



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

Estudio Nutricional de la Composición Mineral
de los Arroces de Calasparra.

D. Rafael Herrero Delicado

2015



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

UNIVERSIDAD DE MURCIA

Departamento de Tecnología de Alimentos, Nutrición y Bromatología

Facultad de Veterinaria

TESIS DOCTORAL

***Estudio nutricional de la composición mineral
de los arroces de Calasparra.***

Rafael Herrero Delicado

2015



D^ª. MARIA JESUS PERIAGO CASTÓN, CATEDRÁTICA DE UNIVERSIDAD Y MARINA SANTAELLA PASCUAL, PROFESORA DEL ÁREA DE NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS, NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA,

I N F O R M A N

Que la Tesis Doctoral presentada por el Licenciado en Farmacia **Rafael Herrero Delicado** con el título *“Estudio nutricional de la composición mineral de los arroces de Calasparra”* se ha llevado a cabo bajo su dirección tras la realización del período de investigación en el grupo de investigación E098-02, y que cumple los requisitos para su presentación y defensa.

Para que conste donde proceda y surta los efectos oportunos firmo el presente informe en Murcia a 6 de Noviembre de 2015.

Vº Bº de los Directores:

Dra. M^ª Jesús Periago Castón

Dra. Marina Santaella Pascual

Parte de los resultados presentados en esta Tesis han sido incluidos
en la siguiente publicación:

*María Jesús Pascual Villalobos. **La calidad del arroz de Calasparra**. Publicaciones
Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. DL: MU1305-2010.*

*“Me puedo caer, me puedo herir, puedo quebrarme,
pero con eso no desaparecerá mi fuerza de voluntad.”*

Madre Teresa de Calcuta

A Ana

AGRADECIMIENTOS

Dicen que es de bien nacido ser agradecido y, afortunadamente, tengo muchas cosas en mi vida por las que dar las gracias.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas, que de un modo u otro han formado parte de esta importante etapa:

En primer lugar a Ana, por ser un pilar básico en mi vida, por apoyarme incondicionalmente con su sonrisa y optimismo, ayudando a organizarme y a sacar tiempo para dedicar a esta Tesis, sin perderme los dos fabulosos años de nuestra preciosa hija Blanca y la esperada llegada de la pequeña Ana.

Por supuesto a mi familia, especialmente, a mi padre y mi madre, por sentirse orgullosos de mí y por inculcarme la importancia del sacrificio para conseguir tus objetivos en la vida, lo cual me ha dado el empuje necesario para continuar. Y a mis hermanos, Myriam y Gonzalo, por preocuparse por mí, por recordarme sin agobios que tengo esta tarea pendiente y por el apoyo logístico.

A la profesora M^a. Jesús Periago, por la dirección de esta Tesis, por la motivación transmitida desde los comienzos de los cursos de doctorado, por su apoyo incondicional, confianza y cercanía, así como por su interés en ir solventando las intermitencias que nos han ido surgiendo durante estos años, lo cual me ha permitido finalizar este trabajo.

A la profesora Marina Santaella, primeramente, por su empatía y sus mensajes de apoyo en los momentos difíciles, pero también por la codirección de esta Tesis, por sus correcciones y oportunas aportaciones, así como por desvelar los entresijos del espectrómetro de absorción atómica, resolviendo con claridad las múltiples incidencias que se iban cruzando en mi camino.

A la profesora Carmen Frontela, por su paciencia en la dirección del Trabajo Fin del Master en Alimentación y Salud, dando forma a los pilares de esta Tesis Doctoral.

A la Dra. M^a Jesús Pascual, del IMIDA, por su amabilidad en facilitar las muestras que han sido objeto de análisis en el estudio principal de esta Tesis.

A Karin Jacob, por guiarme en mis primeros pasos en la investigación, compartiendo su experiencia en la determinación de la actividad antioxidante de alimentos.

A la profesora Herminia López García de la Serrana, por la dirección de mi tesina de licenciatura y por su ayuda desde la distancia en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada.

A Guadalupe Ruiz Merino, de la Fundación para la Formación e Investigación Sanitarias de la Región de Murcia (FFIS), por su enorme ayuda al compartir sus amplios conocimientos en el análisis estadístico de datos, así como a Julio López-Picazo, Coordinador de Calidad Asistencial del Servicio Murciano de Salud, por su disponibilidad y dedicar su tiempo desinteresadamente.

A Zaira, por su colaboración como alumna interna del Departamento y por la buena coordinación en las determinaciones de cuantificación proteica. Y a Ana García por su gran ayuda, durante su período de prácticas, en los últimos análisis de fibra para poder llegar a tiempo a la recta final.

A los compañeros con los que compartí mis largas tardes de laboratorio, especialmente a Gala, Elvira, Sergio y Joaquín, por transmitir con su trabajo incansable esa ilusión por la investigación. A Amparo, por contagiar paz con su sonrisa y a Toñi, por su profesionalidad y muestras de afecto.

Al equipo del profesor Ajit Varma, por su buena acogida durante mi estancia en Amity University de Nueva Delhi y permitirme trabajar en sus laboratorios, en especial a Sangita Talukdar y Soniya Bharadwaj por involucrarme en el proyecto “Nutritional enhancement in Indian diet”, familiarizarme con los cultivos hidropónicos de arroz, conocer la *Piriformospora indica* y darme una visión internacional de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

<u>I. INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>II. OBJETIVOS</u>	7
1. OBJETIVOS GENERALES	9
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
<u>III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	11
1. EL ARROZ	13
1.1 Características generales	13
1.2 Composición química y valor nutritivo	17
1.2.1. Hidratos de Carbono	17
1.2.2. Proteínas	18
1.2.3. Grasas	19
1.2.4. Vitaminas	20
1.2.5. Minerales	20
2. BIODISPONIBILIDAD MINERAL	23
2.1. Concepto de biodisponibilidad	23
2.2. Factores que influyen en la biodisponibilidad	24
2.3. Biodisponibilidad del hierro	27
2.4. Biodisponibilidad del cinc	29
2.5. Biodisponibilidad del calcio	31
2.6. Biodisponibilidad de otros minerales	32
2.7. Nuevos procesos tecnológicos	32
2.8. Métodos de determinación in vitro de la biodisponibilidad mineral	38
3. FIBRA DIETÉTICA	39
3.1. Definición	39
3.2. Efectos fisiológicos	41
3.3. Efectos antinutritivos	43

4. ALMIDON RESISTENTE Y AMILOSA.	45
4.1. <i>Definición</i>	45
4.2. <i>Efectos fisiológicos</i>	47
4.3. <i>Amilosa y propiedades organolépticas del arroz</i>	50
5. DENOMINACIÓN DE ORIGEN ARROZ DE CALASPARRA.	52
5.1. <i>Producción y procesado</i>	60
IV. MATERIAL Y MÉTODOS.	65
1. MUESTRAS.	67
2. DISEÑO EXPERIMENTAL.	67
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y ANALÍTICA.	71
3.1. <i>Preparación de la muestra</i>	71
3.1.1. <i>Muestras crudas</i>	71
3.1.2. <i>Muestras cocidas</i>	72
3.1.2.1. <i>Estudio preliminar</i>	72
3.1.2.2. <i>Estudio principal</i>	72
3.2. <i>Determinaciones analíticas</i>	73
3.2.1. <i>Determinación de cenizas</i>	73
3.2.2. <i>Determinación del contenido mineral por ICP</i>	74
3.2.3. <i>Determinación del contenido mineral por EAA</i>	76
3.2.4. <i>Determinación de la densidad de nutrientes</i>	80
3.2.5. <i>Determinación del cómputo mineral</i>	81
3.2.6. <i>Determinación de la solubilidad mineral in vitro</i>	81
3.2.7. <i>Determinación de Fibra Dietética Total</i>	84
3.2.8. <i>Determinación de Amilosa y almidón resistente</i>	88
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	92

<u>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	95
1. ESTUDIO PRELIMINAR	97
1.1. <i>Determinación del contenido mineral</i>	97
1.2. <i>Determinación de Fibra Dietética Total</i>	113
2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS Y CONTENIDO MINERAL	115
2.1. <i>Arroz crudo</i>	115
2.1.1. <i>Pérdida mineral en el descascarillado</i>	120
2.2. <i>Arroz cocido</i>	123
3. DETERMINACIÓN DEL CÓMPUTO MINERAL	129
4. DETERMINACIÓN DE SOLUBILIDAD MINERAL “IN VITRO”	137
4.1. <i>Arroz crudo</i>	137
4.2. <i>Arroz cocido</i>	143
5. DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETÉTICA TOTAL	153
5.1. <i>Arroz crudo</i>	153
5.2. <i>Arroz cocido</i>	158
5.3. <i>Relación entre FDT y solubilidad mineral</i>	163
6. DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y ALMIDÓN RESISTENTE	166
<u>VI. CONCLUSIONES</u>	173
<u>VII. RESUMEN</u>	177
<u>VIII. SUMMARY</u>	181
<u>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	185

ÍNDICE DE FIGURAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. <i>Porcentaje de aporte energético del arroz por áreas.</i>	17
Figura 2. <i>Cultivo de Piriformospora indica en medio Kaefer (Sólido y Caldo).</i>	37
Figura 3. <i>Cultivos hidropónicos de arroz con diferentes concentraciones de P. indica.</i> .	37
Figura 4. <i>Estructura química del almidón y la amilopectina</i>	46
Figura 5. <i>Localización Geográfica de la D.O. Calasparra.</i>	53
Figura 6. <i>Logotipos de las D.O.P e I.G.P. de arroz en España.</i>	53
Figura 7. <i>Superficie sembrada (Ha).</i>	54
Figura 8. <i>Producción anual de arroz D.O. Calasparra (kg).</i>	54
Figura 9. <i>Imagen Satélite SPOT año 2005.</i>	55
Figura 10. <i>Vista aérea de distintos parajes del Coto Arrocerero de Calasparra.</i>	56
Figura 11. <i>Variedades de arroz (Oryza sativa).</i>	57
Figura 12. <i>Variedades más frecuentes de arroz (Oryza sativa).</i>	57
Figura 13. <i>Contenido de amilosa en el arroz de Calasparra, según variedades y año de cultivo.</i>	59

MATERIAL Y MÉTODOS

Figura 14. <i>Esquema del diseño experimental.</i>	70
Figura 15. <i>Digestor autoclave-microondas.</i>	75
Figura 16. <i>Espectrofotómetro de emisión por ICP.</i>	76
Figura 17. <i>Espectrofotómetro de absorción atómica.</i>	77
Figura 18. <i>Esquema de preparación de patrones minerales para espectrometría de absorción atómica.</i>	79
Figura 19. <i>Equipo para la determinación de fibra.</i>	85
Figura 20. <i>Equipo para la determinación de proteínas.</i>	85

Figura 21. <i>Espectrofotómetro UV-V.</i>	89
--	-----------

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 22. <i>Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad Bomba.</i>	98
--	-----------

Figura 23. <i>Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad BxS.</i>	99
--	-----------

Figura 24. <i>Proporción mineral (%) en las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica.</i>	99
---	-----------

Figura 25. <i>Proporción mineral (%) en las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica.</i>	100
--	------------

Figura 26. <i>Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad Bomba cocidas mediante Proceso 1.</i>	103
---	------------

Figura 27. <i>Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad BxS, cocidas mediante Proceso 1.</i>	104
--	------------

Figura 28. <i>Proporción mineral (%) en las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 1.</i>	104
---	------------

Figura 29. <i>Proporción mineral (%) en las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 1.</i>	105
--	------------

Figura 30. <i>Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad Bomba cocidas mediante Proceso 2.</i>	107
---	------------

Figura 31. <i>Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad BxS, cocidas mediante Proceso 2.</i>	107
--	------------

Figura 32. <i>Proporción mineral (%) en las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 2.</i>	108
---	------------

Figura 33. <i>Proporción mineral (%) en las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 2.</i>	108
--	------------

Figura 34. <i>Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras elaboradas de la variedad Bomba.</i>	111
---	------------

Figura 35. <i>Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras elaboradas de la variedad BxS.</i>	111
---	------------

Figura 36. <i>Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras semi-integrales, variedad BxS y producción ecológica. . .</i>	112
Figura 37. <i>Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica.</i>	112
Figura 38. <i>Porcentaje medio de pérdida mineral en el descascarillado.</i>	121
Figura 39. <i>Porcentaje medio de pérdida mineral en el descascarillado, por variedades.</i>	122
Figura 40. <i>Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz crudo.</i>	139
Figura 41. <i>Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz crudo (integral y elaborado).</i>	139
Figura 42. <i>Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz cocinado.</i>	144
Figura 43. <i>Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz cocinado (integral y elaborado).</i>	145
Figura 44. <i>Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Mg% de las muestras de arroz crudas y cocidas.</i>	149
Figura 45. <i>Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Zn% de las muestras de arroz crudas y cocidas.</i>	149
Figura 46. <i>Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Ca% de las muestras de arroz crudas y cocidas.</i>	150
Figura 47. <i>Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Fe% de las muestras de arroz crudas y cocidas.</i>	150
Figura 48. <i>Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral K% de las muestras de arroz crudas y cocidas.</i>	151
Figura 49. <i>Variación de la solubilidad mineral (%) tras la cocción (integral y elaborado).</i>	151
Figura 50. <i>Variación del contenido de FDT tras el procesado de las muestras integrales.</i>	154
Figura 51. <i>Variación del contenido de FDT tras la cocción de las muestras (%).</i>	159
Figura 52. <i>Gráfico de medias de FDT(%) en granos cocidos (integrales y blancos), según la variedad.</i>	161

Figura 53. *Gráfico de medias de FDT(%) en arroz crudo y cocinado, según la variedad. 161*

Figura 54. *Diagrama de caja y bigotes: porcentaje de amilosa según variedades. . . 167*

Figura 55. *Diagrama de caja y bigotes: porcentaje de amilosa, según paraje de cultivo. 169*



ÍNDICE DE TABLAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 1. <i>Evolución del consumo de arroz en España (g/persona y día).</i>	14
Tabla 2. <i>Composición nutricional del arroz crudo, por 100 g de porción comestible.</i> ..	16
Tabla 3. <i>Parámetros que intervienen en la biodisponibilidad de los micronutrientes.</i> ..	24
Tabla 4. <i>Clasificación de la fibra dietética.</i>	40
Tabla 5. <i>Características culinarias de los arroces de bajo y alto contenido en amilosa.</i>	51
Tabla 6. <i>Características del Grano Crudo elaborado Balilla x Sollana.</i>	58

MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 7. <i>Muestras analizadas en Etapas 1, 2 y 3.</i>	69
Tabla 8. <i>Muestras analizadas en Etapa 4.</i>	71
Tabla 9. <i>Recomendaciones de preparación de patrones minerales.</i>	79
Tabla 10. <i>Especificaciones del mechero y flujo de combustible en EAA.</i>	80
Tabla 11. <i>Parametrización del equipo de EAA.</i>	80

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 12. <i>Contenido mineral de interés nutricional en muestras comerciales de arroz crudo (mg/100g).</i>	97
Tabla 13. <i>Contenido mineral complementario en muestras comerciales de arroz crudo (mg/100g).</i>	97
Tabla 14. <i>Contenido de humedad (%) en muestras comerciales cocidas - Proceso 1.</i> ..	101
Tabla 15. <i>Contenido de humedad (%) en muestras comerciales cocidas - Proceso 2.</i> ..	101
Tabla 16. <i>Contenido mineral de interés nutricional en muestras comerciales cocidas - Proceso 1 (mg/100g peso seco).</i>	102
Tabla 17. <i>Contenido mineral complementario en muestras comerciales cocidas - Proceso 1 (mg/100g peso seco).</i>	102

Tabla 18. <i>Contenido mineral de interés nutricional en muestras comerciales cocidas - Proceso 2 (mg/100g peso seco).</i>	106
Tabla 19. <i>Contenido mineral complementario en muestras comerciales cocidas - Proceso 2 (mg/100g peso seco).</i>	106
Tabla 20. <i>Contenido mineral de interés nutricional en agua sobrante – Proceso 2 (mg/100g peso seco).</i>	110
Tabla 21. <i>Contenido mineral complementario en agua sobrante – Proceso 2 (mg/100g peso seco).</i>	110
Tabla 22. <i>Contenido de FDT (%) en muestras comerciales.</i>	113
Tabla 23. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz crudo (mg/100g) y contenido de cenizas (%).</i>	116
Tabla 24. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz crudo, por variedades (mg/100g).</i>	118
Tabla 25. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz crudo, por parajes (mg/100g).</i>	119
Tabla 26. <i>Porcentaje medio de pérdida mineral en el descascarillado de las muestras.</i>	121
Tabla 27. <i>Analítica representativa del agua de la red pública (mg/L).</i>	123
Tabla 28. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz cocinado (mg/100g de peso fresco) y contenido de cenizas (%).</i>	124
Tabla 29. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz cocinado (mg/100g de peso seco).</i>	125
Tabla 30. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz cocinado, por variedades (mg/100g de peso seco).</i>	126
Tabla 31. <i>Contenido mineral de las muestras de arroz cocinado, por parajes (mg/100g de peso seco).</i>	127
Tabla 32. <i>Energía aportada por las distintas formas de arroz.</i>	130
Tabla 33. <i>Ingestas recomendadas de energía y nutrientes para la población española entre 10 y más de 60 años.</i>	130
Tabla 34. <i>Cómputo de magnesio de 150 g de arroz, para la población española.</i> ...	131

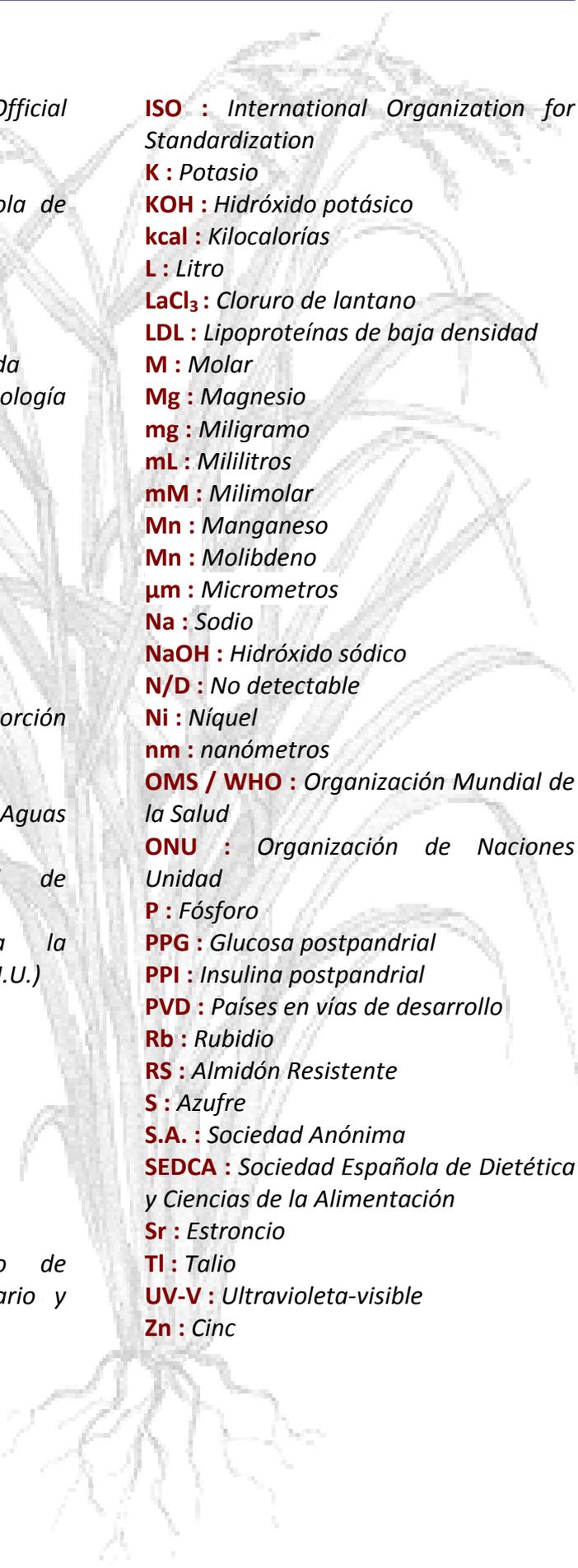
Tabla 35. <i>Cómputo de cinc de 150 g de arroz, para la población española.</i>	132
Tabla 36. <i>Cómputo de calcio de 150 g de arroz, para la población española.</i>	132
Tabla 37. <i>Cómputo de hierro de 150 g de arroz, para la población española.</i>	133
Tabla 38. <i>Cómputo de potasio de 150 g de arroz, para la población española.</i>	133
Tabla 39 <i>Cómputo de sodio de 150 g de arroz, para la población española.</i>	134
Tabla 40. <i>Solubilidad mineral de las muestras de arroz crudo (%).</i>	138
Tabla 41. <i>Solubilidad mineral de las muestras de arroz crudo, por variedades (%). ..</i>	141
Tabla 42. <i>Solubilidad mineral de las muestras de arroz crudo, por parajes (%).</i>	142
Tabla 43. <i>Solubilidad mineral de las muestras de arroz cocinado (%).</i>	143
Tabla 44. <i>Solubilidad mineral de las muestras de arroz cocinado, por variedades (%).</i>	147
Tabla 45. <i>Solubilidad mineral de las muestras de arroz cocinado, por parajes (%).</i>	148
Tabla 46. <i>Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz crudo.</i>	153
Tabla 47. <i>Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz crudo, por variedades.</i>	155
Tabla 48. <i>Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz crudo, por parajes.</i>	157
Tabla 49. <i>Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz cocinado.</i>	158
Tabla 50. <i>Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz cocinado, por variedades.</i>	160
Tabla 51. <i>Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz cocinado, por parajes.</i>	162
Tabla 52. <i>Composición de amilosa en las muestras de arroz crudo, por variedades (%).</i>	166
Tabla 53. <i>Composición de amilosa en las muestras de arroz crudo, por parajes (%).</i>	168

Tabla 54. *Composición de amilosa en las muestras de arroz crudo (%)*..... **170**

Tabla 55. *Contenido de almidón resistente (RS) y almidón soluble digerible (DS), según el tipo de arroz.* **171**



ABREVIATURAS



A.O.A.C. : Association of Official Analytical Chemists	ISO : International Organization for Standardization
Al : Aluminio	K : Potasio
BEDCA : Base de Datos Española de Composición de Alimentos	KOH : Hidróxido potásico
B : Boro	kcal : Kilocalorías
BxS : Balilla X Sollana	L : Litro
Ca : Calcio	LaCl₃ : Cloruro de lantano
CDR : Cantidad diaria recomendada	LDL : Lipoproteínas de baja densidad
CEBAS : Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura	M : Molar
cm : Centímetros	Mg : Magnesio
Cr : Cromo	mg : Miligramo
Cu : Cobre	mL : Mililitros
Da. : Daltons	mM : Milimolar
D.E. : Desviación estándar	Mn : Manganeso
DM2 : Diabetes Mellitus tipo 2	Mn : Molibdeno
D.O. : Denominación de Origen	µm : Micrometros
DS : Almidón Soluble Digerible	Na : Sodio
EAA : Espectrometría de Absorción Atómica	NaOH : Hidróxido sódico
Eco : Ecológico	N/D : No detectable
EMUASA : Empresa municipal de Aguas de Saneamiento de Murcia S.A.	Ni : Níquel
ENAC : Entidad Nacional de Acreditación	nm : nanómetros
FAO : Organización para la Alimentación y la Agricultura (O.N.U.)	OMS / WHO : Organización Mundial de la Salud
FDT : Fibra Dietética Total	ONU : Organización de Naciones Unidas
Fe : Hierro	P : Fósforo
FOS : Fructooligosacáridos	PPG : Glucosa postpandrial
g : Gramo	PPI : Insulina postpandrial
GOS : Galactooligosacáridos	PVD : Países en vías de desarrollo
HCl : Ácido Clorhídrico	Rb : Rubidio
HNO₃ : Ácido Nítrico	RS : Almidón Resistente
ICP : Inductively Coupled Plasma	S : Azufre
IMIDA : Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario	S.A. : Sociedad Anónima
	SEDCA : Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación
	Sr : Estroncio
	Tl : Talio
	UV-V : Ultravioleta-visible
	Zn : Zinc

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el arroz, junto con el trigo y maíz, es uno de los cereales más consumidos en el mundo, siendo el alimento básico de diecisiete países de Asia y del Pacífico, ocho países de África, siete de América Latina y uno del cercano Oriente. El 75% de la población mundial lo incluye diariamente en su dieta, pudiendo incluso superar en algunas zonas geográficas el consumo de los otros dos cereales mayoritarios. Este hecho determina que en los países en vías de desarrollo (PVD), el arroz represente el 27% del valor calórico de la dieta diaria y el 20% de proteínas alimenticias consumidas (FAO, 2004). La producción mundial de arroz supera los 740 millones de toneladas, el 90% de la cual se obtiene en los países asiáticos (FAO, 2015), siendo el cereal que permite cubrir, más rápidamente, el déficit de producción agrícola en relación con la alimentación humana (Franquet y Borrás, 2004).

También en España el consumo es elevado, con una media cercana a los cuatro kilogramos por individuo al año, tasas que se ven incrementadas en los hogares de familias numerosas con niños (MAGRAMA, 2015). Aunque no constituye el cereal fundamental de nuestra dieta, si que forma parte de numerosas preparaciones culinarias típicas del país, siendo muy utilizado como ingredientes en la gastronomía española y en general en la mediterránea.

El proceso de elaboración del arroz incluye distintas etapas industriales que tienen la finalidad de eliminar total o parcialmente las envolturas florales, la cascarilla, parte del germen y partes externas del pericarpio (Tinarelli, 1989), dando lugar a las tres principales presentaciones comerciales del arroz: arroz elaborado, arroz semielaborado y arroz descascarillado o integral. El proceso de elaboración es fundamental para determinar la calidad del arroz, ya que al eliminar las partes externas del grano, los arroces blancos sufren un tratamiento de pulido que ocasiona la pérdida del 10% de las proteínas, el 85% de los lípidos, el 75% de la fibra dietética, el 50% de los minerales y el 85% de las vitaminas, mientras que las formas integrales son las que conservan un mayor contenido de nutrientes, tanto mayoritarios como minoritarios (Tinarelli, 1989; Heinemann *et al.*, 2005; Anjum *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta las variaciones en el contenido mineral asociadas al procesado del arroz, el arroz integral presenta un mayor contenido en hierro y otros elementos que son considerados esenciales en la nutrición, en comparación con las formas de arroz elaborado. Debido a las pérdidas de minerales durante el procesado es importante conocer la cantidad de estos nutrientes que están presentes en los distintos tipos de arroz, así como evaluar su disponibilidad, con la finalidad conocer en profundidad la calidad nutricional de este cereal. Además, al tener los arroces integrales un mayor contenido en fibra dietética que los arroces elaborados, diferentes componentes de la fibra pueden ejercer un efecto negativo en la absorción de minerales, disminuyendo la utilización nutritiva de los mismos (Urbano *et al.*, 1999; Bosscher *et al.*, 2003).

A nivel organoléptico, las características químicas del arroz y concretamente la composición de la fracción de hidratos de carbono digestibles influye en la capacidad de retención de agua, proporcionando distintas características de textura en el arroz cocinado. Así, el contenido en amilosa permite clasificar los arroces en distintas categorías siendo un importante parámetro para predecir la calidad sensorial del arroz, ya que determina la textura, la suavidad, la adherencia y el volumen de arroz cocido. Cuanto mayor sea el contenido de amilosa mayor será la consistencia del grano cocido y por consiguiente la aceptabilidad general y el consumo también serán mayores (Tinarelli, 1989; Mula, 2011; Chun *et al.*, 2015).

Además, de las características organolépticas la amilosa también determina la fracción indigestible del arroz junto con la fibra dietética, ya que las cadenas de amilosa retrógada constituyen el denominado almidón resistente (RS), que es la fracción de almidón en los alimentos que escapa a la digestión en el intestino delgado (Faisant *et al.*, 1993; Mula, 2011; Bernal, 2011). El RS se fermenta en el colon, de modo similar a la fracción soluble de la fibra dietética, actuando como prebiótico al promover el crecimiento de la microbiota beneficiosa del intestino, al aumentar la producción de butirato y reducir el pH del lumen intestinal, favoreciendo también en la reabsorción de minerales en el colon (Banger, 1989; Bornet, 1993; Scholz-Arhens *et al.*, 2007; De Preter *et al.*, 2011).

Hoy en día, se busca mantener la calidad de los alimentos recuperando variedades locales y formas de producción, que siendo menos rentables desde el punto de vista productivo, han sido cultivadas en un área geográfica concreta estando íntimamente asociadas a la actividad económica local. Estas variedades suelen presentar características organolépticas diferenciadoras que hacen que sean valoradas positivamente por los consumidores, en comparación con las variedades más rentables. En este sentido el arroz producido en la vega alta del río Segura, que recibió la denominación de "Arroz de Calasparra" al ser registrado como marca en 1928, es un arroz con unas características organolépticas peculiares, constituyendo parte de la actividad agraria local. Este arroz recibió en 1986 mención de "Denominación de Origen Calasparra", convirtiéndose en el primer arroz con Denominación de Origen (D.O.) en España (Orden de 19 de febrero de 1986, publicada en B.O.E del 4 de marzo de 1986).

La importancia económica y dietética en torno a la producción y consumo de este tipo de arroz impulsa el interés por los estudios relacionados con su calidad nutricional. Es por ello por lo que en la presente Tesis Doctoral nos planteamos el estudio del contenido mineral, así como la evaluación de su solubilidad como estimación de la disponibilidad biológica de los mismos, considerando el efecto que determinados componentes como la fibra dietética pueden tener sobre su utilización.

II. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente Tesis Doctoral ha sido el estudio nutricional de la composición mineral de los arroces D.O. Calasparra, crudos y cocidos, la estimación de su disponibilidad mediante la cuantificación de la fracción soluble y la determinación del contenido de fibra dietética total.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para la consecución del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar el perfil y contenido mineral del arroz D.O. Calasparra en muestras comerciales de arroz, correspondientes a distintas variedades y procesos de elaboración, evaluando el efecto del cocinado sobre el mismo.
- Analizar el contenido mineral en distintos tipos de arroces D.O. Calasparra, crudos y cocinados, en función del paraje, tipo de producción y elaboración, determinando el cómputo mineral.
- Determinar la solubilidad mineral en distintos tipos de arroces D.O. Calasparra, crudos y cocinados, en función del paraje, tipo de producción y elaboración, como medida de estimación de la disponibilidad de estos minerales.
- Conocer el efecto del cocinado sobre el contenido de fibra dietética total en arroces D.O. Calasparra y establecer su posible correlación con la solubilidad mineral, tanto en los arroces crudos como cocinados.
- Analizar el contenido de amilosa y almidón resistente en distintas muestras de arroz D.O. Calasparra, dependiendo de la variedad, grado de elaboración del arroz y paraje de cultivo.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. EL ARROZ

1.1. *Características generales*

El arroz es el fruto en grano de la planta del arroz (género *Oryza*), herbácea anual de la familia de las gramíneas que puede alcanzar más de un metro de altura. A nivel mundial, el arroz es el cereal, que junto al trigo, mayor expansión y consumo ha experimentado, constituyendo la base alimenticia de más de la mitad de la población. Se cultiva ampliamente en los cinco continentes, en regiones pantanosas de clima templado o cálido y húmedo (Tinarelli, 1989; Universidad Nacional de Colombia, 2003).

Entre las plantas con flores monocotiledóneas, el arroz pertenece al orden de *Glumiflorales*, *Gramineae* y género *Oryza*. Las 25 especies conocidas del género *Oryza* se encuentran distribuidas mundialmente, mayoritariamente en las regiones tropicales y subtropicales. Las dos especies más cultivadas son *Oryza sativa*, variedad asiática de granos de gran tamaño, que dio origen a tres razas diferentes: *Índica*, *Japónica* y *Javánica*; y la especie *Oryza glaberrima*, obtenida a partir de dos especies silvestres (Franquet y Borrás, 2004).

En general, la multitud de variedades existentes se agrupan en tres grandes categorías en función a su morfología: de grano largo, de grano medio y de grano corto. También se clasifica en función del proceso industrial al que son sometidos los granos, pudiendo encontrar en el mercado distintos tipos de arroz, según su grado de elaboración y procesado: cargo o integral, semi-integral, blanco, parboiled (parcialmente cocido), etc.

El cultivo del arroz se remonta a unos 10.000 años, conociéndose originalmente su cultivo y consumo en el sur de la India, y propagándose desde allí hacia este y oeste. La difusión definitiva del arroz a Europa por la cuenca mediterránea se atribuye a las invasiones musulmanas.

Los cultivos de arroz se iniciaron a partir del siglo VIII en la península ibérica. En España los musulmanes lo cultivaron con éxito en las zonas de Sevilla, Córdoba, Granada, Tarragona, Alicante y Murcia. La **producción** en España ronda las 750.000 toneladas, lo que le permite posicionarse como el segundo productor europeo de arroz con el 28% del total, detrás de Italia.

Actualmente, la producción global en la UE alcanza los tres millones de toneladas, siendo esta producción insuficiente para el consumo europeo, lo que obliga a los países de la UE a la importación anual de un millón y medio de toneladas. Los datos de la producción europea de arroz quedan muy lejos de los valores de ciertos países asiáticos, como China, India o Indonesia, con producciones en el año 2014 de 208, 154 y 71 millones de toneladas, respectivamente (FAO, 2015).

Respecto al **consumo** humano mundial, tiene un nivel previsto para 2015 de 419,6 millones de toneladas, incrementando un 1,4% los niveles del año anterior, con lo que la estimación del consumo humano medio per cápita queda establecida en 57,4 kg anuales (157 g/persona y día) (FAO, 2015).

Los valores de consumo de arroz por la población española son elevados, siendo el componente fundamental de varios platos típicos de la gastronomía española. Según el estudio de “*Valoración de la Dieta Española de acuerdo al Panel de Consumo Alimentario*” (Varela et al., 2008), se desvela una reducción del 41% en el consumo de arroz desde el año 1964, tendencia decreciente que persiste actualmente.

Tabla 1. Evolución del consumo de arroz en España (g/persona y día).

Año	1964	1981	1991	2000	2006
g/día	26,5	22,3	21,6	16,7	15,6

Fuente: Varela (2008)

Al analizar los datos actuales de consumo de arroz de la población española (MAGRAMA, 2015) los valores medios de consumo anual son de 3,9 kg, reduciéndose cada año en torno a un 3,4%. Conforme a una distribución geográfica, se comprobó

que la Comunidad Valenciana fue donde, ponderadamente, hubo un mayor consumo de arroz, experimentando un descenso del consumo interanual inferior a la media nacional. Por el contrario, ciertas Comunidades Autónomas del norte de España, como País Vasco, presentan los menores consumos. Atendiendo a la configuración del hogar, la presencia de niños supone un menor consumo per cápita de arroz, pasando de 4,3 kg anuales por persona (11,8 g/persona y día) en los hogares sin niños a consumos que no sobrepasan los 3,5 kilos anuales (9,5 g/persona y día) en los hogares con niños de 6 a 15 años.

El arroz integral o completo es un arroz entero, al cual se le ha retirado las cubiertas florales y la cáscara externa fibrosa y no comestible, pero que conserva el germen y la cáscara que recubre el grano, lo cual lo convierte en un arroz más nutritivo que el elaborado o blanco (Tinarelli, 1989; Heinemann *et al.*, 2005; Anjum *et al.*, 2007). La cáscara del arroz, además de la fracción fibrosa, contiene grasa pudiendo llegar a obtener un rendimiento en la obtención de aceite de salvado de arroz de 189 g/kg, destacando el contenido en fitosteroles, principalmente campesterol and β -sitosterol (Gornás *et al.*, 2015). Los fitoesteroles, están reconocidos como sustancias de interés para la nutrición actual ya que la evidencia científica ha puesto de manifiesto la capacidad para reducir los niveles plasmáticos de colesterol, siendo éste un alimento recomendado para individuos con hipercolesterolemia (Int. Rice Research Institute, 1979).

El arroz elaborado, popularmente denominado blanco, es aquel grano que ha sufrido el descascarillado y pulido, operaciones tecnológicas que originan una pérdida de gran parte de sus elementos nutritivos, especialmente los componentes de la fibra y diferentes elementos minerales, como magnesio, hierro y cinc. Su excelente digestibilidad, acompañada de la suave acción astringente derivada del bajo contenido en fibra, lo convierten en un alimento idóneo para la recuperación de la mucosa intestinal tras un proceso gastroentérico de cualquier etiología.

La Tabla 2 muestra la composición nutricional global del arroz blanco e integral en crudo (Tinarelli, 1989):

Tabla 2. Composición nutricional del arroz crudo, por 100 g de porción comestible.

	Energía (Kcal)	HC (g)	Prot (g)	Grasas (g)	Fibra (g)	Ca (mg)	Fe (mg)	P (mg)	Mg (mg)	Na (mg)	K (mg)	Vit. B1 (mg)	Vit. B2 (mg)	Vit. B3 (mg)
Arroz blanco	354	73	6,80	1,70	0,30	6,00	0,60	180	64	2,00	120	0,06	0,03	3,80
Arroz integral	350	78	8,00	1,10	1,20	23	2,60	300	157	9,00	275	0,30	0,06	4,60

Además de los micronutrientes reconocidos habitualmente en nutrición, el arroz también tiene un contenido en compuestos bioactivos, como son los compuestos fenólicos. Numerosos estudios concluyen que tras la cocción del arroz el contenido en compuestos fenólicos, disminuye en todas las variedades analizadas y con dependencia del método de ebullición empleado (Zaupa *et al.*, 2015). Por ese motivo, en los últimos años, las variedades pigmentadas de arroz (con alto contenido en compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) son cada vez más populares, destacando especialmente las variedades negras. Este punto sugiere la recomendación del consumo de las variedades negras de arroz, especialmente en sus formas integrales, como una buena fuente de compuestos fenólicos, sobre todo si se emplea un método de cocción que permita una absorción completa del agua (Zaupa *et al.*, 2015).

Igualmente, la solubilidad de los micronutrientes se ve mermada como consecuencia del tratamiento térmico asociado a la preparación de los alimentos (Galán y Drago, 2014). Por ello, no sólo es importante conocer el contenido en micronutrientes de un alimento, sino también su solubilidad, ya que puede verse afectada por otros compuestos presentes en el alimento o en la dieta, como por ejemplo el ácido fítico (presente mayoritariamente en el salvado de cereales y en las harinas integrales), que provoca la disminución de la solubilidad del hierro y el magnesio (Dintzis *et al.*, 1985; Sciarini *et al.*, 2007).

1.2. Composición química y valor nutritivo.

1.2.1. Hidratos de carbono.

Los hidratos de carbono constituyen el 70-80% de la composición química del arroz, siendo el **almidón** el mayoritario. Se compone de amilosa y amilopectina, siendo la proporción de cada una la que determina las características culinarias del producto. A mayor proporción de amilopectina, mayor es la viscosidad del grano (García y Guerra, 2005).

La alta proporción de hidratos de carbono en el arroz lo convierte en un alimento con un gran aporte calórico, proporcionando entre el 25-80% de las calorías de la dieta diaria a 2,7 mil millones de personas en Asia, es decir, a más del 50% de la población mundial, estando considerado el alimento básico de la población oriental (Boers *et al.*, 2015).

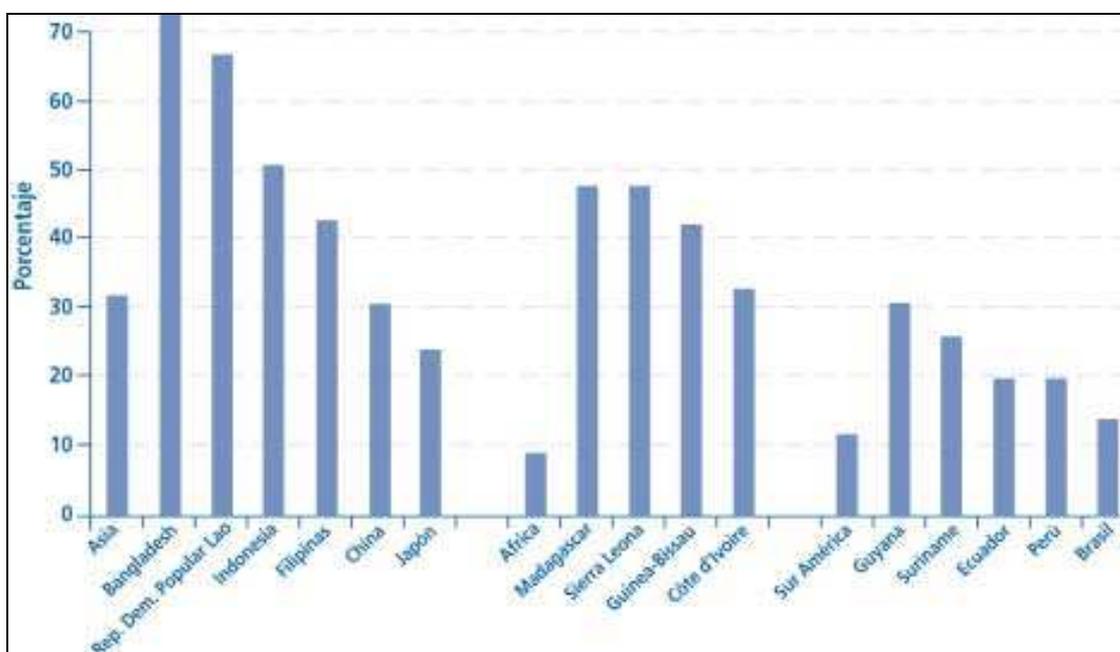


Figura 1: Porcentaje de aporte energético del arroz por áreas. Fuente: FAO

El consumo prolongado de dietas con alta carga glucémica ha sido implicado en el desarrollo de enfermedades crónicas como la diabetes mellitus tipo 2 (DM2). Teniendo en cuenta que una reducción en las respuestas postprandiales de glucosa e insulina se considera generalmente un cambio beneficioso en la dieta, es útil determinar el rango de variación de glucosa (PPG) e insulina postprandiales (PPI) en respuesta al consumo de arroz y a los factores intrínsecos y de transformación primaria que afectan a este tipo de respuestas (Boers *et al.*, 2015). Estas cuestiones se deben tener en consideración, tomando precauciones en las cantidades consumidas, ante casos de sobrepeso, obesidad y diabetes, ya que el consumo excesivo de almidón provocaría un aumento en los niveles de glucemia postprandial.

En la cocción del arroz, especialmente de grano blanco, el almidón pasa al agua, confiriéndole propiedades especiales, ayudando a tratar la diarrea y normalizar el tránsito intestinal, ya que este polisacárido toma contacto con la mucosa intestinal, absorbe el agua y reduce las deposiciones,.

Por su parte, el arroz integral es rico en **fibra dietética**, cuyo consumo tiene beneficios sobre el organismo, mejorando algunas funciones fisiológicas, actuando como laxante suave, ayudando a eliminar líquidos, previniendo enfermedades cardiovasculares, obesidad y cáncer de colon (Escudero y González, 2006; Bernal, 2011).

1.2.2. Proteínas.

El arroz es pobre en sustancias nitrogenadas, la fracción proteica del arroz en su forma integral ronda el 7-8%, no obstante, el perfil proteico del arroz puede variar hasta 6-7 puntos porcentuales, para la misma variedad, según las condiciones ambientales de producción. Del mismo modo, el incremento de la fertilización nitrogenada aumenta el contenido porcentual de algunos aminoácidos, mientras que disminuye o bien no varía para otros (Witzigmann *et al.* 1999).

El arroz es uno de los pocos cereales, que junto con el maíz, el mijo y el sorgo, no contienen **gluten** en sí mismos; sin embargo durante el procesado de los arroces elaborados, pueden añadirse trazas de sustancias que lo contienen. Por el contrario, el arroz integral, al no sufrir procesado no presenta residuos de gluten. En general, el arroz (integral y elaborado) es un alimento bien tolerado por individuos con celiaquía, cuyo tratamiento es exclusivamente dietético, y cuando se elimina el gluten de la dieta la persona recupera su estado nutritivo en un periodo de varias semanas o meses y desaparece la sintomatología (Sciarini *et al.*, 2007; Comino *et al.*, 2013).

Por tanto, la harina de arroz es una de las más apropiadas para la elaboración de productos para celíacos, debido a su bajo contenido de prolaminas, bajo contenido de sodio, alta digestibilidad del almidón, contenido aminoacídico equilibrado y su suave sabor. El uso de harina de arroz presenta inconvenientes tecnológicos, ya que las proteínas del arroz son incapaces de formar una red que retenga los gases producidos durante la fermentación y el horneado (Gujral y Rosell, 2004).

Por estos motivos, desde principios del siglo XXI se está potenciando la investigación para producir cereales sin gluten, distintos del arroz, mediante cultivos transgénicos (Comino *et al.*, 2013).

1.2.3. Grasas.

El contenido en materia grasa del arroz es insignificante, con poco más del 1%, que acompañado a la presencia de fitoesteroles, confieren al arroz propiedades aconsejables para un buen estado de salud cardiovascular. El consumo regular de arroz resulta en efecto un factor positivo para la prevención y mejoría de algunas patologías, como la hipertensión arterial y la hipercolesterolemia, gracias a su reducido contenido en grasas y a la presencia en el caso del arroz integral de otros compuestos, como fibra dietética, fitoesteroles y compuestos fenólicos que pueden intervenir en la regulación del metabolismo lipídico (García y Guerra, 2005).

1.2.4. Vitaminas.

En referencia al contenido de vitaminas, el arroz contiene apreciables cantidades de vitaminas del grupo B. El arroz integral es rico, especialmente, en vitamina B₁ o tiamina (0,34 mg/100g), B₂ o riboflavina (0,05 mg/100g) y B₃ o niacina (4,7 mg/100g). Además, el arroz es una fuente rica en ácido fólico (vitamina B9), que es fundamental en la etapa de crecimiento, interviniendo también en el incremento de la secreción de leche materna y la maduración de los hematíes.

Sin embargo, en la práctica, ciertos procesados tecnológicos como el refinado y el pulido originan la pérdida de en torno al 85% de las vitaminas, quedando por tanto convertido en un alimento esencialmente energético, no pudiendo considerarse como un alimento completo (FAO, 2004; Heinemann *et al.*, 2005).

1.2.5. Minerales.

El arroz es una importante fuente de elementos minerales fundamentales en la nutrición humana, tales como (García y Guerra, 2005):

El **Fósforo (P)** es el elemento mineral presente mayoritariamente en el arroz (300mg/100g en los arroces integrales y 180mg/100g en los arroces elaborados). Es un elemento mineral imprescindible para la producción de energía de los carbohidratos, la constitución de las células e interviene en la formación de dientes y huesos. Una ración de arroz integral de cien gramos aporta al organismo el 38% de las cantidades diarias recomendadas (CDR) para el fósforo.

El **Potasio (K)** es también un elemento mineral mayoritario en el arroz, con valores medios entre 275mg/100g (integrales) y 120mg/100g (elaborados), siendo

indispensable en la síntesis proteica, para el mantenimiento de fluidos y para el correcto funcionamiento de las enzimas de las células de nuestro organismo.

El **Magnesio (Mg)** está presente con unos contenidos medios de 157mg/100g de arroz integral y de 64mg/100g de arroz elaborado. El Mg posee un papel esencial en la contracción y relajación del sistema muscular, colabora en la síntesis proteica, mejora la salud cardiovascular y del sistema óseo.

El **Calcio (Ca)** contenido en el arroz se encuentra en unas proporciones inferiores a las de los anteriores elementos minerales. El Ca es el principal constituyente de huesos y dientes, permitiendo su maduración y estabilidad, evitando el riesgo de osteoporosis. También ayuda a nutrir las células, a regular la actividad muscular, la coagulación, y la neurotransmisión.

El **Sodio (Na)** está poco presente en el arroz (menos de 10mg/100g), lo cual, conjugado con los niveles presentes de potasio, aportan al organismo un balance de los fluidos del cuerpo, ayudando a la reducción del riesgo de hipertensión arterial e infarto, convirtiendo al arroz en un alimento bien tolerado por individuos que sufren hipertensión arterial.

El **Hierro (Fe)** resulta imprescindible para la síntesis de hemoglobina y mioglobina, además de intervenir en numerosos procesos enzimáticos. Un ración de cien gramos de arroz integral aporta al organismo en torno al 20% de las CDR para el hierro, aporte que se ve reducido en más del 50% en los arroces blancos, a causa del proceso de descascarillado (Anjum *et al.*, 2007).

El **Cinc (Zn)** es un mineral esencial presente en nuestro organismo distribuido principalmente en músculos, hueso, cabello, uñas y testículos, por lo que su déficit en la dieta puede ocasionar problemas como alopecia, acné, problemas de cicatrización, impotencia o trastornos prostáticos.

El **Cobre (Cu)** tiene una escasa presencia en cereales, pero es fundamental en la formación de la hemoglobina, el desarrollo y mantenimiento del buen estado de tejido conectivo, huesos, tendones y el sistema vascular.

El **Silicio (Si)** es otro de los elementos minerales presente en la cáscara del arroz, este microelemento presenta un efecto útil en el proceso de osteogénesis, por lo que en el consumo de dietas ricas en silicio puede resultar beneficioso en la prevención de la osteoporosis, e igualmente en la terapia de la fragilidad de los huesos, sobre todo en personas ancianas (Universidad Nacional de Colombia, 2003).

La variabilidad en la composición mineral y las características de cada arroz es muy amplia y se comporta de forma heterogénea, dependiendo de la variedad, de las condiciones ambientales y edafológicas en las que se lleva a cabo el cultivo, así como del procesamiento tecnológico del grano (Dintzis *et al.*, 1985; Anjum *et al.*, 2007).

El arroz blanco, en comparación con el arroz que no ha sufrido un refinado, tiene un bajo contenido en vitaminas (vitamina B₁ : 0,09 mg/100g; vitamina B₂ : 0,03 mg/100g; vitamina B₃ : 1,4 mg/100g) y sales minerales, ya que éstas se encuentran mayoritariamente en las capas externas del grano, las cuales se eliminan con el proceso de pulido o “blanqueado” (Ortuño, 1994).

Por otro lado, existen arroces semi-integrales, que son aquellos cuyos granos han sufrido un proceso de descascarillado pero el pulido practicado es parcial, empleando conos abrasivos, lo cual permite conservar parte de los tegumentos de la semilla. Este tipo de granos de escasa producción puede resultar una alternativa interesante a aquellos consumidores de arroces integrales que no presenten una buena capacidad digestiva de dichos granos.

El consumo habitual de arroz, acercándose a la frecuencia recomendada dentro los parámetros de dieta equilibrada, comprendidos entre 2 y 4 tomas semanales, se aconseja a toda la población, pero con especial interés a aquella que presenta problemas de hipertensión, ya que una característica de este alimento es su bajo

contenido en sodio (Universidad Nacional de Colombia, 2003). Según la Agencia americana de Alimentos y Drogas (FDA), las dietas que incluyen alimentos ricos en potasio y pobres en sodio pueden ayudar a reducir la hipertensión arterial e infarto.

2. BIODISPONIBILIDAD MINERAL

2.1. Concepto de biodisponibilidad

Fairweather-Tait y Hurrell (1996) definieron biodisponibilidad como la fracción de nutriente que se digiere, absorbe y metaboliza por vías normales. Por lo que se entiende por biodisponibilidad la fracción de cualquier nutriente que se ingiere y que potencialmente puede alcanzar sus tejidos diana, aplicándose fundamentalmente a vitaminas, minerales y aminoácidos (Olivares, 2000).

De entre las numerosas definiciones que se han atribuido a la biodisponibilidad se considera que la más completa es la dada por Schlemmer (1995) y que la define como *“la medida de la capacidad del hombre y de los animales, o la efectividad por la cual los nutrientes, en una forma química determinada, son liberados de los alimentos en presencia de ciertos componentes dietéticos. Incluye además la absorción intestinal y el transporte de nutrientes a los órganos y células, donde finalmente cumplen su función biológica”*.

La totalidad de los nutrientes que se ingieren en un alimento no es utilizada por nuestro organismo y será eliminada. Debido a ello, adquiere una gran importancia conocer qué fracción de nutriente es realmente utilizada por nuestro organismo, es decir, la fracción de nutriente que es biodisponible en condiciones fisiológicas (Dintzis *et al.*, 1985; Frontela, 2007).

Este proceso guarda semejanza con la denominada utilización nutritiva que engloba los procesos de absorción y utilización metabólica. Sin embargo, el estudio de la biodisponibilidad es más amplio y abarca características físico-químicas del

nutriente, así como mediciones en tejidos y determinaciones de la función, viéndose afectada por factores endógenos y por factores exógenos (Olivares, 2008).

El estudio de la biodisponibilidad mineral de los alimentos es, por lo tanto, de gran importancia para tratar de garantizar la correcta nutrición, principalmente en el caso de niños y ancianos, en los que las deficiencias nutricionales son particularmente frecuentes (Frontela, 2007).

2.2. Factores que influyen en la biodisponibilidad

Numerosos factores influyen en la biodisponibilidad mineral, entre los que se encuentran factores fisiológicos y dietéticos (Tabla 3).

Factores intrínsecos o fisiológicos	Factores extrínsecos o dietéticos
-Especie animal	-Aporte del elemento en la dieta
-Edad (fase de desarrollo)	-Propiedades físico-químicas (solubilidad)
-Características y anomalías genéticas	-Interferencias de otros componente:
-Estado patológico	*fibra dietética *ácido fítico
-Flora intestinal	*hidratos de carbono *taninos
-pH del jugo gástrico e intestinal	*proteínas *otros ácidos orgánicos
-Capacidad individual de adaptación a diferentes aportes nutricionales.	

Fuente: Barberá y Farré (1992).

Los parámetros fisiológicos del individuo tienen gran influencia en la biodisponibilidad de los micronutrientes, entre los que se encuentran la edad, el estado fisiológico (como el embarazo o la lactancia), el estado nutricional, determinadas situaciones patológicas, la flora intestinal, el pH gástrico, así como la capacidad individual de adaptación a los aportes de nutrientes (Barberá y Farré, 1992).

Los factores dietéticos tienen gran repercusión sobre la biodisponibilidad mineral, tales como el aporte total del elemento mineral en la dieta, la forma química en que este se manifiesta, su solubilidad, así como las interacciones con otros elementos presentes, como es el caso de la presencia de sustancias antinutritivas, inhibidoras o

bloqueantes de la absorción de micronutrientes, siendo el ácido fítico asociado a la fibra dietética uno de los más importantes (Barberá y Farré, 1992).

Por tanto, las cualidades nutritivas de un alimento no van a depender únicamente de su composición química, sino también de la presencia o ausencia de estas sustancias antinutritivas.

Según la Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación (SEDCA, 2009) se pueden considerar tres tipos de antinutrientes, teniendo en cuenta los nutrientes sobre los que interactúan:

- Antivitaminas
- Sustancias que afectan a la absorción de proteínas
- Sustancias que dificultan la absorción de determinados minerales, que son los antinutrientes mayoritarios y con gran presencia en alimentos vegetales, por ejemplo: el ácido fítico, con gran presencia en los cereales y algunas legumbres, o el ácido oxálico, en verduras y hortalizas (espinacas, remolacha, apio), frutas (fresa, frambuesa), cacao y té.

Los alimentos con un alto contenido en **fibra dietética** tienen un potente efecto inhibidor de la absorción (especialmente de hierro), puesto que sus componentes (celulosa, lignina, pectina, etc.) poseen características quelantes del mineral, que disminuye la biodisponibilidad, al reducir del tiempo de contacto con la mucosa intestinal por aumento de la velocidad de tránsito. A esto hay que añadir que las dietas ricas en fibra lo son también en ácido fítico, que como antes se ha citado también fija elementos traza y reduce su absorción (Bosscher *et al.*, 2003). Por ello, es importante que en las dietas vegetarianas con una base rica en fibra se considere este efecto reductor sobre la disponibilidad de los micronutrientes con el objetivo de evitar posibles desequilibrios nutricionales (Hunt, 2003).

El **ácido fítico** se encuadra dentro de las llamadas sustancias antinutritivas capaces de disminuir la disponibilidad de los nutrientes esenciales. La acción del ácido fítico se

basa en la formación de complejos insolubles con proteínas y minerales, convirtiéndolos en no asimilables por el organismo bajo condiciones fisiológicas (Matsui, 2002).

La absorción de determinados minerales, como el calcio, hierro, cobre y cinc, pueden disminuir si se ingieren dietas muy ricas en fibra y por la presencia de otros componentes de los alimentos vegetales (Sahuquillo *et al.*, 2003). Algunos minerales pueden formar compuestos insolubles con elementos constitutivos de la fibra, como le ocurre al calcio, imposibilitando su completa absorción por el organismo y desencadenando el consiguiente riesgo de patologías carenciales (Dintzis *et al.*, 1985).

Este efecto limitante sobre la solubilidad lo presenta el ácido fítico asociado a la fibra dietética mediante la formación de **fitatos**, pero también con los **tanatos** presentes en las espinacas, habas, lentejas y plátanos o los **oxalatos** de la coliflor y las espinacas (Escudero y González, 2006).

Las diferentes matrices de alimentos presentan diferentes niveles de solubilidad mineral, dependiendo de su composición y la presencia de promotores (ácido ascórbico) y los inhibidores de la absorción de minerales, tales como ácido fítico, taninos y polifenoles (Galán y Drago, 2014).

Las estrategias más frecuentes empleadas para reducir la incidencia de malnutrición por déficit mineral son el consumo de una dieta más variada, la incorporación a la dieta de suplementos nutricionales comercializados, el enriquecimiento de los alimentos, pero por distintos motivos, ninguno de ellos ha resultado del todo eficaz. Los suplementos son caros y difíciles de distribuir globalmente, por lo que una alternativa interesante sería incrementar el nivel total de micronutrientes en las partes comestibles del alimento, al tiempo que se incrementa la concentración de componentes que favorezcan su captación y/o disminuyendo el contenido en componentes que inhiben su absorción (Frontela, 2007).

Por otro lado, el efecto del calentamiento durante la preparación culinaria de los alimentos afecta la biodisponibilidad mineral de Fe, Zn y Ca; observándose una mayor absorción en las fórmulas que no requieran calefacción (Galán y Drago, 2014).

2.3. Biodisponibilidad del hierro

La absorción de hierro de los alimentos transcurre casi exclusivamente en el duodeno y sigue una secuencia de pasos que comienza con la reducción de la molécula de hierro de su estado férrico a ferroso. El conocimiento de los mecanismos que regulan la absorción de hierro permite no sólo determinar el valor nutricional de los alimentos y la forma de mejorar su biodisponibilidad, sino también permite seleccionar apropiadamente los compuestos de hierro mejores y más seguros, que respeten el papel regulador que la mucosa intestinal ejerce sobre la absorción de hierro del mismo (Frontela, 2007).

Estudios desarrollados por Trinidad y colaboradores en 2009 sobre arroces filipinos integrales conducen a la hipótesis de que el arroz integral puede ser mejor que el arroz elaborado en términos de contenido de hierro, aunque respecto a la biodisponibilidad existen otros factores que interfieren.

Del total de hierro de la dieta sólo es absorbido entre el 2 al 20%. La tasa de absorción del hierro depende de diferentes factores, que pueden actuar simultáneamente y algunos están interrelacionados entre sí. Entre estos factores podemos destacar los estados que estimulan la eritropoyesis o que dan lugar a pérdidas corporales de hierro, que aumentan la absorción intestinal en gran medida (Olivares, 2000).

De los factores dietéticos, la forma química del hierro en la que se encuentre el hierro es el más determinante. En la dieta existen dos tipos de hierro: hierro “hemo” de la hemoglobina y mioglobina abundante en la carne, presente en el grupo hemo (protoporfirina acompañado de un átomo de hierro), y hierro “no-hemo”, presente en vegetales, cereales y frutas. La absorción de hierro “hemo” se ve poco afectada por el

nivel de hierro del individuo y a su vez está poco influida por la composición de la dieta. Aproximadamente se absorbe del 15 al 35% del total del hierro presente en esta forma en la dieta. El hierro “no-hemo” supone el 90% del hierro de la dieta y, al contrario que en el tipo anterior, la absorción de hierro se ve muy afectada por el nivel de hierro del individuo, así como por el resto de factores dietéticos (Olivares, 2000).

La influencia de las proteínas de la dieta en la biodisponibilidad del hierro es conocida desde hace tiempo. El origen de las proteínas también determina un efecto positivo o negativo sobre la absorción de hierro (Barberá y Farré, 1992). En general, la carne, el pescado y otros productos marinos con alto contenido en proteínas juegan un importante papel en el metabolismo del hierro, tanto “hemo” como “no hemo”.

El efecto estimulador del ácido ascórbico y otros ácidos orgánicos en la absorción de Fe se debe al efecto reductor que ejerce sobre el hierro transformándolo en su forma ferrosa y por lo tanto más absorbible (International Rice Research Institute, 1979). De modo análogo, la nicotinamina tiene una actividad captadora del Fe, pudiendo considerarse un promotor de la absorción del Fe, presentando una potencia superior a la del ácido ascórbico (Eagling *et al.*, 2014).

Se ha comprobado que la suplementación con hierro, vitamina A y Zn en enfermos con anemia ferropénica, tiene un efecto beneficioso en la hematopoyesis y en los niveles de hemoglobina mayor que cuando se suplementa sólo con hierro (Olivares, 2000).

Por el contrario, se sabe que la presencia de otros elementos minerales, tales como Ca, Cu y Mn, puede interferir negativamente en la absorción del hierro a nivel intestinal (Olivares, 2000 y Drago *et al.*, 2004).

Los alimentos con un alto contenido en fibra tienen un potente efecto inhibitorio de la absorción de hierro, puesto que sus componentes (celulosa, lignina, pectina,...) poseen actividad secuestrante del mineral. Junto a este efecto quelante, hay que tener en cuenta la disminución de la biodisponibilidad, debido a la reducción del tiempo de

contacto con la mucosa intestinal por aumento de la velocidad de tránsito. A esto hay que sumar que las dietas ricas en fibra lo son también en ácido fólico que, como anteriormente se ha citado, también fija elementos traza y reduce su absorción (Bosscher *et al.*, 2003; Eagling *et al.*, 2014).

Numerosos estudios, tanto *in vivo* como *in vitro*, han analizado la influencia que ejerce el ácido fólico en la absorción de hierro, considerándolo uno de sus principales inhibidores (Wolters *et al.*, 1993; Frontela *et al.*, 2008; Eagling *et al.*, 2014; Petry *et al.*, 2014). El ácido fólico (IP₆, inositol hexakisfosfato) localizado en la fibra del arroz, el trigo y el maíz, y la lignina de las paredes de las células vegetales, constituye un potente inhibidor de la absorción de hierro, debido a la formación de quelatos insolubles, suponiendo un importante impedimento para la biodisponibilidad del hierro, especialmente en los alimentos sometidos a biofortificación (Petry *et al.*, 2014).

La potente acción inhibitoria del ácido fólico sobre la absorción del hierro hace que ésta llegue a ser inferior al 5%, (Hurrell, 2003). Los niveles de fitato tienen más influencia sobre la biodisponibilidad de hierro que sobre la concentración de hierro total, un dato que debe ser tomado en cuenta en el desarrollo de estrategias de biofortificación para reducir la anemia por deficiencia de Fe (Eagling *et al.*, 2014).

En panes elaborados con harinas blancas existe una menor concentración de hierro que en los panes de harinas integrales, pero el Fe es más soluble. Una posible justificación es que el contenido de fitato en las harinas blancas es más bajo y la relación molar de ácido fólico:Fe también es menor (Eagling *et al.*, 2014).

2.4. Biodisponibilidad del cinc

La disponibilidad del cinc es, en general, más elevada cuando procede de alimentos de origen animal que cuando procede de alimentos de origen vegetal, de modo que la absorción en humanos varía de una forma considerable (5-50%) dependiendo de la composición de la dieta (Fairweather-Tait y Hurrell, 1996).

Los dos factores determinantes del porcentaje de cinc absorbido son el aporte proteico total y el contenido de cinc de las principales fuentes proteicas (Barberá y Farré, 1992). La presencia de proteínas en la dieta tiene un efecto positivo en la absorción del cinc, dependiendo del tipo de proteína de la dieta, ya que en alimentos vegetales el cinc tiene una biodisponibilidad cuatro veces inferior a la de alimentos cárnicos (Hurrell, 2003).

De manera opuesta, el ácido fítico asociado a la fibra dietética, presente en los cereales, afecta negativamente a la disponibilidad del cinc, presentando un efecto inhibitorio dosis-dependiente sobre la absorción del cinc, por la formación de complejos insolubles con los iones divalentes (Hurrell, 2003). El ácido fítico es el principal antagonista en la absorción del cinc, lo cual debe tenerse en cuenta en alimentos ricos en ácido fítico, en especial los cereales.

Debido a la presencia del ácido fítico, la fibra insoluble presente en los cereales y otros vegetales afecta la absorción del cinc, a diferencia de la fibra soluble presente en las frutas. Existen otros componentes de la dieta como los ácidos grasos insaturados, determinados azúcares como lactosa y glucosa, aminoácidos como histidina y metionina, EDTA y ácidos orgánicos como láctico, cítrico y málico, que se ha comprobado que favorecen la disponibilidad del cinc (Olivares, 2000).

Existen parámetros teóricos de medida de la disponibilidad mineral y, en el caso del Zn, se usa frecuentemente el ratio molar (fitato x calcio)/cinc como indicador de su disponibilidad (Sahuquillo *et al.*, 2003), considerando, incluso, la OMS el ratio fitato:cinc como un criterio para categorizar dietas de acuerdo con la disponibilidad de su contenido en Zn.

También es importante conocer que el Zn en dosis elevadas interacciona en la absorción del hierro cuando está en forma de sulfato ferroso, que es la forma en la que habitualmente se encuentran suplementados los alimentos (Frontela, 2007).

2.5. Biodisponibilidad del calcio

La absorción del calcio ha sido ampliamente estudiada, viéndose que la fibra capta el calcio y lo transporta hasta el colon, donde se libera al hidrolizarse la fibra a consecuencia de la fermentación por la microflora colónica, dando lugar a ácidos grasos de cadena corta. Diversos estudios manifiestan que los ácidos grasos de cadena corta que se producen facilitan la absorción del calcio a través de las paredes del colon e incluso de las del recto, por lo que la suplementación con prebióticos ha desvelado prometedores resultados respecto a la biodisponibilidad del calcio (Escudero y González, 2006).

El ácido fítico, asociado a la fibra, puede interactuar de forma dosis-dependiente con la absorción del calcio y producir una reducción en la misma, atribuyéndole ser la causa de raquitismo y osteomalacia en poblaciones que consumen pan sin fermentar. Un valor de ratio molar ácido fítico:calcio superior a 0,2 puede causar una deficiencia de calcio en humanos (Wang *et al.*, 2008; Frontela, 2007).

La mayoría del calcio presente en los alimentos se encuentra formando sales con el fósforo, de baja solubilidad en soluciones neutras, sin embargo, las secreciones ácidas del estómago ayudan, posteriormente, a la solubilización y asimilación de calcio en el intestino delgado.

De forma general, el calcio de origen animal es más biodisponible que el de origen vegetal. Una de las posibles justificaciones puede ser que la abundante fracción proteica de los alimentos animales aumenta la absorción de calcio, mientras que la presencia en los vegetales de componentes con actividad antinutriente (oxalatos, fitico y fibra), disminuyen la biodisponibilidad del mismo (Olivares, 2000).

La biodisponibilidad del calcio en cereales también ha sido estudiada, siendo uno de los elementos minerales que manifiesta menores niveles de solubilidad en los cereales integrales, ya que se ha detectado gran presencia de calcio en los restos de

salvado no digerible en el colon humano. Bajo condiciones fisiológicas del colon humano, los minerales, especialmente el calcio, pueden incorporarse en los restos de tejidos vegetales no digeribles, para lo cual no resulta imprescindible la presencia de fitato (Dintzis *et al.*, 1985).

El enriquecimiento en calcio de ciertos alimentos, como por ejemplo la alimentación infantil, no se encuentra exento de problemas, ya que es necesario tener en cuenta factores como la solubilidad de la sal de calcio y del ratio calcio:fósforo (Urbano *et al.*, 1999). El incremento en los contenidos de calcio y fósforo se asocia, en ocasiones, a la alteración de las sales empleadas en la disolución, como la aparición de precipitados. Para evitarlo, en lugar de utilizar sales de calcio de baja solubilidad, como fosfato o carbonato de calcio, se tiende a emplear componentes más solubles como el gluconato o lactato de calcio (Frontela, 2007).

2.6. Biodisponibilidad de otros minerales

Otros minerales como el sodio, el potasio y el magnesio están igualmente presentes en el arroz y su biodisponibilidad también se ve afectada por aquellos factores descritos previamente, debiendo tener en consideración no sólo la cantidad y calidad de alimentos que integran las dietas, sino de modo preferente las combinaciones de alimentos y de éstos con las bebidas e infusiones que los acompañan, ya que pueden influir marcadamente en la solubilidad y biodisponibilidad de minerales esenciales.

2.7. Nuevos procesos tecnológicos.

El desarrollo de estrategias en la industria alimentaria que permitan incrementar la disponibilidad mineral está adquiriendo una gran importancia, sobre todo en alimentos tan básicos como el arroz, obteniéndose productos con un mejor valor nutricional, beneficiosos para la salud y que mantienen intactas sus propiedades

sensoriales. Estos alimentos podrían ser catalogados como alimentos funcionales (Frontela, 2007).

No existe un enfoque único para la mejora de la calidad nutricional de los alimentos vegetales, ya que ésta se ve afectada por una amplia variedad de factores. Entre estas estrategias de mejora productiva se encuentran:

- Aplicación de los métodos tradicionales de cultivo para seleccionar las variedades con un mejor perfil de un determinado compuesto bioactivo.
- Reducción en el contenido de factores antinutricionales.
- Mejoras en las tecnologías de manipulación, almacenamiento y preparación.
- Manipulación genética para introducir nuevas características en las plantas (Lindsay, 2002).

Entre los procesos tecnológicos más actuales, se emplean técnicas de fortificación para adicionar vitaminas y minerales esenciales a los granos, que supone el aporte de nutrientes en que es deficitario el arroz (Bouis *et al.*, 2011; Petry *et al.*, 2014). Esta práctica no está demasiado extendida entre los países más consumidores de arroz debido a sus limitaciones en infraestructuras, lo cual sería de gran interés para aumentar sustancialmente la ingesta de micronutrientes y combatir el déficit nutricional, por ejemplo ante alta prevalencia de anemia ferropénica. La OMS basa sus declaraciones acerca de la fortificación de los cereales en la premisa de la importancia para la salud pública de las deficiencias de micronutrientes específicos y los beneficios de una mayor ingesta de micronutrientes (de Pee, 2014).

Es factible y recomendado por la OMS producir un arroz fortificado en Fe, Zn, vitamina A, tiamina (vitamina B1), niacina (vitamina B3), piridoxina (vitamina B6), cobalamina (vitamina B12) y ácido fólico en los niveles recomendados por las directrices de la FAO, ya que esos micronutrientes están presentes en bajas concentraciones en los arroces elaborados (Chitpan *et al.*, 2005; de Pee, 2014).

La biofortificación de cultivos básicos por medio de la biotecnología puede considerarse una herramienta para reducir la malnutrición por micronutrientes en los países en vías de desarrollo. Para conceptualizar soluciones y alcanzar una mayor eficiencia en los estudios de biofortificación y fitomejoramiento sería precisa una comunicación interdisciplinar entre científicos de áreas agrícolas y de nutrición humana (Bouis *et al.*, 2011).

Varios cultivos modificados genéticamente, incluyendo el arroz, han conseguido alcanzar niveles superiores de nutrientes esenciales, tales como vitamina A, hierro, cinc, proteínas, aminoácidos y ácidos grasos esenciales, así como los niveles de los factores que influyen en la biodisponibilidad, a la vez que han visto reducidos sus niveles de factores antinutricionales (como cianógenos, fitatos o glicoalcaloides). En cualquier caso, se ha evidenciado que la presencia de ácido fítico supone una limitación para conseguir una óptima eficiencia del proceso de biofortificación en cereales (Petry *et al.*, 2014; Chavasit *et al.*, 2015).

La disponibilidad y el consumo de este tipo de cultivos biofortificados tendría un impacto significativo en la reducción de la desnutrición y el riesgo de enfermedades crónicas en los países en vías de desarrollo (Gilani *et al.*, 2007; Bouis *et al.*, 2011). Para que las ingestas de arroz alcancen los requerimientos promedio estimados en adultos sería preciso el fortalecimiento de cada micronutriente en los siguientes niveles (Universidad Nacional de Colombia, 2003):

- Fe : 7 mg/100 g;
- Zn : 6 mg/100 g;
- vitamina A : 0,15 mg/100 g;
- vitamina B1 : 0,5 mg/100 g;
- vitamina B3 : 7 mg/100 g;
- vitamina B6 : 0,6 mg/100 g;
- vitamina B12 : 0,001 mg/100 g;
- ácido fólico : 0,13 mg/100 g.

Estas concentraciones se pueden lograr en una proporción de 1:100 de mezcla de granos fortificados: no fortificados (de Pee, 2014).

Los agricultores deben ser conscientes tanto de la gran influencia que la investigación agrícola puede haber tenido sobre la utilización de nutrientes, por ejemplo ante la mejora de la solubilidad de minerales traza en las variedades modernas frente a las tradicionales, así como el potencial de fitomejoramiento para futuras mejoras en la nutrición y la salud (Bouis *et al.*, 2011). Se anima a los agricultores dedicados a la biofortificación con fines nutricionales, al desarrollo de granos modificados con fitomejoramiento, que presente alto contenido en ciertos micronutrientes, como el hierro, y con bajas concentraciones de ácido fítico, con el fin de optimizar la solubilidad mineral (Bouis *et al.*, 2011; Petry *et al.*, 2014).

Hay pocos datos disponibles sobre la eficiencia del proceso de fortificación del arroz, no obstante, la justificación y viabilidad técnica parecen claros. Los costes de la fortificación del arroz se determinan en gran medida por las adaptaciones en el proceso de fabricación de los granos enriquecidos y no tanto por el número de micronutrientes que se agregan. Las inversiones iniciales en la investigación agrícola pueden generar altos beneficios recurrentes, como es el caso de las variedades biofortificadas, que al ir aumentando su producción permita un mayor acceso a menor coste, siendo de gran interés para los PVD que tienen el arroz como base de su dieta (de Pee, 2014).

En la búsqueda permanente de la calidad y de la productividad, en los centros de investigación de todo el mundo, surgen continuamente nuevas variedades de arroz, que se diferencian entre sí por su tamaño, su resistencia a plagas, sus características culinarias, su denominación que se refiere al país de origen o al nombre del centro de investigación donde fueron creadas, entre otros aspectos (Franquet y Borrás, 2004).

Las estrategias de resistencia a las enfermedades de los cultivos agrícolas son frentes importantes a abordar para la sostenibilidad de la agricultura, ya que reducen

la entrada de producto químico en el medio ambiente, pudiendo ser explotado para aumentar la resistencia a las enfermedades y optimizar la producción de los cultivos (Waller *et al.*, 2005).

Durante mi estancia en la Amity University, campus de Noida (Uttar Pradesh, India) tuve la oportunidad de participar en los estudios llevados a cabo en el Amity Institute of Microbial Technology (AIMT) bajo la dirección del Profesor Ajit Varma, entre los que destacan las investigaciones que han permitido desvelar las propiedades de la *Piriformospora indica* y su capacidad mediadora en la captación de micronutrientes a través de las raíces, especialmente de cereales. La *Piriformospora indica* es un hongo endofítico fácilmente cultivable, que carece de especificidad de huésped y con gran capacidad de colonización de raíces de gran variedad de plantas. Se obtuvo de los suelos de la rizosfera de los arbustos leñosos en los suelos arenosos del desierto indio de Thar, en Rajasthan. Estas propiedades permiten a las plantas crecer bajo estrés extremo, tanto físico como de nutrientes, destacando una gran tolerancia al estrés salino. Igualmente, ha demostrado tener un enorme potencial bioprotector contra patógenos de las plantas, enfermedades fúngicas y plagas de insectos de los cultivos agrícolas y hortícolas, así como una fuerte actividad promotora del crecimiento, durante su simbiosis, con un amplio espectro de plantas. Por tanto, esta fuerte actividad promotora del crecimiento durante su simbiosis lleva asociado un aumento en el crecimiento de plantas, su floración temprana, un mayor rendimiento del grano, alteración en los metabolitos secundarios y la adaptación al estrés abiótico y biótico (Waller *et al.*, 2005; Varma *et al.*, 2012).

La *P. indica* se cultiva en medio Kaefer (Figura 2) y al preparar cultivos hidropónicos de arroz usando solución Hoagland con concentraciones diferentes de *P. indica* puede apreciarse el efecto del hongo sobre el crecimiento de la planta. A unas concentraciones determinadas el hongo manifiesta su óptima capacidad mediadora en la captación de micronutrientes a través de las raíces, obteniendo plantas significativamente más vigorosas, de mayor talla y porte, así como con una coloración más verdosa y mejor aspecto general, tal como puede observarse en los cultivos señalados en rojo en la Figura 3.

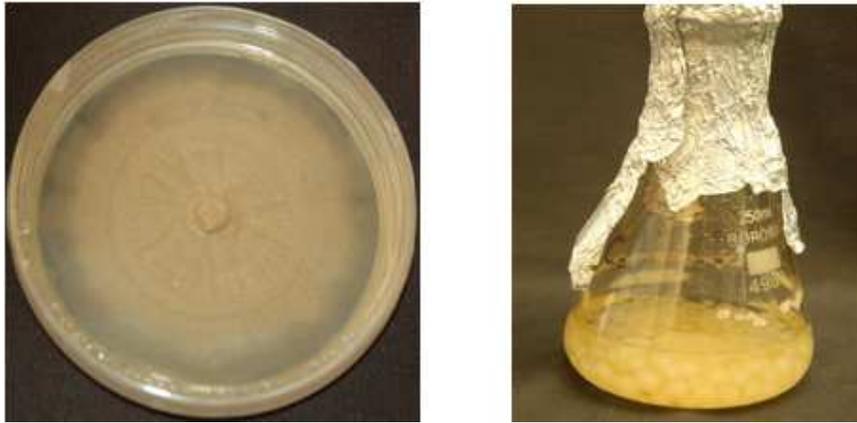


Figura 2. Cultivo de *Piriformospora indica* en medio Kaefer (Sólido y Caldo).

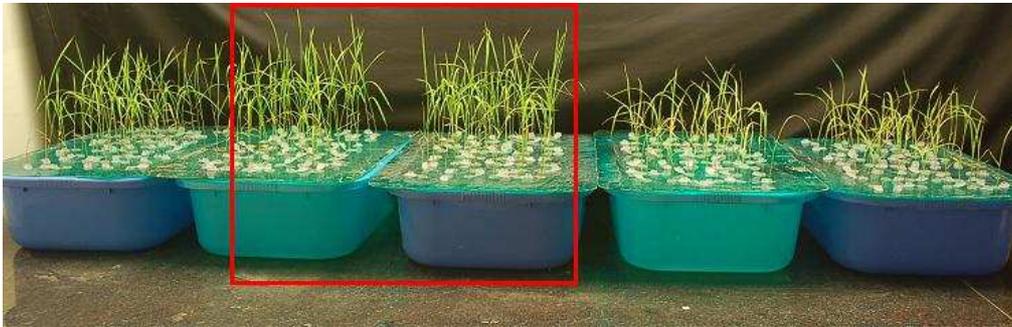


Figura 3. Cultivos hidropónicos de arroz con diferentes concentraciones de *P. indica*.

El Zn es un elemento mineral esencial para el crecimiento normal de las plantas de arroz, pero a una alta concentración de Zn puede llegar a resultar nociva (Hall, 2003), tal como se observa en los cultivos hidropónicos de arroz de la parte derecha de la Figura 3.

Recientemente, la decodificación del genoma de *P. indica* ha puesto de manifiesto su alto potencial en la promoción del crecimiento de hongos micorrizas para una mejora específica del rendimiento en la producción de plantas de cultivo. (Varma *et al.*, 2012).

2.8. Métodos de determinación *in vitro* de la biodisponibilidad mineral

El modelo ideal para la determinación de la biodisponibilidad de los minerales de los alimentos sería la realización de estudios empleando modelos humanos (*in vivo*), pero su aplicación se hace realmente difícil debido a la imposibilidad de emplear una población lo suficientemente grande y un tiempo lo suficientemente largo, que nos permitan obtener resultados satisfactorios (Frontela, 2007).

Como alternativa a los estudios *in vivo* de la biodisponibilidad mineral, se han diseñado los modelos *in vitro*, que consisten en simular la digestión gastrointestinal para hacer una estimación de la cantidad de elemento mineral que se solubiliza o se dializa a través de una membrana, que teóricamente es captada por las células de la mucosa intestinal, sirviendo esta fracción soluble (solubilidad mineral) como indicador de la biodisponibilidad. La solubilidad es considerada un importante parámetro indicador de la disponibilidad mineral ya que determina la fracción mineral que queda disponible para ser absorbida por el organismo (Cámara *et al.*, 2005; Frontela, 2007; Herrero *et al.*, 2010).

Dichos modelos tienen interés como etapa previa a la estimación de la biodisponibilidad de los elementos minerales en humanos por ser más rápidos, sencillos y económicos, además de ofrecer una menor variabilidad en los resultados (Wolters *et al.*, 1993; Glahn *et al.*, 2002; Skibniewska *et al.*, 2002).

Los estudios *in vitro* son los que más se están empleando en la determinación de la disponibilidad mineral, ya que se ha comprobado que los resultados pueden ser extrapolados a humanos (Miller *et al.*, 1981; Bosscher *et al.*, 2003; Cámara *et al.*, 2005). Numerosos estudios han demostrado un evidente paralelismo entre las medidas de solubilidad mineral y las medidas de disponibilidad obtenidas mediante métodos *in vivo* (Sahuquillo *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2008).

Numerosos autores han comprobado el interés del empleo de la línea celular Caco-2, procedente de carcinoma de colon humano, de forma complementaria a la simulación de una digestión gastrointestinal para estudiar la biodisponibilidad mineral (Glahn *et al.*, 2002).

3. FIBRA DIETÉTICA

3.1. Definición

Diferentes definiciones han sido empleadas para la fibra dietética, en ciertos casos dependientes de la metodología analítica usada para su determinación y en otros casos según los efectos fisiológicos que produce. No existe una definición única que englobe los distintos componentes de la fibra dietética y sus funciones (Bernal, 2011).

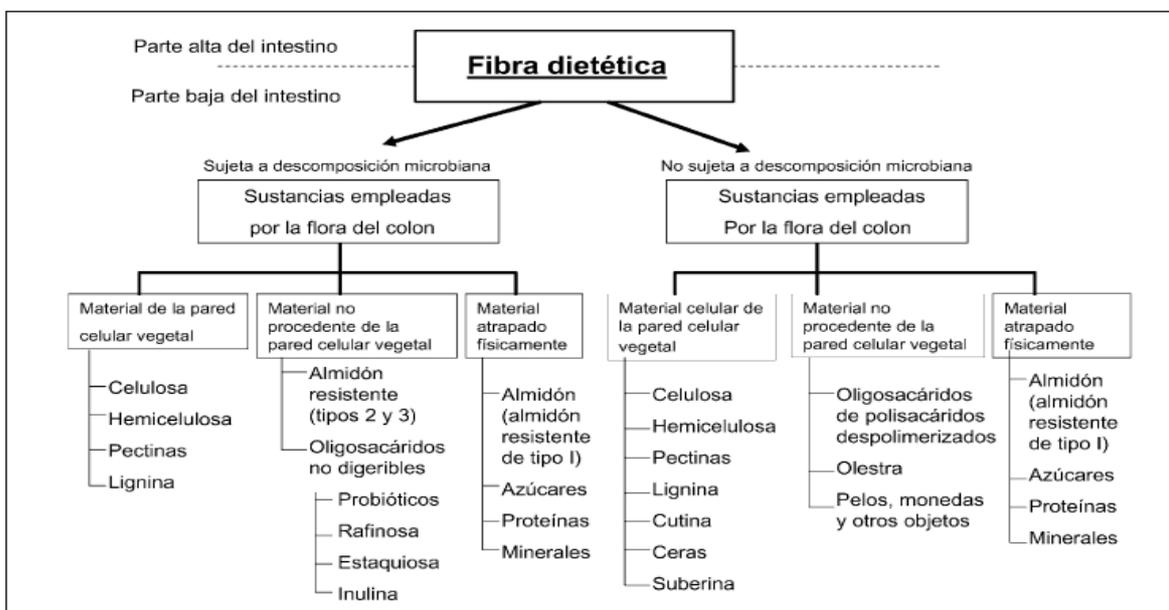
La Asociación Americana de Químicos en Cereales (2001) define la fibra dietética como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, con una fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta, promoviendo efectos fisiológicos beneficiosos como la mejora del tránsito intestinal y/o la atenuación de los niveles de colesterol y glucosa en sangre.

Así, la fibra dietética es una mezcla de complejos sin entidad química propia y cuya composición varía según el tipo de alimento en cuestión, estando constituida por hidratos de carbono no digestibles y la lignina (Tabla 4, adaptación de Ha *et al.*, 2000), que son intrínsecos en la planta.

Otra definición, también del año 2001, recogida de la *National Academy Press* americana añade a la definición previa de fibra dietética el concepto nuevo de fibra funcional o añadida, que incluye otros hidratos de carbono absorbibles como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa,

que tienen efectos beneficiosos para los humanos, estaríamos hablando entonces de fibra total como la suma de fibra dietética más fibra funcional.

Tabla 4. Clasificación de la fibra dietética.



Mientras que las recomendaciones de dosis diarias para la fibra total están bien detalladas en las tablas guía, no ocurre lo mismo en el caso concreto de la fibra dietética, la cual no cuenta con unas recomendaciones específicas de consumo. Para los adultos se sugiere un aporte entre 20-35g/día o bien aproximadamente de 10-14 g de fibra total por cada 1.000 kcal (Escudero y González, 2006).

En los niños mayores de dos años y hasta los dieciocho, la FDA recomienda el consumo de la cantidad que resulte de sumar 5 g/día a su edad (ejemplo: un niño de cuatro años debería ingerir aproximadamente 9 g de fibra al día). De esta manera, a partir de los 18 años alcanzaría el consumo adecuado de un adulto. Actualmente no se dispone de estudios que definan las cantidades idóneas de consumo de fibra en niños menores de dos años (Escudero y González, 2006).

En el caso personas a partir de los 50 años, las recomendaciones diarias de fibra total, por parte del Comité de Alimentos y Nutrición del Instituto de Medicina de la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU., son de 30 g en el caso de varones y de

21 g para mujeres (FNB, 2002). Los valores de consumo diario medio de fibra en España es, aproximadamente, de 20 g/día (Escudero y González, 2006). Siempre debe aconsejarse que las fuentes de fibra sean variadas y que se realice una ingestión hídrica adecuada.

3.2. Efectos fisiológicos

La fibra dietética alcanza el intestino grueso y es atacada por la microbiota colónica, dando como productos de fermentación ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno, dióxido de carbono y metano. Los ácidos grasos de cadena corta representan no solo una forma de recuperar energía, sino que van a estar implicados en otras funciones beneficiosas para el organismo (Escudero y González, 2006).

La fibra dietética proporciona una serie de efectos fisiológicos beneficiosos en el sistema digestivo, de acuerdo a sus propiedades de solubilidad en agua, ya que podemos clasificar los diferentes compuestos en fibra soluble y fibra insoluble, con propiedades de fermentación completamente diferente y efectos distintos. Las fibras solubles son fermentadas casi en su totalidad hacia la formación de ácidos grasos volátiles de cadena corta, principalmente butirato, propionato y acetato.

Estos efectos fisiológicos, según las propiedades químicas y físicas de las fuentes de las que provenga, proporcionan una serie de consecuencias beneficiosas para la salud que han sido intensamente investigadas (Olivares, 2000), cumpliendo un importante papel en todas las funciones del sistema digestivo, desde la masticación hasta la evacuación fecal.

Las dietas con un elevado contenido en fibra precisan un mayor tiempo de masticación, por lo que ralentizan la deglución y ello conlleva a una mayor salivación, que repercutirá en la mejora de la higiene bucal. A nivel estomacal las fibras solubles retardan el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión prolongando la sensación de saciedad debido a su viscosidad. En el intestino delgado la fibra soluble igualmente

retrasa el tiempo de tránsito por la formación de soluciones viscosas, aumentando también el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo cual conlleva a un retardo en el tiempo de absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos (Favier, 1993; Grandfeldt *et al.*, 1994).

Asimismo, la presencia de fibra en la dieta lleva asociada una disminución en la absorción de los ácidos biliares, ya que éstos se unen a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de los polisacáridos, pudiendo producir una alteración en la formación de micelas y la absorción de las grasas. Como consecuencia de la depleción de ácidos biliares pueden disminuir los niveles de colesterol, ya que éste interviene en la síntesis de nuevos ácidos biliares (Escudero y González, 2006).

Los efectos fisiológicos de la fibra a nivel del colon están ligados estrechamente con el efecto prebiótico y la capacidad fermentadora de la misma. Es necesario, por lo tanto, llevar a cabo un desarrollo más profundo de los estudios existentes, que vislumbran interesantes sinergias de la fibra y las asociaciones prebióticos-probióticos sobre la solubilidad de minerales y oligoelementos (Bernal, 2011).

Actualmente, numerosos estudios epidemiológicos han destacado los beneficios que el consumo habitual de fibra tiene sobre distintas patologías (Escudero y González, 2006; Bernal, 2011), tales como:

- Estreñimiento leve y moderado: por el incremento del bolo fecal.
- Diarrea: contribuye en el mantenimiento de la función de la barrera intestinal.
- Colitis ulcerosa: por el incremento de la concentración de butirato en el colon distal.
- Cáncer de colon y recto: debido al incremento de la velocidad de tránsito intestinal y la masa fecal, así como por la acción protectora de los ácidos grasos de cadena corta frente a la proliferación celular, la apoptosis y la expresión génica.
- Diverticulosis: por la disminución la presión intraluminal del colon, evitando la formación sacular.

- Enfermedad cardiovascular: por la reducción de los niveles de lípidos plasmáticos por limitar la absorción intestinal del colesterol y la acción quelante sobre las sales biliares.
- Diabetes: gracias al control glucémico e insulínico por retrasar el vaciamiento gástrico, disminuir la absorción de glucosa al quedar atrapada por la viscosidad de la fibra y por producir ácidos grasos de cadena corta que reducen la producción hepática de glucosa.

3.3. Efectos antinutritivos

El principal efecto adverso de la fibra dietética se debe a la absorción o retención de algunos nutrientes en su matriz, sobre todo compuestos de bajo peso molecular y micronutrientes como las vitaminas, la glucosa, el colesterol y los minerales (Ca, Fe, Cu, Mg y Zn), que pueden quedar secuestrados en la matriz de la fibra, no siendo asimilables por el organismo bajo condiciones fisiológicas, o serlo en menor medida (Herrero *et al.*, 2010).

Parte del efecto negativo de la fibra dietética se debe a la presencia del ácido fítico asociado a la misma, compuesto que se encuadra dentro de las llamadas sustancias antinutritivas, capaces de formar complejos insolubles (fitatos) con los nutrientes, disminuyendo su biodisponibilidad (Matsui, 2002).

La evaluación de los constituyentes de la fibra responsables de la retención de minerales desvelan resultados contradictorios, siendo complicado explicar los mecanismos que causan este comportamiento. Los polisacáridos de los vegetales están asociados a otras sustancias como compuestos polifenólicos, proteínas, fitato, cutina y suberina, citratos, oxalatos, etc, que pueden modificar la unión de los minerales a la fibra dietética y por consiguiente la biodisponibilidad mineral de los alimentos (Olivares, 2000).

La fermentación de la fibra por las bacterias anaerobias en el colon puede ser responsable de cuadros de flatulencia, meteorismo, distensión abdominal y dolor abdominal. Se han descrito casos de obstrucción intestinal y de formación de fitobezoares con la ingestión de dosis altas de fibra no fermentable, principalmente cuando el aporte hídrico es insuficiente. Estos efectos son especialmente acusados con los fructooligosacáridos (FOS) y galactooligosacáridos (GOS). Se recomienda, por lo tanto, que el consumo de la fibra se lleve a cabo de forma gradual para que el tracto gastrointestinal se vaya adaptando progresivamente (Escudero y González, 2006).

Estas características de la fibra dietética hacen que los cereales integrales, y más concretamente el arroz, puedan presentar un compromiso en sus propiedades nutricionales, particularmente de minerales. Por lo cual, el estudio de la solubilidad mineral a partir de estos alimentos adquiere una gran importancia.

4. ALMIDON RESISTENTE Y AMILOSA

4.1. Definición

El **almidón** es el principal hidrato de carbono en la mayoría de las dietas y el presente en los cereales, en las legumbres, en los tubérculos y en las hortalizas radicales, como zanahorias. Los cereales y sus productos derivados son la principal fuente en la dieta humana (Bernal, 2011). Es un polímero de la glucosa, que consta de una mezcla de dos polisacáridos: la amilopectina y la amilosa. Se compone de unidades de D-glucosa, distinguiendo entre dos estructuras de amilosa una cadena lineal con enlaces de amilopectina α 1-4 y una cadena ramificada de eslabones con enlaces α 1-4 y α 1-6.

El almidón está presente en el interior de los gránulos de las células del endospermo del grano de cereal, y las cadenas de polisacáridos que forman el almidón están proporcionando una estructura cristalina organizada. Es el compuesto que está presente en mayor concentración en el arroz, alcanzando proporciones del 90% en el arroz elaborado (Tinarelli, 1989).

La **amilosa** es el componente que aparece en menor cantidad en la cadena de almidón (15-30%) y con un peso molecular de 60.000 Da. Se caracteriza por una estructura helicoidal con seis unidades de glucosa por hélice (Pascual, 2010). En cambio, la **amilopectina** representa un 70-85% del almidón y se compone de más de 10.000 residuos de glucosa con uniones α 1-4 y α 1-6, que le da una característica estructura ramificada, con un peso molecular de un millón de Da. (Gallant *et al.* 1992 ; Bornet, 1993).

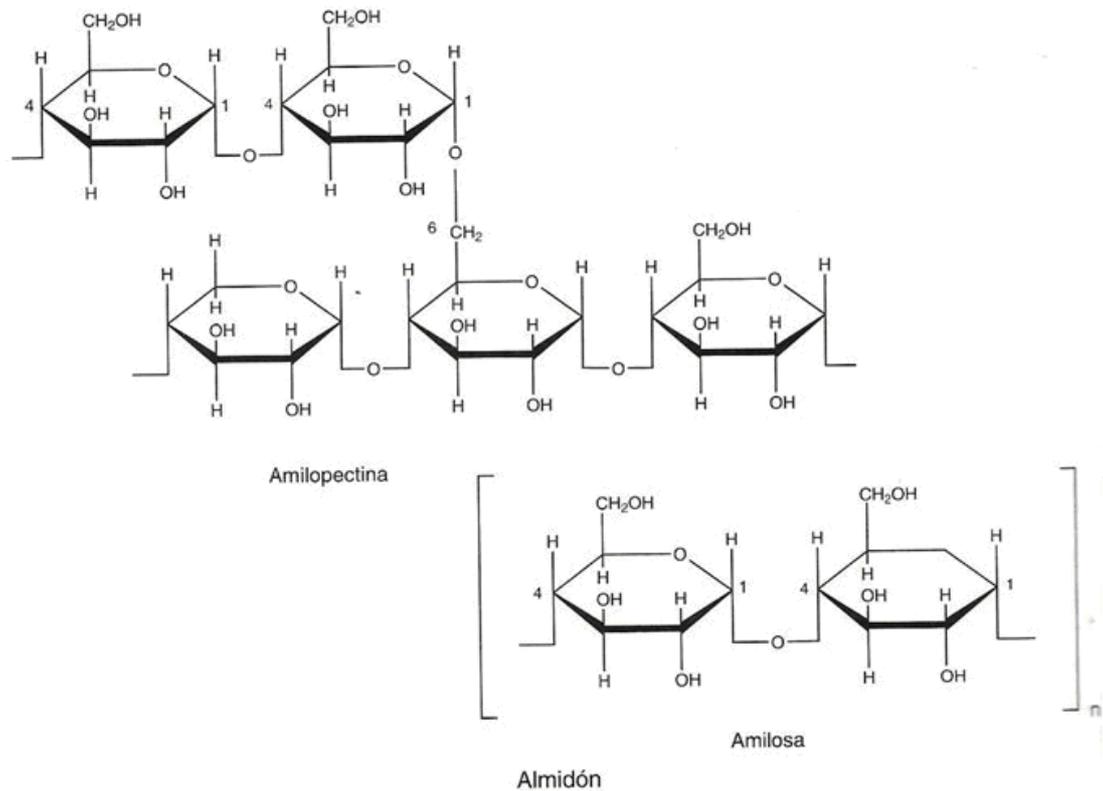


Figura 4. Estructura química del almidón y la amilopectina.

El contenido de amilosa varían entre el 15 y el 35%, según el tipo de arroz, siendo este parámetro utilizado en la clasificación de los arroces. Así tenemos arroces céreos o glutinosos que muestran los valores más bajos mientras que los arroces de grano largo (tipo índica) tienen concentraciones superiores al 35% (Tinarelli, 1989).

Las variedades consumidas tradicionalmente en España son de grano corto, medio o redondo, presentando contenidos bajos de amilosa, con la excepción de la variedad Bomba que se considera de contenido medio. Por tanto, la variabilidad en cuanto al contenido en amilosa es multifactorial, quedando determinada por la variedad del arroz, el año de cultivo y a la interacción entre ambos factores, quedando independiente del proceso de abonado (Carreres, 1988). Otros factores externos interfieren, como la temperatura durante la maduración del grano, ya que bajas temperaturas favorecen la síntesis de amilosa (Hirano, 1998). Así dentro de una misma zona geográfica, se han descrito diferencias de contenido en amilosa para el cultivo de

una misma variedad, posiblemente por las condiciones microclimáticas (Pascual, 2010).

Se sabe que parte del almidón de los alimentos se escapa a la digestión en el intestino delgado, es el **almidón resistente** (RS), que se define como la suma del almidón y de sus productos de degradación, que llega al intestino grueso donde es fermentado por microorganismos en el colon, mejorando la función intestinal y la forma de los ácidos grasos de cadena corta, especialmente el ácido butírico y el ácido propiónico (Banger, 1989; Bornet, 1993). Esta fracción del almidón, con importantes consecuencias para la salud humana, se puede incrementar a través del procesamiento tecnológico de los alimentos.

Faisant *et al.*, (1993) describió que la caracterización físico-química de la fracción de RS presente en el íleon de los seres humanos reveló que se compone de tres tipos de α -glucanos (polímeros semicristalinos de alto peso molecular con un grado medio de polimerización de 35 unidades de glucosa).

4.2. Efectos fisiológicos

El almidón puede ser considerado el principal componente de la dieta humana, visto nutricionalmente desde una doble perspectiva, la de los hidratos de carbono digeribles y los carbohidratos no digeribles (WHO, 2003). Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero cuando se calientan en una suspensión acuosa se hinchan, rompiendo su estructura y perdiendo su forma cristalina (Biliaderis, 1991). Esta inflamación es seguida por una lixiviación de amilosa que sale de los gránulos.

El proceso de ruptura y de hinchamiento del almidón se llama gelatinización (Bornet 1993). A medida que la temperatura baja se forma un gel debido a la reorganización de los gránulos de almidón, presente dentro y fuera de la amilosa de la amilopectina, dando lugar a una nueva estructura cristalina, un proceso conocido como retrogradación (Bornet, 1993). La secuencia de eventos, la gelatinización y la

retrogradación, convierten generalmente parte del almidón obtenido en almidón resistente a la digestión (Englyst *et al.*, 1992).

Tradicionalmente, se ha considerado que el almidón se digiere casi exclusivamente en el intestino delgado, y se le consideraba una fuente de energía prioritaria, pero con los datos actuales, se considera que el almidón total de un alimento presenta varias fracciones de diferente grado de digestibilidad y, por lo tanto, con efectos fisiológicos específicos (Englyst *et al.*, 1992).

Un factor intrínseco, que podría modificar la digestibilidad y la ralentización en la absorción de glucosa, sería un alto contenido en amilosa, que resiste la digestión debido a su tendencia a formar almidón retrógrado.

Algunos de los factores extrínsecos, tales como los tratamientos culinarios y tecnológicos, alteran la digestibilidad del almidón. Las pequeñas variaciones en las condiciones del proceso pueden producir cambios significativos en su estructura. En el caso concreto del arroz, es un cereal que presenta un bajo contenido de RS debido a la alta digestibilidad pero, tras el proceso de cocción, el calentamiento puede aumentar el contenido inicial (Muir y O'Dea, 1992).

Por lo tanto, hoy en día no es sólo importante conocer la proporción de almidón digestible por su interés nutricional, sino también la cinética de hidrólisis después de la digestión y la absorción intestinal, tanto *in vitro* como *in vivo*.

El RS escapa a la digestión en el intestino delgado, fermentándose en el intestino grueso, de modo similar a la fracción soluble de la fibra dietética. Este comportamiento aporta al almidón propiedades de beneficiosas para la salud (Mula, 2011).

De los efectos saludables del RS destaca la **actividad prebiótica** a través de su fermentación, promoviendo el crecimiento de la flora bacteriana, la reducción del pH y el aumento de producción de butirato, que es un ácido graso de cadena corta

relacionado con la salud colónica e intestinal, con un papel preventivo contra el cáncer de colon. También son de interesantes otros efectos fisiológicos beneficiosos, tales como la reducción del contenido energético de la dieta o la disminución de los niveles de LDL, triglicéridos y colesterol total (Mula, 2011).

Otro efecto beneficioso a nivel sistémico atribuido al RS es la acción **hipoglucemiante**, al disminuir las concentraciones postprandiales de glucosa e insulina en sangre. Algunos estudios concluyen que al menos el 14% de almidón total consumido debe ser almidón resistente para obtener algún beneficio significativo en las respuestas glucémicas e insulínicas postprandiales (Bernal, 2011).

Hay tres factores principales que parecen explicar la mayor parte de la variación en las respuestas PPG y PPI al arroz (Boers *et al.*, 2015):

- características intrínsecas del almidón, como el ratio amilosa:amilopectina, variedad y el tipo de cultivo del arroz;
- tratamiento post-cosecha, especialmente la vaporización (arroz parboiled) y la molienda;
- tratamiento de los consumidores, tales como el cocinado, almacenamiento y recalentamiento.

El proceso de molienda muestra un efecto claro sobre la respuesta PPG y PPI, presentando unas respuestas inferiores los arroces integrales que los elaborados, a igualdad tiempo de cocción. Sin embargo, para la preparación de arroz integral suelen emplearse mayores tiempos de cocción, que conlleva a que las respuestas PPG y PPI se equiparen entre arroces integrales y los blancos (Boers *et al.*, 2015).

Además el **RS** al ser considerado un prebiótico tiene también un papel en la absorción de minerales, al modular su biodisponibilidad. Distintos estudios han descrito que el **RS** una vez que llega al intestino grueso y es fermentado por la microbiota hacia la formación principalmente de ácido butírico, produce una acidificación del lumen intestinal que favorece la absorción de Ca y de Mg en ratas

adultas (Younes *et al.*, 2001). Este efecto es debido al aumento de la superficie de absorción por la proliferación de los enterocitos y al incremento de la expresión de proteínas transportadores del calcio (Younes *et al.*, 2001; Scholz-Arhens *et al.*, 2007; De Preter *et al.*, 2011).

4.3. Amilosa y propiedades organolépticas del arroz

El contenido de amilosa es un buen índice predictivo de la calidad sensorial del arroz cocinado, ya que determina la textura, pegajosidad, terneza y volumen de expansión del arroz cocido. Por esta razón, el contenido de amilosa del arroz se correlaciona positivamente con la consistencia del arroz cocido, y negativamente con la viscosidad (Tinarelli, 1989).

Los arroces con mejor aceptabilidad por parte de los consumidores son los que presentan una mayor consistencia y menor adhesividad del grano cocido, lo cual viene condicionado por mayores contenidos de amilosa. De acuerdo con la clasificación de Juliano (1973) y Barber (1979) se han establecido tres grupos de arroces con diferentes contenidos de amilosa y, por consiguiente, distintas propiedades culinarias, como recoge la Tabla 5 (Tirandeli, 1989):

- *Arroces ricos en amilosa*: con un contenido del 25-30%. Estos arroces de alto contenido en amilosa permanecen secos y sueltos después del cocinado para absorber más agua con el consiguiente aumento en el volumen después de la cocción. Sin embargo, tienen la desventaja de que se endurece cuando se enfrían. Ellos son los preferidos en los países de Occidente, porque permanecen intactos, incluso si se cocinan demasiado.

- *Arroces con contenido intermedio en amilosa*: con un contenido de 20-24%. Arroces con contenido de amilosa intermedia se comportan de manera similar a los mencionados anteriormente, pero por el contrario se mantienen tiernos y húmedos, cuando se enfrían después de la cocción.

• *Arroces con bajo contenido en amilosa*: con un contenido del 10-19%. Los arroces de bajo nivel de amilosa son los más extendidos en los países del Este. Tras el cocinado este arroz se vuelve húmedo, pegajoso y brillante. En los países de Occidente se consideran indeseables debido a su tendencia a desintegrarse, si se excede el tiempo de cocción adecuado.

Tabla 5. Características culinarias de los arroces de bajo y alto contenido en amilosa.

Bajo contenido de amilosa	Alto contenido de amilosa
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiende a quedar compacto ▪ Absorbe bien el sabor del caldo ▪ Es más blando después de la cocción ▪ Se disgrega fácilmente ▪ Libera amilosa al caldo y lo espesa ▪ Adecuado para el arroz seco y caldoso 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiende a quedar suelto ▪ Absorbe poco el sabor del caldo ▪ Es más consistente tras la cocción ▪ Se disgrega fácilmente ▪ Poca amilosa al caldo y no lo espesa. ▪ Adecuado para ensaladas/guarniciones

Aquellos arroces que han sido sometidos a una temperatura de maduración superior manifiestan un menor contenido de amilosa y del número de cadenas cortas de amilopectina, suponiendo un efecto sobre las propiedades de cocción del arroz, con altas temperaturas de gelatinización, requiriendo un incremento en la temperatura y el tiempo de cocción de este arroz (Chun *et al.*, 2015).

5. DENOMINACIÓN DE ORIGEN ARROZ DE CALASPARRA

El cultivo del arroz en la zona de Calasparra se remonta al siglo XV. Existe constancia de las técnicas agrícolas empleadas en Actas Capitulares y diversos documentos que datan del siglo XV, dando testimonio de la importancia de estos sistemas de cultivo, en los que los agricultores reglamentaban su cultivo y el aprovechamiento de las aguas.

Los primeros documentos referidos, propiamente, al arroz en Calasparra datan del siglo XVII. Según documentos conservados en el Archivo Municipal de Calasparra, durante el siglo XVIII se produjo la adaptación definitiva del cultivo del arroz en la zona.

El cultivo de arroz se difundió en la Vega del Segura, pero enseguida invadió la huerta del Argos, inmediata al núcleo de población, provocando durante la segunda mitad del siglo XVIII frecuentes epidemias de paludismo terciario (malaria benigna) y originando un retroceso demográfico. Esta enfermedad es causada por el parásito *Plasmodium vivax*, que se transmite a través de la hembra del mosquito *Anopheles*, cuyo hábitat son zonas geográficas de altas temperaturas y requieren aguas estancadas para completar su ciclo reproductivo.

Por todo esto, el Ayuntamiento de Calasparra en 1.751, a través de un Acta Capitular, prohibió el cultivo del arroz en los lugares inmediatos al pueblo, por un efecto potencial de perjuicio sobre la salud, prohibición que se incumplió reiteradamente.

A principios del siglo XIX el cultivo del arroz se fue trasladando paulatinamente hacia la Vega del Segura, mientras que la huerta tradicional del río Argos y del río Quípar se dedicó al cultivo de otros productos que necesitaban menos agua.

En merced a un Real Decreto del Ministerio de Fomento de 1 de Enero de 1908 se declara Coto Arroceros a determinados terrenos de los términos municipales de Hellín en la provincia de Albacete, y Moratalla y Calasparra en Murcia (Figura 5), siendo este último el que le da el nombre por su mayor tradición y arraigo.



Figura 5. Localización Geográfica de la D.O. Calasparra.

La marca "Arroz de Calasparra" se registró en 1928. Debido a sus características peculiares en 1986 el arroz de Calasparra se convirtió en el primer arroz con Denominación de Origen en España.

Hasta hace poco tiempo, en España, sólo existía reconocida una Denominación de Origen para arroz, el de Calasparra. Actualmente, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) tiene reconocidas para el arroz dos denominaciones de origen protegidas (Valencia y Calasparra), además de una indicación geográfica protegida (Delta del Ebro).



Figura 6. Logotipos de las D.O.P e I.G.P. de arroz en España. Fuente: MAGRAMA

La superficie inscrita en el Registro de fincas de la Denominación de Origen Calasparra es de unas 1.000 hectáreas reales cultivables, de las cuales, debido a la rotación con otros cultivos, se suelen sembrar anualmente entre 500 y 700 (Figura 7),

lo cual viene regulado por el Consejo Regulador de la Denominación de Origen, con actuación a nivel estatal, dependiendo directamente del MAGRAMA.

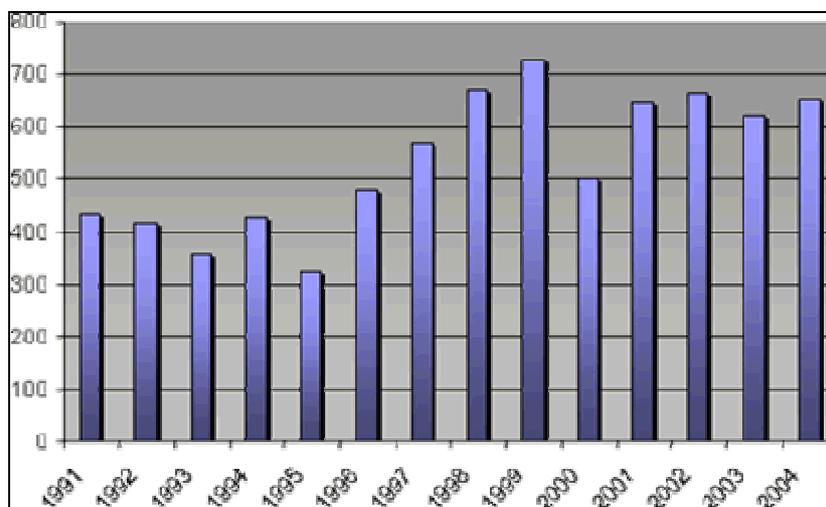


Figura 7. Superficie sembrada (Ha). Fuente: Consejo Regulador D.O. Calasparra.

La producción media anual de arroz de Calasparra con cáscara, conforme a los últimos datos públicos del Consejo Regulador D.O. Calasparra, alcanzó entre 3 y 4 millones de kilos (Figura 8), representando el arroz de producción ecológica un 15% del total, con una extraordinaria aceptación, exportándose el 75% de su producción a países principalmente centroeuropeos, además de Australia, Singapur y Estados Unidos.

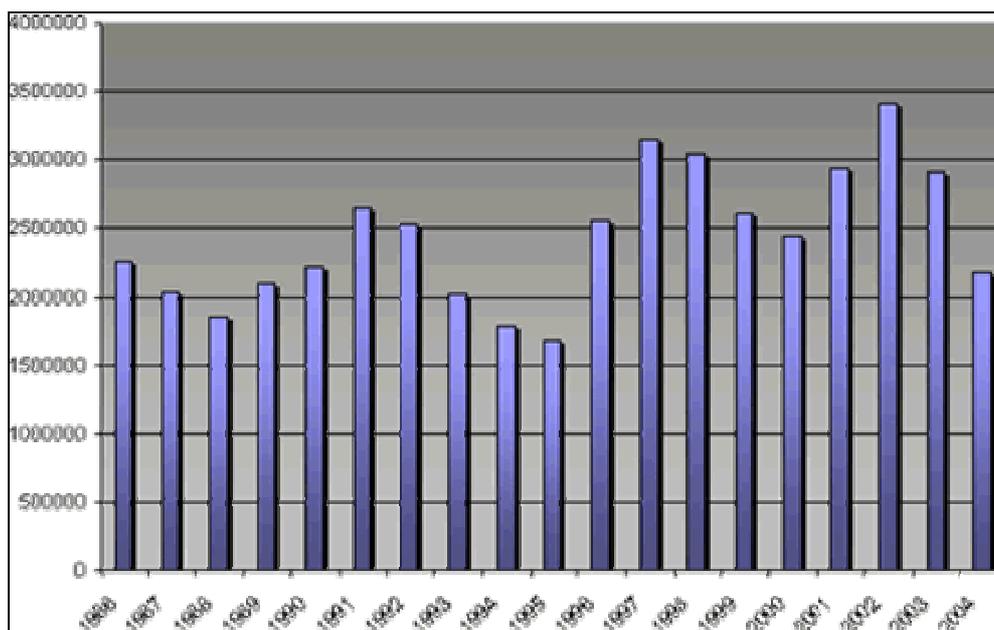


Figura 8. Producción anual de arroz D.O. Calasparra (kg).
Fuente: Consejo Regulador D.O. Calasparra

Comparando esta producción con otras zonas arroceras españolas, como Valencia y Tarragona, el arroz de Calasparra representa la menor producción anual, sin embargo, las prácticas agrícolas en el cultivo, tienen una contribución clara a la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural en la zona.

El Coto Arrocero está enclavado en una zona montañosa, formando una planicie discontinua que aparece y desaparece entre las montañas, con una privilegiada orografía por la que discurren los ríos Alhárabe, Argos, Quípar, Mundo y predominantemente el Segura, que con algunos ensanchamientos o pequeñas vegas constituyen el área de producción. Su entorno ecológico es claramente diferente al resto de los arrozales, ya que se cultiva en un área montañosa y soleada, con una altitud entre 341 y 500 metros sobre el nivel del mar (Figuras 9 y 10). La irrigación se lleva a cabo a través de un sistema de terrazas que permite la renovación constante de agua y una maduración del grano 30% superior al de las restantes variedades de arroz.

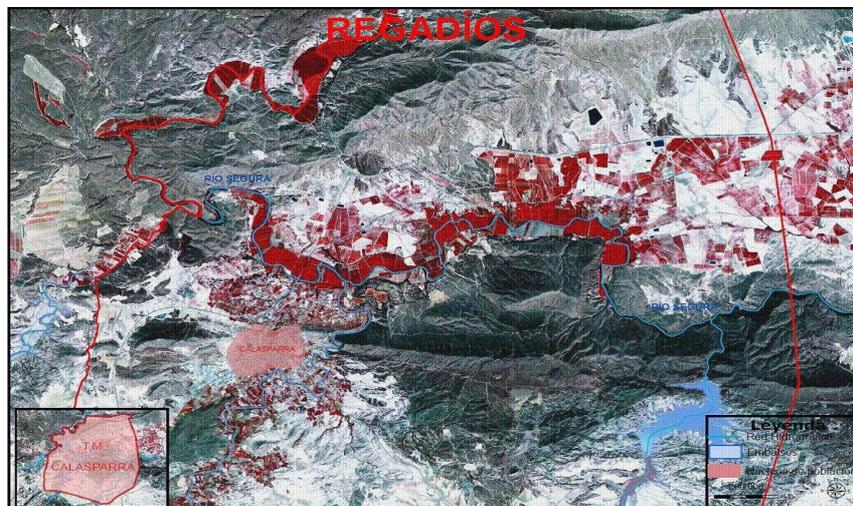


Figura 9. Imagen Satélite SPOT año 2005. Fuente: Plan Nacional de Teledetección.

La edafología del terreno (Figura 10) se caracteriza por suelos calizos sobre material consolidado, alternando en algunas zonas con margas en complejo con suelo pardo calizo. El clima es mediterráneo, con temperaturas medias anuales inferiores a 15°C, veranos cálidos e inviernos rigurosos y con precipitaciones por debajo de 400 mm. Su altitud, temperatura y pureza de las aguas, así como las condiciones

ambientales, le confieren unas cualidades culinarias y características físico-químicas excepcionales que lo diferencian del resto de los arroces presentes en el mercado.



Figura 10. Vista aérea de distintos parajes del Coto Arrocerero de Calasparra.
Fuente: Consejo Regulador D.O. Calasparra

Los arroces de Calasparra destacan de entre los demás arroces por la dureza del grano elaborado, debido a una deshidratación natural que se produce en las últimas fases de la maduración del grano, que coincide con unas temperaturas elevadas y una humedad relativa baja (30-40 %). Se trata de un tipo de arroz que requiere mayor cantidad de agua y un tiempo de cocción algo más largo que el resto, lo que hace que el grano se hinche más y se impregne mejor de otros sabores en el proceso culinario. Igualmente, se diferencia por la resistencia de sus granos al empastado, debido a la agrupación consistente del almidón y el bajo nivel de amilosa, sin que ello le haga perder sus cualidades culinarias (Consejo Regulador D.O. Calasparra, 2009).

Los arrozales del Coto Arrocerero en general, y de la Región de Murcia en particular, están constituidos por plantas de arroz de la especie asiática *Oryza sativa* L. junto con la africana *Oryza glaberrima* L. La tradición ha demostrado que, de las variedades

existentes (Figura 11), son las de Balilla x Sollana y Bomba (Figura 12) las que mejor se adaptan a las características especiales del Coto Arrocerero de Calasparra.

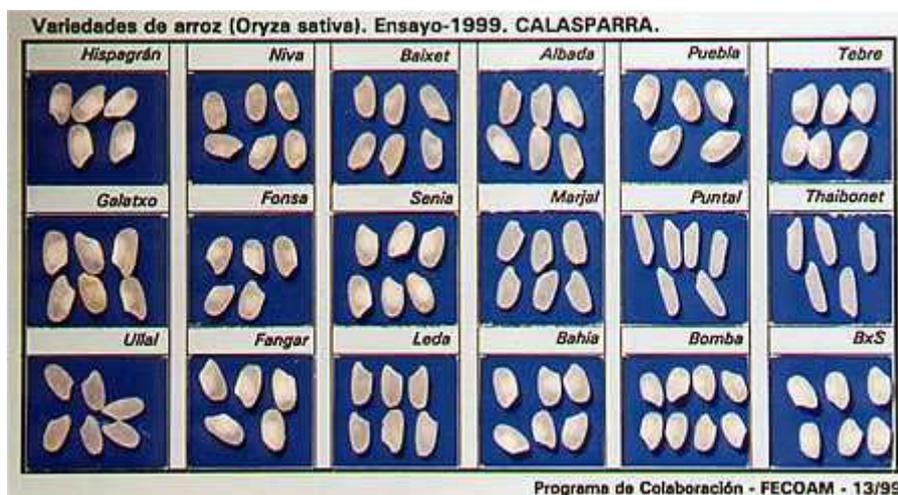


Figura 11. Variedades de arroz (*Oryza sativa*).
Fuente: Consejo Regulador D.O. Calasparra.



Figura 12. Variedades más frecuentes de arroz (*Oryza sativa*).
Fuente: Consejo Regulador D.O. Calasparra.

Balilla x Sollana es una variedad desarrollada en el año 1948 objeto de la hibridación lograda en la Estación Arrocerera de Sueca (López Campos *et al.*, 1970) a partir de la variedad Balilla, que aportó un nuevo nivel de producción, convirtiéndose en la variedad más cultivada. La altura de la planta oscila entre 100-115 cm, con tallos rectos de grosor mediano, con largas hojas de color verde oscuro. La cáscara es amarilla y con vello claro, y después de la molienda da un grano corto y medio, redondo y perlado, con un rendimiento entre el 65 y 67,5% (León *et al.*, 1999).

Tabla 6. Características del Grano Crudo elaborado Balilla x Sollana.

<i>Variedad</i>	<i>Longitud del grano</i>	<i>Anchura del grano</i>	<i>Espesor del grano</i>	<i>Amilosa (%s.e.s.)</i>
Balilla X Sollana	5,3 a 5,6 mm	3,10 mm	2,12 mm	20,52

Fuente: Consejo Regulador D.O. Calasparra.

En los arroces de la variedad BxS el contenido de amilosa es bajo, entre el 17-20% (Carreres, 1982, León, 1999). En relación con las características culinarias, la variedad BxS tiene un tiempo de gelatinización de 19-20 minutos, una absorción de agua aparente entre 1,7 y 1,9 g/g, y respecto a las propiedades de textura del grano cocido, la viscosidad está comprendida entre 4,3 y 5,6 gxcm, mientras que la consistencia presenta valores entre 0,7 y 0,8 Kg/cm² (Benedito y Martínez, 1997, León, 2002).

Bomba es una variedad de origen desconocido, que se cultiva en España, mayoritariamente en las provincias de Murcia y Albacete, gracias a la cuidada selección de los agricultores de Calasparra desde el siglo XIX (López Campos *et al.*, 1970). La altura de las plantas es de gran envergadura, con unas dimensiones de entre 130 y 145 cm, con tallos gruesos no flexibles, de color claro y hojas alargadas. Este arroz muestra panículas arqueadas, densidad media y larga y con el cuello recto, corto y grueso. La cáscara es amarilla y de vello claro y tras molienda da un grano corto y perlado (León *et al.*, 1999). El rendimiento es más bajo que en el caso de otras variedades de arroz (León *et al.*, 1999).

La concentración de amilosa de los arroces de la variedad Bomba es intermedio-alto, entre el 23-26% (Benedito y Martínez, 1997, León, 2002). En cuanto a las características culinarias muestra un tiempo de gelatinización de entre 18-19 minutos, una absorción de agua aparente de 1,9-2,2 g/g, y una viscosidad y consistencia de 1,2 - 1,5 gxcm y 1,0-1,1 Kg/cm², respectivamente. El arroz bomba es reconocido por su calidad culinaria excelente y tiene una gran popularidad entre los consumidores españoles.

La comercialización del arroz de Calasparra tiene las siguientes presentaciones: arroz de tipo “blanco” tanto de las variedades Bomba como Balilla X Sollana y de los tipos “integral” y “semi-integral” de la variedad Balilla X Sollana de producción ecológica. Estos últimos se cultivan en las condiciones idóneas de pureza citadas previamente, convirtiéndose la producción ecológica en un importante pilar para los agricultores de arroz de Calasparra desde los años 80, lo que ha permitido posicionar este arroz ecológico como un producto estrella en los establecimientos dietéticos a escala mundial.

El arroz semi-integral cuenta con una escasa producción, a pesar de lo cual tiene especial relevancia, motivada en parte por la introducción de técnicas de agricultura ecológica tradicional.

La Figura 13 muestra la variación en el contenido de amilosa según cada una de las variedades y del año de cultivo.

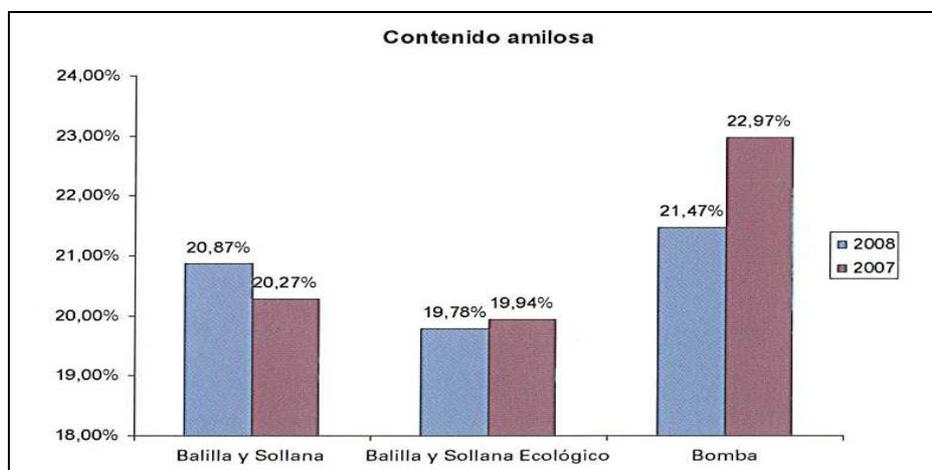


Figura 13. Contenido de amilosa en el arroz de Calasparra, según variedades y año de cultivo (Pascual, 2010).

En función a la figura anterior podemos determinar que las condiciones climáticas en la época de maduración del grano influyen en el contenido de amilosa de los arroces. Los valores porcentuales de contenido de amilosa fueron más elevados en las muestras cultivadas en el año 2007 (tanto en las variedades Bomba y BxS ecológico),

mientras que las muestras de la variedad BxS presentaron contenidos de amilosa superiores en el cultivo del 2008.

El Consejo Regulador de la Denominación de Origen de Calasparra garantiza la calidad del producto. La Denominación de Origen se consiguió de forma provisional en 1982 y fue ratificada en 1986. El Consejo Regulador garantiza la procedencia del producto y vela por que durante todo el proceso de cultivo del arroz se respeten los métodos que aseguren el cumplimiento de todas las especificaciones.

5.1. Producción y procesado

En el mundo existen distintas formas de cultivo del arroz, conforme a la variedad de la que se trate. Así pues, el cultivo en seco y en aguas someras (profundidad de agua de 0,50 metros) es el apropiado para arroces de porte enano y semienano. En las aguas intermedias (profundidad de 1 metro) se cultivan variedades altas y en las aguas profundas (hasta 5 metros) se emplean las variedades de arroz flotantes. (Witzigmann *et al.* 1999).

De forma somera se detalla la metodología llevada a cabo en la producción de los cultivos murcianos de arroz (Consejo Regulador de la Denominación de Origen de Calasparra, 2009).

La preparación del terreno se lleva a cabo mediante una serie de alternativas de cultivo en un ciclo que dura dos años y que enriquece el terreno evitando agotar las reservas del suelo, mejorando así el aprovechamiento de las tierras, siendo la alternancia más habitual:

- Abril-Mayo a Octubre-Noviembre: Arroz.
- Noviembre- Junio: Trigo.
- Junio - Diciembre: Maíz.
- Diciembre - Abril: Leguminosas.

La siembra del arroz se lleva a cabo manualmente los primeros días de mayo. El arroz se deja encharcado en torno a 7-8 cm de agua, hasta el nacimiento de la planta. En el mes de julio se procede al abonado del cultivo. El nivel del agua se mantendrá durante todo el ciclo vegetativo, retirándose en los 8-10 días previos al inicio de la recolección.

La temperatura de maduración del arroz supone un factor importante a considerar por su efecto sobre la estructura del almidón, la gelatinización y las propiedades de cocción del arroz. Conforme la temperatura de maduración aumenta el contenido de amilosa y el número de cadenas cortas de amilopectina disminuyen, mientras que las cadenas intermedias de amilopectina aumentan, dando lugar a altas temperaturas de gelatinización y entalpía en el almidón. Por lo tanto, se requeriría un aumento en la temperatura y el tiempo de cocción para el arroz cultivado a temperaturas más altas (Chun *et al.*, 2015).

Para el crecimiento saludable de las plantas y su desarrollo, el terreno de cultivo debe aportar una gama de metales de transición (tales como Fe, Cu, Mn y Zn), que deben ser distribuidos por la planta, siendo de gran importancia la concentración de Zn para optimizar la producción de los cultivos arroceros (Varma *et al.*, 2012). Los sistemas de transporte de membrana son propensos a jugar un papel central en estos procesos (Hall, 2003).

Cuando una planta se enfrenta a una escasez en el suministro de Zn desarrolla una capacidad de adaptación mejorando su capacidad de absorción de este elemento mineral, tal como exponen las investigaciones de distintos autores (Talukdar *et al.*, 2008; Assunção *et al.*, 2010; Varma *et al.*, 2012).

Una vez recolectado, el arroz pasa a las industrias o cooperativas elaboradoras en las que se somete a los siguientes procesos:

- Limpieza y secado: Eliminación del exceso de agua del grano, hasta reducirlo a un 15%.

- Almacenamiento: Una vez seco, se procede a su almacenaje en silos o almacenes, hasta que se inicie el proceso de molturado.
- Descascarillado: Con este proceso se elimina la cascarilla dura que protege al grano cuando está en la espiga, obteniendo así el arroz moreno o integral.
- Molturado o mondado: Eliminación de glumas o glumillas y de las cutículas de pericarpio, con el cual se logra eliminar total o parcialmente la cutícula que recubre al grano y el germen, lo cual conlleva también la eliminación de gran parte de los nutrientes. En el caso del arroz integral se eliminan únicamente las glumas quedando el arroz revestido del pericarpio.
- Pulido: es la última operación básica, mediante la cual desaparece totalmente el germen, logrando evitar el enranciamiento del arroz en el almacenado, aunque conlleva a una reducción notable de su calidad nutritiva (Witzigmann *et al.* 1999).
- Limpieza: Separación de cuerpos extraños por aire y vibración.
- Envasado: Introducción del arroz en los envases autorizados mediante dosificadoras automáticas.
- Control de calidad extrínseca: Operación encaminada a garantizar que los envases estén correctos y se cumpla con las indicaciones señaladas en la normativa correspondiente.
- Etiquetado: Colocación de etiquetas y contraetiquetas al envase con sus especificaciones.

Otros procesados tecnológicos como la vaporización o cocido parcial (dando lugar al arroz conocido como *parboleid*) son empleados tradicionalmente en los países asiáticos y se ha ido extendiendo, con el objetivo de facilitar el descascarillado. En paralelo, esta técnica origina un efecto secundario beneficioso de vital importancia, basado en que parte de las vitaminas y minerales del salvado se transfieren al grano de arroz (Universidad Nacional de Colombia, 2003). Desde el conocimiento de este efecto de la vaporización se ha ido expandido su aplicación.

Al final de todos los procesos el arroz blanco ha perdido un 15% de su peso original, viéndose reducidas de forma significativa las cantidades de nutrientes.

Durante el procesamiento del arroz se pierden aproximadamente el 5% de Ca y el 10% de Fe, con una pérdida de tiamina de aproximadamente el 13%, y una pérdida de folato que oscila entre el 17% y 23% (Chitpan *et al.*, 2005).

En referencia al procesado culinario empleado en la preparación del arroz, igualmente lleva asociada una reducción generalizada de sus nutrientes, con diferencias entre las diferentes técnicas de cocción empleadas. Por ejemplo, la técnica usada para la preparación de la paella o el *risotto* permite una absorción completa de agua, pudiendo considerarse un método de cocción recomendado al retener ciertos compuestos (antocianinas, flavonoles y ácidos fenólicos) y así la capacidad antioxidante total, llegando incluso a aumentar esos niveles en los arroces negros (Zaupa *et al.*, 2015).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

1. MUESTRAS

Las muestras de arroz analizadas en el estudio principal de la presente Tesis Doctoral fueron arroces a granel facilitados por el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), y procedentes de parte de la producción de los años 2007 y 2008 de la Cooperativa Virgen de la Esperanza, integrada por agricultores que cultivan arroz de la D.O. Calasparra.

Con el fin de que los resultados obtenidos sean representativos de todos los arroces de la D.O. Calasparra se han analizado muestras de arroz comerciales y muestras producidas en las diferentes fincas agrícolas de la zona delimitada por el Consejo Regulador de Calasparra. También se ha tenido en cuenta las dos variedades existentes de arroz de Calasparra (Bomba y Balilla x Sollana), los tipos de producción (tradicional y ecológica), así como el grado de elaboración del grano, en función del descascarillado del mismo (integral, semi-integral y blanco).

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental de la presente Tesis Doctoral se ha llevado a cabo en los laboratorios de investigación del Departamento de Tecnología de Alimentos, Nutrición y Bromatología, de la Universidad de Murcia, en colaboración con el equipo de investigación de Fitoquímicos Naturales del IMIDA, y se encuentra dividido en cinco bloques:

- ❖ **Estudio preliminar.**- *Determinación del contenido mineral y FDT en muestras comerciales.*
- ❖ **Etapas 1.**- *Determinación del contenido mineral.*
- ❖ **Etapas 2.**- *Determinación de la solubilidad mineral "in vitro".*
- ❖ **Etapas 3.**- *Determinación de fibra dietética total (FDT).*
- ❖ **Etapas 4.**- *Determinación de amilosa y almidón resistente.*

Como **estudio preliminar** de la presente Tesis Doctoral se determinó la concentración mineral y de FDT en las muestras de arroz D.O. Calasparra. Para ello, se adquirieron en comercios locales cuatro presentaciones comerciales (Bomba-blanco, BxS-blanco, BxS Ecológico-Semi-integral y BxS Ecológico-Integral). Las muestras se analizaron tanto en crudo como cocinadas, utilizando dos procesos de cocción diferentes para analizar la posible influencia sobre la variación del contenido mineral y FDT tras el cocinado.

El análisis de muestras en sus presentaciones comerciales y empleando agua destilada en el proceso de cocción permitió obtener resultados analíticos bajo criterios controlados, que sirvieron como pilar para el diseño y desarrollo del estudio principal, en el que se empleó mayor abanico de muestras aportadas a granel y técnicas de cocción más aproximadas a las empleadas en la práctica culinaria doméstica.

Las tres primeras etapas del **estudio principal** se llevaron a cabo para la cuantificación del contenido mineral, la determinación de la solubilidad de los minerales y la medición de la concentración de FDT de las muestras de arroz clasificadas de acuerdo a los criterios descritos anteriormente. Las muestras analizadas fueron arroces a granel de diferentes variedades, tipo de elaboración y procedencia dentro de la D.O. Calasparra (Tabla 7).

Tabla 7. Muestras analizadas en Etapas 1, 2 y 3.

ID 1 2007	ID 1 2008	ID 2	Agricultor	Paraje	Variedad	TIPO
9		1A	J. Guerrero Lozano	El Salgar	Bomba	Integral
9		1B	J. Guerrero Lozano	El Salgar	Bomba	Blanco
183	153	2A	H. Marin Sanchez	Casablanca	BxS	Integral
183	153	2B	H. Marin Sanchez	Casablanca	BxS	Blanco
238		3A	Cultivos Agrofarmar SL	La Palmera	BxS	Integral
238		3B	Cultivos Agrofarmar SL	La Palmera	BxS	Blanco
217	76	4A	S. Mtez Jimenez / M. Garcia Flores	Minas	BxS	Integral
217	76	4B	S. Mtez Jimenez / M. Garcia Flores	Minas	BxS	Blanco
154		5A	J. Moreno Hdez / Eco. Hdez Rubira	La Finca	BxS Eco	Integral
154		5B	J. Moreno Hdez / Eco. Hdez Rubira	La Finca	BxS Eco	Blanco
131		6A	Varios	La Finca	BxS Eco	Integral
131		6B	Varios	La Finca	BxS Eco	Blanco
-		7A	M. Garcia Sanchez	P. Cenajo	BxS	Integral
279		7B	M. Garcia Sanchez	P. Cenajo	BxS	Blanco
-	40	8A	J. Moreno Hdez / P. y D. Mtez Sanchez	Bayo	Bomba	Integral
45	40	8B	J. Moreno Hdez / P. y D. Mtez Sanchez	Bayo	Bomba	Blanco
-	130	9A	J. Moreno Hdez / P. y D. Mtez Sanchez	Bayo	BxS	Integral
159	130	9B	J. Moreno Hdez / P. y D. Mtez Sanchez	Bayo	BxS	Blanco
-	101	10A	M. Lopez Navarro / J.A. Asensio	Bayo	BxS	Integral
70	101	10B	M. Lopez Navarro / J.A. Asensio	Bayo	BxS	Blanco

*BxS: Balilla X Sollana

Las muestras de la Tabla 7 proceden tanto de la producción del año 2007 como del 2008. Del 2007 se seleccionaron cuatro muestras de arroz en grano tras haber sufrido el proceso de descascarillado (granos blancos “B”), además de seis muestras diferentes de arroz en grano, tanto en su presentación integral (“A”) como blanco (“B”), sumando un total de 16 muestras. De la producción del 2008 se incluyen cinco muestras, análogas a las seleccionadas del año 2007, en sus presentaciones de grano integral (“A”) y blanco (“B”), sumando un total de 10 muestras.

Como salvedad cabe reseñar que las muestras de la variedad BxS de producción ecológica codificadas como 5B y 6B realmente son granos semi-integrales, pero al no suponer un número relevante de muestras con ese tipo de elaboración se ha considerado oportuno tratar en el análisis de datos dichos granos como de tipo elaborado (blancos).

Gran parte de las muestras de arroz correspondientes a los cultivos del año 2008 se perdieron a causa de una plaga de almacenaje en las instalaciones del IMIDA, así como varias muestras integrales del 2007, por lo que no todas las muestras del año 2007 tienen la muestra correspondiente en la producción del 2008.

Las diferentes determinaciones (Etapas 1, 2 y 3) se realizaron por triplicado tanto en el arroz crudo como en el arroz cocido, empleando para la cocción los procedimientos utilizados habitualmente en las prácticas culinarias de este alimento, conforme al siguiente esquema:

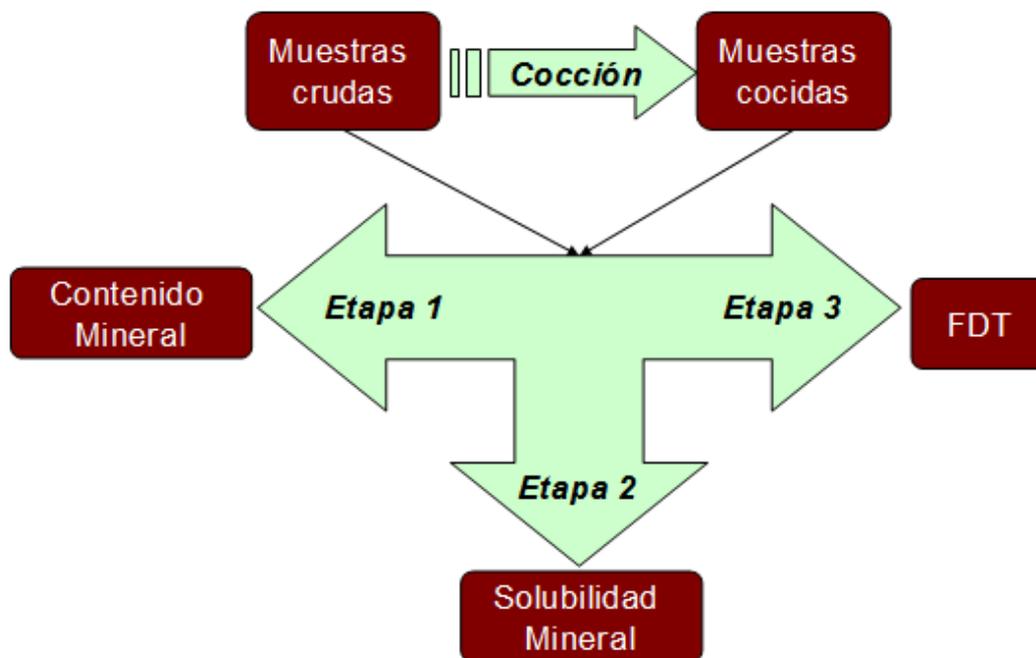


Figura 14. Esquema del diseño experimental.

Para el estudio de determinación de la amilosa y el almidón resistente (Etapa 4) se seleccionó una batería de cuarenta y dos muestras, con representación de las tres variedades (BxS, BxS ecológico y Bomba), procedentes de la cosecha del año 2008 de diferentes parajes de producción del sur del Coto Arrocero de Calasparra (Tabla 8), debido a la falta de muestras utilizadas en el estudio anterior.

Tabla 8. Muestras analizadas en Etapa 4.

Muestras	Paraje	Variedad
212, 175, 181, 154, 272, 221, 191, 196, 156, 229, 204, 136, 148, 104, 97, 162, 225, 251, 245, 54, 139, 177, 260, 232, 66, 258, 217, 185, 103, 206, 123, 169	<i>Rotas, Obregate, Pino Romero, Río Mundo, La Luz, Olivericas, La Finca, Minas, El Soto, Macaneo, La Palmera, Salmerón, Peralejo</i>	<i>Balilla x Sollana</i>
179, 161, 120, 87, 105, 74	<i>La Luz, Olivericas, La Finca</i>	<i>BxS Eco</i>
8, 36, 28, 259	<i>El Puntal, Olivarejo, La Finca, La Luz</i>	<i>Bomba</i>

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y ANALÍTICA

3.1. Preparación de la muestra

Las muestras de arroz fueron analizadas en crudo y tras un proceso de cocinado. La preparación y manipulación de las muestras fue diferente en cada caso, tal y como se describe a continuación.

3.1.1. Muestras crudas

Reactivos y equipos

- Film de laboratorio Parafilm®.
- Molinillo "Cyclotec 1093".
- Tamiz.
- Tubos para conservación de muestras

Procedimiento

Con el fin de garantizar la homogeneidad de las muestras, los granos de arroz utilizados para todas las determinaciones llevadas a cabo sobre arroz crudo se molieron con un molinillo Cyclotec, pasando posteriormente la harina por un tamiz con una luz de malla de 0,25 micras, con el fin de garantizar la homogeneidad en el tamaño de partícula de las muestras. A continuación, las harinas fueron almacenadas en tubos

de fondo cónico con faldón (tipo falcon), debidamente identificados y garantizando el cierre hermético con Parafilm[®], a fin de evitar humedad en el producto.

3.1.2. Muestras cocidas

3.1.2.1. Estudio preliminar

La cocción de las cuatro muestras comerciales analizadas en el **estudio preliminar** se realizó bajo dos variantes con el objetivo de analizar la repercusión del proceso de cocción practicado sobre los resultados analíticos obtenidos:

- ❖ *Proceso 1- Cocción hasta absorción total del agua.-* uso de una proporción de una parte de arroz por cada cinco de agua destilada, manteniendo tapado el recipiente para evitar la evaporación del agua de cocción, durante un tiempo de 30 minutos en el caso de los granos integrales y de 20 minutos en el resto.
- ❖ *Proceso 2- Cocción permitiendo agua sobrante.-* proporción de una parte de arroz por cada diez de agua destilada bajo las mismas condiciones que en el proceso 1.

Para la cocción de las muestras del estudio preliminar se empleó agua destilada con la finalidad de reproducir unas condiciones de pureza y evitar posibles transferencias de elementos minerales a las muestras analizadas.

Una vez cocinadas las muestras se procedió a su congelación y posterior liofilización para eliminar su humedad por sublimación.

3.1.2.2. Estudio principal

La cocción de las muestras de arroz del **estudio principal** se llevó a cabo siguiendo como base el procedimiento descrito en el Reglamento (CEE) N^o 2580/88 de la Comisión de 17 de agosto de 1988 (D.O.C.E. 1988), por el que se establecen las normas

para la modificación de la lista de determinadas variedades de arroz recogidas en el Anexo B del Reglamento (CEE) Nº 3878/87.

A este procedimiento general se le aplicaron ciertas modificaciones para adaptarlo a las características particulares del arroz D.O. Calasparra y extrapolar los resultados analíticos de este estudio a los valores en la práctica culinaria doméstica, tanto en lo referente a las proporciones y tiempos empleados como al tipo de agua utilizada, ya que se usó agua de la red pública como agua de cocción.

La cocción de las muestras del estudio principal se llevó a cabo usando matraces de fondo redondo, en los que se introdujeron las muestras de arroz (en granos enteros) y agua de red, en una proporción de 20 mililitros de agua por cada 8 gramos de muestra (pesado con una precisión de 0,1 gramos), o lo equivalente a la proporción de 1 parte de arroz por cada 2,5 de agua. Se utilizó una manta calefactora en la que se colocaron los matraces llevando las muestras a ebullición para posteriormente disminuir la intensidad del para completar la cocción del grano. Las muestras se agitaron suavemente con una varilla de vidrio y los matraces se cubrieron con un vidrio de reloj de 6 centímetros de diámetro. Una vez transcurridos 20 minutos los matraces se quitaron de la fuente de calor y se dejaron en reposo durante 10 minutos.

3.2. Determinaciones analíticas

3.2.1. Determinación de cenizas

Reactivos y equipos

- Balanza de precisión E01140 (OHAUS, Suiza).
- Crisol de porcelana (KPM, Alemania).
- Horno mufla L3/P (Nabertherm, Alemania)

Procedimiento

La determinación de cenizas se realizó según el procedimiento 945.46 de la AOAC (1999). En un crisol de porcelana se pesó 1 g de muestra y se llevó a incineración en horno mufla durante 15 horas a 525°C, hasta la obtención de cenizas completamente blancas, sin restos de materia orgánica. El porcentaje de cenizas fue calculado mediante la expresión:

$$\text{Cenizas (\%)} = (P_2 - P_0) \times 100 / (P_1 - P_0)$$

Donde, P_0 es el peso del crisol vacío, P_1 es el peso del crisol con la muestra y P_2 el peso del crisol con las cenizas.

3.2.2. Determinación del contenido mineral por ICP

Reactivos y equipos

- Balanza de precisión E01140 (OHAUS, Suiza).
- Digestor Ultraclave-microondas (Milestone, Italia) (Figura 15).
- Espectrofotómetro de emisión por ICP, ICP-oes ICAP 6500 Duo (Thermo Scientific, EE.UU.) (Figura16).

Fundamento

La determinación de elementos minerales del **estudio preliminar** se realizó según el método 985.35 de la AOAC (1999), cuantificándose por espectroscopía de emisión con fuente de plasma acoplada inductivamente (ICP, Inductively Coupled Plasma), expresándose los resultados en mg/100 g. Esta técnica con atomización por ICP permite el análisis multielemental y la determinación de bajas concentraciones de elementos resistentes a la descomposición térmica. Además el espectrofotómetro utilizado venía provisto del sistema "One Fast" para la introducción de muestras, acortando en gran medida el tiempo de análisis.

Procedimiento

Estas determinaciones de la concentración de los diferentes elementos minerales en las muestras de arroz comercial se desarrollaron en el Servicio de Inonómica del Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura (CEBAS-CSIC).

Las cuatro muestras de arroz comercial utilizadas en el estudio preliminar, tanto en sus formas crudas como cocidas, fueron preparadas mediante una digestión en microondas (Figura 15). Para la cuantificación se empleó el Espectrofotómetro de emisión por ICP, empleando rectas de calibrado de los diferentes minerales analizados. Mediante este procedimiento se obtuvo el contenido en las muestras de un total de 18 elementos minerales (Mg, Ca, Na, K, Fe, Zn, P, S, Mn, Tl, Cu, Rb, Sr, Al, B, Mo, Ni, y Cr) (Figura 16).



Figura 15. Digestor autoclave-microondas.



Figura 16. Espectrofotómetro de emisión por ICP.

3.2.3. Determinación del contenido mineral por EAA

Reactivos y equipos

- Ácido nítrico puro (Merck, Alemania).
- Cloruro de lantano (Fluka, EE.UU.).
- Ácido Clorhídrico (Scharlau, España).
- Solución estándar hierro HC744919 (Merck-Certipur, Alemania).
- Solución estándar magnesio HC752335 (Merck-Certipur, Alemania).
- Solución estándar potasio HC895524 (Merck-Certipur, Alemania).
- Solución estándar sodio 71173 (Fluka, EE.UU.).
- Solución estándar calcio HC751894 (Merck-Certipur, Alemania).
- Solución estándar cinc HC744445 (Merck-Certipur, Alemania).
- Balanza de precisión E01140 (OHAUS, Suiza).
- Crisol de porcelana (KPM, Alemania).
- Cronómetro.
- Desecador
- Espectrofotómetro de absorción atómica modelo S712465 v.1,27 y estación de datos SOLAAR v.10,14. (Thermo Scientific, EE.UU.) (Figura 17).
- Estufa de desecación modelo 201 (P-Selecta, España).

- Horno mufla L3/P (Nabertherm, Alemania)
- Matraz aforado de 25 mL (Pobel, Madrid, España).
- Placa calefactora (P-Selecta, España).



Figura 17. *Espectrofotómetro de absorción atómica.*

Fundamento

La cuantificación de los diferentes elementos minerales (Mg, Ca, Na, K, Fe y Zn) en las muestras del **estudio principal** se llevó a cabo conforme a lo detallado en el método 985.35 de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) del año 1999, utilizando para la cuantificación un espectrofotómetro absorción atómica (EAA), expresando los resultados en mg/100 g.

El fundamento de la EAA se basa en la Ley de Lambert-Beer y en el método de atomización por llama, mediante lo cual se calculan las transiciones de electrones que tienen lugar desde el atomizador hacia orbitales más altos por la absorción de una cantidad determinada de energía (longitud de onda). Esta energía absorbida se relaciona específicamente con un elemento mineral y el número de señales se relaciona con la concentración de dicho elemento en la muestra.

Procedimiento

Previamente a la realización de los análisis, todo el material de vidrio y porcelana utilizado en la determinación de minerales, fue lavado durante una noche con HNO₃ al 10%, para arrastrar cualquier tipo de impureza adherida a las paredes, y posteriormente enjuagado con agua destilada desionizada. Igualmente se usaron guantes para evitar posibles contaminaciones o transferencias de mineral a las muestras.

En un crisol de porcelana se procedió a la desecación en estufa de 1,5 g. de muestra, posteriormente la muestra se incineró en un horno mufla a 525°C durante 20 horas, hasta la obtención de cenizas blancas. Las cenizas obtenidas fueron disueltas con 5 mL de HCl y 2 mL de HNO₃ agitando suavemente sobre una placa calefactora. La solución fue transferida a un matraz aforado de 25 mL, al cual se adicionaron los volúmenes de lavado del crisol, enrasando finalmente con agua destilada desionizada.

Para evitar interferencias entre Ca y P se adicionó cloruro de lantano (LaCl₃) al 0,1% del volumen total de matraz (0,025 g). Los minerales se cuantificaron por espectrometría de absorción atómica (EAA) expresándose los resultados en mg/100 g.

La recta de calibrado se realizó a partir de diluciones de distintas concentraciones de cada elemento mineral objeto de análisis, preparadas a partir de soluciones de patrones comerciales, conforme a recomendaciones de patrones y factores de dilución aplicables en el análisis de muestras cereales (Tabla 9), cuya preparación se esquematiza en la Figura 18.

Tabla 9. Recomendaciones de preparación de patrones minerales.

		Patrón 1	Patrón 2	Patrón 3
		Ppm	ppm	Ppm
Absorción	Ca	3	5	10
	Mg	5	10	20
	Fe	0,5	1	5
	Zn	0,5	1	5
Emisión	Na	10	20	50
	K	50	100	150
	P	30	50	100

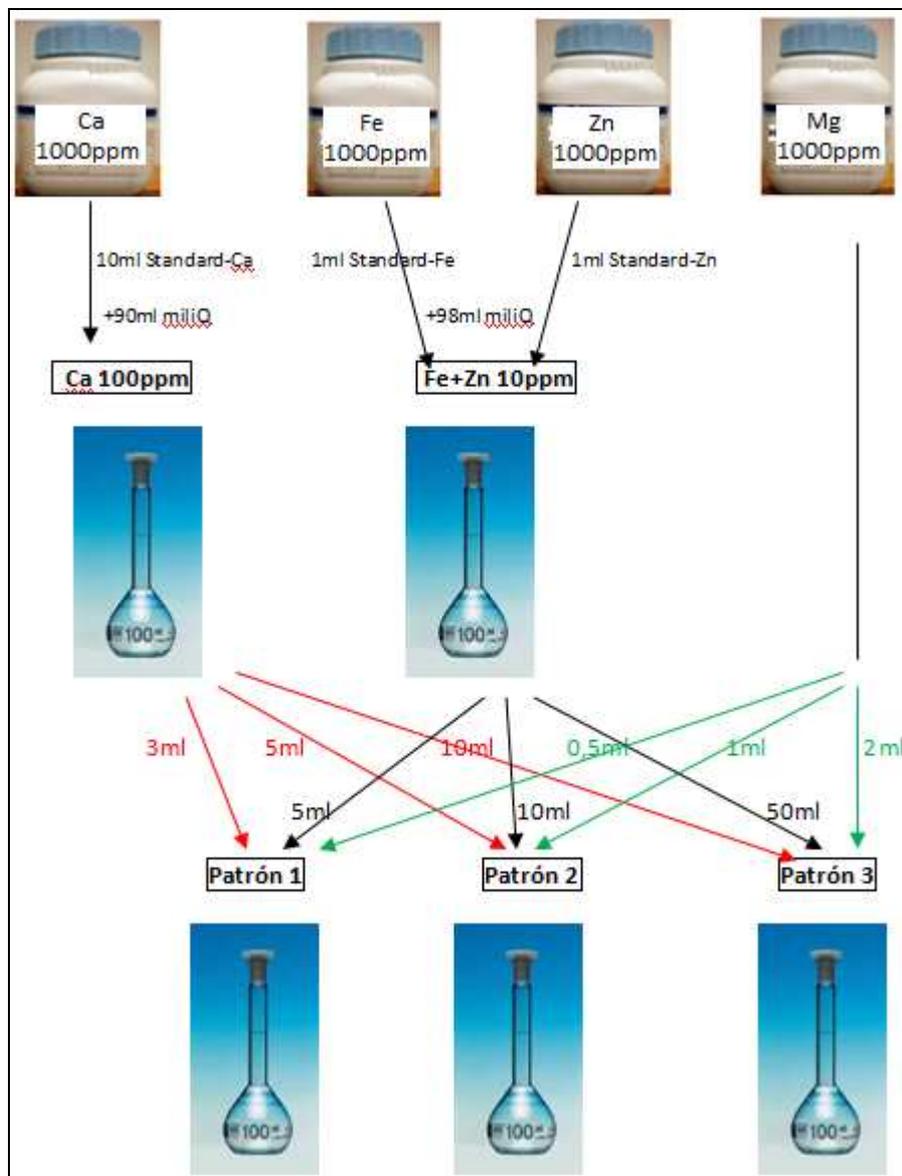


Figura 18. Esquema de preparación de patrones minerales para espectrometría de absorción atómica.

En el espectrómetro de absorción atómica se siguieron las especificaciones técnicas del fabricante, respecto a las condiciones de flujo de combustible (nivel de flujo y caudalímetro), al ángulo y altura del mechero (Tabla 10). Para la parametrización del equipo de espectrometría de absorción atómica se han establecido las siguientes consideraciones detalladas en la Tabla 11.

Tabla 10. Especificaciones del mechero y flujo de combustible en EAA.

	Flujo C ₂ H ₂ (l/min)	Nivel Caudalímetro (mm)	Altura Mechero	Posición Mechero	Tipo de llama	Color de llama
Ca	1,4	23	15	0°	Reductora	Amarilla
Mg	1,2	20	7	30°	Estequiométrica	Turquesa (en base)
Fe	1	16	7	0°	Oxidante	Azul
Zn	1	16	7	0°	Oxidante	Azul
Na	1,2	20	7	90°	Estequiométrica	Turquesa (en base)
K	1,2	20	7	90°	Estequiométrica	Turquesa (en base)

Tabla 11. Parametrización del equipo de EAA.

Método de calibración	Lineal por mínimos cuadrados
Nº patrones	3
Remuestras	3
Aceptabilidad de ajuste	>0,995
Reescalar límite	10%
Tipo de llama	Acetileno-Aire

3.2.4. Determinación de la densidad de nutrientes

Una vez obtenido el contenido mineral de las muestras calculamos la **densidad de nutrientes** aplicado a la alimentación total para evaluar la calidad de las dietas en minerales (Alviña, 2009). El cálculo se basa en expresar la cantidad de estos nutrientes, por cada 1000 kilocaloría de la dieta, por lo que el concepto de densidad de nutrientes representa el aporte nutricional de un alimento con relación a su valor energético y se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad de nutriente} = \frac{\text{Concentración de nutriente}}{\text{Energía aportada por ración}} \times 1000$$

3.2.5. Determinación del cómputo mineral.

Para emitir un juicio de valor es necesario compararlo con la densidad ideal de nutrientes obteniendo de ese modo un nuevo indicador el **cómputo de nutrientes**. Al comparar la densidad de nutrientes de una determinada preparación o dieta con la densidad ideal, se determina el cómputo de nutrientes y se expresa en términos porcentuales (Alviña, 2009):

$$\text{Cómputo de nutrientes} = \frac{\text{Densidad de nutriente}}{\text{Densidad ideal de nutriente}} \times 100$$

Donde la densidad ideal corresponde a la cantidad de nutriente que debiera contener la dieta en 1000 kcal, considerando la ingesta y el requerimiento de energía recomendados para cada grupo poblacional.

3.2.6. Determinación de la solubilidad mineral in vitro.

Reactivos y equipos

- Ácido Clorhídrico (Scharlau, España).
- Ácido nítrico puro (Merck, Alemania).
- Hidróxido sódico (Panreac, España).
- Pancreatina porcina P1750 (Sigma, EE.UU.).
- Pepsina de estómago porcino P7000 (Sigma, EE.UU.).
- Sales biliares porcinas B8756 (Sigma, EE.UU.).
- Sodio hidrógeno carbonato SO0131 (Scharlau, España).
- Balanza de precisión E01140 (OHAUS, Suiza).

- Baño termostático Unitronic 320-OR (P-Selecta, España).
- Centrífuga modelo 5804R (Eppendorf, Alemania).
- Cronómetro.
- Estufa de desecación modelo 201 (P-Selecta, España).
- Horno mufla L3/P (Nabertherm, Alemania).
- Micropipeta Finnpiette (Thermo Electron Corporation, Finlandia).
- pHmetro micro pH 2000 (Crison, España).

Fundamento

Estudio *in vitro* de la solubilidad mineral de las muestras, mediante la aplicación base del Método de Miller y colaboradores (1981), con modificaciones descritas por Frontela y colaboradores en 2008. Se desarrolla la simulación de una digestión gástrica e intestinal (*in vitro*) aplicando un tratamiento enzimático, obteniendo como resultado la fracción mineral soluble, tras la centrifugación de las muestras.

Procedimiento

❖ Digestión gástrica:

Se pesaron 1,5 gramos de de las muestras de arroz, previamente molidas en el caso de las muestras crudas y chafadas manualmente en el caso de las cocidas. Las muestras se homogeneizaron en tubos de centrífuga con 4 mL de agua bidestilada desionizada, ajustándose a pH 2,0 con HCl 6M.

Posteriormente, se adicionaron 0,257 gramos de una solución de pepsina y ácido clorhídrico 0,1 M (en proporción 1,6 : 10) y se llevó a incubación durante 2 horas en un baño con agitación constante (65 U/min) a 37°C. El proceso de digestión gástrica fue detenido sumergiendo los tubos en un baño de hielo durante 10 minutos.

Las enzimas empleadas para desarrollar la digestión aportan minerales a la muestra, por lo que se realizó en paralelo una digestión blanco, de enzimas sin muestra, para corregir los resultados obtenidos.

❖ **Digestión intestinal:**

El digerido resultante de la fase gástrica anterior se ajustó a pH 5,0 con NaHCO_3 1M. A continuación se añadieron 1,9 mililitros de una disolución preparada con 0,1 gramos de pancreatina y 0,625 gramos de sales biliares en 25 mL de NaHCO_3 0,1M, que suponen 0,005 gramos de pancreatina y 0,03 gramos de sales biliares por cada gramo de muestra.

La muestra se llevó a incubación con agitación durante 2 horas a 37°C. Finalizado este período se detuvo la reacción enzimática sumergiendo la muestra en un baño de hielo durante 10 minutos, tras lo cual se ajustó el pH a 7,0 con NaOH 0.5 M.

Una vez finalizada la digestión intestinal, los digeridos fueron centrifugados a 5400 rpm durante 1 hora a 4°C. El sobrenadante, que se corresponde con la fracción soluble, se incineró en un horno mufla a 525°C durante 20 horas. Al finalizar la incineración se recogieron y disolvieron las cenizas para la determinación de su contenido mineral por EAA, siguiendo el mismo método descrito previamente en el apartado 3.2.3 (Etapa 1).

A partir de los resultados obtenidos en la cuantificación mineral total, tanto de las muestras crudas como cocidas (Etapa 1) y de los obtenidos de la fracción soluble resultante de la digestión gastrointestinal de dichas muestras (Etapa 2), se calculó el porcentaje de mineral soluble, es decir la fracción mineral que queda disponible para ser absorbida tras sufrir la digestión *in vitro*, que es el indicador de biodisponibilidad empleado en este estudio. Dicho cálculo de los porcentajes de mineral soluble se obtuvieron aplicando la fórmula descrita por Pynaert (2006):

$$\text{Mineral soluble (\%)} = (\text{Mineral soluble (mg/100 g)} / \text{Mineral total (mg/100 g)}) \times 100$$

3.2.7. Determinación de Fibra Dietética Total.

Reactivos y equipos

- Ácido sulfúrico concentrado (Scharlau, España).
- Ácido bórico al 4% p/v (Probus, España).
- Alfa-amilasa pancreática termoestable A3306 (Sigma-Aldrich, EE.UU.).
- Amiloglucosidasa de *Aspergillus niger* A9913 (Sigma-Aldrich, EE.UU.).
- Celite C8656 (Sigma-Aldrich, EE.UU.).
- Etanol 95% y 78% v/v (Scharlau, España).
- Fosfato disódico anhidro (Panreac, España).
- Fosfato monosódico anhidro 260310 (Probus, España).
- Hidróxido sódico (Panreac, España).
- Proteasa de *Bacillus licheniformis* P3910 (Sigma-Aldrich, EE.UU.).
- Agitador de tubos modelo Reax 2000 (Heidolph, Alemania).
- Balanza de precisión E01140 (OHAUS, Suiza).
- Baño termostático Unitronic 320-OR (P-Selecta, España).
- Crisol de vidrio.
- Cronómetro.
- Crisol de porcelana (KPM, Alemania).
- Equipo para la determinación de fibra Tecator, modelo Fibertec System E-1023 (Foss, Suecia) (Figura 19).
- Equipo para la determinación de proteínas Kjeltex System 2100 y unidad de digestión Digester 8 + Tecator Scrubber (Foss, Suecia) (Figura 20).
- Horno mufla L3/P (Nabertherm, Alemania).

- Micropipeta Finnpipette (Thermo Electron Corporation, Finlandia).
- pHmetro micro pH 2000 (Crison, España).



Figura 19. Equipo para la determinación de fibra.



Figura 20. Equipo para la determinación de proteínas.

Fundamento

Para la determinación de la Fibra Dietética Total (FDT) se siguió el método enzimático-gravimétrico descrito por Prosky y colaboradores en 1984 (Método oficial de la AOAC 985.29). El método se basa en la digestión *in vitro* de la muestra simulando la digestión gastrointestinal que tiene lugar en el intestino humano. Para ello se lleva a cabo una digestión sucesiva de la muestra con las enzimas alfa-amilasa, proteasa y

amiloglucosidasa para digerir el almidón y la proteína de la muestra, quedando el residuo sin digerir, que es la FDT.

Procedimiento

Se pesó 1 gramo de muestra por duplicado y se le adicionaron 50 mL de tampón fosfato 0,05M de pH 6,0 (preparado mediante la disolución de 0,875 g de $\text{Na}_2\text{PO}_4\text{H}$ y 5,26 g de NaPO_4H_2 en 1 litro de agua destilada, ajustando el PH a 6,0), agitando hasta obtener una dispersión homogénea.

Posteriormente, se adicionaron 0,2 mL de alfa-amilasa termoestable, denominada comercialmente Termamyl[®], usada para gelatinizar el almidón, y se llevó a un baño a 95°C durante 30 minutos. Una vez completado el tiempo el tiempo de digestión se enfriaron las soluciones a temperatura ambiente, ajustando el pH a 7,5. Se añadió a continuación 1 mg de proteasa, con el objeto de eliminar la proteína de la muestra, y se mantuvo nuevamente en incubación en un baño a 60°C durante 30 minutos en agitación.

Tras la proteólisis, se enfriaron de nuevo las muestras y se ajustó el pH a 4,5, que es el valor óptimo para la digestión con la amiloglucosidasa (0,3 mL) en un baño a 60°C durante 30 minutos.

Sobre el volumen de digestión se adicionaron 280 mililitros de etanol al 95% a 60°C para precipitar la fracción soluble de la FDT, dejando las muestras a temperatura ambiente durante un tiempo mínimo de una hora. Posteriormente se procedió a la filtración usando crisoles de cristal con un tamaño de poro de 40-60 μm , sobre los cuales se añadieron 0,5 gramos de Celite, formando una fina capa con el fin de reducir el tamaño de poro de filtración. Durante la filtración se lavaron los vasos de digestión y los residuos con etanol al 78%, obteniendo finalmente retenidos en el crisol de cristal los residuos de fibra insoluble de la muestra.

Una vez obtenidos los residuos se determinaron el contenido en cenizas y la fracción de proteína bruta para cada una de las muestras, siendo estos valores precisos para el cálculo final del contenido en fibra dietética total, conforme a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ FDT} = [(R - P - C - B) / M] \times 100$$

donde :

- R es la masa del residuo, el promedio de las masas de las muestras determinadas en duplicado (g).
- P es la masa (g) de las proteínas en los residuos de las muestras.
- C es la masa (g) de las cenizas en los residuos de las muestras.
- B = blanco
- M = masa de la muestra (g).

Para la determinación del contenido en **proteína bruta** del residuo se empleó el Método de Kjeldahl (1990), descrito en el procedimiento 955.04 de la AOAC (1999). Se pesó en un tubo de digestión 0,5 gramos de muestra, que corresponde al residuo obtenido de la filtración del Fibertec, a la cual se le adicionaron 15 mL de H₂SO₄, una cucharada de la mezcla catalítica (Se/CuSO₄ ·5H₂O/4K₂SO₄) y perlas de cristal para evitar la aglomeración de la muestra.

Se llevó, a continuación, al bloque calefactor siguiendo la siguiente secuencia de temperaturas y tiempo: 30 minutos a 240°C, 30 minutos a 340°C y finalmente 1 hora a 440°C, hasta conseguir una solución transparente con una tonalidad verdosa. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se llevó el tubo a la unidad de destilación, neutralizando inicialmente la muestra con NaOH al 38% destilando la mezcla, arrastrando de este modo los iones amonio hasta una solución de ácido bórico al 4% (p/v), hasta alcanzar un volumen final de 150 mL.

Posteriormente, se llevó a cabo una valoración de este destilado con HCl 0,1N para determinar la cantidad de amoníaco absorbido por el ácido bórico y el cálculo de la proteína bruta, conforme a la siguiente ecuación:

$$\text{Proteína bruta (\%)} = [(V_2 - V_1) \times N \times 1,4 \times 6,25] / P$$

Donde, V_1 es el volumen en mililitros requerido de la solución de HCl para la prueba del blanco (0), V_2 es el volumen en mililitros de la solución de HCl requerido para la valoración de la muestra problema, N es la normalidad de la solución de HCl (0,1) y P es el peso del residuo en gramos.

La **determinación de las cenizas** se realizó conforme al procedimiento 945.46 de la AOAC (1999), descrito previamente en el apartado 3.2.1. El residuo obtenido en el Fibertec se llevó en crisol de porcelana a incineración en la mufla a 525°C, hasta la obtención de cenizas completamente blancas sin restos de materia orgánica. El porcentaje de cenizas se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = (P_2 - P_0) \times 100 / (P_1 - P_0)$$

Donde, P_0 es el peso del crisol vacío, P_1 es el peso del crisol con la muestra y P_2 el peso del crisol con las cenizas.

3.2.8. Determinación de amilosa y almidón resistente.

Reactivos y equipos

- Amilosa de patata A-0512 (Sigma-Aldrich, EE.UU.).
- Etanol 95% y 99% v/v (Scharlau, España).
- Hidróxido sódico (Panreac, España).
- Hidróxido potásico (Panreac, España).
- Kit Megazyme (Ref. K-RSTAR 05/2008), compuesto por:

- Alfa-Amilasa Pancreática termoestable.
 - Solución Stock de Amiloglucosidasa (3300 Unidades/mL).
 - Reactivo de determinación de glucosa (GOPOD).
 - Tampón reactivo glucosa.
 - Solución estándar D-glucosa (1 mg/mL).
 - Control de almidón resistente.
- Solución de yodo-yoduro.
 - Tampón acetato sódico 1,2M (69,6 mL de ácido acético glacial en 800 mL de agua destilada, ajustado a pH 3,8 con NaOH 4M, ajustando a 1 L con agua destilada).
 - Tampón acetato sódico 100mM (5,8 mL de ácido acético glacial en 900 mL de agua destilada, ajustado a pH 4,5 con NaOH 4M, ajustando a 1 L con agua destilada).
 - Tampón maleato sódico (23,2 g de ácido maleico disueltos en 1,6L de agua destilada, ajustado a pH 6 con NaOH 4M, y añadidos 0,6 g de cloruro cálcico y 0,4 g de azida sódica, ajustando volumen a 2L).
 - Baño termostático Unitronic 320-OR (P-Selecta, España).
 - Centrífuga modelo 5804R (Eppendorf, Alemania).
 - Espectrofotómetro UV-V Modelo U-2000 (Hitachi, Japón) (Figura 21).
 - Matraz aforado de 100 mililitros (Pobel, España).
 - Micropipeta Finnpiette de Thermo Electron Corporation (Finlandia).



Figura 21. Espectrofotómetro UV-V

Fundamento

Para la determinación de amilosa se siguió el método propuesto por Juliano (1971) e ISO 6647 (1987). La digestibilidad del almidón se analizó usando el kit Megazyme (Ref. K-RSTAR 05/2008), con referencia metodológica AOAC 2002.02, descrito por McCleary y Monaghan (2002).

Procedimiento

Para la determinación del contenido de amilosa, se pesaron 100 mg de la harina de arroz en un matraz y se añadió 1 mL de etanol al 95% (v / v) y 9 mL de NaOH 1N. Las muestras se agitaron levemente y se mantuvieron a 25°C durante 24 horas, lejos de cualquier foco de luz.

Se tomaron 5 mL de la solución y se hicieron reaccionar con 2 mL del reactivo de yodo completando hasta 100 mL en un matraz aforado. Las muestras fueron preservadas de la luz y se dejaron durante 20 minutos para que se desarrollase la reacción. Del mismo modo se analizaron tanto el blanco como los estándares (de 10 a 50 mg de amilosa de patata por cada 100 mL).

La absorbancia de la solución patrón y de las muestras se midió a 620 nm con un espectrofotómetro Hitachi Modelo U-2000 (Tokio, Japón). El contenido de amilosa se determinó con una ecuación obtenida con la solución patrón de concentraciones conocidas:

$$y = 77.8415x - 6.9972. \quad R^2 = 0,99$$

Para determinar la digestibilidad del almidón se seleccionaron tres muestras de cada variedad y tipo de arroz de las detalladas en la Tabla 8. El almidón resistente (RS) se determinó en el arroz, tanto crudo como cocido, mientras que el almidón soluble o

almidón digestible (DS) se analizó sólo en el arroz cocido. La determinación de los niveles de RS y DS se llevó a cabo mediante espectrofotometría UV-V.

Para el análisis del almidón resistente en arroces crudos y cocidos, se pesaron 100 mg de muestra y se añadieron 4 mL de la solución amilasa pancreática y amiloglucosidasa (1 g de amilasa pancreática en 100 mL de tampón maleato sódico, agitado y añadido 1 mL de solución diluida de amiloglucosidasa 300U/mL). Se introdujo en un baño a 37°C durante 16 horas en agitación constante. Los tubos se colocaron horizontalmente para favorecer la hidrólisis de la muestra en la misma dirección de la agitación.

Tras el período de digestión se añadieron 4 mL de etanol al 99% a las muestras y se agitaron vigorosamente antes de centrifugar a 3000 rpm durante 10 minutos. Tras retirar el sobrenadante, se añadieron 2 mL y 6 mL de etanol acuoso en dos fases. Se llevaron a centrifugación nuevamente durante 10 minutos a 3000 rpm, tras lo cual se retiró el sobrenadante y se repitió el último paso.

Al residuo de las muestras se le añadió 2 mL de KOH 2M y se sumergieron durante 20 minutos en un baño de hielo con agitación constante. A continuación, se añadieron a cada una de las muestras 8 mL de solución tampón de acetato de sodio 1,2 M a pH 3,8 y 0,1 mL de amiloglucosidasa. Finalmente las muestras fueron llevadas a un baño de 50°C durante 30 minutos con agitación intermitente para completar el proceso de digestión.

Para la determinación del almidón digestible en las muestras cocinadas se recogieron los sobrenadantes de la primera digestión y de las centrifugaciones, que habían sido despreciados en la determinación de RS. Se ajustó en un matraz aforado hasta 100 mL con tampón acetato de sodio 100 mM, pH 4.5.

Se tomaron en un tubo de vidrio 0,1 mL de cada una de las preparaciones para llevar a cabo la cuantificación por reacción colorimétrica de RS y DS. Se añadieron 3 mL

del reactivo GOPOD y se incubaron durante 20 min a 50°C. Se leyó la absorbancia por triplicado a 510 nm frente al blanco de reactivo (0,1 mL de tampón acetato sódico 0,1M a pH 4,5 y 3 mL de reactivo GOPOD), empleando el espectrofotómetro UV-V Modelo U-2000 (Hitachi, Japón).

Para el cálculo de los contenidos de RS y DS se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$RS = (Abs_{muestra} - Abs_{blanco}) \times F / W \times 9,27$$

$$DS = (Abs_{muestra} - Abs_{blanco}) \times F / W \times 90$$

Donde, Abs es la Absorbancia detectada, F es 100 y W es el peso de la muestra (mg).

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo aplicando el programa estadístico informático SPSS 19.0 para Windows, con el fin de contrastar hipótesis de no diferencias significativas entre medias de las distintas variables analizadas en las muestras de arroz. Cada análisis se llevó a cabo por triplicado y los resultados fueron presentados como media y desviación estándar. Los análisis utilizados fueron los siguientes:

- Para determinar la variación de cada uno de los parámetros estudiados (contenido mineral, solubilidad mineral y contenido en fibra dietética total y amilosa), dependiendo de la muestra, variedad del arroz, tipo de elaborado y del paraje de producción, se realizó un análisis de varianza (one way ANOVA).
- Para determinar las diferencias estadísticamente significativas entre muestras, se aplicó un test de comparación de medias por pares (test Tuckey), utilizando un nivel de significación de $p < 0,05$.

- Para determinar la influencia del contenido en fibra dietética total (FDT %) de cada una de las muestras (tanto crudas como cocidas) sobre la solubilidad de los diferentes minerales analizados, se llevó a cabo un estudio de correlación de Pearson, seleccionando aquellas correlaciones significativas para $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ESTUDIO PRELIMINAR

1.1. Determinación del contenido mineral

En el estudio preliminar se procedió a la determinación multielemental del contenido mineral, mediante la técnica de ICP, en las muestras de arroz D.O. Calasparra en sus diferentes formatos comerciales. Las siguientes tablas (Tablas 12 y 13) muestran el contenido mineral en las muestras de arroz comercial sin cocinar, expresado en mg/100g. La Tabla 12 muestra el contenido en Mg, Zn, Ca, Fe, K, Na, P, Mn y Cu, que son los elementos minerales de mayor interés nutricional. La Tabla 13 presenta el grupo complementario de elementos minerales que incluyen principalmente elementos minoritarios.

Tabla 12. Contenido mineral de interés nutricional en muestras comerciales de arroz crudo (mg/100g)

VARIEDAD	TIPO	Mg	Zn	Ca	Fe	K	Na	P	Mn	Cu
<i>Bomba</i>	<i>Blanco</i>	86,3	2,4	9,4	1,0	165,8	0,6	170,5	1,4	0,4
<i>BxS</i>	<i>Blanco</i>	65,7	1,5	9,8	0,9	153,3	0,7	138,3	1,3	0,2
<i>BxS Eco</i>	<i>Semi-integral</i>	142,5	1,9	15,4	1,4	268,8	1,1	189,2	2,7	0,3
<i>BxS Eco</i>	<i>Integral</i>	183,8	1,9	17,7	1,7	308,5	1,2	206,4	2,8	0,3

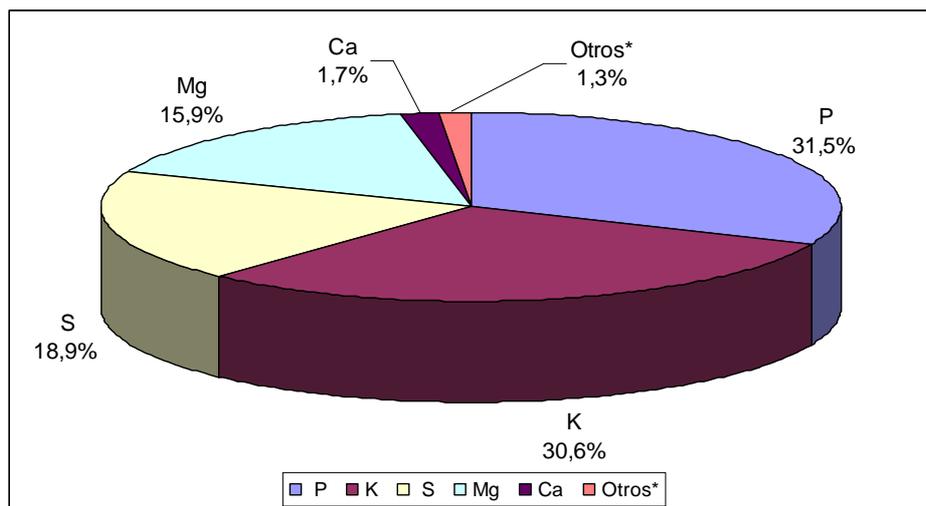
Tabla 13. Contenido mineral complementario en muestras comerciales de arroz crudo (mg/100g).

VARIEDAD	TIPO	S	Tl	Rb	Sr	Al	B	Mo	Ni	Cr
<i>Bomba</i>	<i>Blanco</i>	102,6	0,44	0,09	<0,05	0,71	0,06	0,05	0,05	0,03
<i>BxS</i>	<i>Blanco</i>	70,8	0,33	0,09	0,07	0,58	0,04	0,04	0,02	0,01
<i>BxS Eco</i>	<i>Semi-integral</i>	73,2	0,62	0,10	0,10	0,91	0,07	0,03	0,04	0,04
<i>BxS Eco</i>	<i>Integral</i>	77,5	0,74	0,19	0,17	1,47	0,07	0,04	0,03	0,02

En general, el contenido mineral en las muestras de arroz analizadas varía en función del grado del descascarillado, presentando los arroces elaborados un menor contenido mineral que los arroces del tipo semi-integral e integral. De los minerales de interés nutricional, la mayor concentración se observó para el potasio (308,5 – 165,8 mg/100 g)

y la menor para el cobre (1,2 - 0,4 mg/100 g). Es muy significativa la reducción en el contenido en K desde la muestras de arroz integral al blanco, al igual que la de P y Mg. Tinarelli (1989) describió que el descascarillado conlleva a una reducción del 60% del fósforo y el 70% del potasio. Para los demás elementos analizados, las concentraciones variaron claramente en función del procesado. La muestra de la variedad BxS integral de producción ecológica es la que presentó el mayor contenido mineral para todos los elementos analizados, con la excepción del contenido de Zn, S y Cu, cuyos valores más elevados fueron observados en la muestra de la variedad Bomba de tipo blanco.

Los gráficos de sectores siguientes representan la proporción de cada uno de los elementos minerales analizados en el análisis iónico en las muestras de arroz comercial sin cocinar.

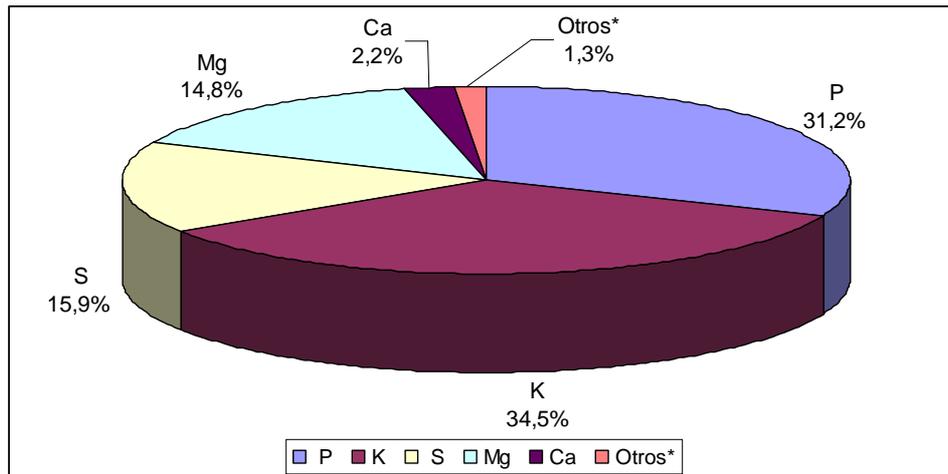


*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Ti, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 22. Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad Bomba.

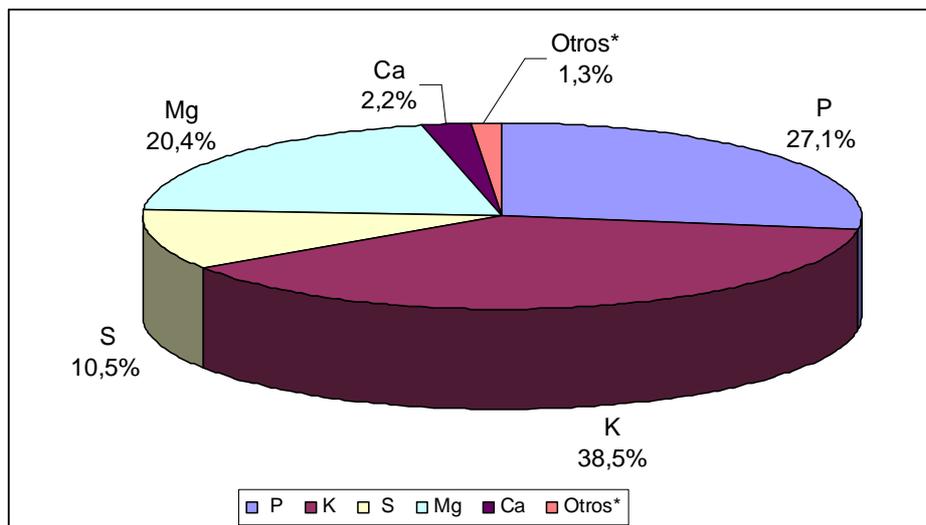
La composición mineral del arroz crudo de la variedad Bomba y tipo blanco está constituida mayoritariamente por P (31,5%), K (30,6%), S (18,9%), Mg (15,9%) y Ca (1,7%), mientras que la suma de los restantes elementos minerales analizados supone un 1,3% (Figura 22).

En el caso del arroz crudo de la variedad BxS y tipo blanco, la proporción mineral mayoritaria la conforman el K (34,5%), P (31,2%), S (15,9%), Mg (14,8%) y Ca (2,2%), mientras el 1,3% restante lo componen los minerales minoritarios (Figura 23). Estos resultados muestran que el perfil mineral de estas muestras de arroz elaborado (Figuras 22 y 23) es muy similar, con la única diferencia de que en el caso de la variedad BxS la proporción mayoritaria es la del K, frente al P en el caso de la variedad Bomba.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

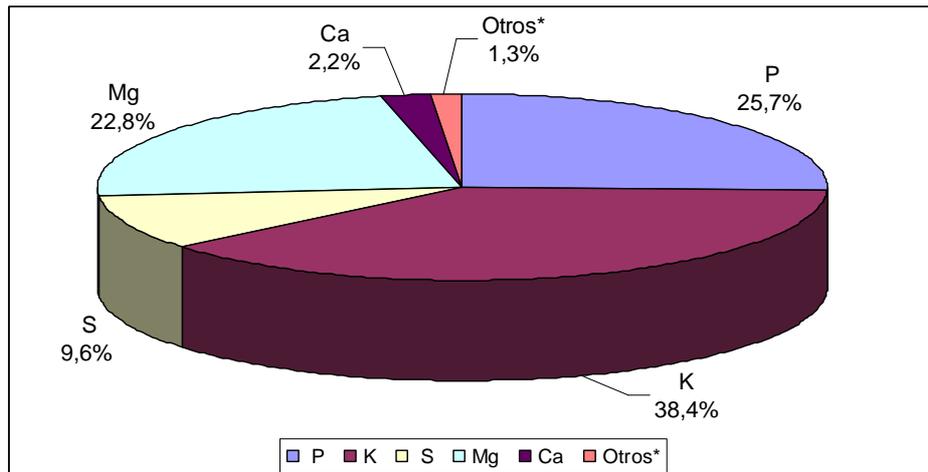
Figura 23. Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad BxS.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 24. Proporción mineral (%) en las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica.

El arroz crudo de tipo semi-integral, de la variedad BxS y producción ecológica mostró la siguiente proporción mineral: K (38,5%), P (27,1%), Mg (20,4%), S (10,5%), Ca (2,2%) y el resto de elementos minerales minoritarios un 1,3% (Figura 24). En este caso, respecto a las gráficas anteriores correspondientes a arroces elaborados, se aprecia una mayor proporción de Mg.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Ti, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 25. Proporción mineral (%) en las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica.

El arroz integral crudo de la variedad BxS, de producción ecológica sin elaborar presentó un perfil mineral similar al de la muestra semi-integral (Figura 24), pero en este caso la proporción de Mg es aún mayor: K (38,4%), P (25,7%), Mg (22,8%), S (9,6%), Ca (2,2%) y un 1,3% para la suma del resto de elementos minerales detectados (Figura 25).

El elemento mineral que se encuentra en mayor proporción, después del Si, es el K, seguido por el Ca, Mg, P, Na, Al, Fe, Cu, Mn, Zn, Bo y otros elementos (Tinarelli *et al.*, 1989). Las proporciones obtenidas en el presente estudio coincide con los resultados descritos en la bibliografía en el caso del K, P y Mg, aunque para en el caso del Ca la proporción observada en los granos de arroz fue muy baja. Además, como generalidad, los arroces integrales presentan un mayor contenido mineral que los semi-integrales y estos últimos mayor que los granos elaborados, mostrando una relación directa con el grado de elaboración. Estos resultados estarían directamente relacionados con el hecho

de que en la cascarilla de los cereales se encuentra gran parte del contenido mineral, así como de fibra (Heinemann *et al.*, 2005; Anjum *et al.*, 2007). Hay que destacar que no se observó el mismo efecto para los contenidos de Zn, S y Cu, lo cual puede ser debido a que las mayores concentraciones de estos minerales se encuentren en el cotiledón (Juliano, 1994; Witzigmann *et al.* 1999).

Los granos crudos de los arroces comerciales se sometieron a cocción empleando dos procesos diferentes, para hacer una primera evaluación del efecto del cocinado en su contenido mineral. En el primer procedimiento, se cocieron las muestras hasta la absorción total del agua por el grano; mientras que en el segundo proceso se utilizó el mismo tiempo de cocción, pero sin llegar a la absorción completa del agua. En ambos procesos se empleó agua destilada para la cocción, que se analizó por ICP obteniendo valores inferiores a 0,1 mg/L para Mg, Ca, K, Na, P y S e inferiores a 0,01 mg/L para el resto de elementos minerales lo que garantiza que no se puedan producir transferencias de elementos minerales procedentes del agua de cocción empleada.

A las muestras resultantes de cada uno de los diferentes procesos de cocción se les determinó el contenido de humedad (Tablas 14 y 15) para estandarizar los resultados y expresarlo en porcentaje de peso seco. El contenido de humedad medio del proceso 1 fue de 57%, mientras que en el proceso 2 fue de 58%.

Tabla 14. Contenido de humedad (%) en muestras comerciales cocidas - Proceso 1

VARIEDAD	TIPO	Humedad (%)
<i>Bomba</i>	<i>Blanco</i>	62,12%
<i>BxS</i>	<i>Blanco</i>	56,72%
<i>BxS Eco</i>	<i>Semi-integral</i>	51,12%
<i>BxS Eco</i>	<i>Integral</i>	58,73%

Tabla 15. Contenido de humedad (%) en muestras comerciales cocidas - Proceso 2

VARIEDAD	TIPO	Humedad (%)
<i>Bomba</i>	<i>Blanco</i>	58,46%
<i>BxS</i>	<i>Blanco</i>	57,34%
<i>BxS Eco</i>	<i>Semi-integral</i>	62,03%
<i>BxS Eco</i>	<i>Integral</i>	58,37%

Las Tablas 16 y 17, muestran el contenido mineral de las muestras comerciales de arroz, cocinadas mediante el proceso 1, expresadas como mg/100g de peso seco. Las muestras sometidas al proceso de cocción 1 mostraron los siguientes contenidos para los elementos mayoritarios: P (115-293 mg/100g), K (107-254 mg/100g), Mg (41-100 mg/100g) o S (36-65 mg/100g). La mayor concentración mineral detectada tras la cocción fue la del P en las muestras de la variedad BxS de producción ecológica de tipo integral (293 mg/100g), a diferencia de lo descrito en las muestras crudas donde la mayor cantidad se obtuvo para K. Para estas muestras la variedad BxS-ecológica de tipo integral es la que presentó mayores concentraciones para todos los elementos con la excepción del contenido de Zn, S y Cu que mostraron valores intermedios entre la variedad bomba blanco y las demás muestras analizadas., al igual que se observó en las muestras de arroz sin cocinar (Tablas 12 y 13).

Tabla 16. Contenido mineral de interés nutricional en muestras comerciales cocidas - Proceso 1 (mg/100g peso seco)

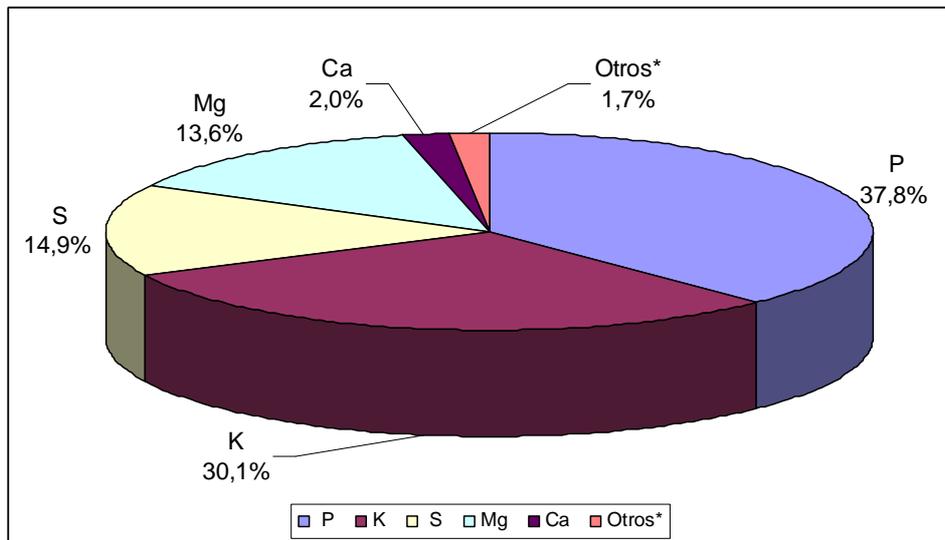
VARIEDAD	TIPO	Mg	Zn	Ca	Fe	K	Na	P	Mn	Cu
Bomba	Blanco	59,1	1,9	8,7	1,3	131,3	1,1	164,7	1,2	0,4
BxS	Blanco	40,8	1,1	8,0	0,7	106,8	0,8	115,3	1,0	0,2
BxS Eco	Semi-integral	63,0	1,0	8,7	1,8	150,9	2,0	170,4	1,4	0,2
BxS Eco	Integral	100,5	1,7	13,5	2,4	254,1	2,3	293,0	1,9	0,3

Tabla 17. Contenido mineral complementario en muestras comerciales cocidas - Proceso 1 (mg/100g peso seco)

VARIEDAD	TIPO	S	Tl	Rb	Sr	Al	B	Mo	Ni	Cr
Bomba	Blanco	65,2	0,18	0,06	<0,13	0,87	0,04	0,06	0,05	0,06
BxS	Blanco	38,4	0,15	0,05	<0,11	0,19	0,02	0,03	0,02	<0,02
BxS Eco	Semi-integral	36,1	0,29	0,05	<0,10	1,33	0,04	0,02	0,05	0,06
BxS Eco	Integral	60,4	0,46	0,11	<0,12	2,07	0,06	0,03	0,04	0,03

Los gráficos de sectores siguientes (Figuras 26-29) representan el porcentaje de cada uno de los elementos minerales detectados mediante ICP en las diferentes muestras de arroz comercial sometido a cocción empleando el proceso 1 (Bomba blanco, BxS blanco, BxS semi-integral y BxS integral). Las proporciones observadas del perfil de minerales

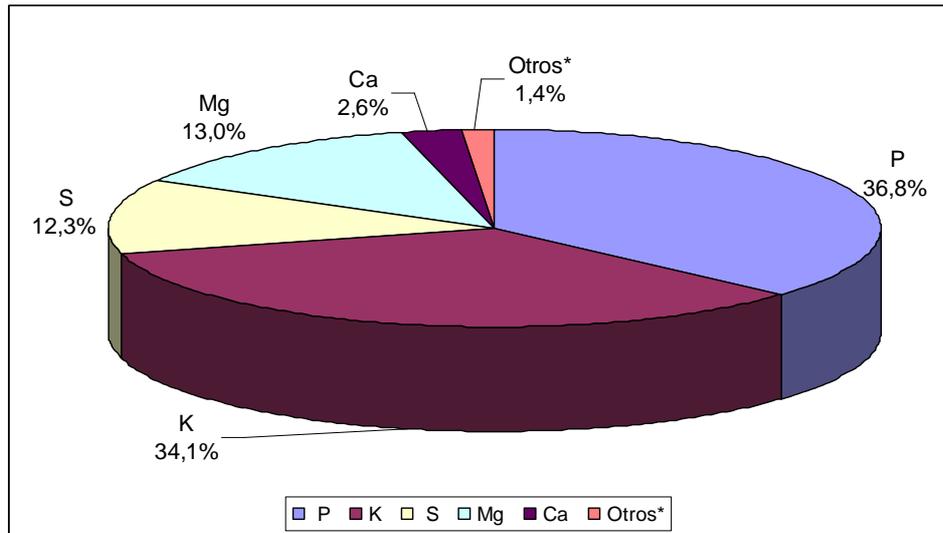
coinciden con los datos descritos para los arroces crudos y con los resultados descritos en la bibliografía científica (Tinarelli, 1989). Destacan en los tres tipos de arroz una alta proporción de K, P, S y Mg, mostrando un porcentaje de Ca en torno al 2%. Hay que destacar un incremento en la proporción de P tras el proceso de cocinado de la muestra integral.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Ti, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

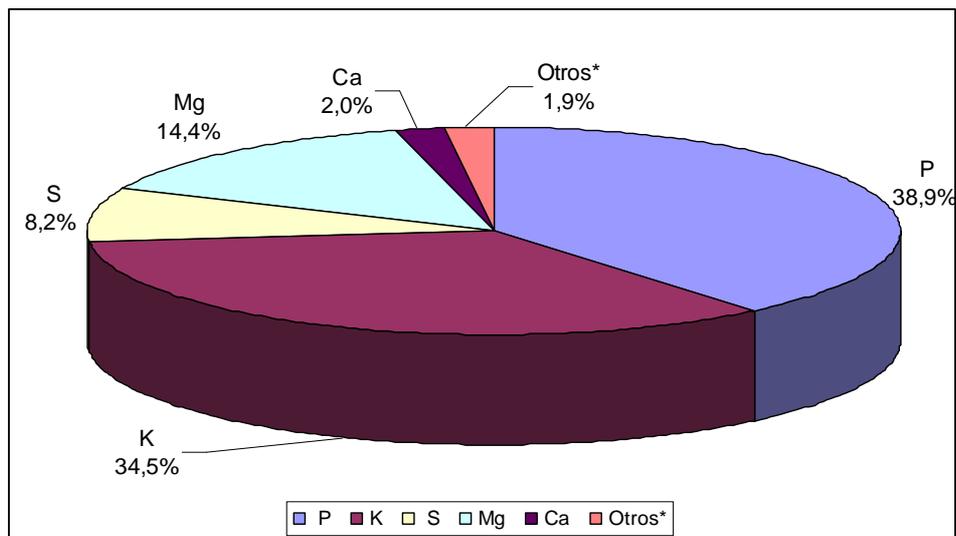
Figura 26. Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad Bomba cocidas mediante Proceso 1.

La composición mineral del arroz de la variedad Bomba y tipo blanco, cocido mediante el proceso 1, cuenta mayoritariamente con P (37,8%) y K (30,1%), como se describió en las muestras crudas (Figura 22).



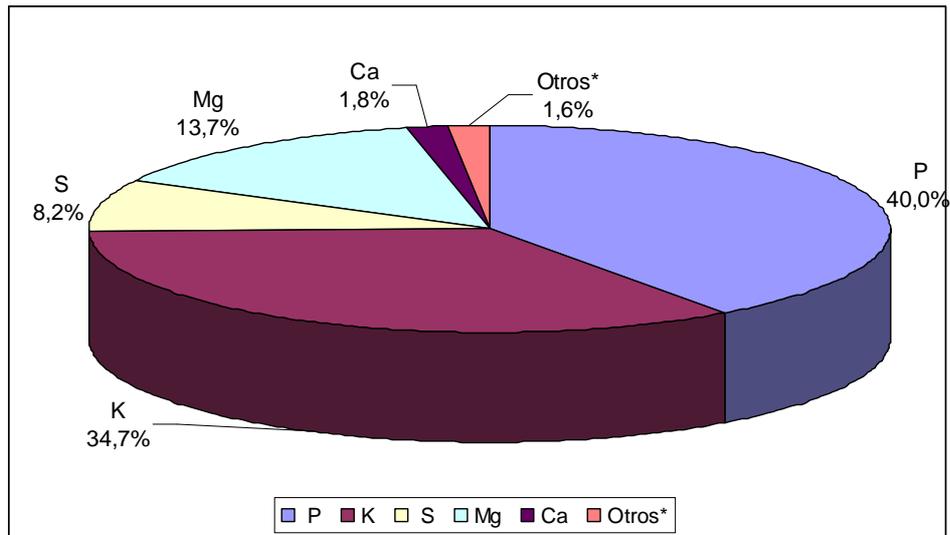
*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 27. Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad BxS, cocidas mediante Proceso 1.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 28. Proporción mineral (%) en las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 1.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 29. Proporción mineral (%) en las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 1.

Las Tablas 18 y 19, muestran el contenido mineral de las muestras comerciales de arroz, cocinadas mediante el proceso 2, expresadas como mg/100g de peso seco. Las muestras cocidas mediante el proceso 2 (sin la absorción completa del agua) mostraron los siguientes rangos de valores medios de contenido mineral en los oligoelementos mayoritarios: P (93-368 mg/100g), K (49-199 mg/100g), Mg (30-139 mg/100g) o S (47-63 mg/100g). La muestra integral de la variedad BxS de producción ecológica presentó las mayores concentraciones para todos los elementos minerales detectados, siendo el P el mayoritario (367,6 mg/100g), con niveles superiores a los detectados en las muestras cocidas por el proceso 1. Al igual que quedó descrito en el análisis de las muestras crudas (Tabla 12) y las cocidas por el Proceso 1 (Tabla 16), la muestra integral de la variedad BxS-ecológica fue la que mostró los valores más elevados de contenido mineral de entre todas las muestras sometidas a cocción mediante el Proceso 2, manifestando esta cualidad para la totalidad de los elementos minerales analizados.

Tabla 18. Contenido mineral de interés nutricional en muestras comerciales cocidas - Proceso 2 (mg/100g peso seco).

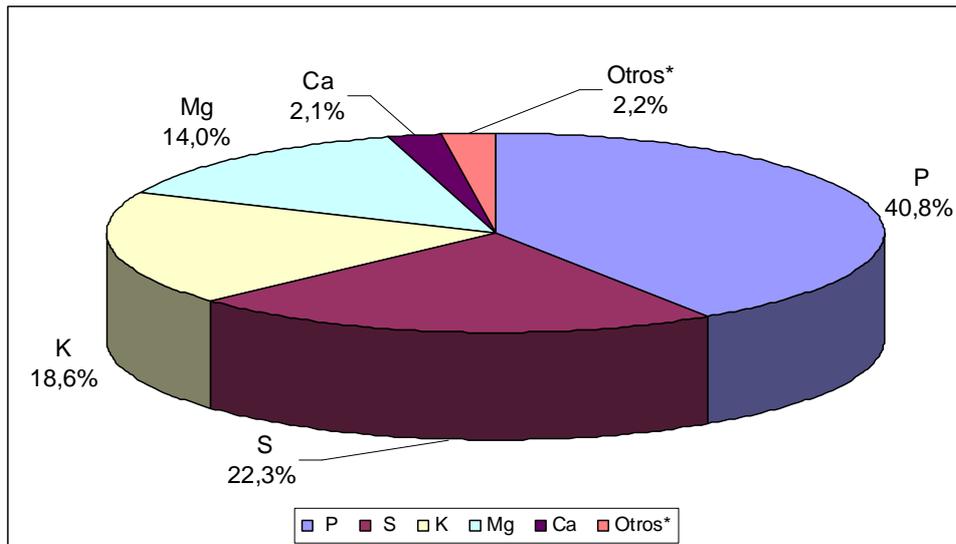
VARIEDAD	TIPO	Mg	Zn	Ca	Fe	K	Na	P	Mn	Cu
Bomba	Blanco	37,4	1,7	5,7	0,9	49,6	0,6	108,8	0,8	0,3
BxS	Blanco	30,9	1,1	6,0	0,9	49,9	0,5	92,7	0,9	0,2
BxS Eco	Semi-integral	102,8	1,8	13,9	2,2	129,7	1,8	233,5	2,4	0,3
BxS Eco	Integral	139,6	1,9	15,3	3,1	198,6	2,0	367,6	2,6	0,3

Tabla 19. Contenido mineral complementario en muestras comerciales cocidas - Proceso 2 (mg/100g peso seco).

VARIEDAD	TIPO	S	Tl	Rb	Sr	Al	B	Mo	Ni	Cr
Bomba	Blanco	59,6	<0,12	0,02	<0,12	1,14	0,02	<0,02	0,02	<0,02
BxS	Blanco	47,4	<0,12	0,02	<0,12	0,97	0,02	<0,02	0,02	<0,02
BxS Eco	Semi-integral	58,9	0,44	0,05	<0,13	2,36	0,08	0,04	0,04	0,05
BxS Eco	Integral	63,1	0,68	0,09	0,15	5,23	0,06	<0,02	0,04	0,05

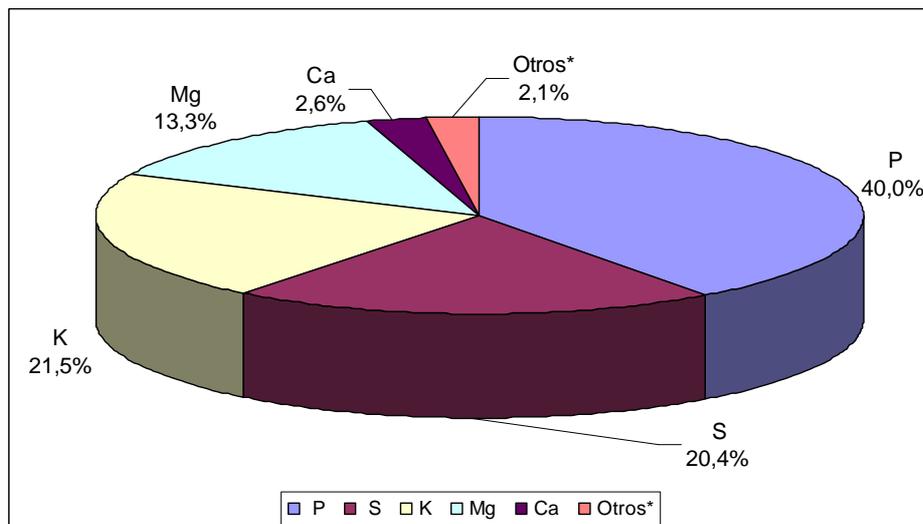
Los siguientes gráficos de sectores (Figuras 30-33) representan la proporción de cada elemento mineral detectado mediante ICP en las muestras de arroz comercial sometido a cocción empleando el proceso 2, donde destaca un incremento en el porcentaje de S y una disminución en las proporciones de K y P en las muestras elaboradas, respecto a las mismas muestras crudas y a las cocidas mediante el proceso 1. Este hecho podría estar justificado por el tipo de cocción aplicado con una mayor proporción de agua, lo que determina una pérdida de determinados minerales por su solubilización en el agua de cocción, incrementando la proporción de los otros elementos mayoritarios, resultados que son presentados en las Tablas 20 y 21.

La proporción de elementos minerales en el arroz de la variedad Bomba y tipo blanco, cocido mediante el proceso 2, es diferente a la de la muestra cruda y a la cocida por el proceso 1 ya que, aunque el P continúa siendo el mayoritario (40,8%), el S es el segundo mineral más presente (22,3%), seguido por el K (18,6%) y el Mg (14%) (Figura 24). En el caso del arroz de la variedad BxS y tipo blanco, cocido aplicando el proceso 2, la mayor proporción mineral la presentan el P (40%), el S (20,4%), el K (21,5%) y Mg (13,3%) (figura 25).



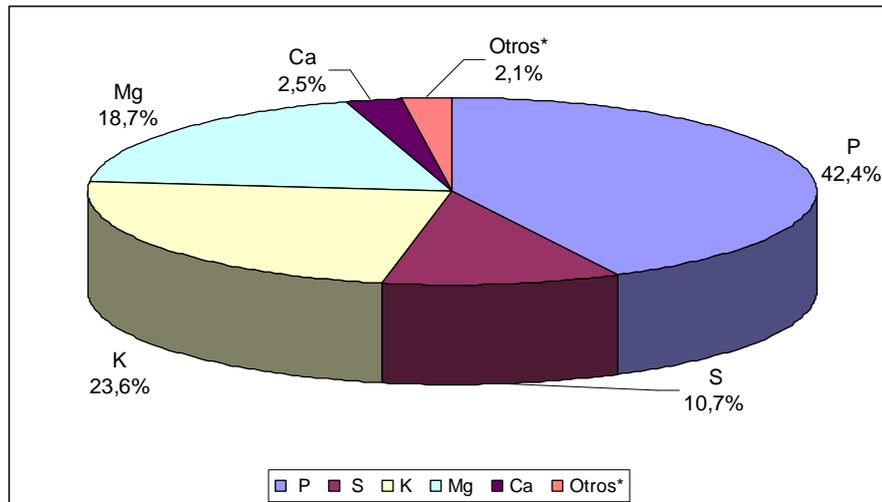
*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 30. Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad Bomba cocidas mediante Proceso 2.



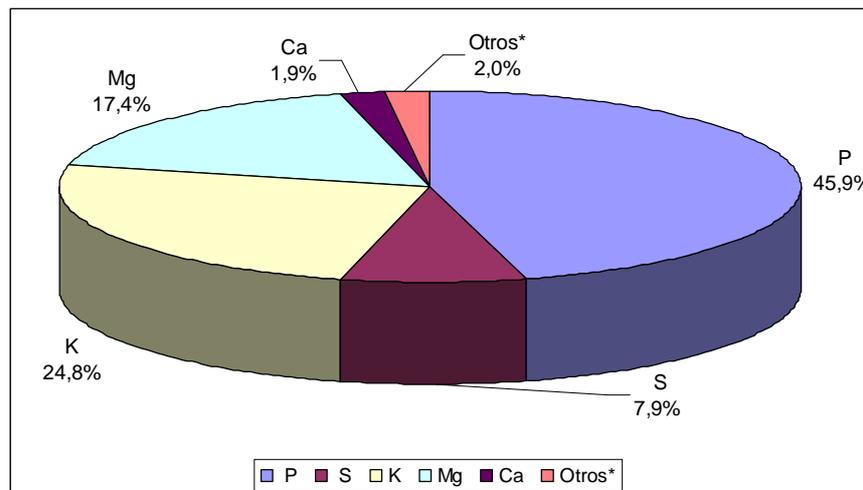
*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 31. Proporción mineral (%) en las muestras elaboradas de la variedad BxS, cocidas mediante Proceso 2.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 32. Proporción mineral (%) en las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 2.



*Otros = Zn, Mn, Fe, Al, Na, Tl, Cu, Rb, B, Mo, Sr, Ni, Cr

Figura 33. Proporción mineral (%) en las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica, cocidas mediante Proceso 2.

El porcentaje los elementos minerales en el arroz semi-integral e integral de la variedad BxS y producción ecológica fue de mayor a menor $P > K > Mg > S > Ca$, mostrando el perfil similar al descrito para las muestras en crudo y cocinadas por el procedimiento 1.

Analizando los valores de contenido mineral obtenidos en las muestras cocidas, independientemente del proceso de cocción empleado, se aprecia un comportamiento de los datos equiparable al obtenido en las muestras crudas, siendo los arroces integrales y semi-integrales los de mayor contenido mineral.

El proceso de cocinado y tratamiento térmico puede tener un efecto significativo sobre el contenido mineral del arroz (Galán y Drago, 2014). Como excepción, el contenido de P, Fe, Al y Na experimenta un incremento tras la cocción en el caso de las muestras integrales y semi-integrales de la variedad BxS-ecológico, independientemente del proceso de cocción empleado. Del mismo modo, el contenido de Na también fue superior en las muestras elaboradas (Bomba y BxS) sometidas al Proceso 1 de cocción en comparación con sus análogas crudas.

Comparando los resultados obtenidos en función del proceso de cocción, observamos que el contenido mineral de las muestras integrales y semi-integrales sometidas al proceso 2 fue mayor en comparación con el proceso 1. Sin embargo, en las muestras sometidas a un proceso completo de elaboración (granos blancos) la cocción por el proceso 1 sería lo más adecuado para optimizar su valor nutricional, ya que los minerales solubilizados en el agua de cocción se reabsorben, al llevar la cocción hasta la completa absorción del agua. Esta cuestión quedó descrita en los estudios de Zaupa y colaboradores (2015), reflexionando acerca de la influencia de la técnica de cocción empleada sobre la composición nutricional de los alimentos procesados.

Para completar el análisis de las muestras cocidas mediante el Proceso 2 también se procedió a la determinación del contenido mineral del agua de cocción sobrante, para analizar los elementos minerales transferidos por lixiviación durante el proceso. El contenido mineral, determinado por ICP, en el agua de cocción se muestra en las Tablas 20 y 21.

Tabla 20. Contenido mineral de interés nutricional en agua sobrante – Proceso 2 (mg/100g).

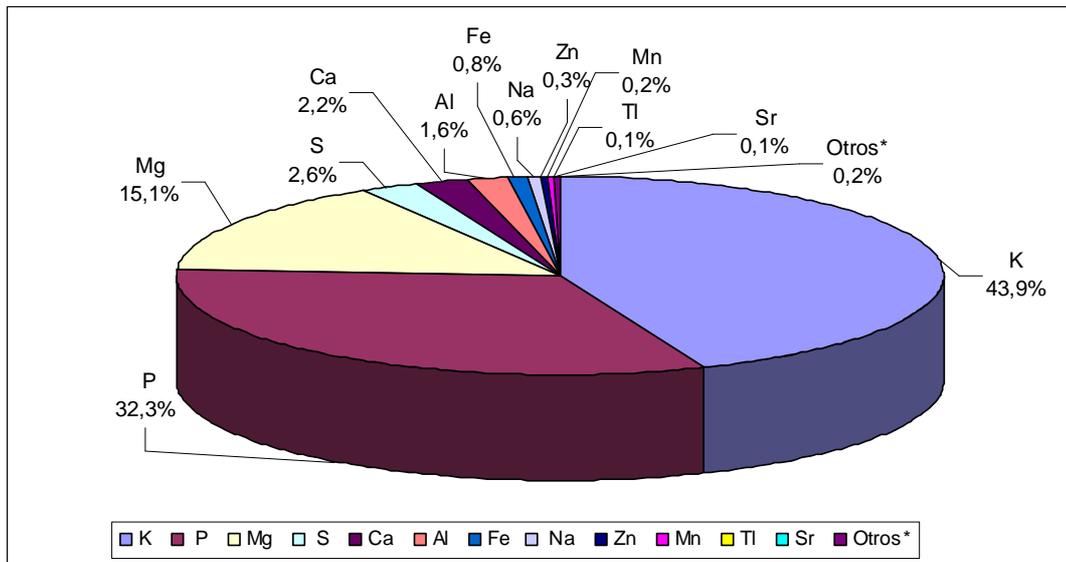
VARIEDAD	TIPO	Mg	Zn	Ca	Fe	K	Na	P	Mn	Cu
Bomba	Blanco	6,51	0,11	0,95	0,35	18,9	0,24	13,9	0,10	0,02
BxS	Blanco	4,64	0,09	1,02	0,53	15,5	0,17	10,3	0,10	0,01
BxS Eco	Semi-integral	4,17	0,08	1,19	0,52	22,7	0,28	11,4	0,09	0,01
BxS Eco	Integral	1,16	0,05	0,78	0,48	20,6	0,41	5,5	0,04	0,01

Tabla 21. Contenido mineral complementario en agua sobrante – Proceso 2 (mg/100g).

VARIEDAD	TIPO	S	Tl	Rb	Sr	Al	B	Mo	Ni	Cr
Bomba	Blanco	1,11	<0,05	0,01	<0,05	0,69	0,02	<0,01	0,01	<0,01
BxS	Blanco	0,86	<0,05	0,01	<0,05	0,51	0,01	<0,01	0,03	0,05
BxS Eco	Semi-integral	0,99	<0,05	0,01	<0,05	0,59	0,01	<0,01	0,01	0,02
BxS Eco	Integral	0,80	<0,05	0,01	<0,05	0,85	0,01	<0,01	0,01	<0,01

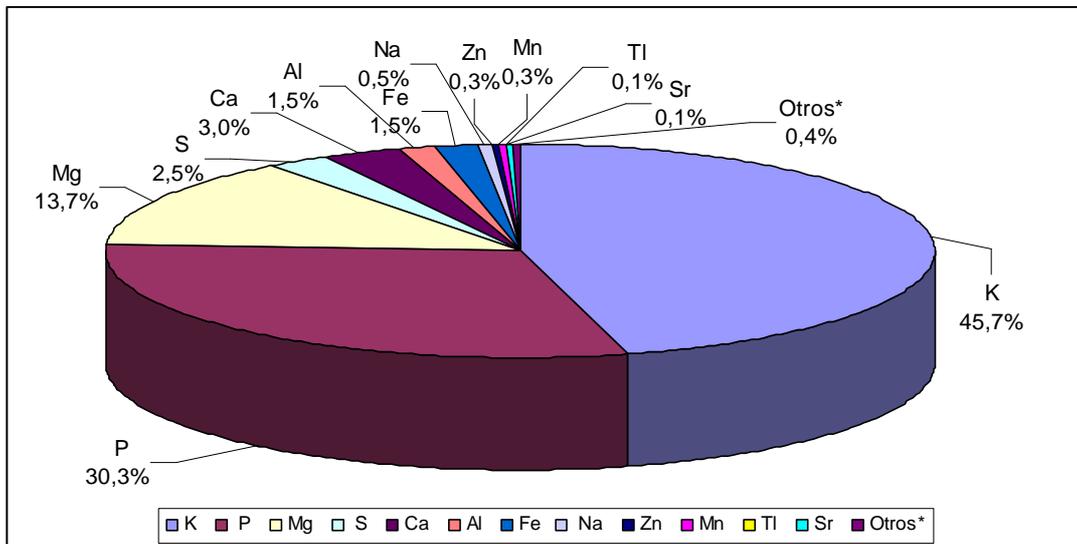
Existe una importante variabilidad en la transmisión de elementos minerales desde el arroz al agua de cocción, independientemente del tipo de muestra de que se trate; aunque la transferencia de estos elementos desde el arroz integral al agua de cocción es inferior en comparación con la observada para los arroces blancos. Algunos elementos minerales, como P, S o Mg se solubilizan en el agua de cocción desde los arroces blanco y en mayor cantidad desde el arroz Bomba tipo blanco. Por el contrario para el K se observó una mayor solubilización para el arroz integral.

Los siguientes gráficos de sectores (Figuras 34-37) representan la proporción de cada elemento mineral detectado mediante ICP en el agua sobrante de la cocción de las muestras comerciales mediante el proceso 2, donde destaca un mayor proporción de los minerales minoritarios respecto a lo detectado en las propias muestras.



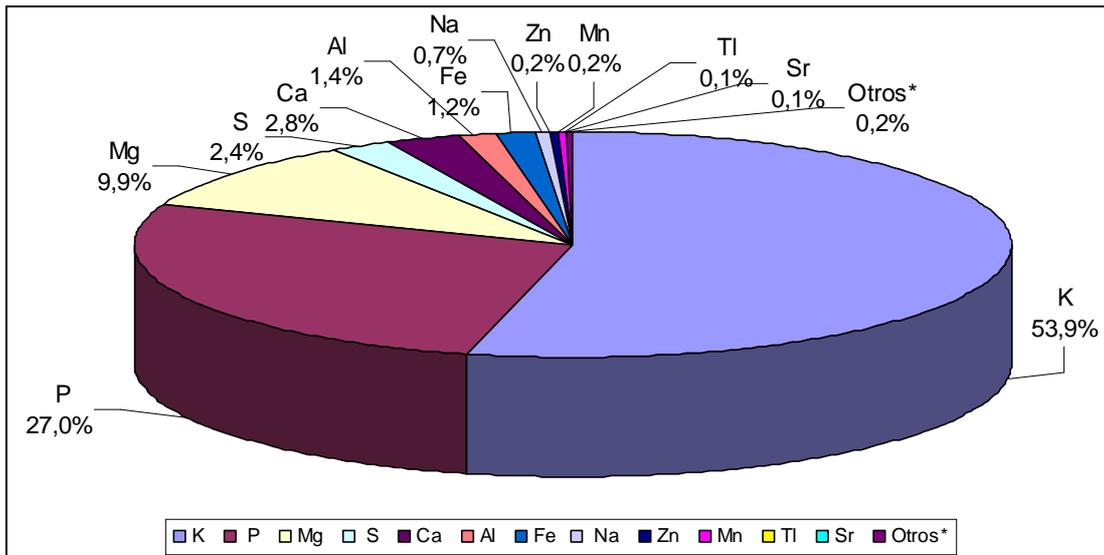
*Otros = B,Cu,Ni,Rb,Mo,Cr

Figura 34. Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras elaboradas de la variedad Bomba.



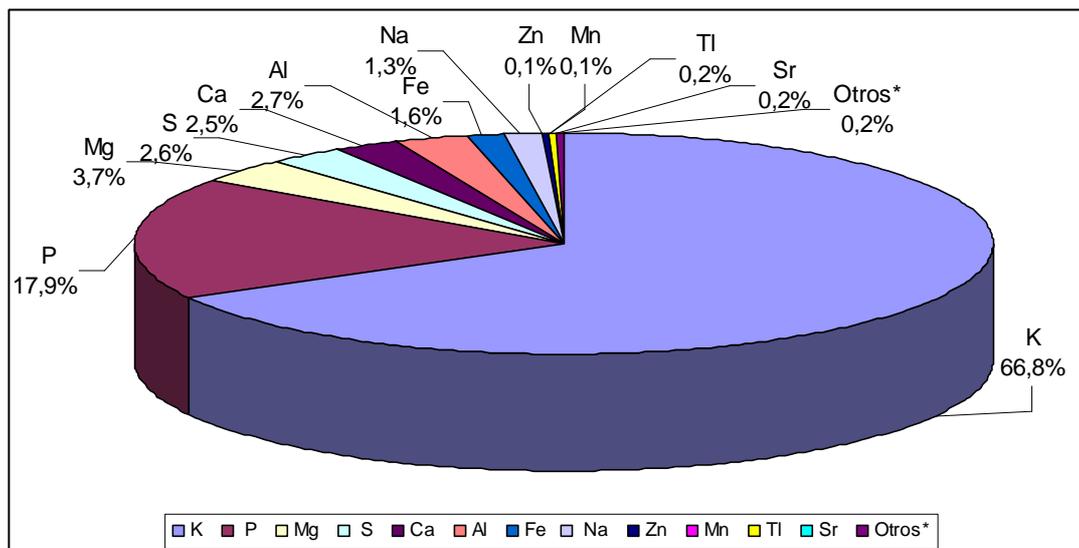
*Otros = B,Cu,Ni,Rb,Mo,Cr

Figura 35. Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras elaboradas de la variedad BxS.



*Otros = B,Cu,Ni,Rb,Mo,Cr

Figura 36. Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras semi-integrales de la variedad BxS de producción ecológica.



*Otros = B,Cu,Ni,Rb,Mo,Cr

Figura 37. Proporción mineral (%) en el agua sobrante tras la cocción mediante Proceso 2 de las muestras integrales de la variedad BxS de producción ecológica.

Tras la cocción de las cuatro muestras, mediante el proceso 2, en el agua destilada empleada se detectan gran multitud de elementos minerales, entre los que destaca mayoritariamente K, seguido por P y Mg, y con porcentajes inferiores al 3% otros elementos minoritarios, como S, Ca, Al, Fe y Na. Tal como se apreciaba en los valores

cuantitativos (Tablas 20 y 21), cuanto mayor es el grado de elaboración de la muestra mayor es el contenido de Mg y P en el agua sobrante de la cocción, mientras que, por el contrario, el K alcanza las mayores proporciones en el agua de cocción de la muestra integral.

1.2. Determinación de Fibra Dietética Total

En las muestras de arroces comerciales se analizó el contenido en fibra dietética total (FDT), tanto en arroz crudo como cocinado por los dos procesos descritos anteriormente. El contenido medio expresado en porcentaje se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Contenido de FDT (%) en muestras comerciales.

VARIEDAD	TIPO	FDT%		
		Crudo	Cocido 1	Cocido 2
<i>Bomba</i>	<i>Blanco</i>	3,27±0,10 ^c	3,66±0,56 ^c	3,89±0,25 ^c
<i>BxS</i>	<i>Blanco</i>	3,15±0,04 ^c	3,55±0,73 ^c	3,37±1,02 ^c
<i>BxS Eco</i>	<i>Semi-integral</i>	4,19±0,80 ^b	5,78±0,65 ^b	6,05±0,16 ^b
<i>BxS Eco</i>	<i>Integral</i>	6,78±0,82 ^a	7,52±0,68 ^a	7,77±0,20 ^a

^{a-c} Diferentes letras en la misma columna muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido de FDT es mayor en las muestras integrales que en las semi-integrales, y en estas últimas es superior a en las de grano blanco (Ortuño, 1994; Bosscher *et al.*, 2003 y Méndez *et al.*, 2005). Esta relación inversa entre el contenido de FDT y el grado de elaboración de los granos es debida a la distribución de la FDT en la cascarilla de los mismos, siendo el descascarillado una fase importante para determinar el contenido de la mayoría de los minerales y fibra dietética en el arroz (Tinarelli, 1989; Urbano *et al.*, 1999; Bosscher *et al.*, 2003).

Respecto a la relación del contenido de FDT con el proceso de cocción, podemos observar que las muestras cocidas tienen un porcentaje ligeramente superior, lo cual, estaría justificado por el hecho de que pequeñas variaciones en las condiciones del proceso de cocción pueden producir cambios en la composición química de los

alimentos, formándose compuestos indigestibles que son aislados en el residuo de fibra cuando se utiliza la técnica enzimático-gravimétrica, como es el caso del almidón resistente (Muir y O'Dea, 1992).

Los resultados obtenidos en este estudio preliminar se utilizaron a modo de “screening” para conocer la composición mineral y el contenido en FDT de los arroces D.O. Calasparra en sus formatos comerciales y el efecto de los diferentes procesos de cocinado, sirviendo como base para el diseño experimental de la presente Tesis Doctoral.

2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MINERAL

2.1. Arroz crudo

De las muestras 1 a 6 se analizaron sus formas integral (A) y elaborada (B), que corresponden a las siguientes variedades:

- Muestra 1, variedad Bomba.
- Muestras 2, 3 y 4, variedad Balilla X Sollana.
- Muestras 5 y 6, variedad Balilla X Sollana ecológico.

Tal como se describió en el apartado IV.1, las muestras de la variedad BxS, de producción ecológica, codificadas como 5B y 6B, realmente son granos semi-integrales, pero se consideró oportuno tratar en el análisis de datos dichos granos como de tipo elaborado (blancos), ya que el tipo de elaboración semi-integral no suponía un número relevante de muestras por sí solo.

De las muestras 7 a 10 únicamente se analizaron sus presentaciones elaboradas, correspondientes a las variedades:

- Muestras 7, 9 y 10, variedad Balilla X Sollana.
- Muestra 8, variedad Bomba.

El contenido mineral en las muestras de arroz analizadas, descritas en la Tabla 7, se recoge en las Tablas 23, 24 y 25.

La Tabla 23 muestra el contenido de Mg, Zn, Ca, Fe, K y Na, expresado en mg/100g de arroz crudo, agrupando los valores según su forma integral o elaborada. Así como, el contenido en cenizas de las mismas expresado en porcentaje.

Tabla 23. Contenido mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz crudo (mg/100g¹) y contenido de cenizas (%).

	ID Muestra	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio	Cenizas
Arroz integral	1A	51,88 \pm 2,45 ^a	3,82 \pm 0,13 ^a	3,53 \pm 0,07 ^e	2,02 \pm 0,36 ^b	286,70 \pm 1,77 ^a	1,92 \pm 0,16 ^e	0,30 \pm 0,000
	2A	42,46 \pm 0,82 ^{b,c,d}	2,30 \pm 0,05 ^d	5,37 \pm 0,15 ^c	2,87 \pm 0,35 ^{a,b}	258,38 \pm 2,11 ^c	3,16 \pm 0,31 ^d	1,20 \pm 0,002
	3A	45,99 \pm 1,93 ^{b,c}	3,52 \pm 0,12 ^b	6,79 \pm 0,03 ^b	3,85 \pm 0,74 ^a	284,17 \pm 4,53 ^{a,b}	5,75 \pm 0,21 ^b	2,10 \pm 0,002
	4A	47,69 \pm 1,48 ^{a,b}	2,96 \pm 0,05 ^c	11,90 \pm 0,34 ^a	2,86 \pm 0,60 ^{a,b}	269,37 \pm 10,91 ^{b,c}	4,12 \pm 0,44 ^c	1,30 \pm 0,001
	5A	41,81 \pm 3,22 ^{c,d}	3,52 \pm 0,13 ^b	3,90 \pm 0,15 ^e	1,98 \pm 0,41 ^b	262,69 \pm 3,32 ^c	9,59 \pm 0,55 ^a	1,50 \pm 0,002
	6A	40,36 \pm 0,68 ^d	3,68 \pm 0,03 ^{a,b}	4,66 \pm 0,09 ^d	2,16 \pm 0,46 ^b	281,28 \pm 5,66 ^b	9,30 \pm 0,40 ^a	1,40 \pm 0,001
	Media	45,03\pm4,39	3,30\pm0,54	6,03\pm2,92	2,62\pm0,81	273,77\pm12,16	5,64\pm3,00	1,13\pm0,58
Arroz elaborado	1 B	18,29 \pm 2,03 ^{a,b}	1,96 \pm 0,56 ^a	2,54 \pm 0,24 ^a	0,31 \pm 0,27 ^a	115,47 \pm 2,97 ^a	0,53 \pm 0,11 ^e	1,300 \pm 0,002
	2 B	14,71 \pm 0,01 ^{b,c}	1,41 \pm 0,00 ^a	2,15 \pm 0,00 ^a	0,49 \pm 0,04 ^a	82,03 \pm 3,37 ^a	0,59 \pm 0,05 ^e	0,200 \pm 0,000
	3 B	13,16 \pm 2,21 ^c	1,35 \pm 0,17 ^a	2,40 \pm 0,37 ^a	0,42 \pm 0,40 ^a	87,46 \pm 4,44 ^a	0,55 \pm 0,23 ^e	1,100 \pm 0,001
	4 B	11,69 \pm 1,33 ^c	1,43 \pm 0,61 ^a	2,09 \pm 0,11 ^a	0,43 \pm 0,09 ^a	93,18 \pm 4,76 ^a	2,05 \pm 0,35 ^{d,e}	0,300 \pm 0,000
	5 B	21,56 \pm 1,13 ^a	1,30 \pm 0,87 ^a	1,49 \pm 0,99 ^a	0,29 \pm 0,04 ^a	101,46 \pm 1,59 ^a	1,15 \pm 0,34 ^f	1,100 \pm 0,001
	6 B	13,87 \pm 0,45 ^c	1,79 \pm 0,02 ^a	2,35 \pm 0,36 ^a	0,53 \pm 0,17 ^a	115,90 \pm 5,05 ^a	2,58 \pm 0,33 ^d	1,100 \pm 0,001
	7 B	15,72 \pm 0,60 ^{b,c}	1,50 \pm 0,05 ^a	1,81 \pm 0,06 ^a	0,61 \pm 0,11 ^a	101,76 \pm 3,33 ^a	3,44 \pm 0,22 ^c	0,200 \pm 0,000
	8 B	14,93 \pm 1,33 ^{b,c}	1,83 \pm 0,01 ^a	1,97 \pm 0,22 ^a	0,29 \pm 0,25 ^a	119,75 \pm 0,49 ^a	1,60 \pm 0,11 ^{e,f}	0,500 \pm 0,000
	9 B	22,12 \pm 1,94 ^a	1,26 \pm 0,85 ^a	1,30 \pm 0,87 ^a	0,47 \pm 0,11 ^a	111,99 \pm 2,18 ^a	7,75 \pm 0,04 ^a	1,100 \pm 0,001
	10 B	20,39 \pm 1,90 ^a	1,16 \pm 0,02 ^a	2,34 \pm 0,26 ^a	0,43 \pm 0,02 ^a	126,62 \pm 2,58 ^a	6,52 \pm 1,19 ^b	1,700 \pm 0,002
	Media	16,97\pm3,88	1,49\pm0,48	2,00\pm0,61	0,43\pm0,19	104,60\pm14,75	2,68\pm2,45	0,67\pm0,52

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-g}Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido de los minerales analizados estuvo determinado por el tipo de muestra (ANOVA), ya que se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras tal y como se observó en el test de separación de medias (Tabla 23).

En general, el arroz presenta un bajo contenido en minerales, especialmente en Fe, Zn y Ca. El mineral que presentó una mayor concentración fue el K, oscilando en un rango de 81 a 290 mg/100 g, y presentando valores medios de 273,77 mg/100 g en las muestras de arroz integral y 104,60 mg/100 g en las muestras de arroz blanco. A continuación, el Mg mostró unos contenidos medios de 45,03 mg/100 g para el arroz integral y de 16,97 mg/100 g para el arroz elaborado. La cuantificación de las concentraciones de Zn, Ca, Fe y Na reveló valores no superiores a los 6 mg/100 g, con los siguientes valores medios respectivamente: 3,30 mg/100 g, 6,03 mg/100 g, 2,62 mg/100 g y 5,64 mg/100 g para las muestras de arroz integral; mientras que en las muestras de arroz blanco o elaborado los contenidos de dichos minerales fueron de 1,49 mg/100 g, 2,00 g/100 g, 0,43 mg/100 g y 2,68 mg/100g, respectivamente.

De todas las muestras de arroz crudo analizadas se aprecia que la codificada como "3A", de la variedad BxS integral y cultivado en el paraje "La Palmera", es la que presenta un perfil de composición mineral y unas concentraciones medias de los elementos minerales analizados superiores a la obtenida en las otras muestras.

En general, el contenido mineral del arroz varía por causas intrínsecas, como la composición de los constituyentes del suelo de cultivos o por causas externas, como puede ser las diferencias en los métodos analíticos utilizados (Tinarelli, 1989). Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Ortuño (1994) en un estudio sobre composición mineral de arroces de Calasparra, y entra dentro del perfil mineral descrito para el arroz por otros autores, en los que respecta a las cantidades de los elementos mayoritarios (Tinarelli, 1989). Aunque existe una variación significativa en el contenido mineral los arroces de acuerdo a la muestra, las mayores diferencias se observan en función del proceso de descascarillado (granos integrales o elaborados) y la variedad (BxS o Bomba).

En nuestro estudio el contenido total de cenizas presentó unos valores medios de 1,13% en el caso de las muestras integrales y del 0,67% en las muestras elaboradas, con una importante desviación estándar de los valores.

Para evaluar el efecto de la variedad en el contenido mineral se agruparon los datos por variedad, considerando las variedades Bomba, BalillaxSollana y BxS ecológico, y se aplicó el ANOVA considerando como factor la variedad, agrupando las muestras en función del tipo de elaboración. La Tabla 24 describe la concentración mineral media en las muestras, agrupadas por su **variedad**.

Tabla 24. Contenido mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz crudo por variedades (mg/100g¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio
Arroz Integral						
Bomba	51,88 \pm 2,45 ^a	3,82 \pm 0,13 ^a	3,53 \pm 0,07 ^b	2,02 \pm 0,36 ^b	286,70 \pm 1,77 ^a	1,93 \pm 0,16 ^c
BalillaxSollana	45,38 \pm 2,64 ^b	2,93 \pm 0,53 ^b	8,02 \pm 2,98 ^a	3,19 \pm 0,72 ^a	270,64 \pm 12,71 ^a	4,35 \pm 1,16 ^b
BxS Ecológico	41,09 \pm 2,23 ^c	3,60 \pm 0,12 ^a	4,28 \pm 0,43 ^b	2,07 \pm 0,42 ^b	271,99 \pm 10,99 ^a	9,45 \pm 0,47 ^a
Arroz Elaborado						
Bomba	16,61 \pm 2,39 ^a	1,90 \pm 0,36 ^a	2,26 \pm 0,38 ^a	0,29 \pm 0,24 ^a	117,61 \pm 3,01 ^a	1,06 \pm 0,58 ^a
BalillaxSollana	16,61 \pm 4,20 ^a	1,35 \pm 0,37 ^b	1,98 \pm 0,56 ^a	0,47 \pm 0,17 ^a	95,20 \pm 27,81 ^a	3,49 \pm 2,84 ^a
BxS Ecológico	18,27 \pm 4,19 ^a	1,51 \pm 0,67 ^{a,b}	1,86 \pm 0,86 ^a	0,41 \pm 0,17 ^a	85,46 \pm 41,20 ^a	1,86 \pm 0,82 ^a

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-c} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Las muestras integrales de las variedades Bomba y BxS-Ecológico cuentan con perfiles de contenido de Zn, Ca, Fe y K dentro del mismo rango, sin manifestar diferencias estadísticamente significativas. Los granos integrales de la variedad BxS presentan contenidos minerales con diferencias estadísticamente significativas en comparación con las concentraciones de los arroces de las variedades Bomba y BxS-Ecológico, con la excepción de los contenidos de K que no muestran diferencias entre las muestras de las diferentes variedades. Por tanto, las concentraciones de Mg y Na son las que tienen mayor dependencia de la variedad del grano.

Por su parte, las concentraciones minerales de las muestras de grano elaborado no evidencian diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes variedades, con la excepción de la concentración de Zn en las muestras de la variedad Bomba y BxS, que sí presentaron diferencias, con valores más elevados en el Bomba (1,90 mg /100g) que en el BxS (1,35 mg /100g).

La Tabla 25 recoge los valores de la concentración mineral media en las muestras, agrupados por el **paraje de producción**, teniendo en cuenta que las muestras producidas en los parajes “Bayo” y “La Finca” tienen varios agricultores.

Tabla 25. Contenido mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz crudo, por parajes (mg/100g¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio
Arroz Integral						
El Salgar	51,88 \pm 2,45 ^a	3,82 \pm 0,13 ^a	3,53 \pm 0,07 ^e	2,02 \pm 0,36 ^b	286,70 \pm 1,77 ^a	1,93 \pm 0,16 ^e
Casablanca	42,46 \pm 0,82 ^{c,d}	2,30 \pm 0,05 ^d	5,37 \pm 0,15 ^c	2,87 \pm 0,36 ^{a,b}	258,39 \pm 2,11 ^b	3,16 \pm 0,31 ^d
La Palmera	45,98 \pm 1,93 ^{b,c}	3,52 \pm 0,12 ^b	6,80 \pm 0,03 ^b	3,85 \pm 0,74 ^a	284,17 \pm 4,53 ^a	5,75 \pm 0,21 ^b
Minas	47,69 \pm 1,47 ^{a,b}	2,96 \pm 0,50 ^c	11,90 \pm 0,34 ^a	2,86 \pm 0,60 ^{a,b}	269,37 \pm 10,91 ^{a,b}	4,12 \pm 0,44 ^c
La Finca	41,09 \pm 2,23 ^d	3,60 \pm 0,12 ^{a,b}	4,28 \pm 0,43 ^d	2,07 \pm 0,42 ^b	271,99 \pm 10,99 ^{a,b}	9,45 \pm 0,47 ^a
Arroz Elaborado						
El Salgar	18,29 \pm 2,03 ^{a,b}	1,97 \pm 0,56 ^a	2,55 \pm 0,24 ^a	0,31 \pm 0,28 ^a	115,47 \pm 2,97 ^a	0,53 \pm 0,11 ^b
Casablanca	14,71 \pm 0,01 ^{a,b}	1,41 \pm 0,00 ^a	2,15 \pm 0,00 ^a	0,49 \pm 0,04 ^a	82,03 \pm 3,37 ^a	0,60 \pm 0,05 ^b
La Palmera	13,16 \pm 2,21 ^{a,b}	1,35 \pm 0,17 ^a	2,40 \pm 0,37 ^a	0,42 \pm 0,40 ^a	87,46 \pm 4,45 ^a	0,56 \pm 0,23 ^b
Minas	11,70 \pm 1,33 ^b	1,43 \pm 0,06 ^a	2,09 \pm 0,11 ^a	0,43 \pm 0,09 ^a	93,18 \pm 4,76 ^a	2,05 \pm 0,35 ^{a,b}
La Finca	18,27 \pm 4,19 ^{a,b}	1,51 \pm 0,67 ^a	1,86 \pm 0,86 ^a	0,41 \pm 0,17 ^a	85,46 \pm 41,20 ^a	1,86 \pm 0,82 ^b
P. Cenajo	15,72 \pm 0,60 ^{a,b}	1,50 \pm 0,05 ^a	1,81 \pm 0,06 ^a	0,62 \pm 0,11 ^a	101,76 \pm 3,33 ^a	3,45 \pm 0,22 ^{a,b}
Bayo	19,45 \pm 3,56 ^a	1,40 \pm 0,57 ^a	1,81 \pm 0,70 ^a	0,39 \pm 0,16 ^a	107,47 \pm 38,38 ^a	5,29 \pm 2,78 ^a

¹ Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-e} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido mineral en las muestras de arroz integral presentó diferencias estadísticamente significativas en función de la zona de cultivo, lo cual pone de manifiesto la gran repercusión que tienen las cualidades del terreno y la prácticas agrícola en la concentración mineral de los arroces. No obstante, el perfil se mantiene dentro del estándar descrito anteriormente destacando como minerales mayoritarios el K y el Mg.

Para los arroces elaborados las diferencias en el contenido de los minerales atribuibles al paraje de cultivo, no presentando una variación tan grande como la observada en las muestras análogas integrales, lo cual era de esperar ya que la mayor proporción de los elementos minerales está focalizada en la cascarilla que se pierde en el procesado de los arroces integrales obteniendo una mayor homogeneidad en el contenido de minerales del cotiledón. Todos los arroces elaborados, independientemente del paraje de cultivo, tienen unos contenidos de Zn, Fe, Ca y K dentro de un mismo rango, sin diferencias significativas entre sí. Por lo tanto, en las muestras de arroz crudo el paraje de cultivo no afecta al contenido de Zn ($p=0,762$), Fe ($p=0,451$), Ca ($p=0,497$) y K ($p=0,611$).

2.1.1. Pérdida mineral en el descascarillado

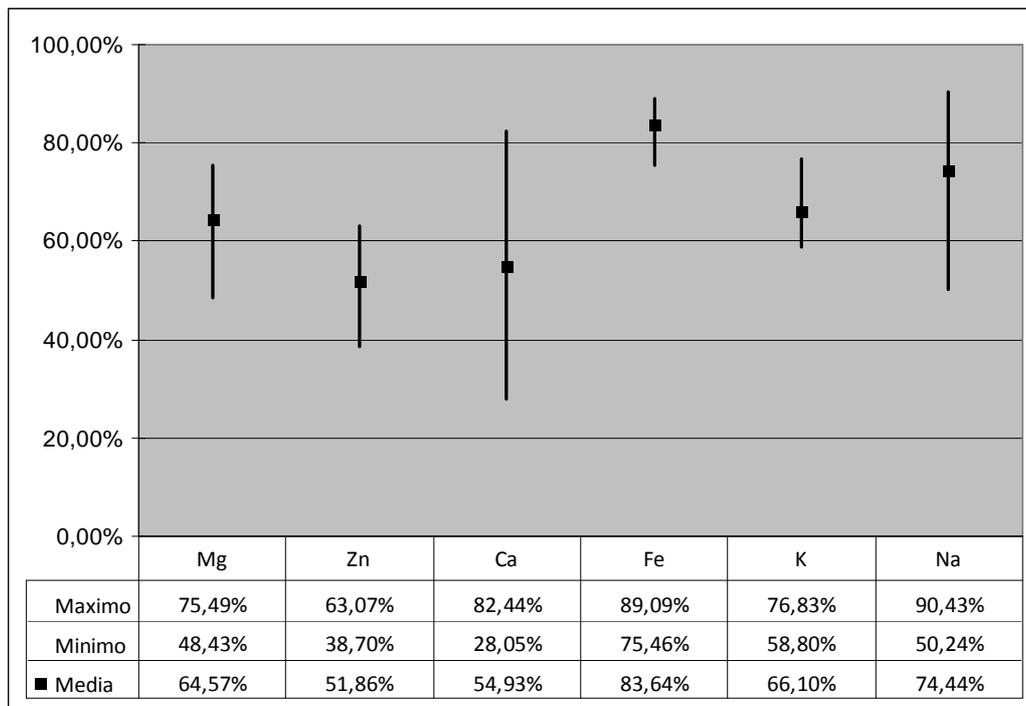
De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio preliminar y a lo descrito por otros autores (Tinarelli 1989; Ortuño, 1994; Admed *et al.*, 2008), las muestras integrales presentan un mayor contenido en los elementos minerales analizados que las mismas muestras tras haber sufrido el proceso de descascarillado, pudiendo determinar que la eliminación de la cascarilla del arroz es el principal factor determinante del contenido de mineral entre los arroces integrales y elaborados. El descascarillado del arroz repercute negativamente en su contenido mineral, al disminuir las concentraciones de todos los minerales analizados. Sin embargo, desde un punto de vista nutricional este efecto es mayor para los oligoelementos, que son los que se encuentran en menor concentración.

Para valorar las pérdidas de cada elemento mineral como consecuencia del proceso de descascarillado de las muestras integrales se calcularon los porcentajes de pérdida en cada una de las muestras ("A": integral y "B": blanco), tal como muestra la siguiente tabla. Los datos se muestran individualizados por muestra y variedad: variedad Bomba (muestra 1A-1B), Balilla x Sollana de producción convencional (muestras de la 2 a la 4) y Balilla x Sollana de producción ecológica (muestras 5 y 6).

Tabla 26. Porcentaje medio de pérdida mineral en el descascarillado de las muestras.

Muestras	Mg	Zn	Ca	Fe	K	Na
1 A→B	64,75%	48,69%	28,05%	84,65%	59,72%	72,40%
2 A→B	65,36%	38,70%	59,96%	82,93%	68,25%	81,33%
3 A→B	71,39%	61,65%	64,65%	89,09%	69,22%	90,43%
4 A→B	75,49%	51,69%	82,44%	84,97%	65,41%	50,24%
5 A→B	48,43%	63,07%	61,79%	85,35%	76,83%	88,01%
6 A→B	65,63%	51,36%	49,57%	75,46%	58,80%	72,26%

La Figura 38 representa el porcentaje medio global de pérdida tras el descascarillado del contenido de cada uno de los elementos minerales analizados. Las pérdidas de minerales tras la elaboración del arroz fueron mayores para Fe (84%) y el Na (74%), aunque en general el contenido de los minerales se ve reducido en más de un 50%. Esta reducción del contenido de hierro y otros minerales vinculada al proceso de elaboración del arroz ha sido descrita en la bibliografía científica por diferentes autores (Tinarelli, 1989; Heinemann *et al.*, 2004; Anjum *et al.*, 2007; Bergmen *et al.*, 2007; Trinidad *et al.*, 2009).

**Figura 38.** Porcentaje medio de pérdida mineral en el descascarillado.

Las fracciones minerales que se ven afectadas en menor proporción como consecuencia del paso de arroz integral a su forma blanca fueron el Ca y el Zn, con unas reducciones medias de 55 y 52% respectivamente. Esta variabilidad en la pérdida de cada uno de los elementos minerales tras el descascarillado del arroz pone de manifiesto la distribución irregular de cada uno de ellos en los granos de arroz, con un mayor acúmulo de minerales como Fe o Na en el pericarpio en comparación con otros como el Zn o el Ca, más localizados en el cotiledón (Juliano, 1994; Witzigmann *et al.* 1999).

La Figura 39 representa gráficamente el porcentaje de reducción del contenido de cada elemento mineral tras el descascarillado de las muestras, clasificándolas por las diferentes variedades (Bomba, Balilla x Sollana de producción convencional y Balilla x Sollana de producción ecológica).

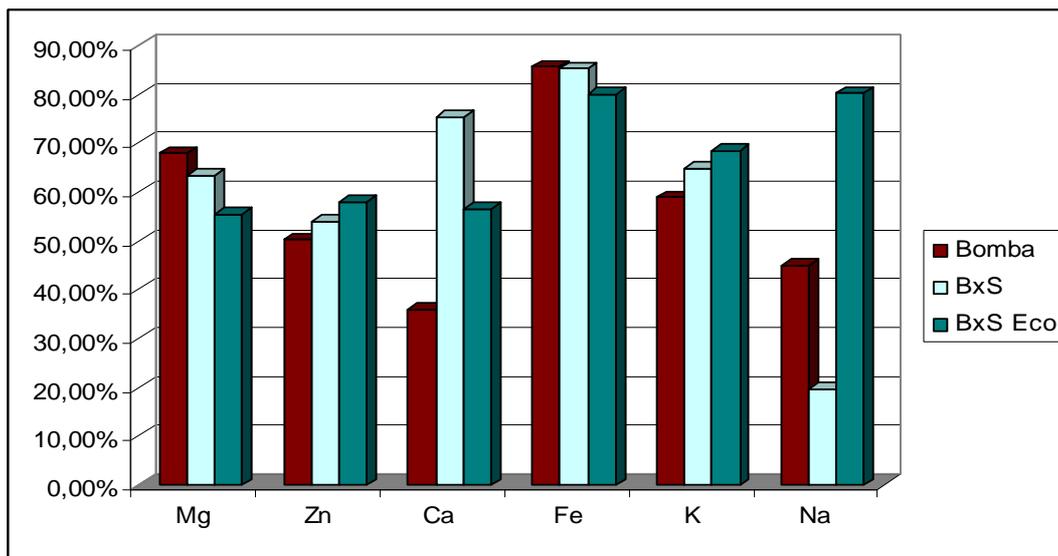


Figura 39. Porcentaje medio de pérdida mineral en el descascarillado, por variedades

Las pérdidas de minerales tras el descascarillado no mostró un patrón claro en relación a la variedad de las muestras o a su concentración mineral original. Las muestras de la variedad BxS Ecológica fueron las que experimentaron el mayor porcentaje de pérdida en tres de los seis elementos minerales analizados (Zn, K y Na).

2.2. Arroz cocido

La Tabla 28 muestra el contenido de Mg, Zn, Ca, Fe, K y Na, expresado en mg/100 g de peso fresco y el porcentaje de cenizas de las muestras de arroz, tras haber sido sometido al proceso de cocinado (siguiendo el procedimiento descrito para el estudio principal). Tal como se ha descrito en las muestras de arroz sin cocinar, el K fue el mineral mayoritario, con unos valores medios de 169,76 mg por cada 100 g de muestra para el arroz integral, y de 78,57 mg por cada 100 g de muestra para el arroz blanco, seguido del Na, con un contenido medio que osciló entre 136,70 y 84,47 mg/100 g para las muestras de arroz integral y elaborado, respectivamente. El resto de elementos minerales (Mg, Ca, Fe y Zn) presentaron concentraciones inferiores a las de las muestras crudas pero en un rango inferior al de los anteriores elementos minerales, con valores medios de 19,16; 3,03; 0,71 y 0,44 mg/100 g de peso fresco, respectivamente.

Como ya se comentó anteriormente, el cocinado de las muestras se llevó a cabo empleando agua de la red pública con el objeto de extrapolar el trabajo *in vitro* a la práctica culinaria doméstica. De este modo observamos que todos los elementos minerales incrementan notablemente su concentración debido al aporte mineral del agua empleada en la cocción del arroz, destacando un importante incremento del contenido de Na, que se encuentra en valores muy bajos en los arroces crudos.

Los elementos minerales con interés nutricional analizados en el agua potable se muestran en la Tabla 27. Destacan los contenidos de Mg, Ca y Na como mayoritarias, mostrando una bajo contenido en Fe. Los contenidos de Zn y K no se determinaron debido a su escasa presencia en las aguas de saneamiento.

Tabla 27. Analítica representativa del agua de la red pública (mg/L).

Magnesio	Calcio	Hierro	Sodio	Manganeso	Cobre	Aluminio	Boro	Cromo	Níquel
40,7	81,9	0,01	50,0	<0,002	0,0	0,11	0,10	<0,002	<0,002

Tabla 28. Contenido mineral de las muestras de arroz cocinado (mg/100g de peso fresco¹) y contenido de cenizas (%).

	ID Muestra	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio	Cenizas
Arroz integral	1A	22,82±1,97 ^b	0,55±0,70 ^c	3,30±0,17 ^d	1,54±0,54 ^c	205,84±5,86 ^a	125,19±4,06 ^{c,d}	0,040±0,002
	2A	30,54±5,51 ^{a,b}	0,61±0,02 ^{b,c}	4,45±0,00 ^c	2,67±0,11 ^{a,b}	193,72±15,20 ^a	138,18±4,39 ^b	0,300±0,002
	3A	37,82±2,23 ^a	0,91±0,03 ^a	5,57±0,66 ^b	3,16±0,19 ^a	151,74±14,67 ^{b,c}	114,92±0,40 ^d	0,100±0,001
	4A	26,58±0,36 ^b	0,67±0,04 ^b	6,82±0,02 ^a	2,69±0,24 ^{a,b}	154,56±9,20 ^{b,c}	165,75±4,26 ^a	0,900±0,002
	5A	31,25±0,79 ^{a,b}	0,85±0,01 ^a	3,22±0,17 ^d	1,79±0,55 ^c	131,90±19,91 ^c	141,70±3,59 ^b	0,020±0,002
	6A	24,89±4,33 ^b	0,84±0,57 ^a	3,10±0,12 ^d	2,20±0,36 ^{b,c}	180,84±9,31 ^{a,b}	134,45±5,43 ^{b,c}	0,020±0,001
	Media	28,99±5,73	0,74±0,14	4,41±1,44	2,34±0,63	169,76±28,76	136,70±16,52	0,087±0,345
Arroz elaborado	1B	13,73±0,97 ^d	0,24±0,02 ^{d,e}	2,33±0,81 ^{b,c}	0,34±0,07 ^{a,b,c}	135,51±5,44 ^a	53,53±1,53 ^e	0,020±0,001
	2B	14,18±0,71 ^{c,d}	0,17±0,00 ^e	2,11±0,30 ^c	0,38±0,05 ^{a,b,c}	82,09±0,24 ^{b,c}	71,06±2,03 ^d	0,100±0,001
	3B	19,26±1,63 ^{a,b}	0,30±0,10 ^{c,d,e}	2,98±0,03 ^a	0,18±0,01 ^c	65,30±5,52 ^d	99,86±2,90 ^a	0,100±0,001
	4B	11,94±0,70 ^d	0,32±0,14 ^{c,d,e}	2,80±0,22 ^{a,b}	0,42±0,04 ^{a,b}	70,90±10,97 ^{b,c,d}	99,23±1,09 ^a	0,020±0,002
	5B	12,31±3,35 ^d	0,43±0,06 ^{a,b,c}	2,55±0,14 ^{a,b,c}	0,22±0,01 ^{b,c}	60,01±0,73 ^d	82,12±2,73 ^{b,c,d}	0,020±0,001
	6B	13,01±1,39 ^d	0,36±0,02 ^{b,c,d}	2,40±0,98 ^{a,b,c}	0,50±0,08 ^a	85,36±3,33 ^b	83,56±1,45 ^{b,c,d}	0,400±0,001
	7B	22,48±0,29 ^a	0,52±0,65 ^{a,b}	2,85±0,33 ^{a,b}	0,44±0,98 ^a	69,75±0,99 ^{c,d}	94,13±11,63 ^{a,b}	0,020±0,001
	8B	15,92±1,83 ^{b,c,d}	0,55±0,08 ^a	2,31±0,27 ^{b,c}	0,38±0,25 ^{a,b,c}	85,51±4,76 ^b	88,76±7,51 ^{a,b,c}	0,020±0,001
	9B	13,73±0,26 ^d	0,36±0,03 ^{b,c,d}	2,42±0,23 ^{a,b,c}	0,43±0,11 ^{a,b}	59,00±6,69 ^d	94,09±5,51 ^{a,b}	0,060±0,001
	10B	18,33±0,97 ^{a,b,c}	0,25±0,00 ^{d,e}	2,24±0,19 ^{b,c}	0,50±0,13 ^a	72,25±2,52 ^{b,c,d}	78,36±3,45 ^{c,d}	0,020±0,001
Media	15,49±3,56	0,35±0,13	2,50±0,33	0,38±0,12	78,57±21,83	84,47±14,43	0,041±0,118	

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-e} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Tabla 29. Contenido mineral de las muestras de arroz cocinado (mg/100g de peso seco¹).

	ID Muestra	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio
Arroz integral	1A	45,64±3,94 ^b	1,10±1,40 ^c	6,60±0,34 ^d	3,08±1,08 ^c	411,68±11,72 ^a	250,38±8,12 ^{c,d}
	2A	61,08±11,02 ^{a,b}	1,22±0,04 ^{b,c}	8,90±0,01 ^c	5,34±0,22 ^{a,b}	387,44±30,40 ^a	276,36±8,78 ^b
	3A	75,64±4,46 ^a	1,82±0,06 ^a	11,14±1,32 ^b	6,32±0,38 ^a	303,48±29,34 ^{b,c}	229,84±0,80 ^d
	4A	53,16±0,72 ^b	1,34±0,08 ^b	13,64±0,04 ^a	5,38±0,48 ^{a,b}	309,12±18,40 ^{b,c}	331,50±8,52 ^a
	5A	62,5±1,58 ^{a,b}	1,70±0,02 ^a	6,44±0,34 ^d	3,58±1,10 ^c	263,80±39,82 ^c	283,40±7,18 ^b
	6A	49,78±8,66 ^b	1,68±1,14 ^a	6,20±0,24 ^d	4,40±0,72 ^{b,c}	361,68±18,62 ^{a,b}	268,90±10,86 ^{b,c}
	Media	57,98±11,46	1,48±0,28	8,82±2,88	4,86±1,26	339,52±57,52	273,40±33,04
Arroz elaborado	1 B	27,46±1,94 ^d	0,48±0,04 ^{d,e}	4,66±1,62 ^{b,c}	0,68±0,14 ^{a,b,c}	271,02±10,88 ^a	107,06±3,06 ^e
	2 B	28,36±1,42 ^{c,d}	0,34±0,01 ^e	4,22±0,60 ^c	0,76±0,10 ^{a,b,c}	164,18±0,48 ^{b,c}	142,12±4,06 ^d
	3 B	38,52±3,26 ^{a,b}	0,60±0,20 ^{c,d,e}	5,96±0,06 ^a	0,36±0,02 ^c	130,60±11,04 ^d	199,72±5,80 ^a
	4 B	23,88±1,40 ^d	0,64±0,28 ^{c,d,e}	5,60±0,44 ^{a,b}	0,84±0,08 ^{a,b}	141,80±21,94 ^{b,c,d}	198,46±2,18 ^a
	5 B	24,62±6,70 ^d	0,86±0,12 ^{a,b,c}	5,10±0,28 ^{a,b,c}	0,44±0,02 ^{b,c}	120,02±1,46 ^d	164,24±5,46 ^{b,c,d}
	6 B	26,02±2,78 ^d	0,72±0,04 ^{b,c,d}	4,80±1,96 ^{a,b,c}	1,00±0,16 ^a	170,72±6,66 ^b	167,12±2,90 ^{b,c,d}
	7 B	44,96±0,58 ^a	1,04±1,30 ^{a,b}	5,70±0,66 ^{a,b}	0,88±1,96 ^a	139,50±1,98 ^{c,d}	188,26±23,26 ^{a,b}
	8 B	31,84±3,66 ^{b,c,d}	1,10±0,16 ^a	4,62±0,54 ^{b,c}	0,76±0,50 ^{a,b,c}	171,02±9,52 ^b	177,52±15,02 ^{a,b,c}
	9 B	27,46±0,52 ^d	0,72±0,06 ^{b,c,d}	4,84±0,46 ^{a,b,c}	0,86±0,22 ^{a,b}	118,00±13,38 ^d	188,18±11,02 ^{a,b}
	10 B	36,66±1,94 ^{a,b,c}	0,50±0,01 ^{d,e}	4,48±0,38 ^{b,c}	1,00±0,26 ^a	150,50±5,04 ^{b,c,d}	156,72±6,90 ^{c,d}
Media	30,98±7,12	0,70±0,26	5,00±0,66	0,76±0,24	157,14±43,66	168,94±28,86	

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-e} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido mineral de los arroces dependiendo de la muestra analizada. El contenido de K expresado en materia seca en las muestras de arroz cocido, presentó los valores medios más altos, alcanzando 411,68 mg/100 g en la muestra 1-A (Bomba integral) y un valor medio en las muestras integrales de 339,52 mg/100 g. A continuación se observó un alto contenido de Na en los arroces elaborados con valores medios de 168,94 mg/100 g. El Zn y el Fe son los elementos que presentan las concentraciones menores, como ya se describió previamente en las muestras crudas, con unos valores medios en las muestras integrales de 1,48 y 4,86 mg/100 g, respectivamente, y en las muestras elaboradas de 0,70 y 0,76 mg/100 g, respectivamente.

La Tabla 30 describe los valores de la concentración mineral media en las muestras de arroz cocido, agrupadas por su **variedad**.

Tabla 30. Contenido mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz cocinado, por variedades (mg/100g de peso seco¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio
Arroz Integral						
Bomba	45,64 \pm 3,96 ^b	1,10 \pm 0,14 ^b	6,62 \pm 0,34 ^b	3,08 \pm 0,10 ^b	411,70 \pm 11,72 ^a	250,38 \pm 8,14 ^a
BalillaxSollana	63,32 \pm 11,58 ^a	1,46 \pm 0,28 ^a	11,22 \pm 2,16 ^a	5,68 \pm 0,58 ^b	333,34 \pm 46,72 ^{a,b}	279,24 \pm 44,50 ^a
BxS Ecológico	56,14 \pm 8,92 ^{a,b}	1,68 \pm 0,08 ^a	6,32 \pm 0,30 ^b	3,98 \pm 0,94 ^a	312,74 \pm 60,38 ^b	276,14 \pm 11,44 ^a
Arroz Elaborado						
Bomba	29,66 \pm 3,54 ^a	0,78 \pm 0,34 ^a	4,64 \pm 0,34 ^a	0,72 \pm 0,10 ^a	221,02 \pm 55,54 ^a	142,28 \pm 39,80 ^b
BalillaxSollana	33,30 \pm 7,68 ^a	0,64 \pm 0,24 ^a	5,14 \pm 0,78 ^a	0,78 \pm 0,26 ^a	139,76 \pm 17,44 ^b	178,92 \pm 24,30 ^a
BxS Ecológico	25,32 \pm 4,66 ^a	0,80 \pm 0,10 ^a	4,96 \pm 0,28 ^a	0,72 \pm 0,32 ^a	145,36 \pm 28,10 ^b	165,68 \pm 4,22 ^{a,b}

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-b} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Excepto en el caso del Na, los contenidos minerales de las muestras integrales presentaron diferencias estadísticamente significativas en función de la variedad del arroz, lo cual viene justificado porque el Na es aportado a través del agua de cocción. Las concentraciones minerales de las muestras de grano elaborado, por su parte, no evidencian diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes variedades,

con la excepción de la concentración de Na y K. Las muestras de la variedad BxS son las que presentan los valores más elevados de contenido medio de Mg, Ca, Fe y Na, tanto en los granos integrales como elaborados.

La Tabla 31 muestra los valores de contenido mineral medio en las muestras, agrupadas por el **paraje de producción**, teniendo en cuenta que las muestras producidas en los parajes “Bayo” y “La Finca” tienen varios agricultores.

Tabla 31. Contenido mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz cocinado, por parajes (mg/100g de peso seco¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio	Sodio
Arroz Integral						
El Salgar	45,64 \pm 3,96 ^b	1,10 \pm 0,14 ^c	6,62 \pm 0,34 ^d	3,08 \pm 0,10 ^c	411,70 \pm 11,72 ^a	250,38 \pm 8,14 ^c
Casablanca	61,08 \pm 11,04 ^{a,b}	1,24 \pm 0,04 ^{b,c}	8,90 \pm 0,01 ^c	5,34 \pm 0,22 ^{a,b}	387,44 \pm 30,40 ^{a,b}	276,36 \pm 8,78 ^b
La Palmera	75,74 \pm 4,46 ^a	1,82 \pm 0,06 ^a	11,14 \pm 1,32 ^b	6,32 \pm 0,38 ^a	303,48 \pm 29,34 ^b	229,84 \pm 0,60 ^c
Minas	53,16 \pm 0,72 ^b	1,34 \pm 0,08 ^b	13,64 \pm 0,04 ^a	5,38 \pm 0,48 ^{a,b}	309,12 \pm 18,40 ^b	331,50 \pm 8,52 ^a
La Finca	56,14 \pm 8,92 ^b	1,68 \pm 0,08 ^a	6,32 \pm 0,30 ^d	3,98 \pm 0,94 ^{b,c}	312,74 \pm 60,38 ^{a,b}	276,14 \pm 11,44 ^b
Arroz Elaborado						
El Salgar	27,46 \pm 1,96 ^b	0,48 \pm 0,04 ^b	4,66 \pm 0,16 ^{c,d}	0,68 \pm 0,14 ^{a,b}	271,02 \pm 10,88 ^a	107,06 \pm 3,06 ^d
Casablanca	28,38 \pm 1,42 ^b	0,34 \pm 0,01 ^b	4,22 \pm 0,60 ^d	0,76 \pm 0,10 ^{a,b}	164,20 \pm 0,48 ^b	142,12 \pm 4,06 ^c
La Palmera	38,52 \pm 3,26 ^{a,b}	0,60 \pm 0,02 ^{a,b}	5,98 \pm 0,06 ^a	0,36 \pm 0,02 ^b	130,60 \pm 11,04 ^b	199,72 \pm 5,80 ^a
Minas	23,88 \pm 1,40 ^b	0,64 \pm 0,28 ^{a,b}	5,60 \pm 0,44 ^{a,b,c}	0,84 \pm 0,08 ^{a,b}	141,80 \pm 21,94 ^b	198,46 \pm 2,18 ^a
La Finca	25,32 \pm 4,66 ^b	0,80 \pm 0,10 ^{a,b}	4,96 \pm 0,28 ^{b,c,d}	0,72 \pm 0,32 ^{a,b}	145,36 \pm 28,10 ^b	165,68 \pm 4,22 ^{b,c}
P. Cenajo	44,96 \pm 0,58 ^a	1,04 \pm 0,12 ^a	5,70 \pm 0,66 ^{a,b}	0,88 \pm 0,18 ^a	139,50 \pm 1,98 ^b	188,26 \pm 23,28 ^{a,b}
Bayo	31,98 \pm 4,50 ^{b,c}	0,76 \pm 0,28 ^{a,b}	4,64 \pm 0,44 ^{c,d}	0,88 \pm 0,20 ^a	144,50 \pm 24,50 ^b	174,14 \pm 17,04 ^{a,b}

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-d} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido mineral de las muestras de arroz agrupadas por la zona de cultivo presenta diferencias estadísticamente significativas, suponiendo una importante influencia de las características edafológicas del terreno y las prácticas agrícolas sobre la concentración mineral de los arroces. Estas diferencias entre los contenidos minerales atribuibles al paraje de cultivo existen para todos los elementos minerales y tanto para las muestras integrales como elaboradas.

En general, el proceso de cocinado del arroz siguiendo el procedimiento de cocción que permite la completa reabsorción del agua por parte de los granos de cereal, conlleva a un incremento del contenido de minerales debido a la reabsorción de los elementos presentes en el líquido de cocción. En el caso concreto de este estudio se observa un aumento considerable del contenido en Na y en menor medida de otros minerales presentes en el agua de cocción como el Mg, Ca y Fe.

3. DETERMINACION DEL CÓMPUTO MINERAL

El enfoque tradicional de las guías alimentarias, y la evaluación de la adecuación nutricional de las dietas, han estado centrados en las recomendaciones nutricionales para nutrientes específicos. Este enfoque ha sido comúnmente mal aplicado y ha probado ser inadecuado para desarrollar programas efectivos de educación en nutrición (Santaella, 2011). Un enfoque alternativo al tradicional de las recomendaciones nutricionales y que podría conducir mejor a la ingesta óptima de nutrientes es el uso del concepto de **densidad de nutrientes** aplicado a la alimentación total (Alviña, 2009). Este indicador se aplica para evaluar la calidad de las dietas en vitaminas y minerales.

La densidad ideal corresponde a la cantidad de nutriente que debiera contener la dieta en 1000 kcal, considerando la ingesta recomendada y el requerimiento de energía (Lutz, 2009). No existen valores recomendables de densidad de nutrientes, ya que la cifra sólo refleja la calidad de nutrientes encontrada en una determinada preparación o dieta (Alviña, 2009).

Para la determinación de los valores de densidad de nutriente se ha considerado una ración de arroz de 150 gramos, así como la energía aportada descrita en la Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA) y las concentraciones medias de los diferentes elementos minerales descritos previamente para las muestras crudas y cocinadas.

Conforme a lo establecido en BEDCA la energía aportada por cada ración de arroz varía en función del grado de elaboración del grano y, especialmente, del proceso de cocción, tal como muestra la Tabla 32.

Tabla 32. Energía aportada por las distintas formas de arroz.

		kcal/100g	kcal/ración 150g
Arroz Crudo	Integral	386	579
	Elaborado	388	582
Arroz Cocido	Integral	112	168
	Elaborado	120	180

La energía media aportada por una ración de 150 g de arroz crudo, osciló entre 579 y 582 kcal, mientras que una ración de arroz cocido aporta alrededor de 175 kcal, variando en función del tipo de elaboración, ya que, contiene entre 50-55 % de agua.

En el cálculo de la densidad ideal de nutriente, preciso para la determinación del cómputo de nutriente, se usaron las recomendaciones de energía y nutrientes para la población española, elaboradas por el Departamento de Nutrición de la Universidad Complutense de Madrid (Moreiras, 2009), descritas en la siguiente Tabla.

Tabla 33. Ingestas recomendadas de energía y nutrientes para la población española entre 10 y más de 60 años. (Moreiras, 2009).

Edad	(kcal/día)	Mg(mg)	Zn(mg)	Ca(mg)	Fe(mg)	K (g)	Na(g)
Hombres							
10-12	2450	350	15	1000	12	4.5	1.5
13-15	2750	400	15	1000	15	4.7	1.5
16-19	3000	400	15	1000	15	4.7	1.5
20-39	3000	350	15	800	10	4.7	1.5
40-49	2850	350	15	800	10	4.7	1.5
50-59	2700	350	15	800	10	4.7	1.3
60*	2400	350	15	800	10	4.7	1.2
Mujeres							
10-12	2300	350	15	1000	18	4.7	1.5
13-15	2500	330	15	1000	18	4.7	1.5
16-19	2300	330	15	1000	18	4.7	1.5
20-39	2300	330	15	800	18	4.7	1.5
40-49	2185	330	15	800	18	4.7	1.5
50-59	2075	300	15	800	10	4.7	1.3
60*	1875	300	15	800	10	4.7	1.2

Para el cálculo del cómputo mineral empleamos la concentración mineral y la energía aportada por cada ración de arroz de 150g (densidad mineral), partido por la densidad mineral ideal:

$$\text{Cómputo mineral (\%)} = \frac{[(\text{Contenido mineral por cada ración} / \text{Energía por cada ración})]}{[(\text{Ingesta mineral recomendada} / \text{Energía recomendada})]}$$

Las tablas 34-39 muestran el cómputo de nutrientes de una ración de arroz (definida en 150 g), en los distintos tipos de arroz, tanto en su forma cruda como cocinada.

Tabla 34. Cómputo de magnesio de 150 g de arroz, para la población española.

	MAGNESIO(%)			
	Arroz Crudo		Arroz Cocido	
<i>Hombres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	81,32	29,55	177,88	88,14
13-15	79,86	29,02	174,70	86,57
16-19	87,12	31,66	190,58	94,44
20-39	99,57	36,19	217,81	107,93
40-49	94,59	34,38	206,92	102,53
50-59	89,61	32,57	196,03	97,14
60+	79,66	28,95	174,24	86,34
<i>Mujeres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	76,34	27,74	166,98	82,75
13-15	88,00	31,98	192,51	95,39
16-19	80,96	29,42	177,10	87,76
20-39	80,96	29,42	177,10	87,76
40-49	76,92	27,95	168,25	83,37
50-59	80,35	29,20	175,76	87,09
60+	72,60	26,39	158,82	78,70

Tabla 35. *Cómputo de cinc de 150 g de arroz, para la población española.*

	CINC (%)			
	Arroz Crudo		Arroz Cocido	
<i>Hombres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	137,52	65,67	106,46	44,92
13-15	154,36	73,71	119,49	50,42
16-19	168,39	80,41	130,36	55,00
20-39	168,39	80,41	130,36	55,00
40-49	159,97	76,39	123,84	52,25
50-59	151,55	72,37	117,32	49,50
60+	134,72	64,33	104,29	44,00
<i>Mujeres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	129,10	61,65	99,94	42,17
13-15	140,33	67,01	108,63	45,83
16-19	129,10	61,65	99,94	42,17
20-39	129,10	61,65	99,94	42,17
40-49	122,65	58,57	94,94	40,06
50-59	116,47	55,62	90,16	38,04
60+	105,25	50,26	81,47	34,38

Tabla 36 *Cómputo de calcio de 150 g de arroz, para la población española.*

	CALCIO (%)			
	Arroz Crudo		Arroz Cocido	
<i>Hombres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	3,49	1,33	9,21	5,06
13-15	3,92	1,50	10,34	5,68
16-19	4,27	1,63	11,28	6,20
20-39	5,34	2,04	14,10	7,75
40-49	5,08	1,94	13,39	7,36
50-59	4,81	1,84	12,69	6,98
60+	4,27	1,63	11,28	6,20
<i>Mujeres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	3,28	1,25	8,65	4,75
13-15	3,56	1,36	9,40	5,17
16-19	3,28	1,25	8,65	4,75
20-39	4,10	1,56	10,81	5,94
40-49	3,89	1,49	10,27	5,64
50-59	3,70	1,41	9,75	5,36
60+	3,34	1,27	8,81	4,84

Tabla 37 Cómputo de hierro de 150 g de arroz, para la población española.

	HIERRO (%)			
	Arroz Crudo		Arroz Cocido	
<i>Hombres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	132,76	21,57	410,16	59,55
13-15	119,21	19,37	368,30	53,47
16-19	130,05	21,13	401,79	58,33
20-39	195,08	31,70	602,68	87,50
40-49	185,32	30,12	572,54	83,13
50-59	175,57	28,53	542,41	78,75
60+	156,06	25,36	482,14	70,00
<i>Mujeres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	83,09	13,50	256,70	37,27
13-15	90,31	14,68	279,02	40,51
16-19	83,09	13,50	256,70	37,27
20-39	83,09	13,50	256,70	37,27
40-49	78,93	12,83	243,86	35,41
50-59	134,93	21,93	416,85	60,52
60+	121,92	19,81	376,67	54,69

Tabla 38 Cómputo de potasio de 150 g de arroz, para la población española.

	POTASIO (%)			
	Arroz Crudo		Arroz Cocido	
<i>Hombres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	38,58	14,35	81,35	34,57
13-15	41,46	15,42	87,43	37,15
16-19	45,23	16,82	95,37	40,53
20-39	45,23	16,82	95,37	40,53
40-49	42,97	15,98	90,61	38,51
50-59	40,71	15,14	85,84	36,48
60+	36,18	13,46	76,30	32,43
<i>Mujeres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	34,67	12,89	73,12	31,07
13-15	37,69	14,02	79,48	33,78
16-19	34,67	12,89	73,12	31,07
20-39	34,67	12,89	73,12	31,07
40-49	32,94	12,25	69,46	29,52
50-59	31,28	11,63	65,97	28,03
60+	28,27	10,51	59,61	25,33

Tabla 39 Cómputo de sodio de 150 g de arroz, para la población española.

	SODIO (%)			
	Arroz Crudo		Arroz Cocido	
<i>Hombres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	2,04	0,73	198,01	113,15
13-15	2,29	0,82	222,26	127,00
16-19	2,50	0,90	242,46	138,55
20-39	2,50	0,90	242,46	138,55
40-49	2,38	0,85	230,34	131,62
50-59	2,60	0,93	251,79	143,88
60+	2,50	0,90	242,46	138,55
<i>Mujeres</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>	<i>Integral</i>	<i>Elaborado</i>
10-12	1,92	0,69	185,89	106,22
13-15	2,09	0,75	202,05	115,46
16-19	1,92	0,69	185,89	106,22
20-39	1,92	0,69	185,89	106,22
40-49	1,82	0,65	176,59	100,91
50-59	2,00	0,72	193,51	110,57
60+	1,96	0,70	189,43	108,24

Los valores recomendables de cómputo de nutrientes deben ser iguales o superiores a 100. Conceptualmente, esto indica que la dieta contiene la cantidad adecuada de nutrientes en la porción de energía consumida. Si los valores son inferiores, implica que la dieta proveerá una cantidad inferior a la requerida en una porción de energía recomendada (Santaella, 2011), por lo tanto, para cubrir la ingesta recomendada del nutriente debiera consumir más energía de la recomendable, lo que propicia el sobrepeso y la obesidad (Lutz, 2009).

Existen grandes diferencias en los cálculos de nutrientes entre las muestras de arroz integral y elaborado, siendo superiores los valores en las formas integrales. En base a los resultados obtenidos de cómputo de nutrientes podemos afirmar que en una ración de 150 g de arroz cocido la densidad mineral supera la densidad mineral ideal en el Na, conforme a las ingestas recomendadas (Tabla 33). Lo mismo ocurre con el cómputo del Mg, el Fe y el Zn en el caso de las muestras integrales.

Por el contrario, el cómputo del Ca y K de cualquiera de las muestras de arroz cocido indica que las necesidades de estos elementos minerales deben ser cubiertas con el aporte a través de otros alimentos, tales como vegetales, legumbres, carne y pescado, que es el modo habitual de consumo de arroz. Igualmente, la densidad mineral de una ración no supera la densidad mineral ideal del Mg, el Fe y el Zn para los arroces elaborados.

El hecho de que los valores de cómputo de nutrientes no sean adecuados para unos determinados minerales no significa necesariamente que sean una fuente pobre de los mismos, ya que hay que tener en cuenta que existen muchos factores en la dieta que pueden afectar a su biodisponibilidad (Santaella, 2011), como son la proteína, la fibra dietética y la presencia de compuestos con actividad antinutriente (oxalatos, fítico, etc.), que disminuyen la biodisponibilidad del calcio y otros cationes divalentes (Olivares, 2000).

4. DETERMINACIÓN DE SOLUBILIDAD MINERAL “IN VITRO”

4.1. Arroz crudo

Los resultados obtenidos en la determinación de la fracción mineral soluble nos aportan información sobre el perfil de solubilidad de los distintos elementos minerales en cada una de las muestras (integrales y blancas) tras haber sufrido una digestión *in vitro*, siendo un indicador de la biodisponibilidad de cada uno de los minerales.

La finca de procedencia de las muestras y las características edafológicas del terreno se puede relacionar con el aporte nutritivo de los diferentes arroces y el comportamiento de la solubilidad mineral de cada una de las muestras.

En el análisis espectrofotométrico el contenido en Fe de las muestras blancas que fueron sometidas a la digestión *in vitro* estaba por debajo del límite de detección del equipo, y por consiguiente sólo se pudo calcular la solubilidad del Fe en las muestras integrales.

La baja concentración de Fe, puede atribuirse a que este mineral se encuentran mayoritariamente en la cascarilla del arroz y por tanto hay una importante pérdida mineral en el descascarillado (Figuras 38 y 39), hecho que fue descrito por *Hass et al.* (2005) en su investigación con arroces procedentes de Filipinas.

La Tabla 40 describe los valores porcentuales de solubilidad mineral de los elementos minerales analizados en las diferentes muestras de arroz descritas en la Tabla 7.

Tabla 40. Solubilidad mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz crudo (%¹).

	ID Muestra	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio
Arroz integral	1A	42,51 \pm 6,53 ^{a,b}	7,03 \pm 0,21 ^b	26,96 \pm 3,60 ^a	45,69 \pm 3,61 ^a	62,36 \pm 0,30 ^a
	2A	54,18 \pm 7,88 ^a	13,00 \pm 0,31 ^a	21,55 \pm 1,01 ^{a,b,c}	24,58 \pm 5,25 ^{b,c}	66,30 \pm 0,86 ^a
	3A	47,10 \pm 5,44 ^{a,b}	11,49 \pm 1,55 ^a	23,55 \pm 0,65 ^{a,b}	17,28 \pm 1,77 ^c	56,43 \pm 1,97 ^{b,c}
	4A	37,83 \pm 0,86 ^b	13,54 \pm 0,64 ^a	16,60 \pm 2,11 ^c	36,17 \pm 3,68 ^{a,b}	62,43 \pm 4,28 ^a
	5A	46,68 \pm 1,47 ^{a,b}	12,74 \pm 1,82 ^a	20,78 \pm 0,91 ^{b,c}	24,08 \pm 5,52 ^c	60,52 \pm 2,09 ^{a,b}
	6A	42,72 \pm 4,76 ^{a,b}	11,41 \pm 1,65 ^a	18,77 \pm 2,98 ^{b,c}	24,17 \pm 4,69 ^c	54,56 \pm 0,24 ^c
	Media	45,17 \pm 6,78	11,54 \pm 2,45	21,37 \pm 3,87	28,66 \pm 10,34	60,43 \pm 4,43
Arroz elaborado	1B	79,32 \pm 7,97 ^{a,b,c}	17,33 \pm 1,69 ^d	32,47 \pm 4,18 ^{b,c}	N/D	59,49 \pm 4,32 ^d
	2B	86,98 \pm 0,96 ^{a,b}	30,86 \pm 2,89 ^{b,c}	26,82 \pm 1,72 ^c	N/D	82,90 \pm 4,19 ^{a,b}
	3B	91,05 \pm 6,32 ^a	27,02 \pm 0,86 ^c	39,19 \pm 2,65 ^b	N/D	63,87 \pm 5,94 ^{c,d}
	4B	91,92 \pm 4,51 ^a	33,19 \pm 2,84 ^b	65,71 \pm 6,72 ^a	N/D	72,62 \pm 2,56 ^{b,c}
	5B	69,81 \pm 4,54 ^{c,d}	31,04 \pm 1,63 ^{b,c}	31,86 \pm 1,70 ^{b,c}	N/D	84,94 \pm 3,69 ^a
	6B	76,87 \pm 5,36 ^{a,b,c}	29,53 \pm 1,05 ^{b,c}	32,37 \pm 2,81 ^{b,c}	N/D	58,73 \pm 4,67 ^d
	7B	83,43 \pm 2,21 ^{a,b,c}	15,65 \pm 1,54 ^d	65,79 \pm 3,66 ^a	N/D	46,42 \pm 1,31 ^e
	8B	85,34 \pm 6,65 ^{a,b,c}	16,93 \pm 1,34 ^d	62,31 \pm 2,75 ^a	N/D	77,96 \pm 4,84 ^{a,b}
	9B	71,93 \pm 7,09 ^{b,c,d}	39,18 \pm 2,15 ^a	63,37 \pm 2,56 ^a	N/D	72,87 \pm 0,07 ^{b,c}
	10B	60,08 \pm 6,62 ^d	17,51 \pm 1,36 ^d	65,93 \pm 4,93 ^a	N/D	74,67 \pm 3,65 ^{a,b,c}
	Media	79,67 \pm 10,86	25,82 \pm 8,18	48,58 \pm 16,87	N/D	69,45 \pm 12,12

N/D= No detectable

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-e} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

Los porcentajes de solubilidad mineral analizados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la comparativa entre las parejas de muestras integrales (A) y elaboradas o blancas (B), tal y como mostró el ANOVA y el test de separación de medias, siendo los siguientes los valores medios de solubilidad de cada mineral:

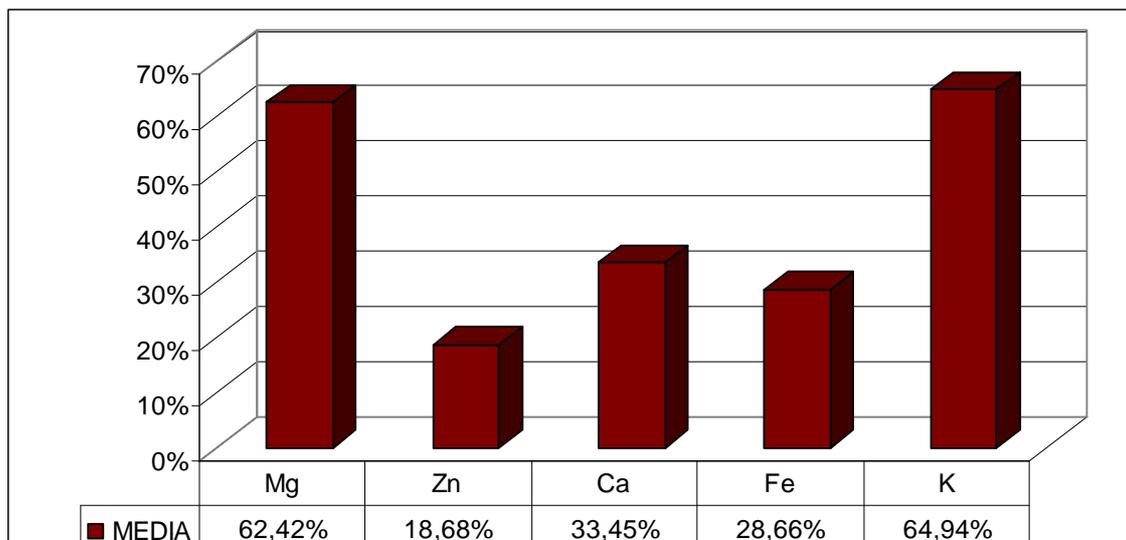


Figura 40. Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz crudo

Como muestra la Figura 41 el porcentaje de la solubilidad de los diferentes elementos minerales presentó un mismo patrón, siendo mayores los valores en las muestras blancas que en las integrales.

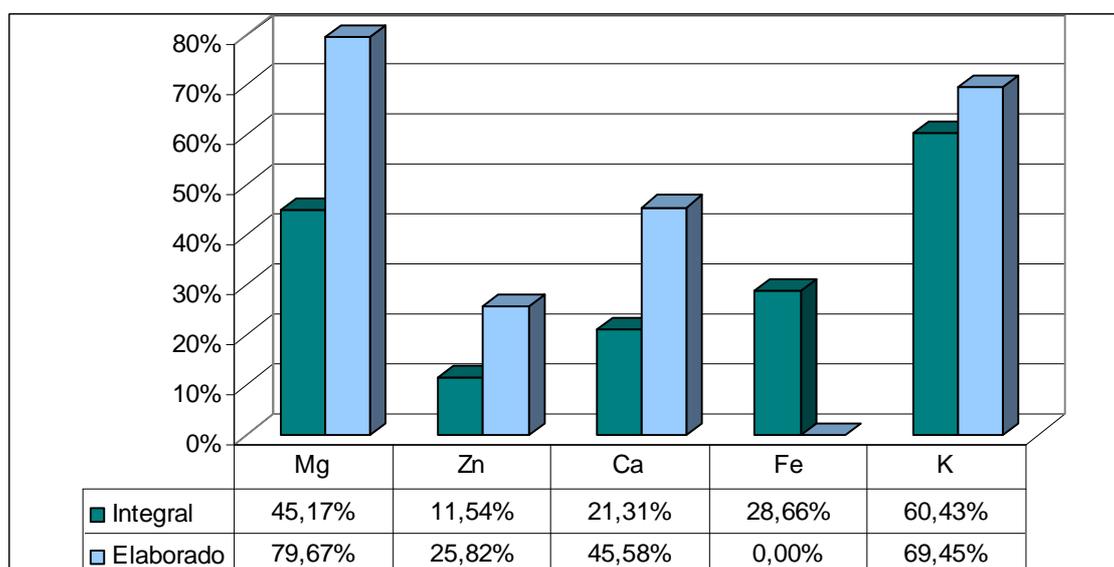


Figura 41. Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz crudo (integral y elaborado).

De los elementos minerales estudiados, el que presentó una mayor solubilidad media fue el K (64,94%), con valores medios oscilando entre el 69,45% en los arroces elaborados y el 60,43% en los granos integrales. El Mg fue el segundo elemento

mineral con mayor solubilidad media (62,42%) con valores en el rango entre el 79,67% (arroz elaborado) y el 45,17% (arroz integrales).

Los valores de solubilidad del Ca oscilaron de 16 a 65%, con diferencias significativas entre las diferentes muestras, con valores medios de 48,58% en las muestras blancas y de 21,37% en las muestras de arroz integral. Los menores porcentajes medios de solubilidad fueron los obtenidos para el Zn (18,68%), con una solubilidad media de 25,82% para el arroz elaborado y 11,54% para el integral.

Se observa una importante diferencia entre la variación de la solubilidad de K y Mg asociada al grado de procesado de las muestras, lo cual permite confirmar una importante influencia de los componentes de la cascarilla del arroz sobre la solubilidad del Mg, Ca y Zn, así como una escasa influencia sobre la solubilidad del K.

La solubilidad del Fe en las muestras integrales osciló entre el 17 y 45%, con diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes muestras y con un porcentaje medio de 28,66%. Sin embargo, como ya hemos indicado, la concentración de hierro en las muestras elaboradas estuvo por debajo de los límites de detección del espectrofotómetro, lo que pone de manifiesto un efecto negativo sobre la biodisponibilidad relacionado con el procesado de los granos, la distribución de estos elementos en la cubierta de los arroces de Calasparra y el proceso de digestión practicado (Petry *et al.*, 2014; Eagling *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Dintzis y colaboradores en 1985 y por Petry y colaboradores en 2014. La solubilidad de Fe y Zn en dietas de base vegetariana, concretamente en alimentos de cereales, se ha puesto de manifiesto en múltiples investigaciones en que se analizan las interacciones entre ambos elementos y su sensibilidad ante el efecto inhibitorio de ciertos compuestos antinutrientes (Wang *et al.* 2008, Cámara *et al.* 2005 y Hunt, 2003).

La Tabla 41 muestra los valores de la solubilidad mineral media en las muestras, agrupadas por su **variedad**.

Tabla 41. Solubilidad mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz crudo por variedades (%¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio
Arroz Integral					
Bomba	42,51 \pm 6,53 ^a	7,03 \pm 0,21 ^b	26,96 \pm 3,60 ^a	45,70 \pm 3,61 ^a	62,36 \pm 0,30 ^a
BalillaxSollana	46,37 \pm 8,57 ^a	12,68 \pm 1,25 ^a	20,57 \pm 3,32 ^b	26,01 \pm 8,89 ^b	61,72 \pm 4,93 ^a
BxS Ecológico	44,70 \pm 3,82 ^a	12,08 \pm 1,72 ^a	19,77 \pm 2,25 ^b	24,13 \pm 4,58 ^b	57,54 \pm 3,53 ^a
Arroz Elaborado					
Bomba	82,33 \pm 7,34 ^a	17,13 \pm 1,38 ^b	47,39 \pm 16,65 ^{a,b}	N/D	68,72 \pm 10,92 ^a
BalillaxSollana	80,90 \pm 12,52 ^a	27,23 \pm 8,79 ^a	54,47 \pm 16,43 ^a	N/D	68,89 \pm 12,17 ^a
BxS Ecológico	73,34 \pm 5,89 ^a	30,28 \pm 1,48 ^a	32,11 \pm 2,09 ^b	N/D	71,84 \pm 14,84 ^a

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-b} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El análisis estadístico, refleja la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) para la solubilidad de algunos minerales en función de la variedad de la muestra, tal como muestran diferentes estudios sobre las variaciones en la solubilidad mineral entre variedades distintas de arroz y otros cereales (Lyon, 1984; Méndez *et al.*, 2005 y Ahmed *et al.*, 2008).

En las muestras integrales no existen diferencias estadísticamente significativas entre las variedades Balilla x Sollana y BxS ecológico para ninguno de los minerales analizados por lo que no parece que la técnica productiva empleada tenga relación con la solubilidad mineral. La variedad Bomba integral presenta concentraciones superiores a las otras dos variedades en Fe (45,70%) y Ca (26,93%) e inferiores en Zn (7,03%), mostrando una dependencia entre la solubilidad de estos minerales y la variedad del grano.

Por su parte, las solubilidades de las muestras de grano elaborado sólo manifiestan diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes variedades para el Zn y el Ca, siendo la variedad Bomba la que muestra valores inferiores al resto.

En la Tabla 42 se muestran los valores de la solubilidad mineral media en las muestras crudas, agrupando los datos por el **paraje de producción**, teniendo en cuenta que las muestras producidas en los parajes “Bayo” y “La Finca” tienen varios agricultores.

Tabla 42. Solubilidad mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz crudo por parajes (%¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio
Arroz Integral					
El Salgar	42,51 \pm 6,53 ^{a,b}	7,03 \pm 0,21 ^b	26,96 \pm 3,60 ^a	45,70 \pm 3,61 ^a	62,36 \pm 0,30 ^{a,b}
Casablanca	54,18 \pm 7,88 ^a	13,00 \pm 0,31 ^a	21,55 \pm 1,01 ^{b,c}	24,58 \pm 5,25 ^b	66,30 \pm 0,86 ^a
La Palmera	47,10 \pm 5,44 ^{a,b}	11,49 \pm 1,55 ^a	23,55 \pm 0,65 ^{a,b}	17,29 \pm 1,77 ^b	56,43 \pm 1,97 ^b
Minas	37,84 \pm 0,87 ^b	13,54 \pm 0,64 ^a	16,60 \pm 2,11 ^c	36,17 \pm 3,68 ^a	62,43 \pm 4,28 ^{a,b}
La Finca	44,70 \pm 3,82 ^{a,b}	12,08 \pm 1,72 ^a	19,77 \pm 2,26 ^{b,c}	24,13 \pm 4,58 ^b	57,54 \pm 3,53 ^b
Arroz Elaborado					
El Salgar	79,32 \pm 7,97 ^a	17,33 \pm 1,69 ^{a,b}	32,47 \pm 4,19 ^{b,c}	N/D	59,49 \pm 4,32 ^{b,c}
Casablanca	86,98 \pm 0,96 ^a	30,86 \pm 2,89 ^{a,b}	26,82 \pm 1,72 ^c	N/D	82,90 \pm 4,19 ^a
La Palmera	91,05 \pm 6,32 ^a	27,02 \pm 0,86 ^{a,b}	39,20 \pm 2,65 ^b	N/D	63,88 \pm 5,94 ^{b,c}
Minas	91,92 \pm 4,51 ^a	33,19 \pm 2,84 ^a	65,71 \pm 6,72 ^a	N/D	72,62 \pm 2,56 ^{a,b}
La Finca	73,34 \pm 5,89 ^a	30,28 \pm 1,48 ^{a,b}	32,11 \pm 2,10 ^{b,c}	N/D	71,84 \pm 14,84 ^{a,b}
P. Cenajo	83,43 \pm 2,21 ^a	15,65 \pm 1,54 ^b	65,79 \pm 3,66 ^a	N/D	46,42 \pm 1,31 ^c
Bayo	72,45 \pm 12,42 ^a	24,54 \pm 11,08 ^{a,b}	63,87 \pm 3,49 ^a	N/D	75,17 \pm 3,76 ^{a,b}

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-c} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Los valores de solubilidad de todos los minerales en las muestras de arroz integral presentan diferencias estadísticamente significativas en función de la zona de cultivo, lo cual manifiesta la influencia que tienen las cualidades del terreno y la práctica agrícola en la solubilidad mineral en los arroces.

En el caso de los arroces elaborados, las diferencias de las solubilidades minerales atribuibles al paraje de cultivo son también notables, lo cual era de esperar ya que la mayor proporción de los elementos minerales está localizada en la cascarilla. Como excepción, los valores de solubilidad del Mg en los arroces elaborados no tienen

diferencias significativas entre sí, estando en un mismo rango, por lo que en estas muestras de arroz blanco el paraje de cultivo no afecta a la solubilidad de Mg.

4.2. Arroz cocido

Se determinó la fracción de mineral soluble en las muestras de arroz tras haber sido sometidas al proceso de cocinado, para de este modo poder analizar el efecto del procesado culinario sobre la solubilidad mineral y conocer el porcentaje de contenido mineral que realmente está disponible a través de la dieta.

La Tabla 43 recoge los valores obtenidos de solubilidad de los diferentes elementos minerales detectados (Mg, Zn, Ca, Fe y K).

Tabla 43. Solubilidad mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz cocinado (%¹).

	ID Muestra	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio
Arroz integral	1A	48,87 \pm 2,19 ^{c,d}	12,87 \pm 1,45 ^{a,b}	49,82 \pm 0,23 ^{a,b}	41,89 \pm 1,72 ^a	67,91 \pm 5,49 ^a
	2A	54,82 \pm 5,23 ^{b,c}	13,40 \pm 2,98 ^{a,b}	48,86 \pm 2,03 ^{a,b}	36,92 \pm 4,79 ^{a,b}	77,16 \pm 3,08 ^a
	3A	48,51 \pm 0,55 ^{c,d}	10,68 \pm 0,53 ^b	54,58 \pm 3,16 ^a	24,04 \pm 3,32 ^c	67,42 \pm 6,04 ^a
	4A	68,27 \pm 3,38 ^a	16,37 \pm 1,31 ^a	43,94 \pm 3,44 ^b	39,08 \pm 1,57 ^{a,b}	69,45 \pm 5,10 ^a
	5A	58,48 \pm 3,34 ^b	12,85 \pm 2,04 ^{a,b}	54,77 \pm 4,24 ^a	34,13 \pm 5,97 ^{a,b,c}	72,41 \pm 6,11 ^a
	6A	45,13 \pm 1,09 ^d	10,75 \pm 0,47 ^b	53,09 \pm 3,50 ^a	31,12 \pm 3,16 ^{b,c}	50,54 \pm 5,68 ^b
	Media	54,01\pm8,37	12,82\pm2,43	50,84\pm4,69	34,53\pm6,76	67,48\pm9,61
Arroz elaborado	1B	64,82 \pm 2,12 ^{c,d,e}	22,71 \pm 1,28 ^{c,d}	70,44 \pm 5,75 ^a	75,62 \pm 4,95 ^a	47,46 \pm 1,92 ^d
	2B	63,78 \pm 3,29 ^{c,d,e}	25,28 \pm 2,79 ^{b,c,d}	74,81 \pm 5,14 ^a	69,79 \pm 3,79 ^{a,b}	87,73 \pm 0,70 ^a
	3B	72,02 \pm 4,23 ^{b,c}	21,92 \pm 1,41 ^d	73,84 \pm 2,78 ^a	64,88 \pm 5,69 ^{a,b}	79,49 \pm 6,87 ^{a,b}
	4B	87,56 \pm 2,99 ^a	30,25 \pm 4,73 ^{a,b,c}	74,48 \pm 1,42 ^a	72,68 \pm 2,11 ^{a,b}	79,68 \pm 6,41 ^{a,b}
	5B	80,64 \pm 4,14 ^{a,b}	30,14 \pm 3,27 ^{a,b,c}	60,81 \pm 4,53 ^a	65,12 \pm 5,45 ^{a,b}	79,87 \pm 5,43 ^{a,b}
	6B	54,58 \pm 1,89 ^e	33,97 \pm 4,97 ^a	59,87 \pm 0,91 ^a	64,46 \pm 6,15 ^{a,b}	56,55 \pm 0,65 ^{c,d}
	7B	60,16 \pm 6,45 ^{d,e}	25,67 \pm 1,48 ^{b,c,d}	71,60 \pm 6,98 ^a	65,38 \pm 4,54 ^{a,b}	69,21 \pm 5,34 ^{b,c}
	8B	67,95 \pm 6,72 ^{c,d}	24,69 \pm 0,52 ^{c,d}	71,62 \pm 6,94 ^a	68,92 \pm 1,74 ^{a,b}	71,18 \pm 5,20 ^b
	9B	66,28 \pm 4,05 ^{c,d,e}	25,97 \pm 1,35 ^{b,c,d}	75,28 \pm 7,74 ^a	63,05 \pm 5,32 ^{a,b}	75,86 \pm 1,91 ^{a,b}
	10B	70,00 \pm 0,15 ^{b,c,d}	32,81 \pm 0,52 ^{a,b}	73,27 \pm 7,53 ^a	61,92 \pm 3,89 ^b	75,81 \pm 4,76 ^{a,b}
Media	68,78\pm9,86	27,34\pm4,62	70,60\pm7,10	67,18\pm5,72	72,28\pm12,20	

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-e} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Los porcentajes de solubilidad mineral analizados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las muestras de cada grupo (integral y elaborado), con la excepción de la solubilidad del Ca en las muestras blancas, con concentraciones similares para todas las muestras analizadas, mostrando una escasa dependencia con las características individuales.

Los valores medios de solubilidad en las muestras cocidas (Figuras 42 y 43) fueron superiores al 60% en el caso del Mg, K y Ca, en torno al 50% para el Fe y del 20% para el Zn; destacando unos porcentajes superiores a los determinados en las muestras crudas para Ca y Fe.

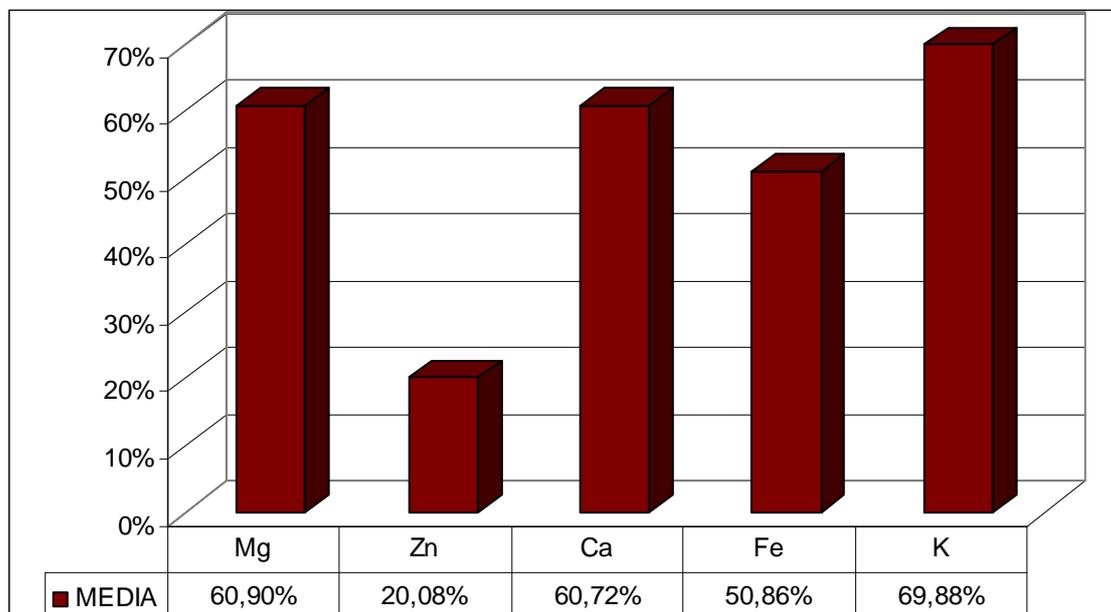


Figura 42. Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz cocinado.

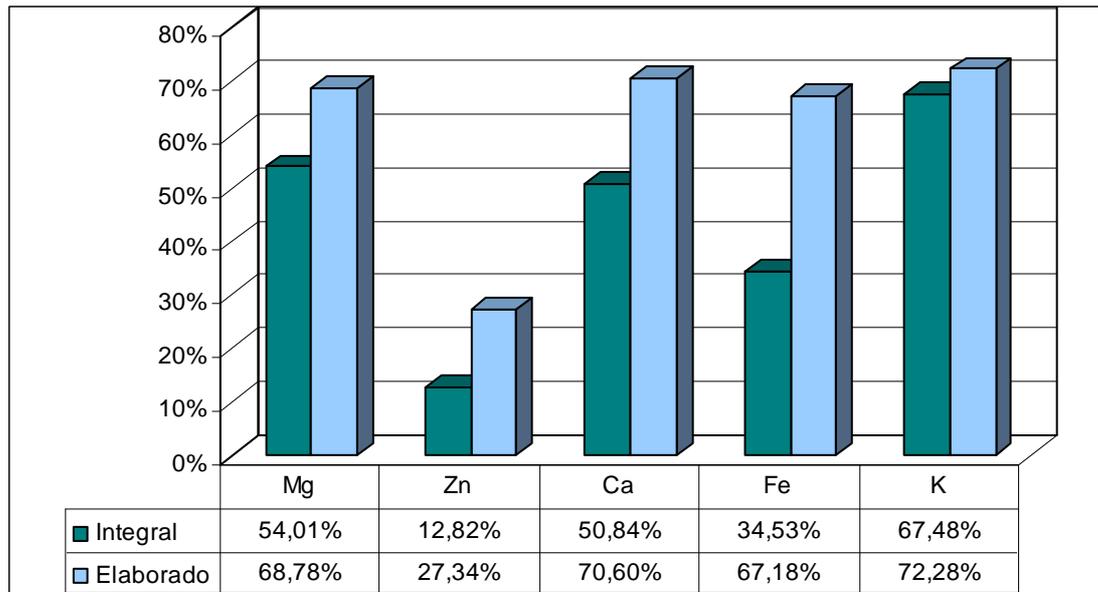


Figura 43. Solubilidad mineral media (%) en las muestras de arroz cocinado (integral y elaborado).

Se repite el comportamiento descrito previamente en las muestras crudas, presentando mayores concentraciones de solubilidad mineral las muestras blancas que las integrales, ya que en los arroces integrales existen compuestos que interfieren la solubilidad de numerosos minerales. (Sciarini *et al.*, 2007).

En las muestras elaboradas los valores obtenidos de solubilidad mineral para todos los elementos minerales están en torno al 70%, con excepción del Zn, con valores inferiores (27%).

La mayor solubilidad media en las muestras cocidas fue la del K (69,9%). Los valores medios de solubilidad del K en cada tipo de grano no presentaron diferencias significativas entre sí, con valores medios entre el 72% en los arroces elaborados (siendo la mayor de todas las solubilidades) y el 67% en los granos integrales, con diferencias significativas intragrupo.

El Mg fue el segundo elemento mineral con mayor solubilidad media (60,9%), con valores en el rango entre el 69% (arroz elaborado) y el 54% (arroces integrales).

El Ca también presentó valores de solubilidad media equivalentes a los del Mg, con porcentaje medio de 60,7%, mucho mayores que los detectados en las muestras crudas (33%), siendo el elemento mineral que experimenta un mayor incremento de su solubilidad por efecto del cocinado. Según el tipo de grano, los valores medios fueron de entre el 51% en los granos integrales y el 71% en los arroces elaborados, sin diferencias significativas entre las diferentes muestras.

Se detectó Fe en las muestras cocidas tras la digestión *in vitro*, tanto en los arroces integrales como blancas, con unos valores de solubilidad media (51%). En función del tipo de grano, la solubilidad media del Fe en los arroces elaborados cocinados fue del 67% y del 34% en los granos integrales. Estos resultados indican la importancia del efecto del procesado sobre la solubilidad del Fe (Bosscher *et al.*, 2003; Eagling *et al.*, 2014).

La solubilidad del Zn presenta los niveles más bajos (Hurrell, 2003), con valores medios del 20%, valores del orden de los obtenidos en las muestras de arroz crudo (19%), por lo que no parece existir una especial influencia del cocinado sobre la fracción soluble de Zn. La fracción de Zn soluble en las muestras elaboradas fue del 27% mientras que en las muestras integrales fue del 13%. Esta reducida solubilidad del Zn ya quedó descrita al analizar los resultados de las muestras crudas, así como en diferentes estudios previos que analizaron la importante interacción de los compuestos antinutrientes de los cereales (Sahuquillo *et al.*, 2003; Galán y Drago, 2014).

A continuación se describen los porcentajes de solubilidad mineral agrupando las muestras en función de las diferentes **variedades** (Tabla 44) y los **parajes** de producción de la D.O. Calasparra (Tabla 45), conforme al tipo de grano (integral o elaborado).

Tabla 44. Solubilidad mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz cocinado por variedades (%¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio
Arroz Integral					
Bomba	48,87 \pm 2,19 ^a	12,87 \pm 1,45 ^a	49,82 \pm 0,23 ^a	41,89 \pm 1,72 ^a	67,91 \pm 5,49 ^a
BalillaxSollana	57,20 \pm 9,28 ^a	13,49 \pm 2,96 ^a	49,13 \pm 5,27 ^a	33,35 \pm 7,66 ^a	71,34 \pm 6,15 ^a
BxS Ecológico	51,80 \pm 7,64 ^a	11,80 \pm 1,76 ^a	53,93 \pm 3,60 ^a	32,63 \pm 4,58 ^a	61,48 \pm 13,09 ^a
Arroz Elaborado					
Bomba	66,39 \pm 4,77 ^a	23,70 \pm 1,39 ^b	71,03 \pm 5,73 ^a	72,27 \pm 4,95 ^a	59,32 \pm 13,45 ^b
BalillaxSollana	69,97 \pm 9,63 ^a	26,98 \pm 4,21 ^b	73,88 \pm 5,02 ^a	66,28 \pm 5,35 ^{a,b}	77,96 \pm 7,05 ^a
BxS Ecológico	67,61 \pm 14,56 ^a	32,05 \pm 4,31 ^a	60,34 \pm 2,97 ^b	64,79 \pm 5,21 ^b	68,21 \pm 13,23 ^{a,b}

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-b} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En el caso de las muestras integrales no existen diferencias estadísticamente significativas entre las tres variedades de arroz para ninguno de los minerales. Lo que marca marcando una escasa dependencia entre la solubilidad y la variedad del grano. En las muestras elaboradas únicamente el magnesio no presentó diferencias significativas dependiendo de la variedad.

La Tabla 45 presenta los valores de solubilidad mineral media en las muestras cocinadas, agrupando los datos por el **paraje de producción**, considerando que las muestras producidas en los parajes “Bayo” y “La Finca” tienen varios agricultores.

Tabla 45. Solubilidad mineral (media \pm D.E.) de las muestras de arroz cocinado por parajes (%¹).

	Magnesio	Cinc	Calcio	Hierro	Potasio
Arroz Integral					
El Salgar	48,87 \pm 2,19 ^b	12,87 \pm 1,45 ^{a,b}	49,83 \pm 0,23 ^{a,b}	41,89 \pm 1,72 ^a	67,91 \pm 5,49 ^a
Casablanca	54,82 \pm 5,23 ^b	13,40 \pm 2,98 ^{a,b}	48,86 \pm 2,03 ^{a,b}	36,92 \pm 4,79 ^{a,b}	77,16 \pm 3,08 ^a
La Palmera	48,52 \pm 0,56 ^b	10,69 \pm 0,53 ^b	54,58 \pm 3,16 ^a	24,04 \pm 3,32 ^c	67,42 \pm 6,04 ^a
Minas	68,27 \pm 3,39 ^a	16,37 \pm 1,31 ^a	43,94 \pm 3,44 ^b	39,08 \pm 1,57 ^a	69,45 \pm 5,10 ^a
La Finca	51,80 \pm 7,64 ^b	11,80 \pm 1,76 ^b	53,93 \pm 3,60 ^a	32,63 \pm 4,58 ^{b,c}	61,48 \pm 13,09 ^a
Arroz Elaborado					
El Salgar	64,82 \pm 2,12 ^b	22,71 \pm 1,28 ^b	70,44 \pm 5,75 ^{a,b}	75,62 \pm 4,95 ^a	47,46 \pm 1,92 ^c
Casablanca	63,75 \pm 3,29 ^b	25,28 \pm 2,79 ^{a,b}	74,81 \pm 5,14 ^a	69,79 \pm 3,79 ^a	87,73 \pm 0,70 ^a
La Palmera	72,02 \pm 4,23 ^{a,b}	21,92 \pm 1,41 ^b	73,84 \pm 2,78 ^a	64,88 \pm 5,69 ^a	79,49 \pm 6,87 ^{a,b}
Minas	87,56 \pm 2,99 ^a	30,25 \pm 4,73 ^{a,b}	74,48 \pm 1,42 ^a	72,68 \pm 2,11 ^a	79,68 \pm 6,41 ^{a,b}
La Finca	67,61 \pm 14,56 ^b	32,05 \pm 4,31 ^a	60,34 \pm 2,97 ^b	64,79 \pm 5,21 ^a	68,21 \pm 13,23 ^b
P. Cenajo	60,16 \pm 6,45 ^b	25,67 \pm 1,48 ^{a,b}	71,60 \pm 6,98 ^{a,b}	65,38 \pm 4,54 ^a	69,21 \pm 5,34 ^b
Bayo	68,08 \pm 4,24 ^b	27,83 \pm 3,86 ^{a,b}	73,39 \pm 6,61 ^a	64,63 \pm 4,71 ^a	74,28 \pm 4,33 ^{a,b}

¹Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-c} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Tal como ocurría en las muestras crudas, el paraje de producción determina la solubilidad mineral de las muestras cocinadas, siendo las diferencias estadísticamente significativas para todos los minerales excepto para la solubilidad del K en las muestras integrales y el Fe en las muestras elaboradas.

Al comparar las solubilidades de las muestras cocinadas recogidas en la Tabla 43 con las obtenidas en las muestras crudas (Tabla 40), se aprecia un aumento de los valores en la gran mayoría de los casos, remarcando la importancia del tratamiento culinario sobre la solubilidad, tal como queda reflejado en las Figuras 44 a 48.

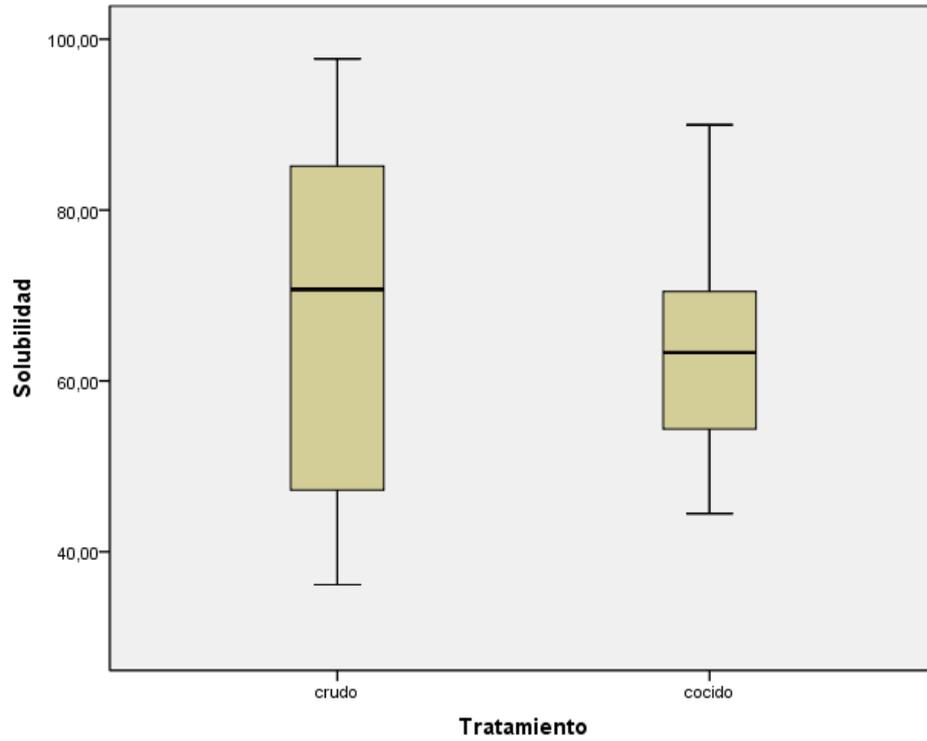


Figura 44. Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Mg% de las muestras de arroz crudas y cocidas.

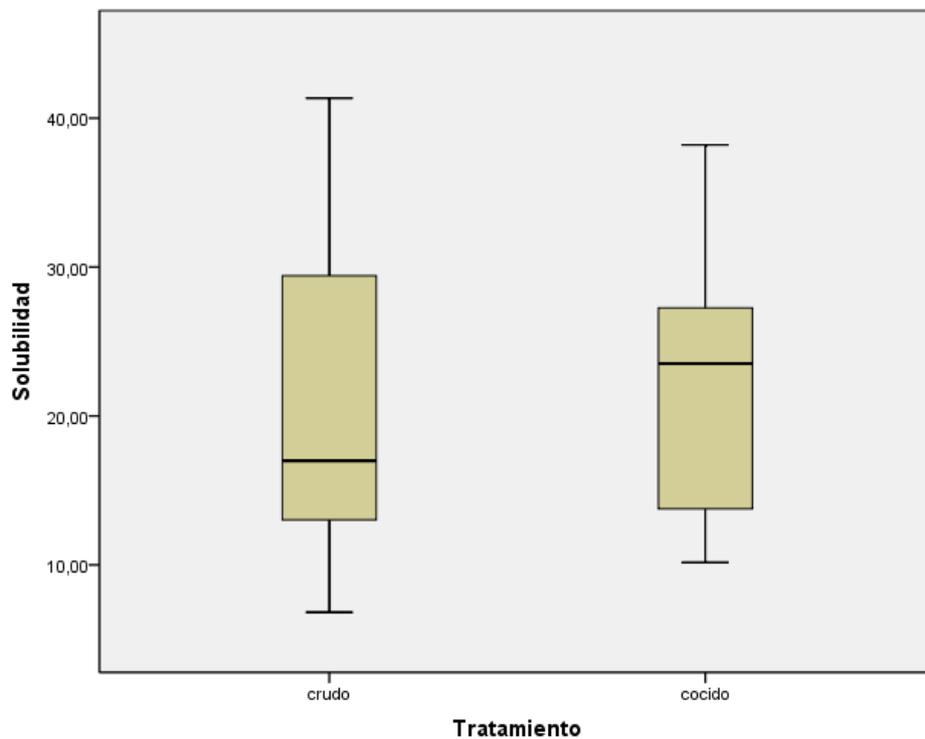


Figura 45. Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Zn% de las muestras de arroz crudas y cocidas.

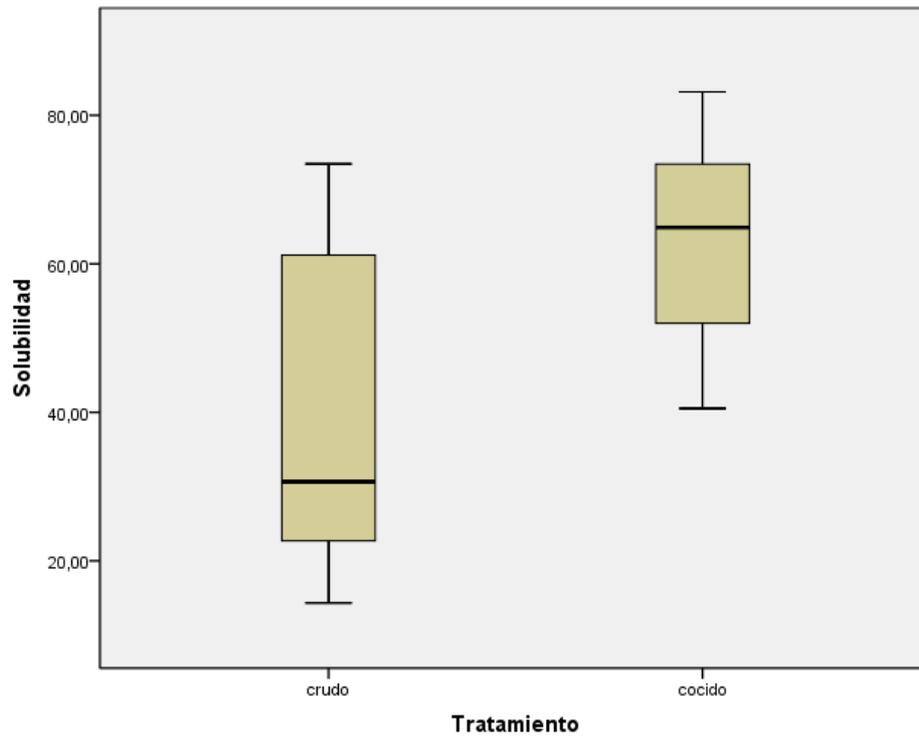


Figura 46. Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Ca% de las muestras de arroz crudas y cocidas.

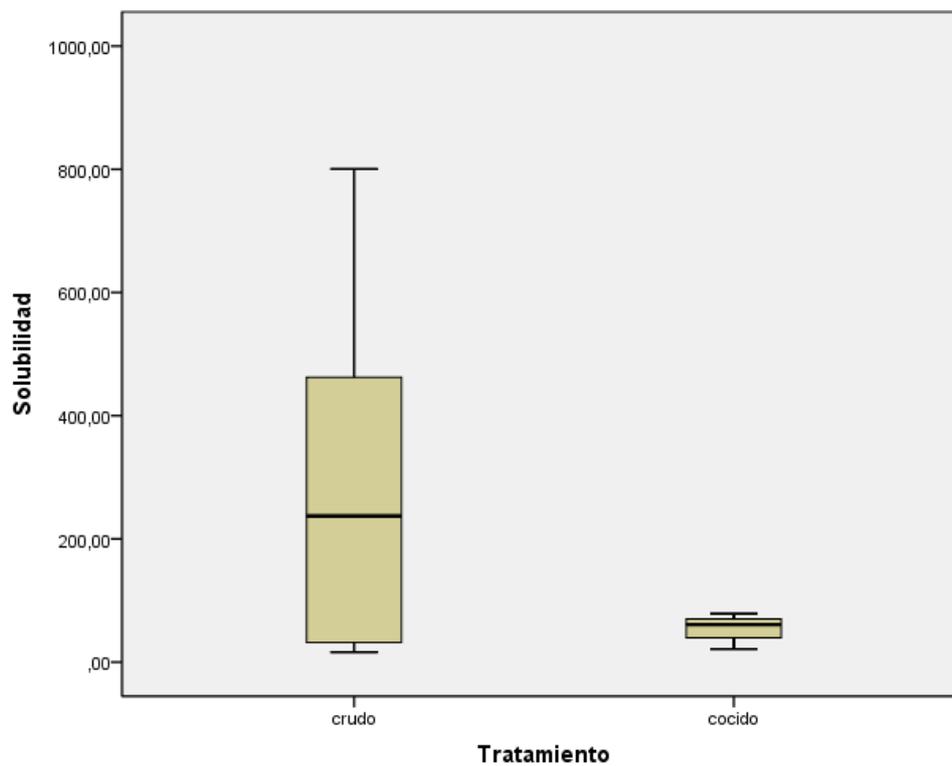


Figura 47. Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral Fe% de las muestras de arroz crudas y cocidas.

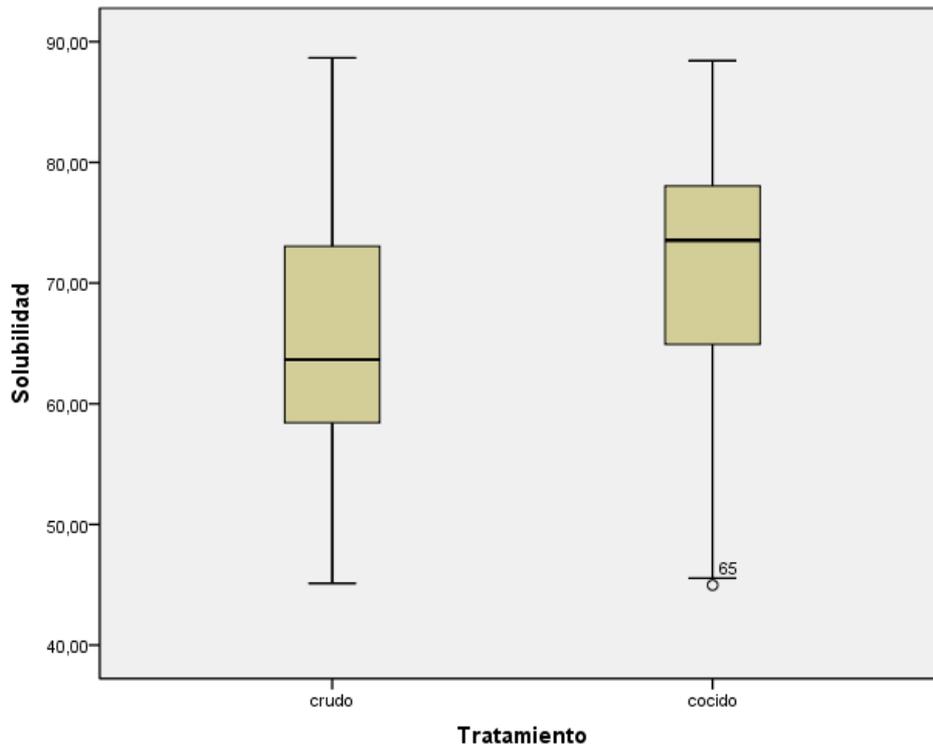


Figura 48. Diagrama de caja y bigotes: Solubilidad mineral K% de las muestras de arroz crudas y cocidas.

La variación experimentada en la solubilidad de cada uno de los elementos minerales tras el proceso de cocción queda recogida en la Figura 49.

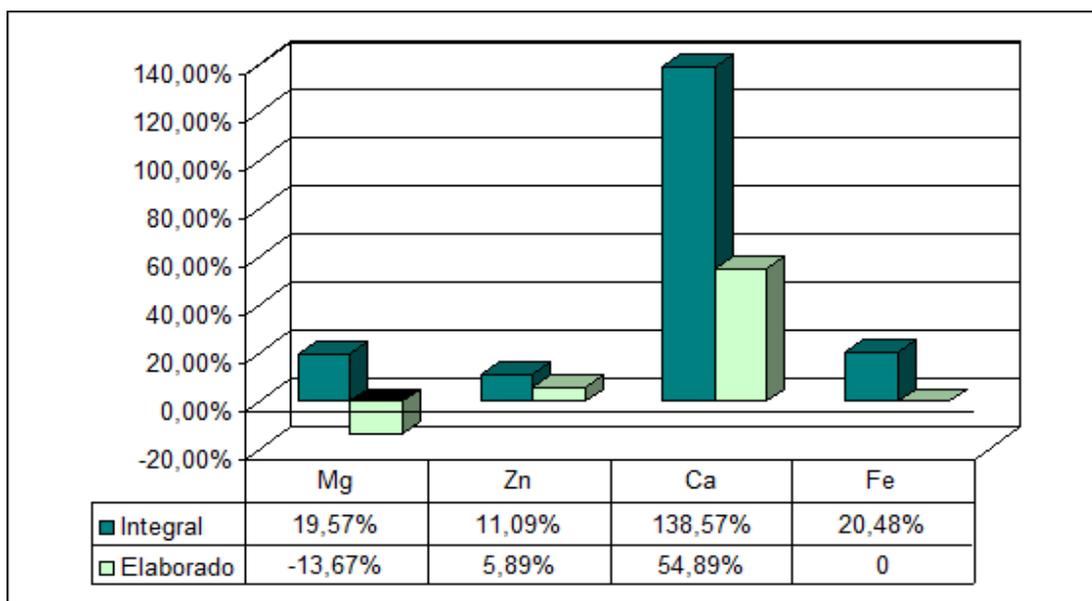


Figura 49. Variación de la solubilidad mineral (%) tras la cocción (integral y elaborado).

Tras el proceso de cocción la solubilidad de los diferentes elementos minerales experimentó un incremento generalizado, siendo este efecto más evidente en los arroces integrales.

De entre todas las variaciones de solubilidad tras la cocción de las muestras destaca especialmente en el Ca, que pasó de valores medios de 33% en los arroces crudos a valores de 61% en los arroces cocidos, suponiendo un incremento global del 81%. Según el tipo de grano, en los integrales fue en los que se manifestó un mayor incremento de la solubilidad (138%), justificado por la interacción del Ca con ciertos compuestos presentes mayoritariamente en los granos integrales (Escudero y González, 2006).

La solubilidad del Zn experimentó el menor de los incrementos tras la cocción de las muestras (7,5%), siendo del 11% en las muestras integrales y 5,9% en los blancos.

En las muestras integrales cocidas la solubilidad del Fe experimentó un incremento del 20%.

Como excepción a este incremento de la solubilidad tras la cocción de las muestras, la solubilidad del Mg experimentó un descenso de los valores globales medios del -2,44%, ya que en las muestras elaboradas se produce un importante descenso de la solubilidad del Mg (-13,7%) como consecuencia del tratamiento térmico asociado al cocinado del arroz (Galán y Drago, 2014).

5. DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETÉTICA TOTAL

5.1. Arroz crudo

Como resultados de la Etapa 3 se obtuvieron los valores de contenido de fibra dietética total (FDT) en peso fresco de las diferentes muestras de arroz crudo, como se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46. Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz crudo.

	ID Muestra	FDT%*
Arroz integral	1A	7,71±0,75 ^a
	2A	6,06±0,49 ^b
	3A	5,42±0,60 ^b
	4A	6,03±0,67 ^b
	5A	4,71±0,36 ^b
	6A	5,87±0,30 ^b
	Media	5,97±1,02
Arroz elaborado	1 B	5,81±0,10 ^{d,e}
	2 B	4,89±0,18 ^{e,f}
	3 B	7,88±0,20 ^a
	4 B	7,81±0,25 ^{a,b}
	5 B	4,66±0,19 ^{f,g}
	6 B	6,91±0,72 ^{b,c}
	7 B	6,70±0,21 ^{c,d}
	8 B	3,78±0,24 ^g
	9 B	7,50±0,42 ^{a,b,c}
	10 B	6,63±0,30 ^{c,d}
	Media	6,26±1,39

*Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-g} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido de FDT presenta una gran variabilidad, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), entre las muestras crudas de arroz elaborado, Las concentraciones de fibra dietética total para estas muestras oscilaron entre valores de 3,80% a 7,90%.

Las muestras 1, 2 y 5 presentaron mayor contenido en FDT en la presentación integral que en su análoga blanca, como en principio era de esperar conforme a los resultados de nuestro estudio preliminar y los de otros autores (Ortuño, 1994; Bosscher *et al.*, 2003 y Méndez *et al.*, 2005).

Sin embargo, en las muestras 3, 4 y 6 se observó un mayor contenido de FDT en los arroces blancos, lo que determinó que las concentraciones medias fueran de 5,88% en los granos integrales y 6,09% en los elaborados

La Figura 50 representa gráficamente el porcentaje de variación en la concentración de FDT en cada par de muestras tras haber sometido el grano integral al proceso tecnológico de blanqueado, donde se observa un comportamiento al esperado entre las parejas de muestras integrales y blancas, tal y como se ha comentado.

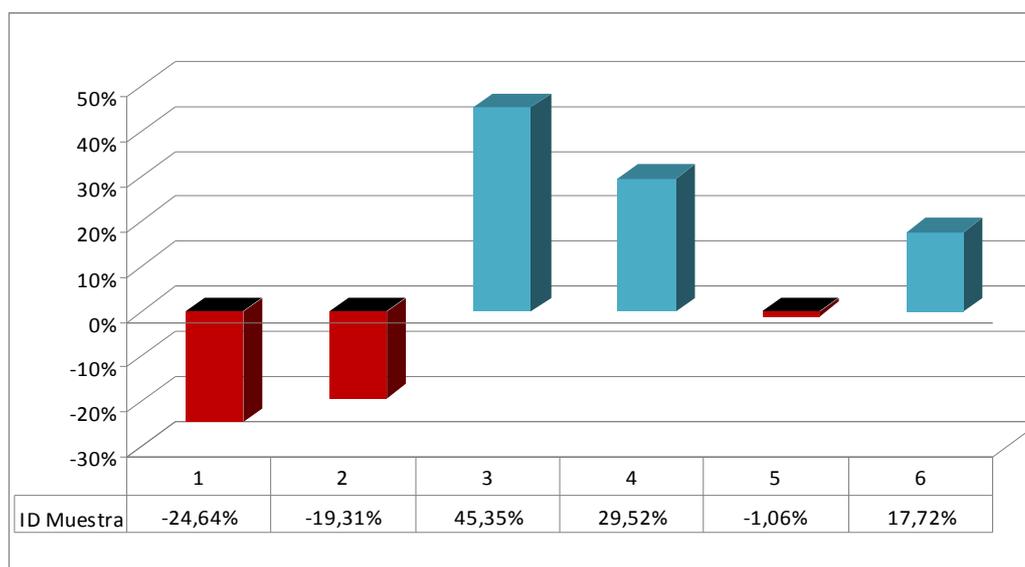


Figura 50. Variación del contenido de FDT tras el procesado de las muestras integrales.

Como se observa en la Figura 50 el proceso de blanqueado de las muestras integrales lleva asociada una variación del contenido de fibra dietética total, con un reducción en el caso de las muestras 1 (-24,64%), 2 (-19,06%) y 5 (-1,06%) y un incremento en las muestras 3 (45,35%), 4 (29,52%) y 6 (17,72%).

El contenido medio de FDT en cada uno de los subgrupos de muestras (integrales y elaborados) difiere de lo esperado en base a la bibliografía, ya que el valor global es superior en las muestras elaboradas que en las integrales. Este hecho puede tener justificaciones diversas, entre las que se encuentran:

- Alta concentración de almidón en las muestras de arroz blanco, que en su forma nativa se encuentra como almidón resistente, y finalmente forma parte del residuo de la FDT al determinarla mediante el método enzimático-gravimétrico. Además el contenido de almidón resistentes, sobretodo como amilosa, se ve incrementado durante el almacenamiento (Tinarelli, 1989).
- Un proceso de descascarillado incompleto y por el hecho de que la muestra clasificada como semi-integral se ha incluido dentro de este grupo, ya que según se ha visto en el estudio preliminar el contenido de fibra en este tipo de elaboración se queda próximo a los valores detectados en el arroz elaborado o blanco. O bien por una contaminación de las muestras

La Tabla 47 describe los valores de la concentración media de FDT en las muestras de arroz crudo, agrupadas por su **variedad**.

Tabla 47. Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz crudo, por variedades.

FDT%*	
<i>Arroz Integral</i>	
Bomba	7,71±0,75 ^a
BalillaxSollana	5,84±0,52 ^b
BxS Ecológico	5,29±0,70 ^b
<i>Arroz Elaborado</i>	
Bomba	4,80±1,12 ^c
BalillaxSollana	6,90±1,08 ^a
BxS Ecológico	5,78±1,32 ^{a,b}

*Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-c} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido de FDT en las muestras de la variedad BxS (producción tradicional y ecológica) no presenta diferencias estadísticamente significativas entre sí, pero sí con los de la variedad Bomba, siendo superiores los porcentajes de la variedad bomba en los arroces integrales (7,71%), e inferiores en el caso de los elaborados (4,80%)

Las muestras de la variedad BxS presentan valores medios de contenido de FDT de 5,84% en los granos integrales y 6,90% en los elaborados, datos que difieren de los obtenidos por diferentes autores para variedades similares de arroz (*Ortuño, 1994; Bosscher et al 2003 y Méndez et al 2005*). Las muestras de producción ecológica tienen contenidos de FDT de 5,29% en los arroces integrales y 5,78% en los elaborados, considerando que las muestras 5 y 6 habían sufrido un proceso de descascarillado parcial (son semi-integrales), por lo cual existe una menor influencia del descascarillado sobre la concentración de FDT en estas muestras.

La Tabla 48 muestra los valores medios de contenido de FDT en las muestras tras tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra, agrupadas por el **paraje de producción**.

Tabla 48. Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz crudo, por parajes.

FDT%*	
<i>Arroz Integral</i>	
El Salgar	7,71±0,75 ^a
Casablanca	6,06±0,49 ^b
La Palmera	5,42±0,06 ^b
Minas	6,03±0,67 ^b
La Finca	5,29±0,70 ^b
<i>Arroz Elaborado</i>	
El Salgar	5,81±0,10 ^{a,b}
Casablanca	4,89±0,18 ^b
La Palmera	7,88±0,20 ^a
Minas	7,81±0,25 ^a
La Finca	5,78±1,32 ^{a,b}
P. Cenajo	6,70±0,21 ^{a,b}
Bayo	5,97±1,71 ^{a,b}

*Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-b} Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

No existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de FDT de las muestras integrales, dependiendo del paraje de producción, con la excepción de las muestras producidas en el paraje “El Salgar”, que presentaron una mayor concentración de Fibra Dietética Total (7,71%). Por el contrario, el contenido medio de FDT en las muestras de arroz crudo elaborado presenta diferencias estadísticamente significativas ($p=0,05$) en función de la zona de cultivo, lo cual supone una dependencia entre el efecto del descascarillado, de las características edafológicas del terreno y la práctica agrícola con la concentración de FDT de los arroces blancos. Las muestras con unos valores inferiores de FDT fueron las producidas en el paraje “Casablanca” (4,89%).

5.2. Arroz cocido

Los valores de contenido de fibra dietética total (FDT%) en peso fresco de las muestras de arroz cocinado se recogen en la Tabla 49, detallando los valores medios de cada subgrupo en función del grado de elaboración de cada muestra.

Tabla 49. Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz cocinado.

	ID Muestra	FDT%*
Arroz integral	1A	5,07±1,10 ^{a,b}
	2A	5,63±0,56 ^a
	3A	3,67±0,35 ^b
	4A	3,22±0,22 ^b
	5A	4,43±0,37 ^{a,b}
	6A	5,57±0,97 ^a
	Media	4,60±1,10
Arroz elaborado	1 B	3,48±0,61 ^d
	2 B	3,76±0,13 ^{c,d}
	3 B	4,82±0,54 ^{a,b,c,d}
	4 B	5,78±0,64 ^{a,b,c,d}
	5 B	4,48±0,71 ^{a,b,c,d}
	6 B	6,24±1,03 ^{a,b}
	7 B	5,45±1,09 ^{a,b,c,d}
	8 B	3,97±1,01 ^{b,c,d}
	9 B	5,88±1,05 ^{a,b,c}
	10 B	6,37±0,91 ^a
	Media	5,02±1,23

*Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-d}Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Existe una importante variabilidad entre las diferentes muestras cocinadas, destacando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los arroces elaborados, donde las concentraciones de FDT oscilaron entre valores máximos de 6,37% y mínimos de 3,22%.

Como ya describimos en los valores de las muestras crudas, las muestras 1, 2 y 5 presentaron mayor contenido en FDT en la presentación integral que en su análogo blanco. Los restantes tres pares de muestras (3, 4 y 6) presentan, excepcionalmente, mayores contenidos de FDT en las muestras elaboradas que en las integrales lo que provoca que el contenido medio de FDT sea ligeramente superior en el subgrupo de los arroces elaborados (5,02%), frente a un valor medio de 4,60% en los granos integrales.

El contenido medio global (integrales y elaborados) de fibra dietética total en las muestras de arroz cocinado, fue de 4,81%, resultando valores medios bastante inferiores que las presentes en las muestras de arroz crudo (6,11%). Esta pérdida de FDT por efecto del tratamiento culinario también están descritos por otros autores (Alfonzo, 2000). La variación de las concentraciones de FDT en las muestras de arroz tras sufrir el proceso de cocción se representa gráficamente en la Figura 51, que plasma un descenso medio de FDT tras el cocción del 20%.

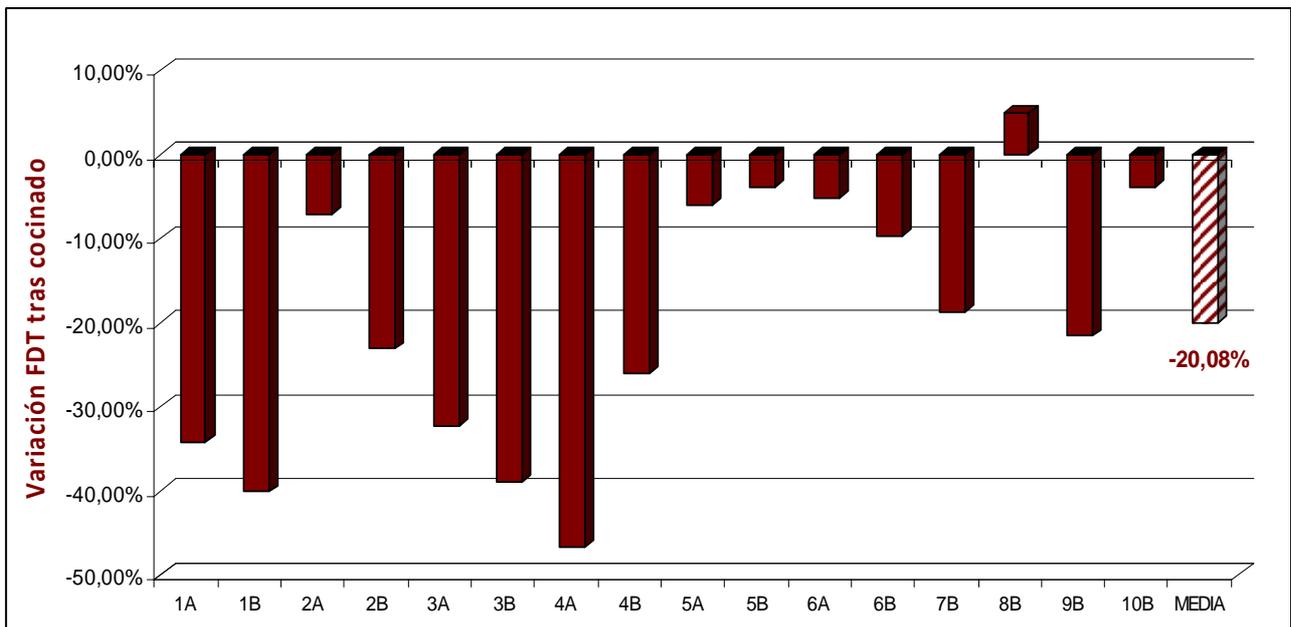


Figura 51. Variación del contenido de FDT tras la cocción de las muestras (%).

La reducción del contenido de FDT en las muestras de arroz, como consecuencia del efecto del procesado culinario, es superior en las muestras integrales (21,88%), que en las muestras blancas (18,07%).

La Tabla 50 muestra los valores de la concentración media de FDT en peso fresco de las muestras de arroz cocinado, agrupadas por su **variedad**.

Tabla 50. Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz cocinado, por variedades.

FDT%*	
Arroz Integral	
Bomba	5,07±1,11 ^a
BalillaxSollana	4,18±1,16 ^a
BxS Ecológico	5,00±0,91 ^a
Arroz Elaborado	
Bomba	3,72±0,79 ^b
BalillaxSollana	5,34±1,10 ^a
BxS Ecológico	5,36±1,25 ^a

*Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-b}Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El contenido de FDT en las muestras integrales no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las variedades. Por su parte, en las muestras elaboradas el contenido de FDT presenta diferencias estadísticamente significativas entre los arroces BXS (producción tradicional y ecológica) y los de la variedad Bomba, manifestando el mismo comportamiento descrito previamente en los arroces crudos.

A diferencia del resto de variedades, las muestras de la variedad Bomba tienen valores medios de FDT superiores en las formas integrales que en los granos blancos, presentando las muestras de arroz blanco de la variedad bomba los valores de FDT más bajos de todos los analizados (3,72%).

Las muestras de la variedad BxS presentan valores medios de contenido de FDT de 4,18% en los granos integrales y 5,34% en los elaborados. Las muestras de producción ecológica tienen contenidos de FDT de 5,00% en los arroces integrales y 5,36% en los blancos. En ambas variedades los valores medios no tienen diferencias estadísticas entre el subgrupo integral y el elaborado.

El contenido medio de FDT en los arroces cocidos se representa gráficamente en la Figura 52, agrupando los valores por cada una de las tres variedades (Bomba, BxS y BxS-Ecológico) y por el grado de procesado de los granos.

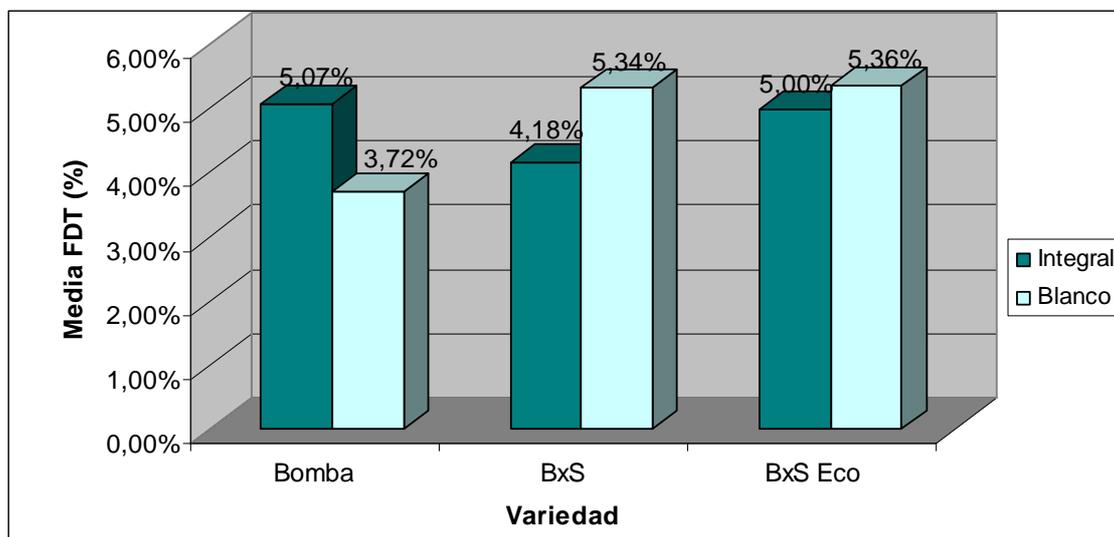


Figura 52. Gráfico de medias de FDT(%) en granos cocidos (integrales y blancos), según la variedad.

La Figura 53 representa el contenido medio de FDT de las muestras de arroz crudo y cocinado, permitiendo analizar las concentraciones de cada subgrupo, desagregando según las diferentes variedades.

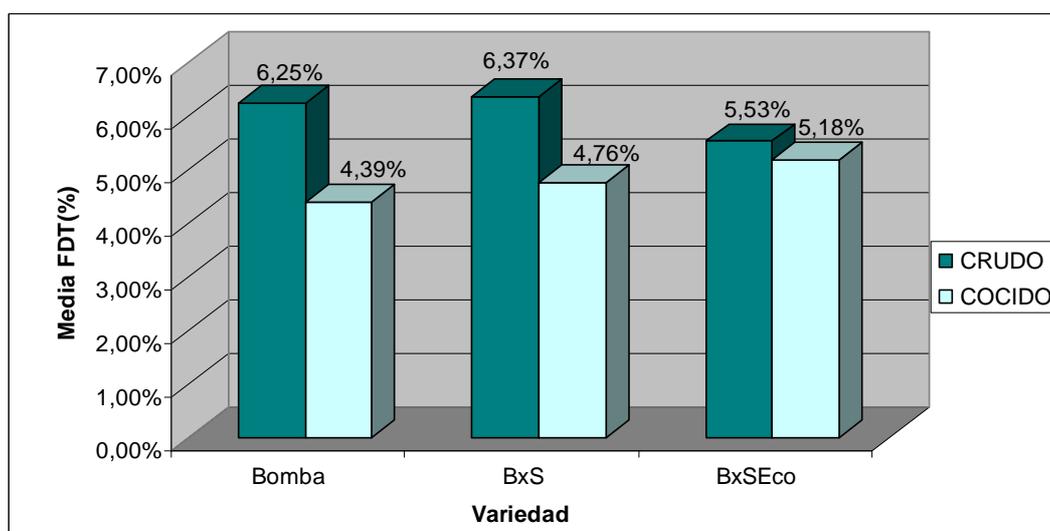


Figura 53. Gráfico de medias de FDT(%) en arroz crudo y cocinado, según la variedad.

Los valores medios de FDT muestrans que las muestras cocinadas de tipo ecológico fue la que alcanzó las concentraciones más elevadas, lo cual contrasta con los resultados obtenidos en las muestras crudas, donde la variedad BxS-Ecológico fue la que presentó valores medios inferiores. Este hecho revela una menor incidencia del tratamiento térmico sobre la concentración de FDT en los arroces de esta variedad ecológica, provocando una menor reducción de los niveles de FDT (-6,38%) que la experimentada en las muestras de las otras variedades (-29,76% en Bomba y -25,27% en BxS).

La Tabla 51 muestra los valores de contenido de FDT medio en peso fresco de las muestras de arroz sometidas al proceso de cocción, agrupadas por el **paraje de producción**.

Tabla 51. Concentración media de FDT(%) en las muestras de arroz cocinado, por parajes.

FDT%*	
<i>Arroz Integral</i>	
El Salgar	5,07±1,11 ^{a,b}
Casablanca	5,63±0,56 ^a
La Palmera	3,68±0,35 ^b
Minas	3,22±0,22 ^b
La Finca	5,00±0,91 ^{a,b}
<i>Arroz Elaborado</i>	
El Salgar	3,48±0,61 ^a
Casablanca	3,76±0,13 ^a
La Palmera	4,82±0,54 ^a
Minas	5,78±0,64 ^a
La Finca	5,36±1,25 ^a
P. Cenajo	5,45±1,09 ^a
Bayo	5,40±1,39 ^a

*Valor medio de tres determinaciones analíticas para cada tipo de muestra.

^{a-b}Diferentes letras en la misma columna, para cada uno de los tipos de arroces (integral y elaborado) muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Las muestras de grano integral manifiestan diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes parajes de cultivo, lo que relaciona las características

edafológicas del terreno y la práctica agrícola con la concentración de FDT de los arroces integrales. Las muestras integrales producidas en el paraje “Casablanca” fueron las que destacaron por una mayor concentración de Fibra Dietética Total (5,63%), mientras que las muestras producidas en el paraje “Minas” fueron las que presentaron valores inferiores (3,22%).

Los valores de contenido de FDT en las muestras cocinadas de arroz elaborado no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p=0,05$), por lo que el paraje de cultivo no afecta al contenido de FDT en dichas muestras. De todas las muestras de grano elaborado las que presentaron una mayor concentración de FDT fueron las cultivadas en el paraje “Minas” (5,78%), mientras que las producidas en “El Salgar” fueron las que alcanzaron valores menores (3,48%).

5.3. Relación entre FDT y solubilidad mineral

Al ser considerada la FDT un factor que influye negativamente en la biodisponibilidad mineral se evaluó la posible relación existente entre el contenido de fibra y solubilidad mineral observada para los distintos minerales estudiados. En general, las muestras analizadas presentan unos valores medios de fibra dietética inferiores al 8%, lo cual no supone ningún riesgo en cuanto a la reducción de la biodisponibilidad de minerales, ya que los niveles de consumo medio de arroz en España son de 7 kilogramos al año y no se alcanzarían los niveles de fibra dietética que supongan un compromiso nutricional (Escudero, 2006). Este efecto antinutriente presentará mayor importancia en otras zonas geográficas en las que el arroz esté considerado como base de sus dietas y en las que existan deficiencias de otros alimentos en la dieta que supongan un alto aporte mineral.

Para la determinación de la correlación entre la concentración FDT y la solubilidad mineral para cada uno de los elementos minerales analizados en las **muestras crudas**, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson, obteniendo correlaciones significativas para $p<0,05$ con la solubilidad del K en muestras blancas (-0,458) y para $p<0,01$ con la solubilidad del Zn en muestras integrales (-0,635), indicando que al

augmentar el contenido en fibra dietética de las muestras se ve reducida la solubilidad de estos minerales.

Conforme a los resultados obtenidos de solubilidad mineral y FDT, de manera general, la solubilidad mineral en las muestras blancas tiende a relacionarse de manera inversamente con la concentración de FDT, es decir, las solubilidades son mayores en las muestras con menores contenidos de FDT (Bosscher *et al.*, 2003 y Méndez *et al.*, 2005). Excepcionalmente, las muestras blancas 3, 4 y 6 tienen el comportamiento opuesto.

Por el contrario, se observa que al aumentar el contenido en FDT de las muestras aumenta la solubilidad mineral *in-vitro* de Ca y Fe en las muestras crudas. Este hecho puede estar relacionado con el contenido mineral de las capas externas que recubren el grano, ya que si se encuentran principalmente en estas, un arroz integral proporciona un mayor contenido de Ca y Fe a la dieta y por lo tanto una mayor solubilidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el ácido fítico se encuentra asociado a la fibra y están considerados los principales factores limitantes de la biodisponibilidad del Ca y del Fe, lo que puede afectar a la biodisponibilidad final de estos minerales (Eagling, 2014).

La solubilidad mineral del Ca en las muestras crudas presenta, en nuestro estudio, una correlación positiva con el contenido de fibra dietética total, lo que difiere de los resultados obtenidos por otros investigadores (Wang *et al.* 2008, Olivares, 2000 y Urbano *et al.* 1999) donde queda manifiesta una reducción de la biodisponibilidad del Ca por la presencia de compuestos como la fibra y ácido fítico en ciertos alimentos cereales. Este efecto puede deberse a a la presencia del Ca en el arroz de Calasparra en forma de sales cálcicas de alta solubilidad (Frontela, 2007), a la interacción con otros micronutrientes (Sandström, 2001), a la posible presencia en estos arroces de sustancias que potencian la solubilidad del Ca, como aminoácidos y ciertos azúcares, o bien, el mayor contenido en proteína bruta en las muestras que lleva asociada una mayor concentración de Ca soluble (Olivares, 2000).

Al igual que en el caso de las muestras crudas, para las **muestras cocinadas** se llevó a cabo la determinación de la correlación de Pearson entre la concentración de FDT y la solubilidad mineral, obteniendo correlaciones negativas significativas para $p < 0,01$ con la solubilidad del Zn en muestras blancas (-0,484) y para $p < 0,05$ con la solubilidad del Mg en muestras integrales (-0,480).

Analizando la dispersión de los valores de solubilidad respecto a los contenidos de FDT en las muestras cocinadas, se aprecia una tendencia similar a la mostrada por las muestras crudas. Las muestras elaboradas o blancas (B) presentan concentraciones de mineral soluble más elevadas que en sus formas integrales y con los mínimos contenidos en FDT.

Existe la excepción de las muestras 4 y 6 en sus formas elaboradas, que tienden a mostrar valores más altos de solubilidad en presencia de elevado contenido en FDT, comportamiento descrito previamente en las muestras sin cocinar.

Comparando los resultados en función de la variedad del arroz, se observa que las muestras integrales cocinadas no manifiestan diferencias estadísticamente significativas respecto a las solubilidades minerales y al contenido de FDT.

Las muestras blancas cocidas de la variedad Bomba fueron las que presentaron los mayores niveles de solubilidad para el Fe y los menores contenidos de FDT.

Por su parte, las muestras blancas cocidas de la variedad BxS, independientemente del tipo de producción (tradicional o ecológica), mostraron las mayores concentraciones de FDT. Presentando las mayores solubilidades de Zn y las menores de Ca en las muestras de producción ecológica, mientras que en las de producción convencional se alcanzaron las mayores solubilidades del K. Las muestras cocinadas de la variedad BxS y producción tradicional fueron las que mostraron los mejores perfiles de solubilidad mineral.

6. DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y ALMIDÓN RESISTENTE

En el último apartado de la presente Tesis Doctoral se procedió al análisis del contenido en amilosa y almidón resistentes en las muestras de arroz, ya que nos sirve para determinar el posible efecto prebióticos del arroz y en este caso concreto, un efecto potenciador de la biodisponibilidad mineral. La Tabla 52 recoge el contenido de amilosa (media y desviación estándar) de las muestras crudas analizadas (descritas en Tabla 8), agrupando los resultados en función de sus variedades. Como se indicó en el apartado de materiales y métodos no fue posible contar con suficiente muestra de las analizadas en el estudio de solubilidad mineral, por lo que se utilizaron muestras de arroz correspondientes a la cosecha del año 2008.

Tabla 52. Composición de amilosa (media \pm D.E.) en las muestras de arroz crudo, por variedades (%).

Variedad	Amilosa
Balilla x Sollana	17,56 \pm 1,62 ^a
Balilla x Sollana ecológico	17,15 \pm 1,33 ^a
Bomba	18,22 \pm 2,08 ^a

^aDiferentes letras muestran diferencias significativas entre las muestras de $p < 0,05$.

Los contenidos medios de amilosa de las muestras de cada una de las tres variedades analizadas no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sí.

El arroz de la variedad Bomba mostró un contenido ligeramente mayor con un valor promedio de 18,22% frente al valor medio de 17% encontrado en las muestras de la variedad BxS, aunque estas diferencias no fueron significativas (Tabla 52 y Figura 54). El contenido de amilosa en estos arroces es inferior a 20% por lo que el arroz de Clasparrá se clasificaría como un arroz con bajo contenido en este polisacárido.

Las diferencias en el contenido de amilosa del arroz proporciona parámetros de cocción diferentes y, especialmente, diferente capacidad de absorción de agua en los

arroz lo que influye en las características organolépticas (Tinarelli, 1989; Ortuño *et al.*, 1995). Aunque, la variedad Bomba ha sido reconocida por presentar un grano corto y un contenido de amilosa superior al de la variedad Balilla x Sollana, para las muestras analizadas no cabría esperar cambios significativos en las características organolépticas ni en la capacidad de retención de agua ya que no se observaron diferencias en este parámetro analítico. Los resultados obtenidos en este estudio no están en concordancia con los reportados previamente por Ortuño *et al.* (1995), quien describió un mayor contenido de amilosa en la variedad Balilla x Sollana con respecto al arroz Bomba. Sin embargo, estos autores analizaron sólo una muestra de arroz comercial, y no el amplio número de muestras que se han analizado en este estudio para determinar los valores de amilosa, aportando más información al incluir valores medios en función del paraje.

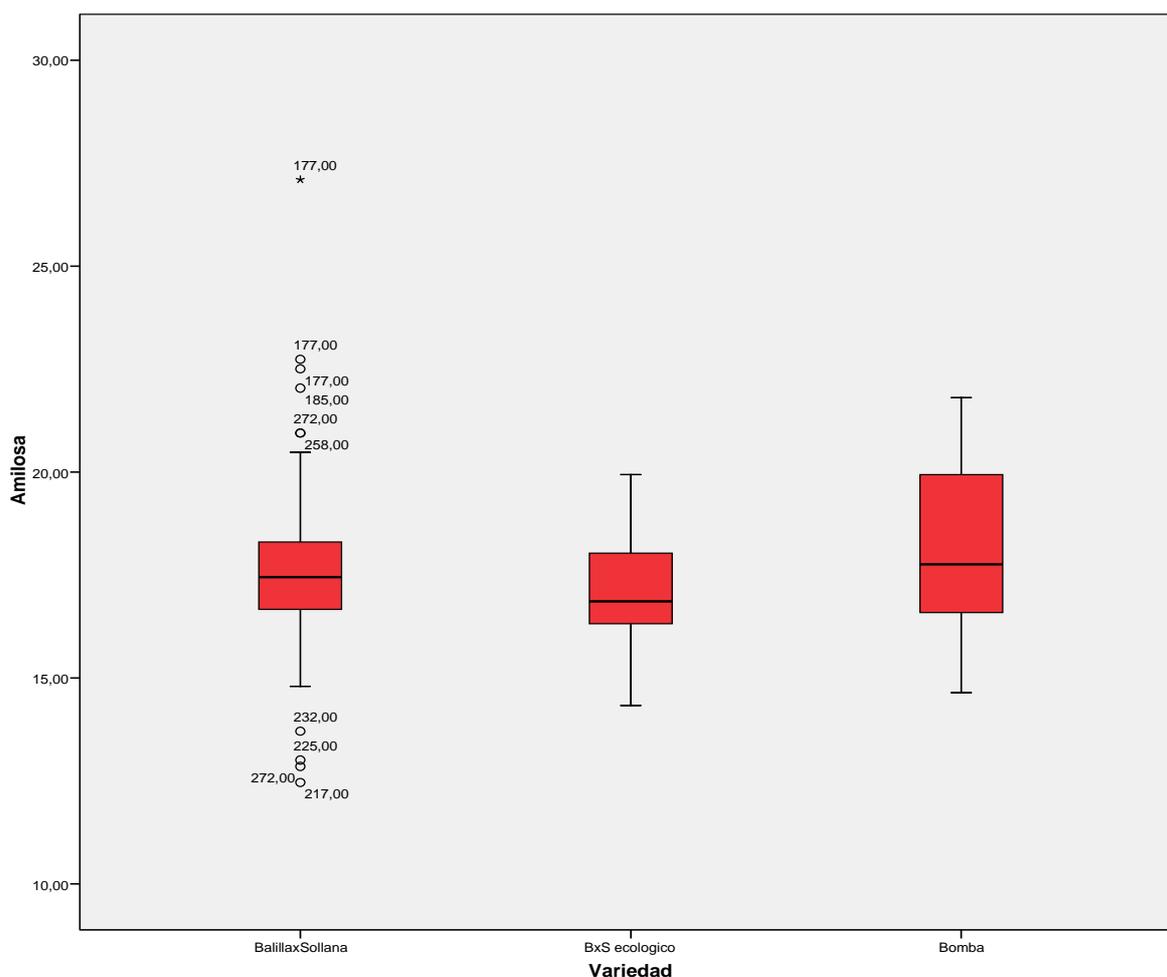


Figura 54. Diagrama de caja y bigotes: porcentaje de amilosa según variedades.

La Tabla 53 proporciona el contenido de amilosa en las muestras de arroz de acuerdo con la zona y el paraje de cultivo. El contenido total de amilosa osciló entre el 16% y el 21%, por lo que podríamos agrupar las quince fincas de cultivo en tres grupos, conforme a un contenido bajo, medio o alto de amilasa del arroz cultivado.

Tabla 53. Composición de amilosa (%media \pm D.E.) en las muestras de arroz crudo, por parajes.

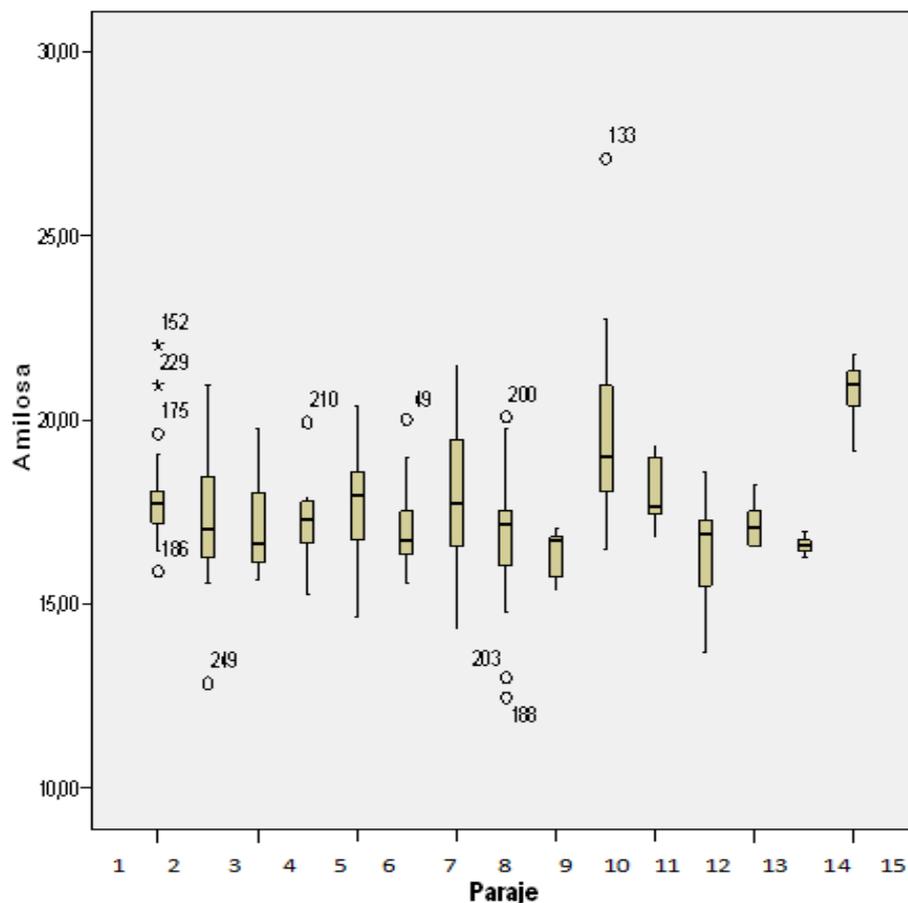
PARAJE	AMILOSA
El Soto	16,42 \pm 0,67 ^c
Salmerón	16,48 \pm 1,70 ^c
Olivarejo	16,60 \pm 0,24 ^c
Minas	16,80 \pm 1,72 ^c
Olivericas	17,03 \pm 0,97 ^c
Pino Romero	17,08 \pm 1,33 ^c
Peralejo	17,18 \pm 0,63 ^c
Obregate	17,21 \pm 1,67 ^c
Río Mundo	17,30 \pm 1,10 ^c
Rotas	17,77 \pm 1,11 ^{bc}
La Luz	17,82 \pm 1,20 ^{bc}
La Finca	17,85 \pm 1,79 ^{bc}
La Palmera	17,97 \pm 0,97 ^{bc}
Macaneo	19,75 \pm 2,99 ^{ab}
El Puntal	20,77 \pm 0,93 ^a

^{a-c} Diferentes letras muestran diferencias significativas entre las muestras de $p < 0,05$.

Las muestras de arroz producidas en “El Puntal” y “Macabeo” son las que presentaron valores de contenido de amilosa significativamente superiores al resto de las muestras. Estos datos se relacionarán con la variedad utilizada en cada área, pero también se reconoce que las condiciones microclimáticas pueden influir en estos resultados (Pascual, 2010), jugando un papel importante en la calidad del arroz.

La Figura 55 representa la variabilidad del contenido de amilosa entre todas las muestras de acuerdo a la variedad de arroz y el tipo. Los arroces ecológicos y la

variedad Bomba mostraron una menor dispersión, probablemente debido a un menor número de muestras utilizadas en este estudio. Por el contrario, la variedad BxS mostró una mayor dispersión en los datos asociado con la gran cantidad de muestras analizadas en este estudio, de diferentes procedencia, en cuanto a los parajes o fincas de cultivo.



***Legenda:** 1 Rotas, 2 Obregate, 3 Pino Romero, 4 Rio Mundo, 5 La Luz, 6 Olivericas, 7 La Finca, 8 Minas, 9 El Soto, 10 Macaneo, 11 La Palmera, 12 Salmerón, 13 Peralejo, 14 Olivarejo, 15 El Puntal.

Figura 55. Diagrama de caja y bigotes: porcentaje de amilosa según paraje de cultivo.

La variabilidad del contenido de amilosa entre las muestras de "El Puntal" y "El Soto" es alta, alcanzando aproximadamente un 5%. Además, también se observó una gran variabilidad entre las muestras cultivadas en una misma finca, lo cual viene determinado por la variedad de arroz.

La variabilidad y la dispersión de los datos del contenido de amilosa entre la totalidad de las cuarenta y dos muestras de arroz puede observarse en la Tabla 54, que representa el contenido de amilosa obtenido en cada una de las 42 muestras distribuidas al azar, pertenecientes a quince zonas de cultivo y tres variedades comerciales de arroz de Calasparra. El contenido de amilosa osciló entre el 16,16% en la muestra 156 y 21,24% en la muestra 177, mostrando nuevamente una variabilidad del 5% según la variedad y el tipo de muestra. Esta variabilidad se observó dentro de la misma variedad de arroz, por lo que estos resultados indican la variabilidad asociada con el área de producción, Finca Pino Romero (3) en la muestra 156 (BxS) y Finca Macaneo (10) en la muestra 177 (BxS).

Tabla 54. Composición de amilosa (%media \pm D.E.) en muestras de arroz crudo.

Muestras	Amilosa	Muestras	Amilosa
179	17,34 \pm 1,69 ^{cd}	156	16,16 \pm 0,45 ^d
181	17,39 \pm 0,44 ^{cd}	217	16,30 \pm 2,05 ^d
154	17,52 \pm 1,02 ^{cd}	54	16,42 \pm 0,67 ^{cd}
229	17,58 \pm 1,50 ^{cd}	232	16,48 \pm 1,70 ^{cd}
136	17,63 \pm 0,75 ^{bcd}	259	16,60 \pm 0,24 ^{cd}
206	17,71 \pm 0,49 ^{bcd}	87	16,64 \pm 0,34 ^{cd}
175	17,75 \pm 0,76 ^{bcd}	97	16,65 \pm 0,57 ^{cd}
104	17,93 \pm 0,93 ^{bcd}	221	16,69 \pm 0,99 ^{cd}
260	17,97 \pm 0,97 ^{bcd}	162	16,78 \pm 0,42 ^{cd}
123	18,01 \pm 1,29 ^{bcd}	191	16,79 \pm 1,01 ^{cd}
185	18,08 \pm 1,96 ^{abcd}	245	16,79 \pm 0,88 ^{cd}
161	18,10 \pm 1,04 ^{abcd}	120	16,83 \pm 0,77 ^{cd}
103	18,10 \pm 1,28 ^{abcd}	74	16,93 \pm 1,02 ^{cd}
272	18,14 \pm 2,86 ^{abcd}	36	17,00 \pm 1,50 ^{cd}
139	18,26 \pm 0,99 ^{abcd}	204	17,03 \pm 0,49 ^{cd}
148	18,41 \pm 1,50 ^{abcd}	225	17,06 \pm 2,77 ^{cd}
28	18,52 \pm 1,96 ^{abcd}	251	17,06 \pm 0,67 ^{cd}
258	17,22 \pm 1,04 ^{abcd}	105	17,08 \pm 2,24 ^{cd}
169	19,54 \pm 0,64 ^{abc}	66	17,18 \pm 0,63 ^{cd}
8	20,77 \pm 0,93 ^{ab}	196	17,22 \pm 1,04 ^{cd}
177	21,24 \pm 3,65 ^a	212	17,30 \pm 0,92 ^{cd}

^{a-d} Diferentes letras muestran diferencias significativas entre las muestras de $p < 0,05$.

La Tabla 55 muestra la RS en el arroz en bruto (en las muestras crudas en mg/100 g de muestra seca) y el RS y DS, expresado en mg/100 g de muestra húmeda, para las

muestras cocinadas. Los datos se muestran para las tres muestras aleatorizadas y valoradas como medias de cada tipo de arroz y variedad comercial de arroz de Calasparra.

Tabla 55. Contenido de almidón resistente (RS) y almidón soluble digerible (DS), según el tipo de arroz.

Muestra	RS crudo	DS cocido	RS cocido
Balilla x Sollana ecológico			
8	0,19±0,56 ^{bc}	7,64±1,10 ^{abc}	0,16±0,03 ^{ab}
36	0,20±0,00 ^{bc}	8,12±0,56 ^{abc}	0,14±0,01 ^{ab}
74	0,16±0,01 ^{bc}	9,42±1,28 ^{ab}	0,14±0,00 ^{ab}
Valores medios	0,16±0,06	8,87±1,34	0,13±0,01
Balilla x Sollana			
87	0,11±0,01 ^c	9,65±0,09 ^a	0,13±0,01 ^{ab}
97	0,29±0,03 ^a	7,69±1,85 ^{abc}	0,11±0,01 ^b
104	0,18±0,04 ^{bc}	8,26±2,16 ^{abc}	0,13±0,00 ^b
Valores medios	0,23±0,05	7,49 ±1,85	0,14±0,01
Bomba			
154	0,20±0,04 ^b	6,52±1,28 ^c	0,14±0,00 ^{ab}
161	0,22±0,04 ^{ab}	7,56±1,16 ^{abc}	0,14±0,01 ^{ab}
259	0,31±0,09 ^a	7,17±0,60 ^{bc}	0,18±0,06 ^a
Valores medios	0,24±0,08	7,64±0,84	0,17±0,04

^{a-c} Diferentes letras muestran diferencias significativas entre las muestras de $p < 0,05$.

La variedad BxS presentó los valores más bajos de la RS en las muestras crudas, probablemente debido a su contenido de amilosa. El contenido de RS se correlacionó significativamente con la muestra, pero no con el contenido de amilosa, ya que se observó una alta variabilidad en el contenido de este carbohidrato. Este comportamiento también se observó en las muestras después de la cocción, mostrando la variedad BxS un alto contenido de DS y un bajo contenido en RS. Las diferencias significativas fueron mayores para el RS que para el DS, mostrando la

variedad BxS una mayor digestibilidad que la variedad Bomba, aunque con diferencias de pequeña magnitud.

El contenido de la RS en las muestras crudas presentó una correlación significativamente positiva con la RS de las muestras cocidas ($r = 0,38$, $p < 0,01$), mientras que se observó una correlación negativa significativa entre el RS de arroz crudo y DS de arroz cocido ($r = 0,46$, $p < 0,01$).

El almidón rápidamente digerible o el DS es la mayor fracción de los arroces blancos, ya que el proceso de elaboración produce un endospermo débil que es fácilmente atacado por la α -amilasa (Muir y O'Dea, 1992). Durante la cocción de los granos el agua penetra en el interior del cotiledón, hinchando los gránulos y gelificando el almidón dando lugar a la solubilización y dispersión del almidón (Tinarelli, 1989). Por otro lado la fracción de RS muestra una amplia variabilidad en los arroces, dependiendo de la variedad, el contenido de amilosa y el contenido de fibra dietética, ya que muchos factores intrínsecos al tipo de gránulo de almidón así como relación amilosa:amilopectina son importantes para determinar la digestibilidad (Englyst y Cummings, 1987; Ortuño *et al.*, 1995). Además en el arroz cocido, esta variabilidad depende también del contenido de amilosa retrograda, que es una pequeña porción de almidón que resiste la digestión en el intestino delgado (Englyst y Cummings, 1987) y que se forma tras el enfriamiento del alimento.

Las muestras de arroz analizadas mostraron un contenido de RS tras el cocinado inferior a 0,2 mg/100 g expresados en peso fresco. Este contenido puede ser considerado muy reducido si queremos considerar un posible efecto prebiótico y un potencial efecto positivo sobre la digestibilidad mineral, ya que los estudios en ratas realizados con almidón resistente de patata y teniendo en cuenta la absorción de Ca, reportaron que el efecto beneficioso se conseguía con un consumo diario de 22 g (Younes *et al.*, 2001).

VI. CONCLUSIONES

Primera: El perfil mineral de las distintas muestras comerciales de arroz D.O. Calasparra, de mayor a menor, estaría constituido por K, P, Mg, S y Ca, presentando un perfil similar al descrito para otros arroces comerciales.

Segunda: El descascarillado es el factor que más influye en el contenido mineral de los arroces elaborados, ya que en la cascarilla de los cereales se encuentra gran parte del contenido mineral, presentando el arroz integral el mayor contenido de minerales.

Tercera: El tipo de cocinado influye en la concentración final de los minerales en los arroces cocidos comerciales, ya que cuando se cocina siguiendo la absorción completa del agua de cocción, se reabsorben los minerales que se pierden por lixiviación, reduciendo las pérdidas de estos nutrientes asociadas al tratamiento térmico.

Cuarta: El paraje de cultivo, la variedad y el grado de elaboración son factores determinantes del contenido mineral en las diferentes muestras analizadas de arroz D.O. Calasparra, mostrando el arroz crudo un alto contenido en K y Mg, moderado de Zn y Fe, y bajo de Ca y Na.

Quinta: La reabsorción de minerales procedentes del agua de cocción durante el cocinado de las muestras de arroz modifica la composición química, pudiendo ser utilizado como una estrategia nutricional para mejorar el perfil nutricional del arroz.

Sexta: La disponibilidad mineral, empleando como indicador el porcentaje de mineral soluble, fue máxima para el K y el Mg, seguidos del Ca, Fe y Zn. Siendo, en todos los casos, superiores las fracciones de mineral soluble en las muestras blancas que en las que no habían sufrido el proceso de descascarillado.

Séptima: La solubilidad de Fe y Zn en las muestras de arroz integral cocido no se vio afectada por el contenido en FDT, ya que al encontrarse estos minerales principalmente en la cascarilla, un mayor contenido se relacionó con una mayor solubilidad. Para las muestras de arroz elaborado cocido la presencia de FDT influye negativamente y de forma significativa en la solubilidad del Mg.

Octava: El contenido de amilosa en el arroz de Calasparra está influenciado significativamente por la variedad y el tipo de muestra, así como por el paraje de cultivo. El contenido del almidón resistente tras el cocinado fue muy bajo y por esta razón no es de esperar ningún efecto positivo sobre la biodisponibilidad mineral.

Novena: Teniendo en cuenta la importancia del arroz en la dieta, sería conveniente potenciar las investigaciones encaminadas a la búsqueda de estrategias que permitan incrementar la solubilidad mineral del arroz, mediante la adición de promotores de su absorción en las dosis adecuadas, la biofortificación o el desarrollo de tratamientos tecnológicos que permitan mantener un adecuado perfil mineral.

VII. RESUMEN

El arroz es uno de los cereales más consumidos en el mundo, siendo la base de la dieta del 75% de la población mundial. La importancia económica y dietética en torno a la producción y consumo del arroz impulsa el interés por los estudios relacionados con su calidad nutricional. Se busca mantener la calidad de variedades locales, que aún contando con menor rentabilidad productiva, suelen presentar características organolépticas diferenciadoras que hacen que sean valoradas positivamente por los consumidores y están íntimamente asociadas a la actividad agraria y económica de ese área geográfica, como es el caso del arroz Denominación de Origen Calasparra, producido en la vega alta del río Segura (España).

El proceso de elaboración del arroz incluye distintas etapas industriales que tienen como finalidad la eliminación total o parcial de su cascarilla, parte del germen y partes externas del pericarpio, dando lugar a las tres principales presentaciones comerciales del arroz: elaborado, semielaborado y descascarillado o integral. Este proceso es fundamental para determinar la calidad del arroz, ya que la eliminación de las partes externas del grano y el tratamiento de pulido ocasionan la pérdida del 75% de la fibra dietética y el 50% de los minerales (entre otros nutrientes), mientras que las formas integrales son las que conservan un mayor contenido nutricional.

Es igualmente importante tener en cuenta que la presencia de diferentes componentes de la fibra dietética puede ejercer un efecto negativo en la absorción de minerales, disminuyendo la utilización nutritiva de los mismos. El almidón resistente (RS) es la fracción de almidón que escapa a la digestión en el intestino delgado, se fermenta en el colon, actuando como prebiótico y favoreciendo la reabsorción de minerales en el colon.

En la presente tesis Doctoral se estableció como objetivo general el estudio nutricional de la composición mineral de los arroces D.O. Calasparra, crudos y cocidos, la estimación de su disponibilidad mediante la cuantificación de la fracción soluble y la determinación del contenido de fibra dietética total. Para alcanzar el objetivo general se plantean diferentes objetivos específicos. En primer lugar, analizar por espectrofotometría de absorción atómica el contenido mineral y determinar el cómputo mineral en distintos tipos de arroces, tanto crudos como cocinados, en

función de la variedad (Bomba y BalillaXSollana), la elaboración (integral, semi-integral o blanco), del paraje y tipo de producción (tradicional o ecológica). En segundo lugar, determinar la solubilidad mineral (Método Miller), como medida de estimación de la disponibilidad de estos minerales. Conocer el efecto del cocinado sobre el contenido de fibra dietética total (FDT), determinada por Método Prosky, y establecer su posible correlación (Pearson) con la solubilidad mineral. Analizar el contenido de amilosa y RS en las distintas muestras de arroz D.O. Calasparra.

El perfil mineral en las muestras sin cocinar de arroz D.O. Calasparra estaría constituido por un alto contenido en K y Mg, moderado de Zn y Fe, y bajo de Ca y Na (con dependencia del paraje de cultivo, la variedad y el grado de elaboración de las muestras), presentando un perfil similar al descrito para otros arroces comerciales. El proceso del descascarillado es determinante para el contenido mineral en las muestras, presentando el arroz integral el mayor contenido de minerales frente a los semi-integrales y a los blancos, al estar los minerales distribuidos mayoritariamente en la cascarilla de los cereales. El tipo de cocinado también influye en la concentración final de los minerales, ya que al cocinar permitiendo la absorción completa del agua de cocción, se reabsorben los minerales perdidos por lixiviación, reduciendo el efecto negativo del tratamiento térmico.

La disponibilidad mineral, usando el porcentaje de mineral soluble como indicador fue máxima para el K y el Mg, seguidos del Ca, Fe y Zn, siendo superior la solubilidad mineral en las muestras blancas que en las que no habían sufrido el proceso de descascarillado. La influencia del contenido en FDT sobre la solubilidad mineral en las muestras cocidas fue diferente según el caso, en las muestras integrales la solubilidad de Fe y Zn no se ve afectada, debido a la distribución mayoritaria de estos elementos minerales en la cascarilla, mientras que en los arroces elaborados existe una correlación negativa entre FDT y la solubilidad del Mg. No se espera ningún efecto positivo del RS sobre la biodisponibilidad mineral, ya que tras el cocinado el contenido fue muy bajo.

VIII. SUMMARY

The rice is one of the most consumed cereals in the world, being the base of the diet of 75% of the world population. The economic and dietetic importance concerning the production and consumption of the rice stimulates the interest for the studies related to its nutritional quality. We seek to support the quality of local varieties, which still possessing minor productive profitability, are in the habit of presenting distinguishing organoleptic characteristics that are positively valued by the consumers and that are intimately associated with the agrarian and economic activity of that geographical area, since it is the case of the Calasparra Designation of Origin (D.O.) rice, produced in the Segura River high meadow area (Spain).

The rice production process includes different industrial stages that take as a purpose the total or partial elimination of his husk, part of the germ and external parts of the pericarp, giving place to three principal commercial presentations of the rice: finished, half-finished and milled or integral. This process is fundamental to determine the quality of the rice, since the removal of the external parts of the grain and the treatment of polishing cause the loss of 75% of the dietetic fibre and 50% of the minerals (amongst other nutrients), whereas the integral ones are those that preserve a higher nutritional content.

It is equally important to bear in mind that the presence of different components of the dietetic fibre can carry on a negative effect in the absorption of minerals, lowering its nourishing function. The resistant starch (RS) is the fraction of starch that escapes to the digestion in the small intestine, it ferments in the colon, acting like prebiotic and helping the reabsorption of minerals in the colon.

In this PhD Thesis it was established as general aim the nutritional study of the mineral composition of the Calasparra Designation of Origin rice, being raw and boiled, and the estimation of its availability by means of the soluble fraction quantification as well as the content determination of total dietetic fibre. To reach this general aim different specific aims appear. First, to analyse the mineral content by spectrophotometry of atomic absorption and to determine the mineral calculation in different types of rice, both raw and boiled, depending on the variety (Bomba and BalillaXSollana), the production (integral, semi-integral or white), of the growing place

and type of production (traditional or ecological). Secondly, to determine the mineral solubility (Miller Method), as estimation measure of the availability of these minerals. To know the effect of cooking on the content of dietetic total fibre (FDT), determined by the Prosky Method, and to establish its possible correlation (Pearson) with the mineral solubility. To analyse the content of amylose and RS in the different samples of Calasparra D.O. rice.

The mineral profile in the non-cooked samples of Calasparra D.O. rice would be composed by a high content in K and Mg moderated of Zn and Fe, and low on Ca and Na (with dependence of the place of growing, the variety and the degree of production of the samples), presenting a similar profile to described for other commercial rice varieties. The process of the milling is determinant for the mineral content in the samples, being the brown rice the one with a higher content of minerals versus the semi-integral and the white ones, as the minerals are distributed mostly in the husk of the cereals. The kind of cooking also influences the final concentration of the minerals, since on having cooked allowing the complete absorption of the boiling water, the lost minerals by leaching are re-absorbed, reducing the negative effect of the thermal treatment.

The mineral availability, using the percentage of soluble mineral as a sign was the highest for K and Mg, followed by Ca, Fe and Zn, being over the mineral solubility in the white rice samples that in those who had not suffered the process of milling. The influence of the FDT content on the mineral solubility in the boiled samples was different according to the case. In the integral samples the solubility of Fe and Zn does not meet affected, due to the wider distribution of these mineral elements in the husk, whereas in the elaborated rice a negative correlation exists between FDT and the solubility of the Mg. It is not expected any positive effect on the RS related with the mineral bioavailability, since after the cooking one the content was very low.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Adrian J.** (2000). Análisis nutricional de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España.
- **Ahmed A., Anjun F.M., Ur Rehman S., Randhawa M.A., Farooq U.** (2008). *Bioavailability of calcium, iron and zinc fortified whole wheat flour chapatti.* Plant Foods for Human Nutrition. 63(1):7-13.
- **Alfonzo González G.C.** (2000). Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. ALAN. 50(3): 281-285.
- **Alviña M.** (2009). *Indicadores de calidad nutricional.* Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación. Pp. 26-37. Eds. Lutz M. y León A.E. Universidad de Valparaíso, Chile.
- **Amaro M.A.** (1993). *Variaciones del contenido de elementos minerales en espárrago (Asparagus officinalis, L.).* Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, España.
- **Anjum F.M., Pasha I., Bugti M.A., Butt B.S.** (2007). *Mineral composition of different rice varieties and their milling fractions.* Pakistan Journal of Agricultural Sciences. Vol. 44(2).
- **A.O.A.C.** Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis.* Washington D.C., U.S.A.
- **A.O.A.C.** Association of Official Analytical Chemists. (1999). *Official Methods of Analysis.* Washington D.C., U.S.A.
- **A.O.A.C.** Association of Official Analytical Chemists. (2000). *Official Methods of Analysis.* Washington D.C., U.S.A.
- **Archivo Municipal de Calasparra:** Fondo Administrativo (Libros Capitulares, Pleitos) y Fondo Conde del Valle de San Juan. Calasparra, Murcia, España.
- **Assunção A. G. L., Herrero E., Lin Y.-F., Huettel B., Talukdar S., Smaczniak C., et al.** (2010). *Arabidopsis thaliana transcription factors bZIP19 and bZIP23 regulate the adaptation to zinc deficiency.* Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.; 107: 10296-10301.
- **Banger B.A.** (1989). *The quality of cereal foods.* Food Chemistry. 33:15-26.
- **Barber S.** (1979). *La calidad del grano de arroz en los programas de mejora vegetal.* Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos; 19(3):314-326.

- **Barberá R.**, Farré R. (1992). *Biodisponibilidad de los elementos traza*. Revista española de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 34, nº 4:381-399.
- **BEDCA**: Base de Datos Española de Composición de Alimentos. (2014). <http://www.bedca.net/>
- **Benedito C.**, Martínez J. (1997). *Criterios de calidad del arroz para la industrialización y el consumo*. En Jornadas del Arroz. Pp. 111-119. Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, Valencia, España.
- **Bergman C.J.**, Gualberto D.G., Weber C.W. (1997). *Mineral binding capacity of dephytinized fiber from extruded wheat, oat and rice brans*. Plant Foods for Human Nutrition. 51(4):295-310.
- **Bernal Cava M.J.** (2011). *Optimización del perfil de hidratos de carbono en papillas infantiles. Estudio de su funcionalidad*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.
- **Biliaderis C.G.** (1991). *The structure and interactions of starch with food constituents*. Canadian Journal of Physiology. 69:60-78.
- **Boers H.M.**, Seijen ten Hoorn J., Mela D.J. (2015). *A systematic review of the influence of rice characteristics and processing methods on postprandial glycaemic and insulinaemic responses*. British Journal of Nutrition. 114:1035-1045.
- **Bornet F.** (1993). *Technological treatments of cereals. Repercussions on the physiological properties of starch*. Carbohydrates Polymers. 21:195-203.
- **Bosscher D.**, Van Caillie-Bertrand M., Cauwenberg R., Deelstra H. (2003). *Availabilities of Ca, Fe and Zn from dairy infant formulas is affected by soluble dietary fibers and modified starch fractions*. Nutrition. 19:641-645.
- **Bouis H.E.**, Hotz C., McClafferty B., Meenakshi J.V., Pfeiffer W.H. (2011). *Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition*. Food Nutrition Bulletin; 32(1 Suppl): S31-40.
- **B.O.E.** 4 de marzo de 1986. *Orden de 19 de de 1986, por la que se aprueba el reglamento de la Denominación de Origen Calasparra y de su Consejo Regulador*.
- **Cámara F.**, Amaro MA., Barberá R., Clemente G. (2005). *Bioaccessibility of minerals in school meals: Comparison between dialysis and solubility methods*. Food Chemistry, 2005; 92: 481-489.

- **Carreres R.** (1982). *Estudio de la calidad de siete variedades de arroz y dos líneas de mejora*. INIA Comunicación n.º 46 Serie Producción Vegetal.
- **Carreres R.** (1988). *Estudio de los atributos de calidad del arroz*. Il settore risicolo nella sfida della completa unificazione del mercato comune europeo. Pp. 823-842. Ente Risi, Italia.
- **Carreres R., M.P. Bretó.** (2006). *Mejora de la calidad del arroz. Mejora genética de la calidad en plantas*. Pp.199-219.
- Ciclo de Conferencias VII Centenario de Calasparra. (1990). Ed. Comisión VII Centenario. Calasparra, Murcia, España.
- **Consejo Regulador de la Denominación de Origen de Calasparra.** (2009). Murcia, España. <http://www.docalasparra.com>
- **Champ M.** (1992). *Determination of resistant starch in foods and food products: interlaboratory study*. European Journal Clinical Nutrition; Supl. 2, 51-62.
- **Chavasit V., Porasuphatana S., Suthutvoravut U., Zeder C., Hurrell R.** (2015). *Iron bioavailability in 8–24-month-old Thai children from a micronutrient-fortified quick-cooking rice containing ferric ammonium citrate or a mixture of ferrous sulphate and ferric sodium ethylenediaminetetraacetic acid*. Maternal & Child Nutrition 2015 Feb 26. [Epub ahead of print]
- **Chitpan M., Chavasit V., Kongkachuichai R.** (2005). *Development of fortified dried broken rice as a complementary food*. Food and Nutrition Bulletin, vol. 26, nº. 4.
- **Chun A., Lee H.J., Hamaker B.R., Janaswamy S.** (2015). *Effects of Ripening Temperature on Starch Structure and Gelatinization, Pasting, and Cooking Properties in Rice (Oryza sativa)*. Journal of Agricultural and Food Chemistry; 63: 3085–3093.
- **Comino I., Moreno M.L., Real A., Rodríguez-Herrera A., Barro F., Sousa C.** (2013). *Gluten-free diet: testing alternative cereals tolerated by celiac patients*. The Nutrients; 5(10): 4250-68.
- **De Pee S.** (2014). *Proposing nutrients and nutrient levels for rice fortification*. Annals of the New York Academy of Sciences; 1324: 55–66.
- **De Preter V., Hamer H.M., Windey K., Verbeke K.** (2011). *The impact of pre-and/or probiotics on human colonic metabolism: Does it affect human health?*. Molecular Nutrition and Food Research; 55, 46–57.

- **Dietary Reference Intakes.** (2001). *Proposed definition of dietary fibre.* National Academy Press. Washington D.C., U.S.A.
- **Dintzis F.R., Watson P.R., Sandstead H.H.** (1985). *Mineral contents of brans passed through the human GI tract.* American Journal Clinical Nutrition; 41(5):901-8.
- **Drago S.R., Valencia M.E.** (2004). *Influence of components of infant formulas on in vitro iron, zinc, and calcium availability.* Journal of Agricultural and Food Chemistry. 19;52(10):3202-7.
- **Eagling T., Wawer A.A., Shewry P.R., Zhao F.J., Fairweather-Tait S.** (2014). *Iron bioavailability in two commercial cultivars of wheat: Comparison between wholegrain and white flour and the effects of nicotianamine and 2'-Deoxymugineic acid on iron uptake into Caco-2 cells.* Journal of Agricultural and Food Chemistry. 22;62(42):10320-5.
- **Englyst H.N., Kingman S.M., Cummins J.H.** (1992). *Classification and measurement of nutritionally important starch fractions.* European Journal Clinical Nutrition; 46(S):S33-S50.
- **Escudero E., González P.** (2006). *La fibra dietética.* Nutrición Hospitalaria; 21 (Supl. 2): 61-72.
- **Favier A.E.** (1993). *Nutritional and clinical factors affecting the bioavailability of trace elements in humans.* En: Nutritional, chemical and food processing implication of nutrient availability. Bioavailability'93. Ed. Schlemmer U. Ettlingen. Alemania.
- **Fairweather-Tait S., Hurrell RF.** (1996). *Bioavailability of minerals and trace elements.* Nutrition Research Reviews; 9: 295-324.
- **Fairweather-Tait S., Philips I., Wortley G., Harvey L., Glahn R.** (2007). *The use of solubility, dialyzability and Caco-2 cell methods to predict iron bioavailability.* International Journal of Vitamin and Nutrition Research; 77 (3): 158-165.
- **Faisant N., Champ M., Colonna P., Buleau A.** (1993). *Structural discrepancies in resistant starch obtained in vivo in human and in vitro.* Carbohydrates Polymers; 21, 205-209.
- **FAO** (Food and Agriculture Organization). 2004. *Año Internacional del Arroz.* Roma, Italia.
- **FAO** (Food and Agriculture Organization). 2015. *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO (SMA).* Roma, Italia.

- **FNB** (Food and Nutrition Board). Institute of Medicine. (2002). *Dietary Reference Intakes: Proposed Definition of Dietary Fiber*. National Academic Press. Panel on definition of dietary fiber. Standing Comité on the Scientific Evaluation of dietary reference intakes. Washington, EE.UU.
- **Franquet J.M., Borrás C.** (2004). *Economía del arroz. Variedades y mejora*. Col·lecció Técnica. Universitat Internacional de Catalunya, España.
- **Frontela C., Haro J.F., Ros G., Martínez C.** (2008). *Effect of Dephytinization and follow-on formula addition on in Vitro iron, calcium and zinc availability from infant cereals*. Journal of Agricultural and Food Chemistry; 56: 3805-3811.
- **Frontela C.** (2007). *Efecto de la adición de fitasa sobre la biodisponibilidad mineral in vitro en papillas infantiles*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.
- **Galan M.G., Drago S.R.** (2014). *Food matrix and cooking process affect mineral bioaccessibility of enteral nutrition formulas*. Journal of Science, Food and Agriculture; 94: 515–521.
- **Gallant D.J., Bouchet B., Buleon A., Perez S.** (1992). *Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation*. European Journal of Clinical Nutrition. 46:S3-S16.
- **García Villanova-Ruiz B., Guerra Hernández E.J.** (2005). *Tratado de Nutrición. Tomo II, capítulo 2-6*. Grupo Acción Médica. Madrid, España.
- **García Villanova-Ruiz B., Guerra Hernández E.J.** (2010). *Cereales y productos derivados*. Tratado de Nutrición. Tomo II: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- **Gil A., Mañas M. y Martínez de Victoria E.** (2010) *Ingestas dietéticas de referencia, objetivos nutricionales y guías*. En: *Tratado de Nutrición. Tomo III. Nutrición Humana en el Estado de Salud*. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- **Gilani G.S., Nasim A.** (2007). *Impact of foods nutritionally enhanced through biotechnology in alleviating malnutrition in developing countries*. Journal of A.O.A.C. International. 90(5):1440-4.
- **Glahn R.P., Cheng Z., Welch R.M.** (2002). *Comparison of iron bioavailability from 15 rice genotypes: studies using an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model*. Journal of Agricultural and Food Chemistry; 50: 3586-3591.

- **Gornas P.**, Rudzinska M., Raczky M., Soliven A. (2015). Lipophilic bioactive compounds in the oils recovered from cereals by products. *Journal of Science, Food and Agriculture*; Nov. 2.
- **Grandfeldt, Y.**, Liljeber, H.; Drews, A., Newman, R., Björck I. (1994). *Glucose and insulin responses to barley products: influence of food structure and amylose-amylopectin ratio*. *American Journal of Clinical Nutrition*; 59 (5): 1075.
- **Gujral H.S.**, Rosell C.M. (2004). *Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase*. *Food Research International*; 37: 75–81.
- **Ha M.A.**, Jarvis M.C., Mann J.L. (2000). *A definition for dietary fibre*. *European Journal of Clinical Nutrition*; 54:861-864.
- **Hall J.L.**, Williams L.E. (2003). *Transition metal transporters in plants*. *Journal of Experimental Botany*; 54(393):2601-2613.
- **Hallberg L.** y Rossander-Hultén L (1993). *Factors influencing the bioavailability of dietary iron in man*. Nutritional, chemical and food processing implication of nutrient availability. *Bioavailability'93*. Pp. 23-32. Ed. Schlemmer U. Ettlingen. Alemania
- **Hass J.D.**, Beard J.L., Murray-Kolb L.E., del Mundo A.M., Felix A., Gregorio G.B. (2005). *Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonmenic Filipino women*. *The Journal of Nutrition*. 135(12): 2823-2830.
- **Heinemann R.J.B.**, Fagundes P.L., Pinto E.A., Penteado M.V.C., Lanfer-Márquez U.M. (2005). *Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil*. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18:287–296.
- **Herrero Delicado R.**, Frontela C., Santaella M., Periago M.J. (2010). *Fibra dietética y solubilidad mineral en el arroz de Calasparra*. La Calidad del Arroz de Calasparra. Edit. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Murcia, España.
- **Hirano H.Y.**, Sano Y. (1998). *Enhancement of WX gene expression and the accumulation of amylose in response to cool temperatures during seed development in rice*. *Plant Cell Physiology*; 39(8):807-812.
- **Hunt J.R.** (2003). *Bioavailability of iron, zinc and other trace minerals from vegetarian diets*. *American Journal of Clinical Nutrition*; 78 (suppl): 633S-939S.
- **Hurrell R.F.** (2003). *Influence of vegetable protein sources on trace element and mineral bioavailability*. *The Journal of Nutrition*; 133(9):2973S-7S.

- **International Rice Research Institute.** (1979). *Proceedings of workshop on chemical aspects of rice grain quality.* Manila, Filipinas.
- **ISO** (International Standard Organization). 1987. *Riz determination de la teneur en amylase.* ISO 6647: 1987(F), 4 pp.
- **Juliano B.O.** (1971). *A simplified assay for milled-rice amylase.* Cereal Science Today; 16:334-338, 340-360.
- **Juliano B.O.** (1973). *Quality of milled rice.* Il Riso; 22(2): 171-184.
- **Juliano B.O.** (1994). *El Arroz en la Nutrición Humana.* Instituto Internacional de Investigación sobre el arroz (FAO). Roma, Italia.
- **Kiskini A.A., Argiri K.K., Kalogeropoulos M.M., Komaitis M.M., Kostaropoulos A.A., Mandala I.I., Kapsokefalou M.** (2007). *Sensory characteristics and iron dialyzability of gluten-free bread fortified with iron.* Food Chemistry; 102: 309-316.
- **León J.L., Carreres R., Ballesteros R.** (1999). *Calidad de las variedades españolas.* Agrícola Vergel. Mayo, 312-314.
- **León J.L., Carreres R.** (2002). *Calidad del arroz: criterios para una adecuada valoración.* Vida Rural n.º 145. Dossier Arroz; pp. 38-40.
- **Lindsay D.G.** (2002). *Nutritional enhancement of plant foods.* Fruit and vegetable biotechnology. V. Victoriano. Ed. Cambridge, UK: Woodhead; CRC Press.
- **López Campos G., Ballesteros R., Castells J., Batalla J.A.** (1970). *Variedades de arroz cultivadas en España.* Federación Sindical Agrícola Arroceros de España. Valencia, España.
- **Lutz M., León A.E.** (2009). *Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación.* Universidad de Valparaiso, Chile.
- **Lyon D.B.** (1984). *Studies on the solubility of Ca, Mg, Zn and Cu in cereal products.* The American Journal of Clinical Nutrition; 39: 190-195.
- **Mata P., De Oya M., Pérez Jiménez F., Ros E.** (1994). *Dieta y enfermedades cardiovasculares. Recomendaciones de la Sociedad española de Arteriosclerosis.* Clínica e Investigación en Arteriosclerosis; 6: 43-61.
- **Matsui T.** (2002). *Relationship between mineral bioavailabilities and dietary phytate in animals.* Animal Science Journal; 73:21-28.

- **McCleary** B.V., Monaghan D.A. (2002). *Measurement of resistant starch*. Journal of the Association of Official Analytical Chemist; 85:665-675.
- **Méndez** R.O., Bueno K., Campos N., López D., Wyatt C.J., Ortega M.I. (2005). *Contenido total y disponibilidad in vitro de hierro y zinc en alimentos de mayor consumo en Sonora y Oaxaca (México)*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición; 55:2.
- **MAGRAMA** (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). (2014). *Informe de Consumo de alimentación en España en 2014*.
- **Miller** D.D., Schriker B.R., Rasmussen R.R., Van Campen D. (1981). *An in vitro method for estimation of iron bioavailability from meal*. American Journal of Clinical Nutrition; 34: 2248-2256.
- **Moreiras** O., Carbajal A., Cabrera L., Cuadrado C. (2009). *Ingestas recomendadas de energía y nutrientes*. Tablas de composición de alimentos. 13ª Edición. Ed. Pirámide. Madrid, España.
- **Muir** J.G., O’Dea K. (1992). *Measurement of resistant starch: factors affecting the starch escaping digestion in vitro*. American Journal of Clinical Nutrition. 56:1034-1036.
- **Mula** Navarro M.D. (2011). *Determination of amylose and resistant starch in two traditional rice varieties cultivated in Calasparra: Bomba and Balilla x Sollana*. Tesis de Máster. Universidad de Murcia, España.
- **O’Dell** B.L. Urpo C.E. y Savage J.E. (1982). *Evaluation of zinc availability in foodstuffs of plants and animal origin*. J. Nutr. 102: 653-660.
- **Olivares** Martínez, A.B. (2000). *Optimización de la formulación de beikost homogeneizados de carne de pollo en función de su disponibilidad mineral*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia, España.
- **Olivares** Martínez, A.B. (2008). *Folatos en vegetales: Aportaciones a las bases de datos de composición de alimentos. Efecto del procesado y bioaccesibilidad*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.
- **Ortuño**, J. (1994). *Valor Nutritivo y características durante la cocción de los arroces de Calasparra y de otros arroces comerciales españoles*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia, España.
- **Ortuño** J., Ros G., Periago M.J., López G. (1996). *Cooking water uptake and starch digestible value of selected Spanish rices*. Journal of Food Quality; 19(1):79-89.

- **Pascual Villalobos M.J.** (2010). La calidad del arroz de Calasparra. Edit. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Murcia, España.
- **Pérez-Llamas F., Larqué E., Zamora S.** (2005). *Tratado de Nutrición. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. Pp. 619-645. Editorial Acción Médica. Madrid, España.
- **Petry N., Egli I., Gahutu J.B., Tugirimana P.L., Boy E., Hurrell R.** (2014). *Phytic Acid concentration influences iron bioavailability from biofortified beans in Rwandese women with low iron Status*. The Journal of Nutrition; 144:1681–1687.
- **Prosky L., Asp N.G., Furda I., de Vries J.W., Schweizer T.F., Harland B.** (1984) *Determination of total dietary fiber in foods, food products, and total diets; interlaboratory study*. Journal of the Association of Official Analytical Chemist; 67:1044-1052.
- **Pynaert, I., Armah C., Fairweather-Tait S., Kolsteren P., Van Camp J., De Henauw S.** (2006). *Iron solubility compared with in vitro digestion Caco-2 cell culture method for the assesment of iron bioavailability in a processed and unprocessed complementary food for Tanzanian infants (6-12 months)*. British Journal of Nutrition; 95: 721-726.
- **Reglamento (CEE) nº 2580/88** de la Comisión, de 17 de agosto de 1988, por el que se establecen las normas para la modificación de la lista de determinadas variedades de arroz establecidas en el Anexo B del Reglamento (CEE) nº 3878/87. DO L-230 de 19.8.1988, p. 8.
- **Sahuquillo A., Barberá R., Farré R.** (2003). *Bioaccessibility of Ca, Fe and Zn from three legume samples*. Nahrung/Food; 47(6): 438-441.
- **Sancho J., Bota E. y de Castro J. J.** (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Ediciones Universidad de Barcelona, España.
- **Sandström B.** (2001). *Micronutrient interactions: effect on absorption and bioavailability*. British Journal of Nutrition; 85(2):S181- 5.
- **Santaella M.** (2011). *Nuevas presentaciones comerciales de dorada (Sparus aurata L.) de acuicultura. Evaluación de la calidad y seguridad alimentaria*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.
- **Schlemmer U.** (1995). *Bioavailability of nutrients: conceptual aspects of definitions and problems of determination*. British Journal of Nutrition; 73:150-151.
- **Scholz-Ahrens K.E., Ade P., Marten B., Weber P., Timm W., AÇil Y., Glüer C.C., Schrezenmeir J.** (2007). *Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics affect mineral*

- absorption, bone mineral content, and bone structure.* Journal of Nutrition; 137: 838S–846S.
- **Sciarini** L.S., Binaghi M.J., Greco C.B., Pellegrino N.R., Perez G.T., Ronayne de Ferrer P.A. (2007). *Fortification of gluten free breads with iron and soy flour.* First ICC Latinoamerican Conference on Cereals and Cereal Products. pag 186. Rosario, Argentina.
 - **SEDCA** (Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación). 2009. <http://www.nutricion.org>
 - **Skibniewska** KA., Kozirok W., Fornal L., Markiewicz K. (2002). *In vitro availability of minerals from oat products.* Journal of Science, Food and Agriculture; 82: 1676-1981.
 - **Talukdar** S., Aarts M.G.M. (2008). *Arabidopsis thaliana and Thlaspi caerulescens respond comparably to low zinc supply.* Plant Soil; 306:85-94.
 - **Tinarelli** A. (1989). *El Arroz.* Mundi- Prensa. 575 pp. Madrid, España.
 - **Trinidad** T.P., Mallillin A.C., Sagum R.S., Briones D.P., Encabo R.R., Juliano B.O. (2009). *Iron absorption from brown rice/brown rice-based meal and milled rice/milled rice-based meal.* International Journal of Food Sciences and Nutrition; 60(8): 688–693.
 - **Universidad Nacional de Colombia.** Facultad de Medicina. Departamento de Nutrición y Dietética. Área de Antropología Alimentaria. (2003). *Antropología Alimentaria: El Arroz.* Bogotá, Colombia.
 - **Urbano** G., López-Jurado M., Fernández M., Moreu MC., Porres-Foulquie J., Frías J., Vidal-Valverde C. (1999). *Ca and P bioavailability of processed lentils as affected by dietary fiber and phytic acid content.* Nutrition Research (N.Y.); 19(1):49-64.
 - **Varela** G., Moreiras O., Carbajal A., Campo M. (1991). *Encuesta de presupuestos familiares 1990-91.* Tomo I. Instituto Nacional de Estadística (INE), España.
 - **Varela** G., Avila J.M., Cuadrado C., Del Pozo S., Ruiz E., Moreiras O. (2008). *Valoración de la Dieta Española de acuerdo al Panel de Consumo Alimentario.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA) y Fundación Española de la Nutrición (FEN). Madrid, España.
 - **Varma** A., Bakshi M., Lou, B., Hartmann A., Oelmüller R. (2012). *Piriformospora indica: A Novel Plant Growth-Promoting Mycorrhizal Fungus.* Agricultural Research; 1(2): 117-131.

- **Waller F.**, Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Hückelhoven R., Neumann C., von Wettstein D., Franken P., Kogel K.H. (2005). *The endophytic fungus Piriformospora indica reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.; 20, 102(38): 13386–13391.
- **Wang Y.**, Cheng Y., Ou K., Lin L., Liang J. (2008). *In vitro solubility of Calcium, Iron and Zinc in rice bran treated with phytase, cellulose and protease*. Journal of Agricultural and Food Chemistry; 56: 11868-11874.
- **W.H.O.** (World Health Organization). 1998. *Trace elements in human nutrition and health*. Technical Report Series. Ginebra, Suiza.
- **W.H.O.** (World Health Organization). 2003. *Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases*. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Ginebra, Suiza.
- **Wolters M.G.**, Schreuder HA, van den Heuvel G., van Lonkhuijsen H.J., Hermus R.J., Voragen A.G. (1993). *A continuous in vitro method for estimation of the bioavailability of minerals and trace elements in foods: application to breads varying in phytic acid content*. British Journal of Nutrition; 69(3):849-6.
- **Witzigmann E.**, Teubner C., Lampe K. (1999). *El gran libro del arroz*. Editorial Everest.
- **Younes H.**, Coudray C., Bellanger J., Demigne C., Rayssiguier Y., Remesy C. (2001). *Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats*. British Journal of Nutrition; 86:479–85.
- **Zaupá M.**, Calani L., Del Rio D., Brighenti F., Pellegrini N. (2015). *Characterization of total antioxidant capacity and (poly)phenolic compounds of differently pigmented rice varieties and their changes during domestic cooking*. Food Chemistry; 187: 338–347.

