

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Químicas

**Evaluación nutricional y tecnológica de harinas de cereales y pseudo-
cereales libres de gluten, a partir de análisis composicionales y ensayos
fisicoquímicos**

**Tesis de la Facultad de Ciencias Químicas
de la Universidad Católica de Córdoba
conforme a los requisitos para obtener el título de
Magíster en Tecnología de los Alimentos**

por

Raúl Ricardo MAURO

CÓRDOBA

2014

Director del Trabajo Final

Prof. Dr. Duarte Paulo Martins Torres
Faculdade de Ciências da Nutrição e da Alimentação
Universidade do Porto
Oporto, Portugal

Comisión de Trabajo Final

Prof. Dr. Rafael Borneo Benista
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Córdoba
Universidad Nacional de Córdoba.

Prof. Dr. Pablo Daniel Ribotta
Instituto Superior de Investigación, Desarrollo y Servicios en Alimentos (ISIDSA).
Universidad Nacional de Córdoba.

Prof. Mag. Ana María Vázquez.
Facultad de Ciencias Químicas.
Universidad Católica de Córdoba.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Myriam y Raúl, por estar siempre presente, soportándome y alentándome.

A mi director, Dr. Duarte Torres, de la *Faculdade de Ciências da Nutrição e da Alimentação* de la *Universidade do Porto*, por su invaluable colaboración, dirección y acompañamiento para realizar este trabajo.

A la Mst. Carla Mota, del *Instituto Nacional de Saúde*, Dr. Ricardo Jorge, de Lisboa Portugal, por su ayuda en las determinaciones realizadas en ese Instituto.

A la Dra. Isabel Castanheira, también del *Instituto Nacional de Saúde*, por su ayuda y colaboración para trabajar en el Instituto, y también por sus excelentes consejos.

A la Dra. Felicidad Ronda, de la *Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias* de la *Universidad de Valladolid* – Campus de Palencia, por permitirme desempeñar parte de los ensayos en su lugar de trabajo, así como también por su acompañamiento, sus consejos y enseñanzas.

A Sandra Pérez Quirce y Workineh Abebe Zeleke, mis grandes amigos y compañeros de trabajo de la *Universidad de Valladolid*, cuya presencia constante, ayuda y entrenamiento me ayudó a desarrollar el trabajo en un ambiente agradable, y también por compartir conmigo grandes momentos durante mi estancia en Palencia.

A Miriam Magarelo y Raúl Olmos, colegas y grandes amigos, presentes en momentos muy importantes de mi vida.

A Mariángeles Díaz Panero, Carolina Cravero, Gabriela Melo González, Analía Fajardo, Andrea Tarditi y Guillermo Giambastiani, grandes compañeros de la maestría y grandes amigos, siempre presentes y acompañando en todo.

A Josefina Tonello, por haberme guiado en mis primeros pasos en Oporto, ayudado a establecerme y enseñarme cosas muy importantes de la vida en la ciudad.

A Gastón Ignacio Pancrazio, Luis María Rodoni y José Dorati, argentinos y compañeros de piso en Oporto, Portugal, con quienes compartimos una experiencia inolvidable y de acompañamiento mutuo tanto en las cuestiones cotidianas como laborales.

Y a muchos más... por estar, por compartir, por alentar, por enseñar, por aconsejar.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Carbohidratos, harinas y almidón en la nutrición humana	2
1.3. Propiedades tecnológicas. Parámetros de pasting y viscosidad	6
2. ANTECEDENTES	12
2.1. Almidón total, amilosa, almidón resistente y fibra dietaria total.....	12
2.2. Proteínas totales y aminoácidos.....	14
2.3. Propiedades RVA	16
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos específicos.....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1. Materiales	19
4.1.1. Muestras.....	19
4.1.1.1. Muestras de pseudocereales.....	19
4.1.1.2. Muestra de maíz	19
4.1.1.3. Muestras de arroz	19
4.1.2. Reactivos.....	20
4.1.3. Equipamiento	21
4.2. Métodos	22
4.2.1. Tratamiento de muestras	22
4.2.2. Determinación de Proteínas totales.....	22

4.2.3.	Identificación y concentración de aminoácidos.....	22
4.2.4.	Porcentaje de almidón total en muestra	23
4.2.5.	Porcentaje de amilosa en almidón total	23
4.2.6.	Porcentaje de almidón resistente en almidón total.....	24
4.2.7.	Análisis de viscosidad – <i>Rapid Visco-Analyzer (RVA)</i>	24
4.2.8.	Análisis estadístico.....	25
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1.	Proteínas y aminoácidos	26
5.2.	Almidón.....	38
5.2.1.	Almidón total	39
5.2.2.	Amilosa.....	41
5.2.3.	Almidón resistente	44
5.2.4.	Relación entre la cantidad de almidón resistente y los constituyentes de las harinas. 48	
5.3.	Viscoanálisis.....	51
5.3.1.	Arroz.....	51
5.3.2.	Maíz y pseudocereales	60
5.3.3.	Comparaciones entre muestras	62
5.4.	Análisis de componentes principales.....	67
6.	CONCLUSIONES.....	70
7.	ANEXO	72
7.1.	Detalle de las muestras presentes en bibliografía consultada para el presente trabajo..	72
7.2.	Almidón total, amilosa, almidón resistente y fibra dietaria.....	78
7.3.	Proteínas y aminoácidos	81
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	Aminoácido, aminoácidos	His	Histidina (AA)
Ala	Alanina (AA)	ILe	Isoleucina (AA)
AMAT	Amilosa como porcentaje de almidón total (g/100 g AT)	Leu	Leucina (AA)
AMMT	Amilosa como porcentaje de muestra total (g/100 g de muestra total)	Lys	Lisina (AA)
ARAT	Almidón resistente como porcentaje de almidón total (g/100 g AT)	Met	Metionina (AA)
Arg	Arginina (AA)	MT	Muestra total
ARMT	Almidón resistente como porcentaje de muestra total (g/100 g de muestra total)	PCA	<i>Principal Components Analysis</i> , Análisis de componentes principales
Asp	Aspartato, Ácido Aspártico (AA)	Phe	Fenilalanina (AA)
AT	Almidón total (g/100 g de muestra total)	PKT	<i>Peak Time</i> , segundos (RVA)
BDV	<i>Breakdown Viscosity</i> , cP (RVA)	PKV	Peak Viscosity, cP (RVA)
Cys	Cistina (AA)	Pro	Prolina (AA)
DE	Desviación Estándar	Prot., PT.	Proteínas totales, g/100 g MT
FV	<i>Final Viscosity</i> , cP (RVA)	PST	<i>Pasting Temperature</i> , °C (RVA)
G/H	Grano/harina	RVA	<i>Rapid Visco Analysis</i>
Glu	Glutamato, Ácido Glutámico (AA)	REF.	Referencia, referencias
Gly	Glicina (AA)	SBV	<i>Setback Viscosity</i> , cP (RVA)
GP	Grado de polimerización	Seg, Sec	Segundos
		Ser	Serina (AA)
		TGV	<i>Through Viscosity</i> , cP (RVA)
		Thr	Treonina (AA)
		Trp	Triptófano (AA)
		TM	Tipo de molienda
		Tyr	Tirosina (AA)
		Val	Valina (AA)

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: IMÁGENES EN 3D DE GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE (A) PATATA, (B) MAÍZ, (C) MANDIOCA, (D) TRIGO, (E) <i>VIGNA RADIATA</i> “POROTO CHINO” Y (F) BATATA. VAN DE VELDE <i>ET AL</i> , 2002 (28). REPRODUCIDO CON AUTORIZACIÓN.....	4
ILUSTRACIÓN 2: IMÁGENES DE MICROSCOPIA DE BARRIDO DE ALMIDONES DE AMARANTO DE DIFERENTES CULTIVARES. TOMADO DE X. KONG <i>ET AL</i> , 2009 (29). CON AUTORIZACIÓN. ...	4
ILUSTRACIÓN 3: MICROSCOPIA DE BARRIDO (1000X) DE GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE ARROZ. TOMADA DE SINGH <i>ET AL</i> , 2006 (30). CON AUTORIZACIÓN.....	5
ILUSTRACIÓN 4. GRÁFICO DE PERFIL RVA. TOMADO DE FUNAMI <i>ET AL</i> , 2005 (39). CON AUTORIZACIÓN.	7
ILUSTRACIÓN 5: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN: (A) ANILLOS DE CRECIMIENTO AMORFOS Y SEMI-CRISTALINOS EN UN GRÁNULO DE ALMIDÓN, (B) MATRIZ DE ORGANIZACIÓN DE ZONAS AMORFAS Y CRISTALINAS, (C) LAMELAS AMORFAS Y CRISTALINAS EN UN SEGMENTO Y PARTE DE UN ANILLO DE CRECIMIENTO AMORFO, (D) ALINEAMIENTO DE DOBLES HÉLICES (DE LAS CADENAS SECUNDARIAS DE AMILOPECTINA) DENTRO DE UNA LÁMINA CRISTALINA Y PUNTOS DE RAMIFICACIÓN DE AMILOPECTINA DENTRO DE UNA LÁMINA AMORFA. VANDEPUTTE <i>ET AL</i> (43). REIMPRESO CON AUTORIZACIÓN.....	8
ILUSTRACIÓN 6: PERFILES RVA DE ALMIDONES DE TRIGO WAXY (2% AM), NORMAL (34% AM) Y DE ALTA AMILOSA (43% AM). BLAZEK <i>ET AL</i> (44). REPRODUCIDO CON AUTORIZACIÓN .	9
ILUSTRACIÓN 7: GELATINIZACIÓN DE DIFERENTES MUESTRAS DE ALMIDÓN A 115°C. A, MAÍZ WAXY, B, MANDIOCA <i>CROSS- LINKED</i> , C, PATATA, D, PATATA <i>CROSS- LINKED</i> . REIMPRESO DE VAN DE VELDE <i>ET AL</i> , 2002 (28). CON AUTORIZACIÓN.....	10
ILUSTRACIÓN 8: PERFILES RVA DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS Y HARINAS DE ARROCES DE VARIEDAD ÍNDICA Y JAPÓNICA. TOMADO DE LIN <i>ET AL</i> , 2011 (42). REPRODUCIDO CON AUTORIZACIÓN.....	16
ILUSTRACIÓN 9. CURVAS RVA DE HARINAS DE DIFERENTES LÍNEAS DE <i>AMARANTHUS HYPOCONDRIACUS</i> Y <i>AMARANTHUS CAUDATUS</i> . TOMADO DE KAUR <i>ET AL</i> , 2010 (55). REPRODUCIDO CON AUTORIZACIÓN.....	17
ILUSTRACIÓN 10. GRÁFICO DE BARRAS DE CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN TOTAL (AT) EN TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS.	40
ILUSTRACIÓN 11. GRÁFICO DE BARRAS DE CONCENTRACIONES DE AMILOSA EN MUESTRAS ANALIZADAS.....	43
ILUSTRACIÓN 12. GRÁFICO DE BARRAS DE CONCENTRACIONES DE ALMIDÓN RESISTENTE (EN MUESTRA TOTAL O ALMIDÓN TOTAL) EN MUESTRAS ANALIZADAS.....	47

ILUSTRACIÓN 13. GRÁFICOS DE DISPERSIÓN Y REGRESIÓN LINEAL DE ARAT Y ARMT EN FUNCIÓN DE LA AT, AMAT, AMMT Y PROTEÍNAS.	49
ILUSTRACIÓN 14. PERFIL RVA DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN RIBATEJO, DE GRANULOMETRÍA GRUESA Y FINA.	52
ILUSTRACIÓN 15. PERFIL RVA DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN SADO, DE GRANULOMETRÍA GRUESA Y FINA.	53
ILUSTRACIÓN 16. PERFIL RVA DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD JAPÓNICA, REGIÓN SADO, DE GRANULOMETRÍA GRUESA Y FINA.	54
ILUSTRACIÓN 17. PERFIL RVA DE MUESTRAS PSEUDOCEREALES DE LAS PROVINCIAS DE JUJUY Y SALTA, Y MAÍZ DE LA PROVINCIA DE JUJUY.	62
ILUSTRACIÓN 18. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE MUESTRAS EN DOS COMPONENTES PRINCIPALES.	67
ILUSTRACIÓN 19. GRÁFICO DE PESOS DE CADA PARÁMETRO MEDIDO EN LOS DOS COMPONENTES PRINCIPALES.	69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. MUESTRAS DE ESPECIES DE <i>AMARANTHUS SPP</i> ANALIZADAS POR DIFERENTES AUTORES.	13
TABLA II. MUESTRAS DE ESPECIES DE QUÍNOA (<i>CHENOPODIUM QUINOA</i> WILLD.) ANALIZADAS POR DIFERENTES AUTORES.	13
TABLA III. ARROZ ÍNDICA DE ORIGEN CHINO, ANALIZADO POR LI-JIA ZHU ET AL, 2011 (48)..	13
TABLA IV. DATOS DE ARROCES DE VARIEDAD ÍNDICA Y JAPÓNICA ANALIZADOS POR ACQUISTUCCI <i>ET AL</i> , 2009 (49).	13
TABLA V. MUESTRAS DE MAÍZ (<i>ZEA MAYS</i> L.) ANALIZADAS POR DIVERSOS AUTORES.	14
TABLA VI: CONCENTRACIONES DE PROTEÍNAS TOTALES Y AMINOÁCIDOS DE MUESTRAS DE QUÍNOA, MAÍZ Y ARROCES DE DIFERENTES AUTORES.	15
TABLA VII: IDENTIFICACIÓN DE PSEUDOCEREALES ENSAYADOS DE LAS PROVINCIAS ARGENTINAS DE JUJUY Y SALTA	19
TABLA VIII. IDENTIFICACIÓN DE MAÍZ ENSAYADO DE LA PROVINCIA ARGENTINA DE JUJUY.	19
TABLA IX. DATOS CORRESPONDIENTES A LAS MUESTRAS DE ARROCES DE LAS REGIONES PORTUGUESAS DEL RIBATEJO Y SADO.	20
TABLA X. DATOS DE CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS DE LOS PSEUDOCEREALES.	29
TABLA XI. DATOS DE CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS DE ARROCES DE VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN RIBATEJO, AÑO 2009.	30
TABLA XII. DATOS DE CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS DE ARROCES DE VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN RIBATEJO, AÑO 2010.	31
TABLA XIII. DATOS DE CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS DE ARROCES DE VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN SADO	32
TABLA XIV. DATOS DE CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS DE ARROCES DE VARIEDAD JAPÓNICA, REGIÓN SADO	33
TABLA XV. MEDIAS, ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y TEST DE CONTRASTE DE PROTEÍNAS Y AA DE ARROZ POR MUESTRA TOTAL.	34
TABLA XVI. MEDIAS, ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y TEST DE CONTRASTE DE PROTEÍNAS Y AA DE MAÍZ Y PSEUDOCEREALES POR MUESTRA TOTAL	35
TABLA XVII. MEDIAS, ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y TEST DE CONTRASTE DE PROTEÍNAS Y AA DE ARROZ POR CANTIDAD DE PROTEÍNAS.	36
TABLA XVIII. MEDIAS, ANÁLISIS DE LA VARIANZA Y TEST DE CONTRASTE PROTEÍNAS Y AA DE PSEUDOCEREALES POR CANTIDAD DE PROTEÍNAS.	36

TABLA XIX. CONCENTRACIONES DE AT, AM, ARAT Y ARMT EN MUESTRAS DE PSEUDOCEREALES DE LAS PROVINCIAS DE JUJUY Y SALTA.	38
TABLA XX. CONCENTRACIONES DE AT, AM, ARAT Y ARMT EN MUESTRA DE MAÍZ DE LA PROVINCIA DE JUJUY.	38
TABLA XXI. CONCENTRACIONES DE AT, AM, ARAT Y ARMT EN MUESTRAS ARROZ DE LA VARIEDAD ÍNDICA DE LA REGIÓN RIBATEJO, PORTUGAL.	38
TABLA XXII. CONCENTRACIONES DE AT, AM, ARAT Y ARMT EN MUESTRAS ARROZ DE LA VARIEDAD ÍNDICA DE LA REGIÓN SADO, PORTUGAL.	39
TABLA XXIII. CONCENTRACIONES DE AT, AM, ARAT Y ARMT EN MUESTRAS DE ARROZ DE LA VARIEDAD JAPÓNICA DE LA REGIÓN SADO, PORTUGAL.	39
TABLA XXIV. DETALLE DE CONCENTRACIONES DE ALMIDÓN TOTAL (G/100 G MUESTRA, MEDIA \pm DE) EN MUESTRAS AGRUPADAS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN. TEST DE SIGNIFICANCIA DE DUNCAN, $\alpha=0,05$	40
TABLA XXV. DETALLE DE CONCENTRACIONES DE AMILOSA (G/100 G AT, MEDIA \pm DE) EN MUESTRAS AGRUPADAS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN. TEST DE SIGNIFICANCIA DE DUNCAN, $\alpha=0,05$	43
TABLA XXVI. DETALLE DE CONCENTRACIONES DE AMILOSA (G/100 G MUESTRA, MEDIA \pm DE) EN MUESTRAS AGRUPADAS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN. TEST DE SIGNIFICANCIA DE DUNCAN, $\alpha=0,05$	44
TABLA XXVII. DETALLE DE CONCENTRACIONES DE ALMIDÓN RESISTENTE (G/100 G AT, MEDIA \pm DE) EN MUESTRAS AGRUPADAS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN. TEST DE SIGNIFICANCIA DE DUNCAN, $\alpha=0,05$	46
TABLA XXVIII. DETALLE DE CONCENTRACIONES DE ALMIDÓN RESISTENTE (G/100 G MUESTRA, MEDIA \pm DE) EN MUESTRAS AGRUPADAS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN. TEST DE SIGNIFICANCIA DE DUNCAN, $\alpha=0,05$	46
TABLA XXIX. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE LOS COMPONENTES DE TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS Y LOS PORCENTAJES DE ALMIDÓN RESISTENTE, $\alpha=0,05$	50
TABLA XXX. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE ARROZ VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN RIBATEJO, A PARTIR DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA FINA.	51
TABLA XXXI. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE ARROZ VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN RIBATEJO, A PARTIR DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA GRUESA.	51
TABLA XXXII. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE ARROZ VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN SADO, A PARTIR DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA FINA. ...	52

TABLA XXXIII. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE ARROZ VARIEDAD ÍNDICA, REGIÓN SADO, A PARTIR DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA GRUESA.	53
TABLA XXXIV. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE ARROZ VARIEDAD JAPÓNICA, REGIÓN SADO, A PARTIR DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA FINA.	54
TABLA XXXV. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE ARROZ VARIEDAD JAPÓNICA, REGIÓN SADO, A PARTIR DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA GRUESA.	54
TABLA XXXVI. VALORES DE PKV DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA ±DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	56
TABLA XXXVII. VALORES DE TGV DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	56
TABLA XXXVIII. VALORES DE BDV DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	57
TABLA XXXIX. VALORES DE FV DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	58
TABLA XL. VALORES DE SBV DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	58
TABLA XLI. VALORES DE PKT DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	59
TABLA XLII. VALORES DE PST DE LAS MUESTRAS DE ARROZ, EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD REGIÓN Y GRANULOMETRÍA.....	60
TABLA XLIII. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRAS DE PSEUDOCEREALES DE LA PROVINCIA DE JUJUY, ARGENTINA.....	61
TABLA XLIV. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRA DE QUÍNOA DE LA PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA.....	61
TABLA XLV. DETALLE DE PARÁMETROS RVA DETERMINADOS EN MUESTRA DE MAÍZ DE LA PROVINCIA DE JUJUY, ARGENTINA.....	61
TABLA XLVI. COMPARACIÓN DE VALORES DE PKV DE TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS (GRANULOMETRÍA FINA), EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN.....	63
TABLA XLVII. COMPARACIÓN DE VALORES DE BDV DE TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS (GRANULOMETRÍA FINA), EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN.....	64

TABLA XLVIII. COMPARACIÓN DE VALORES DE FV DE TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS (GRANULOMETRÍA FINA), EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN.....	64
TABLA XLIX. COMPARACIÓN DE VALORES DE PKT DE TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS (GRANULOMETRÍA FINA), EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN.....	65
TABLA L. COMPARACIÓN DE VALORES DE PST DE TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS (GRANULOMETRÍA FINA), EXPRESADOS COMO MEDIA +DE Y AGRUPADOS POR ESPECIE, VARIEDAD Y REGIÓN.....	66
TABLA LI. TABLA DE PESO DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LOS DOS COMPONENTES PRINCIPALES.....	69
TABLA LII. DETALLES DE MUESTRAS DEL GÉNERO <i>AMARANTHUS</i> CLASIFICADAS POR REFERENCIA, PAÍS, AÑO DE COLECTA, TIPO Y NOMENCLATURA EMPLEADA EN ESTE TRABAJO.....	72
TABLA LIII. DETALLES DE MUESTRAS DE QUÍNOA (<i>CHENOPODIUM QUINOA</i> WILLD.) CLASIFICADAS POR REFERENCIA, PAÍS, AÑO DE COLECTA, TIPO Y NOMENCLATURA EMPLEADA EN ESTE TRABAJO.....	73
TABLA LIV. DETALLES DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD ÍNDICA, CLASIFICADAS POR REFERENCIA, PAÍS, AÑO DE COLECTA, TIPO Y NOMENCLATURA EMPLEADA EN ESTE TRABAJO.	74
TABLA LV. DETALLES DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD JAPÓNICA, CLASIFICADAS POR REFERENCIA, PAÍS, REGIÓN, NOMBRE INDIVIDUAL, AÑO DE COLECTA, TIPO Y NOMENCLATURA EMPLEADA EN ESTE TRABAJO.	75
TABLA LVI. DETALLES DE MUESTRAS DE MAÍZ DE BRASIL, REGIÓN SANTA CATARINA, AÑO DE COSECHA 2008/2009, UARROTA Y COLABORADORES (50) CLASIFICADAS POR VARIEDAD, TIPO Y NOMENCLATURA EMPLEADA EN ESTE TRABAJO.	75
TABLA LVII. DETALLES DE MUESTRAS DE MAÍZ DE VARIOS AUTORES, CLASIFICADAS POR REFERENCIA, PAÍS, VARIEDAD, AÑO DE COLECTA, TIPO Y NOMENCLATURA EMPLEADA EN ESTE TRABAJO.....	76
TABLA LVIII. CONTENIDO DE AT, AMAT, Y FDT EN MUESTRAS DEL GÉNERO <i>AMARANTHUS</i> TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	78
TABLA LIX. CONTENIDO DE AT, AMAT, ARAT Y FDT EN MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD ÍNDICA, TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	78
TABLA LX. CONTENIDO DE AT, AMAT, Y ARAT EN MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD JAPÓNICA, TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	79

TABLA LXI. CONTENIDO DE AT, ARAT Y FDT EN MUESTRAS DE MAÍZ, TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	79
TABLA LXII. CONTENIDO DE AT, AMAT Y FDT EN MUESTRAS DE QUÍNOA, TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	80
TABLA LXIII. CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN MUESTRAS DEL GÉNERO <i>AMARANTHUS</i> , DE ORIGEN PERUANO, TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	81
TABLA LXIV. CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD ÍNDICA, DE ORIGEN CHINO, TOMADAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	81
TABLA LXV. CONTENIDO DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD ÍNDICA, OBTENIDAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (ARZ-IND-).	81
TABLA LXVI. CONTENIDO DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE MUESTRAS DE ARROZ, VARIEDAD JAPÓNICA, OBTENIDAS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (ARZ-JAP- ITA- 2008-).	81
TABLA LXVII. CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN MUESTRAS DE MAÍZ, OBTENIDOS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	82
TABLA LXVIII. CONTENIDO DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN MUESTRAS DE MAÍZ (MZ- XXX-EUA-), ORGANIZADOS POR AÑO, OBTENIDOS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	83
TABLA LXIX. CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN MUESTRAS DE QUÍNOA, OBTENIDOS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	83
TABLA LXX. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN MUESTRAS DE QUÍNOA, OBTENIDOS DE LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	83

RESUMEN

Harinas libres de gluten como las provenientes del arroz, el maíz y pseudocereales como la quínoa y el amaranto son importantes de caracterizar como materia prima, no sólo para la elaboración de productos destinados a quienes padecen enfermedades relacionadas a la intolerancia al gluten, sino también en el impacto de las mismas en la salud humana cuando son consumidas por la población en general, principalmente en la posibilidad de influir en el aporte energético o la aparición de desórdenes metabólicos. Estas cuestiones son siempre importantes de analizar cuando se trata de materias primas con cantidades muy altas de hidratos de carbono, representados en este caso por el almidón. Pero no solo lo relacionado con la nutrición y la salud es importante de analizar. Cuando de factibilidad en la utilización de materias primas se habla, el componente tecnológico es muy significativo. La temperatura de gelatinización y de retrogradación del almidón, parámetros visco-elásticos, entre otros, son factores que afectan la calidad del producto final elaborado a partir de farináceos, cuya utilización en productos como los panificados representa en sí mismo un desafío tecnológico muy importante, afectado por la necesidad de mimetizar los efectos tecnológicos del gluten ausente.

Para llevar a cabo lo presentado, se pretende realizar un análisis composicional de las muestras, incluyendo determinaciones de las concentraciones de macronutrientes, tales como proteínas y almidón, así como también de las concentraciones de amilosa y amilopectina que componen la fracción amilácea. Las mencionadas determinaciones serán complementadas con ensayos fisicoquímicos de evaluación de fracciones de almidón resistente y digerible, así como también ensayos de viscosidad. Todo esto será analizado y vinculado a los datos disponibles de características botánicas propias tales como el tamaño promedio de amiloplasto de cada tipo de grano y su cristalinidad, entendida como la manera en que las fracciones de amilosa y amilopectina se disponen en el paquete amiláceo. Los datos obtenidos serán entrecruzados con la finalidad de determinar si a partir de todo lo estudiado es posible inferir cuáles son las características de las harinas analizadas y el impacto de cada una de ellas cuando son utilizadas para la elaboración de productos alimentarios, ya sea por la influencia en la nutrición y la salud del consumidor o por los efectos de la interacción de las harinas con otros componentes empleados en la elaboración del alimento.

Palabras clave: Harinas, Productos libres de gluten, maíz, quínoa, amaranto, arroz, almidón.

SUMMARY

Gluten-free flours such as those from rice, corn and pseudocereals as quinoa and amaranth are important to characterize as raw material, not only for preparation of products for those who suffer diseases related to gluten intolerance, but also because their intake can impact on human health, mainly affecting the energy content of the diet or the risk of associated metabolic disorders. These issues are always important to analyze in the case of raw materials with very high amounts of carbohydrates, here represented by the starch. But not only the topics related to nutrition and health are important to analyze. When the feasibility of using these materials is analyzed, the technological features are very significant. The temperature of gelatinization and retrogradation of starch, viscoelastic parameters, among others, are factors that affect the quality of the final product. For example, baking these flours represents a major technological challenge, as a result of the need to mimic the technological effects of the absent gluten.

To carry out the presented above, compositional analysis of gluten free flour samples will be performed, including macronutrient determinations, such as proteins and starch, as well as the measurement of amylose and amylopectin fractions that compose the starch. The above measurements will be complemented with physicochemical tests to evaluate the resistant and digestible starch fractions, as well as visco-analysis. All this parameters will be analyzed and linked to the available botanical data, such as the average size of amyloplast of each type of grain and its crystallinity. The data obtained will be analyzed in order to determine the factors who infer the characteristics of the flours analyzed and the impact of each when used for food processing, either by the influence on nutrition and health of the consumer or the effects of the interaction of the flour with other ingredients used in food processing.

Keywords: flour, gluten free products, corn, quinoa, amaranth, rice, starch.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Los cereales libres de gluten, entre los que se destacan el maíz y el arroz, son ampliamente consumidos por la población en la alimentación humana. El arroz es una de las fuentes de carbohidratos más importantes para las poblaciones asiáticas (1) y es consumido cotidianamente por más de la mitad de la población mundial (2), mientras que el maíz lo es para muchas poblaciones occidentales, como las encontradas en Mesoamérica y la Región Andina, siendo consumido desde tiempos ancestrales (3).

En lo que al arroz respecta, hay varios tipos de variedades. La variedad índica es muy popular a nivel mundial, su cocción tarda un tiempo mayor que otras variedades pero luego es obtenido un producto poco pegajoso (4). Japoneses y coreanos prefieren el consumo de arroz de variedad japónica, a causa de su moderada elasticidad y pegajosidad, lo cual puede ser atribuido a su bajo contenido de amilosa (4). Existe una tercera variedad entre las más consumidas, constituida por la variedad de arroz glutinoso, la cual es generalmente usada en productos listos para el consumo como *crackers* de arroz y pasteles de arroz al vapor (4).

Existen además fuentes de hidratos de carbono diferentes a la de los cereales, entre las que encontramos a los pseudocereales, como la quínoa y el amaranto. La denominación “pseudocereal” se justifica en que estos granos no pertenecen a la familia *Poaceae* (gramíneas) como los cereales, aunque el empleo de los pseudocereales en la nutrición humana es similar a la de los primeros (5). La quínoa y el amaranto están siendo estudiadas por su gran potencialidad en la alimentación humana, como por ejemplo su excelente perfil de aminoácidos y concentración de proteínas (6-8), además de las pocas exigencias de recursos para su crecimiento (9). De estas, quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y amaranto (*Amaranthus spp.*) han adquirido una singular importancia, por la calidad de sus proteínas (10-13), su riqueza en vitaminas y minerales (12) y por tratarse de cultivos ancestrales de la región andina sudamericana (11-13). Son además importantes fuentes de vitaminas y minerales, y se ha encontrado además que poseen componentes como polifenoles, fitosteroles y flavonoides, todos ellos con probables beneficios nutracéuticos (14). Poseen además una interesante proporción de ácidos grasos Omega 3, 6 y 9, así como un contenido notable de Vitamina E (10). Sus mayores productores son Bolivia, Perú y Ecuador (15). El mercado de estos pseudocereales tiene un potencial económico interesante que es necesario explorar, sin olvidar la relevancia que están adquiriendo a nivel interna-

cional (16, 17). Existe la necesidad de difundir su consumo, no solo debido a las características nutritivas y el valor cultural que tienen, sino también como alternativa a la diversificación productiva (13).

Al igual que los cereales (pertenecientes a la familia de las gramíneas) los pseudocereales poseen un alto contenido de almidón y similar empleo en la alimentación que estos (10, 11). Pero a diferencia de algunos de ellos, la composición proteica de los pseudocereales la constituyen principalmente globulinas y albúminas, no encontrándose cantidades importantes de prolaminas ni glutelinas (11, 15), grupo de proteínas que, en el caso del trigo (en el que reciben el nombre de gliadinas y gluteninas) son los responsables de la constitución de la red de gluten en la mayoría de los productos de panificación (18). Aunque la ausencia de gluten es una desventaja desde el punto de vista tecnológico, es sin embargo muy importante a la hora de realizar alimento para quienes padecen la enfermedad celíaca (19).

Hoy en día, hay un creciente interés en los productos libres de gluten, motivado por la necesidad de encontrar alternativas alimentarias para quienes padecen enfermedad celíaca, desorden en el que se generan daños a la mucosa del intestino delgado a causa de una reacción inmunológica a la proteína gliadina del trigo (que durante el proceso de panificación conforma el gluten conjuntamente con la glutenina) y también las prolaminas de centeno, cebada y probablemente avena, que altera la absorción de nutrientes (20-23). La única manera de sobrellevar esta enfermedad en la actualidad es llevando una dieta estricta libre de gluten de por vida. El gluten, sin embargo, es muy importante en el proceso de panificación, pues es el responsable de la retención de gas para obtener el volumen y la textura deseada en el pan. Es necesario para formar una red proteica fuerte capaz de conferir propiedades viscoelásticas adecuadas. El remplazo de los cereales mencionados y por lo tanto del gluten representa una de los desafíos más importantes a vencer si se desea obtener panes libres de gluten (19).

1.2. Carbohidratos, harinas y almidón en la nutrición humana

Los cereales y pseudocereales mencionados son una fuente apreciable de carbohidratos, los cuales son una importante fuente de energía en la dieta humana (24). Ellos aportan en general un 45% del requerimiento energético en países desarrollados y más del 85% en países en vías de desarrollo (24). Los carbohidratos son considerados una fuente fundamental de alimentación, de primera necesidad económica y versátil de la dieta (24). El tipo y composición de los carbohidratos en la dieta varía ampliamente entre los diferentes productos alimentarios (24). Los carbohidratos pueden encontrarse predominantemente en la forma de azúcares (monosacáridos y disacáridos) y almidón o polisacáridos no amiláceos (24).

Los carbohidratos pueden ser clasificados de acuerdo a: grado de polimerización (GP), identidad de los azúcares constituyentes y tipo de enlaces glicosídicos presentes (25). Los azúcares son mayormente absorbidos en el intestino delgado y, con la excepción de la fructosa, provocan una respuesta glucémica considerable (25). El único azúcar no vegetal presente en la dieta humana en cualquier cantidad es lactosa (25). Los carbohidratos pueden ser clasificados funcionalmente en base a los efectos glicémicos post prandiales, dependiendo principalmente de la tasa de ruptura y absorción del carbohidrato en el intestino (26). Factores como la relación amilosa amilopectina del componente amiláceo, porcentaje de humedad presente, otros componentes como fibra, grasas, proteínas, método de procesamiento tiempo individual de vaciado gástrico y cantidad total de alimento consumida pueden afectar el efecto glicémico post prandial (26).

El almidón es la principal fuente de carbohidratos en la dieta humana (24, 27). Se encuentra en muchos tejidos vegetales como gránulos, de tamaño usualmente comprendido entre los 1 y 100 μm de diámetro, dependiendo del tipo de planta en que se encuentra. Químicamente, los almidones están compuestos por unidades de $\alpha\text{-D}$ -glucopiranosidos unidos por enlaces $\alpha\text{-D}$ -(1 \rightarrow 4) y/o $\alpha\text{-D}$ -(1 \rightarrow 6), formando dos tipos de macromoléculas: amilosa, poliglucano de cadena lineal compuesto por enlaces $\alpha\text{-D}$ -(1 \rightarrow 4) glicosídicos; y amilopectina, un glucano ramificado compuesto por enlaces glicosídicos de tipo $\alpha\text{-D}$ -(1 \rightarrow 4) y $\alpha\text{-D}$ -(1 \rightarrow 6).

Los diferentes tipos de almidones difieren en tamaño y forma dependiendo del origen botánico. Con la finalidad de comparar el efecto del tamaño y la forma en el comportamiento de los productos amiláceos, grupos como el de Van de Velde *et al* (28) realizaron análisis de imágenes de diferentes fuentes de almidones (Ilustración 1) y realizaron pruebas de calentamiento de almidones nativos y su contraparte modificada por entrecruzamiento (*cross-linking*), representadas en la Ilustración 7. El almidón de papa consiste principalmente en grandes gránulos ovales con tamaño entre 10 a 75 μm (28). Los gránulos de almidón trigo son un poco más pequeños y tienen una forma redondeada. Los gránulos de otros almidones como maíz, mandioca, poroto chino y batata son más pequeños, con un tamaño granular entre 5 y 30 μm . Los gránulos de almidón de maíz tienen una forma truncada típica. El almidón de mandioca consiste en una mezcla de gránulos truncados y redondos, donde los gránulos más grandes son redondeados y los más pequeños de forma truncada. Los gránulos de almidón de poroto chino poseen mayormente una forma ovalada. Los gránulos de batata tienen formas redondeadas y truncadas, comparables con aquellos de mandioca, siendo los dos almidones provenientes de raíces (28).

El diámetro promedio de los gránulos de almidón de diferentes cultivares de amaranto, determinados por microscopía electrónica de barrido fue de 1,05 μm a 1,32 μm (29). En las

micrografías típicas de los granos, obtenidas por X. Kong *et al* (29), mostradas en la Ilustración 2, pueden observarse gránulos de almidón de forma poligonal.

La estructura granular de los almidones de arroz de diferentes cultivares de la variedad índica mostraron una variación significativa en tamaño y forma cuando fueron observadas por microscopía electrónica de barrido (30). El rango de tamaños encontrado fue de 1,5 μm a 5,8 μm . Se observó que los gránulos de almidón tenían formas poliédricas e irregulares (Ilustración 3).

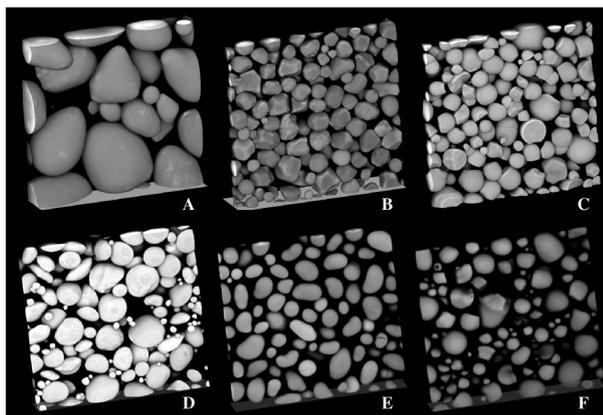


Ilustración 1: Imágenes en 3D de gránulos de almidón de (A) patata, (B) maíz, (C) mandioca, (D) trigo, (E) *Vigna radiata* “Poroto chino” y (F) batata. Van de Velde *et al*, 2002 (28). Reproducido con autorización.

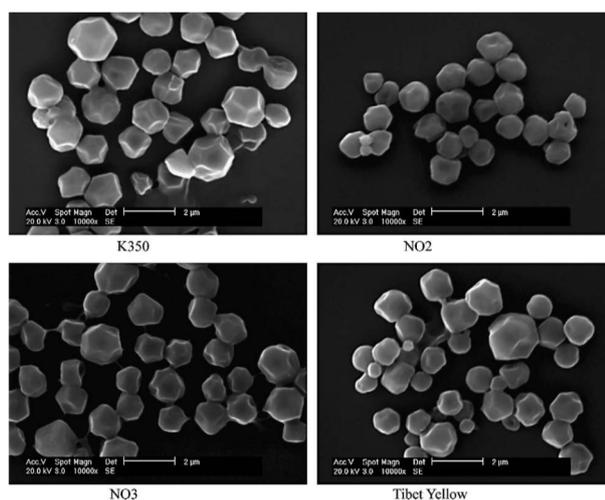


Ilustración 2: Imágenes de microscopía de barrido de almidones de amaranto de diferentes cultivares. Tomado de X. Kong *et al*, 2009 (29). Con autorización.

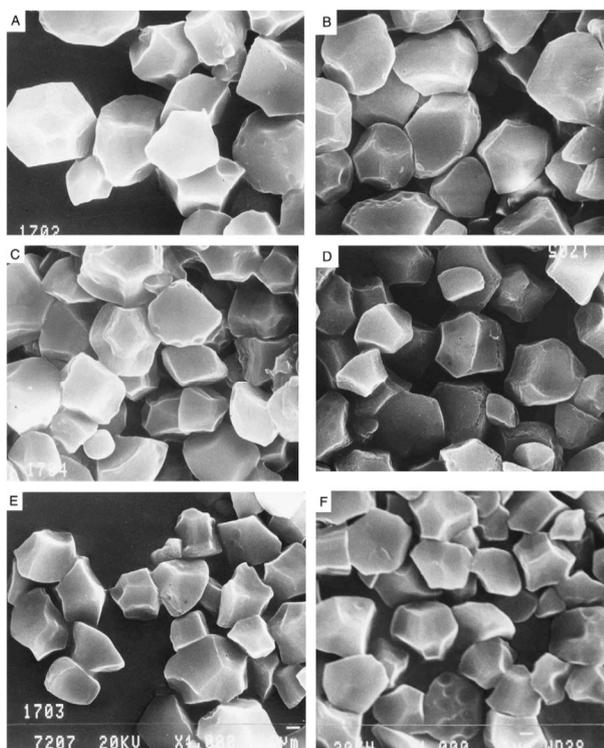


Ilustración 3: Microscopía de barrido (1000X) de gránulos de almidón de arroz. Tomada de Singh *et al*, 2006 (30). Con autorización.

El interés de los nutricionistas y la industria de alimentos en el almidón resistente está incrementándose y ésta condujo a una investigación extensa de la contribución del AR a los componentes carbohidratos no digeribles de la dieta y su implicación fisiológica (31-33). En 1992, una acción concertada de investigadores europeos definió como almidón resistente a la suma del almidón de productos de degradación del almidón no absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos (25, 27, 31-34). Este concepto cambió completamente el entendimiento sobre la acción de los carbohidratos en la dieta, porque hasta antes de los años 80, se pensaba que los almidones eran completamente digeridos y absorbidos en el intestino delgado humano (32, 35). Tres consideraciones fisiológicas están ligadas a esta definición: Primero, el almidón resistente está compuesto no sólo por polímeros de alto peso molecular, sino que también puede incluir dextrinas, pequeños oligosacáridos e incluso glucosa, todas derivadas de almidón digerido que ha escapado a la absorción (32). Segundo, los almidones resistentes alcanzan el intestino grueso humano cuando han sido metabolizados por la compleja microflora colónica (32). Finalmente, la cantidad de almidón resistente en el alimento (por ejemplo, la cantidad que alcanza el colon) depende de la fisiología del individuo, y podría verse afectada por la edad (32). Alimentos crudos y procesados contienen cantidades apreciables de AR, dependiendo del origen botánico del almidón y el tipo de procesamiento (31). La relación amilosa/amilopectina, la forma física, el grado de gelatinización, tratamientos térmicos, enfria-

miento y almacenamiento afectan el contenido de almidón resistente en alimentos (31). Fermentación colónica, crecimiento bacteriano, glicemia post-prandial, volumen fecal, tiempo de tránsito y valor energético de los alimentos son todos afectados por la presencia de almidón resistente (27, 31). El almidón resistente puede estar formado por almidón retrogradado, almidón físicamente inaccesible, complejos almidón nutriente, almidón químicamente modificado y almidón que es indigerible a causa de la inhibición enzimática (31). El almidón retrogradado se encuentra en los residuos de la fibra dietética analíticamente determinada, con lo cual contribuye a una sobre-estimación de este último en los alimentos amiláceos (31).

Se han descrito con anterioridad métodos para la determinación de almidón resistente en residuos de fibra dietaria. Sin embargo, el contenido de almidón resistente en alimentos es mayor a los calculados como residuos de fibra, porque sólo una fracción del almidón resistente total (amilosa retrogradada) permanece en estos residuos (31).

1.3. Propiedades tecnológicas. Parámetros de pasting y viscosidad

El almidón es altamente importante en la nutrición humana por su contribución calórica en la dieta humana, pero es también importante como componente funcional en la formulación de alimentos y otros productos. A menudo, es utilizado para dar varias propiedades de textura a los alimentos. La mayoría de estas propiedades se realizan luego de la cocción de los gránulos de almidón en exceso de agua para hidratar y dispersar los polímeros amiláceos (36, 37). Los procesos de cocción, los cuales proveen la consistencia deseada, están relacionados con la gelatinización del almidón (37). Durante el tratamiento térmico, los gránulos de almidón son gelatinizados, perdiendo su cristalinidad y su organización estructural (36, 37). Se acepta en general que el incremento en la viscosidad observado durante el calentamiento del almidón en agua en un amilógrafo o RVA tiene como principal causa el hinchamiento de los gránulos, mientras que la ruptura (*Breakdown*, BDV) y caída de la viscosidad está relacionada con la rigidez o fragilidad de los gránulos hinchados. Cuando una suspensión de almidón en agua es calentada hasta el pico de viscosidad (*Peak viscosity*, PKV) en un RVA casi toda la amilosa ha lixiviado del gránulo (38). Estos fenómenos pueden ser observados en una curva típica de viscoanálisis en RVA como la que se muestra en la Ilustración 4.

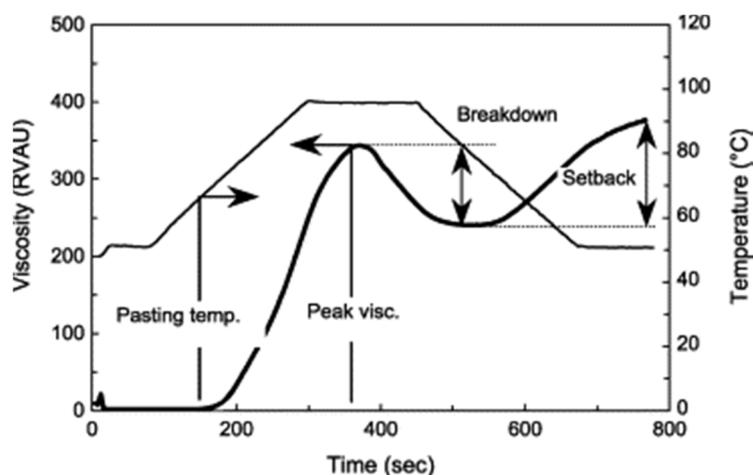


Ilustración 4. Gráfico de perfil RVA. Tomado de Funami *et al*, 2005 (39). Con autorización.

Durante el enfriamiento, las moléculas de almidón disgregadas forman primeramente un gel, y luego retrogradan gradualmente hasta estructuras semicristalinas que son diferentes a los gránulos de almidón nativos (36). Los gránulos absorben agua y se hinchan, y la organización cristalina es irreversiblemente destruida (36), tal como se muestra en la Ilustración 7. De acuerdo con la teoría de Jenkins y Donald (1998) se produce una entrada del agua a la zona amorfa del gránulo y a un cierto nivel de hinchamiento, una tensión de ruptura es transmitida desde la región amorfa hacia la cristalina (40). Las zonas cristalinas y amorfas de un gránulo de almidón promedio se encuentran representadas en la Ilustración 5. Las moléculas de amilosa comienzan a lixiviar desde los gránulos mientras están siendo desarmadas y la viscosidad resultante se incrementa hasta un máximo (Ilustración 4), el cual corresponde al punto en el que el número de granos de almidón hinchados pero todavía intactos es el máximo (36, 41). Este máximo es seguido por un descenso en la viscosidad (Ilustración 4), mientras los gránulos se rompen y las moléculas de almidón son dispersadas en la fase acuosa. La tasa y la extensión del hinchamiento y la ruptura son dependientes del tipo y cantidad de almidón, el gradiente de temperatura, la fuerza de agitación y la composición de la mezcla (por ejemplo, presencia de lípidos y proteínas) (36). La temperatura de gelatinización de la mayoría de los almidones se encuentra entre los 60°C y los 80°C (36). Las temperaturas de *pasting* (PST) de los almidones con alto contenido de amilosa son en general más altas que aquellas con bajo contenido de amilosa debido a que la fuerza de los enlaces entre las moléculas de amilosa es alta por el efecto de los enlaces de puente hidrógeno (42).

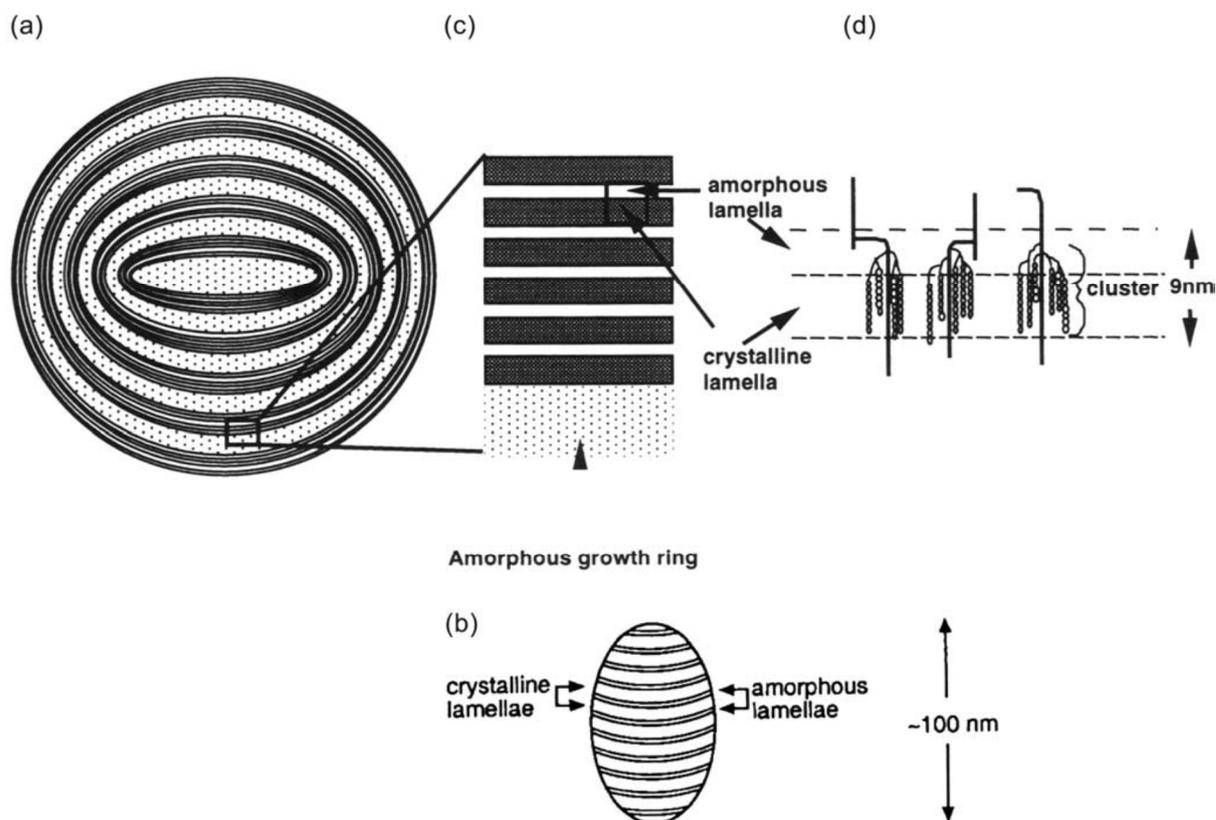


Ilustración 5: Representación esquemática del gránulo de almidón: (a) anillos de crecimiento amorfos y semi-cristalinos en un gránulo de almidón, (b) matriz de organización de zonas amorfas y cristalinas, (c) lamelas amorfas y cristalinas en un segmento y parte de un anillo de crecimiento amorfo, (d) alineamiento de dobles hélices (de las cadenas secundarias de amilopectina) dentro de una lámina cristalina y puntos de ramificación de amilopectina dentro de una lámina amorfa. Vandeputte *et al* (43). Reimpreso con autorización.

En general, hay una correlación negativa entre el contenido de amilosa del almidón y la temperatura de gelatinización y el pico de viscosidad (36, 42, 44), lo cual es consistente con el hecho de que los gránulos de almidón se hinchan con el incremento de la temperatura y la amilosa de los gránulos de almidón obstruyen el hinchamiento, observándose un descenso en los valores de pico de viscosidad (PKV) y el *breakdown* (BDV) con el incremento en el contenido de amilosa (42). Para las muestras analizadas en el estudio de Blazek *et al*, 2008 (44) para muestras de almidón de trigo con contenido de amilosa entre 35% y 43%, PKV, BDV y FV descienden con el incremento en el contenido de amilosa (Ilustración 6). Para entender este fenómeno, el grupo mencionado realizó análisis RVA a muestras de almidón de trigo waxy (2% de amilosa total), normal (34% amilosa total) y de alta amilosa (43% amilosa total), cuyos perfiles de *pasting* se muestran en la Ilustración 6. El ensayo fue realizado considerando el protocolo denominado “STD1” (tiempo total de trabajo: 13 minutos) descrito por la AACC en

su método 76-21.01 (45). El almidón de trigo waxy se caracteriza por un alto pico de viscosidad y una baja viscosidad final en comparación con almidones de contenido de amilosa normal (44). Almidones con un alto contenido de amilosa muestran picos de viscosidad más bajos que aquellos almidones normales o waxy, y una viscosidad final más alta que aquellos almidones waxy y más baja que los almidones normales (44). Almidones con contenido de amilosa por debajo del 30% muestran en general descenso en el pico de viscosidad y *breakdown* cuando se incrementa el contenido de amilosa, mientras que la viscosidad total tiende a incrementarse con el incremento en el contenido de amilosa (44). Explicando este comportamiento, Blazek *et al* (44) referencian el trabajo de Yuryev y colaboradores (46) indicando que un incremento en el contenido de amilosa del almidón haría descender la temperatura de fusión de los gránulos por la disrupción de la cristalinidad en la estructura granular, lo cual podría afectar el pico de viscosidad medido con un instrumento RVA. En contraste, la viscosidad final se incrementaría con el incremento en el contenido de amilosa hasta un umbral marcado por una determinada relación amilosa/amilopectina, sobre la cual la viscosidad final decrece lentamente (44).

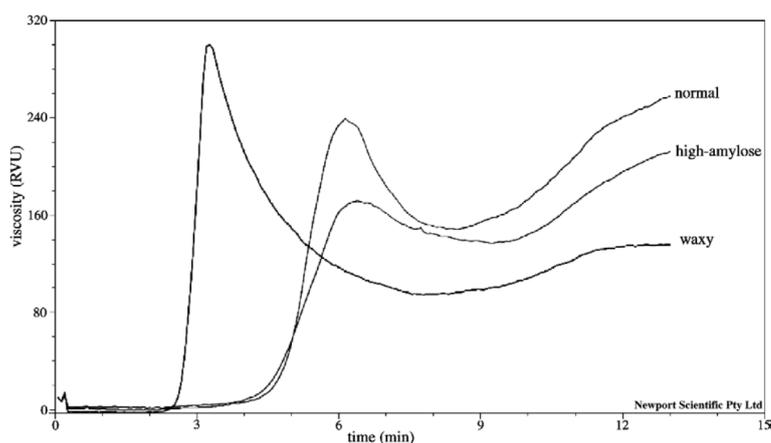
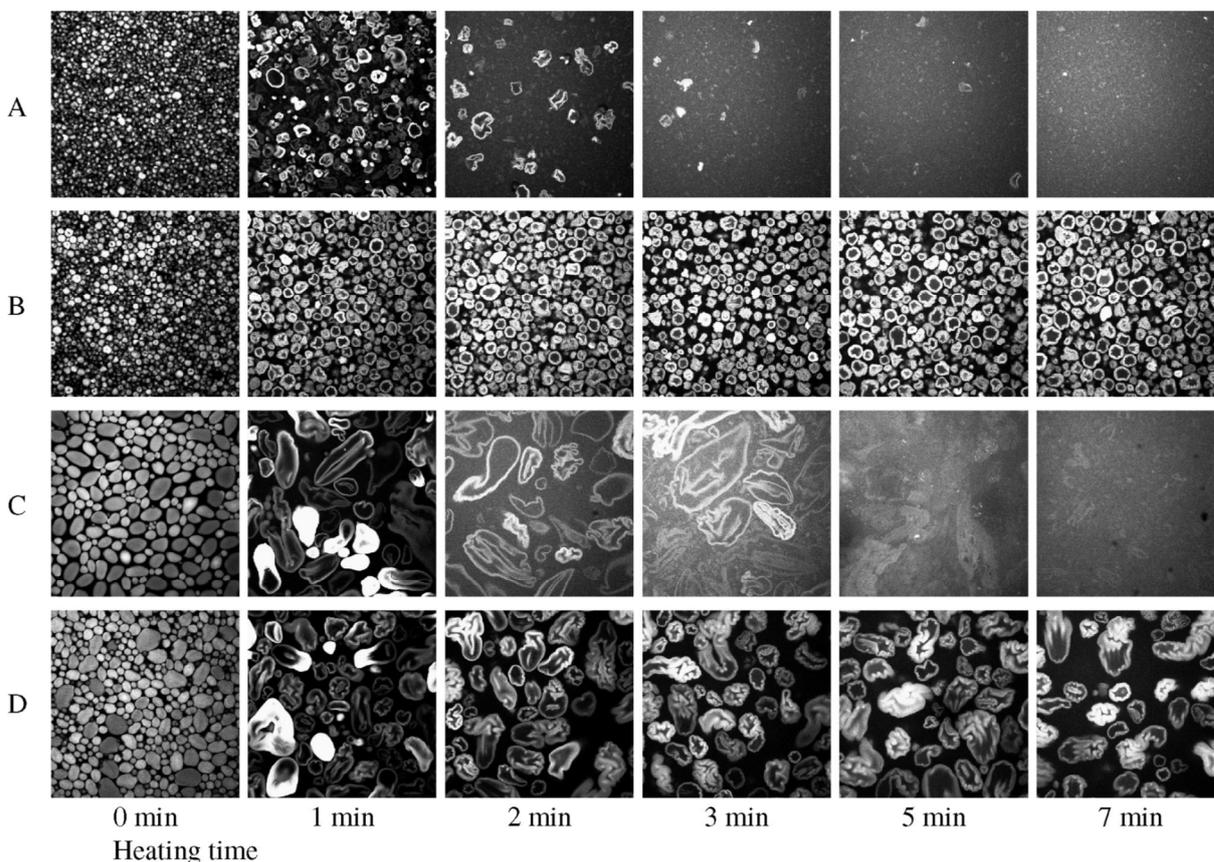


Ilustración 6: Perfiles RVA de almidones de trigo waxy (2% AM), normal (34% AM) y de alta amilosa (43% AM). Blazek *et al* (44). Reproducido con autorización

En la Ilustración 7 pueden observarse las diferentes transformaciones que sufren los gránulos de almidón de diferentes orígenes frente al calentamiento. Las muestras ilustradas corresponden a aquellas estudiadas por van de Velde *et al* (28) y cuyas estructuras microscópicas se muestran en la Ilustración 1. En estos ejemplos, la expansión de todos los almidones parece ocurrir en todos los sentidos, Los almidones de mandioca y maíz waxy se expanden igualmente a lo largo y ancho del gránulo, mientras que los gránulos ovales de papa se expanden más en longitud que en anchura. La Ilustración 7 muestra que el almidón de patata se hincha muy rápidamente y a un grado mucho mayor en comparación con el almidón de maíz waxy. Otra

observación a notar en la figura es la gran diferencia existente entre los almidones nativos de maíz waxy y papa y los almidones *cross-linked* de mandioca y papa. El entrecruzado de gránulos de almidón es aplicado para incrementar la resistencia de los gránulos a la desintegración. Esta técnica disminuye la proporción y el grado de hinchamiento y también la solubilidad. Por lo tanto, la temperatura de gelatinización aumenta, o el proceso de gelatinización sólo se inicia después de tiempos de calentamiento más largos (28).



Si el tratamiento continúa con un enfriamiento, la viscosidad se incrementa debido a la formación de un gel mantenido por interacciones moleculares que involucran a las moléculas de amilosa y amilopectina (36), comportamiento que se muestra en la Ilustración 4. En los geles que contienen alrededor de un 25% de amilosa, las moléculas de almidón forman una red que resulta en un gel firme, en contraste con los geles de almidones *waxy*, los cuales son suaves y contienen agregados, pero no redes (36). En reposo, los geles de almidón retrogradan y forman cristales insolubles, debido a la asociación de regiones lineales de glucosa ligadas en α [1 \rightarrow 4] en el polímero (36).

La retrogradación es un proceso que ocurre en un período de tiempo extenso (36). La amilosa retrograda entre algunos minutos a algunas horas, y la amilopectina a lo largo de varias horas a algunos días, dependiendo de la habilidad de las cadenas ramificadas para formar asociaciones (36). La retrogradación de la amilosa en alimentos procesados es considerada importante para las propiedades relacionadas con la pegajosidad, la capacidad de absorber agua y la digestibilidad, mientras que la retrogradación de la amilopectina es probablemente el efecto más importante en el envejecimiento de productos de panificación (36). En el arroz, la amilosa contribuye a la textura y la pegajosidad, mientras que la temperatura de gelatinización, la cocción y los parámetros de *pasting* están más relacionados con la amilopectina (36).

2. ANTECEDENTES

Con la intención de mostrar detalles de los análisis composicionales llevados a cabo por otros autores y que sirvieron como punto de comparación para las muestras en este trabajo estudiadas, fue realizada una nomenclatura para describir las muestras la cual fue empleada para identificar las muestras cuyas concentraciones de componentes son expuestas en las tablas siguientes.

2.1. Almidón total, amilosa, almidón resistente y fibra dietaria total

La Tabla I y la Tabla II muestran las concentraciones de almidón total (AT), amilosa como porcentaje de almidón total (AMAT), almidón resistente como porcentaje de almidón total (ARAT) de diferentes especies de *Amaranthus* y quínoa respectivamente. Las concentraciones de almidón total (AT) se ubican alrededor del 61% para *Amaranthus spp* y entre 52,2% y 69,2% para la quínoa. Estos pseudocereales mostraron, por lo tanto, similares concentraciones de almidón total, las cuales, al igual que en los cereales estudiados, se muestran como el componente mayoritario en las harinas. Las harinas provenientes de los granos de arroz de diferentes variedades descritas en las la Tabla III y la Tabla IV. Muestran cantidades mucho más altas de almidón total, ubicadas entre 83 y 92%. Las muestras de maíz analizadas en la Tabla V dan cuenta de una concentración de almidón total ubicada entre las concentraciones de los pseudocereales y las correspondientes a los arroces.

Las concentraciones de amilosa total (AMAT) expresadas como gramos de amilosa total por cada 100g de almidón total superan el 12,5% para las muestras de amaranto (Tabla I), lo cual es similar a las bajas concentraciones de esta macromolécula que fueron observadas en diferentes estudios realizados sobre este tipo de muestras. Lo mismo puede observarse para las muestras de quínoa (Tabla II), aunque fue posible encontrar valores máximos cercanos al 22%. Adicionalmente, no debe perderse de vista que para las muestras de quínoa las concentraciones de fibra dietaria total (FDT) son importantes, llegando hasta un 16% de la muestra total, comparables con las cantidades de proteínas totales en la misma muestra (Tabla VI). Aunque no se muestra en la información descripta, concentraciones similares fueron observadas en especies de *Amaranthus*. Las concentraciones de AMAT correspondientes a las muestras de las diferentes variedades de arroz descritas en la Tabla III y la Tabla IV muestran varios perfiles de cantidades de almidón resistente, encontrándose valores que van desde un 0% hasta el 55,3%. A pesar de esta amplitud, las concentraciones de AMAT son, por lo general, menores al 3% (ver Tabla LIX y Tabla LX en el apartado Anexos.).

Las harinas de maíz, evaluadas y enumeradas en la Tabla V muestran cantidades de ARAT que oscilan entre un 1,2% a un 2,9%.

Todas las concentraciones de AT, AMAT, FDT y/ o ARAT de cada muestra tomada de fuentes bibliográficas y agrupadas en las tablas de este apartado se encuentran descriptas entre la Tabla LVIII y la Tabla LXII del apartado de Anexos.

Tabla I. Muestras de especies de *Amaranthus spp* analizadas por diferentes autores.

REF.	MUESTRA	País	AT	AMAT
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	-	5,0-12,5
(29)	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	China	-	6,1
(29, 47)	<i>Amaranthus hypocondriacus</i> L.	China, EEUU	61,0	4,17-5,8
(29)	<i>Amaranthus paniculatus</i> L.	China	-	8,9
(47)	<i>Amaranthus pumilus</i> Raf.	EEUU	61,4	8,2

Tabla II. Muestras de especies de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) analizadas por diferentes autores.

REF.	Países	AT	AMAT	FDT
(10-12)	Bolivia, Perú	52,2-69,2	4,3-22,5	7,0-15,99

Tabla III. Arroz Índica de origen chino, Analizado por Li-Jia Zhu et al, 2011 (48).

Tipo de muestra	Nombre Individual	AT	AMAT	ARAT	F.D. total
Grano/harina	Arroz Waxy	91,6	1,9	12,8	5,1
Grano/harina	Arroz de baja amilosa	90,8	18,2	0,0	6,3
Grano/harina	Arroz de Amilosa intermedia	92,6	25,2	18,3	6,8
Grano/harina	Arroz de alta amilosa	85,4	61,9	33,4	15,2

Tabla IV. Datos de arroces de variedad Índica y Japónica analizados por Acquistucci *et al*, 2009 (49).

País	Variedad	AT	AMAT	ARAT
India, Italia	Índica	84,4-86,7	18,3-24,3	1,4-1,8
Italia	Japónica	83,0-87,5	15,5-18,9	1,0-2,8

Tabla V. Muestras de maíz (*Zea mays* L.) analizadas por diversos autores.

REF.	País	AT	AMAT	ARAT	FDT
(50)	Brasil	-	5,58-19,47	-	-
(51)	India	-	0,0 (waxy); 16,8-21,3	-	-
(52)	México	70,9-86,0	-	1,2-2,9	7,14-13,05

2.2. Proteínas totales y aminoácidos

En la Tabla VI se muestran los valores de concentración de proteínas totales y porcentajes de aminoácidos en muestras de quínoa, maíz y variedades índica y japónica de arroz. No se muestran dichos valores para muestras de *Amaranthus*, que han sido descritas como similares a las correspondientes a quínoa. Tal afirmación es revisada en el apartado de resultados y discusión.

Puede observarse en la tabla que las concentraciones de proteínas totales de quínoa son mayores que las correspondientes a las muestras de arroz y maíz, lo cual es coherente si se comparan con las concentraciones de almidón total observadas en las mismas muestras (frente a mayores concentraciones de almidón total, menores concentraciones de proteínas y vice-versa).

Las concentraciones de los aminoácidos expresadas como gramos de aminoácidos por cada 100 gramos de proteína, constituyen otro de los puntos importantes a analizar entre los materiales. Las cantidades de aminoácidos esenciales son fundamentales para un análisis nutricional de las muestras. Los datos de las muestras de maíz recopilados de los artículos referenciados en la Tabla VI muestran a la proteína de este cereal como una importante fuente de leucina (12,9 – 13,3 g/100 g PT) y prolina (8,7-9,2 g/100 g PT), mientras que el mismo análisis realizado para la proteína de quínoa la muestran como una mejor fuente de lisina (5,4 g/100 g PT). Las proteínas de arroz son buena fuente de los aminoácidos esenciales isoleucina (3,6 – 5,1 g/100 g PT var. Índica y 3,8 – 5,3 g/100 g PT var. Japónica). Entre estos mismos datos bibliográficos de muestras, puede verse que la proteína de quínoa es la más pobre en el aminoácido esencial leucina (6,0 g/100 g PT).

Debe prestarse especial atención antes de catalogar cada harina proveniente de estas muestras como buenas o malas aportantes de aminoácidos esenciales, pues todas las concentraciones informadas están referidas a un 100% de proteínas, por lo que cada concentración de aminoácidos mencionada debería ser referida al total de proteínas de cada harina. Este análisis es realizado con las muestras que fueron ensayadas para este trabajo.

Las concentraciones de proteínas y aminoácidos en muestras individualizadas son descriptas en el apartado de anexos, en Tabla LXIII a Tabla LXX.

Tabla VI: Concentraciones de proteínas totales y aminoácidos de muestras de quínoa, maíz y arroces de diferentes autores.

MUESTRA	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	<i>Oryza sativa</i> L. var. Índica	<i>Oryza sativa</i> L. var. Japónica	<i>Zea mays</i> L.
Referencia	(10-12, 53)	(48, 49)	(49)	(50, 52, 54)
País	Bolivia, Perú	China, Italia, Sri Lanka	Italia	Brasil, México, EEUU
Prot.	12,9-15,5	7,0-12,6	6,8-8,0	5,6-11,6
Ala	4,2	5,1-6,3	5,1-5,5	7,6-7,8
Arg	7,7	7,0-8,2	8,0-8,8	4,1-4,5
Asp	8,0	8,5-9,8	8,4-8,8	6,6-6,8
Cys	1,4	2,5-2,7	2,1-2,3	2,1-2,3
Glu	13,2	17,9-18,5	17,3-18,7	18,8-19,3
Gly	4,9	4,2-4,3	4,0-4,4	3,7-3,9
His	2,9	2,5-2,7	1,9-2,8	2,7-2,8
ILe	3,6	3,6-5,1	3,8-5,3	3,5-3,8
Leu	6,0	8,0-8,3	7,7-8,4	12,9-13,3
Lys	5,4	4,5-4,7	3,6-4,4	3,0-3,1
Met	2,2	2,2-2,6	2,0-2,9	2,0-2,2
Phe	4,2	4,9-5,9	5,1-6,6	5,2-5,4
Pro	0,0	3,9-4,3	3,4-4,0	8,7-9,2
Ser	4,0	5,2-5,6	5,0-5,4	4,6-5,3
Thr	3,0	3,3-4,0	3,9-4,2	3,4-3,8
Trp	1,2	-	-	0,6-0,6
Tyr	1,9	3,8-4,4	4,7-5,6	3,5-4,0
Val	4,2	5,6-6,6	6,1-6,7	4,6-4,8

2.3. Propiedades RVA

Como se muestra en la Ilustración 8, la temperatura de *pasting*, viscosidad final y *set-back* de harina y almidón de arroz de variedad Índica fueron significativamente mayores que aquellos de harina y almidón de arroz de variedad Japónica. Este fenómeno ocurre debido al alto contenido de amilosa en la variedad índica cuando es comparado con la variedad japónica (42).

El pico de viscosidad, *breakdown* y viscosidad final de almidones modificados de las dos variedades de arroz fueron significativamente mayores que aquellas de sus almidones nativos, pero los valores de *setback* y temperaturas de *pasting* de los almidones modificados de las dos variedades de arroz fueron menores que las correspondientes a los almidones, de manera coincidente con aquello descrito por Van de Velde *et al*, 2002 (28), y que se muestra en la Ilustración 8

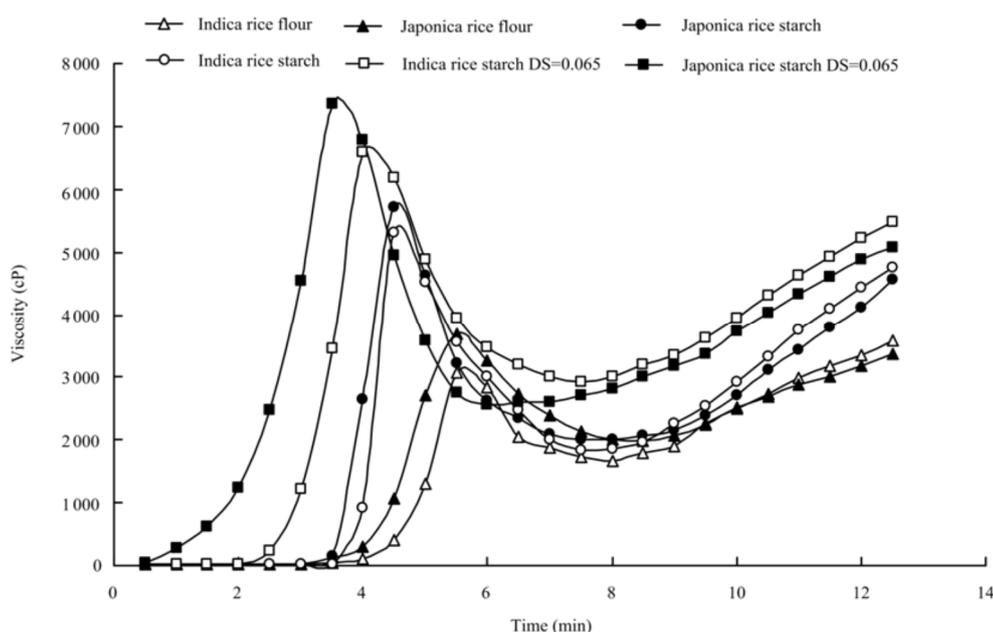


Ilustración 8: Perfiles RVA de almidones nativos y modificados y harinas de arroz de variedad Índica y Japónica. Tomado de Lin *et al*, 2011 (42). Reproducido con autorización.

En la Ilustración 9 pueden verse los gráficos RVA correspondientes a líneas de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus caudatus*, obtenidos por Kaur *et al*, 2010 (55). Las viscosidades en el *breakdown* (BDV) de todas las líneas fueron mayores que los valores de viscosidad final (55) cuando fueron realizados ensayos RVA según el protocolo STD1 de la AACC (45). La BDV está relacionada con el grado de desintegración de los gránulos y muestra la estabilidad del *pasting*.

Las viscosidades finales de ambas especies de amaranto descritas en la Ilustración 9 fueron menores que los picos de viscosidad. Los resultados revelan que las harinas de amaranto tienen una baja viscosidad final y una tendencia a la retrogradación, posiblemente debido a la ausencia o pobre presencia de amilosa (55). Las harinas de amaranto mostraron una alta viscosidad en el breakdown y un comportamiento más semejante al maíz waxy y al almidón de arroz, según los autores del trabajo citado (55). Viscosidad finales (FV) más baja que aquellas correspondientes a los picos de viscosidad (PKV) fueron observadas en maíces waxy (55).

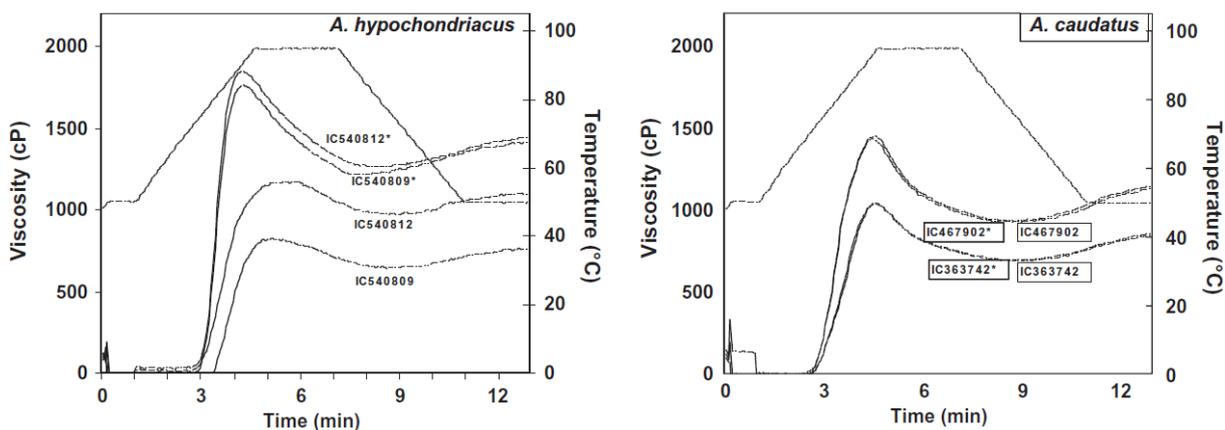


Ilustración 9. Curvas RVA de harinas de diferentes líneas de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus caudatus*. Tomado de Kaur *et al*, 2010 (55). Reproducido con autorización.

En la Ilustración 9, aquellos perfiles RVA marcados con un asterisco (*) al lado del identificador de muestra corresponden a aquellas que recibieron un tratamiento con AgNO_3 para la evaluación de la actividad amilásica. Solo las muestras no marcadas fueron motivo de análisis en este trabajo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo fue caracterizar muestras de arroces portugueses de las variedades índica y japónica, muestras argentinas de quinoa y amaranto y, de manera complementaria, una muestra argentina de maíz morado.

La caracterización pretendida se basó en dos aspectos principales: por un lado la caracterización nutricional que permita inferir el efecto que tendrán las muestras cuando sean utilizadas como alimentos por la población humana, y por otro lado la caracterización tecnológica, cuya finalidad fue la de determinar rasgos de los materiales mencionados para el desarrollo de productos alimentarios, procurando prever el comportamiento que los mismos tendrán durante su procesado.

3.2. Objetivos específicos

Para el cumplimiento del objetivo general fueron planteados dos objetivos específicos:

Determinar las concentraciones de componentes proteicos y amiláceos en las harinas de las muestras. En la determinación de componentes proteicos se ubicaron las concentraciones de proteínas totales y de aminoácidos. Respecto de los componentes amiláceos se incluyeron las concentraciones de almidón total, porcentaje de amilosa y cantidad de almidón resistente. Fue esperado que la determinación de estos dos grupos de componentes contribuya de manera efectiva en la realización de las caracterizaciones nutricionales y tecnológicas.

Evaluar las muestras a partir de ensayos rápidos de viscosidad. Fue pretendida la realización de estos ensayos en presencia de suficiente cantidad de agua con agitación y calor, para contribuir a la evaluación tecnológica de los materiales. Se buscó que el análisis de lo obtenido entregue elementos de discusión acerca del comportamiento de las harinas en condiciones básicas de procesado.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Muestras

4.1.1.1. Muestras de pseudocereales.

Tabla VII: Identificación de pseudocereales ensayados de las provincias argentinas de Jujuy y Salta

Muestra	Región	Año
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	Jujuy	2010/2011
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	Jujuy	2010/2011
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	Salta	2011

Las muestras de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) recibieron un tratamiento previo a la molienda de lavado por flujo de agua continuo para eliminar componentes antinutricionales (saponinas) presentes en las mismas. Dicho tratamiento tuvo una duración tal que todas las saponinas fueron removidas, usando como control para ello la presencia de espuma en el agua de lavado. El tiempo aproximado de lavado de los granos fue de 10 minutos hasta la desaparición de espuma en el agua de lavado. La cantidad de muestra empleada fue de 10 gramos. Inmediatamente después del lavado, se procedió a secar la muestra en estufa a temperatura de 60°C hasta que los granos quedasen secos al tacto.

4.1.1.2. Muestra de maíz

Tabla VIII. Identificación de maíz ensayado de la provincia argentina de Jujuy.

Muestra	Región	Año
<i>Zea mays</i> L.	Jujuy	2010/2011

4.1.1.3. Muestras de arroz

Las muestras de arroces portugueses fueron recolectadas en dos regiones del país en diferentes años. Aquellas muestras que coinciden en variedad, región y año corresponden a diferentes campos muestreados en la misma región, según fue constatado por los proveedores de los granos, quienes presentaron las muestras en el *Instituto Nacional de Saúde* para la realización de análisis particulares.

Los proveedores entregaron las muestras tal como son comercializadas, es decir, con posterioridad a los tratamientos de descascarado y pulido.

Tabla IX. Datos correspondientes a las muestras de arroces de las regiones portuguesas del Ribatejo y Sado.

Nombre individual	Variedad	Región	Año
Muestra 01	Indica	Ribatejo	2009
Muestra 02	Indica	Ribatejo	2009
Muestra 03	Indica	Ribatejo	2009
Muestra 04	Indica	Ribatejo	2009
Muestra 05	Indica	Ribatejo	2009
Muestra 06	Indica	Ribatejo	2010
Muestra 07	Indica	Ribatejo	2010
Muestra 08	Indica	Sado	2009
Muestra 09	Indica	Sado	2009
Muestra 10	Indica	Sado	2009
Muestra 11	Indica	Sado	2009
Muestra 12	Indica	Sado	2011
Muestra 13	Japónica	Sado	2010
Muestra 14	Japónica	Sado	2011
Muestra 15	Japónica	Sado	2011

Tanto las muestras provenientes de la provincia de Jujuy (maíz morado y quínoa) como todas las muestras de arroz, fueron provistas por el *Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge*, de Lisboa, Portugal.

4.1.2. Reactivos

- Reactivos químicos generales de laboratorio
 - Agua destilada
 - Hidróxido de sodio Grado reactivo $\geq 98\%$, pellets, anhidro (Sigma-Aldrich)
 - Hidróxido de Potasio p.a. en lentejas (Merck)
 - Ácido acético glacial 100 % p.a. ACS (Merck)
 - Alcohol etílico puro (AGA, *Álcool e Géneros Alimentares S.A.* Portugal)
 - Ácido maleico ReagentPlus®, $\geq 99.0\%$ (Sigma-Aldrich)

- Azida sódica ReagentPlus®, ≥99.5% (Sigma-Aldrich)
- Otros reactivos generales (por ejemplo, para la realización y ajustes de buffers).
- Kits de determinaciones
 - Para determinación de glucosa (Glucosa Oxidasa – Peroxidasa. Colorimétrico) K-GLUC 07/11 – (Megazyme)
 - Almidón total (Amilasa/Amiloglucosidasa) K-TSTA – (Megazyme)
 - Amilosa y amilopectina (Método con concavalina A – Con A) K-AMYL – (Megazyme)
 - Almidón resistente. K-RSTAR – (Megazyme)

4.1.3. Equipamiento

- IKA® Molino de laboratorio - A 11 basic
- Equipamiento estándar de laboratorio (pipetas, material volumétrico, etc.).
- Baño termostático simple, con capacidad de alcanzar temperaturas de hasta 100°C (±0,1°C) - Julabo Eco Temp TW12.
- Baño termostático con agitación, con capacidad de alcanzar temperaturas de hasta 50°C (±0,1°C). GFL (GFL Laboratory devices) Ref.: 1083.
- Equipamiento para determinación de proteínas por Kjeldahl:
 - Sistema Tecator Kjeltex
 - Tecator™ Digestion Unit Auto Lift
 - Scrubber Unit Foss
 - Kjeltex Auto Distillation Unit. - Modelo 8200
 - Titulador automático- titrando 808 (Metrohm)
- Estufa con capacidad de alcanzar temperaturas de 100°C Modelo UFE- 400 (Mettler).
- Rapid Visco Analyzer RVA-4. Newport Scientific.
- UPLC (*Ultra Performance Liquid Chromatography*) Acquity® AccQ Tag (Waters) con detector de fotodiodos. Columna Acquity® UPLC BEH C18, (1.7 µm, 2.1 mm X 100 mm; Waters).

4.2. Métodos

4.2.1. Tratamiento de muestras

La molienda de las muestras fue realizada en el momento de análisis con el molino de laboratorio, por espacio de 1 minuto aproximadamente, con pausas de 2 segundos cada 10 segundos de molienda. En las muestras de arroz, los productos obtenidos tuvieron un aspecto granuloso con partículas de tamaño similar al de la sal entrefina comercial, mientras que el maíz y los pseudocereales mostraron un aspecto semejante al de la harina de trigo integral. Para el grupo de ensayos en que se referencia un tipo de granulometría más fina para las muestras de arroz, un segundo proceso de 1 minuto igual al descrito para la primera molienda se realiza con las mismas harinas para obtener muestras con un aspecto semejante a la sal fina comercial.

4.2.2. Determinación de Proteínas totales

Fue calculada a partir de la determinación de nitrógeno total por el método Kjeldahl, según el método AOAC 960.52 (12.1.07) (56), cuyo resultado fue convertido de nitrógeno total (N, g/100 g muestra total) a proteínas totales (P, g/100 g muestra total) mediante el cálculo $P = 5,95N$ para las muestras de arroz y $P = 6,25N$ para los pseudocereales.

Fue realizado un solo replicado por cada muestra, conjuntamente con una muestra de valor conocido de proteínas. La técnica fue previamente evaluada y validada con estándares primarios o materiales de referencia, tal que la desviación estándar entre una medida y su repetición sea menor a 0,5 g/100 g MT.

4.2.3. Identificación y concentración de aminoácidos

Para la preparación del hidrolizado de cada muestra, cantidades conocidas de masa de cada una (entre 15 y 30 gramos) fueron pesadas en un vial para hidrólisis. Se empleó material estándar de referencia (*Standard Reference Material*, SRM) n° 3244 del *National Institute of Standard and Technology* (NIST). En cada vial fueron agregados 200µL de estándar interno (norvalina) y 1 mL de una solución HCl 6N conteniendo 0,5% de fenol. 30 mL de HCl 6N fueron añadidos en la copa del rotor para el microondas, en cuyo interior se colocó el rack con los viales para hidrólisis. El rotor fue colocado en el microondas y fue seleccionado un programa específico (15 minutos para alcanzar los 160°C, 10 minutos a 160°C y 30 minutos de enfriamiento). Las muestras selladas al vacío luego tres ciclos alternativos de agregados de nitrógeno y aplicación de vacío, empleándose 2 minutos para cada paso. Todos los tubos fueron

secados bajo vacío. Luego de una hidrólisis completa, el extracto fue neutralizado con 1 mL de NaOH 6N. Cada vial fue lavado hasta remoción de residuos con la ayuda de un vortex, y el contenido transvasado a un matraz volumétrico de 10 mL. Agua ultrapura fue utilizada para agregar el volumen hasta el enrase. El contenido del matraz fue filtrado en un tubo de vidrio. El procedimiento de derivación y las condiciones UPLC fueron las mismas descritas por Boogers et al, 2007 (57).

Los ensayos fueron realizados por cuadruplicado. Los valores obtenidos fueron expresados como la media de los replicados \pm una desviación estándar.

4.2.4. Porcentaje de almidón total en muestra

La determinación fue realizada según el método AOAC 996.11 (58, 59). Las muestras fueron hidratadas y el almidón fue hidrolizado hasta maltodextrinas con α amilasa termoestable a 95°-100°C. Se ajustaron temperatura y pH, y los maltosacáridos fueron cuantitativamente hidrolizados a glucosa. La determinación de la concentración de glucosa total fue realizada con un kit glucosa oxidasa-peroxidasa colorimétrico.

Fue realizado un único replicado por cada muestra, conjuntamente con una muestra de valor conocido de almidón total. La técnica fue previamente evaluada y validada con estándares primarios o materiales de referencia, tal que la desviación estándar entre una medida y su repetición sea menor a 0,5 g/100 g MT.

4.2.5. Porcentaje de amilosa en almidón total

Fue empleado el método de Gibson et al, 1997 (60) utilizando el kit de determinación mencionado en el apartado de reactivos. La amilopectina en una muestra solubilizada y libre de lípidos fue precipitada por reacción con Conavalina A (Con A) y removida por centrifugación. La amilosa remanente en el sobrenadante fue determinada luego de una hidrólisis amilolítica hasta glucosa y expresada como una proporción de la glucosa derivada de la hidrólisis del almidón total en una alícuota separada de la muestra solubilizada.

Fue realizado un único replicado por cada muestra, conjuntamente con una muestra de valor conocido de amilosa. La técnica fue previamente evaluada y validada con estándares primarios o materiales de referencia, tal que la desviación estándar entre una medida y su repetición sea menor a 0,5 g/100 g AT.

4.2.6. Porcentaje de almidón resistente en almidón total

Fue realizada la técnica comercializada por Megazyme, basada en ensayos descritos por Englyst et al (25, 33, 35). Según lo descrito por el instructivo provisto, cada muestra fue incubada en un baño de agua con agitación con α amilasa pancreática y amiloglucosidasa por 16 horas a 37°C, tiempo durante el cual el almidón no resistente es solubilizado e hidrolizado hasta glucosa por la acción combinada de las dos enzimas. La reacción fue terminada por la adición de un volumen igual de etanol, y el almidón resistente fue recuperado como pellet por centrifugación, el mismo fue luego lavado dos veces por suspensión en etanol acuoso (50% v/v) seguido de centrifugación. El almidón resistente en el pellet fue disuelto en KOH 2M por agitación vigorosa en baño de agua y hielo con agitación. Esta solución fue neutralizada con buffer acetato y el almidón fue cuantitativamente hidrolizado hasta glucosa con Amiloglucosidasa. La glucosa fue medida con el agente glucosa oxidasa – peroxidasa colorimétrico provisto en el kit, correspondiendo lo medido al almidón resistente en la muestra. El almidón no resistente (almidón solubilizado) es determinado por la mezcla en una única solución del sobrenadante original y los lavados, ajustando el volumen a 100 mL y midiendo la concentración de glucosa con el agente glucosa oxidasa – peroxidasa.

Los ensayos fueron realizados por cuadruplicado, junto con un estándar provisto por el kit. Los valores obtenidos fueron expresados como la media de los replicados \pm una desviación estándar. Un periodo de adaptación y perfeccionamiento de la técnica fue necesario para optimizar el ensayo.

4.2.7. Análisis de viscosidad – *Rapid Visco-Analyzer (RVA)*

En el recipiente de ensayo (llamado *canister*) se colocan 3,5g de muestra con 25g de agua destilada. Esta proporción es corregida en cada caso con agua hasta un equivalente de 14% de humedad (45). Fue empleado el protocolo STD2 descrito en el método AACC 76-21.01 (45). Siendo configurado el ensayo como:

Etapa	Temperatura/Velocidad	STD2
1	50°C	0 min, 0 sec
2	960 rpm	0 min, 0 sec
3	160 rpm	0 min, 10 sec
4	50°C	1 min, 0 sec
5	95°C	8 min, 30 sec

Etapa	Temperatura/Velocidad	STD2
6	95°C	13 min, 30 sec
7	50°C	21 min, 0 sec
Fin del ensayo		23 min, 0 sec
Tiempo entre lecturas		4 sec

Los ensayos fueron realizados por duplicado. Los valores obtenidos fueron expresados como la media de los replicados \pm una desviación estándar.

4.2.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados empleando el software estadístico *INFOSTAT*® Versión 2011e (61). Para la evaluación de diferencias significativas entre los grupos de muestras fue realizado un análisis de la varianza para cada uno de los parámetros estudiados. Se compararon diferencias de las medias de cada parámetro por grupo de muestras aplicando el test de significancia de Duncan, para un intervalo de confianza del 95%. En los grupos de datos en que fue realizado este tratamiento, fueron colocadas letras al lado de las medias, donde aquellas con una letra común representan a grupos de datos cuyos valores determinados no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Fue empleado el software estadístico *STATGRAPHICS*® *Centurion XVI*, versión 16.0.07 (StatPoint Technologies, Inc.) para la evaluación de correlaciones entre cada parámetro medido en los grupos de muestras, por medio de análisis de correlación de Pearson, con una significancia del 95%. El mismo programa se utilizó para el Análisis de Componentes Principales (PCA) realizado al final del apartado de Resultados y Discusión.

Para la realización de los gráficos y regresiones lineales de la Ilustración 13 fue utilizado el programa *Microsoft Excel*® 2013.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Proteínas y aminoácidos

Las concentraciones de aminoácidos son presentadas como porcentaje del total de masa de muestra (g/100 g muestra total) y como porcentaje de la concentración de proteínas (g/100 g proteínas totales) para aquellas muestras en las que se conoce este dato. La razón de la presentación de estos datos en estos dos formatos radica en que el análisis de cada una de estas dos formas de presentación ofrece dos tipos de información diferente. Por un lado, se evalúa el aporte que cada muestra ofrece de cada aminoácido analizado cuando se emplea como alimento, y por el otro, las concentraciones de aminoácidos sirven para hacer una caracterización primaria de las proteínas de las muestras. Todas las concentraciones mencionadas fueron presentadas entre la Tabla X y la Tabla XIV.

Con respecto a las concentraciones de proteínas totales, se registraron en los pseudoce-reales valores de 15,0 g/100 g MT en amaranto, 13,7 g/100 g MT en quínoa de Jujuy y 17,1 g/100 g en quínoa de Salta (Tabla X) Para las muestras de arroz se cuantificaron valores entre 6,1 g/100 g MT y 9,4 g/100 g MT para muestras de la variedad índica del Ribatejo cosechadas en 2009 (Tabla XI), 6,8 g/100 g MT para muestras de variedad índica y de la región Ribatejo del 2010 (Tabla XII), entre 7,3 g/100 g MT y 12,0 g/100 g MT para aquellas de la variedad índica de la región Sado (Tabla XIII) y finalmente entre 7,4 g/100 g MT y 8,2 g/100 g MT para las muestras de la variedad japónica de la región Sado (Tabla XIV).

Los resultados obtenidos en cada forma de expresión de las concentraciones de aminoácidos (como porcentaje de proteínas totales o como porcentajes de muestra total) ofrecen resultados diferentes. Los datos obtenidos son presentados como la media resultante de la agrupación entre especie, variedad y región con sus respectivas desviaciones estándar. Fueron realizados análisis estadísticos (Test de Duncan, 95% de significancia) en las que fueron evaluadas las diferencias entre las concentraciones de cada aminoácido en las muestras (en la tabla, análisis por fila). Letras diferentes indican que una determinada concentración de aminoácidos es, según el test aplicado, estadísticamente diferente en una muestra respecto de la concentración del mismo aminoácido en otra muestra. Los resultados del análisis estadístico de las concentraciones de aminoácidos por cantidad de muestra total fueron desdoblados en la Tabla XV y la Tabla XVI, mientras que aquellos correspondientes a las concentraciones de aminoácidos por cada 100 g de proteínas se dividieron entre la Tabla XVII y la Tabla XVIII. En lo que a la concen-

tración de aminoácidos en la muestra total respecta (Tabla XV y Tabla XVI), es posible observar claramente que todas las concentraciones de aminoácidos en los pseudocereales son mayores que aquellas presentes en las muestras de arroces. Esto es obvio si se considera que existen mayores cantidades de proteínas totales en las primeras respecto de estas últimas. Respecto a las muestras de maíz, este último tiene mayores concentraciones de prolina que las demás muestras (0,83 g/100 g MT, Tabla XVI), mientras que comparte con los pseudocereales una alta concentración de alanina y leucina. Adicionalmente, bajas concentraciones de arginina son encontradas en el maíz (0,59 g/100 g MT, Tabla XVI) y todas las muestras de arroz (promedios por muestras de 0,64 g/100 g MT a 0,75 g/100 g MT, Tabla XV). En ningún caso se observan diferencias significativas entre las diferentes muestras de arroces (Tabla XV), los cuales poseen las medias de concentraciones más bajas en casi todos los casos, con la excepción del aminoácido metionina (0,15 g/100 g MT a 0,17 g/100 g MT, Tabla XV), con concentraciones comparables a las de maíz y quínoa de la provincia de Salta (0,14 g/100 g MT, Tabla XVI). En lo que a pseudocereales respecta, en casi todos los casos se registraron diferencias significativas entre cada una de las concentraciones para cada una de las muestras. Por lo general, las concentraciones de aminoácidos de la quínoa proveniente de la Provincia de Salta fueron superiores a la proveniente de la Provincia de Jujuy, con excepción de las concentraciones del aminoácido cistina (0,01 g/100 g MT para quínoa de Jujuy y 0,02 g/100 g MT para quínoa de Salta, Tabla XVI), en donde no se registran diferencias significativas, y el aminoácido tirosina, donde la concentración es mayor en la muestra proveniente de Jujuy (0,99 g/100 g MT para quínoa de Jujuy y 0,86 g/100 g MT para quínoa de Salta). Resulta evidente que estas diferencias están relacionadas con la concentración de proteínas de cada una de las dos muestras de quínoa, en la cual la concentración de la muestra de Salta es mayor no sólo a la proveniente de Jujuy, sino a todas las demás muestras de las diferentes especies analizadas. Respecto del amaranto, es posible resaltar que posee las mayores concentraciones de cistina (0,07 g/100 g MT) y metionina (0,35 g/100 g MT) de todas las muestras de las diferentes especies analizadas, concentraciones estadísticamente indistintas a las de la muestra de quínoa de Jujuy en los aminoácidos histidina, leucina, lisina, prolina, treonina, y valina, y concentraciones similares a las presentes en la muestra de quínoa de la provincia de Salta en los aminoácidos arginina, glicina, isoleucina y serina. Las concentraciones de ácido glutámico y fenilalanina fueron estadísticamente indistintas entre las muestras de pseudocereales.

Cuando se analizaron los datos de concentración de aminoácidos expresadas como porcentaje de la cantidad de proteínas fueron obtenidas conclusiones muy diferentes. Aquí fue posible realizar comparaciones entre los resultados obtenidos en los ensayos de este trabajo y

aquellos descritos en bibliografía empleada, los cuales se encuentran detallados entre la Tabla LXIII y la Tabla LXX del apartado Anexos, que se agruparon en la Tabla VI del apartado de Antecedentes. En este caso, resulta evidente que la concentración de proteínas totales en la muestra no resulta importante. En casi todas las muestras, no se observaron diferencias significativas entre las concentraciones de aminoácidos, observándose importantes diferencias en la concentración del aminoácido lisina entre los pseudocereales y las muestras de arroces, donde los primeros tienen una concentración varias veces mayor de este componente respecto de los últimos (4,0 g/100 g PT a 4,5 g/100 g PT en pseudocereales frente a 0,06 g/100 g PT a 0,4 g/100 g PT en muestras de arroz). Importante también resultó la diferencia de concentraciones en el aminoácido metionina, donde las muestras de arroz (1,7 g/100 g PT a 2,7 g/100 g PT) registran concentraciones mayores que las correspondientes a las muestras de quínoa, mientras que las todas ellas fueron inferiores a las de amaranto (2,3 g/100 g PT)

Cuando se comparan los datos obtenidos a partir de la bibliografía con aquellos obtenidos en este trabajo, puede observarse que no hay diferencias importantes entre las concentraciones de proteínas.

Resultan llamativos los valores de lisina de todas las muestras de arroz de los ensayos de este trabajo, agrupados en la Tabla XVII cuando se contrastan con los datos bibliográficos mostrados en la Tabla VI del apartado de Antecedentes. Debe destacarse que los valores correspondientes a las concentraciones de aminoácidos fueron tomados del trabajo de Acquistucci *et al*, 2009 (49), con lo cual esos valores pueden ser característicos de esas muestras analizadas por el grupo referenciado, pudiendo no serlo para las harinas cuyos aminoácidos fueron analizados en este trabajo. Según el artículo citado, las muestras de arroz presentan valores de lisina entre 3,6 g/100 g PT y 4,7 g/100 g PT, mientras que en este trabajo los valores de concentración se ubicaron, en promedio, entre 0,1 g/100 g PT y 0,4 g/100 g PT, entre 10 y 40 veces menos de lo encontrado por los autores referenciados.

Los arroces portugueses estudiados en este trabajo parecen tener concentraciones más bajas de treonina respecto de los datos de muestras iguales detallados en la Tabla VI. Para este aminoácido, podrían haber diferencias significativas (test de Duncan, 95% de confianza) entre los pseudocereales y las muestras de arroz.

Tabla X. Datos de concentración de proteínas y aminoácidos de los pseudocereales.

Concentración	Amaranto	Quínoa Jujuy	Quínoa Salta
Prot. Totales	15,0	13,7	17,1
Ala (% MT)	0,48 ±0,07	0,53 ±0,05	0,73 ±0,05
Ala (% Prot.)	3,24 ±0,45	3,86 ±0,33	4,19 ±0,30
Arg (% MT)	1,44 ±0,16	1,19 ±0,13	1,57 ±0,18
Arg (% Prot.)	9,64 ±1,07	8,65 ±0,92	9,02 ±1,02
Asp (% MT)	1,10 ±0,13	1,11 ±0,15	1,60 ±0,04
Asp (% Prot.)	7,33 ±0,88	8,12 ±1,06	9,19 ±0,25
Cys (% MT)	0,07 ±0,02	0,01 ±0,01	0,02 ±0,03
Cys (% Prot.)	0,49 ±0,11	0,04 ±0,07	0,14 ±0,16
Glu (% MT)	2,55 ±0,30	2,10 ±0,16	2,97 ±0,24
Glu (% Prot.)	17,02 ±1,98	15,29 ±1,15	17,03 ±1,38
Gly (% MT)	1,07 ±0,13	0,72 ±0,07	1,00 ±0,08
Gly (% Prot.)	7,16 ±0,87	5,28 ±0,48	5,73 ±0,48
His (% MT)	0,42 ±0,04	0,46 ±0,06	0,58 ±0,07
His (% Prot.)	2,78 ±0,29	3,34 ±0,46	3,32 ±0,39
ILe (% MT)	0,50 ±0,06	0,39 ±0,03	0,55 ±0,05
ILe (% Prot.)	3,33 ±0,40	2,84 ±0,24	3,14 ±0,28
Leu (% MT)	0,76 ±0,08	0,79 ±0,07	1,06 ±0,08
Leu (% Prot.)	5,09 ±0,56	5,76 ±0,47	6,10 ±0,47
Lys (% MT)	0,60 ±0,08	0,55 ±0,08	0,78 ±0,08
Lys (% Prot.)	4,02 ±0,55	4,00 ±0,56	4,49 ±0,47
Met (% MT)	0,35 ±0,05	0,07 ±0,01	0,14 ±0,04
Met (% Prot.)	2,33 ±0,33	0,48 ±0,07	0,80 ±0,25
Phe (% MT)	0,69 ±0,08	0,62 ±0,07	0,81 ±0,10
Phe (% Prot.)	4,60 ±0,52	4,53 ±0,53	4,63 ±0,58
Pro (% MT)	0,54 ±0,07	0,45 ±0,04	0,64 ±0,05
Pro (% Prot.)	3,59 ±0,46	3,27 ±0,26	3,66 ±0,28
Ser (% MT)	0,82 ±0,10	0,55 ±0,04	0,76 ±0,07
Ser (% Prot.)	5,48 ±0,66	4,01 ±0,30	4,33 ±0,40
Thr (% MT)	0,47 ±0,06	0,40 ±0,03	0,55 ±0,07
Thr (% Prot.)	3,12 ±0,43	2,93 ±0,21	3,14 ±0,40
Tyr (% MT)	0,70 ±0,07	0,99 ±0,16	0,86 ±0,06
Tyr (% Prot.)	4,69 ±0,47	7,23 ±1,14	4,93 ±0,36

Concentración	Amaranto	Quínoa Jujuy	Quínoa Salta
Val (% MT)	0,54 ±0,06	0,48 ±0,04	0,68 ±0,05
Val (% Prot.)	3,59 ±0,43	3,53 ±0,27	3,87 ±0,29

Tabla XI. Datos de concentración de proteínas y aminoácidos de arroces de variedad Índica, Región Ribatejo, año 2009.

Concentración	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Prot. Totales	9,1	6,4	6,1	7,3	9,4
Ala (% MT)	0,31 ±0,03	0,47 ±0,01	0,44 ±0,04	0,25 ±0,00	0,43 ±0,01
Ala (% Prot.)	3,46 ±0,37	7,35 ±0,08	7,06 ±0,72	3,46 ±0,06	4,54 ±0,06
Arg (% MT)	0,74 ±0,02	0,96 ±0,02	0,89 ±0,08	0,60 ±0,06	0,81 ±0,02
Arg (% Prot.)	8,21 ±0,23	15,02 ±0,37	14,22 ±1,35	8,27 ±0,76	8,51 ±0,18
Asp (% MT)	0,41 ±0,05	0,73 ±0,00	0,74 ±0,08	0,32 ±0,02	0,64 ±0,06
Asp (% Prot.)	4,56 ±0,60	11,33 ±0,05	11,91 ±1,33	4,32 ±0,26	6,74 ±0,67
Cys (% MT)	0,00 ±0,01	0,01 ±0,01	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,03 ±0,02
Cys (% Prot.)	0,04 ±0,06	0,21 ±0,14	0,05 ±0,06	0,00 ±0,00	0,28 ±0,22
Glu (% MT)	1,29 ±0,11	2,11 ±0,21	1,79 ±0,14	1,01 ±0,03	1,72 ±0,07
Glu (% Prot.)	14,24 ±1,22	32,98 ±3,30	28,69 ±2,19	13,81 ±0,45	18,06 ±0,74
Gly (% MT)	0,37 ±0,02	0,47 ±0,00	0,44 ±0,05	0,31 ±0,04	0,42 ±0,00
Gly (% Prot.)	4,11 ±0,22	7,42 ±0,01	7,14 ±0,81	4,29 ±0,55	4,36 ±0,03
His (% MT)	0,23 ±0,01	0,29 ±0,01	0,27 ±0,03	0,19 ±0,02	0,24 ±0,01
His (% Prot.)	2,51 ±0,09	4,50 ±0,15	4,35 ±0,47	2,58 ±0,30	2,49 ±0,07
ILe (% MT)	0,25 ±0,00	0,44 ±0,10	0,34 ±0,04	0,20 ±0,02	0,00 ±0,00
ILe (% Prot.)	2,79 ±0,04	6,84 ±1,60	5,47 ±0,64	2,70 ±0,33	3,06 ±0,04
Leu (% MT)	0,55 ±0,05	0,85 ±0,06	0,74 ±0,08	0,44 ±0,01	0,29 ±0,00
Leu (% Prot.)	6,09 ±0,56	13,28 ±0,98	11,90 ±1,21	6,04 ±0,15	7,49 ±0,00
Lys (% MT)	0,00 ±0,00	0,08 ±0,02	0,06 ±0,00	0,00 ±0,00	0,05 ±0,01
Lys (% Prot.)	0,00 ±0,00	1,22 ±0,39	0,97 ±0,00	0,00 ±0,00	0,52 ±0,10
Met (% MT)	0,18 ±0,00	0,21 ±0,01	0,16 ±0,01	0,16 ±0,03	0,18 ±0,02
Met (% Prot.)	1,99 ±0,05	3,26 ±0,17	2,52 ±0,13	2,17 ±0,42	1,90 ±0,18
Phe (% MT)	0,53 ±0,01	0,76 ±0,08	0,63 ±0,08	0,44 ±0,07	0,71 ±0,00
Phe (% Prot.)	5,84 ±0,12	11,88 ±1,21	10,09 ±1,23	5,98 ±0,92	5,89 ±0,17
Pro (% MT)	0,27 ±0,02	0,39 ±0,00	0,37 ±0,04	0,21 ±0,01	0,36 ±0,00
Pro (% Prot.)	3,03 ±0,25	6,11 ±0,05	5,88 ±0,62	2,91 ±0,17	3,76 ±0,01
Ser (% MT)	0,34 ±0,03	0,52 ±0,01	0,45 ±0,04	0,26 ±0,01	0,41 ±0,00

Concentración	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Ser (% Prot.)	3,74 ±0,38	8,06 ±0,11	7,20 ±0,64	3,59 ±0,20	4,33 ±0,03
Thr (% MT)	0,17 ±0,02	0,27 ±0,01	0,24 ±0,02	0,12 ±0,00	0,20 ±0,00
Thr (% Prot.)	1,85 ±0,22	4,28 ±0,11	3,85 ±0,39	1,61 ±0,03	2,08 ±0,02
Tyr (% MT)	0,46 ±0,03	0,56 ±0,03	0,52 ±0,07	0,43 ±0,08	0,53 ±0,02
Tyr (% Prot.)	5,04 ±0,30	8,76 ±0,41	8,30 ±1,08	5,93 ±1,03	5,52 ±0,24
Val (% MT)	0,33 ±0,02	0,49 ±0,01	0,47 ±0,04	0,24 ±0,01	0,40 ±0,00
Val (% Prot.)	3,66 ±0,20	7,70 ±0,13	7,47 ±0,70	3,35 ±0,09	4,19 ±0,05

Tabla XII. Datos de concentración de proteínas y aminoácidos de arroces de variedad Índica, Región Ribatejo, año 2010.

Concentración	Muestra 06	Muestra 07
Proteínas Totales	6,8	6,8
Ala (% MT)	0,22 ±0,03	0,25 ±0,02
Ala (% Prot.)	3,22 ±0,37	3,58 ±0,35
Arg (% MT)	0,63 ±0,05	0,60 ±0,10
Arg (% Prot.)	9,15 ±0,72	8,80 ±1,52
Asp (% MT)	0,24 ±0,06	0,32 ±0,04
Asp (% Prot.)	3,51 ±0,84	4,66 ±0,51
Cys (% MT)	0,00 ±0,00	0,05 ±0,08
Cys (% Prot.)	0,00 ±0,00	0,78 ±1,10
Glu (% MT)	0,79 ±0,11	1,03 ±0,10
Glu (% Prot.)	11,54 ±1,62	15,01 ±1,41
Gly (% MT)	0,33 ±0,03	0,29 ±0,05
Gly (% Prot.)	4,76 ±0,37	4,29 ±0,78
His (% MT)	0,21 ±0,02	0,18 ±0,03
His (% Prot.)	3,06 ±0,25	2,65 ±0,50
ILe (% MT)	0,30 ±0,10	0,20 ±0,06
ILe (% Prot.)	4,30 ±1,50	2,87 ±0,85
Leu (% MT)	0,40 ±0,02	0,43 ±0,06
Leu (% Prot.)	5,80 ±0,22	6,26 ±0,84
Lys (% MT)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00
Lys (% Prot.)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00
Met (% MT)	0,17 ±0,00	0,10 ±0,03
Met (% Prot.)	2,54 ±0,02	1,52 ±0,38

Concentración	Muestra 06	Muestra 07
Phe (% MT)	0,51 ±0,07	0,43 ±0,10
Phe (% Prot.)	7,38 ±0,97	6,22 ±1,46
Pro (% MT)	0,21 ±0,03	0,20 ±0,01
Pro (% Prot.)	3,10 ±0,41	2,90 ±0,20
Ser (% MT)	0,26 ±0,03	0,25 ±0,06
Ser (% Prot.)	3,72 ±0,48	3,65 ±0,83
Thr (% MT)	0,12 ±0,01	0,10 ±0,03
Thr (% Prot.)	1,72 ±0,19	1,52 ±0,45
Tyr (% MT)	0,50 ±0,08	0,39 ±0,09
Tyr (% Prot.)	7,25 ±1,11	5,70 ±1,36
Val (% MT)	0,28 ±0,01	0,25 ±0,05
Val (% Prot.)	4,00 ±0,15	3,63 ±0,72

Tabla XIII. Datos de concentración de proteínas y aminoácidos de arroces de variedad Índica, Región Sado

Concentración	Muestra 08	Muestra 09	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12
Prot. Totales	8,0	10,0	12,0	7,3	9,1
Ala (% MT)	0,29 ±0,04	0,23 ±0,00	0,27 ±0,00	0,34 ±0,02	0,34 ±0,03
Ala (% Prot.)	3,60 ±0,50	2,35 ±0,03	2,23 ±0,03	4,58 ±0,22	3,72 ±0,28
Arg (% MT)	0,69 ±0,02	0,53 ±0,01	0,49 ±0,18	0,70 ±0,08	0,75 ±0,09
Arg (% Prot.)	8,61 ±0,26	5,32 ±0,06	4,12 ±1,47	9,60 ±1,15	8,17 ±1,01
Asp (% MT)	0,37 ±0,07	0,30 ±0,00	0,41 ±0,03	0,29 ±0,02	0,44 ±0,03
Asp (% Prot.)	4,64 ±0,93	3,05 ±0,04	3,46 ±0,23	3,90 ±0,29	4,72 ±0,35
Cys (% MT)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,01 ±0,01	0,01 ±0,01
Cys (% Prot.)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,13 ±0,16	0,06 ±0,08
Glu (% MT)	1,15 ±0,18	0,94 ±0,01	1,14 ±0,17	1,39 ±0,09	1,27 ±0,11
Glu (% Prot.)	14,39 ±2,29	9,44 ±0,11	9,48 ±1,42	19,00 ±1,21	13,76 ±1,16
Gly (% MT)	0,35 ±0,01	0,31 ±0,00	0,23 ±0,11	0,35 ±0,04	0,41 ±0,05
Gly (% Prot.)	4,32 ±0,15	3,09 ±0,04	1,96 ±0,92	4,74 ±0,56	4,40 ±0,51
His (% MT)	0,22 ±0,00	0,17 ±0,00	0,15 ±0,07	0,21 ±0,03	0,23 ±0,04
His (% Prot.)	2,74 ±0,03	1,74 ±0,02	1,24 ±0,62	2,90 ±0,41	2,51 ±0,41
ILe (% MT)	0,25 ±0,02	0,19 ±0,00	0,24 ±0,02	0,26 ±0,02	0,26 ±0,05
ILe (% Prot.)	3,09 ±0,19	1,88 ±0,02	1,98 ±0,20	3,49 ±0,32	2,78 ±0,56
Leu (% MT)	0,50 ±0,05	0,40 ±0,00	0,46 ±0,01	0,56 ±0,04	0,57 ±0,07

Concentración	Muestra 08	Muestra 09	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12
Leu (% Prot.)	6,21 ±0,63	3,97 ±0,05	3,83 ±0,08	7,62 ±0,58	6,21 ±0,72
Lys (% MT)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,02 ±0,03	0,00 ±0,00
Lys (% Prot.)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,29 ±0,34	0,00 ±0,00
Met (% MT)	0,17 ±0,01	0,13 ±0,00	0,12 ±0,04	0,11 ±0,03	0,21 ±0,02
Met (% Prot.)	2,11 ±0,11	1,26 ±0,01	1,04 ±0,31	1,53 ±0,37	2,31 ±0,20
Phe (% MT)	0,51 ±0,02	0,41 ±0,00	0,44 ±0,02	0,48 ±0,07	0,56 ±0,09
Phe (% Prot.)	6,32 ±0,26	4,09 ±0,05	3,69 ±0,16	6,61 ±0,92	6,02 ±0,95
Pro (% MT)	0,25 ±0,03	0,20 ±0,00	0,22 ±0,00	0,29 ±0,02	0,30 ±0,03
Pro (% Prot.)	3,08 ±0,36	1,96 ±0,02	1,86 ±0,03	3,90 ±0,28	3,28 ±0,37
Ser (% MT)	0,31 ±0,04	0,25 ±0,00	0,28 ±0,06	0,33 ±0,03	0,36 ±0,06
Ser (% Prot.)	3,87 ±0,52	2,46 ±0,03	2,35 ±0,47	4,52 ±0,47	3,90 ±0,60
Thr (% MT)	0,16 ±0,03	0,11 ±0,00	0,13 ±0,01	0,17 ±0,02	0,18 ±0,03
Thr (% Prot.)	1,96 ±0,37	1,09 ±0,01	1,05 ±0,07	2,33 ±0,27	1,92 ±0,34
Tyr (% MT)	0,43 ±0,06	0,35 ±0,00	0,42 ±0,02	0,44 ±0,09	0,49 ±0,05
Tyr (% Prot.)	5,37 ±0,74	3,53 ±0,04	3,50 ±0,17	6,07 ±1,18	5,35 ±0,53
Val (% MT)	0,30 ±0,03	0,24 ±0,00	0,30 ±0,01	0,35 ±0,03	0,33 ±0,06
Val (% Prot.)	3,78 ±0,37	2,44 ±0,03	2,46 ±0,07	4,75 ±0,45	3,59 ±0,67

Tabla XIV. Datos de concentración de proteínas y aminoácidos de arroces de variedad japónica, Región Sado

Concentración	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15
Prot. Totales	7,8	7,4	8,2
Ala (% MT)	0,28 ±0,05	0,22 ±0,04	0,42 ±0,03
Ala (% Prot.)	3,55 ±0,64	2,90 ±0,55	5,13 ±0,33
Arg (% MT)	0,69 ±0,02	0,53 ±0,05	0,89 ±0,02
Arg (% Prot.)	8,66 ±0,20	7,13 ±0,67	10,85 ±0,30
Asp (% MT)	0,40 ±0,15	0,28 ±0,08	0,72 ±0,05
Asp (% Prot.)	4,98 ±1,92	3,78 ±1,11	8,77 ±0,65
Cys (% MT)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,01 ±0,00
Cys (% Prot.)	0,00 ±0,00	0,02 ±0,03	0,12 ±0,03
Glu (% MT)	1,12 ±0,25	0,97 ±0,18	1,67 ±0,10
Glu (% Prot.)	14,04 ±3,18	12,90 ±2,40	20,32 ±1,28
Gly (% MT)	0,35 ±0,00	0,25 ±0,03	0,46 ±0,01
Gly (% Prot.)	4,37 ±0,06	3,40 ±0,35	5,55 ±0,16

Concentración	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15
His (% MT)	0,21 ±0,00	0,16 ±0,01	0,27 ±0,01
His (% Prot.)	2,63 ±0,01	2,12 ±0,15	3,28 ±0,08
ILe (% MT)	0,26 ±0,00	0,15 ±0,02	0,40 ±0,00
ILe (% Prot.)	3,30 ±0,02	1,94 ±0,30	4,90 ±0,05
Leu (% MT)	0,50 ±0,05	0,39 ±0,06	0,70 ±0,03
Leu (% Prot.)	6,29 ±0,68	5,17 ±0,76	8,57 ±0,42
Lys (% MT)	0,00 ±0,01	0,00 ±0,00	0,03 ±0,02
Lys (% Prot.)	0,05 ±0,06	0,00 ±0,00	0,42 ±0,19
Met (% MT)	0,16 ±0,03	0,10 ±0,01	0,22 ±0,03
Met (% Prot.)	1,95 ±0,35	1,38 ±0,19	2,63 ±0,39
Phe (% MT)	0,51 ±0,01	0,38 ±0,03	0,64 ±0,01
Phe (% Prot.)	6,39 ±0,10	5,02 ±0,38	7,86 ±0,13
Pro (% MT)	0,25 ±0,03	0,18 ±0,03	0,36 ±0,01
Pro (% Prot.)	3,14 ±0,39	2,44 ±0,42	4,40 ±0,15
Ser (% MT)	0,30 ±0,03	0,23 ±0,03	0,43 ±0,02
Ser (% Prot.)	3,75 ±0,35	3,06 ±0,35	5,27 ±0,29
Thr (% MT)	0,14 ±0,01	0,09 ±0,01	0,24 ±0,01
Thr (% Prot.)	1,75 ±0,17	1,18 ±0,19	2,93 ±0,14
Tyr (% MT)	0,49 ±0,01	0,35 ±0,03	0,58 ±0,02
Tyr (% Prot.)	6,20 ±0,16	4,65 ±0,44	7,08 ±0,21
Val (% MT)	0,32 ±0,01	0,20 ±0,03	0,50 ±0,01
Val (% Prot.)	4,00 ±0,14	2,70 ±0,39	6,06 ±0,16

Tabla XV. Medias, análisis de la varianza y test de contraste de Proteínas y AA de arroz por muestra total.

	Índica Ribatejo		Índica Sado		Japónica Sado	
Prot. Totales	7,4 ±1,3	D	9,2 ±1,7	C	7,8 ±0,4	CD
Ala (% MT)	0,34 ±0,10	C	0,30 ±0,04	C	0,30 ±0,11	C
Arg (% MT)	0,75 ±0,14	C	0,64 ±0,13	C	0,71 ±0,18	C
Asp (% MT)	0,49 ±0,21	CD	0,38 ±0,08	D	0,46 ±0,24	CD
Cys (% MT)	0,01 ±0,03	B	0,00 ±0,01	B	0,00 ±0,01	B
Glu (% MT)	1,39 ±0,48	D	1,19 ±0,18	D	1,24 ±0,40	D
Gly (% MT)	0,38 ±0,07	C	0,33 ±0,07	B	0,35 ±0,10	C
His (% MT)	0,23 ±0,04	D	0,20 ±0,04	D	0,21 ±0,06	D

	Índica Ribatejo		Índica Sado		Japónica Sado	
ILe (% MT)	0,29 ±0,10	BC	0,24 ±0,03	C	0,27 ±0,13	C
Leu (% MT)	0,53 ±0,20	C	0,50 ±0,07	C	0,53 ±0,17	C
Lys (% MT)	0,03 ±0,03	CD	0,00 ±0,01	D	0,01 ±0,02	D
Met (% MT)	0,17 ±0,03	B	0,15 ±0,04	B	0,16 ±0,06	B
Phe (% MT)	0,57 ±0,14	BC	0,48 ±0,06	C	0,51 ±0,14	C
Pro (% MT)	0,29 ±0,08	D	0,25 ±0,04	D	0,26 ±0,09	D
Ser (% MT)	0,36 ±0,10	C	0,31 ±0,05	C	0,32 ±0,11	C
Thr (% MT)	0,17 ±0,06	D	0,15 ±0,03	D	0,16 ±0,08	D
Tyr (% MT)	0,48 ±0,07	DE	0,43 ±0,06	E	0,47 ±0,12	DE
Val (% MT)	0,35 ±0,10	D	0,31 ±0,04	D	0,34 ±0,15	D

Tabla XVI. Medias, análisis de la varianza y test de contraste de proteínas y AA de maíz y pseudocereales por muestra total

	Amaranto Jujuy		Maíz Jujuy		Quínoa Jujuy		Quínoa Salta	
Prot. Totales	15,0	B	-		13,7	B	17,1	A
Ala (% MT)	0,48 ±0,07	B	0,73 ±0,04	A	0,53 ±0,05	B	0,73 ±0,05	A
Arg (% MT)	1,44 ±0,16	A	0,59 ±0,05	C	1,19 ±0,13	B	1,57 ±0,18	A
Asp (% MT)	1,10 ±0,13	B	0,61 ±0,06	C	1,11 ±0,15	B	1,60 ±0,04	A
Cys (% MT)	0,07 ±0,02	A	0,01 ±0,01	B	0,01 ±0,01	B	0,02 ±0,03	B
Glu (% MT)	2,55 ±0,30	AB	2,05 ±0,09	C	2,10 ±0,16	BC	2,97 ±0,24	A
Gly (% MT)	1,07 ±0,13	A	0,41 ±0,04	C	0,72 ±0,07	B	1,00 ±0,08	A
His (% MT)	0,42 ±0,04	B	0,31 ±0,02	C	0,46 ±0,06	B	0,58 ±0,07	A
ILe (% MT)	0,50 ±0,06	A	0,32 ±0,03	BC	0,39 ±0,03	B	0,55 ±0,05	A
Leu (% MT)	0,76 ±0,08	B	1,23 ±0,07	A	0,79 ±0,07	B	1,06 ±0,08	A
Lys (% MT)	0,60 ±0,08	B	0,08 ±0,04	C	0,55 ±0,08	B	0,78 ±0,08	A
Met (% MT)	0,35 ±0,05	A	0,19 ±0,02	B	0,07 ±0,01	C	0,14 ±0,04	B
Phe (% MT)	0,69 ±0,08	AB	0,64 ±0,05	BC	0,62 ±0,07	BC	0,81 ±0,10	A
Pro (% MT)	0,54 ±0,07	C	0,83 ±0,04	A	0,45 ±0,04	C	0,64 ±0,05	B
Ser (% MT)	0,82 ±0,10	A	0,51 ±0,05	C	0,55 ±0,04	B	0,76 ±0,07	A
Thr (% MT)	0,47 ±0,06	B	0,30 ±0,04	D	0,40 ±0,03	B	0,55 ±0,07	A
Tyr (% MT)	0,70 ±0,07	C	0,58 ±0,03	CD	0,99 ±0,16	A	0,86 ±0,06	B
Val (% MT)	0,54 ±0,06	B	0,39 ±0,04	A	0,48 ±0,04	BC	0,68 ±0,05	A

Tabla XVII. Medias, análisis de la varianza y test de contraste de proteínas y AA de arroz por cantidad de proteínas.

	Índica Ribatejo	Índica Sado	Japónica Sado
Ala (% Prot.)	4,7 ±1,7 A	3,4 ±0,9 A	3,8 ±1,2 A
Arg (% Prot.)	10,3 ±2,9 A	7,3 ±2,2 A	8,9 ±1,9 A
Asp (% Prot.)	6,7 ±3,4 ABC	4,2 ±1,0 C	5,7 ±2,8 BC
Cys (% Prot.)	0,2 ±0,4 AB	0,0 ±0,1 B	0,1 ±0,1 B
Glu (% Prot.)	19,2 ±8,1 A	13,5 ±3,8 A	15,6 ±4,5 A
Gly (% Prot.)	5,2 ±1,4 BC	3,8 ±1,1 C	4,4 ±1,1 BC
His (% Prot.)	3,2 ±0,9 AB	2,3 ±0,7 B	2,7 ±0,6 AB
ILe (% Prot.)	4,0 ±1,7 A	2,7 ±0,7 A	3,4 ±1,5 A
Leu (% Prot.)	8,1 ±3,0 A	5,7 ±1,5 A	6,7 ±1,8 A
Lys (% Prot.)	0,4 ±0,5 B	0,1 ±0,2 B	0,2 ±0,2 B
Met (% Prot.)	2,3 ±0,6 A	1,7 ±0,5 A	2,0 ±0,7 A
Phe (% Prot.)	7,6 ±2,4 A	5,4 ±1,3 AB	6,4 ±1,4 AB
Pro (% Prot.)	4,0 ±1,4 A	2,9 ±0,8 A	3,3 ±1,0 A
Ser (% Prot.)	4,9 ±1,9 AB	3,5 ±0,9 B	4,0 ±1,2 AB
Thr (% Prot.)	2,4 ±1,1 ABC	1,7 ±0,5 C	2,0 ±0,9 BC
Tyr (% Prot.)	6,6 ±1,6 AB	4,9 ±1,2 BC	6,0 ±1,3 ABC
Val (% Prot.)	4,9 ±1,8 A	3,5 ±0,9 A	4,3 ±1,7 A

Tabla XVIII. Medias, análisis de la varianza y test de contraste proteínas y AA de pseudocereales por cantidad de proteínas.

	Amaranto Jujuy	Quinoa Jujuy	Quinoa Salta
Ala (% Prot.)	3,2 ±0,5 A	3,9 ±0,3 A	4,2 ±0,3 A
Arg (% Prot.)	9,6 ±1,1 A	8,7 ±0,9 A	9,0 ±1,0 A
Asp (% Prot.)	7,3 ±0,9 ABC	8,1 ±1,1 AB	9,2 ±0,3 A
Cys (% Prot.)	0,5 ±0,1 A	0,0 ±0,1 B	0,1 ±0,2 AB
Glu (% Prot.)	17,0 ±2,0 A	15,3 ±1,2 A	17,0 ±1,4 A
Gly (% Prot.)	7,2 ±0,9 A	5,3 ±0,5 BC	5,7 ±0,5 AB
His (% Prot.)	2,8 ±0,3 AB	3,3 ±0,5 A	3,3 ±0,4 A
ILe (% Prot.)	3,3 ±0,4 A	2,8 ±0,2 A	3,1 ±0,3 A
Leu (% Prot.)	5,1 ±0,6 A	5,8 ±0,5 A	6,1 ±0,5 A
Lys (% Prot.)	4,0 ±0,6 A	4,0 ±0,6 A	4,5 ±0,5 A
Met (% Prot.)	2,3 ±0,3 A	0,5 ±0,1 B	0,8 ±0,3 B

	Amaranto Jujuy			Quinoa Jujuy			Quinoa Salta		
Phe (% Prot.)	4,6	±0,5	B	4,5	±0,5	B	4,6	±0,6	B
Pro (% Prot.)	3,6	±0,5	A	3,3	±0,3	A	3,7	±0,3	A
Ser (% Prot.)	5,5	±0,7	A	4,0	±0,3	AB	4,3	±0,4	AB
Thr (% Prot.)	3,1	±0,4	A	2,9	±0,2	AB	3,1	±0,4	A
Tyr (% Prot.)	4,7	±0,5	C	7,2	±1,1	A	4,9	±0,4	BC
Val (% Prot.)	3,6	±0,4	A	3,5	±0,3	A	3,9	±0,3	A

5.2. Almidón

Los resultados obtenidos en este trabajo son presentados en la Tabla XIX a la Tabla XXIII, mostrando valores de almidón total (AT), amilosa como porcentaje de almidón total (AMAT), amilosa como porcentaje de muestra total (AMMT), almidón resistente como porcentaje de almidón total (ARAT) y almidón resistente como porcentaje de muestra total (ARMT), de los cuales fueron analizados estadísticamente y comparados con los valores de concentración tomados de artículos científicos mostrados en Tabla LVIII a

Tabla LXII del apartado de Anexos, a su vez agrupados por especies entre la Tabla I y la Tabla V del apartado de antecedentes.

Tabla XIX. Concentraciones de AT, AM, ARAT y ARMT en muestras de pseudocereales de las provincias de Jujuy y Salta.

Muestra	AT	AMAT	AMMT	ARAT ±DE	ARMT±DE
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	61,9	26,5	16,4	0,5±0,2	0,4±0,1
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd., Jujuy	65,0	22,4	14,5	0,3±0,1	0,2±0,1
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd., Salta	54,2	19,0	10,3	0,5±0,2	0,3±0,1

Tabla XX. Concentraciones de AT, AM, ARAT y ARMT en muestra de maíz de la provincia de Jujuy.

Muestra	AT	AMAT	AMMT	ARAT±DE	ARMT±DE
<i>Zea mays</i> L. - Maíz, morado	65,7	30,8	20,2	2,5±0,6	1,7±0,4

Tabla XXI. Concentraciones de AT, AM, ARAT y ARMT en muestras arroz de la variedad Índica de la región Ribatejo, Portugal.

Muestra	AT	AMAT	AMMT	ARAT±DE	ARMT±DE
Muestra 01	85,4	39,1	33,4	7,3±0,5	6,2±0,4
Muestra 02	86,6	37,8	32,7	-	-
Muestra 03	89,4	29,6	26,5	2,1±0,8	1,8±0,7
Muestra 04	85,2	29,4	25,0	2,0±0,9	1,7±0,8
Muestra 05	81,3	27,2	22,2	2,7±0,3	2,2±0,2
Muestra 06	89,6	30,3	27,2	1,1±0,1	0,9±0,1
Muestra 07	93,2	35,3	32,9	0,6±0,1	0,6±0,1

Tabla XXII. Concentraciones de AT, AM, ARAT y ARMT en muestras arroz de la variedad Índica de la región Sado, Portugal.

Muestra	AT	AMAT	AMMT	ARAT±DE	ARMT±DE
Muestra 08	80,1	39,2	31,4	7,6±1,8	6,1±1,4
Muestra 09	84,0	53,0	44,5	16,6±0,3	14,0±0,2
Muestra 10	86,6	35,3	30,6	1,8±0,5	1,6±0,4
Muestra 11	83,2	39,7	33,0	7,3±0,2	6,1±0,2
Muestra 12	84,4	32,9	27,7	1,7±0,4	1,4±0,3

Tabla XXIII. Concentraciones de AT, AM, ARAT y ARMT en muestras de arroz de la variedad Japónica de la región Sado, Portugal.

Muestra	AT	AMAT	AMMT	ARAT ±DE	ARMT±DE
Muestra 13	83,1	32,0	26,6	2,2±0,1	1,8±0,1
Muestra 14	82,8	31,9	26,4	2,6±0,3	2,2±0,3
Muestra 15	85,4	18,3	15,6	1,6±1,0	1,4±0,8

5.2.1. Almidón total

Importantes variaciones en la concentración de almidón total fueron encontradas entre las especies analizadas. Tal como se esperaba, las muestras de arroz registraron las mayores concentraciones respecto del maíz y los pseudocereales. No existieron diferencias significativas entre las variedades de arroz, así como tampoco entre las muestras de diferentes regiones. Importante es la diferencia entre las concentraciones de almidón total observadas entre las muestras de quínoa de las provincias de Salta y Jujuy, aunque en ambos casos tales concentraciones fueron las más bajas cuando fueron comparadas con las demás muestras. En relación a la comparación entre las muestras de arroz, amaranto y quínoa analizadas (Tabla XIX y Tabla XXI a Tabla XXIII para muestras individuales y Tabla XXIV para muestras agrupadas) y las muestras cuyos valores de almidón total fueron compilados a partir de datos bibliográficos (Tabla LVIII a Tabla LX y Tabla LXII, apartado Anexos, para muestras individualizadas y Tabla I a Tabla IV del apartado Antecedentes para muestras agrupadas por especie) parece que no existen diferencias entre las mismas. Sin embargo, no sucede lo mismo con las concentraciones de totales de almidón de maíz cuando se comparan dichos valores obtenidos por otros autores y los adquiridos en este trabajo. Estos últimos son presentados entre la Tabla XX y la Tabla XXIV (65,7 g/100 g de muestra total para el maíz morado de Jujuy, estudiado en este trabajo) mientras que

aquellos tomados de referencias bibliográficas se encuentran en la Tabla LXI para muestras individuales y en la Tabla V para muestras agrupadas (70,9 a 86,0 g/100 g MT).

Los valores de concentración de almidón total de las muestras analizadas se muestran graficadas en la Ilustración 10.

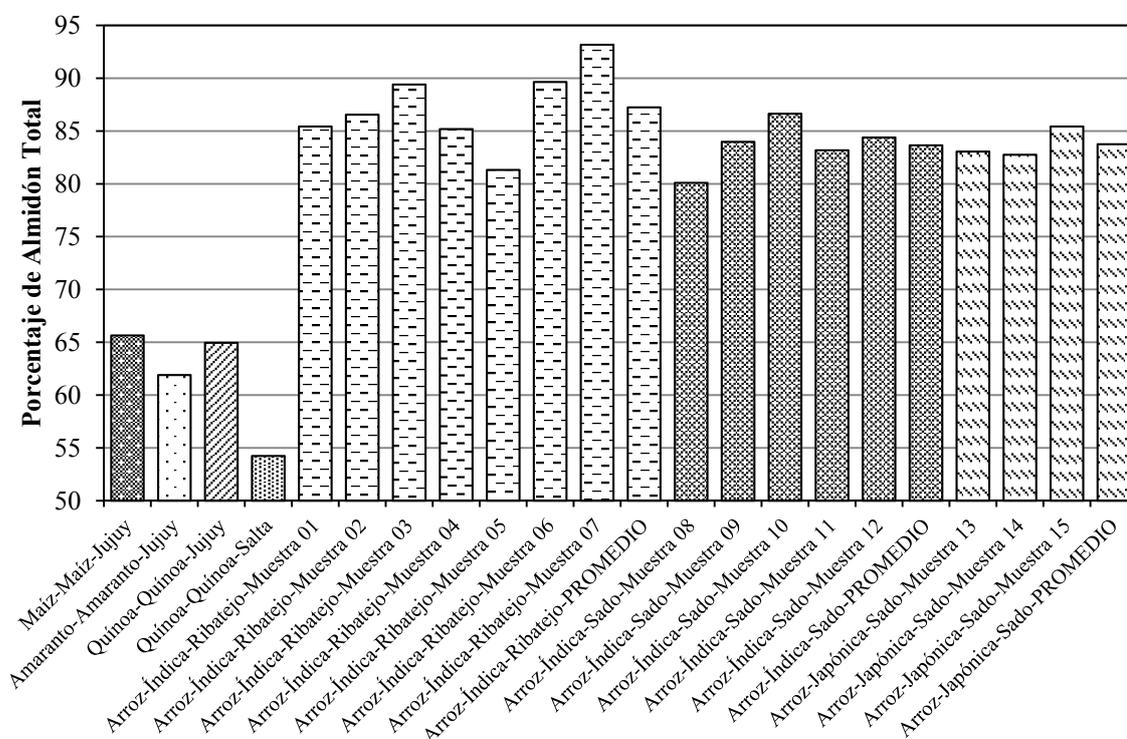


Ilustración 10. Gráfico de Barras de concentración de Almidón Total (AT) en todas las muestras analizadas.

Tabla XXIV. Detalle de concentraciones de almidón total (g/100 g muestra, Media ±DE) en muestras agrupadas por especie, variedad y región. Test de significancia de Duncan, $\alpha=0,05$.

Muestra	Variedad	Región	Medias ±DE	
Arroz	Índica	Ribatejo	87,2 ±3,8	A
Arroz	Japónica	Sado	83,8 ±1,5	A
Arroz	Índica	Sado	83,7 ±2,4	A
Maíz	Maíz	Jujuy	65,7	B
Quínoa	Quínoa	Jujuy	65,0	B
Amaranto	Amaranto	Jujuy	61,9	B
Quínoa	Quínoa	Salta	54,2	C

5.2.2. Amilosa

A pesar de las diferencias observadas en las muestras en el porcentaje de amilosa en almidón total, no fue posible encontrar diferencias significativas cuando fue realizado el correspondiente tratamiento estadístico. Esto podría deberse a la cantidad de muestras analizadas o a la dispersión de los resultados de las muestras individuales. Sin embargo, es posible observar que las muestras de arroz tuvieron las mayores concentraciones de amilosa (aproximadamente 40 g/100 g AT para muestras de arroz de variedad índica, región Sado, 33 g/100 g AT para la variedad índica de la región Ribatejo y 27 g/100 g AT para la variedad japónica de la región Sado, Tabla XXV), que a su vez presentaron una importante variación entre grupos (entre 5 y 8 g/100 g AT de desviación estándar, en las agrupaciones por variedad y región, Tabla XXV), mientras que las muestras de pseudocereales registraron las concentraciones más bajas (27 g/100 g AT en las muestras de amaranto, 22 g/100 g AT en la de quínoa de la provincia de Jujuy y 19 g/100 g AT en la muestra de quínoa de la provincia de Salta, Tabla XXV).

Las especies de arroz registraron pequeñas diferencias entre ellas en las concentraciones indicadas, siendo las muestras de arroz índica las que mayor porcentaje de amilosa mostraron respecto de la variedad japónica. También fue posible apreciar diferencias entre las muestras de variedad índica de las regiones de Sado y Ribatejo.

En lo que respecta a las comparaciones con datos bibliográficos, compilados entre la Tabla I y la Tabla V en el apartado de Antecedentes, los valores reportados para cada grupo requieren una atención particular. Para las muestras de arroces, la información se muestra representada en dos grupos, uno de ellos mostrado en la Tabla III, donde las muestras de arroz fueron identificadas por su concentración de amilosa, y el otro en la Tabla IV, donde las muestras son identificadas por variedad (índica o japónica). Según los datos de la Tabla III, y en comparación con los datos obtenidos en este trabajo (Tabla XXV), las muestras ensayadas podrían ubicarse entre los grupos de arroces de concentración intermedia y alta de amilosa (25,2 g/100 g AT a 61,9 g/100 g AT). Pero cuando las concentraciones de AMAT son comparadas con aquellas descriptas en la Tabla IV, todos los promedios superan los valores bibliográficos. Con respecto a las muestras de maíz, una concentración más alta de AMAT fue encontrada en el material ensayado respecto de aquellos descriptos en la Tabla V del apartado de antecedentes (entre 5,6 a 19,5 g/100 g AT en muestras de Brasil y entre 16,8 a 21,3 g/100 g AT en muestras de la India, frente a 31 g/100 g AT en la muestra examinada de maíz de la provincia de la provincia de Jujuy). Ambas muestras de quínoa ensayadas en este trabajo mostraron similares concentraciones de AMAT que las muestras de la Tabla II del apartado de antecedentes (22,4

g/100 g AT en la muestra de Jujuy y 19,0 g/100 g AT para la muestra de Salta frente a valores de 4,3 a 22,5 g/100 g AT en muestras de bibliografía consultada).

Con respecto a los casos en que las muestras analizadas no guardaron una relación estrecha entre los valores de concentración determinados y aquellos descritos en la bibliografía, debe destacarse que tal diferencia puede ser explicada no sólo por la variabilidad particular de cada planta, sino también por las características medioambientales del lugar de crecimiento del vegetal (humedad, calor, concentración de nitrógeno, salinidad) así como situaciones de tensión sostenida o episódica, las cuales pueden mostrar una amplia gama de respuestas complejas y variables (62). La reacción específica manifestada depende de dichas características, la gravedad de la perturbación, si ocurriese, y la sensibilidad inherente de que el genotipo particular a la tensión (62). Esto mismo puede explicar eventuales diferencias en las concentraciones de almidón total, aunque no fue mencionado en ese apartado por no haberse registrado diferencias importantes en los valores de dichas concentraciones cuando las mismas fueron comparadas.

Conclusiones similares a las obtenidas en el análisis de la concentración de amilosa en almidón total fueron realizadas cuando se analizaron los porcentajes de amilosa en muestra total (Tabla XXVI), aunque fue posible apreciar con mejor detalle las diferencias existentes entre las especies. Aun cuando no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, fue posible concluir que las muestras de arroz, independientemente de la variedad o procedencia de las mismas, poseen mayor concentración de amilosa que las muestras de pseudocereales, aunque esto no es tan evidente cuando se comparan las muestras de arroz con la de maíz, cuya concentración de AMMT se ubicó en 20,2 g/100 g MT (Tabla XX y Tabla XXVI).

Los valores promedios de concentraciones de AMAT y AMMT, agrupados por especie, variedad y región, son representadas en la Ilustración 11.

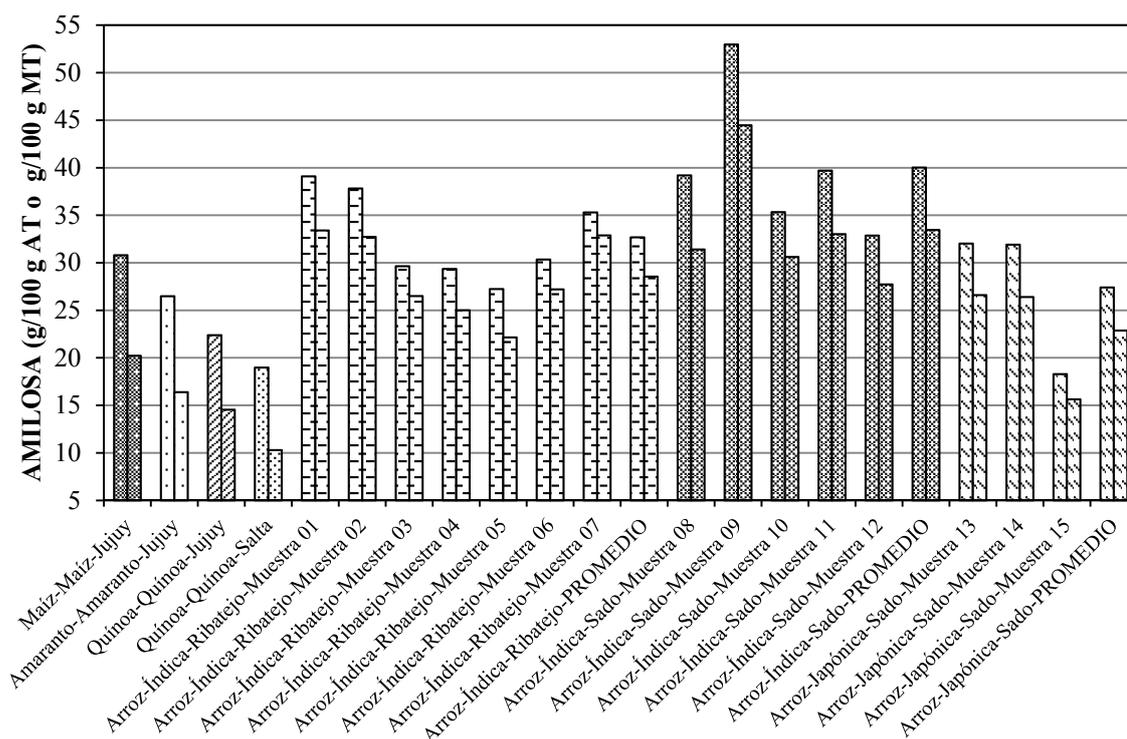


Ilustración 11. Gráfico de barras de concentraciones de amilosa en muestras analizadas.

Tabla XXV. Detalle de concentraciones de amilosa (g/100 g AT, Media \pm DE) en muestras agrupadas por especie, variedad y región. Test de significancia de Duncan, $\alpha=0,05$.

Especie	Variedad	Región	Medias \pm DE	
Arroz	Índica	Sado	40 \pm 8	A
Arroz	Índica	Ribatejo	33 \pm 5	AB
Maíz	Maíz	Jujuy	31	AB
Arroz	Japónica	Sado	27 \pm 8	AB
Amaranto	Amaranto	Jujuy	27	AB
Quínoa	Quínoa	Jujuy	22	B
Quínoa	Quínoa	Salta	19	B

Tabla XXVI. Detalle de concentraciones de amilosa (g/100 g muestra, Media \pm DE) en muestras agrupadas por especie, variedad y región. Test de significancia de Duncan, $\alpha=0,05$.

Especie	Variedad	Región	Medias \pm DE	
Arroz	Índica	Sado	33 \pm 6	A
Arroz	Índica	Ribatejo	28 \pm 4	AB
Arroz	Japónica	Sado	23 \pm 6	ABC
Maíz	Maíz	Jujuy	20	ABC
Amaranto	Amaranto	Jujuy	16	BC
Quínoa	Quínoa	Jujuy	15	BC
Quínoa	Quínoa	Salta	10	C

5.2.3. Almidón resistente

Para el análisis estadístico realizado con los valores de concentración de ARAT y ARMT, mostrados en Tabla XXVII a Tabla XXVIII, fue omitido el valor de almidón resistente de la muestra 09 (ARAT = 16,6 g/100 g AT y ARMT = 14,0 g/100 g MT), indicada como un *outlier* a los fines del tratamiento estadístico debido a que su valor de concentración es más de dos veces mayor que las muestras de concentraciones más altas siguientes (Muestra 01 con ARAT igual a 7,3 \pm 0,5 y ARMT de 6,2 \pm 0,4, Tabla XXI, y Muestra 08, con ARAT de 7,6 \pm 1,8 y ARMT 6,1 \pm 1,4, Tabla XXII).

Dos importantes grupos de concentraciones de ARAT pudieron ser identificados a partir de los datos agrupados en la Tabla XXVII, donde las muestras de arroz constituyen el grupo con las mayores concentraciones de almidón resistente con promedios por variedad y región entre 2,5 a 4,0 g/100 g AT, frente a los pseudocereales, que mostraron 0,5 g/100 g AT para para quínoa de Salta y amaranto de Jujuy, y 0,3 g/100 g AT para quínoa de Jujuy). En el medio de estos dos grupos se ubicó el maíz morado de Jujuy, con una concentración de AMAT de 2,5 g/100 g AT.

Con respecto a las concentraciones de ARAT mostradas en Tabla I a Tabla V de antecedentes, las muestras de maíz (1,2-2,9 g/100 g AT) parecen semejantes al maíz morado analizado en este trabajo. Sin embargo, se presentan diferencias importantes cuando se comparan los resultados de ARAT de las muestras de arroces portugueses analizadas frente a las muestras de arroces detalladas en la Tabla III y la Tabla IV. En la Tabla III, cuyos valores fueron tomados del trabajo de Zhu y colaboradores, 2011 (48), aquellas concentraciones de ARAT asociadas a arroces de concentraciones de amilosa (AMAT) intermedia a alta (25,2 a 61,9 g/100 g AT,

usando para esta clasificación los valores de la tabla) son superiores a los 18 g/100 g AT, mientras que, con respecto las muestras individuales de arroces ensayados y descritos en entre la Tabla XXI a la Tabla XXIII, ninguna de las muestras supera los 16,6 g/100 g AT (valor correspondiente a la muestra de arroz nº 9, de variedad índica de la región portuguesa de Sado). Sin embargo, cuando los resultados obtenidos fueron confrontados con los agrupados en la Tabla IV, cuyos valores fueron tomados de lo presentado por Acquistucci *et al*, 2009 (49), la mayoría de las muestras ensayadas superan los valores mostrados para cada variedad (1,4 a 4,8 g/100 g AT para la variedad índica y 1,0 a 2,8g/100g AT para la variedad japónica, según los autores referenciados). Si a esto se le suma la gran dispersión de los valores de concentración de ARAT de las muestras de arroz agrupadas por variedad y región entre la Tabla XXI a la Tabla XXIII (entre 0,6 a 7,3 g/100 g AT para la variedad índica de la región Ribatejo, 1,7 a 16,6 g/100 g AT para la variedad índica de la región Sado y entre 1,6 a 2,6 g/100 g AT para la variedad japónica de la región Sado) pudo confirmarse la gran variabilidad que existe para el arroz como especie en las concentraciones de ARAT, indicando que no podría establecerse un valor característico de concentración de almidón resistente típica para esta especie. Las características individuales y el efecto medioambiental discutido en el análisis de las concentraciones de amilosa (62) también explicaría buena parte de esa variación. En concordancia con los estudios de Theimeier *et al* de 2005, el contenido de amilosa, la morfología y tamaño de los gránulos, su grado de cristalinidad o presencia de almidón dañado tienen un fuerte impacto en la resistencia a la digestión amilásica (63). El amplio rango de concentraciones de amilosa (18,3 a 53,0 g/100 g AT) tendría una influencia importante en este efecto. En un sentido muy amplio, la granulometría de la muestra no tendría una relación importante con la cantidad de almidón resistente en la muestra, siempre que la misma no haya sido muy agresiva hasta el punto de producir cantidades significativas de almidón resistente, pues es la estructura microscópica del gránulo de almidón la que ejercerá, en términos generales, el mayor efecto en la digestibilidad por sobre el aspecto macroscópico de la muestra. En el apartado 5.2.4 de este trabajo se retoma esta discusión por medio de la comparación de las concentraciones ARAT y ARMT con las cantidades de proteínas, almidón total, AMAT y AMMT para todas las muestras.

En la Ilustración 12 pueden observarse los valores de concentración de almidón resistente como porcentaje de almidón total (ARAT) y de almidón resistente como porcentaje de muestra total (ARMT) de cada una de las muestras analizadas, con valores tomados de la Tabla XIX a la Tabla XXIII. En el gráfico puede verse claramente la poca diferencia existente entre ambas formas de expresar las concentraciones de almidón resistente en las muestras seleccionadas para este ensayo. Esto ocurrió por las altas concentraciones de almidón total, en el caso

de las muestras de arroz, y la baja concentración de almidón resistente en las muestras de pseudocereales. Tampoco existe una diferencia importante entre los valores de ARAT y ARMT en maíz, (2,5 g/100 g AT, que representan 1,7 g/100 g de muestra total si se consideran los 65,7g de almidón total presente en la muestra).

Tabla XXVII. Detalle de concentraciones de almidón resistente (g/100 g AT, Media \pm DE) en muestras agrupadas por especie, variedad y región. Test de significancia de Duncan, $\alpha=0,05$.

Especie	Variedad	Región	Medias \pm DE
Arroz	Índica	Sado	4,0 \pm 3,0 A
Arroz	Índica	Ribatejo	2,9 \pm 2,3 A
Maíz	Maíz	Jujuy	2,5 \pm 0,6 AB
Arroz	Japónica	Sado	2,1 \pm 0,7 ABC
Quínoa	Quínoa	Salta	0,5 \pm 0,2 BC
Amaranto	Amaranto	Jujuy	0,5 \pm 0,2 BC
Quínoa	Quínoa	Jujuy	0,3 \pm 0,1 C

Tabla XXVIII. Detalle de concentraciones de almidón resistente (g/100 g muestra, Media \pm DE) en muestras agrupadas por especie, variedad y región. Test de significancia de Duncan, $\alpha=0,05$.

Especie	Variedad	Región	Medias \pm DE
Arroz	Índica	Sado	3,3 \pm 2,4 A
Arroz	Índica	Ribatejo	2,5 \pm 1,9 A
Arroz	Japónica	Sado	1,8 \pm 0,6 AB
Maíz	Maíz	Jujuy	1,7 \pm 0,6 AB
Amaranto	Amaranto	Jujuy	0,3 \pm 0,1 B
Quínoa	Quínoa	Salta	0,3 \pm 0,1 B
Quínoa	Quínoa	Jujuy	0,2 \pm 0,1 B

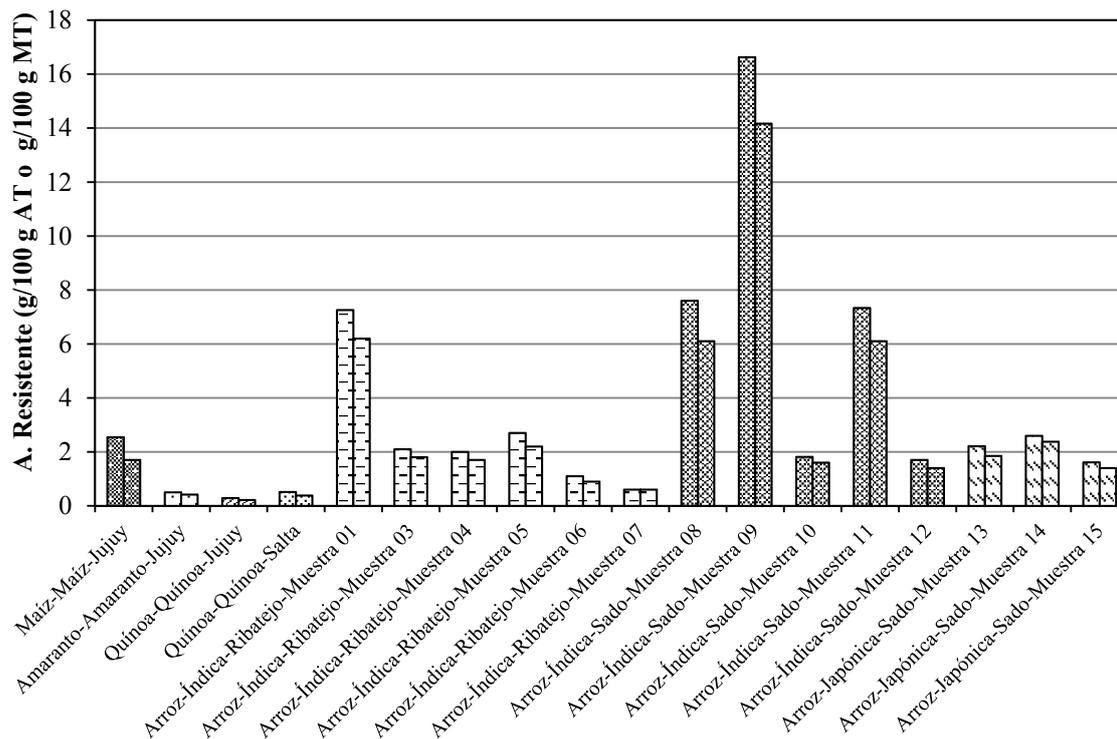


Ilustración 12. Gráfico de barras de concentraciones de almidón resistente (en muestra total o almidón total) en muestras analizadas.

5.2.4. Relación entre la cantidad de almidón resistente y los constituyentes de las harinas.

En la Ilustración 13 se grafican los pares ordenados constituidos de ARAT y de ARMT frente a las concentraciones de AT, AMAT, AMMT y de proteínas totales.

Según lo que pudo ser observado en la ilustración en cuanto a la relación entre la concentración de almidón resistente y la concentración de almidón total (Ilustración 13, figuras a y b), parece no existir ninguna relación que las vincule. Aún más dispersa se muestra la relación entre las concentraciones de almidón resistente y las concentraciones de proteínas. Sin embargo, un análisis de correlación de Pearson entre los mencionados macrocomponentes y las concentraciones de ARAT y ARMT, presentado en la Tabla XXIX, muestra que sí existiría una relación entre la cantidad de almidón y la presencia de almidón resistente, aunque con coeficientes muy bajos, de manera muy semejante a lo mostrado en las figuras a y b de la Ilustración 13, aunque en estas últimas el cálculo de la función lineal por cuadrados mínimos no indica una relación buena entre ambas concentraciones, pues el R^2 es muy pequeño. No fue observado ningún tipo de relación entre la concentración de proteínas y la de ARAT, según puede observarse tanto en la figura c de la Ilustración 13 y en el correspondiente análisis de correlación de Pearson de dicho par en la Tabla XXIX, lo cual es lógico si se piensa que, siendo la concentración de almidón total es expresada como porcentaje de almidón total, no se contempla cantidad alguna de cualquier componente diferente a los amiláceos. Contrariamente, cuando la comparación de la concentración de proteínas se realiza frente a ARMT, aparece una débil correlación negativa, que resulta explicable si se tiene en cuenta que a mayores concentraciones de proteínas, la concentración de almidón total podría ser más baja, resultando en menores concentraciones de almidón resistente.

Un análisis separado merece la comparación entre las concentraciones de amilosa y las de almidón resistente. Tal como se mencionó en los estudios de Zhu y colaboradores, 2011 (48), cuyos resultados se mostraron en la Tabla III y que fue corroborado por autores como Themeier *et al*, 2005 (63), el contenido de amilosa en la muestra influye significativamente en el contenido de almidón resistente de la misma, entre los materiales analizados en este trabajo, tanto en la Ilustración 13 (figuras e, f, g y h) como en el análisis de correlación en la Tabla XXIX puede observarse la estrecha correlación entre la correlación de amilosa y la de almidón resistente.

Es muy importante destacar que, a pesar de las diferencias existentes entre los tipos de muestras (especie, variedad, región, año) las correlaciones observadas en la Tabla XXIX, son en casi todos los casos significativas, existiendo, como ya se mencionó anteriormente, una

fuerte correlación entre las concentraciones de amilosa y las de almidón resistente (Tabla XXIX)

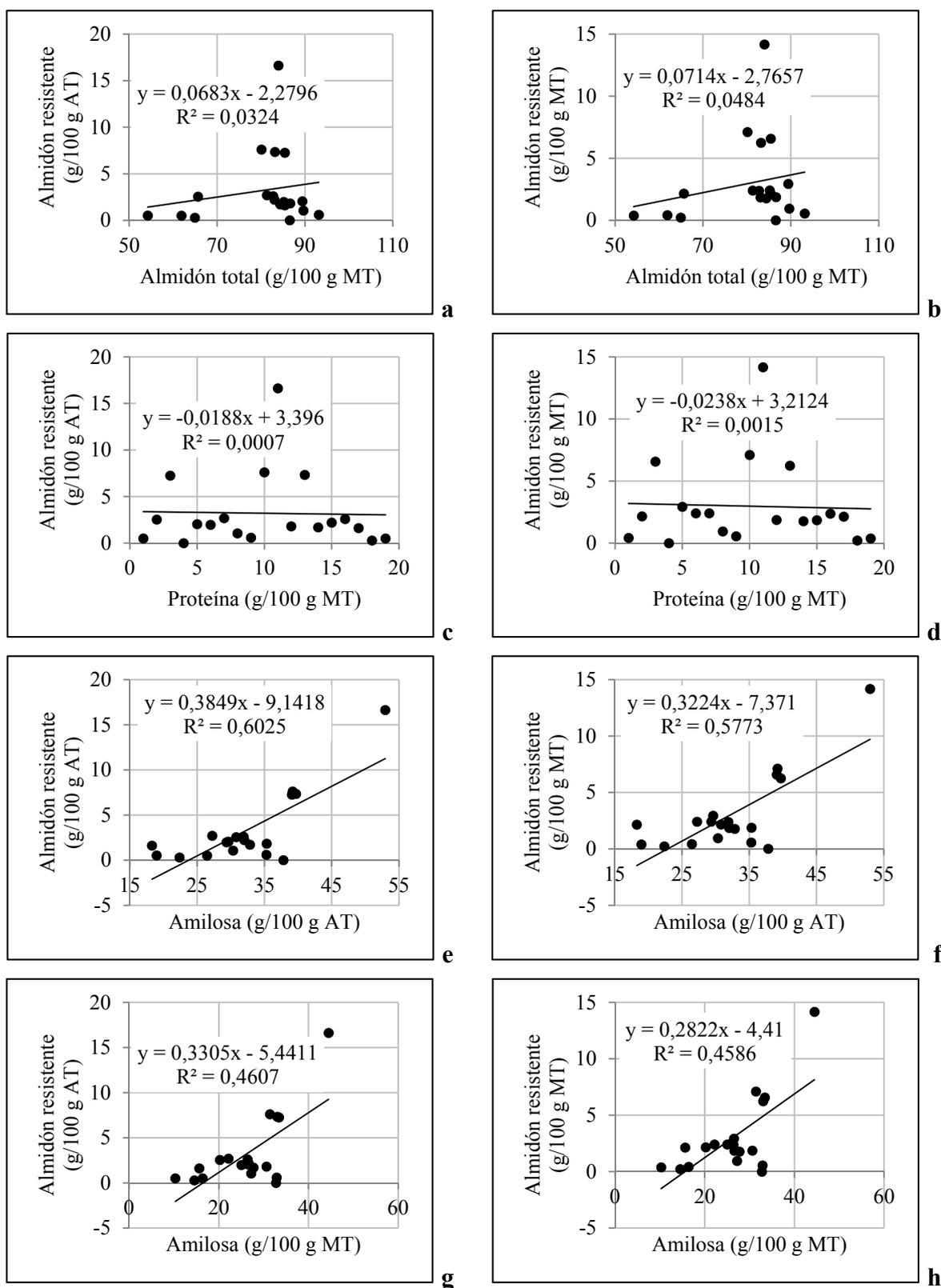


Ilustración 13. Gráficos de dispersión y regresión lineal de ARAT y ARMT en función de la AT, AMAT, AMMT y Proteínas.

Tabla XXIX. Análisis de correlación de Pearson entre los componentes de todas las muestras analizadas y los porcentajes de almidón resistente, $\alpha= 0,05$.

		AT	AMAT	AMMT	PROT.
ARAT	Coefficiente	0,2884 (*)	0,7635(*)	0,7133(*)	-0,2481
	p-valor	0,0208	<0,0001	<0,0001	0,0604
ARMT	Coefficiente	0,3248(*)	0,7651(*)	0,7297(*)	-0,2662(*)
	p-valor	0,0088	<0,0001	<0,0001	0,0434

(*) Coeficiente significativo ($p < 0,05$)

5.3. Viscoanálisis

5.3.1. Arroz

Los datos obtenidos a partir de las muestras de arroz fueron agrupados en tablas según la molienda a la que fueron sometidos los granos para la obtención de harinas de granulometría fina o gruesa, por variedad y región, detallándose las muestras de la variedad índica de la región Ribatejo en la Tabla XXX y la Tabla XXXI, variedad índica de la región Sado en la Tabla XXXII y la Tabla XXXIII, y variedad japónica de la región Sado en la Tabla XXXIV y la Tabla XXXV. A su vez, todos los perfiles de pasting de las harinas de arroz, tanto de granulometría fina como de granulometría gruesa, fueron agrupados por variedad y región fueron agrupados en la Ilustración 14 (variedad índica de la región Ribatejo), la Ilustración 15 (variedad índica de la región Sado) y la Ilustración 16 (variedad japónica de la región Sado).

Tabla XXX. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de arroz variedad Índica, Región Ribatejo, a partir de muestras de granulometría fina.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg.)	PST (°C)
03	2929±9	1370±1	1559±8	2684±1	1314±0	8,93±0,00	81,18±0,04
05	3841±47	1636±30	2205±18	3202±21	1566±8	8,80±0,00	78,15±0,35

Tabla XXXI. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de arroz variedad Índica, Región Ribatejo, a partir de muestras de granulometría gruesa.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg.)	PST (°C)
03	2289±101	2294±103	-6±2	4627±30	2333±74	12,97±0,05	91,20±0,57
05	1575±145	1590±145	-15±3	4138±84	2548±150	13,00±0,00	93,68±1,35

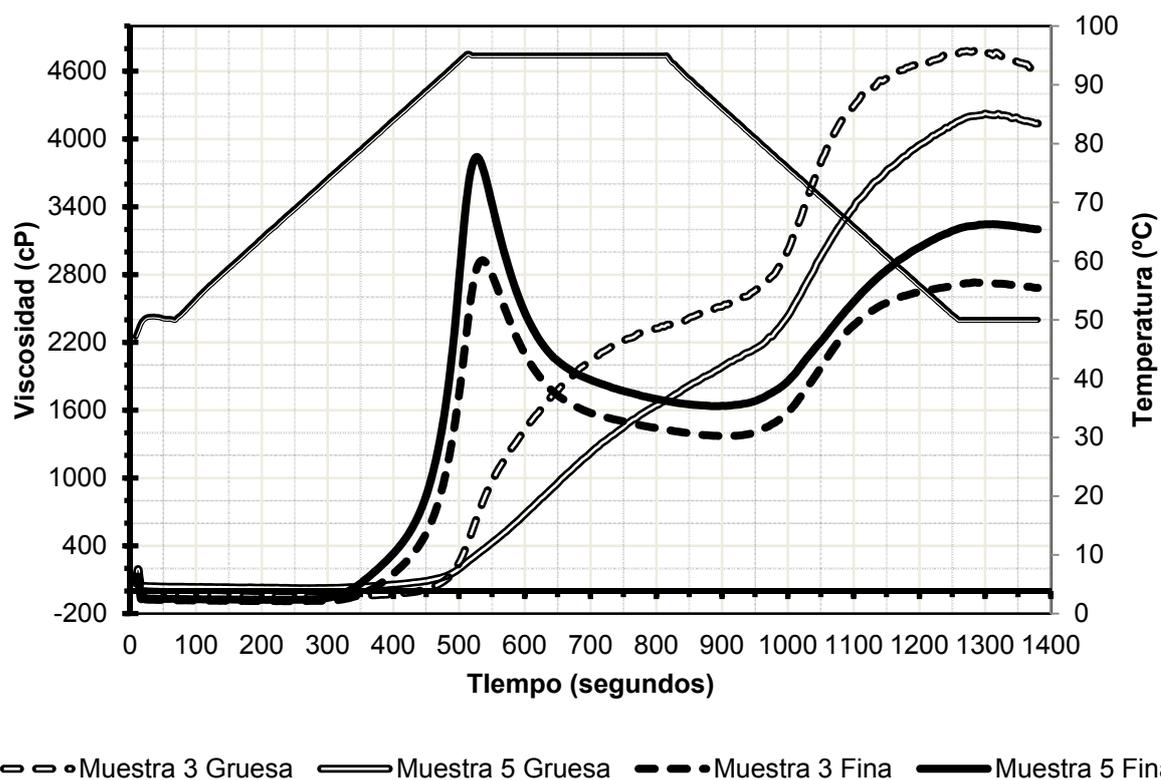


Ilustración 14. Perfil RVA de muestras de arroz, variedad Índica, región Ribatejo, de granulometría gruesa y fina.

Tabla XXXII. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de arroz variedad Índica, Región Sado, a partir de muestras de granulometría fina.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg.)	PST (°C)
09	3672±10	1656±8	2016±1	3558±23	1902±14	8,87±0,00	80,78±0,04
10	2820±50	1504±24	1316±26	3063±20	1559±4	8,90±0,04	81,18±0,04
12	3944±6	1522±10	2422±4	3544±70	2022±60	9,17±0,05	75,00±0,28

Tabla XXXIII. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de arroz variedad Índica, Región Sado, a partir de muestras de granulometría gruesa.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg.)	PST (°C)
09	1535±16	1542±20	-7±4	4348±10	2806±10	13,00±0,00	92,50±0,07
10	1108±16	1123±15	-15±1	3632±81	2510±66	13,00±0,00	95,05±0,00
12	1615±63	1612±61	3±2	4018±33	2406±28	13,00±0,00	91,03±0,25

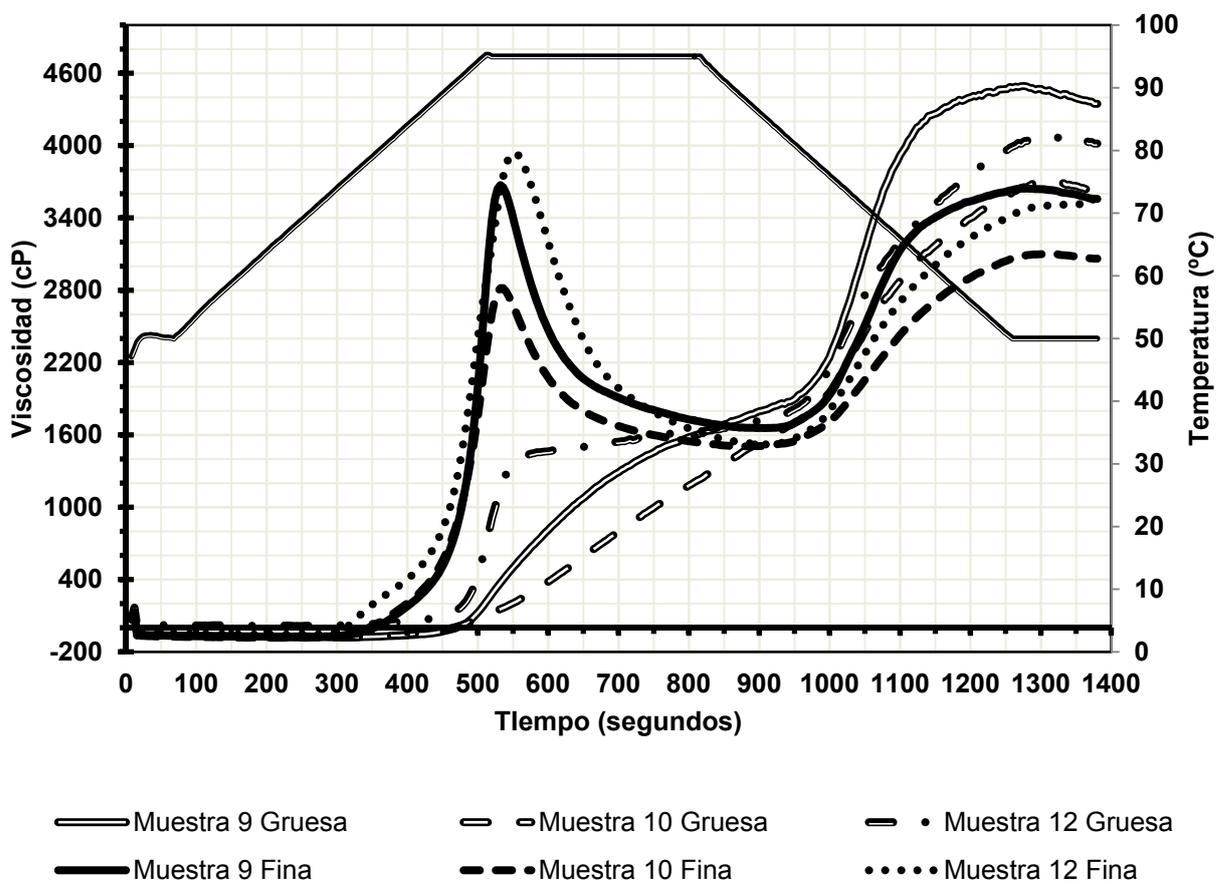


Ilustración 15. Perfil RVA de muestras de arroz, variedad Índica, región Sado, de granulometría gruesa y fina.

Tabla XXXIV. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de arroz variedad Japónica, Región Sado, a partir de muestras de granulometría fina.

Mues- -tra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg.)	PST (°C)
14	4499±197	1258±40	3242±156	2497±25	1239±16	9,10±0,04	75,98±0,04
15	4286±38	1524±6	2762±44	2890±5	1366±1	9,24±0,05	78,35±0,57

Tabla XXXV. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de arroz variedad Japónica, Región Sado, a partir de muestras de granulometría gruesa.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg.)	PST (°C)
14	2570±36	1694±43	876±65	3262±77	1568±39	9,32±0,03	89,20±0,35
15	2476±47	162±21	849±25	3311±1	1684±20	9,30±0,04	89,98±0,04

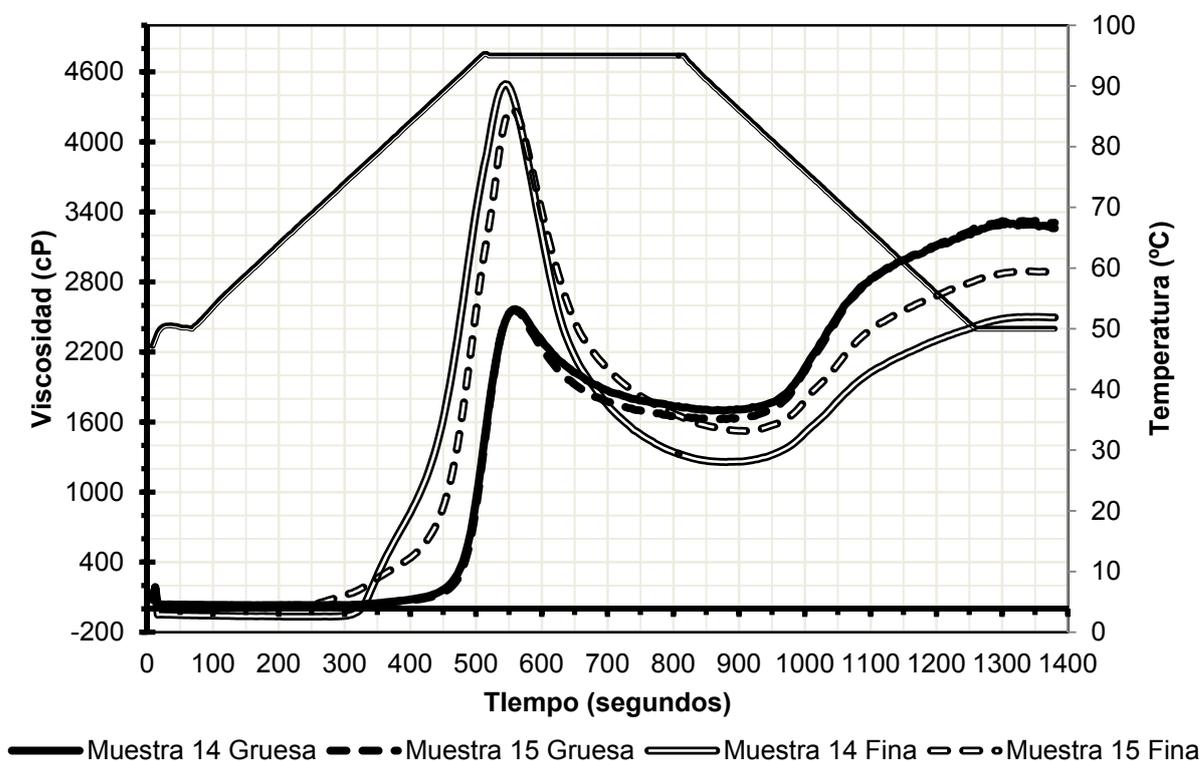


Ilustración 16. Perfil RVA de muestras de arroz, variedad Japónica, región Sado, de granulometría gruesa y fina.

En la Tabla XXXVI se evaluaron los valores de PKV de las muestras de arroz, agrupadas por variedad, región y granulometría, a los fines de evaluar si existen diferencias significativas entre dichos valores de viscosidad. Resultó evidente que las muestras de granulometría fina tuvieron mayores valores de pico de viscosidad que las muestras de granulometría gruesa. De hecho, para las muestras de granulometría gruesa de la variedad índica no fue observado un claro pico de viscosidad. Las diferencias de los comportamientos de una misma muestra con granulometrías finales puede explicarse a partir de estudios realizados por Hasjim *et al* publicados en 2013 (64). La falta de un pico de viscosidad definido durante el calentamiento y mantenimiento a 95 °C y la alta viscosidad durante el enfriamiento y mantenimiento a 50 °C luego del enfriamiento de la harina de arroz con los tamaños de partículas más grandes pueden ser atribuidos a la gran cantidad de proteína nativa y/o estructura de pared celular estabilizando el medio y previniendo la ruptura por cizallamiento de los gránulos de almidón hinchado durante el calentamiento en el RVA (64). La estructura proteica nativa y de pared celular pueden romperse cuando los granos se encuentren sujetos a una fuerza de trituración mayor o un mayor tiempo de molienda para producir harinas con un tamaño de partícula menor, debilitando el efecto de las estructuras proteicas y de pared celular en las propiedades de *pasting* (64). A pesar de que las proteínas pueden estabilizar el medio e incrementar la viscosidad general durante el *pasting*, la matriz proteica puede restringir el hinchamiento de los gránulos de almidón durante el calentamiento (64). El paso de la harina de arroz por el molino hasta reducir sensiblemente la granulometría causa una destrucción de la estructura proteica, permitiendo a los gránulos de almidón hincharse en una mayor extensión durante el calentamiento (64).

En un análisis de los valores de viscosidad de las muestras, tanto en el grupo de harinas de granulometría fina como en el de granulometría gruesa, las muestras de la variedad japónica registraron valores de PKV significativamente más altos que los de la variedad índica. En este aspecto, y recordando lo que fue mencionado en el apartado de Antecedentes sobre las propiedades RVA cuando se dijo que el pico de viscosidad (PKV) y el *breakdown* (BDV), así como en la temperatura de *pasting*, están correlacionados de forma negativa con el contenido de amilosa (36, 42, 44), puede verse que las muestras con menores valores de AMAT tuvieron los mayores valores de PKV tanto en muestras de granulometría fina como en aquellas de granulometría gruesa (ver valores AMAT, Tabla XXI a Tabla XXIII). En lo que respecta a los resultados de granulometría fina, en este trabajo se obtuvieron resultados similares a los publicados por Lin *et al*, 2011 (42), reproducidas en la Ilustración 8. Sin embargo, un análisis minucioso de las concentraciones AMAT, a partir de las evaluaciones de diferencias entre medias descritas en la Tabla XXV y la Tabla XXVI no muestran cantidades que sean significativamente di-

ferentes, indicando que deben existir otros parámetros que justifiquen los comportamientos observados. Algunos autores indicaron que es la amilopectina, tanto en su concentración como en su ultraestructura, la que justifica las propiedades de los perfiles RVA (38, 65).

Tabla XXXVI. Valores de PKV de las muestras de arroz, expresados como Media \pm DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media	\pm DE	
Japónica	Sado	Fina	4393	\pm 169	A
Índica	Sado	Fina	3479	\pm 525	B
Índica	Ribatejo	Fina	3385	\pm 527	B
Japónica	Sado	Gruesa	2567	\pm 93	C
Índica	Ribatejo	Gruesa	1861	\pm 407	D
Índica	Sado	Gruesa	1419	\pm 245	D

El análisis de los valores de *through viscosity* (TGV), es decir, los valores del valle de viscosidad posterior al PKV en la curva RVA, fue realizado en base a los resultados mostrados en la Tabla XXXVII. No pudo extraerse información relevante en el análisis de este parámetro, no solo porque no se encuentran diferencias importantes entre las muestras, sino porque este punto del gráfico de viscosidad del *pasting* es poco útil si no se considera también el pico de viscosidad, siendo por lo tanto más importante el análisis de la diferencia entre PKV y TGV, es decir, el *breakdown* (BDV).

Tabla XXXVII. Valores de TGV de las muestras de arroz, expresados como Media \pm DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media	\pm DE	
Índica	Ribatejo	Gruesa	1872	\pm 402	A
Japónica	Sado	Gruesa	1663	\pm 50	AB
Índica	Sado	Fina	1561	\pm 75	B
Índica	Ribatejo	Fina	1503	\pm 155	B
Índica	Sado	Gruesa	1426	\pm 239	B
Japónica	Sado	Fina	1391	\pm 156	B

En base a los valores de BDV de las muestras de arroz de la Tabla XXXVIII, fuertes diferencias aparecieron entre las harinas de granulometría fina y aquellas de granulometría

gruesa. A su vez, entre las muestras de igual granulometría, las harinas de la variedad japónica tuvieron medias significativamente mayores a las de la variedad índica. El análisis en este parámetro es similar al realizado para los PKV, dado que el *breakdown* resulta de la diferencia entre el pico de viscosidad y el TGV y, no habiendo diferencias entre los valores de este último en las muestras analizadas, el BDV estuvo principalmente influenciado por el PKV. Nótese que los valores de BDV para las muestras de granulometría gruesa de la variedad índica los valores fueron negativos y cercanos al valor cero (-6 ± 8 cP para la variedad índica de la región Sado y -11 ± 5 cP para la misma variedad de la región Ribatejo) lo que puede interpretarse como una fuerte resistencia de los amiloplastos de estas harinas al hinchamiento y posterior ruptura, gracias a que mantuvieron más estables sus estructuras granulares, producto de la poca agresividad de la molienda. Todo esto coincide con lo que se mencionó en apartados anteriores, en base a lo expuesto en el trabajo de Hasjim y colaboradores, 2013 (64).

Tabla XXXVIII. Valores de BDV de las muestras de arroz, expresados como Media \pm DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media	\pm DE	
Japónica	Sado	Fina	3002	± 292	A
Índica	Sado	Fina	1918	± 501	B
Índica	Ribatejo	Fina	1882	± 373	B
Japónica	Sado	Gruesa	904	± 110	C
Índica	Sado	Gruesa	-6	± 8	D
Índica	Ribatejo	Gruesa	-11	± 5	D

Los valores de viscosidad final (FV) agrupados por variedad, región y granulometría en la Tabla XXXIX, mostraron valores mayores para las muestras de granulometría gruesa respecto a aquellas de granulometría fina. Podría decirse que aquellas muestras con picos de viscosidad mayores tuvieron menores valores de FV. Además, para cada grupo de muestras de una determinada variedad y región, las harinas de granulometría gruesa mostraron mayores valores de viscosidad final cuando fueron comparadas con otras de igual variedad y región pero de granulometría fina. Se había mencionado en la introducción que el movimiento de las moléculas de almidón en el *pasting* disminuye cuando la temperatura desciende. En este respecto, se ha dicho también que las moléculas de amilosa tienden a ordenarse en paralelo gracias a los enlaces de puente hidrógeno, razón por la cual Lin *et al*, 2011 (42) indicaron que aquellas muestras con altas concentraciones de amilosa tienden a la retrogradación con mayor facilidad, siendo su

viscosidad final relativamente más alta. A pesar de que no pudieron demostrarse en este trabajo diferencias significativas en las concentraciones de amilosa de las muestras analizadas (lo cual ya fue mencionado cuando se evaluaron los valores de PKV), una comparación directa entre los valores de concentración de amilosa de las harinas (Tabla XXI a Tabla XXIII) con los valores de FV podrían confirmar este postulado. De manera adicional, y comparando los gráficos de RVA de los autores últimos (Ilustración 8) con los perfiles obtenidos en este trabajo (Ilustración 14 a Ilustración 16) en ambos casos las harinas de arroces de variedad índica mostraron valores de FV mayores a los correspondientes a los de variedad japónica.

Tabla XXXIX. Valores de FV de las muestras de arroz, expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media	±DE	
Índica	Ribatejo	Gruesa	4334	±275	A
Índica	Sado	Gruesa	3999	±323	B
Índica	Sado	Fina	3388	±254	C
Japónica	Sado	Gruesa	3282	±60	C
Índica	Ribatejo	Fina	2943	±299	D
Japónica	Sado	Fina	2693	±227	D

Los valores de *setback* (SBV), resultantes de la diferencia entre la viscosidad final y la TGV, arrojaron, según lo observado en la Tabla XL, tendencias similares a lo observado en el análisis de las viscosidades finales, pues al igual que lo ocurrido en la discusión de resultados de PKV y BDV, los valores de TGV no realizaron aportes significativos en la diferenciación de las muestras dada la poca variabilidad entre los mismos.

Tabla XL. Valores de SBV de las muestras de arroz, expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media	±DE	
Índica	Sado	Gruesa	2574	±189	A
Índica	Ribatejo	Gruesa	2462	±163	A
Índica	Sado	Fina	1828	±217	B
Japónica	Sado	Gruesa	1619	±70	C
Índica	Ribatejo	Fina	1440	±146	CD
Japónica	Sado	Fina	1302	±74	D

Los valores de PKT (*peak time*, tiempo en el aparece el pico de viscosidad, Ilustración 4), de la Tabla XLI ilustran el comportamiento de las harinas analizadas, donde las harinas de granulometría gruesa tuvieron mayores tiempos hasta alcanzar el primer máximo de viscosidad (PKV) esto tiene sentido si se piensa que las mismas tuvieron sus estructuras granulares mejor conservadas, debido al menor esfuerzo aplicado en la molienda, con lo cual el hinchamiento del gránulo durante el *pasting* se vio más impedido. Los autores de *The RVA Handbook*, 2007 (41) indicaron que un tiempo mayor es requerido para que partículas grandes queden suficientemente hidratadas, así como para que la energía fluya hacia adentro o afuera del gránulo. En la mayoría de los casos, es imprescindible que la mayoría de los gránulos esté suficientemente hidratados para que la viscosidad aumente de manera que pueda observarse el pico de viscosidad en el RVA.

En este ensayo, las muestras de granulometría fina de ambas variedades de arroz poseen tiempos PKT cercanos a los 9 segundos, aunque para cada grupo de variedad y región las respectivas medias fueron significativamente diferentes. Las muestras de la variedad japónica tuvieron tiempos semejantes de aparición del pico de viscosidad entre las diferentes granulometrías, a pesar de que en la Tabla XLI se muestren como significativamente diferentes. Sin embargo, las muestras de la variedad índica mostraron grandes diferencias entre ambas granulometrías, entre los 13,0 segundos aproximadamente para las gruesas y cerca de 8,9 segundos para las finas, es decir, una diferencia mayor a los 4 segundos. Este fenómeno podría explicarse de la misma manera que para el PKV y el BDV, es decir, por causa del contenido de amilosa en la muestra y/o la ultraestructura del amiloplasto, tanto en la longitud y ramificaciones de las moléculas de amilopeptina, estructuras proteicas en el gránulo, etc.

Tabla XLI. Valores de PKT de las muestras de arroz, expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media	±DE	
Índica	Sado	Gruesa	13,00	±0,00	A
Índica	Ribatejo	Gruesa	12,99	±0,03	A
Japónica	Sado	Gruesa	9,30	±0,03	B
Japónica	Sado	Fina	9,17	±0,09	C
Índica	Sado	Fina	8,98	±0,15	D
Índica	Ribatejo	Fina	8,87	±0,08	E

La temperatura de *pasting*, (*Pasting temperature*, PST, Ilustración 4) fue definida como la temperatura a la cual comienza el rápido ascenso de viscosidad hacia el PKV. Los valores de PST obtenidos en este trabajo son presentados en la Tabla XLII. De igual manera que lo discutido en el análisis de los tiempos PKT, aquellas muestras de granulometría gruesa necesitaron mayores temperaturas para registrar un aumento de viscosidad. En las harinas de mayor granulometría, las muestras de la variedad índica necesitaron mayores temperaturas que las de la variedad japónica (alrededor de 92°C para la variedad índica frente a 89°C para la variedad japónica). No se encontraron diferencias significativas entre las PST de las diferentes muestras de granulometría fina, ubicadas entre los 77 a 79°C.

Tabla XLII. Valores de PST de las muestras de arroz, expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad región y granulometría.

Variedad	Región	Granulometría	Media ±DE	
Índica	Sado	Gruesa	92,86 ±1,82	A
Índica	Ribatejo	Gruesa	92,43 ±1,60	A
Japónica	Sado	Gruesa	89,41 ±0,46	B
Índica	Ribatejo	Fina	79,66 ±1,76	C
Índica	Sado	Fina	78,98 ±3,09	C
Japónica	Sado	Fina	77,16 ±1,41	C

5.3.2. Maíz y pseudocereales

De manera separada a las muestras de arroz, las harinas de maíz y pseudocereales provenientes de las provincias argentinas de Jujuy y Salta fueron analizadas conjuntamente en este apartado, con sus respectivos datos mostrados en la Tabla XLIII a la Tabla XLV, y sus perfiles de RVA fueron graficados en la ilustración Ilustración 17.

Contrariamente a lo observado para las muestras de arroz, el comportamiento de los pseudocereales no tuvo correspondencia con perfiles típicos de RVA. Sólo la muestra de maíz, que es un cereal al igual que el arroz, mostró un perfil esperado en este ensayo.

En todas las muestras fueron observados valores de viscosidad final más altos que los respectivos picos de viscosidad, con una TGV prácticamente ausente en los pseudocereales, en contraste con lo observado por Kaur *et al*, 2010 (55) donde parece ocurrir lo contrario. A pesar de que los estándares de los ensayos no fueron iguales (programa de 13 segundos utilizado por el autor frente a uno de 23 segundos usado en este trabajo) es esperable que esta diferencia se

traduzca en valores de viscosidad final más bajos en un ensayo largo frente a otro de menos tiempo de la misma muestra, lo cual hace aún más evidente las discrepancias entre lo observado en este trabajo y lo comunicado por los autores últimos. También hay diferencias en las temperaturas a las cuales fueron alcanzados los picos de viscosidad (*pasting temperature*, PST) donde las muestras argentinas tuvieron entre 88 y 92°C, mientras que las referidas por los autores citados se ubicaron entre 69 y 75°C (55).

Si se observan la Ilustración 9 y la Ilustración 17 podría decirse que los picos de viscosidad son semejantes, y en todos los casos menores a los correspondientes a las muestras de arroz. Lo mismo fue observado en los ensayos de este trabajo, aunque, estrictamente hablando y a través de lo mostrado en los gráficos, tanto la viscosidad TGV como la BDV son difícilmente reconocibles, ya que la viscosidad parece no descender en ningún momento durante la fase a temperatura constante de 95°C.

Tabla XLIII. Detalle de parámetros RVA determinados en muestras de pseudocereales de la provincia de Jujuy, Argentina.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg)	PST (°C)
Amaranto	1202±2	1201±3	1±5	2009±12	808±9	13,00±0,00	87,80±0,78
QUI-JJY	1701±42	1706±47	-5±4	1707±39	1±8	13,00±0,00	88,35±0,07

Tabla XLIV. Detalle de parámetros RVA determinados en muestra de quínoa de la provincia de Salta, Argentina.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg)	PST (°C)
QUI-SLT	799±18	798±13	2±5	1203±11	406±2	12,97±0,05	92,18±0,32

Tabla XLV. Detalle de parámetros RVA determinados en muestra de maíz de la provincia de Jujuy, Argentina.

Muestra	PKV (cP)	TGV (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)	PKT (Seg)	PST (°C)
Maíz	1392±32	966±0	426±32	2460±36	1494±36	8,84±0,05	86,88±0,04

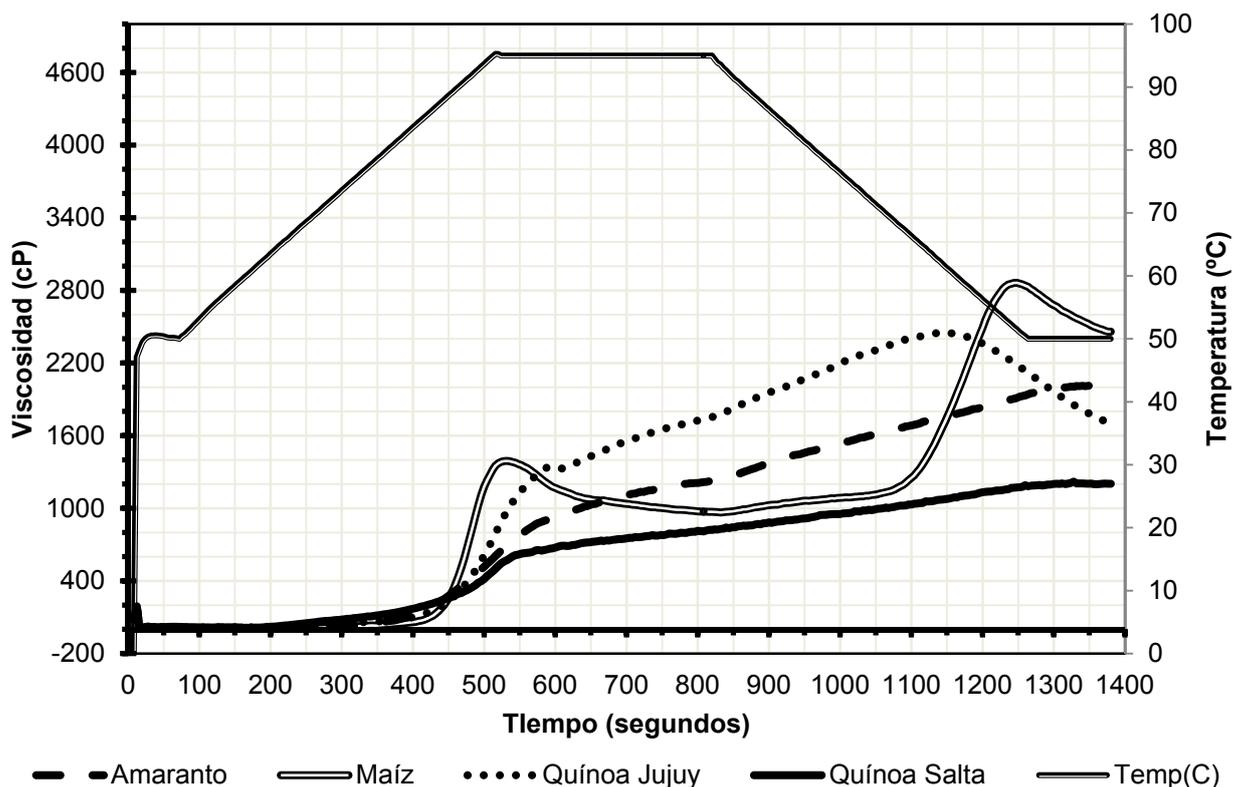


Ilustración 17. Perfil RVA de muestras pseudocereales de las provincias de Jujuy y Salta, y maíz de la provincia de Jujuy.

5.3.3. Comparaciones entre muestras

Las muestras de arroz, maíz y pseudocereales son comparadas en este segmento, que incluye a los valores desde la Tabla XLVI a la Tabla L. Todas las harinas analizadas fueron de granulometría fina.

En la introducción se mencionó que estas muestras tenían amiloplastos pequeños (amaranto y arroz) y medianos (maíz) de formas poliédricas. Sin embargo, también se advirtió que las concentraciones de macronutrientes son bastante diferentes entre los diferentes granos, sin pasar por alto el hecho de que pertenecen a divisiones botánicas diferentes. Todo lo mencionado fue importante para entender las semejanzas o diferencias en los comportamientos de los materiales frente a los ensayos realizados.

Tal como se mencionó con anterioridad, los valores de PKV en las muestras de arroz fueron significativamente mayores a las de maíz y pseudocereales (Tabla XLVI). Esto tiene sentido si se piensa que, frente a las diferencias en las concentraciones de almidón y en ausencia

de otros elementos que contribuyan a la viscosidad, aquellas muestras con mayores concentraciones de AT mostraron mayores viscosidades durante el *pasting*, sin perder de vista que aquellos amiloplastos más resistentes al hinchamiento tuvieron menores valores de viscosidad.

Tabla XLVI. Comparación de valores de PKV de todas las muestras analizadas (granulometría fina), expresados como Media \pm DE y agrupados por especie, variedad y región.

Especie	Variedad	Región	Media	\pm DE	
Arroz	Japónica	Sado	4393	\pm 169	A
Arroz	Índica	Sado	3479	\pm 525	B
Arroz	Índica	Ribatejo	3385	\pm 527	B
Quínoa	Quínoa	Jujuy	1701	\pm 42	C
Maíz	Maíz	Jujuy	1392	\pm 32	CD
Amaranto	Amaranto	Jujuy	1202	\pm 2	CD
Quínoa	Quínoa	Salta	799	\pm 18	D

En la Tabla XLVII puede observarse que los valores de *breakdown* (BDV) de las muestras de arroz fueron significativamente mayores a los de maíz y pseudocereales. Las razones por la cual esto ocurrió pueden justificarse de la misma manera que para las diferencias de viscosidad PKV. Se mencionó con anterioridad que en los gráficos de RVA de maíz y pseudocereales no puede determinarse con facilidad la presencia de un valor de BDV, pues la viscosidad parece aumentar en todo el periodo a temperatura constante de 95°C. Esto puede ser el resultado de un hinchamiento dificultoso en los amiloplastos, producto de las estructuras nativas que se mantuvieron intactas luego de la molienda, de manera similar a lo que se dijo para explicar el poco aumento de viscosidad en harinas de arroz de granulometría gruesa. Sin embargo, una mayor cantidad de factores podrían explicar el *breakdown* casi ausente en muestras de pseudocereales. Puede notarse que los gránulos no se hinchan lo suficiente en el tiempo de temperatura constante, y esto puede deberse a que las estructuras proteicas y de pared celular de las harinas de quínoa y amaranto son más resistentes o también a que la gran cantidad de fibras y proteínas podrían estar adsorbiendo agua, evitando de forma competitiva que sea incorporada por los amiloplastos. En ambos casos, parece que los componentes no amiláceos juegan un papel muy importante en este efecto. Adicionalmente, diferencias ultraestructurales en la fracción de amilopectina del almidón debieron influenciar el comportamiento de estas harinas durante el *pasting*.

Tabla XLVII. Comparación de valores de BDV de todas las muestras analizadas (granulometría fina), expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad y región.

Especie	Variedad	Región	Media	±DE	
Arroz	Japónica	Sado	3002	±292	A
Arroz	Índica	Sado	1918	±501	B
Arroz	Índica	Ribatejo	1882	±373	B
Maíz	Maíz	Jujuy	426	±32	C
Quínoa	Quínoa	Salta	2	±5	C
Amaranto	Amaranto	Jujuy	1	±5	C
Quínoa	Quínoa	Jujuy	-5	±4	C

La comparación de los valores de viscosidad final (FV) a partir de los datos de la Tabla XLVIII muestra valores significativamente mayores de para las muestras de arroz respecto de las muestras de maíz y pseudocereales. Aquí pueden observarse diferencias significativas en las variedades y regiones de arroz, la muestra de maíz y entre muestras de amaranto y quínoa, que guardan relación con las respectivas diferencias en las concentraciones de almidón total (Tabla XXIV), cuyo efecto en el aumento de viscosidad a mayores concentraciones es más claro cuando las diferencias entre las cantidades de cada harina son evidentes.

Tabla XLVIII. Comparación de valores de FV de todas las muestras analizadas (granulometría fina), expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad y región.

Especie	Variedad	Región	Media	±DE	
Arroz	Índica	Sado	3388	±254	A
Arroz	Índica	Ribatejo	2943	±299	B
Arroz	Japónica	Sado	2693	±227	BC
Maíz	Maíz	Jujuy	2460	±36	C
Amaranto	Amaranto	Jujuy	2009	±12	D
Quínoa	Quínoa	Jujuy	1707	±39	D
Quínoa	Quínoa	Salta	1203	±11	E

Información relevante ofrece la comparación de los valores de tiempo PKT entre las diferentes muestras, descritas en la Tabla XLIX. El hecho de que las muestras de pseudocereales mostraran tiempos tan elevados (alrededor de 13 segundos) indicó que los respectivos

gránulos de almidón de estas harinas mostraron una resistencia al hinchamiento, o hubo algún tipo de competición por el agua con algún otro componente, tal como se indicó en este apartado con anterioridad.

El mismo efecto se observa en la Tabla L que muestra las medias de los valores de *pasting temperature* (PST) Fueron necesarias temperaturas entre los 88 y los 92 °C para el inicio del aumento de viscosidad hasta el PKV en muestras de pseudocereales, un rango de temperatura muy cercano a los 95 °C de temperatura máxima del ensayo.

La muestra de maíz tuvo un tiempo idéntico al de las muestras de arroces para alcanzar el pico de viscosidad (8,8 segundos), mientras que la temperatura para alcanzar el pico de viscosidad fue muy semejante a las muestras de pseudocereales (86,9°C). Ya se ha descrito con anterioridad que, en los ensayos de RVA, el maíz tuvo comportamientos cercanos a los esperados en los cereales en algunos casos, mientras que en otros se mostró cercano a los pseudocereales.

Tabla XLIX. Comparación de valores de PKT de todas las muestras analizadas (granulometría fina), expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad y región.

Especie	Variedad	Región	Media	±DE	
Amaranto	Amaranto	Jujuy	13,00	±0,00	A
Quínoa	Quínoa	Jujuy	13,00	±0,00	A
Quínoa	Quínoa	Salta	12,96	±0,05	A
Arroz	Japónica	Sado	9,17	±0,09	B
Arroz	Índica	Sado	8,98	±0,15	C
Arroz	Índica	Ribatejo	8,87	±0,08	C
Maíz	Maíz	Jujuy	8,84	±0,05	C

Tabla L. Comparación de valores de PST de todas las muestras analizadas (granulometría fina), expresados como Media +DE y agrupados por especie, variedad y región.

Especie	Variedad	Región	Media	±DE	
Quínoa	Quínoa	Salta	92,17	±0,32	A
Quínoa	Quínoa	Jujuy	88,35	±0,07	B
Amaranto	Amaranto	Jujuy	87,80	±0,78	B
Maíz	Maíz	Jujuy	86,88	±0,04	B
Arroz	Índica	Ribatejo	79,66	±1,76	C
Arroz	Índica	Sado	78,98	±3,09	C
Arroz	Japónica	Sado	77,16	±1,41	C

Es importante resaltar, a partir de los resultados anteriormente expuestos, que valores de viscosidad final adecuados son muy importantes para la realización de productos a partir de farináceos. Por lo tanto, los valores de viscosidad más altos para las muestras de arroces frente a los otros materiales indican que los primeros son muy convenientes como agentes de textura y viscosidad, así como para el ya conocido empleo en la elaboración de productos de panificación. Sin embargo, lo presentado hasta aquí como una característica tecnológica desfavorable para muestras como los pseudocereales no implica necesariamente un impedimento en el uso de sus harinas como materias primas. Álvarez-Jubete *et al*, 2010, encontraron que el uso de partes iguales de harinas de quínoa o amaranto con harinas de arroz en formulaciones libres de gluten producen un ligero mejoramiento en la calidad del producto final (66). Los mismos autores señalan que, en panificación libre de gluten, la viscosidad de los batidos anterior a la gelatinización del almidón (en este tipo de panificación, se considera más apropiada la utilización del término *batido* y no *masa*, para referirse a la mezcla inicial de todos los ingredientes), es crucial para prevenir la sedimentación de las partículas de harinas y el escape del gas producido, manteniendo un sistema homogéneo durante el leudado y el horneado hasta la gelatinización del almidón (66). En concordancia con esto, los autores citados encontraron que el volumen final de los panes libres de gluten se incrementó con el aumento del pico de viscosidad de la harina del pseudocereal medido en el RVA (66).

5.4. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (*Principal Components Analysis*, PCA) es una manipulación matemática de la matriz de datos donde se pretende representar la variación presente en muchas variables usando un número reducido de factores (67). Las muestras son redistribuidas en un gráfico, empleando los factores obtenidos en lugar de las variables medidas originales (67). Los nuevos ejes denominados factores o componentes principales, permiten analizar matrices con muchas variables y observar la verdadera naturaleza multivariada de las muestras en un número de dimensiones relativamente pequeño, permitiendo facilitar el análisis sin reducir el número de variables ensayadas (67).

En la Ilustración 18 se grafican en un diagrama de dispersión de dos factores o componentes principales las ubicaciones de varias muestras ensayadas. Las muestras graficadas corresponden a los arroces y pseudocereales.

El componente 1 consiguió separar eficientemente las muestras de arroces del grupo de las quínoas y el amaranto, mientras que el componente 2 permite observar diferencias en las muestras de arroz, donde puede observarse las diferencias en las variedades. En este mismo componente pueden identificarse, las muestras de la variedad índica correspondiente a la región Sado respecto de la región Ribatejo. En conjunto, los dos componentes principales explican 86,2% de la variabilidad en los datos originales, correspondiendo un 67,1% de esa variabilidad al componente 1 y un 19,1% al componente 2.

Es importante resaltar que las muestras de arroces mostraron una gran dispersión a pesar de que las mismas forman parte de la misma especie, mientras que quínoa y amaranto se ubicaron muy próximas en el diagrama a pesar de formar parte de especies diferentes.

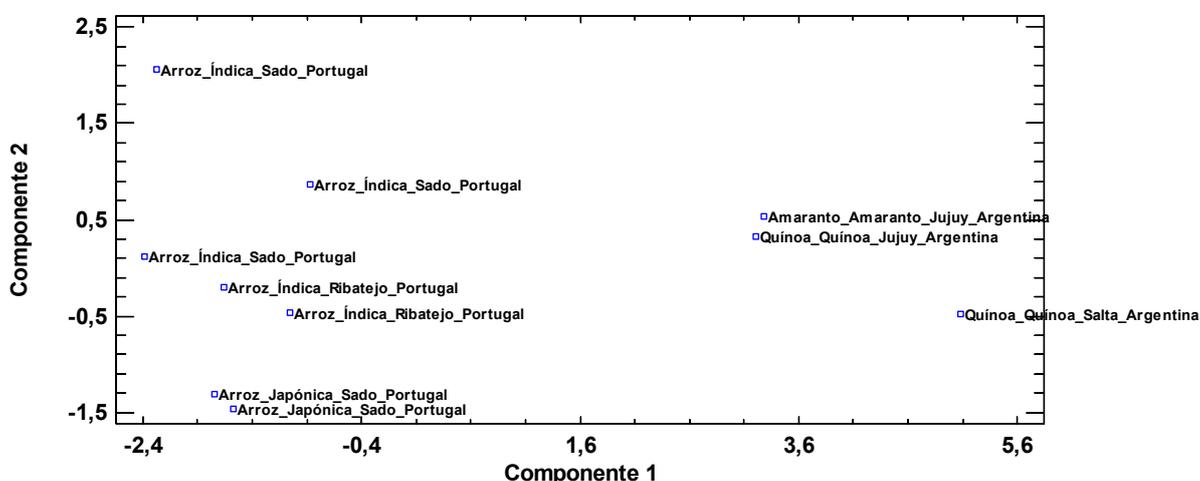


Ilustración 18. Diagrama de dispersión de muestras en dos componentes principales.

En la Ilustración 19 pueden observarse los aportes de cada variable medida en la división de dos componentes, cuyos valores fueron tomados de la Tabla LI. Tanto los análisis composicionales como los ensayos RVA de las muestras de granulometría fina fueron incluidos en el análisis.

Las variables de concentración de almidón total y concentración de proteínas fueron las de mayor peso en la configuración del componente 1, mientras que la concentración de amilosa como porcentaje de almidón total (AMAT) fue la más fuerte en el componente 2. Almidón total y proteínas totales tuvieron pesos similares pero coeficientes de signos opuestos, lo cual permitió una clara diferenciación de las muestras de cereales respecto de las de pseudocereales.

Los parámetros de viscosidad de RVA tuvieron coeficientes negativos respecto del componente 1, mientras que tiempo PKT y temperatura PST mostraron coeficientes positivos respecto del mismo componente. Eso permitió alejar aún más las muestras de arroces de las de pseudocereales a lo largo de este eje.

Respecto del componente 2, además de la concentración de amilosa, valores de viscosidad final y *setback* tuvieron coeficientes positivos, ubicando a las muestras de variedad índica, que tuvieron los máximos valores en estos parámetros (Tabla XXV y Tabla XXVI para amilosa, Tabla XXXIX para viscosidad final y Tabla XL para *setback*), en mayores valores en este factor, mientras que las viscosidades PKV y BDV tuvieron coeficientes negativos, dejando en valores más bajos a los arroces de variedad japónica, los cuales tuvieron los mayores valores de viscosidad en estos dos parámetros (Tabla XXXVI y Tabla XXXVIII), permitiendo una mayor resolución de las muestras de arroces.

Tal como se mencionó con anterioridad, también fue posible diferenciar las regiones de las diferentes variedades de arroz. Las muestras de la variedad índica de la región Sado mostraron una amplia variedad entre ellas, mientras que aquellas de la variedad índica del Ribatejo y japónica del Sado se mostraron más cercanas unas de otras dentro del mismo grupo de variedad y región.

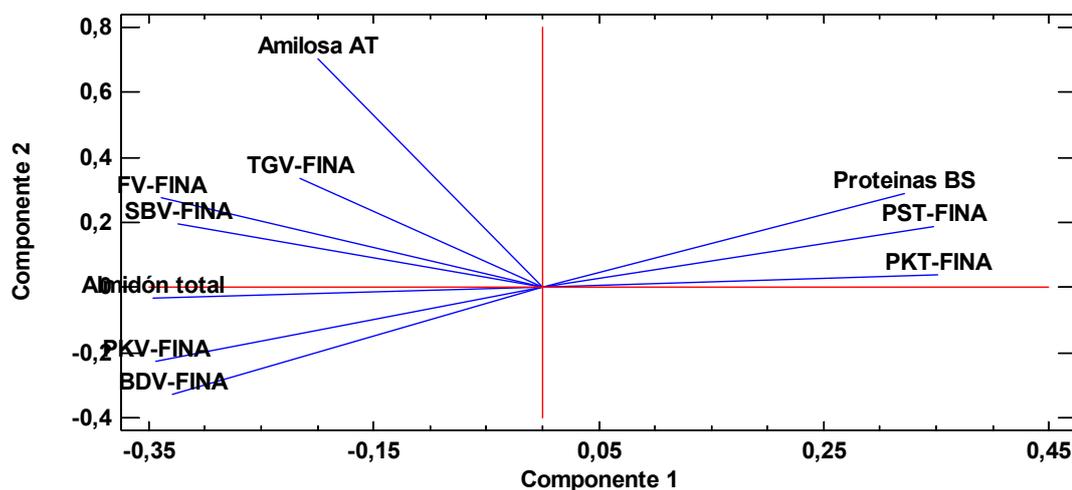


Ilustración 19. Gráfico de pesos de cada parámetro medido en los dos componentes principales.

Tabla LI. Tabla de peso de los parámetros medidos en los dos componentes principales.

Variables	Componente 1	Componente 2
Proteínas	0,321349	0,288323
Amilosa AT	-0,199574	0,702777
Almidón total	-0,346605	-0,030693
PKV-FINA	-0,343653	-0,227850
TGV-FINA	-0,214984	0,334001
BDV-FINA	-0,329042	-0,326857
FV-FINA	-0,338979	0,275839
SBV-FINA	-0,324398	0,195886
PKT-FINA	0,350677	0,040825
PST-FINA	0,347953	0,188678

6. CONCLUSIONES

Gracias a los ensayos que se realizaron en este trabajo, sumados a la información disponible en bibliografía, fue posible la extracción de varias conclusiones en relación a la caracterización tecnológica y nutricional de las muestras de arroz, pseudocereales y maíz de este estudio.

Las primeras cuestiones a ser resaltadas fueron las semejanzas y diferencias observadas entre cada una de las muestras estudiadas y sus contrapartes publicadas en artículos. Con respecto a las semejanzas, pudo verse que las muestras no resultaron muy distintas en términos de concentraciones de almidón total y proteínas totales, donde las muestras de arroz tuvieron mayores concentraciones de almidón total que los pseudocereales, mientras que estos últimos mostraron mayor contenido proteico que los primeros.

Las concentraciones de aminoácidos también fueron semejantes entre muestras de igual especie y variedad, con una especial excepción en la concentración de lisina en muestras de arroz (Tabla XVII) cuyos valores fueron más bajos que los observados en la bibliografía (Antecedentes, Tabla VI).

Resultó un poco más difícil mantener esta conclusión cuando se compararon los valores de amilosa total y almidón resistente en los cereales. Las muestras de arroces agrupadas por variedad y región tuvieron diferencias en las concentraciones de amilosa, aunque siempre mayores en promedio que las correspondientes al maíz y los pseudocereales. Las muestras de arroz de Portugal tuvieron valores de almidón resistente mayores a las demás muestras analizadas, pero no fue posible realizar una comparación efectiva con los valores de los antecedentes, los cuales mostraron una variación muy amplia en algunos casos. Se ha expresado que la variabilidad individual de cada planta y los factores medioambientales afectan en gran medida las concentraciones de estos componentes amiláceos y la concentración de almidón total, lo cual es especialmente evidente en los cereales, complicando la posibilidad de encontrar valores característicos en estas especies.

Las concentraciones de almidón resistente dieron un gran aporte a la evaluación nutricional de las harinas. Se cumplió, en mayor o menor medida, la hipótesis que fue expresada por varios autores de que mayores concentraciones de amilosa contribuyen a un aumento en la cantidad de almidón resistente, sin que existiesen correlaciones fuertes entre estos dos parámetros.

En lo que respecta a la caracterización nutricional de las muestras analizadas, pudo concluirse que cada una de ellas realiza un aporte particular a la nutrición humana, ya que, por un lado, maíz y pseudocereales mostraron una ventaja en el aporte de proteínas y de aminoácidos esenciales, aunque fueron muy pobres en cantidad de almidón resistente, sugiriendo que los almidones de estas harinas son fácilmente digeribles. Respecto a lo analizado en este sentido, debe tenerse especial atención cuando se analiza la presencia de almidón resistente y las conclusiones que pueden ser elaboradas al respecto. Si bien los arroces tienen porcentajes más elevados de este grupo de carbohidratos de lenta o nula digestión, no debe perderse de vista que poseen cantidades muy altas de almidón total, siendo muy pobres en otros compuestos como proteínas y fibras, que se encuentran en mayor cantidad en granos como los de quínoa y amaranto, y que mayores cantidades de almidón significan también mayores cantidades de carbohidratos digeribles frente a una misma cantidad de muestra total.

Por otro lado las conclusiones en relación a las características tecnológicas inclinan la balanza en favor del arroz. Cuando este es incorporado en alimentos que fueron preparados a partir de harinas, el mismo presentaría adecuadas características como agente de textura y viscosidad, lo cual pudo deducirse tanto por el conocimiento empírico como, en parte, por el comportamiento mostrado en perfiles RVA. Las conclusiones respecto de la utilización tecnológica de la quínoa y el amaranto las muestran como materiales cuyo empleo puede resultar dificultoso. A pesar de haberse concluido que sus cualidades nutricionales son excepcionales, particularmente en las muestras ensayadas, alcanzar una hidratación e hinchamiento adecuados junto con un determinado valor de viscosidad es imprescindible durante la preparación de la mayoría de los alimentos a base de harinas, y los pseudocereales muestran dificultades en ese respecto.

En el trabajo se ha mencionado que el maíz morado argentino podría tener características intermedias entre los arroces (por ser un cereal) y los pseudocereales (que se desarrollaron en la misma región de origen). Puede concluirse que esto ocurrió de la manera prevista, pues el maíz tuvo un perfil RVA semejante a los correspondientes a cereales en cuanto a su formato, pero con viscosidades máximas cercanas (aunque mayores) a los pseudocereales. Las concentraciones de elementos composicionales también se ubicaron, por lo general, entre las correspondientes a los arroces y los pseudocereales.

Como conclusión final, puede asegurarse que el esquema de trabajo propuesto en los objetivos cumplió satisfactoriamente con la realización de una caracterización nutricional y tecnológica de las harinas de cereales y pseudocereales libres de gluten ensayados en este trabajo.

7. ANEXO

7.1. Detalle de las muestras presentes en bibliografía consultada para el presente trabajo

Con la intención de mostrar detalles de los análisis composicionales llevados a cabo por otros autores y que sirvieron como punto de comparación para las muestras en este trabajo estudiadas, fue realizada una nomenclatura para describir las muestras la cual fue empleada para identificar las muestras cuyas concentraciones de componentes son expuestas en las tablas siguientes.

Tabla LII. Detalles de muestras del género *Amaranthus* clasificadas por referencia, país, año de colecta, tipo y nomenclatura empleada en este trabajo.

REF	MUESTRA	País	Año	Tipo de muestra	Nomenclatura
(53)	<i>A. caudatus</i> L. var Centenario	Perú	2005	G/H	ACA-PER-2005-01
(53)	<i>A. caudatus</i> L. var Oscar Blanco	Perú	2005	G/H	ACA-PER-2005-02
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1996	Almidón	ACR-CHN-1996-03
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1996	Almidón	ACR-CHN-1996-04
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1997	Almidón	ACR-CHN-1997-05
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1997	Almidón	ACR-CHN-1997-06
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1997	Almidón	ACR-CHN-1997-07
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1997	Almidón	ACR-CHN-1997-08
(68)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	1997	Almidón	ACR-CHN-1997-09
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-10
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-11
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-12
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-13
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-14
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-15
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-16
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-17
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-18
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-19
(29)	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	China	2007	Almidón	ACR-CHN-2007-20

REF	MUESTRA	País	Año	Tipo de muestra	Nomenclatura
(68)	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	China	1997	Almidón	AHB-CHN-1997-21
(29)	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	China	2007	Almidón	AHB-CHN-2007-22
(29)	<i>Amaranthus hypocondriacus</i> L.	China	2007	Almidón	AHP-CHN-2007-23
(29)	<i>Amaranthus hypocondriacus</i> L.	China	2007	Almidón	AHP-CHN-2007-24
(68)	<i>Amaranthus hypocondriacus</i> L.	EEUU	1999	Almidón	AHP-EUA-1999-25
(47)	<i>Amaranthus hypocondriacus</i> L.	EEUU	2000	G/H	AHP- EUA-2000-26
(47)	<i>Amaranthus hypocondriacus</i> L.	EEUU	2000	Almidón	AHP- EUA-2000-27
(29)	<i>Amaranthus paniculatus</i> L.	China	2007	Almidón	APA-CHN-2007-28
(47)	<i>Amaranthus pumilus</i> Raf.	EEUU	2000	G/H	APU-EUA-2000-29
(47)	<i>Amaranthus pumilus</i> Raf.	EEUU	2000	Almidón	APU-EUA-2000-30
(10)	<i>Amaranthus</i> spp.				AXX-XX-XXXX-31

Tabla LIII. Detalles de muestras de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) clasificadas por referencia, país, año de colecta, tipo y nomenclatura empleada en este trabajo.

REF.	País	Variiedad	Año	Tipo de muestra	Nomenclatura
(11)	Perú	Blanca de Juli	-	G/H	QUI-PER- XXXX-01
(11)	Perú	Kcancolla	-	G/H	QUI-PER-XXXX-02
(11)	Perú	La Molina 89	-	G/H	QUI-PER-XXXX-03
(12)	Bolivia	Real	1998	G/H	QUI-BOL-1998-04
(11)	Perú	Sajama	-	G/H	QUI-PER-XXXX-05
(68)	Bolivia	-	1999	Almidón	QUI-BOL-1999-06
(68)	Bolivia	-	1999	Almidón	QUI-BOL-1999-07
(68)	Perú	-	1999	Almidón	QUI-PER-1999-08
(10)	-	-	-		QUI-XXX-XXXX-09
(68)	Bolivia	Quínoa Real	1999	Almidón	QUI- BOL-1999-10

Tabla LIV. Detalles de muestras de arroz, variedad Índica, clasificadas por referencia, país, año de colecta, tipo y nomenclatura empleada en este trabajo.

REF	País y Re- gión	Nombre	Año	Tipo	Nomenclatura
(48)	China (Yangzhou)	Arroz Waxy	2007	G/H	ARZ-IND-CHN-2007-01
(48)	China (Yangzhou)	Arroz de baja amilosa	2007	G/H	ARZ-IND-CHN-2007-02
(48)	China (Yangzhou)	Arroz de Amilosa in- termedia	2007	G/H	ARZ-IND-CHN-2007-03
(48)	China (Yangzhou)	Arroz de alta amilosa	2007	G/H	ARZ-IND-CHN-2007-04
(48)	China (Yangzhou)	Arroz Waxy	2007	Almidón	ARZ-IND-CHN-2007-05
(48)	China (Yangzhou)	Arroz de baja amilosa	2007	Almidón	ARZ-IND-CHN-2007-06
(48)	China (Yangzhou)	Arroz de Amilosa in- termedia	2007	Almidón	ARZ-IND-CHN-2007-07
(48)	China (Yangzhou)	Arroz de alta amilosa	2007	Almidón	ARZ-IND-CHN-2007-08
(49)	India	Fino, BASMATI (arroz marrón)	2008	G/H	ARZ-IND-IND-2008-09
(49)	India	Fino, BASMATI (arroz marrón)	2008	Almidón	ARZ-IND-IND-2008-10
(49)	Italia (Pavia)	Superfino, THAIBON- NET	2008	G/H	ARZ-IND-ITA-2008-11
(49)	Italia (Pavia)	Superfino, THAIBON- NET	2008	Almidón	ARZ-IND-ITA-2008-12
(49)	Sri Lanka	Superfino, PA- CHCHAPERUMAL	2008	G/H	ARZ-IND-SRL-2008-13
(49)	Sri Lanka	Superfino, PA- CHCHAPERUMAL	2008	Almidón	ARZ-IND-SRL-2008-14

Tabla LV. Detalles de muestras de arroz, variedad Japónica, clasificadas por referencia, país, región, nombre individual, año de colecta, tipo y nomenclatura empleada en este trabajo.

REF.	País	Región	Nombre Individual	Año	Tipo	Nomenclatura
(49)	Italia	Pavia	Común, SELENIO	2008	G/H	ARZ-JAP-ITA-2008-15
(49)	Italia	Pavia	Fino, SANT'ANDREA	2008	G/H	ARZ-JAP-ITA-2008-16
(49)	Italia	Pavia	Superfino, BALDO	2008	G/H	ARZ-JAP-ITA-2008-17
(49)	Italia	Pavia	Superfino, ARBORIO	2008	G/H	ARZ-JAP-ITA-2008-18
(49)	Italia	Pavia	Común, SELENIO	2008	Almidón	ARZ-JAP-ITA-2008-19
(49)	Italia	Pavia	Fino, SANT'ANDREA	2008	Almidón	ARZ-JAP-ITA-2008-20
(49)	Italia	Pavia	Superfino, BALDO	2008	Almidón	ARZ-JAP-ITA-2008-21
(49)	Italia	Pavia	Superfino, ARBORIO	2008	Almidón	ARZ-JAP-ITA-2008-22
(49)	Italia	Vercelli	Común, PERLA	2008	G/H	ARZ-JAP-ITA-2008-23
(49)	Italia	Vercelli	Común, PERLA	2008	Almidón	ARZ-JAP-ITA-2008-24
(49)	Italia	-	Superfino, ROMA P	2008	G/H	ARZ-JAP-ITA-2008-25
(49)	Italia	-	Superfino, ROMA P	2008	Almidón	ARZ-JAP-ITA-2008-26

Tabla LVI. Detalles de muestras de maíz de Brasil, Región Santa Catarina, año de cosecha 2008/2009, Uarrota y colaboradores (50) clasificadas por variedad, tipo y nomenclatura empleada en este trabajo.

Variedad	Tipo	NOMENCLATURA
BR SC 154	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-1
BR SC 154	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-2
FORTUNA	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-3
FORTUNA	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-4
Lingua de Papagaio, LP - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-5
Lingua de Papagaio, LP	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-6
Lingua de Papagaio, LP - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-7
Lingua de Papagaio, LP	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-8
Mato Grosso Palha Roxa, MG - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-9
Mato Grosso Palha Roxa, MG	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-10
Mato Grosso Palha Roxa, MG - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-11
Mato Grosso Palha Roxa, MG	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-12
MPA1 - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-13
MPA1	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-14
MPA1 - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-15

Variedad	Tipo	NOMENCLATURA
MPA1	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-16
Palha-Roxa, PR - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-17
Palha-Roxa, PR	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-18
Palha-Roxa, PR - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-19
Palha-Roxa, PR - Recultivado	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-20
Rajado 8 Carreiras, R8C - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-21
Rajado 8 Carreiras, R8C - Recultivado	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-22
Rajado 8 Carreiras, R8C - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-23
Rajado 8 Carreiras, R8C - Recultivado	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-24
Rajado, RJ - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-25
Rajado, RJ - Re-cultivado	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-26
Rajado, RJ - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-27
Rajado, RJ - Re-cultivado	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-28
Roxo do Emilio, RXE - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-29
Roxo do Emilio, RXE - Recultivado	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-30
Roxo do Emilio, RXE - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-31
Roxo do Emilio, RXE - Recultivado	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-32
Roxo, RX - Original	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-33
Roxo, RX - Re-cultivado	Almidón	MZ- XXX-BRA-08.09-34
Roxo, RX - Original	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-35
Roxo, RX - Re-cultivado	G/H	MZ- XXX-BRA-08.09-36

Tabla LVII. Detalles de muestras de maíz de varios autores, clasificadas por referencia, país, variedad, año de colecta, tipo y nomenclatura empleada en este trabajo.

REF.	País	Variedad	Año	Tipo	NOMENCLATURA
(54)	EEUU	Maíz Comercial	1997	G/H	MZ- XXX-EUA-1997-37
(54)	EEUU	Maíz no transgénico	1996	G/H	MZ- XXX-EUA-1996-38
(54)	EEUU	Maíz no transgénico	1997	G/H	MZ- XXX-EUA-1997-39
(54)	EEUU	Roundup Ready Línea GA21	1996	G/H	MZ- XXX-EUA-1996-40
(54)	EEUU	Roundup Ready Línea GA21	1997	G/H	MZ- XXX-EUA-1997-41
(51)	India	African tall	2003	Almidón	MZ- XXX-IND-2003-42

REF.	País	Variedad	Año	Tipo	NOMENCLATURA
(51)	India	Girja	2003	Almidón	MZ- XXX-IND-2003-43
(51)	India	LM6 x Waxy	2002	Almidón	MZ- XXX-IND-2002-44
(51)	India	Partap	2003	Almidón	MZ- XXX-IND-2003-45
(51)	India	Vijay	2003	Almidón	MZ- XXX-IND-2003-46
(52)	México	CML-150	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-47
(52)	México	CML-269	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-48
(52)	México	Criollo Acatlán	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-49
(52)	México	H-368	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-50
(52)	México	H-511-d	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-51
(52)	México	H-511-md	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-52
(52)	México	H-513	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-53
(52)	México	H-515	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-54
(52)	México	H-516	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-55
(52)	México	H-553	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-56
(52)	México	H-554	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-57
(52)	México	HV-362	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-58
(52)	México	HV-521	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-59
(52)	México	P3028W	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-60
(52)	México	V-537	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-61
(52)	México	V-538	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-62
(52)	México	VS-334	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-63
(52)	México	VS-534	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-64
(52)	México	VS-535	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-65
(52)	México	VS-537	2002	G/H	MZ- XXX-MEX-2002-66
(68)	EEUU	Normal	1999	Almidón	MZ- XXX-EUA-1999-67
(68)	EEUU	Waxy	1999	Almidón	MZ- XXX-EUA-1999-68

7.2. Almidón total, amilosa, almidón resistente y fibra dietaria

Tabla LVIII. Contenido de AT, AMAT, Y FDT en muestras del género *Amaranthus* tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	AT	AMAT	FDT
ACA-PER-2005-01	-	-	16,4
ACA-PER-2005-02	-	-	13,8
ACR-CHN-2007-10	-	11,4	-
ACR-CHN-2007-11	-	8,7	-
ACR-CHN-2007-12	-	5,5	-
ACR-CHN-2007-13	-	12,5	-
ACR-CHN-2007-14	-	8,6	-
ACR-CHN-2007-15	-	5,8	-
ACR-CHN-2007-16	-	5,2	-
ACR-CHN-2007-17	-	6,0	-
ACR-CHN-2007-18	-	5,7	-
ACR-CHN-2007-19	-	5,0	-
ACR-CHN-2007-20	-	4,7	-
AHB-CHN-2007-22	-	6,1	-
AHP-CHN-2007-23	-	5,8	-
AHP-CHN-2007-24	-	5,4	-
AHP- EU-2000-26	61,0	4,2	-
AHP- EU-2000-27	-	4,2	-
APA-CHN-2007-28	-	8,9	-
APU-EU-2000-29	61,4	8,2	-
APU-EU-2000-30	-	8,2	-

Tabla LIX. Contenido de AT, AMAT, ARAT Y FDT en muestras de arroz, variedad Índica, tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	AT	AM	AR	FDT
ARZ-IND-CHN-2007-01	91,6	1,9	4,9	5,1
ARZ-IND-CHN-2007-02	90,8	18,2	<0,1	6,3
ARZ-IND-CHN-2007-03	92,6	25,2	18,3	6,8
ARZ-IND-CHN-2007-04	85,4	61,9	33,4	15,2
ARZ-IND-CHN-2007-05	-	1,9	12,8	1,1

Muestra	AT	AM	AR	FDT
ARZ-IND-CHN-2007-06	-	18,2	10,3	0,9
ARZ-IND-CHN-2007-07	-	25,2	33,3	1,7
ARZ-IND-CHN-2007-08	-	61,9	55,3	9,3
ARZ-IND-IND-2008-09	86,7	18,3	1,4	-
ARZ-IND-IND-2008-10	-	18,3	1,4	-
ARZ-IND-ITA-2008-11	84,4	25,2	1,8	-
ARZ-IND-ITA-2008-12	-	25,2	1,8	-
ARZ-IND-SRL-2008-13	77,6	24,3	1,5	-
ARZ-IND-SRL-2008-14	-	24,3	1,5	-

Tabla LX. Contenido de AT, AMAT, y ARAT en muestras de arroz, variedad Japónica, tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	AT	AMAT	ARAT
ARZ-JAP-ITA-2008-15	86,0	17,7	1,0
ARZ-JAP-ITA-2008-16	85,2	18,9	1,4
ARZ-JAP-ITA-2008-17	84,5	16,1	1,2
ARZ-JAP-ITA-2008-18	83,0	18,1	2,1
ARZ-JAP-ITA-2008-19	-	17,7	1,0
ARZ-JAP-ITA-2008-20	-	18,9	1,4
ARZ-JAP-ITA-2008-21	-	16,1	1,2
ARZ-JAP-ITA-2008-22	-	18,1	2,1
ARZ-JAP-ITA-2008-23	84,4	15,5	2,8
ARZ-JAP-ITA-2008-24	-	15,5	2,8
ARZ-JAP-ITA-2008-25	87,5	-	2,2
ARZ-JAP-ITA-2008-26	-	-	2,2

Tabla LXI. Contenido de AT, ARAT Y FDT en muestras de maíz, tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	AT	ARAT	FDT
MZ- XXX-MEX-2002-47	74,9	1,6	9,6
MZ- XXX-MEX-2002-48	75,2	2,0	10,6
MZ- XXX-MEX-2002-49	77,9	1,5	10,1
MZ- XXX-MEX-2002-50	83,6	2,0	7,7
MZ- XXX-MEX-2002-51	72,2	1,3	11,4

Muestra	AT	ARAT	FDT
MZ- XXX-MEX-2002-52	72,6	1,7	9,1
MZ- XXX-MEX-2002-53	78,8	1,1	13,1
MZ- XXX-MEX-2002-54	86,0	2,4	9,7
MZ- XXX-MEX-2002-55	80,5	2,9	9,9
MZ- XXX-MEX-2002-56	72,1	2,6	11,1
MZ- XXX-MEX-2002-57	80,3	1,1	9,0
MZ- XXX-MEX-2002-58	69,2	2,0	7,1
MZ- XXX-MEX-2002-59	70,9	2,7	9,8
MZ- XXX-MEX-2002-60	82,6	1,9	8,5
MZ- XXX-MEX-2002-61	75,9	1,2	9,3
MZ- XXX-MEX-2002-62	74,1	2,1	9,4
MZ- XXX-MEX-2002-63	80,5	1,9	9,6
MZ- XXX-MEX-2002-64	69,1	2,0	11,6
MZ- XXX-MEX-2002-65	71,3	1,5	10,9
MZ- XXX-MEX-2002-66	75,0	1,4	10,3

Tabla LXII. Contenido de AT, AMAT y FDT en muestras de quínoa, tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	AT	AMAT	FDT
QUI-BOL-1998-04	-	-	13,9
QUI-PER- XXXX-01	-	-	13,7
QUI-PER-XXXX-02	-	-	14,1
QUI-PER-XXXX-03	-	-	16,0
QUI-PER-XXXX-05	-	-	13,6
QUI-XXX-XXXX-09	52,2-69,2	4,3-22,5	7,0-9,7

7.3. Proteínas y aminoácidos

Tabla LXIII. Contenido de proteínas en muestras del género *Amaranthus*, de origen peruano, tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	Prot.
ACA-PER-2005-01	14,55
ACA-PER-2005-02	14,70

Tabla LXIV. Contenido de proteínas en muestras de arroz, variedad Índica, de origen chino, tomadas de la bibliografía consultada.

Muestra	Prot.
ARZ-IND-CHN-2007-01	11,98
ARZ-IND-CHN-2007-02	10,39
ARZ-IND-CHN-2007-03	12,63
ARZ-IND-CHN-2007-04	10,35

Tabla LXV. Contenido de proteínas y aminoácidos esenciales de muestras de arroz, variedad Índica, obtenidas de la bibliografía consultada (ARZ-IND-).

Muestra	Prot.	Arg	His	ILe	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val
IND-2008-09	9,60	8,0	2,5	3,6	8,3	4,5	2,6	5,1	3,3	5,7
ITA-2008-11	7,00	8,2	2,7	5,1	8,1	4,7	2,2	5,9	4,0	6,6
SRL-2008-13	9,00	7,0	2,5	3,6	8,0	4,7	2,2	4,9	3,6	5,6

Tabla LXVI. Contenido de proteínas y aminoácidos esenciales de muestras de arroz, variedad Japónica, obtenidas de la bibliografía consultada (ARZ-JAP- ITA-2008-).

Muestra	Prot.	Arg	His	ILe	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val
15	7,10	8,2	2,5	5,3	7,7	4,1	2,0	5,9	3,9	6,5
16	6,80	8,8	2,4	5,3	8,2	3,9	2,2	6,0	3,9	6,7
17	7,40	8,8	2,7	5,2	8,1	4,1	2,4	6,1	4,0	6,5
18	8,00	8,0	2,8	5,3	8,1	4,2	2,8	6,1	4,0	6,7
23	7,30	8,2	2,0	3,8	8,0	3,6	2,0	5,1	3,4	6,1
25	7,00	8,7	1,9	5,2	8,4	4,4	2,9	6,6	4,2	6,5

Tabla LXVII. Contenido de proteínas en muestras de maíz, obtenidos de la bibliografía consultada.

Muestra	Proteínas
MZ- XXX-BRA-08.09-2	9,52
MZ- XXX-BRA-08.09-4	6,03
MZ- XXX-BRA-08.09-7	11,59
MZ- XXX-BRA-08.09-8	6,96
MZ- XXX-BRA-08.09-11	8,54
MZ- XXX-BRA-08.09-12	6,05
MZ- XXX-BRA-08.09-15	9,07
MZ- XXX-BRA-08.09-16	6,70
MZ- XXX-BRA-08.09-19	10,59
MZ- XXX-BRA-08.09-20	6,99
MZ- XXX-BRA-08.09-23	7,04
MZ- XXX-BRA-08.09-24	5,60
MZ- XXX-BRA-08.09-27	9,28
MZ- XXX-BRA-08.09-28	6,18
MZ- XXX-BRA-08.09-31	10,55
MZ- XXX-BRA-08.09-32	7,05
MZ- XXX-BRA-08.09-35	11,02
MZ- XXX-BRA-08.09-36	7,18
MZ- XXX-MEX-2002-47	8,80
MZ- XXX-MEX-2002-48	8,80
MZ- XXX-MEX-2002-49	9,20
MZ- XXX-MEX-2002-50	8,80
MZ- XXX-MEX-2002-51	9,60
MZ- XXX-MEX-2002-52	9,70
MZ- XXX-MEX-2002-53	9,70
MZ- XXX-MEX-2002-54	9,30
MZ- XXX-MEX-2002-55	9,20
MZ- XXX-MEX-2002-56	8,90
MZ- XXX-MEX-2002-57	8,50
MZ- XXX-MEX-2002-58	8,80
MZ- XXX-MEX-2002-59	8,80
MZ- XXX-MEX-2002-60	8,30

Muestra	Proteínas
MZ- XXX-MEX-2002-61	9,40
MZ- XXX-MEX-2002-62	9,30
MZ- XXX-MEX-2002-63	8,60
MZ- XXX-MEX-2002-64	11,30
MZ- XXX-MEX-2002-65	9,80
MZ- XXX-MEX-2002-66	8,80

Tabla LXVIII. Contenido de proteínas y aminoácidos esenciales en muestras de maíz (MZ- XXX-EUA-), organizados por año, obtenidos de la bibliografía consultada.

Muestra	Prot.	Arg	His	ILe	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val
1996-38	10,05	4,30	2,84	3,58	12,90	3,09	2,03	5,17	3,73	0,57	4,64
1996-40	10,05	4,13	2,81	3,60	13,11	3,02	1,98	5,15	3,77	0,62	4,58
1997-37	10,87	4,36	2,80	3,75	13,32	2,96	2,02	5,36	3,43	0,59	4,79
1997-39	10,54	4,51	2,74	3,57	12,87	3,02	2,17	5,33	3,54	0,61	4,62
1997-41	11,05	4,48	2,67	3,53	12,98	3,11	2,16	5,31	3,59	0,61	4,57

Tabla LXIX. Contenido de proteínas en muestras de quínoa, obtenidos de la bibliografía consultada.

Muestra	Prot.
QUI-BOL-1998-04	12,90
QUI-PER- XXXX-01	13,96
QUI-PER-XXXX-02	15,17
QUI-PER-XXXX-03	15,47
QUI-PER-XXXX-05	14,53

Tabla LXX. Contenido de aminoácidos esenciales en muestras de quínoa, obtenidos de la bibliografía consultada.

Muestra	Arg	His	ILe	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val
QUI-XXX-XXXX-09	7,73	2,88	3,57	5,95	5,42	2,18	4,2	2,98	1,18	4,21

8. BIBLIOGRAFÍA

1. KARUPAIAH, T., AIK, C. K., HEEN, T. C. et al. (2011) A transgressive brown rice mediates favourable glycaemic and insulin responses, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1951-6.
2. WANI, A. A., SINGH, P., SHAH, M. A. et al. (2012) Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties—A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 417-436.
3. AGAMA-ACEVEDO, E., RENDON-VILLALOBOS, R., TOVAR, J. et al. (2004) In vitro starch digestibility changes during storage of maize flour tortillas, *Nahrung*, 48, 38-42.
4. KANG, H. J., HWANG, I. K., KIM, K. S. & CHOI, H. C. (2006) Comparison of the physicochemical properties and ultrastructure of japonica and indica rice grains, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4833-4838.
5. REPO-CARRASCO-VALENCIA, R., HELLSTRÖM, J. K., PIHLAVA, J.-M. & MATTILA, P. H. (2010) Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*), *Food Chemistry*, 120, 128-133.
6. COMAI, S., BERTAZZO, A., BAILONI, L. et al. (2007) The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours, *Food Chemistry*, 100, 1350-1355.
7. CAUSSETTE, M., KERSHAW, J. L. & SHELTON, D. R. (1997) Survey of enzyme activities in desaponified quinoa *Chenopodium quinoa* Willd, *Food Chemistry*, 60, 587-592.
8. NG, S.-C., ANDERSON, A., COKER, J. & ONDRUS, M. (2007) Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*), *Food Chemistry*, 101, 185-192.
9. BERTERO, H., DE LA VEGA, A., CORREA, G., JACOBSEN, S. & MUJICA, A. (2004) Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials, *Field crops research*, 89, 299-318.
10. ABUGOCH JAMES, L. E. (2009) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties, *Advances in food and nutrition research*, 58, 1-31.
11. REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. A. M. & SERNA, L. A. (2011) Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31, 225-230.

12. ANDO, H., CHEN, Y. C., TANG, H. et al. (2002) Food components in fractions of quinoa seed, *Food Science and Technology Research*, 8, 80-84.
13. OGUNGBENLE, H. (2003) Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54, 153-158.
14. ABUGOCH JAMES, L. E. (2009) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties, pp. 1-31.
15. ALVAREZ-JUBETE, L., ARENDT, E. K. & GALLAGHER, E. (2010) Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients, *Trends in Food Science & Technology*, 21, 106-113.
16. BHARGAVA, A., SHUKLA, S. & OHRI, D. (2006) *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective, *Industrial Crops and Products*, 23, 73-87.
17. JACOBSEN, S.-E. (1998) Developmental stability of quinoa under European conditions, *Industrial Crops and Products*, 7, 169-174.
18. LUTZ-RIQUELME, M. & LEON, A. E. (2009) *Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación* (Universidad de Valparaíso-Editorial).
19. GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R. & ARENDT, E. K. (2004) Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products, *Trends in Food Science & Technology*, 15, 143-152.
20. DEMIRKESEN, I., MERT, B., SUMNU, G. & SAHIN, S. (2010) Rheological properties of gluten-free bread formulations, *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.
21. RIBOTTA, P. D., AUSAR, S. F., MORCILLO, M. H. et al. (2004) Production of gluten free bread using soybean flour, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1969-1974.
22. ACCOMANDO, S. & CATALDO, F. (2004) The global village of celiac disease, *Digestive and Liver Disease*, 36, 492-498.
23. NEHRA, V., MARIETTA, E. & MURRAY, J. (2005) Celiac Disease, in: Editor-in-Chief: Benjamin, C. (Ed.) *Encyclopedia of Human Nutrition (Second Edition)*, pp. 407-417 (Oxford, Elsevier).
24. STYLIANOPOULOS, C. L. (2005) CARBOHYDRATES | Requirements and Dietary Importance, in: Editor-in-Chief: Benjamin, C. (Ed.) *Encyclopedia of Human Nutrition (Second Edition)*, pp. 316-321 (Oxford, Elsevier).
25. ENGLYST, H. N. & HUDSON, G. J. (1996) The classification and measurement of dietary carbohydrates, *Food Chemistry*, 57, 15-21.

26. RAY, K. S. & SINGHANIA, P. R. (2011) Glycemic and insulinemic responses to carbohydrate rich whole foods, *Journal of Food Science and Technology*.
27. FUENTES-ZARAGOZA, E., RIQUELME-NAVARRETE, M. J., SANCHEZ-ZAPATA, E. & PEREZ-ÁLVAREZ, J. A. (2010) Resistant starch as functional ingredient: A review, *Food Research International*, 43, 931-942.
28. VAN DE VELDE, F., VAN RIEL, J. & TROMP, R. H. (2002) Visualisation of starch granule morphologies using confocal scanning laser microscopy (CSLM), *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1528-1536.
29. KONG, X., BAO, J. & CORKE, H. (2009) Physical properties of Amaranthus starch, *Food Chemistry*, 113, 371-376.
30. SINGH, N., KAUR, L., SANDHU, K. S., KAUR, J. & NISHINARI, K. (2006) Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches, *Food Hydrocolloids*, 20, 532-542.
31. GOÑI, I., GARCIA-DIZ, L., MAÑAS, E. & SAURA-CALIXTO, F. (1996) Analysis of resistant starch: a method for foods and food products, *Food Chemistry*, 56, 445-449.
32. LAURENTIN, A. & EDWARDS, C. A. (2005) CARBOHYDRATES | Resistant Starch and Oligosaccharides, in: Editor-in-Chief: Benjamin, C. (Ed.) *Encyclopedia of Human Nutrition (Second Edition)*, pp. 322-329 (Oxford, Elsevier).
33. PERERA, A., MEDA, V. & TYLER, R. T. (2010) Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods, *Food Research International*, 43, 1959-1974.
34. FUENTES-ZARAGOZA, E., SANCHEZ-ZAPATA, E., SENDRA, E. et al. (2011) Resistant starch as prebiotic: A review, *Starch - Stärke*, 63, 406-415.
35. ENGLYST, H. N., KINGMAN, S. M. & CUMMINGS, J. H. (1992) Classification and measurement of nutritionally important starch fractions, *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, S33-s50.
36. COPELAND, L., BLAZEK, J., SALMAN, H. & TANG, M. C. (2009) Form and functionality of starch, *Food Hydrocolloids*, 23, 1527-1534.
37. ZHONG, F., LI, Y., IBAÑEZ, A. M. et al. (2009) The effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes, *Food Hydrocolloids*, 23, 406-414.
38. HAN, X.-Z. & HAMAKER, B. R. (2001) Amylopectin Fine Structure and Rice Starch Paste Breakdown, *Journal of Cereal Science*, 34, 279-284.

39. FUNAMI, T., KATAOKA, Y., OMOTO, T. et al. (2005) Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch☆, *Food Hydrocolloids*, 19, 1-13.
40. JENKINS, P. J. & DONALD, A. M. (1998) Gelatinisation of starch: a combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study, *Carbohydrate Research*, 308, 133-147.
41. CROSBIE, G. B. & ROSS, A. S. (2007) *The RVA Handbook* (AACC International).
42. LIN, Q. L., XIAO, H. X., FU, X. J. et al. (2011) Physico-Chemical Properties of Flour, Starch, and Modified Starch of Two Rice Varieties, *Agricultural Sciences in China*, 10, 960-968.
43. VANDEPUTTE, G. E. & DELCOUR, J. A. (2004) From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch, *Carbohydrate Polymers*, 58, 245-266.
44. BLAZEK, J. & COPELAND, L. (2008) Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content, *Carbohydrate Polymers*, 71, 380-387.
45. AACC INTERNATIONAL (1999) Method 76-21.01. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour of Starch Using the Rapid Visco Analyser. First approval October 15, 1997; Reapproval November 3, 1999 *Approved Methods of Analysis, 11th Ed.* (St. Paul, MN, U.S.A., AACC International).
46. YURYEV, V. P., KRIVANDIN, A. V., KISELEVA, V. I. et al. (2004) Structural parameters of amylopectin clusters and semi-crystalline growth rings in wheat starches with different amylose content, *Carbohydrate Research*, 339, 2683-2691.
47. MARCONE, M. F. (2001) Starch properties of *Amaranthus pumilus* (seabeach amaranth): a threatened plant species with potential benefits for the breeding/amelioration of present *Amaranthus* cultivars, *Food Chemistry*, 73, 61-66.
48. ZHU, L.-J., LIU, Q.-Q., WILSON, J. D., GU, M.-H. & SHI, Y.-C. (2011) Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content, *Carbohydrate Polymers*, 86, 1751-1759.
49. ACQUISTUCCI, R., FRANCISCI, R., BUCCI, R., RITOTA, M. & MAZZINI, F. (2009) Nutritional and physicochemical characterisation of Italian rice flours and starches, *Food Science and Technology Research*, 15, 507-518.
50. UARROTA, V. G., AMANTE, E. R., DEMIATE, I. M. et al. (2013) Physicochemical, thermal, and pasting properties of flours and starches of eight Brazilian maize landraces (*Zea mays* L.), *Food Hydrocolloids*, 30, 614-624.
51. SANDHU, K. S., KAUR, M., SINGH, N. & LIM, S.-T. (2008) A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties, *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1000-1010.

52. MENDEZ-MONTEALVO, G., SOLORZA-FERIA, J., DEL VALLE, M. V. et al. (2005) Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México, *Agrociencia*.
53. REPO-CARRASCO-VALENCIA, R., PEÑA, J., KALLIO, H. & SALMINEN, S. (2009) Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*), *Journal of Cereal Science*, 49, 219-224.
54. SIDHU, R. S., HAMMOND, B. G., FUCHS, R. L. et al. (2000) Glyphosate-tolerant corn: the composition and feeding value of grain from glyphosate-tolerant corn is equivalent to that of conventional corn (*Zea mays* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2305-2312.
55. KAUR, S., SINGH, N. & RANA, J. C. (2010) *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours, *Food Chemistry*, 123, 1227-1234.
56. AOAC INTERNATIONAL (1998) AOAC Official Method 960.52. Microchemical determination of Nitrogen. Micro-Kjeldahl Method. AOAC-AACC Method *Official Methods of Analysis*.
57. BOOGERS, I., PLUGGE, W., STOKKERMANS, Y. Q. & DUCHATEAU, A. L. L. (2008) Ultra-performance liquid chromatographic analysis of amino acids in protein hydrolysates using an automated pre-column derivatisation method, *Journal of Chromatography A*, 1189, 406-409.
58. MCCLEARY, B. V., GIBSON, T. S. & MUGFORD, D. C. (1997) Measurement of total starch in cereal products by amyloglucosidase- α -amylase method: collaborative study, *Journal of AOAC International*, 80, 571-579.
59. AOAC INTERNATIONAL (1998) AOAC Official Method 996.11. Starch (Total) in Cereal Products. Amyloglucosidase - Alpha Amylase Method *Official Methods of Analysis*.
60. GIBSON, T. S., SOLAH, V. A. & MCCLEARY, B. V. (1997) A Procedure to Measure Amylose in Cereal Starches and Flours with Concanavalin A, *Journal of Cereal Science*, 25, 111-119.
61. DI RIENZO, J. A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G. et al. (2011) InfoStat (Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba).
62. THITISAKSAKUL, M., JIMENEZ, R. C., ARIAS, M. C. & BECKLES, D. M. (2012) Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition, *Journal of Cereal Science*, 56, 67-80.

63. THEMEIER, H., HOLLMANN, J., NEESE, U. & LINDHAUER, M. G. (2005) Structural and morphological factors influencing the quantification of resistant starch II in starches of different botanical origin, *Carbohydrate Polymers*, 61, 72-79.
64. HASJIM, J., LI, E. & DHITAL, S. (2013) Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties, *Carbohydrate Polymers*, 92, 682-690.
65. HE, X.-P., ZHU, C.-L., LIU, L.-L. et al. (2010) Difference of Amylopectin Structure Among Rice Varieties Differing in Grain Quality and Its Correlations with Starch Physicochemical Properties, *Acta Agronomica Sinica*, 36, 276-284.
66. ALVAREZ-JUBETE, L., AUTY, M., ARENDT, E. K. & GALLAGHER, E. (2010) Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations, *European Food Research and Technology*, 230, 437-445.
67. BEEBE, K. R., PELL, R. J. & SEASHOLTZ, M. B. (1998) *Chemometrics: A practical guide* (John Wiley and Sons, Inc., New York).
68. INOUCHI, N., NISHI, K., TANAKA, S. et al. (1999) Characterization of amaranth and quinoa starches, *Journal of Applied Glycoscience*, 46, 233-240.