticamente diferentes y se ubicaron en el mismo rango estadístico (b), como se puede observar en la Tabla 3.18. El agua de remojo del sangorache se ubicó en el nivel estadístico (a) con un contenido de 0,90%, el cual equivale al 100% de antinutricional eliminado durante este proceso.

La proporción de ácido oxálico eliminada en los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión, y transferida a los líquidos residuales, representan valores superiores al 45,00% como se puede apreciar en la Tabla 3.19, con relación a la cantidad total de compuesto eliminado, de lo que se puede inferir que el ácido oxálico

presenta una alta solubilidad en agua. Posiblemente la fracción restante que no se logra detectar en el líquido de cocción del grano, corresponde a la formación de complejos o sales insolubles en agua, según lo expresado por Chai y Liebman (2005, p. 3030).

- **Ácido fítico**

Los contenidos de ácido fítico en el agua de cocción del grano de amaranto, en olla abierta y en olla de presión, no presentaron diferencia significativa, con valores de 0,060 y 0,048% respectivamente; sin embargo, variaron estadísticamente con los valores detectados en el agua de remojo (0,091%), como se muestra en la Tabla 3.17.

Los contenidos de ácido fítico en los líquidos residuales de los procesos de cocción en olla de presión, cocción en olla abierta y remojo del grano de sangorache, variaron significativamente y presentaron valores de 0,175%; 0,0181 y 0,006%, respectivamente, como se observa en la Tabla 3.18.

La proporción de ácido fítico encontrada en el agua de remojo del grano de amaranto, representa el 41,35% del total de compuesto eliminado; mientras que en los procesos de cocción en olla abierta y cocción en olla de presión, se detectó fracciones equivalentes al 12,00 y 9,06% del ácido fítico total eliminado del grano, como se puede observar en la Tabla 3.19.

La proporción de ácido fítico eliminado en los procesos de remojo, cocción en olla abierta, y cocción en olla de presión del grano de sangorache, representa el 0,90; 90,50; y 60,34%, con relación al contenido total de ácido fítico eliminado del grano; estos datos se encuentran en la Tabla 3.19.

Según lo expresado por Khan, Zaman y Elahi (1988), las fracciones restantes no detectadas en los respectivos líquidos residuales, podrían haber experimentado una pérdida por hidrólisis química o enzimática del compuesto antinutricional (p. 1274).

- **Taninos**

El contenido de taninos en el líquido residual de la cocción en olla abierta y cocción en olla de presión del grano de amaranto, no varió significativamente con valores de 71,0 y 55,08 mg/100 g muestra, respectivamente, encontrándose en el mismo nivel estadístico (a) como se observa en la Tabla 3.17. Por su parte, el contenido en el líquido de remojo, se encontró en el rango estadístico (b) con un valor de 9,75 mg/100 g muestra.

El agua de remojo del grano de sangorache presentó un contenido de taninos bajo el límite de detección, mientras que los líquidos residuales de los procesos de cocción en olla abierta y cocción en olla de presión, presentaron 36,42 y 68,42 mg/100 g de muestra, respectivamente, valores estadísticamente similares, por lo que comparten el primer rango estadístico (a), como se observa en la Tabla 3.18.

La fracción de taninos encontrada en el agua de remojo del grano de amaranto, representa el 91,41% de compuesto eliminado, porcentaje superior a los determinados para el líquido residual de la cocción en olla abierta y cocción en olla de presión con 28,23 y 27,54%, respectivamente, como se puede apreciar en la Tabla 3.19.

El porcentaje de eliminación de taninos del grano, y detectado en los líquidos residuales de cocción del sangorache en olla abierta y en olla de presión fue del 17,74% y el 29,15%, respectivamente. Nasar *et al.*, (2008), señalan que la fracción de taninos eliminada del grano pero no detectada en el agua de cocción, podría haber sufrido una pérdida por efecto de las temperaturas de proceso (p. 1267).

- **Saponinas**

En el líquido residual obtenido de los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión del grano de amaranto, no se encontraron saponinas, resultado esperado, ya que en el grano nativo no se detectó este antinutricional.

El contenido de saponinas en el agua de cocción del sangorache, en olla de presión, fue de 30,92 mg/100 g muestra; este valor es significativamente diferente a los encontrados en el líquido residual del remojo y cocción en olla abierta, los cuales presentaron valores de 21,54 y 16,02 mg/100 g muestra, respectivamente como se muestra en la Tabla 3.18.

La proporción de saponinas eliminada en los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión y transferida a los líquidos residuales, representa el 20,48; 15,24 y 29,41%, del total de saponinas eliminadas del grano de amaranto, resultados presentados en la Tabla 3.19.

Las porciones restantes de saponinas, no encontradas en los líquidos residuales del procesamiento del grano de sangorache, se perdieron posiblemente por su naturaleza proteínica, y al ser sometidas a altas temperaturas o cambio de pH, se destruyeron y/o inactivaron (Khokar y Chanhan, 1986, p. 1083).

- **Inhibidores de tripsina**

Los inhibidores de tripsina en el agua de cocción del grano de amaranto, en olla abierta, no variaron significativamente del valor encontrado en el agua de remojo, con valores de 86,35 y 86,06 UIT/g muestra, respectivamente, como se muestra en la Tabla 3.17; sin embargo, estos valores son significativamente diferentes del agua de cocción en olla de presión, con un contenido de inhibidores de tripsina igual a 92,52 UIT/g muestra.

En el agua de remojo del sangorache no se encontró inhibidores de tripsina, mientras que en los líquidos de cocción, en olla abierta y olla de presión, los contenidos de este antinutricional fueron estadísticamente diferentes, como se observa en la Tabla 3.18, con valores de 79,30 y 71,10 UIT/ g muestra, respectivamente.

La proporción de inhibidores de tripsina eliminada en el proceso de remojo, cocción en olla abierta y en olla de presión del grano de amaranto, y transferida a los líquidos residuales,

representa el 80,07; 2,80 y 3,08%, del total eliminado del grano en cada proceso, resultados encontrados en la Tabla 3.19.

Los niveles de inhibidores de tripsina detectados en los líquidos residuales de cocción del grano de sangorache, en olla abierta y de presión, representan el 6,43 y 7,26%, en relación al total eliminado en cada proceso. Según Márquez, Fernández y Alonso (1998), una fracción de inhibidores de tripsina no se transfiere al líquido de cocción, debido al cambio en la configuración de la proteína provocada por la temperatura de proceso (p. 531).

3.3 EFECTO DE LOS PROCESOS APLICADOS SOBRE LOS COMPONENTES ANTINUTRICIONALES DE LAS HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE

Para identificar de mejor manera el tipo de hoja con su respectivo proceso, se consideró la codificación detallada en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20. Codificación de las hojas de amaranto y sangorache procesadas

Codificación	Hojas procesadas
HACo	Hojas de amaranto cocidas en olla abierta
HAV	Hojas de amaranto al vapor
HAF	Hojas de amaranto fritas
HSCo	Hojas de sangorache cocidas en olla abierta
HSV	Hojas de sangorache al vapor
HSF	Hojas de sangorache fritas

En la Tablas 3.21 y 3.22, se presentan los resultados del análisis estadístico para el contenido de antinutricionales en las hojas de amaranto y sangorache procesados.

Tabla 3.21. Contenido de factores antinutricionales en las hojas de amaranto procesadas

Hojas procesadas	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fítico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Saponinas (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	Fibra dietética total (%)
HACo	0,00 ^a ± 0,00	0,55 ^a ± 0,008	0,035 ^a ± 0,0028	279,08 ^a ± 23,307	0,00 ^a ± 0,000	473,01 ^b ± 9,068	7,10 ^c ± 0,361
HAV	390,83 ^b ± 9,710	0,67 ^b ± 0,008	0,134 ^b ± 0,0057	1 001,75 ^c ± 21,166	14,23 ^b ± 1,175	447,10 ^a ± 4,944	5,33 ^b ± 0,058
HAF	134,00 ^a ± 6,800	0,55 ^a ± 0,028	0,029 ^a ± 0,0018	756,42 ^b ± 12,866	0,00 ^a ± 0,000	601,13 ^c ± 6,011	2,57 ^a ± 0,058

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, p≤ 0,05) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

Tabla 3.22. Contenido de factores antinutricionales en las hojas sangorache procesadas

Hojas procesadas	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fítico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Saponinas (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	Fibra dietética total (%)
HSCo	1 228,33 ^a ± 9,410	0,39 ^{ab} ± 0,031	0,010 ^a ± 0,0009	471,08 ^a ± 6,190	0,00 ^a ± 0,000	637,14 ^c ± 3,815	6,03 ^b ± 0,252
HSV	2 345,00 ^b ± 17,250	0,59 ^b ± 0,029	0,082 ^b ± 0,0044	1 095,08 ^b ± 23,094	15,55 ^b ± 0,966	373,33 ^a ± 3,733	5,93 ^b ± 0,507
HSF	1 340,00 ^a ± 13,080	0,37 ^a ± 0,014	0,068 ^b ± 0,0061	1 041,75 ^b ± 52,088	0,00 ^a ± 0,000	576,29 ^b ± 10,123	1,47 ^a ± 0,143

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, p≤ 0,05) (n=3)

B.L.D.: Bajo el límite de detección

- **Nitratos**

Como se puede observar en la Tabla 3.23, todos los procesos aplicados en las hojas de amaranto y sangorache, lograron disminuir el contenido de nitratos.

Tabla 3.23. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de nitratos, en las hojas de amaranto y sangorache

Tipo hoja procesada	Disminución de nitratos (%)
HACo	100,00
HAV	68,18
HAF	89,09
HSCo	54,17
HSV	12,50
HSF	50,00

En las hojas de amaranto la cocción en olla abierta logró eliminar completamente el contenido de nitratos (100,00% nitratos eliminado), como se puede apreciar en la Tabla 3.23. Un resultado similar, se logró mediante la cocción de las hojas de sangorache en olla abierta, eliminándose el 54,17% de nitratos.

Las hojas de amaranto fritas y cocidas al vapor, presentaron diferencia significativa en el contenido de nitratos, con valores de 134,00 y 390,83 ppm, respectivamente, como se puede observar en la Tabla 3.21.

Las hojas de sangorache cocidas en olla abierta y fritas no presentaron diferencia significativa en el contenido de nitratos, con valores de 1 228,33 y 1 340,00 ppm, respectivamente; sin embargo, estos valores fueron diferentes al de las hojas cocidas al vapor, estas últimas presentaron 2 345,00 ppm de nitratos, lo cual se aprecia en la Tabla 3.22.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Mozolewski y Smoczynski (2004), quienes reportaron reducciones del 16 - 20%, en los niveles de nitratos de patatas, mediante la aplicación de procesos térmicos (cocción en olla abierta, cocción al vapor, cocción en microondas, y fritura) (p. 357). La mayor reducción se logró con el proceso de cocción en agua en olla abierta.

En general los procesos térmicos como la cocción y la fritura, contribuyen a reducir el contenido de nitratos en los vegetales (EFSA, 2008, p. 27).

- **Ácido oxálico**

En general, todos los procesos aplicados en hojas de amaranto y de sangorache, eliminaron el contenido de ácido oxálico en porcentajes superiores al 55,00%. Los procesos que eliminaron en mayor proporción a este compuesto son la cocción en olla abierta y la fritura, lo que se puede apreciar tanto en las hojas de amaranto como en las de sangorache. Estos resultados se encuentran en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24. Disminución de ácido oxálico en las hojas de amaranto y sangorache procesadas

Tipo hoja procesada	Disminución ácido oxálico (%)
HACo	67,65
HAV	60,59
HAF	67,65
HSCo	70,90
HSV	55,97
HSF	72,39

El porcentaje de ácido oxálico en las hojas de amaranto cocidas en olla abierta fue de 0,55%, este valor fue igual al obtenido en las hojas fritas como se puede observar en la Tabla 3.21, y ambos difirieron estadísticamente al contenido presentado por las hojas cocidas al vapor (0,67%).

En las hojas de sangorache fritas y cocidas en olla abierta no se observó diferencia significativa en el contenido de ácido oxálico, al presentar valores de 0,37 y 0,39% respectivamente, como se muestra en la Tabla 3.22. Y además entre las hojas cocidas en olla abierta y al vapor tampoco se presentó diferencia significativa, estas últimas con un contenido de ácido oxálico del 0,59%.

El ácido oxálico y sus sales se generan como productos finales del metabolismo en una serie de tejidos, por lo que estos compuestos se encuentran en diferentes partes de la planta, incluyendo las hojas. Noonan y Savage, (1999), señalan que los procesos de cocción (cocción en olla abierta, cocción a vapor, fritura) ayudan a disminuir el contenido de ácido oxálico en los vegetales (p. 70).

- **Ácido fítico**

Los procesos aplicados a las hojas de amaranto redujeron el contenido de ácido fítico, en un rango de 4,29 a 79,29%, siendo el proceso más efectivo la fritura; mientras que en las hojas de sangorache se obtuvieron reducciones en el orden de 8,89 a 88,89%. El proceso más efectivo, resultó la cocción en olla abierta con un porcentaje de eliminación del 88,89%. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de ácido fítico, de las hojas de amaranto y sangorache procesadas

Tipo hoja procesada	Disminución de Ácido fítico (%)
HACo	75,00
HAV	4,29
HAF	79,29
HSCo	88,89
HSV	8,89
HSF	24,44

En la Tabla 3.21 se observa que el contenido de ácido fítico de las hojas de amaranto cocidas en olla abierta (0,035%), no difirió estadísticamente de las hojas fritas las cuales presentaron 0,029% de este antinutricional. Sin embargo, estos valores fueron significativamente diferentes de las hojas cocidas al vapor con 0,134%.

El contenido de ácido fítico de las hojas de sangorache fritas (0,068%) resultó estadísticamente similar al encontrado en las hojas cocidas al vapor con 0,082%. Estos valores difirieron del correspondiente a las hojas cocidas en olla abierta (0,010%), el cual se ubicó en el primer rango estadístico (a), como se aprecia en la Tabla 3.22.

Martínez *et al.* (2002), mencionan que los tratamientos térmicos degradan los ésteres de inositol, lo que se traduce en una disminución del ácido fítico en los vegetales (p. 223).

- **Taninos**

En las hojas de amaranto y sangorache, todos los procesos aplicados redujeron el contenido de taninos. En las hojas de amaranto el porcentaje de eliminación fluctuó entre 52,49 a 86,76%. El proceso de cocción en olla abierta, resultó el más efectivo para eliminar los taninos, como se puede observar en la Tabla 3.26. En las hojas de sangorache la reducción de taninos fluctuó entre 56,44 a 81,26%, e igualmente el proceso de cocción en olla abierta resultó el más efectivo.

Tabla 3.26. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción de taninos de las hojas de amaranto y sangorache

Tipo hoja procesada	Disminución de taninos (%)
HACo	86,76
HAV	52,49
HAF	64,12
HSCo	81,26
HSV	56,44
HSF	58,56

El contenido de taninos de las hojas de amaranto cocidas en olla abierta (279,08 mg/100 g), varió significativamente del valor encontrado en las hojas fritas (756,42 mg/100 g) y cocidas al vapor (1 001,75 mg/100 g), como se observa en la Tabla 3.21.

En la Tabla 3.22, se muestra que el contenido de taninos en las hojas de sangorache cocidas en olla abierta (471,08 mg de taninos por cada 100 g de muestra), fue estadísticamente diferente a los valores encontrados en las hojas fritas y cocidas al vapor (1 041,75 y 1 095,08 mg de taninos por cada 100 g de muestra, respectivamente), y estos últimos además compartieron el mismo rango estadístico (b).

En este caso, los procesos de cocción ayudan a reducir significativamente el contenido de taninos, por un cambio en la reactividad química y/o por la formación de complejos insolubles (Barroga, Laurena y Mendoza, 1985, p. 1006; Kataria, Chauhan y Punia, 1989, p. 16).

- **Saponinas**

El contenido de saponinas en las hojas de amaranto y sangorache sometidas a los diferentes procesos, se redujo en valores superiores al 90,00%. Los procesos más efectivos fueron la cocción en olla abierta y la fritura (100,00% saponinas eliminado), como se puede observar en la Tabla 3.27.

Estos resultados concuerdan parcialmente con lo expresado por UScienses (2000, p. 477); Khokar y Chanhan (1986), quienes indican que las saponinas son compuestos altamente hidrosolubles, por lo que los procesos de cocción que emplean agua pueden reducir los niveles de estos compuestos en los vegetales de manera significativa (p. 1083). Sin embargo, los resultados experimentales muestran que el proceso de fritura también ayudó a reducir el contenido de saponinas en un 100%, como se muestra en la Tabla 3.27, debido posiblemente a la temperatura alcanzada en el proceso.

Tabla 3.27. Nivel de reducción de las saponinas en las hojas de amaranto y sangorache procesadas

Tipo hoja procesada	Disminución de saponinas (%)
HACo	100,00
HAV	93,50
HAF	100,00
HSCo	100,00
HSV	95,96
HSF	100,00

Sin embargo, mediante el proceso de cocción al vapor no se elimina totalmente el contenido de saponinas, quedando una fracción residual de 14,23 y 15,55 mg/100 g, en las hojas de amaranto y sangorache, respectivamente, como se muestra en las Tablas 3.21 y 3.22.

- **Inhibidores de Tripsina**

Los procesos aplicados a las hojas de amaranto y sangorache redujeron los niveles de inhibidores de tripsina, en valores superiores al 50%. En las hojas de amaranto y sangorache el proceso más efectivo resultó la cocción al vapor, con cuya aplicación se lograron reducciones del 63,33% y 73,23%, respectivamente. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.28.

Tabla 3.28. Nivel de reducción de los inhibidores de tripsina en las hojas de amaranto y sangorache procesadas

Tipo hoja procesada	Disminución de los inhibidores de tripsina (%)
HACo	61,20
HAV	63,33
HAF	50,69
HSCo	54,31
HSV	73,23
HSF	58,68

El contenido de inhibidores de tripsina tanto en las hojas de amaranto y sangorache procesadas, variaron significativamente y se ubicaron en diferentes rangos estadísticos, dependiendo del proceso aplicado, como se puede apreciar en las Tablas 3.21 y 3.22. Así, para las hojas de amaranto al vapor, cocidas en olla abierta y fritas se registraron valores de 447,10; 473,01 y 601,13 UIT/g muestra, respectivamente. En las hojas de sangorache al vapor, fritas y cocidas en olla abierta, se determinaron valores de 373,33; 576,29 y 637,14, respectivamente.

Según lo expresado por Liener (1994), la reducción en los niveles de inhibidores de tripsina en las hojas de amaranto y sangorache procesadas con diferentes métodos de cocción (en olla abierta, con vapor y fritura), podría atribuirse a la termolabilidad de estos compuestos (p. 31).

- **Fibra dietética total (FDT)**

El único proceso con el que se logró una reducción en el contenido de FDT tanto en hojas de amaranto como de sangorache fue la fritura, con cuya aplicación se obtuvo una reducción del 35,75 y 73,75% respectivamente, como se puede apreciar en la Tabla 3.29. Pérez, Guerra y García (1997) obtuvieron una disminución del 21,40% en la fibra dietética, al aplicar tratamientos de fritura al garbanzo (p. 66).

La cocción en olla abierta y con vapor, provocaron un incremento del 77,50 y 33,25% en los niveles de FDT de las hojas de amaranto; mientras que en las hojas de sangorache, estos mismos procesos térmicos aumentaron el contenido de FDT en 7,68 y 5,89%, respectivamente. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.29.

Tabla 3.29. Efecto del procesamiento en el nivel de reducción o aumento de la FDT de las hojas de amaranto y sangorache

Tipo hoja procesada	Pérdida de FTS (%)	Incremento de FTS (%)
HACo		77,50
HAV		33,25
HAF	35,75%	
HSCo		7,68
HSV		5,89
HSF	73,75%	

En el trabajo realizado por González (2000) en lentejas y fréjol negro, el contenido de FDT aumentó a expensas del incremento de la fibra dietética soluble (FDS) e insoluble (FDI) después de aplicarse procesos térmicos (p. 281).

Por su parte Lintas y Capelloni (1988) señalaron que los procesos domésticos o industriales pueden promover un tipo de interacciones que aumentan el contenido de polisacáridos no almidonosos y/o propician la formación de almidones modificados, capaces de resistir la acción enzimática y en consecuencia aumentar el contenido de FDI y por ende de la FDT (p. 124).

En la Tabla 3.21 se observa que los contenidos de FDT en las hojas de amaranto fritas, al vapor y cocidas en olla abierta fueron estadísticamente diferentes, con valores de 2,57; 5,33, y 7,10%, respectivamente. El contenido de FDT en las hojas de sangorache fritas (1,47%) fue estadísticamente diferente al determinado en las hojas cocidas en olla abierta (6,03%) y al vapor (5,93%); los valores de estos dos últimos procesos no variaron

significativamente y compartieron el rango estadístico (b) como se observa en la Tabla 3.22.

3.3.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTINUTRICIONALES EN EL AGUA DE COCCIÓN DE LAS HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE

La importancia de analizar el contenido de antinutricionales en el líquido residual obtenido del proceso de cocción en olla abierta, radica en conocer en qué medida los compuestos eliminados de las hojas son transferidos al líquido de cocimiento.

Para identificar de mejor manera cada tipo de líquido residual obtenido del proceso de cocción de las hojas de amaranto y sangorache, se consideró la siguiente codificación:

Tabla 3.30. Codificación del líquido residual obtenido del proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache.

Codificación	Líquido residual obtenido
ACHA	Agua de cocción de las hojas de amaranto en olla abierta
ACHS	Agua de cocción de las hojas de sangorache en olla abierta

En general, se determinó que la mayoría de antinutricionales evaluados son hidrosolubles, encontrándose una concentración importante de ellos en el líquido de cocción, a excepción de de la FDT. Los factores antinutricionales analizados entonces fueron: nitratos, ácido oxálico, ácido fítico, taninos, saponinas, e inhibidores de tripsina. En la Tabla 3.31 se presentan los resultados del análisis de estos antinutricionales.

Tabla 3.31. Contenido de factores antinutricionales en el líquido residual obtenido del proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache

Líquido Residual	Nitratos (ppm)	Ácido oxálico (%)	Ácido fítico (%)	Taninos (mg/100 g muestra)	Saponinas (mg/100 g muestra)	Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)
ACHA	502,50 ± 5,250	1,02 ± 0,049	0,061 ± 0,0084	471,08 ± 3,332	64,56 ± 4,605	69,93 ± 1,083
ACHS	781,67 ± 19,412	0,93 ± 0,037	0,049 ± 0,0011	873,75 ± 8,250	202,11 ± 12,840	73,31 ± 1,080

Xm±DS; Valores con letras iguales no son significativamente diferentes (prueba de Tukey, $p \leq 0,05$) (n=3)

El contenido de factores antinutricionales encontrados en el líquido residual obtenido, representan la totalidad o una porción de la cantidad eliminada de estos compuestos, durante el proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache. Los porcentajes de antinutricionales encontrados en el agua de cocción o líquido residual, con respecto al total eliminado, se presentan en la Tabla 3.32.

Tabla 3.32. Contenido de antinutricionales detectado en el líquido residual, con respecto al total eliminado por el proceso de cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache

Líquido residual	(%)					
	Nitratos	Ácido oxálico	Ácido fítico	Taninos	Saponinas	Inhibidores de tripsina
ACHA	40,91	90,04	57,03	25,75	28,55	9,37
ACHS	53,85	98,51	58,73	42,77	52,55	9,68

La proporción de nitratos que se transfirió de las hojas al líquido de cocción, en el caso del amaranto, corresponde al 40,91% del total eliminado con el proceso de cocción en olla abierta. Para las hojas del sangorache este valor ascendió al 53,85%, como se observa en la Tabla 3.32. La porción restante de nitratos no detectable en el líquido de cocción, podría atribuirse a la reducción de estos compuestos a nitritos durante el procesamiento (Martinoia *et al.*, 1981, p. 292).

La proporción de ácido oxálico que se transfirió de las hojas de amaranto y sangorache a sus respectivos líquidos de cocción, corresponde al 90,04 y 98,51%, del total eliminado por efecto del proceso. Estos resultados se encuentran en la Tabla 3.32 y permiten concluir, que el ácido oxálico es un compuesto muy hidrosoluble, propiedad a la que pudo haber contribuido la temperatura de proceso. La porción restante de ácido oxálico no detectada en los líquidos de cocción, podría pertenecer a oxalatos insolubles difícilmente extraíbles mediante el proceso aplicado (Chai y Liebman, 2005, p. 3030).

Las proporciones de ácido fítico encontradas en el agua de cocción de las hojas de amaranto y sangorache, representan el 57,03% y el 58,73% del total de compuesto eliminado, resultados encontrados en la Tabla 3.32. La proporción restante, podría haber sufrido pérdidas por hidrólisis química o enzimática (Khan *et al.*, 1988, p. 1274).

En cuanto a la proporción de taninos, en las aguas de cocción de las hojas de amaranto y sangorache, ésta constituyó el 25,00 y 42,77% de la cantidad total de taninos eliminados como se observa en la Tabla 3.32. La proporción restante podría haber sufrido una pérdida de tipo oxidativo por efecto de la temperatura de cocción (Nasar *et al.*, 2008, p. 1267).

La proporción de saponinas eliminada por la cocción en olla abierta de las hojas de amaranto y sangorache, y transferida a los líquidos residuales, representa el 28,55 y 52,55% del total de saponinas eliminadas durante este proceso, como se aprecia en la Tabla 3.32, la fracción restante, no detectable en el agua de cocción podría haber experimentado una pérdida hidrolítica.

El contenido de inhibidores de tripsina en las aguas de cocción de las hojas de amaranto y sangorache, representa el 9,37% y el 9,68% de compuesto eliminado mediante el proceso. Lo que hace suponer que el 91,00% de inhibidores de tripsina aproximadamente, experimentan una pérdida por acción de la temperatura de cocción, lo que impide su completa detección en el líquido en el que se cocieron las hojas. Al respecto Márquez *et al.* (1998), señalan que los inhibidores de tripsina son compuestos termolábiles de

naturaleza proteica que alteran la digestión de las proteínas, inhibiendo la acción de las enzimas digestivas responsables de la hidrólisis de las proteínas (p. 531).

3.4 DETERMINACIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL DEL GRANO Y LAS HOJAS DE AMARANTO Y SANGORACHE

Se determinó el perfil nutricional del grano y las hojas de amaranto y sangorache, y se comparó al material vegetal nativo o crudo con el material vegetal procesado y correspondiente al mejor tratamiento. Para determinar el mejor tratamiento, se consideró:

1. La pérdida o eliminación de factores antinutricionales.
2. Grado de pérdida de cada factor antinutricional.

De acuerdo a lo anterior, se escogió como mejor tratamiento aplicable a las hojas de las dos especies, la cocción en olla abierta. Para los granos el tratamiento efectivo en la reducción de antinutricionales resultó el remojo más la cocción en olla abierta.

La importancia de analizar el perfil nutricional del material vegetal procesado con el mejor tratamiento, radica en conocer su aporte real a la alimentación con respecto al contenido en el material vegetal crudo.

Los parámetros nutritivos analizados fueron: humedad, proteína, cenizas, grasa o extracto etéreo, fibra cruda o bruta, minerales, digestibilidad de la proteína, biodisponibilidad de minerales, lisina disponible. Los resultados del análisis de estos parámetros se reportaron en base seca, con excepción de la humedad.

- **Humedad**

El contenido de humedad en los granos de amaranto y sangorache procesados (remojados y cocidos en olla abierta), fue menor al encontrado en el material vegetal crudo

o nativo respectivo, como se puede observar en la Figura 3.1. El grano de amaranto crudo presentó 10,38% de humedad mientras que el grano de amaranto procesado mostró 6,12%, el grano de sangorache crudo y procesado, presentaron humedades de 12,29% y 6,46%, respectivamente.

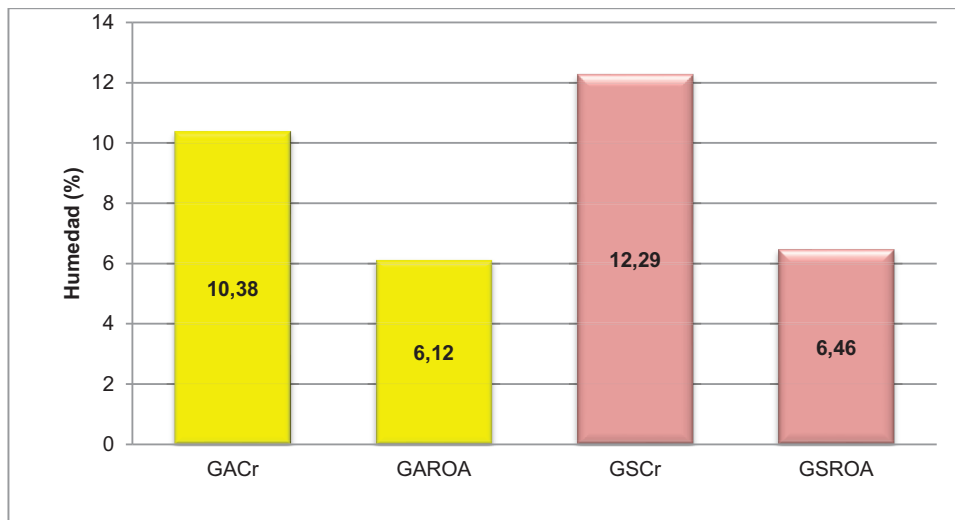


Figura 3.1. Contenido de humedad (%) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

El efecto de la cocción en olla abierta en las hojas de amaranto y sangorache, fue similar, pues se aprecia que el material vegetal procesado (cocido en olla abierta) presentó menor contenido de humedad en relación al material vegetal crudo, como se observa en la Figura 3.2. Las hojas de amaranto crudas presentaron un contenido de humedad del 93,02% y las cocidas del 91,34%; mientras que las hojas de sangorache crudas y cocidas mostraron 89,83% y 88,31% de humedad, respectivamente.

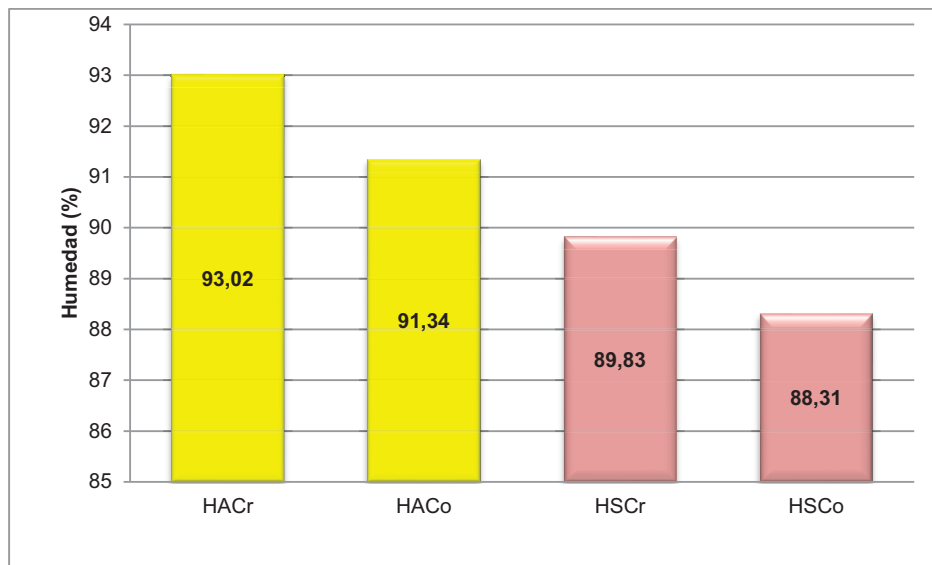


Figura 3.2. Contenido de humedad (%) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

Chaparro *et al.* (2009), encontraron una reducción en el contenido de humedad aplicando métodos de cocción en *Mucuna deeringiana* (p. 4845).

- **Cenizas**

El contenido de cenizas en el grano de amaranto y sangorache procesados, fue menor al presentado en el material vegetal crudo. El grano de amaranto crudo obtuvo un 3,05% de cenizas mientras que el grano procesado mostró un 2,62%; en tanto que el grano de sangorache crudo y procesado, presentaron valores de 3,42 y 2,99%, respectivamente como lo ilustra la Figura 3.3.

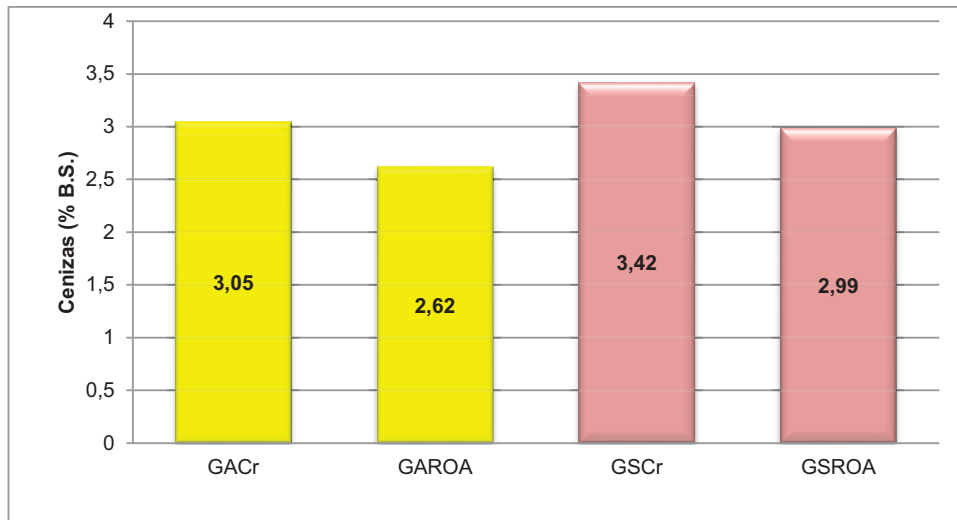


Figura 3.3. Contenido de cenizas (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

En cuanto a las hojas, se puede observar que el material vegetal cocido en olla abierta presentó un contenido de cenizas menor en relación al material vegetal crudo. Las hojas de amaranto crudas mostraron 15,96% de cenizas, y las hojas cocidas 14,84%; mientras que las hojas de sangorache crudas y cocidas presentaron 13,59 y 12,11% de cenizas, respectivamente, como se observa en la Figura 3.4.

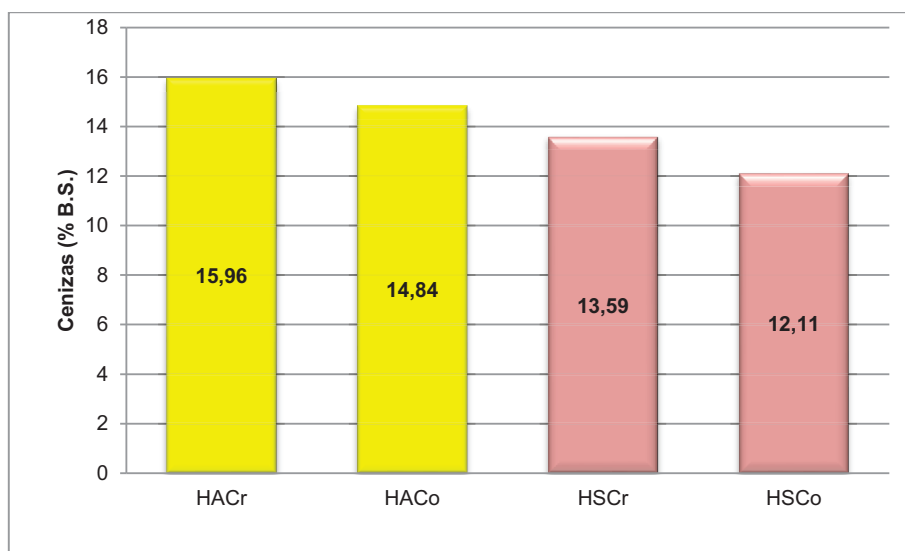


Figura 3.4. Contenido de cenizas (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

La disminución de las cenizas (minerales) al aplicarse cocción en olla abierta, puede ser atribuida a la difusión de los minerales en el agua de cocción. Esta situación es similar a la reportada por Wang, Hatcher y Gawalko (2008) en *Pisum sativum* (p. 132).

- **Extracto etéreo**

El contenido de extracto etéreo en el grano de amaranto y sangorache procesados, fue superior al encontrado en el material crudo, como se puede observar en la Figura 3.5. El grano de amaranto procesado presentó 8,53% de extracto etéreo, y el grano crudo 6,08%; mientras que el grano de sangorache procesado y crudo, presentaron valores de 7,70 y 5,50%, respectivamente.

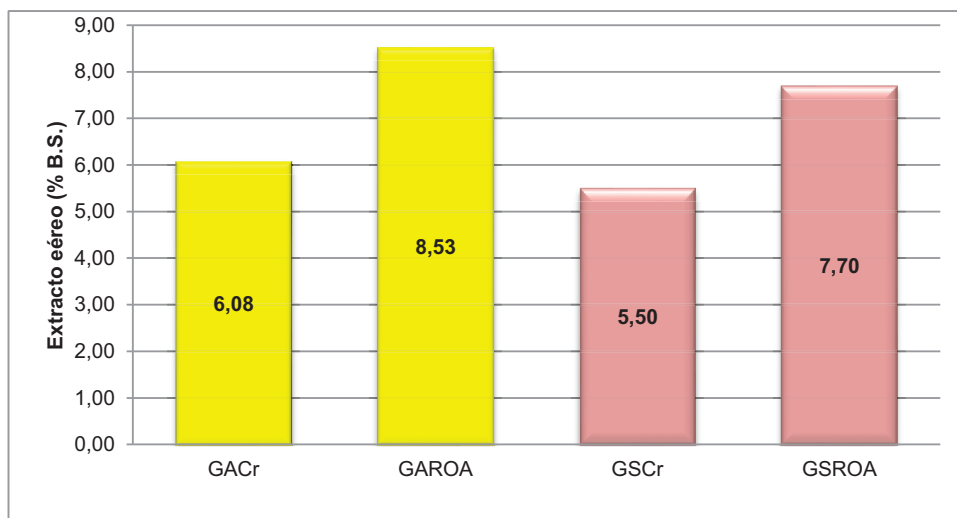


Figura 3.5. Contenido de extracto etéreo (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

El contenido de extracto etéreo en las hojas de amaranto y sangorache cocidas en olla abierta, fue también superior al presentado en el material vegetal crudo, como se puede observar en la Figura 3.6. Es así que las hojas de amaranto cocidas mostraron 5,11% de extracto etéreo y las hojas crudas 2,87%; mientras que las hojas de sangorache cocidas y crudas, presentaron 6,59 y 3,08%, respectivamente.

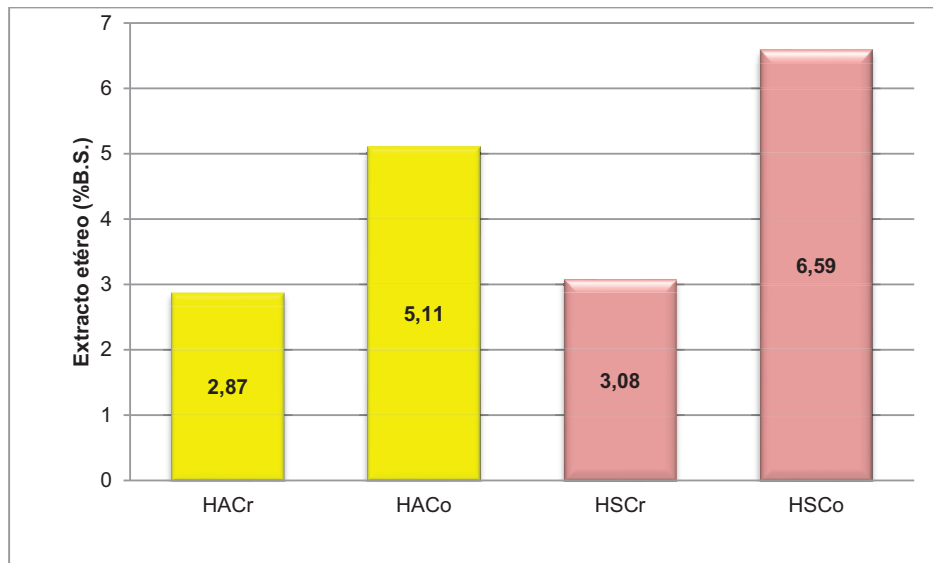


Figura 3.6. Contenido de extracto etéreo (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

Chaparro *et al.* (2009), reportaron un incremento en el contenido de extracto etéreo en semilla de *Mucuna deeringiana*, al aplicar remojo y cocción en agua, lo cual puede atribuirse a una ligera solubilidad de los lípidos en agua caliente; lo mismo puede ocurrir en las hojas de amaranto y sangorache cocidas (p. 4845).

- **Proteína**

El grano de amaranto procesado mostró un contenido de proteína menor al presentado por el grano de amaranto crudo, con valores de 13,60 y 14,67%, respectivamente. Entretanto, el grano de sangorache procesado presentó un valor de 16,02% de proteína, este contenido es menor al encontrado en el grano crudo que mostró 18,12%, como se puede observar en la Figura 3.7.

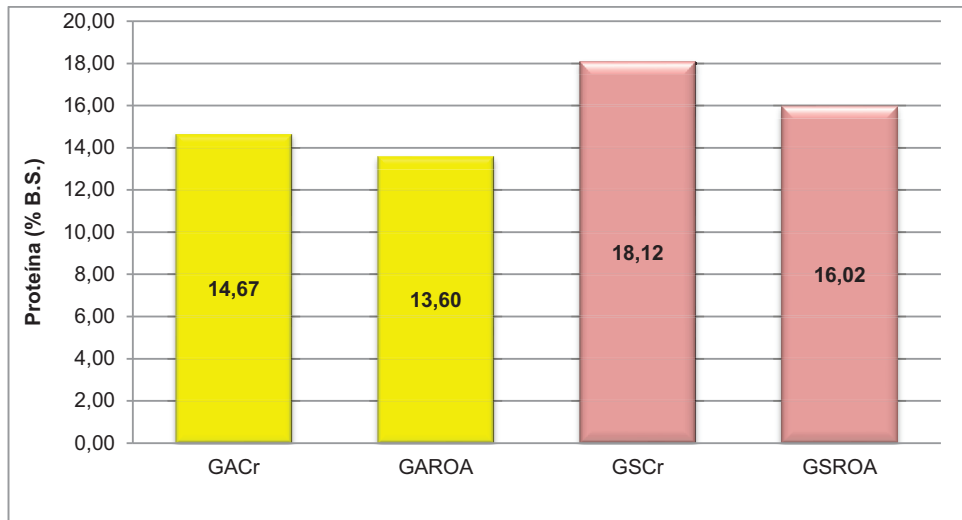


Figura 3.7. Contenido de proteína (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

El contenido de proteína en las hojas de amaranto crudas fue mayor al encontrado en las hojas cocidas, con valores de 20,11 y 18,20%, respectivamente; por su parte las hojas de sangorache cocidas presentaron un contenido de proteína menor al presentado por las hojas crudas, con valores de 19,82 y 22,12%, respectivamente. Estos resultados se ilustran en la Figura 3.8.

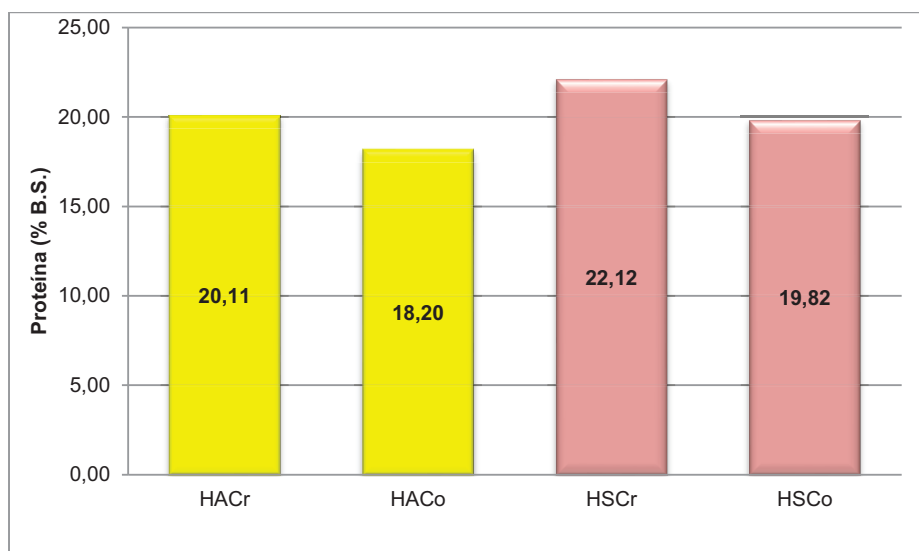


Figura 3.8. Contenido de proteína (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

Según lo expresado por Wang, Lewis, Brennan y Westby (1997), la reducción en el contenido de proteína en el material vegetal procesado, puede deberse a una pérdida de la fracción soluble, a lo cual contribuyeron el tiempo y la temperatura de proceso (p. 59).

- **Fibra cruda o bruta**

El contenido de fibra bruta en los granos de amaranto y sangorache procesados, fue superior al encontrado en el material vegetal crudo respectivo, como se observa en la Figura 3.9. El grano de amaranto procesado contuvo 6,24% de fibra bruta, y el grano crudo 3,30%; en tanto que los granos de sangorache procesados y crudos presentaron contenidos de fibra bruta de 14,28 y 9,85%, respectivamente.

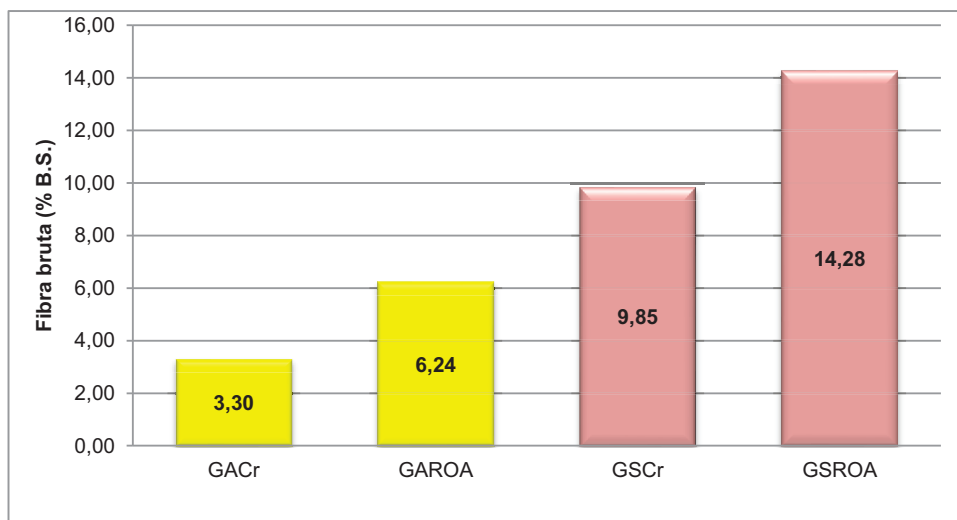


Figura 3.9. Contenido de fibra cruda o bruta (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

El contenido de fibra bruta en las hojas cocidas, fue superior al presentado por las hojas crudas, como se puede observar en la Figura 3.10. Las hojas de amaranto cocidas presentaron un contenido de fibra bruta igual a 14,36% y las hojas crudas 9,11%; entre tanto las hojas de sangorache cocidas y crudas mostraron valores de fibra bruta iguales a 12,38 y 9,10%, respectivamente.

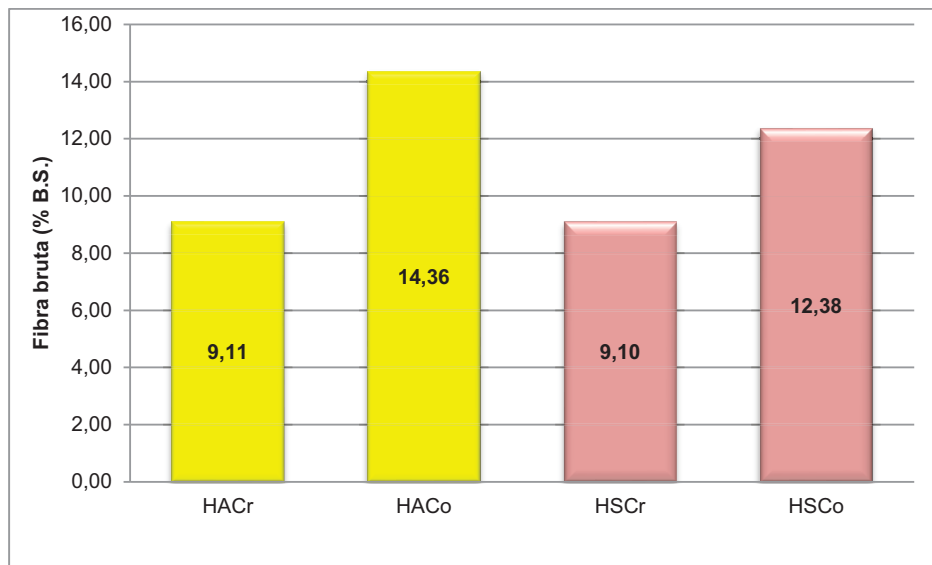


Figura 3.10. Contenido de fibra cruda o bruta (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

La fibra cruda o bruta aumentó posiblemente, por la reducción de la humedad del material vegetal ocasionada por el secado controlado aplicado posterior al proceso de cocción en agua, lo que cambió el porcentaje de los nutrientes. Situación similar la reportaron Chaparro *et al.* (2009) en *Mucuna deeringiana* (p. 4845).

- **Macrominerales**

Calcio

Los granos de amaranto y sangorache procesados, presentaron contenidos de calcio mayores con relación al material vegetal crudo, como lo ilustra la Figura 3.11. Los granos de amaranto, crudos y procesados presentaron valores de 0,14 y 0,44%, respectivamente; mientras que los granos de sangorache crudos y procesados mostraron 0,55 y 0,27% de calcio, respectivamente.

En este caso el contenido de calcio se incrementó probablemente por la reducción en el contenido de ácido fítico, que evitó o disminuyó la formación de sales insolubles de calcio (Han, 1988, p. 1183).

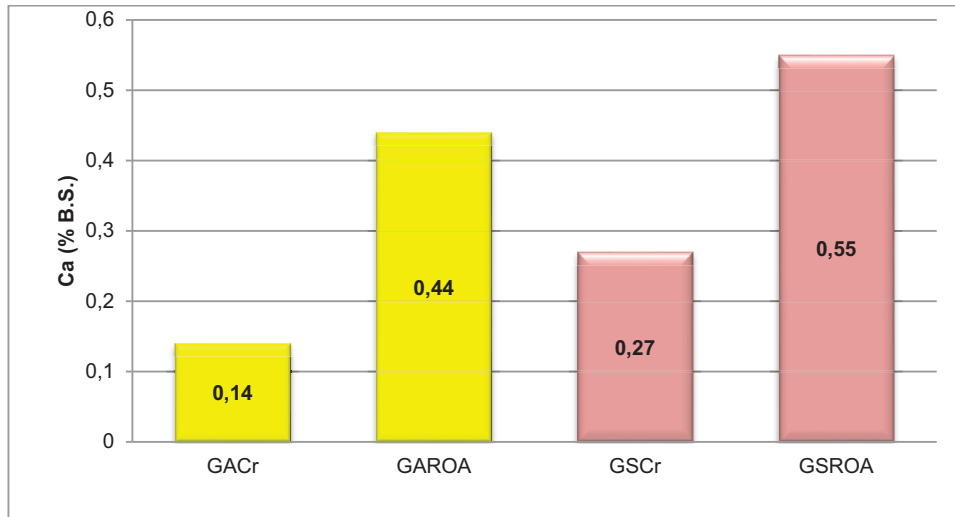


Figura 3.11. Contenido de Ca (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

En las hojas, la cocción no ayudó a incrementar el contenido de calcio, determinándose un mayor contenido en las hojas crudas que en las cocidas. El contenido de calcio en las hojas crudas fue superior al presentado en las hojas cocidas en olla abierta, como se puede observar en la Figura 3.12. Las hojas de amaranto crudas y cocidas presentaron valores de 4,97 y 0,14%; mientras que las hojas de sangorache crudas y cocidas mostraron 3,87 y 2,38% de calcio, respectivamente.

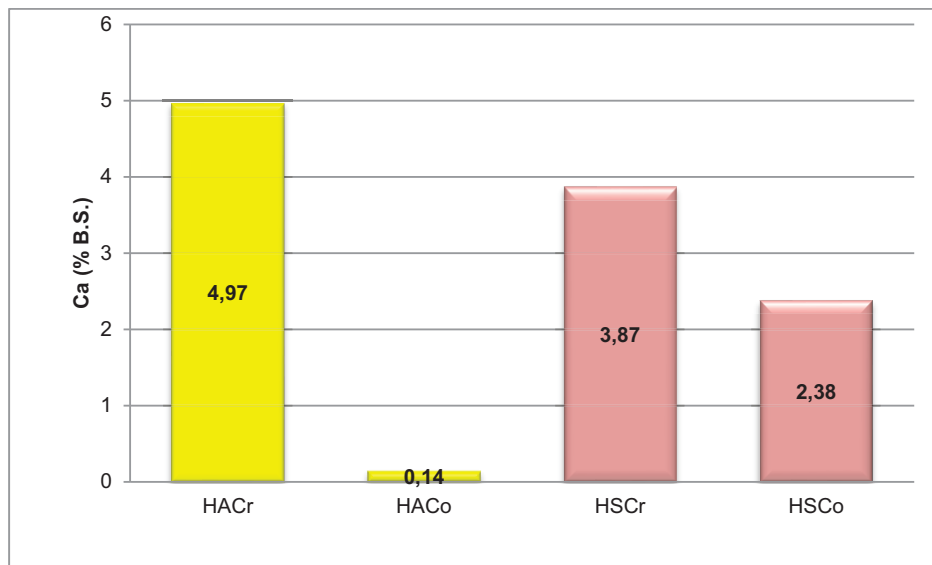


Figura 3.12. Contenido de Ca (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

La reducción en el contenido de calcio al aplicarse el proceso de cocción en olla abierta en las hojas de amaranto y sangorache, pudo deberse a la difusión de este compuesto en el agua de cocción, más que al contenido de ácido fítico.

Fósforo

El grano de amaranto y sangorache procesados, presentaron un contenido de fósforo menor al observado en el material vegetal crudo respectivo, como se observa en la Figura 3.13. El grano de amaranto procesado mostró 0,35% de fósforo y el grano crudo 0,46%; entre tanto el grano de sangorache procesado y crudo presentaron valores de 0,31 y 0,59% de fósforo, respectivamente.

El ácido fítico y sus sales constituyen la principal forma de almacenamiento de fósforo en semillas de cereales y leguminosas (Wyatt y Triana, 1994, p. 2204; Zhou y Erdman, 1995, p. 495), y dado que la cocción en olla abierta degrada térmicamente a los ésteres de inositol de este antinutricional (Martínez *et al.*, 2002), el contenido de fósforo puede verse reducido (p. 223).

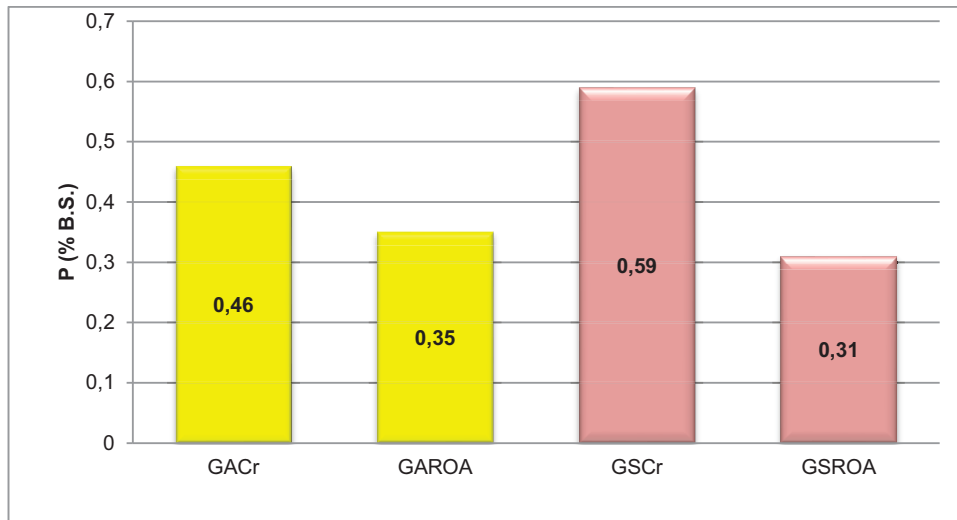


Figura 3.13. Contenido de P (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

En las hojas se observó un efecto positivo de la cocción en olla abierta, ya que el material vegetal cocido presentó contenidos de fósforo mayores a los obtenidos en el material vegetal crudo, como se ilustra en la Figura 3.14. Es así que en las hojas de amaranto cocidas se encontró 0,52% de fósforo y en las hojas crudas 0,29%; mientras que las hojas de sangorache cocidas y crudas presentaron valores de 0,45 y 0,31%, respectivamente.

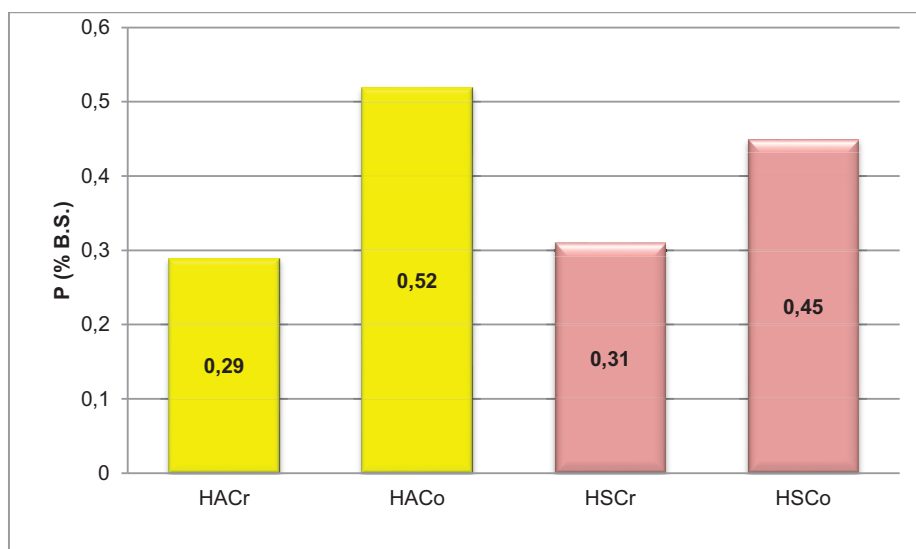


Figura 3.14. Contenido de P (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

En vegetales de hoja, el contenido de ácido fítico es mínimo (Ravindran, V., Ravindran, G. y Sivalogan, 1994, p. 133), por lo que el contenido de fósforo en las hojas de amaranto y sangorache, parece no estar asociado mayormente a este compuesto antinutricional.

Magnesio

El contenido de magnesio en el grano de amaranto y sangorache, disminuyó al aplicarse el proceso de remojo más cocción en olla abierta, como se puede observar en la Figura 3.15. El grano de amaranto crudo y procesado, presentaron valores de 0,36 y 0,29%, respectivamente; mientras que el grano de sangorache crudo y procesado mostraron 0,28 y 0,20% de magnesio, respectivamente.

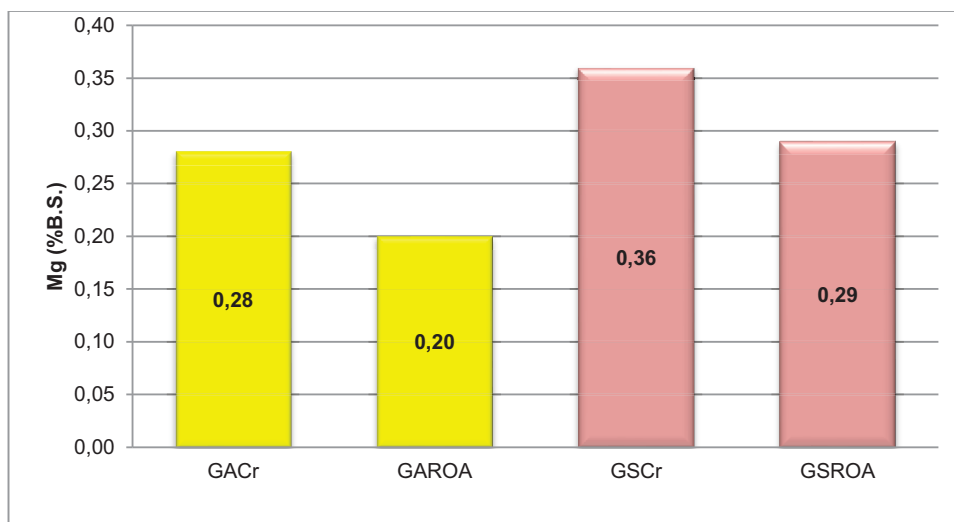


Figura 3.15. Contenido de Mg (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

El contenido de magnesio se redujo en las hojas de amaranto y sangorache cocidas, como se puede observar en la Figura 3.16, con valores de 0,26 y 1,65% respectivamente, en relación a las hojas de amaranto y sangorache crudas las cuales presentaron 2,16 y 2,36% de magnesio respectivamente.

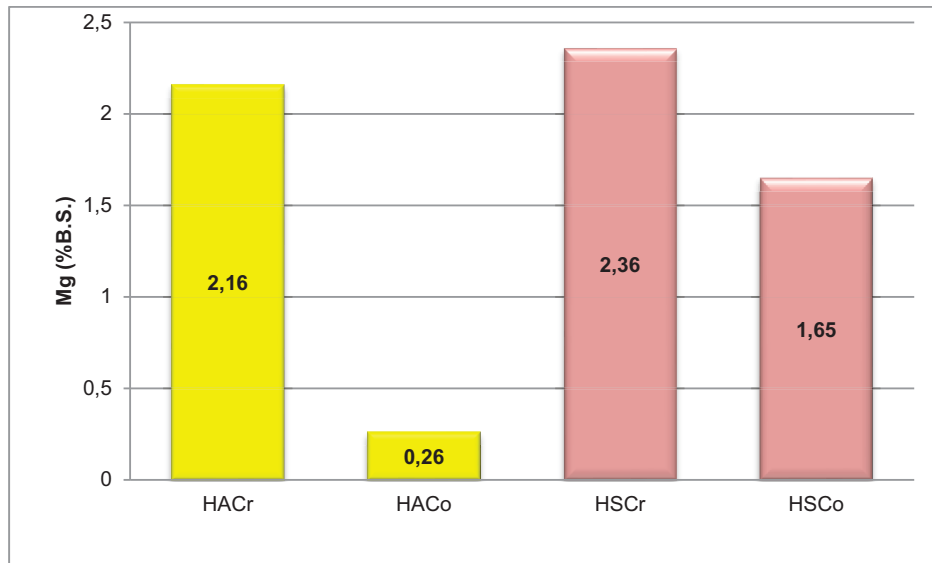


Figura 3.16. Contenido de Mg (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

Quinteros, Farré y Lagarda, (2002) reportaron reducción en el contenido de magnesio, al aplicar métodos de cocción en varias especies vegetales (p. 101).

Potasio y sodio

Los contenidos de potasio en el grano de amaranto y sangorache procesados, fueron superiores a los encontrados en los materiales vegetales crudos, como se puede observar en la Figura 3.17. El grano de amaranto procesado mostró 4,74% de potasio, y el grano crudo 0,52%; mientras que el grano de sangorache procesado y crudo, presentaron valores de 1,12 y 0,65% de potasio, respectivamente.

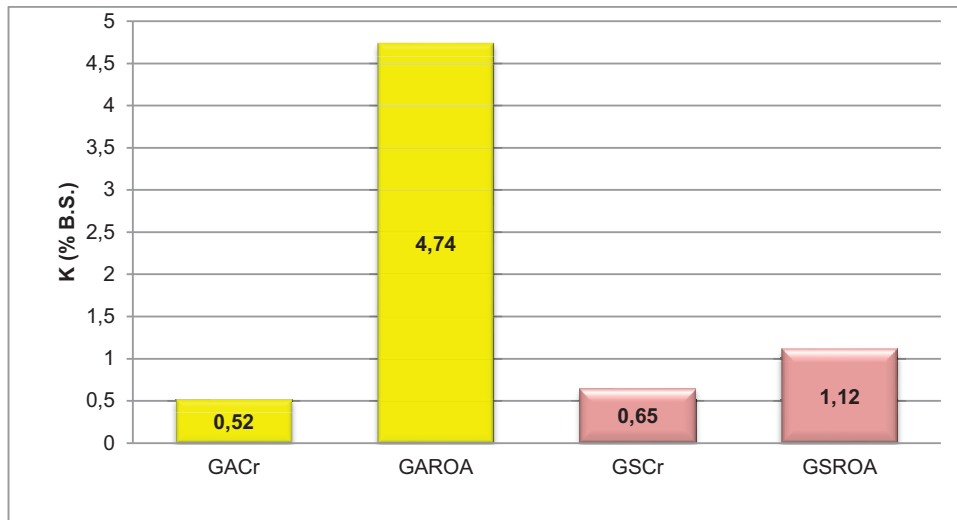


Figura 3.17. Contenido de K (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

El contenido de potasio en las hojas de amaranto cocidas fue igual a 1,07% y fue superior al encontrado en las hojas crudas con un valor de 0,62%, como se puede observar en la Figura 3.18. En las hojas de sangorache cocidas, el contenido de potasio también fue superior al presentado por las hojas crudas, con valores de 2,92 y 2,30%, respectivamente.

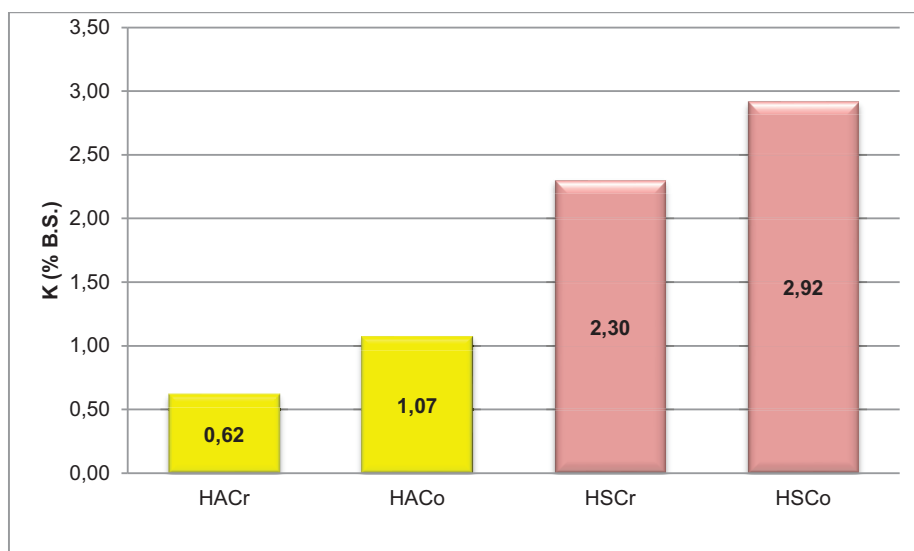


Figura 3.18. Contenido de K (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

El contenido de sodio en el grano procesado, tanto de amaranto como de sangorache, fue superior al encontrado en el material vegetal crudo, como se observa en la Figura 3.19. El grano de amaranto y sangorache procesados presentaron contenidos de sodio iguales a 0,17 y 0,12% respectivamente; mientras que el grano crudo de las dos especies mostraron 0,01% de sodio.

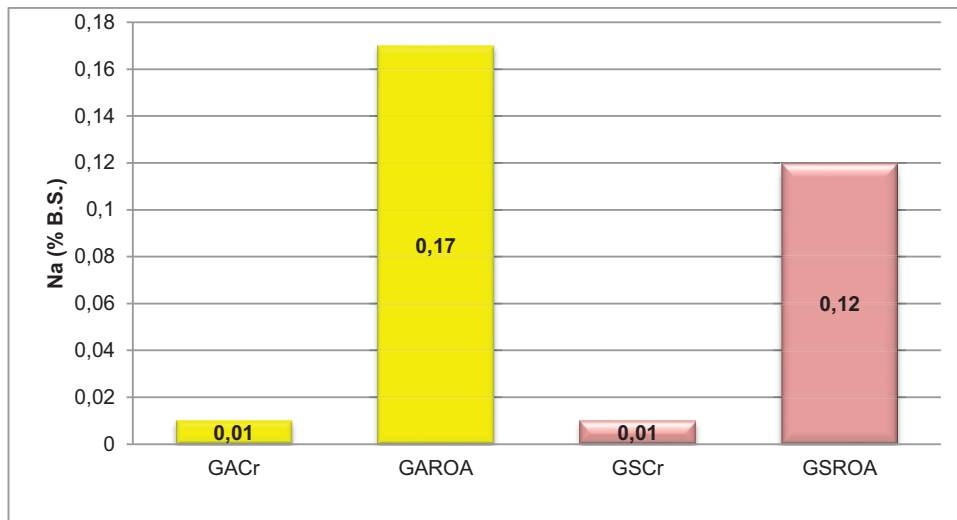


Figura 3.19. Contenido de Na (% B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

Los contenidos de sodio en las hojas de amaranto y sangorache crudas, fueron superiores a los encontrados en el material vegetal cocido, con valores de 0,14 y 0,11% de sodio respectivamente, como se observa en la Figura 3.20; las hojas amaranto y sangorache cocidas mostraron contenidos de sodio iguales a 0,13 y 0,02%.

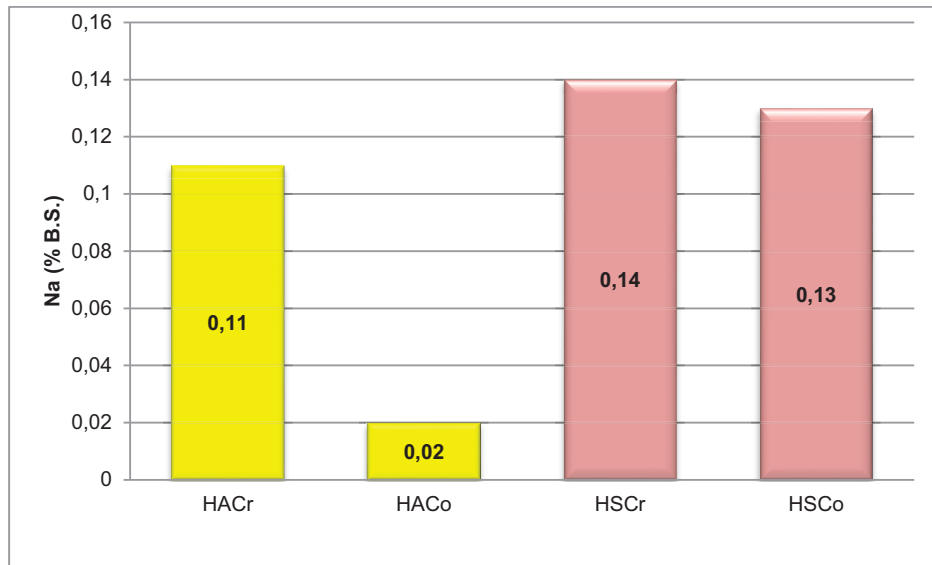


Figura 3.20. Contenido de Na (% B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

En los vegetales, el ácido fítico se encuentra mayoritariamente como sales relativamente solubles de potasio y sodio (Deshpande y Damodaran, 1989, p. 695), por lo que al reducir el contenido de ácido fítico a través de la cocción en olla abierta, se libera una fracción de los mencionados macroelementos, aumentando su contenido en el material vegetal cocido. Sin embargo esta situación no se puede aplicar totalmente en las hojas de amaranto y sangorache, pues el contenido de sodio se reduce después de la cocción en olla abierta; y esto podría deberse entonces a la difusión de este mineral en el agua de cocción.

- **Microminerales**

El contenido de minerales micro (Cu, Fe, Mn y Zn) en el grano de amaranto y sangorache crudos, fue mayor al encontrado en los granos procesado, como se puede apreciar en las Figuras 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24.

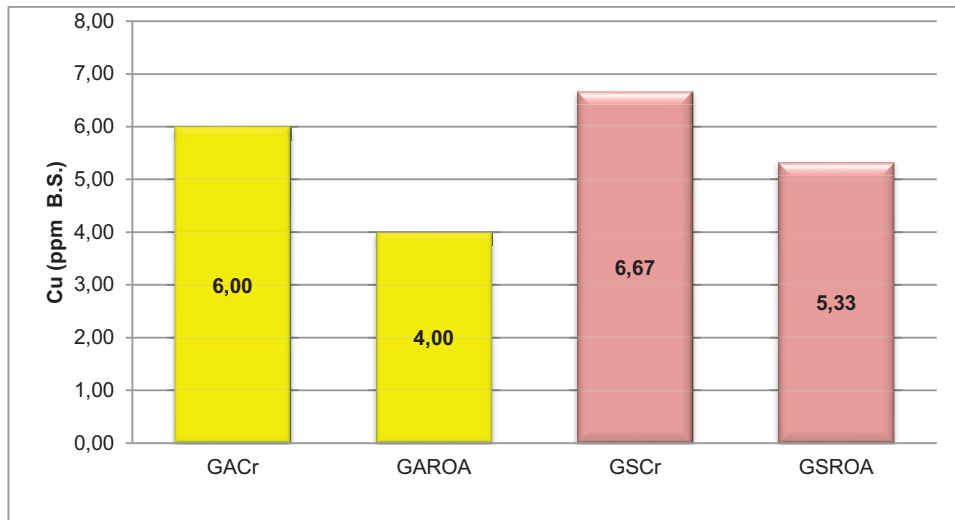


Figura 3.21. Contenido de Cu (ppm B.S.), en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

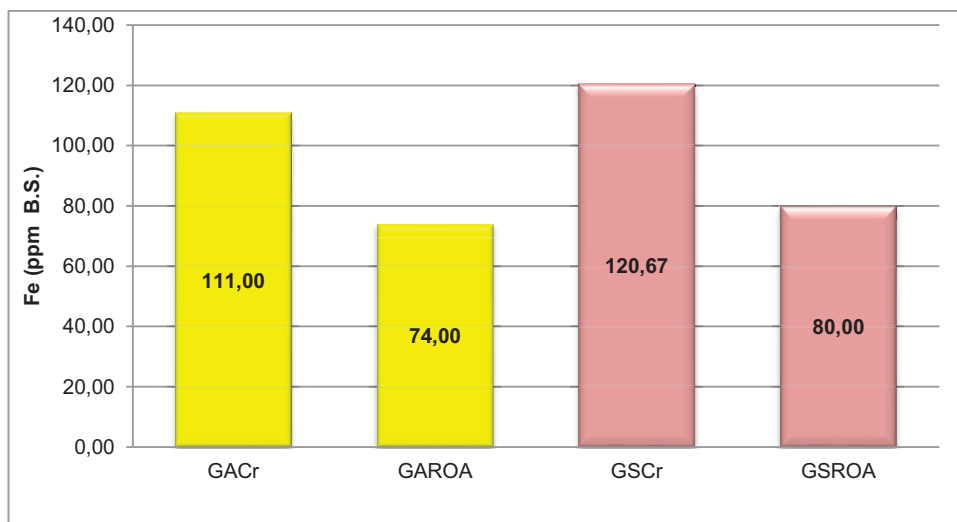


Figura 3.22. Contenido de Fe (ppm B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

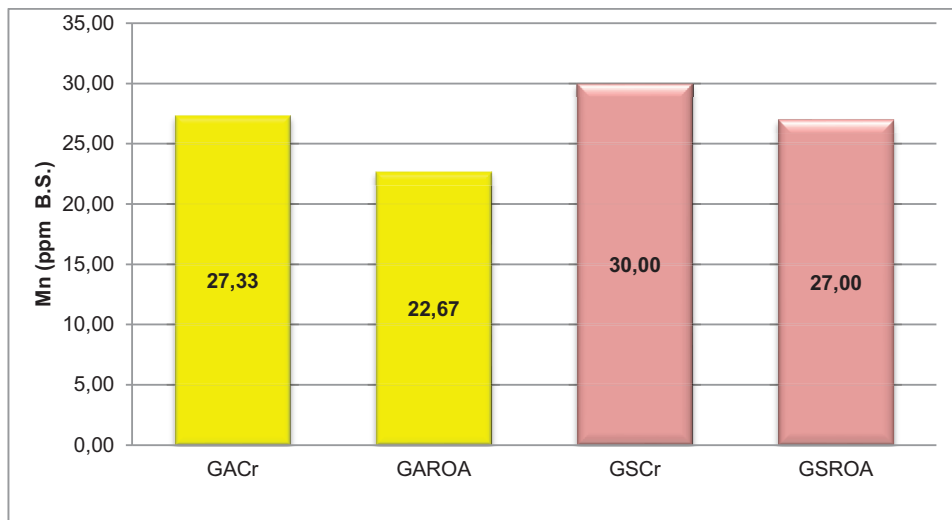


Figura 3.23. Contenido de Mn (ppm B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

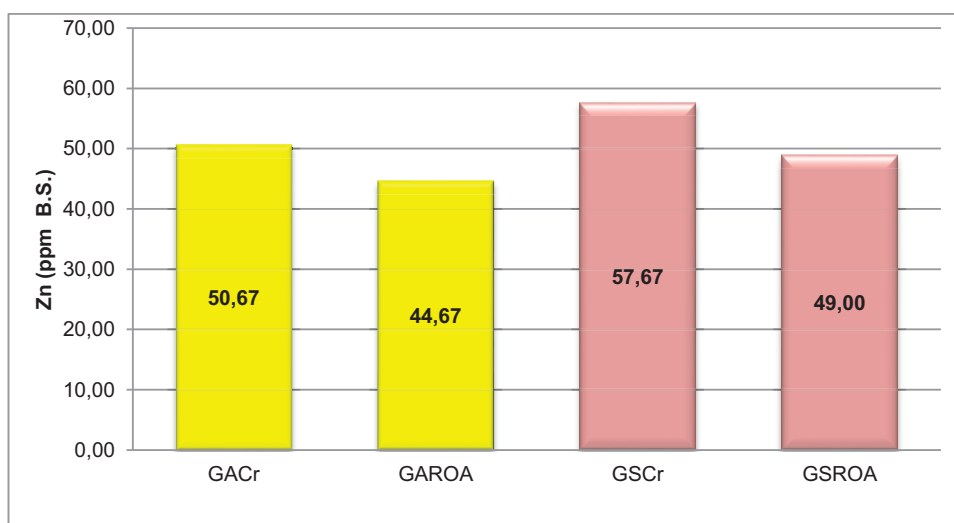


Figura 3.24. Contenido de Zn (ppm B.S.) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

En las hojas, se puede apreciar igualmente que el contenido de microminerales, fue mayor en el material vegetal crudo, como lo ilustran las Figuras 3.25, 3.26, 3.27 y 3.28.

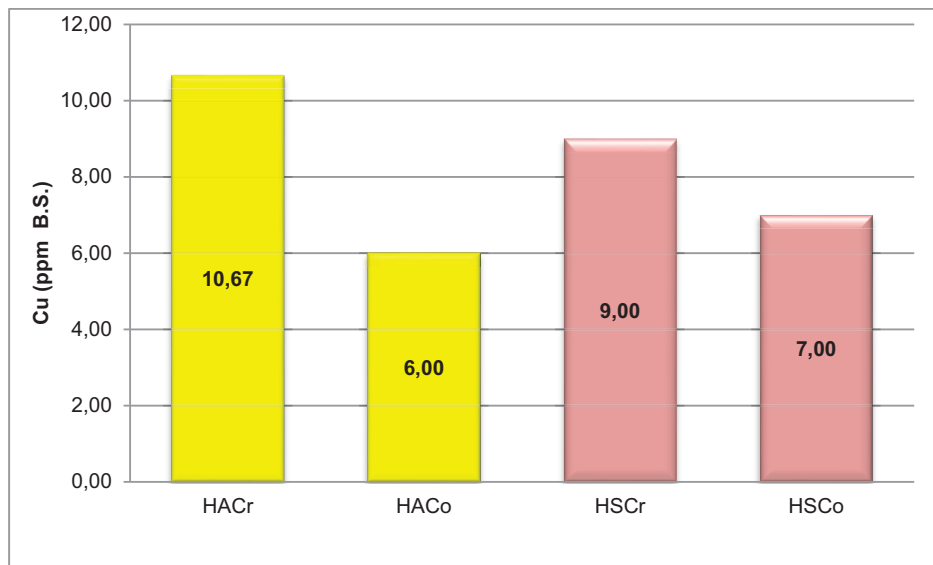


Figura 3.25. Contenido de Cu (ppm B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

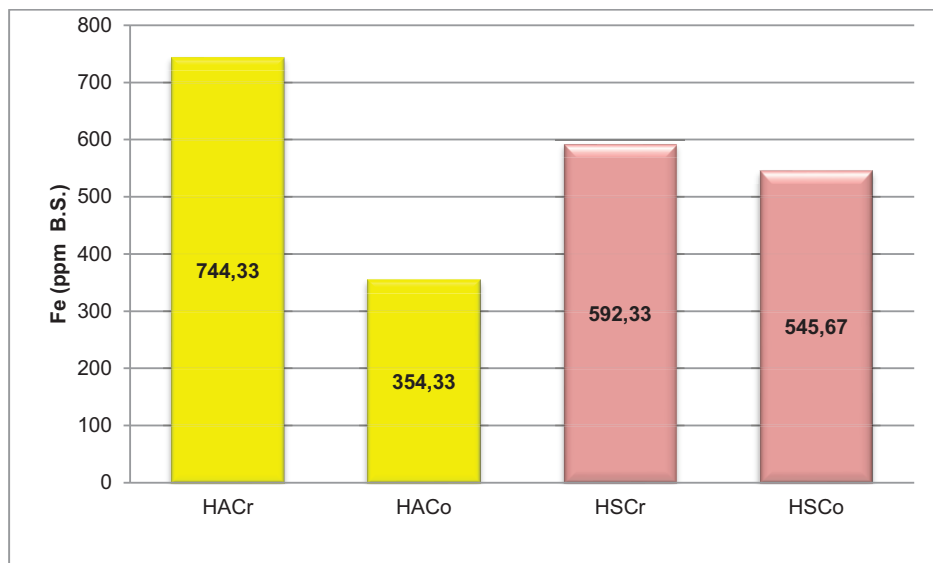


Figura 3.26. Contenido de Fe (ppm B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

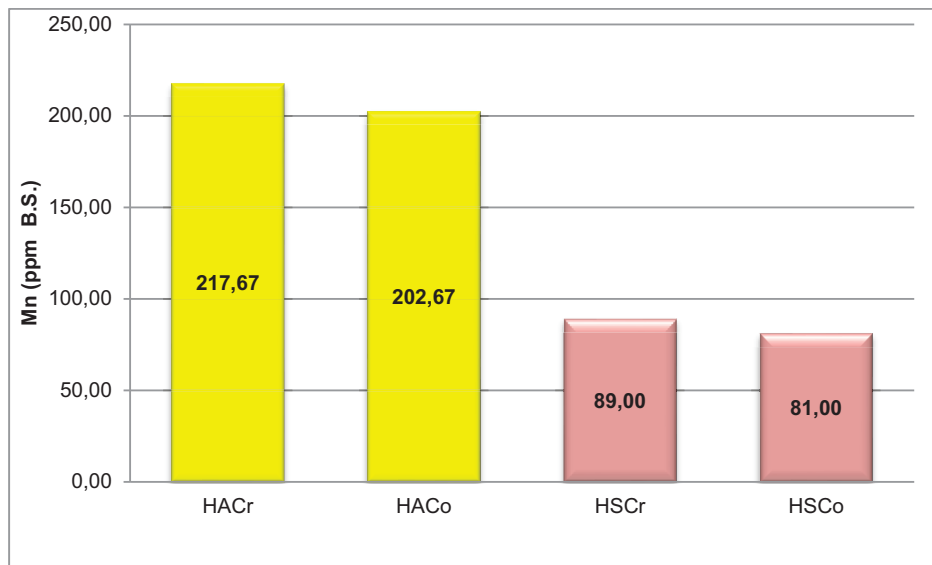


Figura 3.27. Contenido de Mn (ppm B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

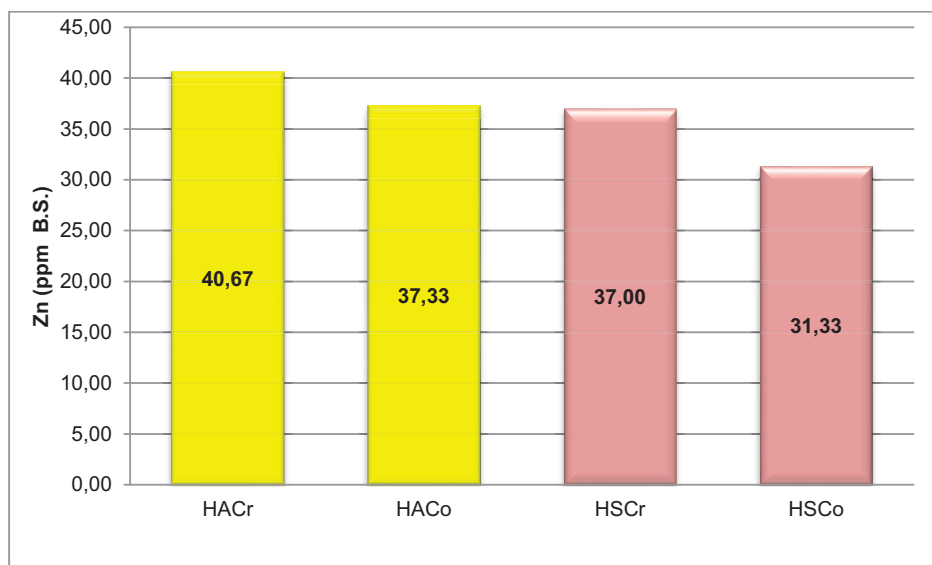


Figura 3.28. Contenido de Zn (ppm B.S.) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

La reducción en el contenido de minerales micro (Cu, Mn, Fe, Zn) en el grano y hojas de amaranto y sangorache sometidos al proceso de cocción en olla abierta, puede deberse a la difusión de estos elementos al agua de cocción (Charley, 1989, p. 675).

- **Digestibilidad de la proteína**

La digestibilidad proteica fue mayor en el grano de amaranto y sangorache procesados (79,96 y 65,48%, respectivamente), en relación al grano de amaranto y sangorache crudos (70,43 y 63,25%, respectivamente), como se puede observar en la Figura 3.29.

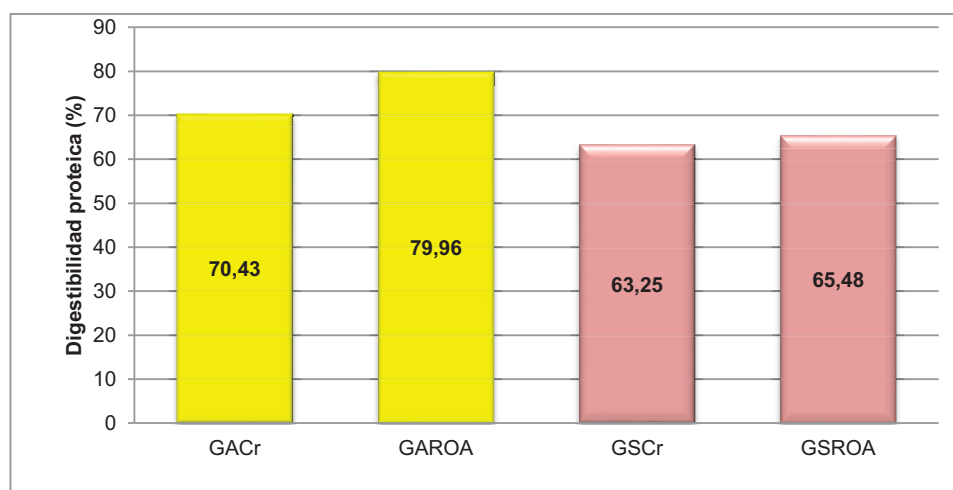


Figura 3.29. Digestibilidad proteica (%), en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

La digestibilidad proteica en las hojas de amaranto y sangorache cocidas fue mayor a la presentada por las hojas crudas, como se puede observar en la Figura 3.30. Las hojas de amaranto cocidas y hojas crudas, presentaron valores de 74,59 y 67,95%, respectivamente, mientras que las hojas de sangorache cocidas y crudas mostraron una digestibilidad proteica igual a 78,99 y 76,10%, respectivamente.

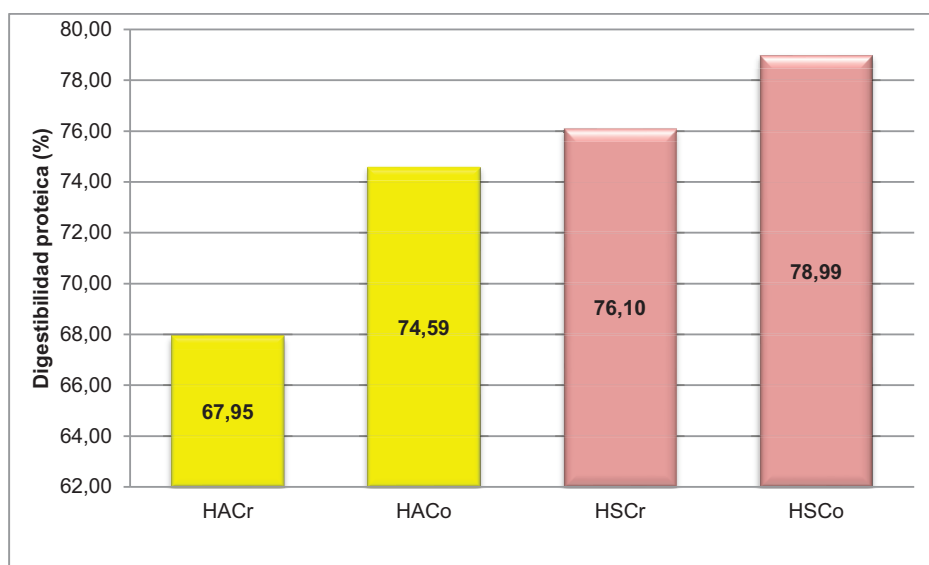


Figura 3.30. Digestibilidad proteica (%), en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

La cocción en olla abierta aumentó la digestibilidad de la proteína de los granos y hojas de amaranto y sangorache, debido posiblemente a la remoción de los factores antinutricionales como: taninos, saponinas, ácido fítico, y también por la desintegración estructural de la proteína nativa, incluyendo a los inhibidores de tripsina (Moneam, 1990, p. 1479).

- **Lisina disponible**

La lisina disponible en el grano de amaranto y sangorache procesados, fue superior a la presentada por el material vegetal crudo, como se observa en la Figura 3.31. Los granos de amaranto procesados y crudos, presentaron valores de 5,01 y 4,28 g/100 g proteína, respectivamente. Los grano de sangorache procesados y crudos, mostraron valores de lisina disponible iguales a 10,85 y 9,71 g/100 g proteína, respectivamente.

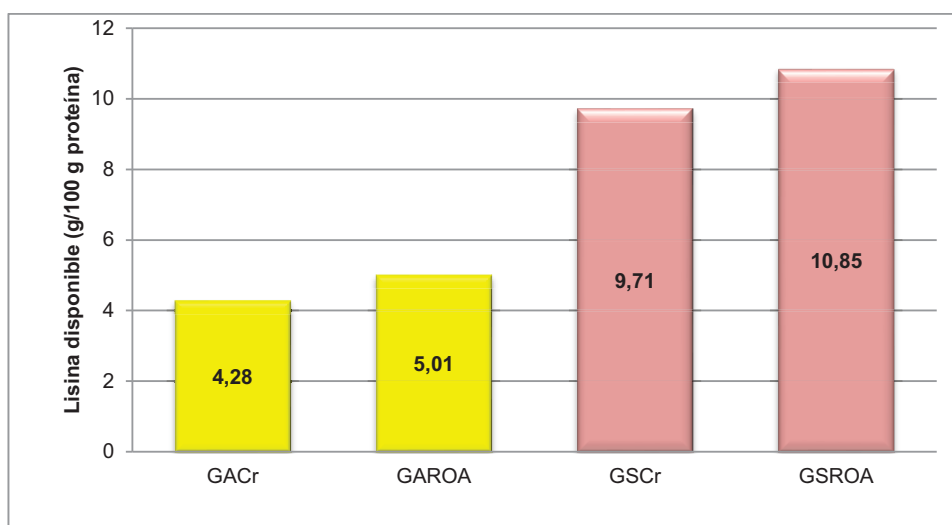


Figura 3.31. Lisina disponible (g/100 g proteína), en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

La lisina disponible en las hojas cocidas fue superior al encontrado en el material vegetal crudo. Las hojas de amaranto cocidas y crudas presentaron valores de 3,42 y 2,98 g/100 g proteína, respectivamente; mientras que las hojas de sangorache cocidas y crudas mostraron valores de lisina disponible iguales a 3,35 y 2,99 g/100 g proteína, respectivamente como lo ilustra la Figura 3.32.

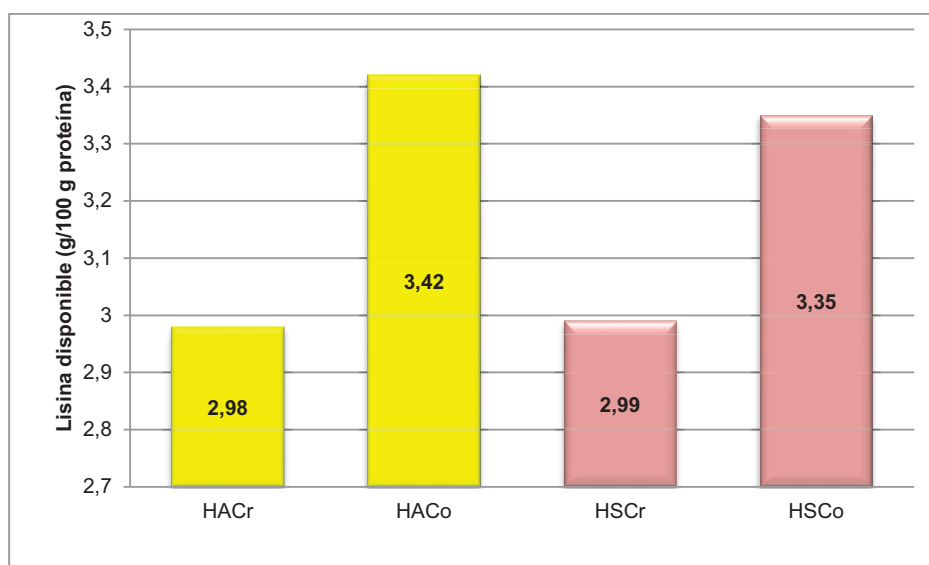


Figura 3.32. Lisina disponible (g/100 g proteína), en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

Imeri, Flores, Elías y Bressani (1987), también reportaron el incremento de lisina disponible al aplicar procesos de cocción en agua, en *Amaranthus caudatus* (p. 160). Esto pudo deberse a la eliminación de alguno de los componentes fenólicos como son los taninos, durante el proceso de remojo con cocción en olla abierta, y estos compuestos pueden afectar el valor nutricional de los vegetales, pues la oxidación de sus productos interactúan con aminoácidos libres, especialmente los grupos amino de la lisina (Chavan, Shahidi, Bal y McKenzie, 1999, p. 43).

- **Biodisponibilidad de Fe y Zn**

La biodisponibilidad de Fe y Zn fue superior en los granos de amaranto y sangorache procesados, con relación al material vegetal crudo respectivo, como se puede observar en la Figuras 3.33 y 3.34. La biodisponibilidad de Fe en el grano de amaranto procesado y crudo fue igual a 3,17 y 1,27%, respectivamente, mientras que el grano de sangorache procesado y crudo, presentaron valores de 2,67 y 0,76%, respectivamente.

En cuanto a la biodisponibilidad de Zn, los granos de amaranto procesado y crudo, presentaron valores de 2,85 y 0,22%, mientras que para el grano de sangorache procesado y crudo, se determinó una biodisponibilidad de 2,67 y 0,76%, respectivamente.

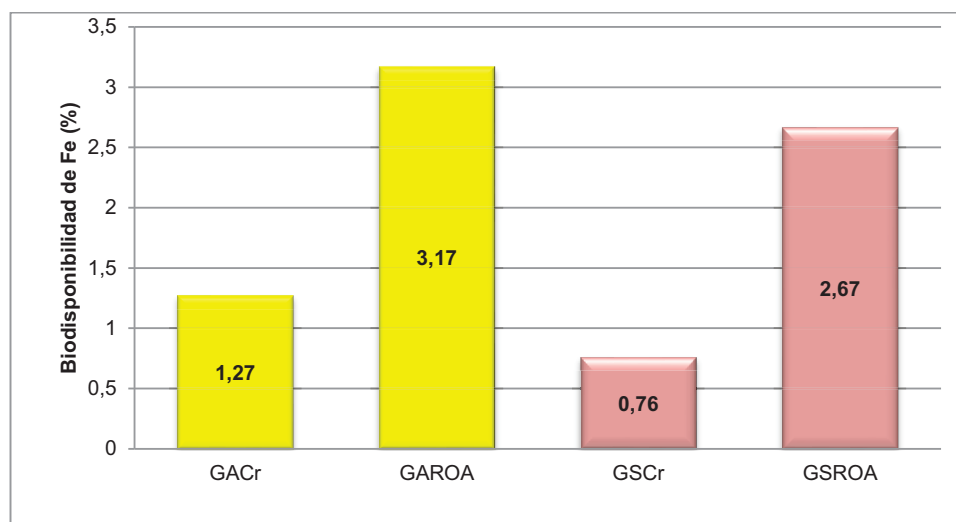


Figura 3.33. Biodisponibilidad de Fe (%) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

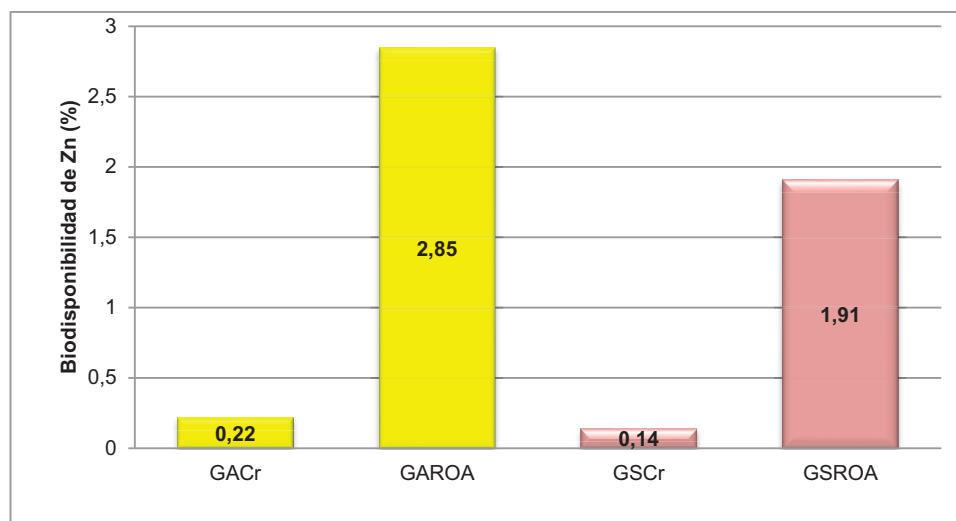


Figura 3.34. Biodisponibilidad de Zn (%) en grano de amaranto y sangorache crudo y procesado

En las hojas cocidas, la biodisponibilidad de Fe fue menor, y la biodisponibilidad de Zn fue mayor, como se puede observar en las Figuras 3.35 y 3.36. La biodisponibilidad de Fe en

las hojas de amaranto crudas y cocidas, fue igual a 0,56 y 0,41%, respectivamente, mientras que las hojas de sangorache crudas y cocidas, presentaron valores de 0,60 y 0,55%, respectivamente.

En cuanto a la biodisponibilidad de Zn, las hojas de amaranto, cocidas y crudas presentaron valores de 5,08 y 1,69%, mientras que las hojas de sangorache cocidas y crudas, tuvieron una biodisponibilidad a 4,51 y 2,14%, respectivamente.

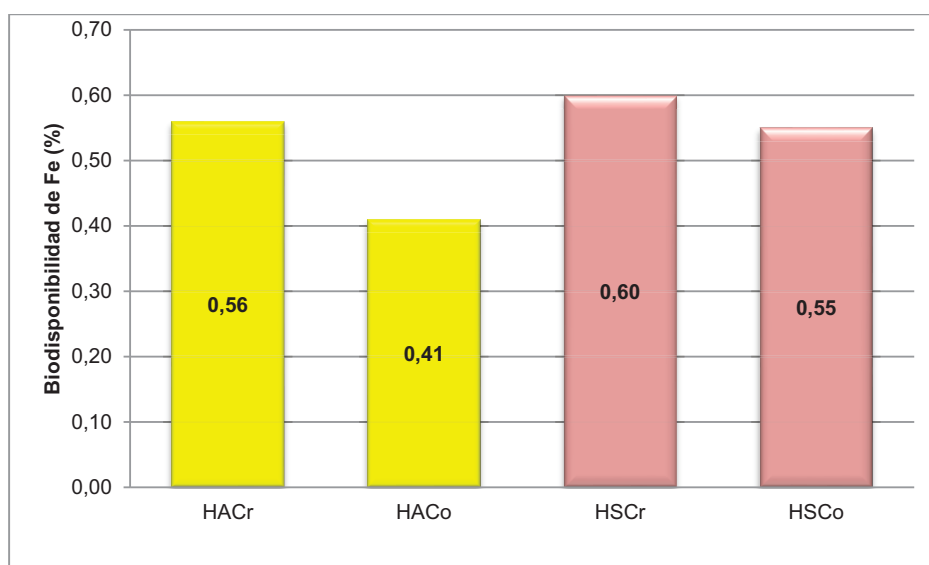


Figura 3.35. Biodisponibilidad de Fe (%) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

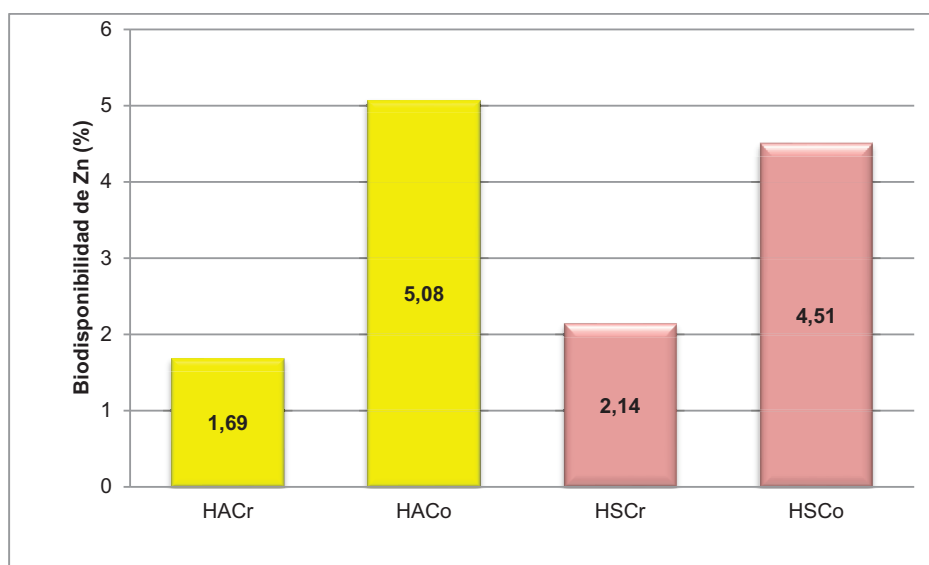


Figura 3.36. Biodisponibilidad de Zn (%) en hojas de amaranto y sangorache crudas y procesadas

El ácido fítico y los taninos son responsables de la disminución de la biodisponibilidad de minerales debido a la formación de complejos insolubles que son difíciles de asimilar por el organismo, reduciendo la cantidad de nutrientes absorbibles (Frossard, Bucher, Macher, Mozafar y Hurrell, 2000, p. 861; Guzmán, Acosta y Paredes, 2000, p. 1874; Han, 1988, p. 1181); La eliminación estos compuestos antinutricionales a través del remojo y cocción del grano, se tradujo en una aumento de la biodisponibilidad de Fe y Zn.

No se obtuvo el mismo resultado con las hojas, ya que la biodisponibilidad de Fe en esta fracción de la planta, disminuyó con la cocción.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El grano de sangorache en estado crudo o nativo presentó un mayor contenido de cenizas, proteína y fibra bruta con valores de 3,42%; 18,12% y 9,85% en base seca, respectivamente, en relación al grano de amaranto.
- Las hojas de amaranto presentaron un mayor contenido de humedad y cenizas con valores de 91,34% y 15,96% en base seca, mientras que las hojas de sangorache mostraron proteína y extracto etéreo en mayor proporción con valores de 22,12% y 6,59% en base seca; los dos tipos de hojas presentaron un contenido de fibra bruta similar (aproximadamente 9,00% en base seca).
- Los contenidos de nitratos, ácido fítico, taninos, y fibra dietética total en los granos y hojas de amaranto y sangorache en estado nativo, no superaron los valores máximos permisibles; sin embargo el contenido de ácido oxálico tanto en el grano como en las hojas de amaranto y sangorache, fue mayor a 1,30 %, concentración más elevada que la reportada para otros vegetales como la espinaca (0,40 - 0,90%).
- El grano de amaranto tanto en estado nativo o crudo no presentó saponinas en su composición.
- La aplicación de procesos (germinación, remojo más cocción en olla abierta, remojo más cocción en olla de presión, horneado, y reventado) a los granos de amaranto y sangorache, ayudó a reducir significativamente el contenido de los siguientes factores antinutricionales: nitratos, ácido fítico, ácido oxálico, taninos, saponinas e inhibidores de tripsina. El proceso más efectivo para lograr este objetivo resultó el remojo más cocción en olla abierta.

- Con respecto a la fibra dietética total (FDT), los tratamientos aplicados no redujeron su contenido en el grano de amaranto y sangorache, a excepción del horneado y reventado, con cuya aplicación se obtuvo un ligero descenso en el contenido de FDT, atribuible a la eliminación de la cáscara o testa durante el procesamiento.
- Mediante la cocción de las hojas de amaranto y sangorache en olla abierta, cocción con vapor y fritura, se obtuvo una reducción significativa en el contenido de factores antinutricionales: nitratos, ácido fítico, ácido oxálico, taninos, saponinas e inhibidores de tripsina. La cocción en olla abierta resultó el proceso más efectivo para este propósito.
- Los procesos aplicados a las hojas de amaranto y sangorache también incrementaron el contenido de fibra dietética total (FDT), con excepción del proceso de fritura, que redujo significativamente este compuesto antinutricional.
- Concentraciones importantes de los antinutricionales: nitratos, ácido oxálico, ácido fítico, taninos y saponinas, se detectaron en el líquido residual de los procesos de remojo, cocción en olla abierta y cocción en olla de presión de los granos de amaranto y sangorache.
- El antinutricional que presentó la mayor solubilidad en agua fue el ácido oxálico, el cual fue detectado en mayor proporción en los líquidos residuales del procesamiento de los granos y las hojas de amaranto y sangorache, con valores que superaron el 45,00% de antinutricional eliminado en los procesos respectivos.
- El proceso de remojo más cocción en olla abierta ayudó a incrementar en los dos granos, los contenidos de: extracto etéreo, fibra bruta, calcio, potasio, sodio, además la digestibilidad proteica, lisina disponible, y la biodisponibilidad de hierro y zinc.
- Los granos de amaranto y sangorache, remojados y cocidos en olla abierta presentaron una reducción en los contenidos de humedad, cenizas, proteína y fósforo.

- Los contenidos de microminerales como el cobre, hierro, manganeso y zinc, al igual que de magnesio, se redujeron al aplicar el proceso de remojo más cocción en olla abierta en los granos de amaranto y sangorache.
- Las hojas de amaranto y sangorache, cocidas en olla abierta, presentaron un incremento en el contenido de extracto etéreo, fibra bruta, fósforo, potasio, al igual que la digestibilidad proteica, lisina disponible, y la biodisponibilidad de zinc.
- El proceso de cocción en olla abierta aplicado a las hojas de amaranto y sangorache, indujo una reducción de los contenidos de: humedad, cenizas, proteína, sodio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc; igualmente se redujo la biodisponibilidad de hierro.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la aplicación de métodos de transformación del grano y hojas de amaranto y sangorache, previo a su consumo, con el objeto de eliminar o reducir el contenido de antinutricionales, especialmente de ácido oxálico, debido a su alto porcentaje en el material vegetal crudo.
- Se recomienda efectuar ensayos en los cuales se consideren las condiciones de tiempo y temperatura en los procesos de cocción, para eliminar y/o reducir el contenido de antinutricionales en el grano y hojas de amaranto y sangorache, y que al aplicarse, la composición de nutrientes no se vea mayormente afectada.
- Es necesario profundizar, el efecto de los procesos de transformación sobre cada factor antinutricional y su relación específica con cada elemento nutricional, a fin de elaborar productos con un alto valor nutritivo.

- Se recomienda estudiar el efecto fisiológico de cada factor antinutricional, con el fin de establecer la dosis adecuada y segura para el consumo.
- En la reducción de los inhibidores de tripsina, es necesario considerar la relación molar alimento: inhibidor, en el orden de 1:1; pues el desbalance de esta proporción puede afectar directamente al organismo humano.
- Los granos y las hojas de amaranto y sangorache, en estado crudo presentan importantes contenidos de antinutricionales como: nitratos, ácido oxálico, ácido fítico, taninos y saponinas. Por lo que se recomienda estudiar su aplicabilidad en el campo farmacéutico y en la industria cosmética.
- Debido al contenido de antinutricionales detectado en los líquidos residuales de los procesos de remojo, cocción en olla de presión y cocción en olla abierta (grano y hojas), no se recomienda la utilización de los mismos en la preparación de sopas, caldos y estofados; sin embargo, resultan apropiados para la recuperación de factores antinutricionales con otros fines distintos al alimenticio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Admassu, E. y Kumar, S. (2007). Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry*, vol. 103, 161-172.
2. Alonso, R., Aguirre, A. y Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, vol. 68, 159-165.
3. Alvis, A. y Vélez, C. (2008). Modelado del proceso de fritura del ñame (*dioscorea alata*) mediante mediciones reológicas usando la metodología de superficie de respuesta. *Revista Información Tecnológica*, 19(5), 11-18.
4. Antón, A. y Lizaso, J. (2002). *Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas* [Versión 1.2 (Acrobat 3.x)]. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Recuperado de <http://www.mie.esab.upc.es/ms/formacio/Control.pdf>, (Abril, 2011).
5. A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemist). (1964). *Métodos de la A.O.A.C. Peer Verified Methods, Manual on policies and procedures*. Arlington, Estados Unidos.
6. A.O.A.C. (1984). *Métodos de la A.O.A.C. Peer Verified Methods, Manual on policies and procedures*. Arlington, Estados Unidos.
7. A.O.A.C. (1998). *Métodos de la A.O.A.C. Peer Verified Methods, Manual on policies and procedures*. Arlington, Estados Unidos.
8. A.O.A.C. (2000). *Métodos de la A.O.A.C. Peer Verified Methods, Manual on policies and procedures*. Arlington, Estados Unidos.
9. Aranceta, J. y Gil, A. (2009). *Alimentos Funcionales y Salud en la Etapa Infantil y Juvenil*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana S.A.
10. Arellano, M., Albarracin, G., Arce, S. y Mucciarelli, S. (2004). Estudio comparativo de hojas de *Beta vulgaris* con *Amaranthus dubius* Mart ex Thell. *Revista Internacional de Botánica Experimental PHYTON*, 193-197.

11. Arias, J. (2000). *Enfermería Médico-Quirúrgica*. Madrid, España: Editorial Tébar S.L.
12. Armada, L. y Ros, C. (2007). *Manipulador de alimentos: La importancia de la higiene en la elaboración y servicio de comida* (2da. ed.). Pontevedra, España: Ideaspropias Editorial.
13. Asp, N., Johansson, C., Hallmer, H. y Siljestrom, M. (1983). A rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(3), 476-482.
14. Barioglio, C. (2006). *Diccionario de las Ciencias Agropecuarias*. Córdoba, Argentina: Grupo Editor Encuentro.
15. Barroga, C., Laurena, A. y Mendoza, M. (1985). Polyphenols in mung bean (*Vigna radiata* L., Wilczek): determination and removal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 33, 1006-1009.
16. Barrón, M., Villanueva, C., García, M. y Colinas, M. (2009). Valor nutricional y contenido de saponinas en germinados de huauzontle, calabacita, canola y amaranto. *Revista Chapingo, Serie horticultura*, 15(3), 237-243.
17. Bello, J. (1998). *Ciencia y tecnología culinaria*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
18. Bennington, J. (2000). *Diccionario Enciclopédico del Laboratorio Clínico*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana S.A.
19. Bishnoi, S., y Khetarpaul, N. (1994). Protein digestibility and field peas: varietal differences and effect of domestic processing and cooking methods. *Plants and Foods in Human Nutrition*, vol. 46, 71-76.
20. Becker, R., Wheeler, E., Lorenz, K., Stafford, A., Grosjean, O., Betschart, A. y Saunders, R. (1981). A compositional study of amaranth grain. *Journal of Food Science*, 46(4), 1175-1180.
21. Binaghi, M., López, L., Ronayne de Ferrer, P. y Valencia, M. (2007). Evaluación de la influencia de distintos componentes de la dieta sobre la biodisponibilidad potencial de minerales en alimentos complementarios. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(1), 56-60.

22. Bonete, M. y Martínez, R. (2009). *Avances en el metabolismo del nitrógeno*. Madrid, España: Editorial Club Universitario.
23. Caballero, A. (2008). *Temas de Higiene de los Alimentos*. Habana, Cuba: Editorial Ciencias Médicas.
24. Cardona, J.M. (2008). *Glosario Multilingüe de Terminología Forestal/Multilingual*. Cali, Colombia: Editorial Cargraphics.
25. Casillas, G. (1986). *Importancia de la semilla de alegría: Primer Seminario Nacional del Amaranto*. Chapingo, México.
26. Caygill, J. C. y Mueller, I. (1999). *Secondary plants products: antinutricional and beneficial actions in animal feeding*. Nottingham, United Kingdom: Nottingham University Press.
27. Chai, W. y Liebman, M. (2005). Effect of Different Cooking Methods on Vegetable Oxalate Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3027-3030.
28. Chen, Q. (2004). Determination of phytic acid and inositol pentakis phosphates in foods by high-performance ion chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 52, 4604-4613.
29. Chaparro, S., Aristizábal, I. y Gil, J. (2009). Composición y factores antinutricionales de las semillas del género *Mucuna*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Universidad de Medellín*. Medellín, Colombia, 62(1), 4843-4853.
30. Chaparro, D., Pismag, R., Elizalde, A., Vivas, N. y Erazo, C. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia, 8(1), 35-42.
31. Charley, H. (1989). *Tecnología de Alimentos*. México D.F., México: Editorial Limusa.
32. Chavan, U., Shahidi, F., Bal, A. y McKenzie, D. (1999). Physicochemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*, vol. 66, 43-50.

33. Cheeke, P. (1989). *Toxicants of Plant Origin, Vol. 2: Glycosides*. Florida, United States: Editorial CRC Press, Boca Raton.
34. Dahlgren, E. y Savage, G. (2007). Reduction in oxalate content during the preparation of a traditional Tongan dessert. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, vol. 5, 29-31.
35. Dejonckheere, W., Steurbaut, W., Drieghe, S., Verstraeten, R. y Braeckman, H. (1994). Nitrate in food commodities of vegetable origin and the total diet in Belgium. *Microbiologie Aliments Nutrition*, vol. 12, 359-370.
36. Deshpande, S. y Damodaran, S., (1989). Effect of phytate on solubility, activity and conformation of trypsin and chymotrypsin. *Journal of Food Science*, vol. 54, 695-699.
37. DiSaia, P. y Creasman, W. (2002). *Oncología, Ginecología, Clínica* (6ta. ed.). Madrid, España: Ediciones Harcourt S.A.
38. Escudero, E., y González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2), 61-72.
39. EFSA (European Food Safety Authority). (2008). Nitrate in vegetables. *EFSA Journal*. vol. 689, 1-79.
40. Egli, I. M. (2001). *Traditional food processing methods to increase mineral bioavailability from cereal and legume based weaning foods*. Tesis doctoral. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, Suiza.
41. Esplugas, S. y Chamarro, M.E. (2005). *Fundamentos de transmisión de calor*. Barcelona, España: Gráficas Rey S.L.
42. Ferguson, E., Gibson, R., Thompson, L., Ounpuu, S. y Berry, M. (1988). Phytate, zinc, and calcium contents of 30 east African foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1(4), 316-325.
43. Fick, K., McDowell, L., Miles, P., Wilkinson, N., Funk, J. y Conrad, J. (1979). Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. *Animal Science Department University of Florida*. Florida, United States, 301-304.
44. Flores, J., Ruiz, J., Puerta, F., Campano, F. y Garcia, E. (2002). Eficacia limitada de la vaselina en el control de Varroa. *Vida Apícola*, vol. 112, 35-38.

45. Francis, G., Kerem, Z. y Makkar H. P. S. (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition*, vol. 88, 587-605.
46. Fraume, N. (2007). *Diccionario ambiental*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
47. Frossard, E., Bucher, M., Macher, F., Mozafar, A. y Hurrell, R. (2000). Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn, and Ca in plants for human nutrition. *Journal of Science and Food Agriculture*, vol. 80, 861-879.
48. Gamel, H., Linssen, J., Mesallam A., Damir, A. y Shekib, L. (2006). Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 86, 1095-1102.
49. García, C. (2009). Síntesis y caracterización de oxalatos de metales. *Departamento de Ingeniería Química, Escuela Politécnica de Villanueva y Geltrú*. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/> (Abril, 2011).
50. García, F., Roselló, J. y Santamaría, M. (2006). *Introducción al funcionamiento de las plantas*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
51. Gauthier, C., Legault, J. y Girard-Lalancette, K. (2009). Haemolytic activity, cytotoxicity and membrane cell permeabilization of semi-synthetic and natural lupane - and oleanane - type saponins. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, vol. 17, 2002-2008.
52. Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Tomo II (2da. ed.). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
53. González, A. (2000). Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(3), 281-285.
54. Grewal A., y Jood S. (2006). Effect of processing treatments on nutritional and antinutritional contents of green gram. *Journal of Food Biochemistry*, vol. 30, 535-546.

55. Gupta, C. y Verma, R. (2011). Visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content and antioxidant activity of three common vegetable. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(1), 175-182.
56. Gurumoorthi, P., Janardhanan, K. y Myhrman, R. (2008). Effect of differential processing methods on L-Dopa and protein quality in velvet bean, an underutilized pulse. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 41, 588-596.
57. Guzmán, S., Acosta, J. y Paredes, O. (2000). Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Journal of Science and Food Agriculture*, vol. 80, 1874-1881.
58. Hall, V., Rocha, M., y Rodríguez, E. (2002). Plantas Medicinales. *CIMED (Centro de Información de Medicamentos), Universidad de Costa Rica*, vol. 2, 14-38.
59. Han, Y. W. (1988). Removal of phytic acid from soybean and cottonseed meals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 36, 1181-1183.
60. Harland, B. F. y Gurleen, M. (1999). Food phytate and its hydrolysis products. *Nutrition Research*, 19(6), 947-961.
61. Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E. y Jiménez, V. (2006). *Germinación y crecimiento de la planta*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
62. Hewitt, P. (2004). *Física Conceptual* (9na. ed.). México D.F., México: Editorial Pearson Educación de México S.A.
63. Hsu, W., Vavak, D., Satterlee, L. y Miller, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42(5), 1269-1273.
64. Ibáñez, F., Torre, P. y Irigoyen, A. (2003). *Aditivos Alimentarios*. Área de Nutrición y Bromatología, Universidad Pública de Navarra. Recuperado de http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_agosto_03, (Agosto, 2011).
65. Imeri, A., Flores, R., Elías, L. y Bressani, R. (1987). Efecto del procesamiento y de la suplementación con aminoácidos sobre la calidad proteínica del

- amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 37(1), 160-173.
66. INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica) y OPS (Organización Panamericana de la Salud). (2007). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica* (2da. ed.). Serviprensa S.A.
 67. Jansman, A. (1993). Tannins in feed feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutrition Research Reviews*, vol. 6, 209-236.
 68. Jáuregui, D. y Moreno, A. (2004). La Biomineralización del Oxalato de Calcio en Plantas Retos y Potencial, *Revista de Educación en Biología*, vol. 23, 18-23.
 69. Jinap, S. y Dimick, P. (1990). Acidic characteristics of fermented and dried cocoa beans from different countries of origin. *Journal of Food Science*. 55(2), 547-550.
 70. Julián, I. (2003). *Diccionario de Química*. Madrid, España: Editorial Complutense S.A.
 71. Kakade, M. y Liener, I. (1969). Determination of available lysine in proteins. *Analytical Biochemistry*, 27(2), 273-280.
 72. Kakade, M. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy products. *Cereal chemistry*, vol. 51, 376-382.
 73. Kataria, A., Chauhan, B. y Punia, D. (1989). Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mung bean as affected by domestic processing and cooking. *Food Chemistry*, vol. 52, 9-17.
 74. Kelley, W. (1993). *Medicina Interna*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana S.A.
 75. Khan, N., Zaman, R. y Elahi, M. (1988). Effect of processing on the phytic acid content of bengal grams (*Cicer arietinum*) products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 36, 1274-1276.
 76. Khokar, S. y Chanhan, B. (1986). Effect of domestic processing and cooking on in vitro protein digestibility of the north bean. *Journal of Food Science*, vol. 51, 1083-1085.

77. Kotz, J., Treichel, P. y Weaver, G. (2006). Química y reactividad química (6ta. ed.). México D.F., México: Editorial Thomson Learning.
78. Koziol M. (1990). Afrosimetric stimulation of the threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 54, 211-219.
79. Kuljanabhagavad, T. y Wink, M. (2008). Biological activities and chemistry of saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry Reviews*, 8(2), 473-490.
80. Liener, I. (1994). Implications of antinutritional components in soybeans foods. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, vol. 34, 31-67.
81. Lintas, C. y Capelloni, M. (1988). Content and composition of dietary fiber in raw cooked vegetables. *Food Science and Nutrition*, vol. 42, 117-124.
82. Makkar, H. P. S. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin - rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49(3), 241-256.
83. Makus, D. y Hettiarachchy, N. (1999). Effect of nitrogen source and rate on vegetable amaranth leaf blade mineral nutrients, pigments and oxalates. *Subtropical Plant Science*, vol. 51, 10-15.
84. Márquez, M. C., Fernández, V. y Alonso, R. (1998). Effect of dry heat on the in vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of chickpea flour. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 33, 527-532.
85. Martín, M., Ariza, N., Esteban, R., Mollá, E., Waldron, K. y López, F. (2003). Effect of germination on the carbohydrate composition of the dietary fiber of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1254-1259.
86. Martínez, B., Gómez, V. y Rincón, F. (2002). Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(3), 219-231.

87. Martinoia, E., Heck, Y. y Wiemken, A. (1981). Vacuoles as storage compartments for nitrate in barley leaves. *Nature London Journal*, vol. 289, 292-294.
88. Mata, A. (2005). *Diccionario Didáctico de Ecología.*, San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
89. Mataix, J. (2005). *Nutrición para educadores.* (2da. ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
90. Mazza, G. (2000). *Alimentos funcionales: Aspectos bioquímicos y de procesado.* Zaragoza, España: Editorial Acribia.
91. Mcanuff, M., Omoruyi, F., Sotelo, A. y Asemota, H. (2005). Proximate analysis and some antinutritional factor constituents in selected varieties of Jamaican yams (*Dioscorea* and *Rajana* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 60, 93-98.
92. Megazyme. (2007). *Phytic acid/total phosphorus.* Assay Procedure K-PHYT 05/07.
93. Moneam, N. (1990). Effects of presoaking on faba bean enzyme inhibitors and polyphenols after cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(7), 1479-1482.
94. Morais, M., Vítolo, M., Aguirre, A. y Fagundes, U. (1999). Measurement of low dietary fiber intake as a risk factor for chronic constipation in children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, vol. 29, 132-135.
95. Mozolewski, W. y Smoczynski, S. (2004). Effect of culinary processes on the content of nitrates and nitrites in potatoes. *Pakistan Journal of Nutrition*, vol. 3, 357-361.
96. Mujica, A., Berti, M., Izquierdo, J. (1997). *El cultivo del amaranto (Amaranthus spp), producción, mejoramiento genético y utilización.* Universidad Nacional del Altiplano.
97. Nasar, S., Plummer J., Siddique, H., White, P., Harris, D. y Doods K. (2008) Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. *LWT - Food Science and Technology*, 41(7), 1260-1267.

98. Noonan, S. y Savage, G. (1999). Oxalate content of food and its effect on humans. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, vol. 8, 64-74.
99. Ortega, E. (2009). *Amaranto: planta latinoamericana con fuerzas colosales, Proyecto: "El Pan Alegre"* [Versión 1.3 (Acrobat 4.x)]. Recuperado de <http://www.madeleine-porr.de%2FAmaranto2.pdf>, (Abril 2012).
100. Park, H. R., Ahn, H. J., Kim, S. H., Lee, C. H., Byum, M. W. y Lee, G. W. (2006). Determination of the phytic acid levels in infant foods using different analytical methods. *Food Control*, vol.17, 727-732.
101. Partearroyo M. A. y Fernández, C. (1995). Sustancias antinutritivas en alimentos de origen vegetal, su significado en la alimentación humana. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 115-120.
102. Pensanti, H. (2002). *Quick Guide to Vitamins, Minerals and Supplements*. Charisma House Editors.
103. Peralta, E. (2009). *Amaranto y ataco*. Boletín divulgativo no. 359 PRONALEG- INIAP. Quito, Ecuador.
104. Peralta, E., Mazón, N., Murillo, A., Villacrés, E., Rivera, M. y Subía, C. (2009). *Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: chocho, quinua y amaranto, para la Sierra de Ecuador*. Publicación miscelánea no. 151 PRONALEG - INIAP, Quito, Ecuador.
105. Peralta, E., Villacrés, E., Mazón, N., Rivera, M. y Subía, C. (2008). *El ataco, sangorache o amaranto negro (Amaranthus hybridus L.) en Ecuador*. Publicación miscelánea no. 143 PRONALEG- INIAP, Quito, Ecuador.
106. Peralta, E. (2010). *Producción y distribución de semilla de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos: chocho, quinua, amaranto*. Publicación miscelánea no. 169 PRONALEG- INIAP. Quito, Ecuador.
107. Pérez, M., Guerra, E. y García, B. (1997). Dietary fiber in three raw legumes and processing effect on chick peas by an enzymatic-gravimetric method. *Journal of Food Composition and Analysis*. 10(1), 66-72.
108. Phillips, K. y Palmer, J. (1991). Effect of freeze-drying and heating during analysis on dietary fiber in cooking and raw carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 39, 1216-1221.

109. Prosky, L. (2000). ¿When is dietary fiber considered a functional food? *BioFactors Journal*. vol. 12, 289-297.
110. Quinteros, A., Farré, R. y Lagarda, M. J. (2002). Contenidos de calcio, magnesio, hierro, cinc y fósforo en legumbres crudas y sometidas a distintos procesos de cocción. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 2(1), 97-102.
111. Ramos, M. y Sangronis, E. (2006). Influencia de la germinación en la composición del *Phaseolus vulgaris* y *Vigna sinensis*. *Agronomía Tropical*, 56(4), 531-537.
112. Ranjontra, G. y Gelroth, J. (1988). Soluble and total dietary fiber in White bread. *American Association of Cereal Chemists*, 65(2), 155-156.
113. Rao, A. y Gurfinkel D. (2000). The bioactivity of saponins: triterpenoid and steroid glycosides. *Drug Metabolism and Drug Interactions*, vol. 17, 211-235.
114. Ravindran, V., Ravindran, G. y Sivalogan, S. (1994). Total and phytate phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin. *Food Chemistry*, vol. 50, 133-136.
115. Rodríguez, L. (2006). *Atención del auxiliar en la hospitalización del paciente geriátrico*. Sevilla, España: Editorial MAD S.L.
116. Román, J., De Arpe, C., Urrialde, R., Fontecha, J., Murcia, M. A., Gómez, C. y Villarino, A. (2003). *Nutrición y Salud: Nuevos alimentos para nuevas necesidades*. Madrid, España: Nueva Imprenta S.A.
117. Ruales, J. y Nair, B. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 42, 1-12.
118. Ruza, F. (2003). *Cuidados intensivos pediátricos* (3ra. ed.). Madrid, España: Capitel Ediciones, S.L.
119. Sánchez, L. M., Fraga, I., Macebo, B., Lorenzo, R. (2008). Toxicidad aguda y subaguda oral del extracto acuoso liofilizado de *Rhizophora mangle* L. en ratas. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 13(3): 1-13.

120. Sánchez, M. T. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas* (1ra. ed.). Madrid, España: A. Madrid Vicente y Ediciones Mundi – Prensa.
121. Savage, G. y Dubois, M. (2006). The effect of soaking and cooking on the oxalate content of taro leaves. *International Journal of Food Science and Nutrition*, vol. 57, 376-381.
122. Sharma, A. y Sehgal, S. (1992). Effect of domestic processing, cooking and germination on the trypsin inhibitor activity and tannin content of faba bean (*Vicia faba*). *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 42, 127-133.
123. Solano, L. y Porfirio, J. (2010). Diversidad genética en algunas especies de amaranto (*Amaranthus spp.*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 89-95.
124. Soliz, J., Jasso, D., Rodríguez, R., Angulo, J. y Méndez, G. (2002). Quinoa saponins: concentration and composition analysis. *Trends in New Crops and New Uses*, 110-114.
125. Tapia, M. y Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. FAO y ANPE, Lima, Perú.
126. UP (Universidad de Pamplona). (2004). Uso de las saponinas en la elaboración de lavalozas. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona*. Bucaramanga, Colombia, 2(2), 73-82.
127. UNU (United Nations University). (1998). *Food and Nutrition Bulletin*, vol. 19, no. 1. Tokyo, Japan: United Nations University Press.
128. USDA (United States Department of Agriculture). (2009). *Oxalic acid content of selected vegetables*. Recuperado de <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Other/oxalic>, (Noviembre, 2011).
129. USDA (United States Department of Agriculture). (2011). Spinach raw composition. Recuperado de <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data>, (Diciembre, 2011).
130. USciences (University of the Sciences in Philadelphia). (2000). *Remington: The Science and Practice of Pharmacy (20th Edition)*. Philadelphia, United States.

131. Valencia, E., Valenzuela, E., Núñez, P. y Barrera, D. (2002). Estudios de algunas características físico - químicas de aceites comerciales sometidos a procesos de fritura intermitente de papas. *Revista Información Tecnológica*, 13(4), 19-24.
132. Valle, P. y Lucas, B. (2000). *Toxicología de Alimentos*. Instituto Nacional de Salud Pública, Centro Nacional de Salud Ambiental. México D.F., México.
133. Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd Edition). Ithaca, United States: Cornell University Press.
134. Varoquax, P., Varoquax, F. y Tichit, L. (1986). Technical note: loss of nitrate from carrots during blanching. *Journal of Food Technology*, vol. 21, 401-407.
135. Vázquez, D. (2000). *Diccionario de ciencias*. Madrid, España: Editorial Complutense S.A.
136. Vázquez, D. (2001). *Diccionario de enfermería*. Madrid, España: Editorial Complutense S.A.
137. Wang, N., Lewis, M. J., Brennan, J. G. y Westby, A. (1997). Effect of processing methods on nutrients and antinutritional factors in cowpea. *Food Chemistry*, vol. 58, 59-68.
138. Wang, N., Hatcher, D. y Gawalko, E. (2008). Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry*, vol. 111, 132-138.
139. Welsch, U. y Sobotta, J. (2009). *Histología*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana S.A.
140. Wyatt, C. J., y Triana, A. (1994). Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca and phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 42, 2204-2209.
141. Zhou, J. R., y Erdman J.W. (1995). Phytic acid in health and disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 35, 495-508.

ANEXOS

ANEXO I

MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL PERFIL NUTRICIONAL

HUMEDAD

Principio (A.O.A.C., 2000, p. 42)

Este método de medición es realizado colocándose una cantidad conocida de granos u hojas para secar en la estufa, determinándose la humedad mediante el peso antes y después del secado. El tiempo y la temperatura necesarios para el proceso de secado dependen del tipo de materia prima y si ésta se encuentra entera o molida.

Materiales y Equipos

- Balanza analítica
- Estufa de corriente de aire
- Desecadores con agente desecante
- Cajas petri
- Pinzas
- Frascos plásticos con tapa

Procedimiento

- Colocar las cajas destapadas, en la estufa de corriente de aire que tiene un termómetro calibrado en una de las bandejas internas con el objeto de controlar la temperatura.
- Encender la estufa y colocar la perilla de control en el sitio indicado para llegar a 130° C.
- Una vez que ha llegado a 130° C tomar el tiempo de 1 h para tarar las cajas.

- Sacar las cajas con una pinza y colocarlas en un desecador. Tapar el desecador y enfriarlas por 1 h.
- Preparar las muestras moliendo y colocarlas en frascos plásticos provistos de tapa.
- En una caja enfriada y pesada (provista con tapa), previamente calentada a $130 \pm 3^\circ \text{C}$, pesar exactamente cerca de 2 g de una porción de prueba bien mezclada en la balanza analítica con cuatro cifras decimales.
- Destapar la porción de prueba y secar caja, tapa, y contenido por 1 h en estufa provista de abertura para ventilación y mantenida a $130 \pm 3^\circ \text{C}$ (El período de secado de 1 h comienza cuando la temperatura de la estufa está a 130°C). Tapar la caja mientras está todavía dentro de la estufa, transferir a un desecador, y pesarla tan pronto alcanza la temperatura ambiente.
- Se recomienda enfriar exactamente 1 h y pesar.
- Reportar el residuo de la harina como sólidos totales y la pérdida en peso como humedad.

Cálculos

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1}$$

Donde:

P_1 = Peso de la caja petri vacía.

P_2 = Peso de la caja petri + la muestra.

P_3 = Peso de la caja petri + residuo.

PROTEÍNA

Principio (A.O.A.C., 1984, p. 173)

El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman en sulfato de amonio al ser digeridas en ácido sulfúrico en ebullición. El residuo se enfría, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de sodio. El amonio presente se desprende y a la vez se destila y se

recibe en una solución de ácido bórico, que luego se titula con ácido sulfúrico estandarizado.

Materiales y Equipo

- Balanza analítica
- Aparato de digestión y destilación micro kjeldahl
- Balones kjeldahl de 50 mL.
- Erlenmeyer de 250 mL.
- Titulador automático
- Agitadores magnéticos

Reactivos

- Ácido sulfúrico (grado técnico)
- Ácido clorhídrico 0,02 N estandarizado
- Hidróxido de sodio al 50% (grado técnico)
- Ácido bórico al 4%
- Indicador mixto: rojo de metilo al 0,1% y verde de bromocresol al 0,2% en alcohol de 95%
- Mezcla catalizadora: 800 g de sulfato de potasio o sodio, 50 g de sulfato cúprico pentahidratado y 50 g de dióxido de selenio
- Zinc en gránulos
- Agua desmineralizada

Procedimiento

1. Digestión

- Pesar alrededor de 0,04 g de muestra, colocar dentro de un balón de digestión y añadir 0,5 g de catalizador y 2 mL de ácido sulfúrico al 92% (grado técnico)

- Colocar los balones en el digestor kjeldahl con los calentadores a 500° C hasta que la solución adquiriera una coloración verde. Esto es indicativo de haberse eliminado toda la materia orgánica.
- Retirar los balones del digestor y enfriar.

2. Destilación

- Colocar la muestra en el destilador y añadir 10 mL de hidróxido de sodio al 50%, destilar recogiendo el destilado en 6 mL de ácido bórico al 4% hasta obtener 50 mL de volumen.

3. Titulación

- Al destilado se agrega 2 gotas del indicador mixto y se titula con ácido clorhídrico 0,02N, hasta que la solución cambie de color.
- Se realiza también la titulación con un blanco.

Cálculos

$$\%P = \frac{V_a - V_b * N * 0,014001 * 6,25}{P_m} * 100\%$$

Donde:

- %P = porcentaje de proteína
 N = normalidad del ácido titulante
 Va = miliLitros de ácido gastado en la muestra
 Vb = miliLitros de ácido gastado en el blanco
 Pm = Peso de la muestra en gramos
 6,25 = factor proteico del nitrógeno.

CENIZAS

Principio (A.O.A.C, 1984, p. 168)

La muestra es incinerada en un horno o mufla a 600° C, previa precalcinación en una placa calentadora o reverbero, para eliminar todo el material orgánico. El material inorgánico que no se destruye se denomina ceniza.

Materiales y Equipo

- Estufa
- Balanza analítica
- Mufla
- Placa calentadora
- Pinza metálica
- Desecador
- Crisoles de porcelana

Procedimiento

- Pesar de 1,5 a 2,0 g de muestra secada a 65° C y colocar en crisoles previamente tarados.
- Precalcinar la muestra hasta que no se desprenda humo.
- Colocar en una mufla a 600° C durante 8 h (preferentemente una noche).
- Sacar los crisoles, enfriar en un desecador y pesar.

Nota: Las cenizas obtenidas deben ser blancas y no debe presentar adherencias a sus paredes.

Cálculos

$$\text{Cenizas (\%)} = \left(\frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \right) * 100$$

Donde:

P₁ = Peso del crisol vacío (g)

P₂ = Peso del crisol más muestra seca (g)

P₃ = Peso del crisol más cenizas (g)

GRASA O EXTRACTO ETÉREO**Principio (A.O.A.C., 2000, p. 32)**

En este método se da una extracción continua de la grasa o extracto etéreo debido al goteo del disolvente (hexano) que se condensa sobre la muestra contenida en un dedal que es un filtro poroso, alrededor del cual pasa el vapor caliente del disolvente.

Materiales y Equipos

- Balanza analítica
- Estufa
- Equipo Goldfish: vaso de destilación, dedal de vidrio con cartucho de celulosa para la muestra.
- Desecador
- Espátula
- Pinza metálica
- Algodón

Reactivos

- Hexano (grado técnico)
- Sulfato de sodio anhidro

Procedimiento

- Lavar los vasos de destilación con agua destilada y llevar a la estufa a 105° C por 2 h; colocar los vasos en un desecador, enfriar, pesar, y añadir 200 mL de hexano.
- Pesar de 1 a 2 g de muestra, mezclar con 2 a 3 g de sulfato de sodio anhidro, colocar en un cartucho limpio y tapar con algodón.
- Depositar el cartucho con la muestra dentro del dedal de vidrio y colocar el conjunto dentro del vaso con hexano, montar el equipo Goldfish, abrir la llave de agua fría para el refrigerante, y extraer la grasa por 7 h.
- Secar el vaso de destilación con el residuo en una estufa a 105° C por 7 h, retirar de la estufa en un desecador, enfriar y pesar.

Cálculos

$$EE \text{ (\%)} = \left(\frac{P_{vr} - P_v}{P_m} \right) * 100$$

Donde:

- EE = Extracto etéreo (%)
Pv = Peso del vaso tarado
Pvr = Peso del vaso + residuo
Pm = Peso de la muestra

FIBRA CRUDA O BRUTA

Principio (A.O.A.C., 2000, p. 28)

La fibra "cruda" o "bruta" es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de hervir sucesivamente la muestra desengrasada con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluidos.

Equipos y Materiales

- Balanza analítica
- Equipo para digestión Labconco.
- Estufa
- Mufla
- Equipo de filtración: Kitasato, Trampa de agua.
- Vasos de 600 mL forma larga
- Crisoles filtrantes de porcelana
- Lana de vidrio
- Pipetas volumétricas

Reactivos

- Ácido sulfúrico al 7%
- Hidróxido de sodio al 22 %
- Antiespumante: alcohol isoamílico
- Hexano

Procedimiento

- Pesar de 1 a 2 g de muestra en un vaso de 600 mL, añadir 200 mL de ácido sulfúrico al 7% y 1 mL de alcohol isoamílico.

- Digerir por 30 min y agregar 20 mL de hidróxido de sodio al 22%, 1 mL de alcohol isoamílico, y digerir por 30 min más disminuyendo la temperatura.
- Recoger la fibra en crisoles filtrantes previamente lavados en cuya base se ha depositado una capa de lana de vidrio hasta la mitad del crisol aproximadamente.
- Lavar con agua desmineralizada caliente, con 100 mL de ácido sulfúrico al 7% y 20 mL de hexano, terminándose los lavados de la fibra con agua.
- Secar en una estufa a 105° C por 8 h, retirar en un desecador, enfriar y pesar.
- Calcinar en una mufla por 4 h a 600° C, retirar en un desecador, enfriar y pesar.

Cálculos

$$F_c (\%) = \left(\frac{P_{cf} - P_{cc}}{P_m} \right) * 100$$

Donde:

- F_c = Fibra cruda (%)
- P_{cf} = Peso del crisol + muestra, desecados a 105 °C
- P_{cc} = Peso del crisol + muestra, después de la incineración
- P_m = Peso de la muestra

MINERALES

Principio (Fick *et al.*, 1979, p. 301)

Las cenizas de la muestra son sometidas a una digestión ácida, luego se aforan a un volumen determinado. Se realiza un análisis de macro y micro elementos por absorción atómica.

Materiales y Equipo

- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Dilutor automático

- Plancha calentadora
- Tubos (celda) de lectura
- Balones aforados de 50, 100, 500, 1 000 mL.
- Pipetas volumétricas 0,1; 0,5; 1, 2, 3, 4, 5 mL
- Pipetas graduadas de 5, 10, 25 mL
- Papel filtro Whatman
- Embudos y porta embudos
- Tubos de ensayo con gradilla

Reactivos

- Solución estándar de: hierro y zinc de 1 000 ppm
- Solución de lantano 1%: Pesar 17.65 g de cloruro de lantano, disolver con 400 mL de agua y aforar a 1 000 mL.

Procedimiento

- Colocar los crisoles que contienen las cenizas en la Sorbona, adicionar 10 mL de agua destilada y 5 mL de ácido clorhídrico concentrado, digerir a baja temperatura hasta que el volumen se reduzca a la tercera parte.
- Retirar los crisoles de la plancha y enfriar, filtrar usando papel cuantitativo y recibir el filtrado en un balón de 100mL.

Determinación de Hierro

- Preparar la curva estándar de hierro de 0 a 5 ppm.
- Colocar en tubos de ensayo la solución estándar de hierro 0, 1, 2, 3, 4, 5 mL, adicionar agua bidestilada hasta 9 mL y adicionar 1 mL de la solución de lantano al 1%.
- Tomar 5 mL de la muestra y leer en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama.

Nota: En caso de ser lecturas altas, realizar diluciones de 1/10.

Cálculos

$$\text{Fe (\%)} = \frac{C * Fd}{Pm}$$

Donde:

- C = Concentración (ppm)
 Fd = Factor de dilución
 Pm = Peso de la muestra (g)

Determinación de Zinc

- Tomar 10 mL de la solución madre, agitar y leer.
- Preparar la curva estándar de zinc de 5 y 0,5 ppm
- Colocar en tubos de ensayo la solución estándar de calcio y manganeso 0, 1, 2, 3, 4, 5 mL, y adicionar agua bidestilada hasta 9 mL y adicionar 1 mL de la solución de lantano al 1%.
- Leer en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama, primero los estándares luego las muestras.

Cálculos

$$\text{Zn (ppm)} = \frac{LR * Fd}{Pm}$$

Donde:

- LR = Lectura de Regresión
 Fd = Factor de dilución
 Pm = Peso de la muestra

DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEINA

Principio (Hsu *et al.*, 1977, p. 1269)

El análisis de digestibilidad por pepsina es un ejemplo de un procedimiento que proporciona información adicional en relación al valor nutricional verdadero de las fuentes de proteína. La pepsina es una enzima digestiva que en la presencia de un medio ácido desdobla las proteínas del alimento.

Equipo y materiales

- Baño maría
- Molino de café Cuicinar Modelos DCG-20N Series
- pHmetro
- Agitadores magnéticos

Reactivos

- Enzimas: tripsina, quimotripsina, peptidasa
- HCl 0,1 N; 0,075 N
- NaOH 0,1 N; 0,2 N

Preparación de la solución multienzimática

- Agregar 1,6 mg de tripsina, 3,1 mg de quimotripsina y 1,3 mg de peptidasa por mL de agua bidestilada.
- Ajustar el pH de la solución a 8,0 con HCl 0,1 N y NaOH 0,1 N, y mantener la solución en refrigeración.

Procedimiento

- Moler la muestra finamente (80 mesh).
- Colocar 0,4 g de muestra en un vaso de precipitación y añadir 2,5 mL de agua ultrapura; agitar la mezcla hasta que se encuentre totalmente disuelta. Colocar la muestra en un baño maría con agitación a 37° C.
- Agregar 5,0 mL de NaOH 0,2 N e incubar en el baño maría con agitación a 37° C por 30 min.
- Agregar 5 mL de HCl 0,075 N.
- Ajustar inmediatamente el pH de la suspensión a 8,0 con HCl 0,1 N y NaOH 0,1 N.
- Agregar 2 mL de solución enzimática en la suspensión, y mantener la incubación a 37° C por 10 min con agitación. Durante este período, tomar diferentes medidas de pH, a fin de registrar el descenso del mismo. El valor de la medida de pH más bajo que se registre durante los 10 min, se empleará en el cálculo de digestibilidad.

Cálculos

$$Y = 210,46 - (18,10) * X$$

Donde:

Y = % Digestibilidad in vitro de la proteína

X = Valor del pH después de 10 min de digestión con la solución multienzimática.

BIODISPONIBILIDAD DE MINERALES

Principio (Binaghi *et al.*, 2007, p. 56)

La dializabilidad de los minerales (D%) como un indicador de la biodisponibilidad potencial fue determinada por medio del método in vitro de Miller, modificado por Wolfgor y Cols. El procedimiento involucra una digestión enzimática en condiciones que simulan las fisiológicas.

Materiales y Equipo

- Membrana de diálisis (Spectrapore Molecular Weight cut-off 6000-8000)
- Baño maría
- pHmetro
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro de absorción atómica

Reactivos

- α -amilasa
- Pepsina
- Pancreatina
- Extracto de bilis
- Buffer PIPES
- Ácido clorhídrico: HCl 0,1 N; HCl 6 N
- Bicarbonato de sodio 0,1 N
- Hidróxido de sodio 6 N
- Ácido nítrico
- Ácido perclórico

Preparación de las soluciones

- Solución de α -amilasa: La solución debe ser preparada con agua ultrapura al 3%.
- Solución de pepsina: Debe tener una concentración de 16 g de pepsina/100 mL de HCl 0,1 N.
- Solución de pancreatina + bilis: La solución debe contener 0,4 g de pancreatina y 2,5 g de extracto de bilis en 100 mL de NaHCO_3 0,1 N.
- Solución PIPES: La solución debe tener una concentración de 0,15 M, lo que resulta equivalente a 2,29 g de PIPES en 50 mL de agua ultrapura. El pH de esta solución debe ser ajustado a $6,3 \pm 0,2$ con NaOH 1 N ó NaOH 6 N.

Procedimiento

1. Digestión in vitro

- Pesar 2 g de muestra en vasos de 100 mL.
- Agregar 20 mL de agua bidestilada.
- Incubar cada muestra con 2 mL de la solución α -amilasa al 3% en un baño maría durante 30 min a 37° C con agitación constante.
- Ajustar el pH a 2,8 con HCl 6 N.
- Agregar 0,64 mL de la solución de pepsina e incubar por un período de 2 h a 37° C con agitación constante.
- Colocar cada muestra en las bolsas de diálisis, las mismas que se deben ubicar en vasos de precipitación que contienen 20 mL de buffer PIPES.
- Colocar nuevamente las muestras en un baño maría a 37° C durante 1 h.
- Adicionar cuidadosamente 5 mL de solución de pancreatina + extracto de bilis dentro de la bolsa de diálisis, y continuar con la incubación durante 2 h a 37° C.
- Retirar las muestras del baño maría, remover las bolsas de diálisis de los vasos de precipitación, y separar debidamente el líquido contenido en la bolsa de diálisis (retenido) y el líquido contenido en el vaso (dializado); codificar el retenido y el dializado.

2. Cuantificación del material biodisponible:

- Llevar el retenido a sequedad.
- Mineralizar el retenido con una mezcla de HNO₃ y HClO₄ (10:10), de modo de eliminar la parte orgánica, esto sucede al observar la aparición de humos blancos y por la decoloración del líquido de la muestra. Terminada la mineralización llevar a un volumen de 100 mL para su posterior lectura.
- Mineralizar el dializado (20 mL) con HNO₃ y HClO₄ (10:10) hasta sequedad, luego reconstituir la muestra con agua ultrapura, tomando el mismo volumen inicial del dializado (20 mL), para posterior cuantificación.

Cálculos

La dializabilidad mineral se calcula como el porcentaje del mineral dializado con respecto a la concentración total de mineral presente en cada muestra.

$$\text{Dializabilidad \% del mineral} = \frac{\text{mg de mineral en el dializado} \times 100}{\text{mg de mineral total}}$$

LISINA DISPONIBLE

Principio (Kakade y Liener, 1969, p. 273)

Este método determina lisina disponible, como aquella que tiene el grupo épsilon amino libre y que es capaz de unirse al ácido trinitrobencensulfónico.

Materiales y Equipo

- Autoclave
- Papel ederol N° 1
- Baño de vapor
- Un matraz con tapa
- Criba de mm (malla no. 20).
- Baño maría con agitación
- Matraz con tapón
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Lisina
- Ácido clorhídrico

- Carbonato ácido de sodio
- Éter etílico
- Ácido trinitrobencensulfónico (TNBS)

Procedimiento

1. Determinación de la curva estándar

- Pesar 50 mg de lisina-HCl, en un en un matraz con tapón.
- Adicionar 10 mL de NaHCO₃ al 4% (pH 8,5).
- Agitar 10 min en un baño a 40° C y con una agitación de 80 rpm.
- Agregar 10 mL de ácido trinitrobencensulfónico al 0,1 %.
- Agitar durante dos horas a 80 rpm y a una temperatura de 40° C.
- Agregar 30 mL de HCl concentrado, tapar y poner en autoclave a 115° C (13 lb/pulg²) durante 1 h.
- Enfriar y adicionar 50 mL de agua destilada
- Filtrar a través de papel ederol N° 1
- Tomar del filtrado una alícuota de 20 mL y extraerla dos veces con 10 mL de éter etílico cada vez.
- Eliminar el éter residual poniendo la solución ya extraída en un baño de vapor durante 10 min.
- De esta alícuota extraída se toman los siguientes volúmenes: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5 y se llevan a 10 mL en un matraz volumétrico que contiene 0,05 mg, 0,1 mg, 0,15 mg, 0,20 mg, 0,25 Mg de lisina respectivamente, y se leen a 346 nm ajustando a cero con agua destilada.

2. Determinación de lisina en la muestra

- Pesar 100 mg de la muestra en un matraz con tapa (la muestra molida y pesada a través de una criba de mm (malla N° 20).
- Adicionar 10 mL de NaHCO₃ al 4% (pH = 8,5)

- Agitar 10 min en un baño a 40° C y a 80 rpm.
- Agregar 10 mL de ácido trinitrobencensulfónico al 0,1%.
- Agitar durante 2 h a 40° C y 80 rpm.
- Agregar 30 mL de HCl concentrado. Tapar y poner en el autoclave a 115° C (13 lb/pulg²), durante 1 h.
- Enfriar y adicionar 50 mL de agua destilada.
- Filtrar a través de papel hederlo N° 1.
- Tomar una alícuota de 10 mL y extraerla dos veces con 10 mL de éter etílico cada vez. Eliminar el éter residual poniendo la solución ya extraída en un baño de vapor durante 10 min.
- Leer la absorbancia a 346 nm ajustando a cero con el blanco.
- Comparar con una curva estándar.

3. Preparación del blanco

- En un matraz con tapón colocar 10 mL NaHCO_3 al 4% con pH 8,5.
- Agitar 10 min en un baño a 40° C con una agitación de 80 rpm.
- Adicionar 30 mL de HCl concentrado.
- Continuar la agitación durante 2 h.
- Adicionar a la muestra 10 mL de la solución de TNBS al 0,1 % e hidrolizar en autoclave 1 h a 115° C (13 lb/pulg²).
- Enfriar y adicionar 50 mL de agua destilada y filtrar a través de papel ederol N° 1.
- Tomar del filtrado una alícuota de 10 mL y extraerla dos veces con 10 mL de éter etílico cada vez.
- Eliminar el éter residual poniendo la solución ya extraída en un baño de vapor durante 10 min.
- Leer la absorbancia a 346 nm ajustando a cero con agua destilada.

Cálculos

Para la determinación se hizo una curva estándar con gradiente de concentración de 0, 0,04, 0,08, 0,12, 0,16 y 0,2 de lisina respectivamente; se toman estos valores y no los descritos en la técnica (0,05, 0,10, 0,15, 0,20, y 0,25) ya que se hace la corrección estequiométrica multiplicando por 0,8, y este valor se obtiene al dividir el peso molecular de la lisina/peso molecular del monohidrato de L-lisina. Se lee en el espectrofotómetro a 346 nm.

ANEXO II

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FACTORES ANTINUTRICIONALES

ÁCIDO FÍTICO

Principio (Megazyme, 2007, p. 1)

El ácido fítico (fitato; myo-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6, hexakisfosfato) es la principal fuente de inositol y fósforo almacenado en las semillas de las plantas, contribuyendo con el 70% del fósforo total. La determinación de ácido fítico se efectúa a través de la desfosforilación del ácido fítico efectuada por las enzimas fitasas.

Equipos y Materiales

- Vasos de precipitación (75 mL)
- Tubos desechables de microcentrífuga (1,5 mL)
- Tubos desechables de polipropileno (13 mL)
- Micro cubetas plásticas (1,5 mL)
- Micro pipetas (100 μ L - 1 mL)
- Pipeta de desplazamiento positivo
- Cronómetro
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro UV-VIS
- Mezclador vórtex
- Baño maría
- Microcentrífuga

Reactivos del kit

- Botella 1: Buffer de acetato de sodio (25 mL; 200 mM; pH 5,5), azida de sodio (0,02 % p/v) como preservante. Estable por 2 años a 4° C (Denominada Solución 1).
- Botella 2: Suspensión de fitasa (1,2 mL; 12 000 U/mL). Estable por 2 años a 4° C (Denominada Suspensión 2).
- Botella 3: Buffer de glicina (25 mL; 400 mM; pH 10,4), más MgCl₂ (4 mM), ZnSO₄ (0,4 mM) y azida de sodio (0,02 % p/v) como conservante. Estable durante más de 2 años a 4° C (Denominada Solución 2).
- Botella 4: Suspensión de fosfatasa alcalina (1,2 mL; 80 U/mL). Estable durante más de 2 años a 4° C (Denominada Suspensión 4).
- Botella 5: Solución estándar de fósforo (24 mL; 50 µg/mL) y azida de sodio (0,02 % p/v) como conservante. Estable durante más de 2 años a 4° C.
- Botella 6: Harina de avena, polvo de control. Estable por 5 años a temperatura ambiente.

Reactivos no incorporados

- Ácido ascórbico 10% p/v
- Ácido sulfúrico 1 M
- Molibdato de amonio 5% p/v
- Ácido tricloroacético 50% p/v
- Ácido clorhídrico 0,66 M
- Hidróxido de sodio 0,75 M
- Ácido fítico (estándar)

Preparación de las soluciones

1. Reactivos de color

A. Solución A. Ácido ascórbico (10% p/v) / Ácido sulfúrico (1 M): 100 mL

- Añadir 10 g de ácido ascórbico a 10 mL de agua destilada.
 - Añadir 5,35 mL de ácido sulfúrico concentrado y disolver el ácido ascórbico. Aforar la solución a 100 mL con agua destilada (Solución estable por 1 semana a 4° C).
- B. Solución B. Molibdato de amonio (5% p/v): 25 mL
- Añadir 1,25 g de molibdato de amonio a 20 mL de agua destilada y disolver. Aforar con agua destilada a 25 mL (Solución estable por 1 mes a 4° C).
- C. Solución AB
- Mezclar una parte de la solución B con 5 partes de la solución A (ej. 1 mL de solución B mezclar con 5 mL de solución A). Preparar 0,6 mL de solución AB por cada muestra a ser analizada (incluyendo blancos y estándares). Preparar esta solución el día de su utilización.
2. Ácido tricloroacético (50% p/v): 100 mL
- Añadir 50 g de ácido tricloroacético a 60 mL de agua destilada y disolver. Aforar con agua destilada a 100 mL. Almacenar la solución a 4° C.
3. Ácido clorhídrico (0,66 M): 1 Litro
- Añadir 54,5 mL de ácido clorhídrico a 945,5 mL de agua destilada y mezclar. Almacenar la solución a temperatura ambiente.
4. Hidróxido de sodio (0,75 M): 200 mL
- Añadir 6 g de hidróxido de sodio a 180 mL de agua destilada. Aforar con agua destilada a 200 mL. Almacenar la solución a temperatura ambiente.
5. Ácido fítico
- Cuando se requiera de una muestra control de ácido fítico, se recomienda el estándar de ácido fítico (phytic acid dipotassium salt).

Procedimiento

1. Extracción de la muestra

- Pesar 1 g de muestra en un vaso de precipitación. Añadir 20 mL de ácido clorhídrico (0,66 M); cubrir el recipiente con papel aluminio y agitar vigorosamente por un mínimo de 3 h a temperatura ambiente (preferentemente durante la noche).
- Transvasar 1 mL de solución a un tubo de microcentrífuga y centrifugar a 13 000 rpm durante 10 min. Inmediatamente transferir 0,5 mL de sobrenadante del extracto resultante a un nuevo tubo de microcentrífuga, y neutralizar mediante la adición de 0,5 mL de hidróxido de sodio (0.75 M). Utilice el extracto de la muestra neutralizada en el proceso de desfosforilación enzimática que se describe a continuación.

2. Reacción de desfosforilación enzimática

2.1. Determinación de Fósforo libre (FL)

- Colocar en un tubo de microcentrífuga: 0,62 mL de agua destilada; 0,20 mL de solución 1; 0,05 mL del extracto de la muestra neutralizada.
- Mezclar utilizando el mezclador vórtex e incubar durante 10 min a 40° C en un baño maría.
- Añadir en el tubo de microcentrífuga: 0,02 mL de agua destilada; 0,20 mL de solución 2.
- Mezclar utilizando el mezclador vórtex e incubar durante 15 min a 40° C en un baño maría.
- Añadir 0,30 mL de ácido tricloroacético.
- Centrifugar la solución final a 13 000 rpm durante 10 min.
- Cuidadosamente pipetear el sobrenadante que se empleará en la determinación colorimétrica.

2.2. Determinación de Fósforo total (FT)

- Colocar en un tubo de microcentrífuga: 0,60 mL de agua destilada; 0,20 mL de solución 1; 0,05 mL del extracto de la muestra neutralizada; 0,02 mL de suspensión 2.

- Mezclar utilizando el mezclador vórtex e incubar durante 10 min a 40° C en un baño maría.
- Añadir en el tubo de microcentrifuga: 0,20 mL de solución 2; 0,02 mL de suspensión 4.
- Mezclar utilizando el mezclador vórtex e incubar durante 15 min a 40° C en un baño maría.
- Añadir 0,30 mL de ácido tricloroacético.
- Centrifugar la solución final a 13 000 rpm durante 10 min.
- Cuidadosamente pipetear el sobrenadante que se empleará en la determinación colorimétrica.

Preparación de soluciones estándar de fósforo

La preparación de las soluciones estándar (STD), se detalla en la tabla a continuación:

Tabla AI.1. Composición de soluciones estándar de fósforo

Preparar en tubos de 13 mL	STD 0 (0 µg)	STD 1 (0,5 µg)	STD 2 (2,5 µg)	STD 3 (5 µg)	STD 4 (7,5 µg)
Agua destilada	5,00 mL	4,95 mL	4,75 mL	4,50 mL	4,25 mL
Solución estándar de fósforo 5	0,00 mL	0,05 mL	0,25 mL	0,50 mL	0,75 mL
Volúmen total	5,00 mL	5,00 mL	5,00 mL	5,00 mL	5,00 mL

Nota: Por cada grupo de muestras, se debe realizar una curva de calibración utilizando el mismo grupo de reactivos de color.

3. Determinación colorimétrica de fósforo

- Pipetear en un tubo de microcentrifuga 1 mL de muestra o estándar de fósforo y 0,5 mL de reactivo de color o solución AB.
- Mezclar utilizando el mezclador vórtex e incubar durante 1 h a 40° C en un baño maría.
- Mezclar utilizando el mezclador vórtex, y luego transferir 1 mL a una cubeta semi-micro; leer la absorbancia a 655 nm dentro de 3 h.

Las condiciones bajo las cuales tiene que encontrarse el espectrofotómetro UV-Vis son las siguientes:

Longitud de onda: 655 nm.
 Micro cubeta: 1 cm de light path (vidrio o plástico; 1,5 mL semi-micro)
 Temperatura: 40° C
 Volúmen final: 1,5 mL
 Solución de la muestra: 0,5-7,5 µg de fósforo en 1 mL de volumen de muestra
 Se compara con el aire (sin una cubeta en el light path) o con el agua.

Cálculos

A. Curva de calibración de fósforo

A.1. Determinar la absorbancia de cada estándar (STD 0-4).

Restar la absorbancia del STD 0 de las absorbancias de los estándares (STD 1 - 4), de este modo se obtiene $\Delta A_{\text{fósforo}}$.

A.2. Calcular el valor M para cada estándar (STD 1-4)

$$M = \frac{P (\mu\text{g})}{\Delta A_{\text{fósforo}}}$$

Donde:

P = Concentración de fósforo en µg

$\Delta A_{\text{fósforo}}$ = Diferencia de absorbancias del fósforo

A.3. Calcular el valor M promedio

$$M_{\text{promedio}} = \frac{(M_{\text{STD1}} + M_{\text{STD2}} + M_{\text{STD3}} + M_{\text{STD4}})}{4}$$

El valor de M promedio se utiliza para calcular el contenido de fósforo en las muestras como se indica en la Sección B.

B. Fósforo / Contenido de ácido fítico

Determinar la absorbancia (A_{655}) de las dos muestras; la muestra para determinar “Fósforo Libre (FL)”, y la muestra para determinar “Fósforo Total (FT)”. Restar la absorbancia de la muestra de FL, de la absorbancia de la muestra de FT, para así obtener $\Delta A_{\text{fósforo}}$.

La concentración de fósforo se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$C \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} = \frac{M \text{ promedio} * 20 * F}{10000 * 1,0 * V} * \Delta A_{\text{fósforo}}$$

Donde:

- C = Concentración de fósforo (g /100 g)
- M promedio = Valor promedio de los estándares de fósforo
- 20 = Volumen de la muestra extraída originalmente (mL)
- F = Factor de dilución
- ΔA = Diferencia de absorbancia de las muestras
- 10 000 = Conversión de $\mu\text{g/g}$ a g/100 g
- 1,0 = Peso de la muestra original (g)
- V = Volumen de la muestra (empleado en la determinación colorimétrica)

El cálculo sería entonces:

$$C \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} = \frac{M \text{ promedio} * 20 * 55,6}{10000 * 1,0 * 1,0} * \Delta A_{\text{fósforo}}$$

$$C \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} = M \text{ promedio} * 0,1112 * \Delta A_{\text{fósforo}}$$

Para obtener la concentración de ácido fítico se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{CAF} \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} = \frac{\text{C}}{0,282}$$

Donde:

CAF = Concentración de ácido fítico (g/100 g)

C = Concentración de fósforo (g/100 g)

0,282 = Contenido de fósforo asociado únicamente a la concentración de ácido fítico; el cual corresponde al 28,2% del ácido fítico

NITRATOS

Principio (A.O.A.C., 1998, p. 360)

Por medio del ácido sulfúrico se destruye la materia orgánica. Este actúa como oxidante, los gases de H_2SO_4 que se forman a una temperatura de 100°C se disocian en forma de SO_3 y H_2O . El SO_3 se descompone en SO_2 y oxígeno, el oxígeno oxida el carbono y el hidrógeno de la materia orgánica para convertirlos en CO_2 y H_2O . El nitrógeno se convierte en NH_3 que con el ácido sulfúrico forma el sulfato de amonio.

Los nitratos en la muestra en presencia del ácido sulfúrico forman ácido nítrico. Estos por lo general no entran en la digestión Kjeldhal normal salvo que se tomen medidas especiales como la incorporación de zinc, aleación de verda y/o tiosulfato de sodio.

Materiales y equipo

- Reflectómetro RQflex plus 10
- Baño María POLYSTAT Scientific
- Estufa MEMMERT

Reactivos

- Acido sulfúrico al 72%.

Procedimiento

- Preparar una solución del extracto de la muestra y aforar a un determinado volumen de agua destilada. La relación de extracto/agua es de 1 a 10.
- Realizar una hidrólisis con acido sulfúrico concentrado, con el fin de eliminar el color, de modo que no interfiera en las lecturas reflectométricas, para lo cual se toman 5 mL de muestra en solución, a lo que se añade 150 µl de acido sulfúrico al 72%, el conjunto se deja en baño maría a 25° C por 3 h.
- Añadir 1,55 mL de agua destilada e incubar por 2 h a 100° C, enfriar y filtrar.
- Tomar una varilla analítica e introducirla en la muestra.
- Presionar la tecla START del reflectómetro; eliminar el exceso del líquido de la varilla sacudiéndola manualmente.
- Cuando suena la señal acústica (5 s antes del tiempo de reacción), en el adaptador de varilla introducir la varilla hasta el tope, con las zonas de reacción en dirección a la pantalla.
- Anotar la lectura que aparece en la pantalla expresada en mg/l.

Cálculos

$$\frac{\text{mg nitratos}}{100 \text{ g muestra}} = \frac{L * V}{Pm}$$

Donde:

- L = Lectura en mg/l
V = Volumen final
Pm = Peso de la muestra

OXALATOS

(Jinap y Dimick, 1990, p. 547)

Equipos y materiales

- Balanza OHAUS de capacidad hasta 210 g
- HPLC Agilent 1 100
- Cartucho SEP-PAK C18
- Jeringuillas plásticas con filtro de lana de vidrio
- Membranas MILLIPORE de filtración 0,2211 M

Reactivos

- Solución estándar de ácido oxálico
- Resina Bio-Rex 5
- Metanol
- Carbonato de sodio 0,5 M
- Ácido sulfúrico 1 N

Procedimiento

- Pre acondicionamiento de la resina Bio-Rex 5: Pesar 0,5 g de resina en jeringuillas plásticas con filtro de lana de vidrio, adicionar 3 mL de carbonato de sodio 0,5 M mezclar y dejar pasar por el filtro, descartar la solución, adicionar 3 mL más de carbonato de sodio 0,5 M, dejar pasar y descartar la solución, lavar la resina con 3 mL de agua destilada.
- Pre acondicionamiento del cartucho SEP-PAK C18: Pasar por el cartucho 0,5 mL de metanol y lavar con 3 mL de agua destilada tres veces.

- Añadir 1 mL de extracto colorante en las jeringuillas plásticas previamente acondicionadas y lavar tres veces con 5 mL de agua destilada, descartar el agua de lavado.
- Añadir 3 mL de ácido sulfúrico 1 N por tres veces y recoger el eluido sobre un balón de aforo de 10 mL, llevar a volumen con agua bidestilada.
- Eliminar las interferencias de polifenoles, al circular el extracto por un cartucho SEP-PAK C18 previamente acondicionado y filtrar a través de una membrana Millipore de 0,2211 M.
- Inyectar 20 mL del filtrado en el HPLC bajo las siguientes condiciones:

Columna:	STR ODS 11 (150 x 4,6mm)
Temperatura de la columna:	40° C
Detector UV-VIS:	Longitud de onda 210 nm
Fase móvil:	Solución 10mM de KH ₂ PO ₄ pH 2,3
Flujo:	1,0mL; 1 min

Cálculos

La cuantificación se realiza sobre la base de áreas mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{\text{AM}}{\text{AS}} * \text{C} * \text{F}$$

Donde:

C	=	Concentración de ácido orgánico en el estándar
AM	=	Área de la muestra
AS	=	Área del estándar
F	=	Superficie de la cápsula que ingresa al HPLC

TANINOS

Principio (A.O.A.C., 1964, p. 80)

La determinación de taninos se realiza en una muestra libre de grasas y pigmentos, utilizándose un extracto acuoso el cual reacciona con el reactivo Folin-Denis en medio alcalino. Se utiliza ácido tánico como estándar y se realizan las lecturas en un espectrofotómetro UV-VIS a 680 nm.

Equipos y materiales

- Espectrofotómetro
- Baño maría
- Lana de vidrio

Reactivos

- Wolframato de sodio deshidratado
- Ácido fosfomolibdico
- Ácido fosfórico
- Carbonato de sodio anhidro
- Cristales de carbonato de sodio decahidratado
- Ácido tánico
- Hexano

Preparación de soluciones

- Solución de Folin-Denis: Disolver 100 g de wolframato de sodio deshidratado, 20 g de ácido fosfomolibdico, 50 mL de ácido fosfórico, en 750 mL de agua destilada. Se calienta 2 h a reflujo, se enfría y se afora a 1 L.

- Solución de carbonato de sodio saturado: En 100 mL de agua destilada a 70 - 80° C añadir 35 g de carbonato de sodio anhidro, enfriar y dejar precipitar durante 12 h; colocar en la solución algunos cristales de carbonato de sodio decahidratado, y luego que se cristaliza filtrar a través de lana de vidrio.
- Solución estándar de ácido tánico: Preparar una solución madre de 100 ppm de ácido tánico cada vez que se va a realizar esta determinación.

Procedimiento

- Pesar 1g de muestra y extraer el material graso con hexano durante 8 h.
- Colocar en ebullición el residuo durante 2 h con 300 mL de agua destilada.
- Enfriar, filtrar y diluir a 500 mL.
- Tomar alícuotas del filtrado en balones de 50 mL, añadir 2,5 ML de reactivo Folin-Denis, 5 mL de solución de carbonato de sodio y aforar a 50 mL con agua destilada.
- Leer en un espectrofotómetro a 680 nm después de 30 min de ocurrida la reacción.
- Preparar una curva patrón de ácido tánico de 0 - 5 ppm; proceder desde la adición del reactivo Folin-Denis.

Cálculos

Se debe tener en consideración para los cálculos las diluciones realizadas y el peso de la muestra. Los taninos vienen expresados como ácido tánico y los resultados se expresan como siguen:

$$\text{mg taninos / g muestra} = \left(\frac{\text{LR } (\mu\text{g / ml}) \times V (\text{ml}) \times \text{FD} \times 10^{-3} (\text{mg / } \mu\text{g})}{P_m (\text{g})} \right)$$

Donde:

LR = Lectura de regresión.

V = Volumen final.

FD = Factor de dilución.

Pm = Peso de la muestra.

SAPONINAS

Principio (Koziol, 1990, p. 212)

Al disolverse las saponinas en agua seguido de una agitación homogénea, se produce una espuma estable, cuya altura se puede correlacionar con la concentración de estos principios químicos de la muestra.

Equipos y materiales

- Tubos de ensayo con tapa rosca de dimensiones: largo = 160 mm; diámetro = 16 mm
- Probeta de 10 mL
- Cronómetro o reloj
- Balanza analítica
- Regla sensible al 0,1 cm
- Porta tubos

Procedimiento

- Colocar $0,5 \text{ g} \pm 0,02 \text{ g}$ de muestra en un tubo de ensayo.
- Añadir 5 mL de agua destilada y tapan el tubo.
- Poner en marcha el cronómetro y sacudir vigorosamente el tubo durante 30 s.
- Dejar el tubo en reposo durante 30 min.
- Sacudir nuevamente el tubo por 30 s.
- Dejar el tubo en reposo durante 30 min más.
- Sacudir el tubo por 30 s, y dar una última sacudida, similar a la sacudida que se da a los termómetros orales.

- Dejar el tubo en reposo durante 5 min; al cabo de los cuales medir la altura de la espuma al 0,1 cm más cercano.

Cálculos

$$\frac{\text{mg S}}{\text{g PF}} = \frac{(0,646 * h) - 0,104}{\text{Pm}}$$

Donde:

- mg S = mg de Saponinas
 PF = Peso fresco
 h = Altura en cm
 Pm = Peso de la muestra

INHIBIDORES DE TRIPSINA

Principio (Kakade, 1974, p. 376)

La enzima exógena tripsina es parcialmente atacada por los inhibidores presentes en el extracto de la muestra. La tripsina restante actúa sobre la solución sustrato de BAPA (benzoil-DL-arginina-p-nitroanilina), dando un complejo coloreado que se lee a 410 nm.

Materiales y Equipo

- Espectrofotómetro UV-VIS
- Estufa
- Agitadores magnéticos
- Tubos de ensayo
- Pipetas
- Papel filtro WH N° 4

Reactivos

- TRIZMA BASE
- BAPA
- DMSO (Dimetil sulfóxido)
- Tripsina
- Cloruro de calcio hidratado
- Hidróxido de sodio 0,01 N pH $9,5 \pm 0,3$
- Ácido acético 30% v/v
- Ácido clorhídrico 0,001 M

Preparación de las soluciones

- Solución TRIZMA BASE: Disolver 6,05 g de TRIZMA y 2,94 g de $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en 900 mL de agua ultrapura, se ajusta el pH hasta 8,2 y se afora a 1 L. (Se almacena a 37°C en la estufa).
- Solución de BAPA: Disolver 40 mg de BAPA en 1 mL de DMSO (Dimetil sulfóxido) y se lleva a 100 mL con la solución TRIZMA BASE. (Se prepara a diario).
- Solución de tripsina: Disolver 4 mg de tripsina en 200 mL de HCl 0,001 M. (Se conserva en refrigeración de 2 a 3 semanas).
- Blanco de reactivos: Prepararlo con 2mL de agua destilada, 2mL de tripsina, 1 mL de ácido acético al 30%, y 5 mL de BAPA.

Procedimiento

1. Extracción:

- Pesar 1 g de muestra finamente molida.
- Adicionar 50 mL de NaOH 0,01 N
- Agitar mecánicamente de 1 a 3 h.

2. Reacción enzimática:

- Tomar alícuotas de: 0,0; 0,6; 1,0; 1,4; 1,8 mL de la suspensión de la muestra.
- Aforar cada alícuota a 2 mL con agua ultrapura.
- Adicionar 2 mL de la solución de tripsina en cada muestra e incubar hasta alcanzar la temperatura de 37° C.
- Adicionar 5 mL de solución de BAPA previamente calentada a 37° C.
- Incubar a 37° C por 10 min.
- Añadir 1 mL de ácido acético al 30%, y agitar hasta que esté disuelta la mezcla.
- Dejar en reposo por 10 min.
- Mezclar completamente el contenido de los tubos.
- Filtrar por el papel filtro WH N° 4.
- Leer la absorbancia del filtrado a 410 nm contra el blanco de reactivos.

Nota: Límite de detección y sensibilidad: 0,1 TIU/mL

FIBRA DIETÉTICA TOTAL

Principio (Asp *et al.*, 1983, p. 476)

El almidón y la proteína son digeridos a pequeños fragmentos por medio de enzimas. La fracción de fibra dietética insoluble es separada por filtración. La fracción soluble es recuperada en otra filtración luego de precipitar con etanol.

Materiales y Equipo

- Balones aforados de 50, 100, 500, 1 000, 5 000 mL.
- Pipetas volumétricas 0,1; 0,5; 1, 2, 3, 4, 5 mL
- Pipetas graduadas de 5, 10, 25 mL
- Vasos de precipitación 100, 200, 500 mL

- Agitadores magnéticos
- pHmetro digital
- Balanza analítica
- Baño maría con agitación
- Polarímetro
- Papel aluminio
- Filtros crisol (40 – 60 μ n porosidad)
- Lana de vidrio

Reactivos

- Buffer 0,1 M pH fosfato de sodio: Disolver 12,1 g de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y 2,2 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en aproximadamente 900 mL de agua destilada. Ajustar el pH a 6,0 y luego aforar a 1 000 mL.
- HCl: 0,2 M, 1 M, 5 M
- NaOH: 1 M, 5 M
- Etanol al 95%
- Etanol al 76%: 4 volúmenes de etanol al 95% + 1 volumen de agua destilada.
- Acetona
- Enzimas: pepsina, pancreatina, termamyl

Preparación de las soluciones de pepsina y pancreatina

- Pesar 10,0 g de enzima en polvo en un vaso de precipitación y disolver en 100 mL de agua destilada. Mezclar lentamente con un agitador magnético. Congelar las soluciones en porciones de 7 mL.

Procedimiento

1. Extracción

- Pesar 1,0 g (+/- 0,0001 g) de muestra seca o su equivalente de muestra húmeda homogenizada, en un vaso de precipitación o en un frasco plástico.
- Adicionar 25 mL de buffer de fosfato de sodio y 100 µL de termamyl, y usando un agitador magnético, mezclar bien. Cubrir la muestra con papel aluminio y colocar los vasos o frascos en un baño de agua hirviendo para incubación por 20 min.
- Adicionar 20 mL de HCl 0,2 M cuando el contenido del vaso alcance la temperatura ambiente. Ajustar el pH a 1,5 con HCl 5 M.
- Agregar 1,0 mL de solución de pepsina a cada muestra. Incubar durante 1 h a 40° C en un baño de agua, con agitación continua y suave.
- Retirar las muestras del baño de incubación y adicionar 1 mL de NaOH 5,0 M. Ajustar el pH a 6,8 con NaOH 5,0 M ó NaOH 1,0 M.
- Adicionar en cada vaso/frasco 1,0 mL de solución de pancreatina. Incubar las muestras en un baño de agua por 1 h a 40° C, con agitación lenta y continua.
- Retirar las muestras del baño de agua y adicionar 0,5 mL de HCl 5,0 M y luego ajustar el pH a 4,5 con de HCl 1,0 M.

2. Precipitación y Filtración

- Mantener en desecadores los crisoles y la lana de vidrio que han sido previamente secados a 105° C.
- Pesar 0,5 g (+/- 0,0001 g) de lana de vidrio en cada crisol, los cuales deben estar marcados previamente. Tomar nota del peso crisol + lana de vidrio. Humedecer la lana de vidrio del crisol con alcohol 76%.

3. Determinación de fibra dietética total

- Añadir agua destilada hasta la marca de 100 mL del vaso, y luego añadir 400 mL de etanol al 95% precalentado a la temperatura de 60° C. Dejar precipitar por 1 h.
- Colocar los crisoles y la lana de vidrio que han sido secados en una estufa a 105° C, en un desecador y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar 0,50 g (precisión de 4 decimales) de lana de vidrio en cada crisol. Anotar el número del crisol, pesar el crisol, y tomar nota del peso del crisol + lana de vidrio. Humedecer la lana de vidrio del crisol con alcohol 76%.
- Mientras se filtra, tener cuidado que las paredes del embudo estén siempre húmedas con etanol al 76% (previene que la fibra se pegue en las paredes). Lavar la torta filtrada con porciones de etanol al 95% de 2 x 15 mL, y acetona en porciones de 2 x 15 mL.

Cálculos

Los siguientes cálculos son necesarios para reportar los valores de fibra dietética y se refieren a los pesos expresados en mg.

$$1. \text{ FNC (mg) } = (\text{crisol} + \text{lana de vidrio} + \text{fibra}) - (\text{crisol} + \text{lana de vidrio})$$

Donde:

FNC = Fibra no corregida

$$2. \text{ \% FNC } = \frac{\text{FNC}}{\text{Pm}} * 100$$

Donde:

% FNC = % de Fibra no corregida

FNC = Fibra no corregida (mg)

Pm = Peso muestra (mg)

$$3. \text{ CNC (mg) } = (\text{crisol} + \text{celita} + \text{lana de vidrio}) - (\text{crisol} + \text{lana de vidrio})$$

Donde:

CNC = Ceniza no corregida

$$4. \text{ PNC (mg) } = \text{Normalidad HCl} * \text{mHCl} * 14,007 * 6,25$$

Donde:

PNC = Proteína no corregida

$$5. \text{ CC (mg) } = \frac{\text{Promedio FNC} * \text{CNC}}{\text{FAI}}$$

Donde:

CC = Ceniza corregida

Promedio FNC = Peso promedio de la fibra no corregida (mg)

CNC = Ceniza no corregida (mg)

FAI = Contenido de fibra en el crisol antes del incinerado (mg)

$$6. \text{ PC (mg) } = \frac{\text{Promedio FNC} * \text{PNC}}{\text{FUK}}$$

Donde:

PC = Proteína corregida

Promedio FNC = Peso promedio de la fibra no corregida (mg)

PNC = Proteína no corregida (mg)

FUK = Contenido de fibra en crisol usado para Kjeldahl (mg)

$$7. \text{ BC (mg) } = (\text{Promedio FB}) - (\text{CC} + \text{PC})$$

Donde:

BC = Blanco corregido

Promedio FB = Peso promedio de la fibra contenida en el blanco (mg)

CC = Ceniza corregida (mg)

PC = Proteína corregida (mg)

$$8. \quad FC \text{ (mg)} = \frac{(\text{Pr omedioFNC}) - (CC + PC + BC)}{\text{Pr omedioPm}}$$

Donde:

FC	=	Fibra corregida
FNC	=	Fibra no corregida (mg)
CC	=	Ceniza corregida (mg)
PC	=	Proteína corregida (mg)
BC	=	Blanco corregido (mg)
Promedio Pm	=	Peso promedio de la muestra (mg)

ANEXO III

ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS FACTORES ANTINUTRICIONALES DEL GRANO DE AMARANTO PROCESADO

1. Nitratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitratos (ppm)	15	0,75	0,65	87,48	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22 744,27	4	5 686,07	7,6	0,0044
Tratamientos	22 744,27	4	5 686,07	7,6	0,0044
Error	7 481,67	10	748,17		
Total	30 225,93	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=73,49621					
Error: 748,1667 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	0,00	3	15,79	A	
2	0,00	3	15,79	A	
1	0,00	3	15,79	A	
5	67,00	3	15,79	A	B
4	89,33	3	15,79		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

2. Ácido oxálico

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Ácido oxálico (%)	15	0,89	0,85	11,94		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	0,34	4	0,08	20,9	0,0001	
Tratamientos	0,34	4	0,08	20,9	0,0001	
Error	0,04	10	4,00E-03			
Total	0,38	14				
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17065						
Error: 0,0040 gl: 10						
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
2	0,34	3	0,04	A		
5	0,41	3	0,04	A	B	
3	0,53	3	0,04		B	C
1	0,61	3	0,04			C D
4	0,76	3	0,04			D
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)						

3. Ácido fítico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido fítico (%)	15	1	0,99	2,67	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,30	4	0,08	531,38	<0,0001
Tratamientos	0,30	4	0,08	531,38	<0,0001
Error	0,00	10	1,40E-04		
Total	0,30	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03200					
Error: 0,0001 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	0,30	3	0,01	A	
2	0,33	3	0,01	A	
5	0,41	3	0,01		B
4	0,50	3	0,01		C
1	0,70	3	0,01		D
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

4. Taninos

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Taninos (mg/100 g muestra)..	15	0,85	0,8	33,13		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	77 885,40	4	19 471,35	14,72	0,0003	
Tratamientos	77 885,40	4	19 471,35	14,72	0,0003	
Error	13 228,71	10	1 322,87			
Total	91 114,11	14				
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=97,72923						
Error: 1 322,8708 gl: 10						
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
2	0,58	3	21	A		
3	52,42	3	21	A	B	
4	135,08	3	21		B	C
1	172,42	3	21			C
5	188,42	3	21			C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)						

5. Inhibidores de tripsina

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	15	0,99	0,99	8,4	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	842 595,24	4	210 648,81	233,29	<0,0001
Tratamientos	842 595,24	4	210 648,81	233,29	<0,0001
Error	9 029,45	10	902,94		
Total	851 624,69	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=80,74141					
Error: 902,9448 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
2	157,17	3	17,35	A	
5	164,37	3	17,35	A	
3	230,30	3	17,35	A	
4	457,37	3	17,35		B
1	778,54	3	17,35		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

6. Fibra dietética total

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Fibra dietética total (%)	15	0,65	0,51	12,63	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	110,27	4	27,57	4,66	0,0221
Tratamientos	110,27	4	27,57	4,66	0,0221
Error	59,17	10	5,92		
Total	169,43	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,53588					
Error: 5,9167 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
4	16,67	3	1,4	A	
5	17,00	3	1,4	A	B
2	17,67	3	1,4	A	B
3	21,67	3	1,4	A	B
1	23,33	3	1,4		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

ANEXO IV

**ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS
FACTORES ANTINUTRICIONALES DEL GRANO DE SANGORACHE
PROCESADO**

1. Nitratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitratos (ppm)	15	0,93	0,9	32,52	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	148 436,27	4	37 109,07	33,24	<0,0001
Tratamientos	148 436,27	4	37 109,07	33,24	<0,0001
Error	11 162,65	10	1,12E+03		
Total	159 598,91	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=89,77374					
Error: 1 116,2647 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,00	3	19,29	A	
2	0,00	3	19,29	A	
3	111,67	3	19,29		B
5	134,00	3	19,29		B
4	268,00	3	19,29		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

2. Ácido oxálico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido oxálico (%)	15	0,75	0,66	12,4	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,11	4	0,03	7,65	0,0043
Tratamientos	0,11	4	0,03	7,65	0,0043
Error	0,04	10	3,50E-03		
Total	0,14	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15972					
Error: 0,0035 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
2	0,41	3	0,03	A	
3	0,42	3	0,03	A	
5	0,42	3	0,03	A	
1	0,51	3	0,03	A	B
4	0,63	3	0,03		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

3. Ácido fítico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido fítico (%)	15	0,97	0,96	3,2	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,28	4	0,07	91,56	<0,0001
Tratamientos	0,28	4	0,07	91,56	<0,0001
Error	0,01	10	7,70E-04		
Total	0,29	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07454					
Error: 0,0008 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,72	3	0,02	A	
4	0,77	3	0,02	A	
3	0,79	3	0,02	A	
5	1,00	3	0,02		B
2	1,06	3	0,02		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

4. Taninos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Taninos (mg/100 g muestra)..	15	0,96	0,95	8,52	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	89 198,93	4	22 299,73	68,77	<0,0001
Tratamientos	89 198,93	4	22 299,73	68,77	<0,0001
Error	3 242,67	10	3,24E+02		
Total	92 441,60	14			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=48,38569					
Error: 324,2667 gl: 10					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
4	156,42	3	10,4	A	
5	159,08	3	10,4	A	
3	175,08	3	10,4	A	
2	204,42	3	10,4	A	
1	361,75	3	10,4		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

5. Inhibidores de tripsina

Análisis de la varianza								
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV				
Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	15	1	1	1,61				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)								
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor			
Modelo	907 490,07	4	226 872,52	1 596,47	<0,0001			
Tratamientos	907 490,07	4	226 872,52	1 596,47	<0,0001			
Error	1 421,08	10	1,42E+02					
Total	908 911,16	14						
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=32,03138								
Error: 142,1084 gl: 10								
Tratamientos	Medias	n	E.E.					
2	432,56	3	6,88	A				
5	565,14	3	6,88		B			
3	686,51	3	6,88			C		
4	904,35	3	6,88				D	
1	1 124,14	3	6,88					E
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)								

6. Fibra dietética total

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Fibra dietética total (%)	15	0,94	0,91	4,5		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	134,93	4	33,73	37,56	<0,0001	
Tratamientos	134,93	4	33,73	37,56	<0,0001	
Error	8,98	10	9,00E-01			
Total	143,91	14				
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,54627						
Error: 0,8980 gl: 10						
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
4	17,67	3	0,55	A		
5	19,00	3	0,55	A	B	
3	20,33	3	0,55		B	C
2	22,00	3	0,55			C
1	26,33	3	0,55			D
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)						

ANEXO V

ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LAS HOJAS DE AMARANTO

1. Nitratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitratos (ppm)	9	0,92	0,9	33,12	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	236 670,06	2	118 335,03	35,25	0,0005
Tratamientos	236 670,06	2	118 335,03	35,25	0,0005
Error	20 140,65	6	3,36E+03		
Total	256 810,70	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=145,14100					
Error: 3 356,7744 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,00	3	33,45	A	
3	134,00	3	33,45	A	
2	390,83	3	33,45		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

2. Ácido oxálico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido oxálico (%)	9	0,93	0,91	3,18	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,01	41,66	0,0003
Tratamientos	0,03	2	0,01	41,66	0,0003
Error	0,00	6	3,60E-04		
Total	0,03	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04724					
Error: 0,0004 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	0,55	3	0,01	A	
1	0,55	3	0,01	A	
2	0,67	3	0,01		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

3. Ácido fítico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido fítico (%)	9	0,994	0,991	7,197	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,021	2	0,01	467,06	<0,0001
Tratamientos	0,021	2	0,01	467,06	<0,0001
Error	0,000	6	2,20E-05		
Total	0,021	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,01184					
Error: 0,0000 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	0,029	3	0,003	A	
1	0,035	3	0,003	A	
2	0,134	3	0,003		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

4. Taninos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Taninos (mg/100 g muestra)..	9	0,97	0,96	9,37	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	810 282,67	2	405 141,33	100,13	<0,0001
Tratamientos	810 282,67	2	405 141,33	100,13	<0,0001
Error	24 277,33	6	4,05E+03		
Total	834 560,00	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=159,35067					
Error: 4 046,2222 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	279,08	3	36,73	A	
3	756,42	3	36,73		B
2	1 001,75	3	36,73		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

5. Saponinas

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Saponinas (mg/100 g muestra)	9	0,98	0,97	26,47	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	404,99	2	202,49	128,41	<0,0001
Tratamientos	404,99	2	202,49	128,41	<0,0001
Error	9,46	6	1,58E+00		
Total	414,45	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,14580					
Error: 1,5769 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,00	3	0,73	A	
3	0,00	3	0,73	A	
2	14,23	3	0,73		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

6. Inhibidores de tripsina

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	9	0,99	0,99	1,36	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40 813,18	2	20 406,59	428,64	<0,0001
Tratamientos	40 813,18	2	20 406,59	428,64	<0,0001
Error	285,64	6	4,76E+01		
Total	41 098,83	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=17,28488					
Error: 47,6074 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
2	447,10	3	3,98	A	
1	473,01	3	3,98		B
3	601,13	3	3,98		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

7. Fibra dietética total

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Fibra dietética total (%)	9	0,99	0,99	4,27	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,33	2	15,66	343,83	<0,0001
Tratamientos	31,33	2	15,66	343,83	<0,0001
Error	0,27	6	5,00E-02		
Total	31,60	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,53469					
Error: 0,0456 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	2,57	3	0,12	A	
2	5,33	3	0,12		B
1	7,10	3	0,12		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

ANEXO VI

ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LAS HOJAS DE SANGORACHE

1. Nitratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitratos (ppm)	9	0,95	0,93	8,76	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2 269 438,89	2	1 134 719,44	55,1	0,0001
Tratamientos	2 269 438,89	2	1 134 719,44	55,1	0,0001
Error	123 562,76	6	2,06E+04		
Total	2 393 001,65	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=359,49860					
Error: 20 593,7941 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	1 228,33	3	82,85	A	
3	1 340,00	3	82,85	A	
2	2 345,00	3	82,85		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

2. Ácido oxálico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido oxálico (%)	9	0,68	0,57	18,58	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	2	0,04	6,33	0,0333
Tratamientos	0,09	2	0,04	6,33	0,0333
Error	0,04	6	1,00E-02		
Total	0,13	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,20843					
Error: 0,0069 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	0,37	3	0,05	A	
1	0,39	3	0,05	A	B
2	0,59	3	0,05		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

3. Ácido fítico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido fítico (%)	9	0,979	0,971	10,603	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	0,004	136,612	<0,0001
Tratamientos	0,01	2	0,004	136,612	<0,0001
Error	0,00	6	3,20E-05		
Total	0,01	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,01420					
Error: 0,0000 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,010	3	0,003	A	
3	0,068	3	0,003		B
2	0,082	3	0,003		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)					

4. Taninos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Taninos (mg/100 g muestra)..	9	0,98	0,98	5,31	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	717 880,89	2	358 940,44	168,15	<0,0001
Tratamientos	717 880,89	2	358 940,44	168,15	<0,0001
Error	12 808,07	6	2,13E+03		
Total	730 688,96	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=115,74313					
Error: 2 134,6783 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	471,08	3	26,68	A	
3	1 041,75	3	26,68		B
2	1 095,08	3	26,68		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

5. Saponinas

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Saponinas (mg/100 g muestra)	9	1	0,99	10,77	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	483,81	2	241,91	775,98	<0,0001
Tratamientos	483,81	2	241,91	775,98	<0,0001
Error	1,87	6	3,10E-01		
Total	485,68	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,39871					
Error: 0,3117 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,00	3	0,32	A	
3	0,00	3	0,32	A	
2	15,55	3	0,32		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

6. Inhibidores de tripsina

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Inhibidores de tripsina (UIT/g)	9	1	1	1,25	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	114 491,20	2	57 245,6	1 310,63	<0,0001
Tratamientos	114 491,20	2	57 245,6	1 310,63	<0,0001
Error	262,07	6	4,37E+01		
Total	114 753,27	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=16,55615					
Error: 43,6778 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
2	373,33	3	3,82	A	
3	576,29	3	3,82		B
1	637,14	3	3,82		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

7. Fibra dietética total

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Fibra dietética total (%)	9	0,95	0,93	13,52	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40,82	2	20,41	55,66	0,0001
Tratamientos	40,82	2	20,41	55,66	0,0001
Error	2,20	6	3,70E-01		
Total	43,02	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,51693					
Error: 0,3667 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	1,47	3	0,35	A	
2	5,93	3	0,35		B
1	6,03	3	0,35		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

ANEXO VII

**ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS
FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LOS LÍQUIDOS RESIDUALES
DEL GRANO DE AMARANTO**

1. Nitratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitratos (ppm)	9	1	1	3,96	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	45 000,00	2	22 500	2 926,36	<0,0001
Tratamientos	45 000,00	2	22 500	2 926,36	<0,0001
Error	46,13	6	7,69E+00		
Total	45 046,13	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,94634					
Error: 7,6887 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	170,00	3	1,6	A	
3	20,00	3	1,6		B
2	20,00	3	1,6		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

2. Ácido oxálico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido oxálico (%)	9	0,96	0,95	8,26	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,39	2	0,19	82,52	<0,0001
Tratamientos	0,39	2	0,19	82,52	<0,0001
Error	0,01	6	2,30E-03		
Total	0,40	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12143					
Error: 0,0023 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,88	3	0,03	A	
2	0,45	3	0,03		B
3	0,43	3	0,03		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

3. Ácido fítico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido fítico (%)	9	0,92	0,89	9,84	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,0029	2	1,50E-03	34,22	0,0005
Tratamientos	0,0029	2	1,50E-03	34,22	0,0005
Error	0,0003	6	4,20E-05		
Total	0,0032	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,01632					
Error: 0,0000 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,090	3	3,80E-03	A	
2	0,060	3	3,80E-03		B
3	0,050	3	3,80E-03		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

4. Taninos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Taninos (mg/100 g muestra)..	9	0,8	0,74	34,82	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6 072,89	2	3 036,44	12,2	0,0077
Tratamientos	6 072,89	2	3 036,44	12,2	0,0077
Error	1 493,33	6	2,49E+02		
Total	7 566,22	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=39,52135					
Error: 248,8889 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
2	71,08	3	9,11	A	
3	55,08	3	9,11	A	
1	9,75	3	9,11		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

5. Inhibidores de tripsina

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Inhibidores de tripsina (UIT/g)	9	0,87	0,82	1,62	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79,85	2	39,92	19,59	0,0023
Tratamientos	79,85	2	39,92	19,59	0,0023
Error	12,23	6	2,04E+00		
Total	92,07	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,57624					
Error: 2,0380 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	92,52	3	0,82	A	
2	86,35	3	0,82		B
1	86,06	3	0,82		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

ANEXO VIII

**ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS
FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LOS LÍQUIDOS RESIDUALES
DEL GRANO DE SANGORACHE**

1. Nitratos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitratos (ppm)	9	0,7	0,61	28,15	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40 032,00	2	20 016	7,15	0,0259
Tratamientos	40 032,00	2	20 016	7,15	0,0259
Error	16 808,00	6	2,80E+03		
Total	56 840,00	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=132,59020					
Error: 2 801,3333 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
2	252,00	3	30,56	A	
3	216,00	3	30,56	A	B
1	96,00	3	30,56		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

2. Ácido oxálico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido oxálico (%)	9	0,98	0,97	6,96	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,47	2	0,24	146,27	<0,0001
Tratamientos	0,47	2	0,24	146,27	<0,0001
Error	0,01	6	1,60E-03		
Total	0,48	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10048					
Error: 0,0016 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	0,90	3	0,02	A	
2	0,42	3	0,02		B
3	0,41	3	0,02		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

3. Ácido fítico

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ácido fítico (%)	9	0,9932	0,9909	11,7844	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,0533	2	0,0267	435,8993	<0,0001
Tratamientos	0,0533	2	0,0267	435,8993	<0,0001
Error	0,0004	6	1,00E-04		
Total	0,0537	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,01959					
Error: 0,0001 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	0,1750	3	0,0045	A	
2	0,0181	3	0,0045		B
1	0,0060	3	0,0045		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

4. Taninos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Taninos (mg/100 g muestra)..	9	0,55	0,4	88,34	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7 031,01	2	3 515,51	3,69	0,0902
Tratamientos	7 031,01	2	3 515,51	3,69	0,0902
Error	5 717,33	6	9,53E+02		
Total	12 748,35	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=77,33038					
Error: 952,8889 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	68,42	3	17,82	A	
2	36,42	3	17,82	A	
1	0,00	3	17,82	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

5. Saponinas

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Saponinas (mg/100 g muestr..)	9	0,83	0,78	14,67	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	340,52	2	170,26	15,18	0,0045
Tratamientos	340,52	2	170,26	15,18	0,0045
Error	67,29	6	1,12E+01		
Total	407,81	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,38951					
Error: 11,2154 gl: 6					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
3	30,92	3	1,93	A	
1	21,54	3	1,93	B	
2	16,02	3	1,93	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)					

6. Inhibidores de tripsina

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Inhibidores de tripsina (UIT/g muestra)	9	1	1	2,43		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	11 409,94	2	5 704,97	3 840,47	<0,0001	
Tratamientos	11 409,94	2	5 704,97	3 840,47	<0,0001	
Error	8,91	6	1,49E+00			
Total	11 418,85	8				
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,05326						
Error: 1,4855 gl: 6						
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
2	79,300	3	0,7	A		
3	71,100	3	0,7		B	
1	0,000	3	0,7			C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)						

ANEXO IX

MATERIAL VEGETAL EMPLEADO

Grano de amaranto INIAP-Alegría



Grano de sangorache ECU-17 758



Hojas de amaranto INIAP-Alegría



Hojas de sangorache ECU-17 758

