



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona



Variabilidad de la colección nuclear española de judía para compuestos vinculados con el valor nutricional y sensorial

Trabajo de final de grado
Ingeniería Alimentaria

Autor: Edurne Simón Sánchez

Tutor: Roser Romero del Castillo

Cotutor: Ana Rivera Pinzano

17/Junio / 2016

Resumen

La judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes a nivel mundial debido a su elevada proporción de proteínas, fibra dietética, minerales y vitaminas. Sin embargo es necesaria su mejora genética para obtener nuevas variedades con elevados rendimientos, más resistentes a cambios ambientales y cualidades nutricionales y sensoriales mejoradas, que puedan satisfacer las necesidades y exigencias de los consumidores. Para poder hacer posible esta mejora, los bancos de germoplasma llevan décadas recopilando recursos fitogenéticos pero dedicando poco esfuerzo a la caracterización, que indudablemente favorecería su uso por parte de los fito-mejoradores.

En este proyecto se pretende: i) caracterizar la colección nuclear española de judías (*Phaseolus vulgaris* L.) desde el punto de vista químico, describiendo la variabilidad que existe para los compuestos presentes en la piel y el cotiledón vinculados al valor sensorial y nutricional, y ii) identificar entradas valiosas por su valor nutricional o por su elevado contenido en moléculas vinculadas a características sensoriales. La evaluación química de las accesiones de la colección nuclear se ha efectuado mediante la metodología de la Espectroscopia en el Infrarrojo Cercano (NIR). Se ha observado elevada variabilidad genética en los caracteres químicos de la piel y algo menor en los del cotiledón. Las correlaciones de caracteres químicos entre sí, muestran valores elevados: cenizas vs calcio y amilosa aparente vs la amilosa, y una elevada correlación negativa entre proteína y almidón. Por otra parte, los valores sensoriales correlacionados con los caracteres químicos, muestran valores elevados antagónicos entre la harinosidad vs cenizas, calcio y los ácidos urónicos; contrariamente presentan correlaciones positivas, con valores elevados, entre el brillo vs cenizas, calcio, fibra dietética y ácidos urónicos. El Análisis de Componentes Principales muestra una gran dispersión de las accesiones en el plano determinado por los dos primeros ejes, que explican más del 50% de la variación total. Ello es favorable desde el punto de vista del mejorador puesto que existen pocas combinaciones “imposibles” entre caracteres, o lo que es lo mismo, existen pocas correlaciones genéticas importantes entre los caracteres estudiados. Finalmente, se han identificado varias entradas que destacan por sus altos contenidos en proteína, magnesio, almidón o fibra dietética, pero sufriendo deficiencias de otros componentes.

Palabras clave: Colección nuclear española, judía común, composición química, cotiledón, piel, valor nutricional, caracterización.

Resum

La mongeta seca (*Phaseolus vulgaris* L.) és una de les lleguminoses més importants a escala mundial degut a la seva elevada proporció de proteïnes, fibra dietètica, minerals i vitamines. No obstant això és necessària la seva millora genètica per obtenir noves varietats amb elevats rendiments, més resistents a canvis ambientals i qualitats nutricionals i sensorials millorades, que puguin satisfer les necessitats i exigències dels consumidors. Per poder fer possible aquesta millora, els bancs de germoplasma porten dècades recopilant recursos fitogenètics però dedicant poc esforç a la caracterització, que indubtablement afavoriria el seu ús per part dels fito-milloradors.

En aquest projecte es pretén: i) caracteritzar la col·lecció nuclear espanyola de mongetes (*Phaseolus vulgaris* L.) des del punt de vista químic, descrivint la variabilitat que existeix per als compostos presents en la pell i el cotiledó vinculats al valor sensorial i nutricional, i ii) identificar entrades valuoses pel seu valor nutricional o pel seu elevat contingut en molècules vinculades a característiques sensorials. L'avaluació química de les accessions de la col·lecció nuclear s'ha efectuat mitjançant la metodologia de l'Espectroscòpia en l'Infraroig Proper (NIR). S'ha observat elevada variabilitat genètica en els caràcters químics de la pell i més baix en els de cotiledó. Les correlacions de caràcters químics entre si, mostren valors elevats: cendres vs calci i amilosa aparent vs la amilosa, i una elevada correlació negativa entre proteïna i midó. D'altra banda, els valors sensorials correlacionats amb els caràcters químics, mostren valors elevats antagònics entre la farinositat vs cendres, calci i els àcids urònics; contràriament presenten correlacions positives, amb valors elevats, entre la lluentor vs cendres, calci, fibra dietètica i àcids urònics. L'Anàlisi de Components Principals mostra una gran dispersió de les accessions en el plànol determinat pels dos primers eixos, que expliquen més del 50% de la variació total. Això és favorable des del punt de vista del millorador donat que existeixen poques combinacions "impossibles" entre caràcters, o el que és el mateix, existeixen poques correlacions genètiques importants entre els caràcters estudiats. Finalment, s'han identificat diverses entrades que destaquen pels seus elevats continguts en proteïna, magnesi, midó o fibra dietètica, pencares que patint deficiències d'altres components.

Paraules clau: Col·lecció nuclear espanyola, mongeta comuna, composició química, cotiledó, pell, valor nutricional, caracterització.

Abstract

The common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) is one of the most important legumes worldwide because of its high proportion of protein, dietary fibre, minerals and vitamins. However, genetic improvement is necessary to obtain new varieties with higher yields, more resistant to environmental changes and improved nutritional and sensory qualities, which can meet the needs and demands of consumers. To make this improvement possible, gene banks have spent decades collecting plant genetic resources but devoting little effort to characterization, which would undoubtedly encourage their use by plant breeders.

This project aims: i) to characterize the Spanish core collection of beans (*Phaseolus vulgaris L.*) from the chemical point of view, describing the variability existing for compounds present in the seed-coat and cotyledon related to sensory and nutritional value, and ii) to identify valuable accessions from their nutritional value or high content of molecules linked to sensory characteristics. The chemical evaluation of accessions of the core collection was performed by Near Infrared (NIR) spectroscopy methodology. High genetic variability has been observed in the chemical characteristics of the seed-coat and somewhat lower in the cotyledon. Correlations of chemical characters with each other show high values: ash vs. calcium and apparent amylose vs. amylose, with a high negative correlation between protein and starch. Meanwhile, sensory values correlated with chemical properties show high antagonistic values between floury texture vs. ash, calcium and uronic acids; while they show positive correlations, with high values, between shininess vs. ash, calcium, dietary fibre and uronic acids. The Principal Component Analysis shows great dispersion of accessions in the plane determined by the first two axes, which account for over 50% of the total variation. This is positive from the viewpoint of the breeder since there are few "impossible" combinations between traits, or in other words, there are few major genetic correlations between the traits studied. Finally, we have identified several accessions that stand out for their high protein, magnesium, starch or dietary fibre content, although they suffer deficiencies of other components.

Keywords: Spanish core collection, common bean, chemical composition, cotyledon, seed-coat, nutritional value, characterization.

SUMARIO

RESUMEN

RESUM

ABSTRACT

ÍNDICE DE FIGURAS _____ I

ÍNDICE DE TABLAS _____ II

ABREVIATURAS _____ IV

AGRADECIMIENTOS _____ V

1. INTRODUCCIÓN _____ 1

1.1. *Phaseolus vulgaris* L..... 1

1.2. Origen y domesticación..... 1

1.3. Importancia económica de la judía..... 6

1.3.1. A nivel Mundial..... 6

1.3.2. A nivel Español 8

1.4. Valor nutricional..... 9

1.4.1. Propiedades nutricionales de las judías secas 9

1.4.2. Componentes anti-nutricionales del frijol 11

1.4.3. Fito-químicos del frijol..... 12

1.5. Valor sensorial y culinario 13

1.6. Moléculas importantes en el valor sensorial y nutricional..... 15

1.7. Los recursos fitogenéticos españoles y la colección nuclear de judía española 16

1.7.1. Los recursos fitogenéticos..... 16

1.7.2. La colección nuclear de judías española..... 17

1.8. Importancia de la caracterización para fomentar el uso del germoplasma conservado..... 18

2. OBJETIVOS _____ 21

3. MATERIAL Y MÉTODOS _____ 22

3.1. Material vegetal. 22

3.2. Lugar de cultivo y métodos de manejo..... 22

3.3. Preparación de las muestras..... 22

3.3.1. Preparación de las muestras..... 22

3.4. Métodos analíticos. Regresiones NIR empleadas para estimar los distintos compuestos y grado de eficiencia de las predicciones. 24

3.4.1. Near infrared spectroscopy (NIR) 24

3.4.2. Regresiones NIR..... 26

3.5. Métodos estadísticos empleados.....	27
3.5.1. Estadísticos descriptivos de la variabilidad.....	27
3.5.2. Estadísticos relacionales.....	28
3.5.3. Análisis de covarianzas múltiples: Componentes principales	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Descripción de la variabilidad para compuestos químicos en la colección nuclear de judías española.....	30
4.2. Relación entre el origen de domesticación, el color de la semillas y la composición química de la colección nuclear	38
4.3. Estudio de correlación entre los caracteres químicos, sensoriales y culinarios	44
4.4. Análisis de componentes principales.....	48
4.5. Identificación de entradas valiosas por su valor nutricional o por su alto contenido en moléculas vinculadas a características sensoriales apreciadas por los consumidores.....	50
CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	La población de judía común silvestre presente en los Andes derivó de la población mesoamericana a través, como mínimo, de dos migraciones independientes. Estos hechos condujeron a dos eventos de domesticación paralelos en las zonas mesoamericana y andina.	Pág. 4
Figura 1.2	La domesticación de los acervos andino y mesoamericano silvestres condujo a tres razas en el acervo andino y cuatro en el mesoamericano.	Pág. 5
Figura 1.3	Principales continentes productores de Frijoles secos promediado entre los años 2010 – 2014 en el mundo.	Pág. 6
Figura 1.4	Principales continentes productores de Frijoles secos promediado entre los años 2010 – 2013 en el mundo.	Pág. 6
Figura 1.5	Principales países productores de frijoles secos a escala mundial para los años 2010-2013.	Pág. 7
Figura 1.6	Cinco primeros cultivos de legumbres secas a nivel mundial para el periodo comprendido 2010-2013.	Pág. 7
Figura 1.7	Principales seis cultivos de legumbres secas producidos en España para el periodo comprendido 2010-2013.	Pág. 8
Figura 1.8	Principales comunidades autónomas productoras de frijoles secos a nivel Español para el año 2013.	Pág. 8
Figura 3.1	Preparación de las muestras.	Pág. 23
Figura 3.2	Molino Perten, 3100.	Pág. 23
Figura 3.3	Bandas de absorción en la región NIR.	Pág. 25
Figura 4.1	Frecuencias absolutas para los diferentes caracteres químicos estudiados en la piel: a) Cenizas, b) Calcio, c) Fibra dietética, d) Magnesio, e) Fósforo, f) Ácidos urónicos.	Pág. 32
Figura 4.2	Frecuencias absolutas para los diferentes caracteres químicos estudiados en el cotiledón: g) Proteína, h) Amilosa aparente, i) Amilosa, b) Almidón.	Pág. 33
Figura 4.3	Representación gráfica del análisis de componentes principales para los caracteres químicos de la piel y cotiledón.	Pág. 34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Diferencias en las características morfológicas, agronómicas y bioquímicas de dos centros de origen y domesticación del fríjol común.	Pág. 3
Tabla 1.2	Comparación de marcadores bioquímicos y moleculares mostrados por los acervos genéticos de <i>P. vulgaris</i> .	Pág. 3
Tabla 1.3	Composición de los principales nutrientes en las judías secas. Expresado en $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de materia seca.	Pág. 10
Tabla 1.4	Características químicas y nutricionales de la judía seca.	Pág. 10
Tabla 1.5	Componentes principales de la judía común, función tradicional y potencial nutraceutico.	Pág. 13
Tabla 4.1	Análisis estadísticos para los caracteres químicos de la piel: Media, desviación, máximo, mínimo y coeficiente de variación.	Pág. 32
Tabla 4.2	Análisis estadísticos para los caracteres químicos del cotiledón: Media, desviación, máximo mínimo, y coeficiente de variación.	Pág. 33
Tabla 4.3	Análisis estadísticos para el porcentaje de piel y cotiledón y porcentaje de agua absorbida durante el remojo: Media, desviación, máximo, mínimo y coeficiente de variación.	Pág. 34
Tabla 4.4	Resultados obtenidos mediante el test de normalidad Shapiro Wilk para los caracteres de piel y cotiledón.	Pág. 38
Tabla 4.5	Resultados del análisis de la varianza en función del origen de domesticación para los diferentes caracteres químicos.	Pág. 40
Tabla 4.6	Comparación de promedios en función del de origen de domesticación correspondiente al análisis de la varianza. Mínima diferencia significativa (Mds) calculada a una $p\leq 0.05$.	Pág. 40
Tabla 4.7	Resultados del análisis de la varianza en función del color para los diferentes caracteres químicos.	Pág. 41
Tabla 4.8	Comparación de medias para los caracteres químicos en función del color de la semilla. Mínima diferencia significativa (MSD) calculada a una $p\leq 0.05$.	Pág. 43
Tabla 4.9	Análisis de correlaciones para los caracteres químicos de la piel y cotiledón de las judías.	Pág. 46
Tabla 4.10	Análisis de correlaciones para los caracteres químicos de la piel y cotiledón y los caracteres sensoriales de las judías.	Pág. 46

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 4.11** Análisis de correlaciones para los caracteres químicos de la piel y cotiledón y los caracteres culinarios de las judías. Pág. 47
- Tabla 4.12** Porcentaje de variación que explica cada uno de los ejes resultantes del análisis de componentes principales junto con el acumulado. Pág. 48

ABREVIATURAS

PCA	Principal Component Analysis
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
S	Azufre
Zn	Zinc
Fe	Hierro
AU	Ácidos urónicos
FD	Fibra dietética
P	Fósforo
CP	Componentes principales
FAO	Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura
SERIDA	Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias
CSIC	Misión Biológica de Galicia
COMAV	Centro de la Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana
CRF	Centro de Recursos Fitogenéticos
CRF-INIA	Centro de Recursos Fitogenéticos del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
PAM	Plan de Acción Mundial
RFAA	Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura
BGE	Banco de Germoplasma Español
NIR	Near-Infrared
MIR	Mid-infrared
RPD	ratio of performance to deviation
SEP	Standard error prediction
CV	Coefficiente de variación

AGRADECIMIENTOS

Ya hace cinco años que me embarqué en esta nueva etapa de mi vida, y ahora que ya estoy en la recta final, echo la vista atrás y parece que fuera ayer cuando mis padres y mi pareja insistían en que debía estudiar una carrera, y me regalaban los oídos con frases como..."tu vales para estudiar", "eres inteligente para esto y más"... Y aquí me tenéis...unas cuantas arrugas más en el rostro, dos niños y una gran satisfacción de haber llegado hasta aquí. Aunque no hubiera podido concluir esta etapa sin el apoyo y la confianza que han depositado en mí mi tutora Roser Romero del Castillo Shelly y Francesc Casañas Artigas, por ese motivo quiero daros las gracias de corazón. A Ana Rivera por su paciencia, sus consejos, los esfuerzos que ha hecho para poder quedar y que esto me supusiera la menor complicación a la hora de la logística de mis hijos, a sus correcciones, a sus palabras de ánimo...por todo eso y mucho más...MUCHAS GRACIAS!! También agradecer los consejos y el cariño con el que me acogió Aurora Rull Ferrer mis primeros días de proyecto explicándome la parte experimental.

Me faltan palabras de agradecimiento sobre todo para mis padres y en especial a mi pareja que ha sido un gran apoyo en mis buenos y mis malos momentos, sobre todo con la tecnología informática que me quedaba grande, pues me había quedado anclada en el lápiz y el papel. Por último agradecer a mis hijos Aitor y Lucía por darme fuerzas para seguir adelante y sobre todo por todas esas noches que se iban a la cama prontito y por fin podía ponerme con el proyecto.

En fin, gracias a TODOS por haberme acompañado en este largo recorrido y haberme allanado el camino.

1. Introducción

1.1. *Phaseolus vulgaris* L.

Las judías pertenecen al género *Phaseolus*, familia de *Leguminosae* (o *Fabaceae*) la cual incluye más de 18.000 especies silvestres y cultivadas que se extienden por climas tropicales y templados. De la subfamilia de las *Papilionoideae*, constituida por 476 géneros y de la tribu *Phaseolae* reúne las leguminosas más importantes desde el punto de vista económico, incluyendo las especies *Vigna unguiculata* L. (“frijol caupi”), *Glycine max* L. (soja) y *Phaseolus vulgaris* L. o judía común ^[1]. ^[2] *Phaseolus*, incluye unas 50 especies silvestres distribuidas sólo en las Américas, de las que se cultivan 5 ^[1], ^[3], ^[4] : *P. polyanthus* (conocida como “year long”, ‘bolti’ o ‘piloya’), *P. acutifolius* (“tepary bean”, ‘tépary’, ‘escomite’), *P. lunatus* (“Lima bean”, “judía de Lima”, ‘comba’), *P. coccineus* (“scarlet runner”, ‘ayocote’, ‘judión’) y *P. vulgaris* (‘faba’, judía común, alubia, ‘frijol’) siendo esta última la que mayor distribución ha alcanzado a nivel mundial. La distancia genética entre algunas de estas especies es grande, impidiendo en la mayoría de los casos realizar cruzamientos interespecíficos que serían de gran interés para transferir caracteres deseables de una especie a otra ^[4].

Las variedades de judía común actualmente cultivadas son el resultado de un proceso de domesticación y evolución (mutación, selección, migración y deriva genética), a partir de una forma silvestre (*Phaseolus vulgaris* var. *aborigineus*)^[5] procedente del continente americano, desde donde se extendió a todo el mundo, y en la cual se han ido produciendo cambios morfológicos, fisiológicos y genéticos ^[6] como respuesta a las exigencias humanas o del medio ambiente. Este cultivo es uno de los más consumidos directamente por los humanos en forma de grano seco, y vainas verdes.

1.2. Origen y domesticación

Hasta finales del siglo XIX se consideró que la judía común tenía su centro de origen en Asia, pero posteriormente, según datos arqueológicos, botánicos, históricos y lingüísticos, ^[6] concluyeron que la judía común se originó en el área comprendida entre el Norte de México y el Nordeste de

Argentina, lo que dio lugar a dos pools genéticos bien diferenciados. Existen multitud de restos arqueológicos: semillas, restos de vainas e incluso plantas enteras ^[7], hallados en los Andes, Mesoamérica y Norteamérica. Evans en 1973 fue el primero en reconocer los dos grupos de germoplasma, tanto en judías silvestres como cultivadas: mesoamericano y andino. El análisis de rasgos morfológicos y agronómicos en accesiones domesticadas provenientes de México, Guatemala, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Costa Rica, República Dominicana, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Bolivia, Brasil y Argentina, explicaron los patrones de diversidad y las relaciones genéticas en ese germoplasma y permitieron diferenciar los acervos genéticos ^[8].

Las características evaluadas, para poder valorar si existen diferencias entre el frijol silvestre y el domesticado han sido: rasgos de la semilla, rasgos de la etapa vegetativa y del desarrollo floral, fructificación, madurez fisiológica y resistencia a enfermedades ^{[6], [9]}. En las poblaciones domesticadas se observa la pérdida de la capacidad de dispersión y de latencia, arquitectura compacta de la planta, mayor rendimiento del grano y semilla de mayor tamaño (gigantismo), reducción de la dureza y del tiempo de cocción, también una reducción de los niveles de triptófano y proteínas. Estos cambios son debidos al “síndrome de domesticación”. Como se ha comentado anteriormente en el germoplasma domesticado se reconocen dos acervos genéticos: el mesoamericano y el andino. Ambos grupos se pueden distinguir por marcadores morfológicos y agronómicos ^{[6], [10]}, bioquímicos ^{[10], [11]}, y moleculares (ADN) ^[12]. Todos o al menos la mayoría de estos marcadores pueden diferenciar claramente al germoplasma de *P. vulgaris* en dos centros de origen y domesticación ^{[10], [11], [13], [14]} como se puede apreciar en las Tablas 1.1 y 1.2 que serán comentados a continuación; algún otro estudio con marcadores moleculares sugieren un tercer centro de origen y domesticación de la especie, ubicado en el Norte andino ^[13].

Tabla 1.1 Diferencias en las características morfológica, agronómicas y bioquímicas de dos centros de origen y domesticación del frijol común.

Característica	Centro de origen y domesticación	
	Mesoamericano	Andino
Forma de la hoja	Acorazonada y ovalada	Lanceolada y aguda
Pubescencia en las hojas	Escasa y corta	Densa y larga
Longitud del quinto entrenudo	Corto	Largo
Inflorescencia	Varios nudos	Un solo nudo
Forma de la bráctea	Acorazonada y ovalada	Lanceolada y triangular
Base del pétalo	Rayada	Lisa
Posición del ápice de la vaina	Placentaria	Central
Tamaño de la semilla	Pequeña y mediana	Grande
Faseolina (%)	037.8 ± 5.90	041.8 ± 6.60
Lecitinas (%)	011.8 ± 3.00	010.5 ± 2.20
Calcio (%)	0.157 ± 0.04	0.144 ± 0.04
Fósforo (%)	0.376 ± 0.06	0.344 ± 0.07
Azufre (%)	0.216 ± 0.03	0.208 ± 0.02
Hierro (%)	053.4 ± 7.80	055.6 ± 7.90
Zinc (%)	035.8 ± 5.00	032.9 ± 5.00

Adaptado de: Singh *et al.* (1991 a). Singh *et al.* (1991b). Islam *et al.* (2002). Los valores indican la media ± la desviación estándar.

En el Tabla 1.2 podemos observar las diferencias en los marcadores moleculares entre los acervos genéticos. El acervo mesoamericano muestra mayor diversidad tanto de aloenzimas como de faseolinas, por otra parte el andino muestra menor diversidad genética a nivel de ADN cloroplástico^{[9]–[11], [13], [14]}.

Tabla 1.2 Comparación de marcadores bioquímicos y moleculares mostrados por los acervos genéticos de *P. vulgaris*

Característica	Centro de origen y domesticación	
	Mesoamericano	Andino
Faseolina	B, M, S, Sb, Sd	C, Ca, CH, H, Ko, Pa, T, To
Lecitinas	M, Po	K, T, V, Pr, 312
Inhibidor de α -amilasa	A3, A7	A1
Aloenzima	Lap-3 ¹⁰⁰ , Me ¹⁰⁰ , Rbcs ¹⁰⁰ , Skdh10 ¹⁰³	Lap-3 ¹⁰³ , Me ⁹⁸ , Rbcs ⁹⁸ , Skdh10 ¹⁰⁰
ADN cloroplástico	B, H, J, K, N, O	C, D, E, F

El cuadro incluye información adaptada de las fuentes que se indican a continuación para cada característica. Faseolinas: Las letras indican la presencia de tipos específicos de faseolinas, descritas por Singh *et al.* (1991a y 1991b); Lecitinas e inhibidores de α -amilasa de acuerdo con los métodos y sistema de identificación propuesto por Islam *et al.* (2002); Aloenzimas: de acuerdo con los sistemas enzimáticos y la clasificación de aloenzimas de Koenig y Gepts (1989); ADN cloroplástico: las letras indican la presencia de patrones de restricción específicos obtenidos mediante el corte de ADN cloroplástico con enzimas de restricción en regiones específicas (Chacón *et al.* (2005)).

La reciente secuenciación del genoma de *Phaseolus vulgaris* L. ha permitido confirmar que la domesticación de las judías ocurrió de forma independiente en las zonas andina y mesoamericana [15]. También ha permitido constatar que la población silvestre andina se originó a partir de tan sólo unos miles de individuos procedentes de la población silvestre mesoamericana, lo que produjo un gran cuello de botella en la formación de la población andina Figura 1.1.



Figura 1.1. La población de judía común silvestre presente en los Andes derivó de la población mesoamericana a través, como mínimo, de dos migraciones independientes (Bittochi *et al.* (2012)). Estos hechos condujeron a dos eventos de domesticación paralelos en las zonas mesoamericana y andina. Reproducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd: [Nature Genetics, nº licencia 3700920661139], (Gaut, B.S., 2014. The complex domestication history of the common bean. *Nat. Genet.* 46, 663–4), copyright (2014).

El uso combinado de marcadores morfológicos y moleculares, la adaptación ecológica y la distribución geográfica, permitieron establecer agrupaciones de germoplasma y definir razas con características distintivas dentro de cada uno de los centros de origen. Dentro del grupo mesoamericano se definieron cuatro razas (Durango, Jalisco, Mesoamérica y Guatemala), y dentro del grupo andino tres (Chile, Nueva Granada y Perú) [10], [16] Figura 1.2.

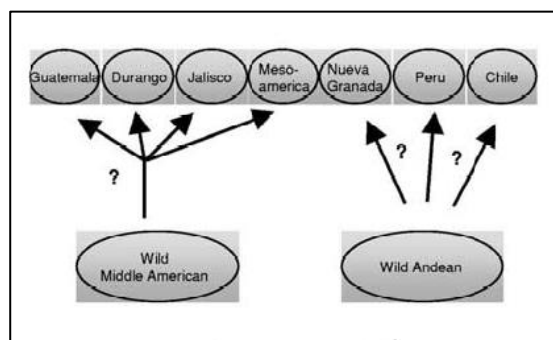


Figura 1.2 La domesticación de los acervos andino y mesoamericano silvestres condujo a tres razas en el acervo andino y cuatro en el mesoamericano [adaptada de Beebe *et al.* (2000) y Gepts (1998)].

La existencia de estos subgrupos de germoplasma dentro de los dos principales acervos genéticos se ha puesto de manifiesto también con marcadores moleculares^[17]. Sin embargo, el origen de estas es controvertido. No está claro si las diferentes razas son el resultado de múltiples domesticaciones independientes ocurridas en cada región o, por el contrario, son el resultado de un solo proceso de domesticación en cada región, seguido de una diversificación. Diferentes autores han abordado el tema indicando tanto un único proceso de domesticación en el área mesoamericana^{[18]–[23]} como múltiples procesos^{[10], [14], [16]}. Simple y múltiple domesticación también han sido reportadas para el grupo andino^[14]. Recientemente, Bitocchi *et al.* (2012)^[24], han aportado nuevas evidencias a favor de un único proceso de domesticación en la zona mesoamericana y un único proceso en la zona andina. La población mesoamericana domesticada sufrió una importante reducción de la variabilidad respecto a las formas silvestres debido al efecto fundador (pocos individuos domesticados a partir de la población silvestre).

La información proporcionada principalmente por las faseolinas, ha sugerido diferentes rutas de dispersión de las judías. Por ejemplo, la mayor parte de los cultivares locales encontrados en Europa presentan características propias de los materiales andinos, con faseolinas tipo T o C y un tamaño grande de semilla^[25] por lo que posiblemente hayan sido introducidos desde esa área geográfica. En cambio, los materiales cultivados en el Caribe, en Chile o en Brasil, poseen preferentemente, unas características propias del germoplasma mesoamericano, como son faseolina tipo S y tamaño pequeño de semilla^{[26], [27]} sugiriendo una introducción desde este origen.

1.3. Importancia económica de la judía

1.3.1. A nivel Mundial

Según los datos consultados en la FAO a nivel mundial para el periodo comprendido entre 2010 – 2014 se cultivaron 120 millones de ha de judías secas obteniéndose una producción de 94 millones de toneladas (Figura 1.3). Desde los años 60 la producción de judías secas se ha duplicado, de igual modo que lo ha hecho la población mundial (FAOSTAT, 2015). La Figura 1.4 nos muestra, detallando porcentualmente, los principales continente productores de frijoles secos. Se observa que Asia es el principal productor de esta leguminosa con un 45 % de la producción mundial, seguida de América con un 30 % y de África con un 22,3%.

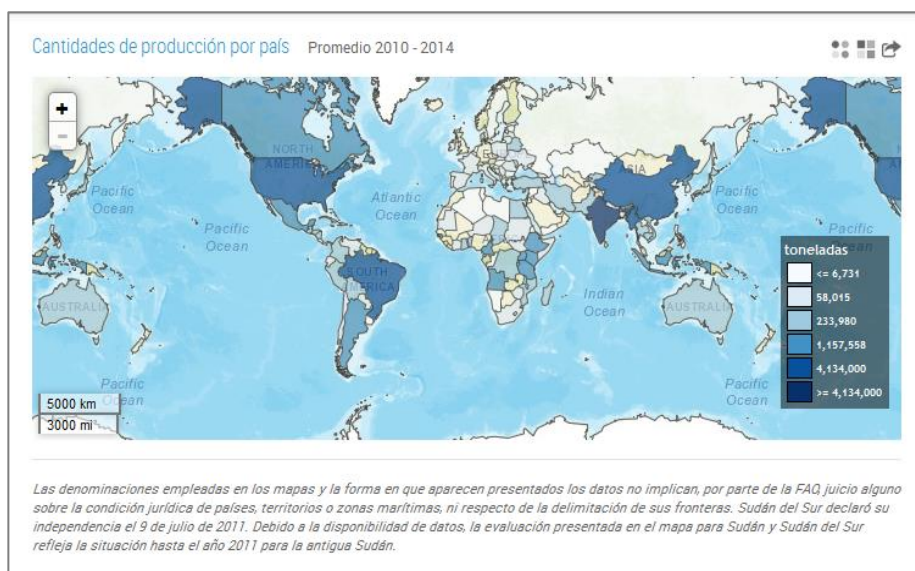


Figura 1.3 Principales continentes productores de Frijoles secos promediado entre los años 2010 – 2014 en el mundo. Fuente: Imagen extraída de FAOSTAT (Consultado 04/05/2016).

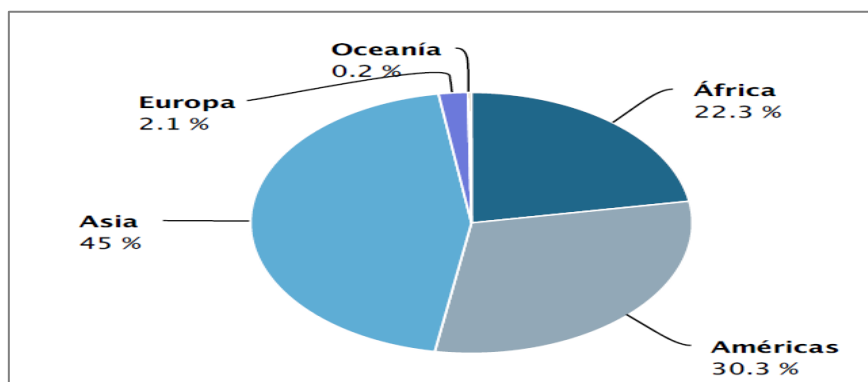


Figura 1.4 Principales continentes productores de Frijoles secos promediado entre los años 2010 – 2013 en el mundo. Fuente: Imagen extraída de FAOSTAT (Consultado 04/05/2016).

Por países, los principales productores de judías secas (Figura 1.5) son la India con una producción en 2010 de casi 5 millones de toneladas, seguida por Myanmar con 3.5 millones de toneladas y Brasil con 3.1 millones de toneladas (Figura 1.5). Podemos observar como la India tiene una reducción de la producción de 0.6 millones de toneladas en el periodo 2011 y 2012, manteniéndose en 2013 con una producción de 3.6 millones de toneladas. Por el contrario Myanmar asciende paulatinamente su producción situándose en el periodo 2013 como principal productor de dicha legumbre. La Figura 1.6 nos muestra las principales legumbres secas producidas a escala mundial, en este gráfico despunta el frijol con una producción constante para el periodo 2010-2013 de 23.8 millones de toneladas, le siguen los garbanzos (*Cicer arietinum* L.) con 12 millones de toneladas de promedio, los guisantes secos (*Pisum sativum* L.) y las lentejas (*Lens sp.*).

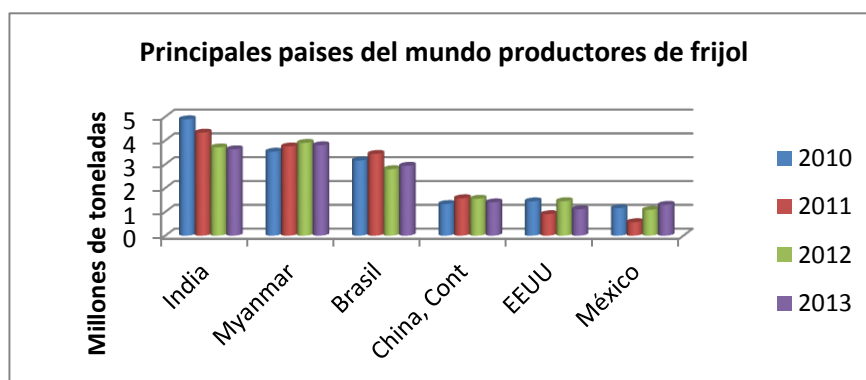


Figura 1.5 Principales países productores de Frijoles secos para los años 2010 – 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de FAOSTAT (Consultado 04/05/2016).

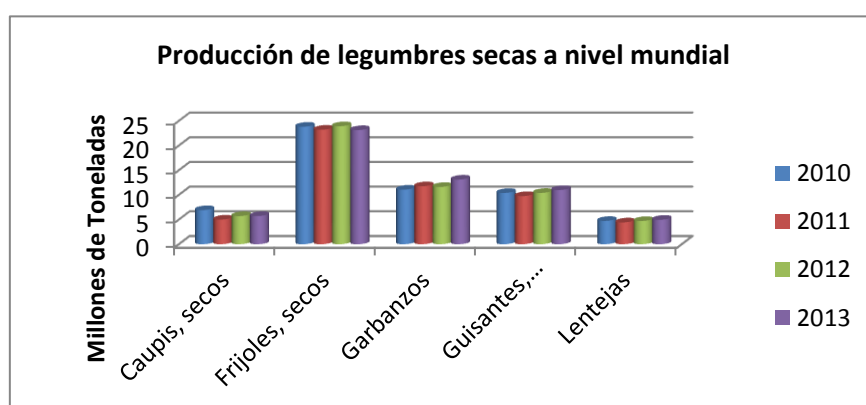


Figura 1.6 Cinco primeros cultivos de legumbres secas a nivel mundial para el periodo comprendido 2010-2013. Fuente: Elaboración propia a partir de FAOSTAT (Consultado 04/05/2016).

1.3.2. A nivel Español

Según los datos consultados en Magrama, en el periodo comprendido entre 2010 – 2013, en España se cultivaron 27.500 Ha de judías secas obteniéndose una producción de casi 44 mil toneladas, y un rendimiento de 64 mil Hg·ha⁻¹. La principal legumbre seca cultivada en España son los guisantes con diferencia con una producción media de 200 mil toneladas anuales, seguidos por la veza y las habas (Figura 1.7). Las judías secas ocupan la sexta posición con sólo 11 mil toneladas de producción anual. Las principales comunidades autónomas productoras son por orden decreciente: Castilla y León con 4 mil toneladas en el año 2013, Galicia con 3 mil toneladas y Navarra con 700 toneladas. Cataluña, en este año habría producido tan sólo 366 toneladas, situándose en la sexta comunidad autónoma con mayor producción (Figura 1.8).

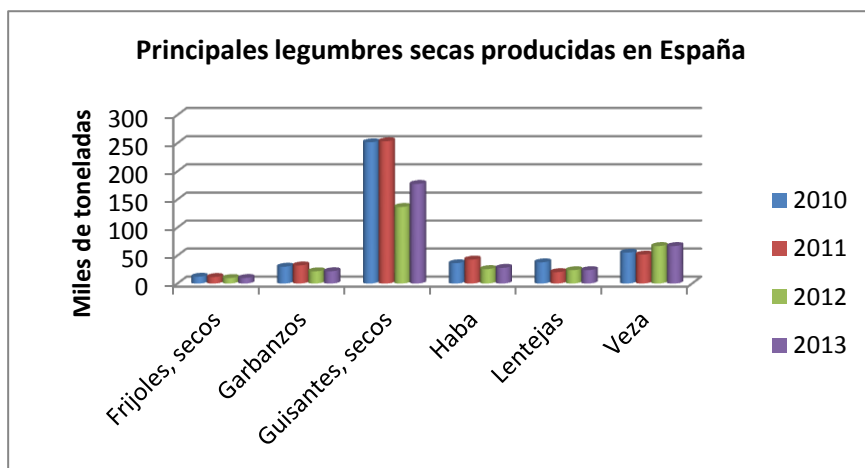


Figura 1.7 Principales seis cultivos de legumbres secas producidos en España para el periodo comprendido 2010-2013. Fuente: Elaboración propia a partir de FAOSTAT (Consultado 04/05/2016).

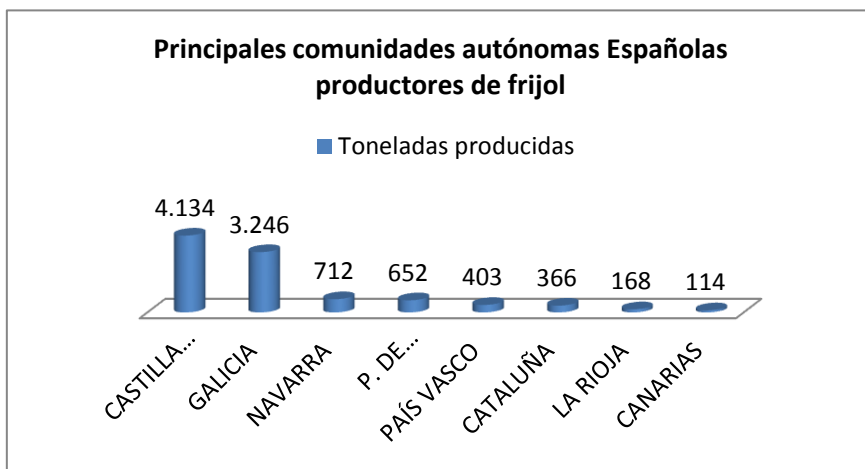


Figura 1.8 Principales comunidades autónomas productoras de frijoles secos a nivel Español para el año 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de FAOSTAT (Consultado 04/05/2016).

1.4. Valor nutricional

1.4.1. Propiedades nutricionales de las judías secas

Dentro de la familia de las leguminosas, *Phaseolus vulgaris* es la especie más cultivada y consumida en África, India, México y en varios países de América Central y Suramérica. En estas regiones forma parte de los hábitos alimenticios de las poblaciones, siendo su consumo mayoritariamente en forma de grano integral ^[28], pese a que también se pueden consumir de diversas formas en función de si se aprovecha el grano o la vaina. Los granos secos se consumen principalmente cocidos (judías secas o judías de grano), pero también se pueden consumir tostados (ñuñas). Otra forma de consumir los granos es en estado inmaduro antes de que se deshidraten en la vaina (judías pochas). Las vainas se consumen cuando están tiernas, justo antes del momento en que empiezan a granar (judías verdes o judías tiernas).

Las propiedades nutritivas que posee el frijol están relacionadas con su alto contenido proteico y en menor medida a su aportación de carbohidratos, vitaminas y minerales. Dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteínas varía del 188 a 320 g·Kg⁻¹ m.s. Los hidratos de carbono son el mayor componente de las judías, representando entre un 50 y 60% de materia seca. El almidón es el carbohidrato que representa la principal fracción de energía, a pesar de que durante su cocinado, una parte del mismo queda indisponible dado que se transforma en el denominado almidón resistente a la digestión. Las judías también presentan altos niveles de fibra dietética, cuyos principales componentes químicos son las pectinas, pentosanos, hemicelulosa, celulosa y lignina. Dentro de los macronutrientes del frijol, la fracción correspondiente a los lípidos es la más pequeña (10 a 43 g·Kg⁻¹ m.s), constituida por una mezcla de acilglicéridos cuyos ácidos grasos predominantes son los mono y poliinsaturados (Tabla 1.3). Sobre otras características químicas destaca su riqueza en aminoácidos como la lisina (6.4 a 7.6 g·100 g⁻¹ de proteína) y la fenilalanina más tirosina (5.3 a 8.2 g·100 g⁻¹ de proteína), pero con deficiencias en los aminoácidos azufrados metionina y cisteína. Además, este alimento también es una fuente considerable de calcio, hierro, fósforo, magnesio y zinc y de las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico. (Tabla 1.4).

Tabla 1.3 Composición de los principales nutrientes en las judías secas. Expresado en g·Kg⁻¹ de materia seca

Proteína	Almidón	Amilosa	Fibra	Lípidos	Sacarosa
188-320	270-591	107-372	31-70	10-43	16-35

Fuente: Salunkhe y Kadam (1989); Pujolà *et al.* (2007); USDA (2015)

Tabla 1.4 Características químicas y nutricionales de la judía seca.

Característica	Contenido
Aminoácidos esenciales (g/100 g proteína)	
Fenilalanina + Tirosina	5.3 - 8.2
Isoleucina	2.8 - 5.8
Leucina	4.9 - 9.9
Lisina	6.4 - 7.6
Metionina+ cisteína	1.2 - 1.5
Treonina	4.4 - 7.0
Triptófano	
Valina	4.5 - 6.7
Minerales (mg/100 g)	
Calcio	9 -200
Fósforo	460
Hierro	3.8 - 7.6
Magnesio	200
Cobre	1
Sodio	4 - 121
Potasio	132 - 194
Zinc	2.2 - 4.4
Vitaminas (mg/100 g)	
Tiamina (B1)	0.86 - 1.14
Niacina (B3)	1.16 - 2.68
Ácido fólico	0.17 - 0.58
Anti nutricionales	
Oligosacáridos (mg/g)	25 - 50
Taninos (mgeq.cat/g)	9.6 - 131.4
Inhibidores de tripsina (UIT/mg)	13 - 29
Ácido fítico (%)	0.6 - 2.7
Lecitinas (%)	1 - 5

Fuente: Reyes-Moreno y Paredes-López (1993); Young *et al.* (1998); Guzmán-Maldonado y Paredes-López (1998).

Dado su alto valor nutricional (valiosa fuente de proteína^[29] y de compuestos bioactivos), su uso debería diversificarse a través de su utilización como ingrediente para el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Las proteínas de los granos de judía están limitadas en el contenido de aminoácidos azufrados. Por otro lado, los cereales presentan unos porcentajes reducidos en lisina. Por este motivo es importante consumir ambos tipos de alimentos conjuntamente, ya que se complementan entre sí y proporcionan las cantidades adecuadas de todos los aminoácidos esenciales^[30].

El uso exitoso de fuentes de proteínas vegetales en la formulación de alimentos depende de las propiedades funcionales de la materia prima vegetal. Propiedades tales como el índice de absorción de agua y aceite, la capacidad emulsificante y espumante, la estabilidad de la espuma y de la emulsión, la capacidad de gelificación y la solubilidad proteica han sido estudiadas en diferentes especies de leguminosas^{[31]-[33]}. Sus compuestos bioactivos contribuyen a la prevención de enfermedades. Se ha relacionado a los carbohidratos no digeribles que componen la fibra dietética con un efecto protector ante enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y enfermedades diverticulares^[34]. De acuerdo con Queiroz *et al.* (2003)^[35] los componentes fermentables de la fibra dietética y del almidón resistente pueden considerarse compuestos funcionales, particularmente bifidogénicos. En paralelo, y con base en el estudio de las propiedades funcionales, diversos autores han sugerido el uso de leguminosas como ingrediente en la formulación de alimentos^{[36], [37]}. Al igual que los cereales, las leguminosas requieren ser procesadas antes de su consumo. Con el procesamiento disminuye, o es eliminada la mayor parte de los compuestos anti nutritivos, y se mejoran la textura y palatabilidad de los granos. Sin embargo, el procesamiento también altera las propiedades funcionales de las leguminosas, condicionando en consecuencia su incorporación en el desarrollo de productos. Procesos como la cocción, fermentación y fermentación-cocción alteran propiedades de hidratación como la capacidad de absorber agua y aceite, y propiedades de superficie como la capacidad espumante y emulsificante de las harinas de *Vigna sinensis*^[36].

1.4.2. Componentes anti-nutricionales del frijol

La presencia de algunos factores anti-nutricionales afecta a la calidad alimenticia de esta leguminosa (Tabla 1.4) reduciendo la digestibilidad de su proteína. Entre ellos se encuentran los

inhibidores de tripsina (considerados comúnmente como inhibidores proteolíticos) y los taninos que limitan la biodisponibilidad del hierro y el zinc^[38]. Otros compuestos anti nutricionales son las lecitinas y el ácido fítico que afecta a la asimilación del zinc. Se han descrito sin embargo propiedades beneficiosas para la salud de estos mismos componentes, tema que se abarca más en profundidad en el siguiente apartado.

La rafinosa, estaquinososa y verbascosa (oligosacáridos de bajo peso molecular) producen flatulencias, ya que estos carbohidratos simples no son hidrolizados en las primeras etapas de la digestión y terminan fermentados en ácidos grasos de cadena corta y gas en el colon^{[31], [39], [40]}. La existencia de un cultivar de frijol sin flatulencia llamado Jacobs Ganado indica que puede ser posible retirar los factores de flatulencia, lo que sería ventajoso para el cultivar ya que aumentaría el consumo de frijol por todo el mundo. El remojo y cocción de la judía, aparte de reducir la presencia de minerales entre otros, también reduce sensiblemente la cantidad de estos compuestos anti-nutricionales.^{[31], [41]}.

1.4.3. Fito-químicos del frijol

A los componentes o ingredientes fisiológicos activos de ciertos alimentos denominados nutracéuticos o funcionales (aquellos que proporcionan beneficios más allá de la nutrición básica y puede prevenir enfermedades o promover la salud) se les conoce con el término fitoquímico^{[39], [42]-[44]}. La Tabla 1.5 muestra un resumen sobre el papel tradicional y el nutracéutico de varios compuestos. Actualmente los fitoquímicos conocidos en el frijol son^[40]:

- Fibra: posee un efecto hipocolesterolémico, es decir, puede disminuir hasta un 10% el colesterol en la sangre. Por otra parte, la fermentación en el colon de la fibra soluble y el almidón resistente que generan ácidos grasos de cadena corta, provoca la disminución de la síntesis hepática del colesterol.
- Inhibidores de tripsina: confieren protección contra rotavirus, inhiben las carcinogénesis y pueden ser utilizados como agentes quimio-protectores.
- Lecitinas: disminuyen el crecimiento de linfomas no-Hodgking (cáncer del tejido linfoide, que abarca los ganglios linfáticos, el bazo y otros órganos del sistema inmunitario) y pueden utilizarse como marcadores de tumores al identificar células que se encuentran

en las primeras etapas de diferenciación a células cancerosas. Confieren resistencia al ataque de plagas de almacén.

- Ácido fítico: reduce el riesgo de contraer cáncer, principalmente del colon y de seno, probablemente por su poder antioxidante.
- Taninos: Funcionan como antioxidantes, anticancerígenos y antimutágenos efectivos. ^[39],
[40]

Tabla 1.5 Componentes principales de la judía común, función tradicional y potencial nutraceutico.

Componente	Papel tradicional	Potencial nutraceutico
Nutricional		
Proteína	Fuente de aminoácidos	Alternativa a la proteína animal
Fibra	Reduce la constipación del sistema digestivo	Reducción del colesterol en sangre y requerimientos de insulina en sangre.
Lípidos	Fuente de energía	
Carbohidratos	Fuente de energía	
Lisina	Aminoácido limitante	Tratamiento de herpes
Protección		
Polifenoles totales	Confieren resistencia a plagas de almacén. Dan color al caldo	Antioxidantes, reducción de problemas cardiovasculares
Fisiológicos		
Ácido fítico	Fuente de fósforo durante la germinación.	Antioxidante
Antinutricionales		
Taninos	Reducen la asimilación de minerales y digestibilidad de proteína	Antioxidante, antimutagénicos, disminución del PVC y los requerimientos de insulina.
Inhibidores de tripsina	Disminuyen la digestibilidad de proteína y el PER, alérgico ocupacional	Protección contra rotavirus, anti cancerogénesis, quimioprotectores
Lecitinas	Crecimiento del páncreas y ulceración del epitelio intestinal en ratas. Confiere resistencia a plagas de almacén	Inhibición de crecimiento de linfomas, diagnóstico de tumores cancerosos.

Fuente: Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998.

1.5. Valor sensorial y culinario

La aceptación de un alimento depende de las características sensoriales, esto es, de que sea agradable a los sentidos. En ello intervienen, además de los aspectos genéticos del sujeto, diferentes factores como pueden ser los hábitos culturales, poder adquisitivo, historia local, etc.

La amplia gama de semillas de colores, formas y tamaños se ha formalizado en algunas áreas del mundo en clases distintas de mercado. Su comercialización refleja fuertes preferencias del consumidor por los tipos de grano específicos, así sucede por ejemplo en la población de América latina lo que refleja tradiciones culturales muy arraigadas. En las zonas donde las judías secas se cultivan en forma de mezclas de cultivares, como en el África central, entre las semillas también existen preferencias, pero parecen ser más flexibles.

Las características más importantes que influyen en la aceptabilidad de las judías secas por parte de los consumidores en los países en desarrollo son: el tamaño de las semillas, forma y color, el tiempo de cocción, el aspecto del caldo, y capacidad de almacenamiento. Los consumidores también tienen preferencias para los granos cocidos, es decir, el gusto, sabor, olor, granulosidad, viscosidad y textura^[45]. Esta última propiedad, *la textura*, la podemos definir como “el producto de la combinación de diversas características físicas como aspereza, suavidad, viscosidad y granulosidad entre otras, relacionadas de forma compleja”^[46].

La textura, se puede considerar como el parámetro sensorial más importante para describir el valor organoléptico de la judía, ya que el grano de la judía en nuestro país se utiliza mayoritariamente como acompañamiento o cocinada con otros ingredientes que son los que le confieren el sabor y aroma final^[47]. En este sentido, Carneiro *et al.* (2005)^[48], en sus estudios sobre siete variedades de judías producidas en el estado de Minas Gerais (Brasil) y 3 líneas puras, encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en algunas características del grano de judía cocida, como ruptura de tegumento, dureza y granulosidad. La textura está determinada por diversos factores entre los que se encuentran el remojo y la cocción.

En los países desarrollados este tipo de producto no es muy apreciado, ya que requiere un elevado tiempo de remojo y cocción y produce flatulencia^{[49], [50]}.

El remojo, proceso previo a la cocción y su influencia en la textura de la judía, ha sido ampliamente estudiada^{[51]-[54]}. Su efecto depende del tipo de judía, estado de conservación, duración y concentración de sales en el agua de remojo. **El tiempo de cocción** puede variar de acuerdo con la zona geográfica y los criterios de aceptabilidad de cada región. En regiones como el continente africano, donde el principal combustible es la madera, este carácter se convierte en un factor decisivo^[55]. El tiempo de cocción también se ve influenciado por las características del suelo y las condiciones climáticas de la zona de cultivo. Así, Paredes *et al.*

(1989)^[56] encuentran que el tiempo de cocción es superior en judías cultivadas en suelos ricos en Ca y Mg y temperaturas ambiente de entre 15-24°C si se comparan con otras cultivadas en suelos pobres en Ca y Mg y temperaturas ambiente de entre 11-18°C. Stoyanova *et al.* (1997)^[57] también confirman esta premisa ya que encuentran que judías cultivadas en suelos ricos en Ca presentaban un incremento de la mayor cantidad de calcio en la piel y necesitaban un mayor tiempo de cocción.

Así, otros factores que influyen al tiempo de cocción que han sido identificados son: cubierta dura de la semilla y el fenómeno “hard to cook”. El tegumento duro o rígido, es una condición de latencia de la semilla donde la cubierta de la semilla se convierte en impermeable al agua. Dado que estas semillas no absorben agua fácilmente, requieren una cocción más larga. Mientras que una cubierta de la semilla impermeable es un mecanismo de supervivencia valiosa de la planta bajo condiciones ambientales adversas, los cultivares que desarrollan esta condición durante el período posterior a la cosecha, a menudo contienen un alto porcentaje de semillas duras que tienen una textura no uniforme cuando se cocinan^{[58]-[60]}.

Las semillas con testa dura tienden a ser un 20% más pequeñas^[61]. Kyle and Randall (1963)^[62] encontraron una estrecha asociación entre el color blanco de la cubierta de la semilla y el carácter semilla dura.

1.6. Moléculas importantes en el valor sensorial y nutricional

Para poder entender la repercusión de las moléculas más importantes que influyen en el valor sensorial y nutricional se ha de estudiar por separado los diferentes compuestos químicos mayoritarios presentes en la piel (calcio, cenizas, fibra dietética, magnesio, fosforo y ácidos urónicos) y el cotiledón (proteína, almidón, amilosa y amilosa aparente) de las judías secas.

La piel o cubierta protectora, es muy pobre en agua y está formada por fibras como celulosa, hemicelulosa y ligninas^[63]. Por lo tanto parece lógico que a más cantidad de fibras tengamos texturas más duras o una mayor apreciación de la piel por parte del consumidor. Pero, como la judía grano se consume cocida esta dureza no se puede relacionar directamente con el contenido de fibra, ya que sus componentes sufren diversas transformaciones durante el proceso de remojo y cocción^[64].

La percepción de la piel posee una correlación negativa con el contenido de pectina o ácidos urónicos. Esto es debido a que los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} pueden combinarse con los grupos $-\text{COOH}$ de las pectinas provocando una disminución de la solubilidad e incrementando la percepción de la piel. Sin embargo, grandes proporciones de ácidos urónicos dan como resultado pieles poco perceptibles puesto el Ca y el Mg no llegan a establecer puentes entre todos los grupos COOH , facilitándose la ruptura de la trama de urónicos en la piel. Por otro lado, el aumento de la dureza del agua si afecta drásticamente la percepción de la piel al unir fuertemente las moléculas de urónicos entre ellas^[51].

En el caso del cotiledón, un alto contenido en proteína y un bajo contenido en amilosa provocan una baja harinosidad^[65]. Por otra parte, Pujolà *et al.* (2007)^[66] encuentran correlación positiva entre el contenido de proteína y la cremosidad de la judía. Mientras que la firmeza de la semilla es debida a la presencia del Ca^{2+} y Mg^{2+} , y al contenido de pectina soluble.

Otros autores comentan que una elevada percepción de la piel y la firmeza de la semilla están asociadas al fenómeno “hard to cook” que se desarrolla en las semillas después de un almacenamiento a altas temperaturas y elevada humedad relativa. Esto es debido a que el fitato es hidrolizado por la activación del encima fitasa, lo que provoca la desaparición del potencial quelante del fitato permitiendo que las pectinas se enlacen por puentes con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , dando como resultado los pectatos de calcio y de magnesio los cuales no se disuelven fácilmente con el calor. De este modo restringen la separación celular inhibiendo la absorción del agua y dando lugar a una difícil cocción de las judías^[51].

1.7. Los recursos fitogenéticos españoles y la colección nuclear de judía española

1.7.1. Los recursos fitogenéticos

Los Recursos Fitogenéticos se definen como el material genético de origen vegetal que tiene un valor real o potencial destinado a la alimentación y la agricultura. Estos recursos han sido conservados y desarrollados por los agricultores de forma tradicional y son la base para desarrollar nuevas variedades^[67]. Además permiten llevar a cabo estudios genéticos básicos, de

ahí que sean considerados una pieza clave en la seguridad alimentaria y el en desarrollo sostenible.

En España, la conservación de los recursos fitogenéticos se articula a través de una red de colecciones de germoplasma (colecciones de campo y colecciones de semilla) que en el caso concreto de la judía está formada por diversas colecciones de trabajo y bancos de semilla. Los bancos de semillas que constituyen colecciones activas, se localizan en el Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias (SERIDA), en la Misión Biológica de Galicia (MGB-CSIC) en Pontevedra, en el Banco de Germoplasma de Hortícolas de Zaragoza y en el Centro de la Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV). Además, en esta red se incluye el Centro de Recursos Fitogenéticos (CRF) del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), situado en Madrid, donde según la legislación vigente (Orden del 23/04/1993; Orden ECI/2510/2004) reside la colección base de semillas y en el que debe estar depositado un duplicado de todas las colecciones de semilla incluidas en la red^[68]. En la actualidad, esta colección incluye 4390 entradas de la especie *Phaseolus vulgaris* L., de las cuales, 3698 se han recolectado en España y se conservan en la colección activa (www.inia.es/webcrf/CRFesp/Paginaprincipal.asp). Es por tanto, la colección más numerosa y representativa de la diversidad genética local española. La amplia diversidad descrita para esta especie en la Península Ibérica ha llevado a algunos autores a sugerir que la península Ibérica constituye un centro de diversidad secundario de esta especie^[69].

Los bancos de germoplasma desempeñan un papel fundamental en la transferencia de accesiones entre y dentro de los países. La actividad de los bancos incluye el intercambio entre bancos a veces como parte de los acuerdos de repatriación, el almacenaje del material recolectado en las misiones de recolección de campo, las obtención de nuevas combinaciones a partir de los programas de investigación y mejoramiento, y la distribución a fitomejoradores, investigadores y directamente a agricultores^[66].

1.7.2. La colección nuclear de judías española

Para una colección de germoplasma dada, una colección nuclear se define como un limitado juego de entradas que representan la diversidad genética reunida en dicha colección^{[70], [71]}. Por este motivo, las colecciones nucleares se crean para proporcionar una muestra representativa y

estructurada de la colección, que además presenta un tamaño mucho más manejable que la colección completa. Para poder fomentar el uso del germoplasma conservado es de vital importancia caracterizar dichas entradas.

Una colección nuclear bien caracterizada y representativa de la diversidad reunida en la colección inicial, proporciona una herramienta de gran valor en la especie tanto para la conservación de la diversidad genética como para los trabajos de evaluación ^[71]. Las colecciones nucleares son el juego de entradas que preferentemente se conservan y se someten a caracterizaciones y evaluaciones desde diferentes puntos de vista^[72].

En el año 2000, de la Rosa *et al.* (2000)^[73] proponen una colección nuclear de 211 entradas para la colección de *P. vulgaris* L. reunida en aquel momento en el CRF-INIA (2287 entradas). Esta colección fue establecida a partir del análisis de los datos de pasaporte (provincia, localidad y altura sobre el nivel del mar del lugar de recolección) y de fenotipo de semilla (color, forma y tamaño). En la actualidad esta colección consta de 202 entradas, y desde que fue propuesta, el CRF y otras instituciones la han estudiado documentándola para caracteres agronómicos, morfológicos de vaina y semilla, faseolinas ^[8], resistencia a bacterias (*Pseudomonas syringae*, *Xanthomonas campestris*) ^[74], antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) ^[75], moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*) ^[76] y para el valor sensorial y culinario ^[77]. La reunión de toda esta información y su disponibilidad en la web del INIA facilita la utilización de los recursos fitogenéticos almacenados por parte de los agricultores y de los fitomejoradores e investigadores.

1.8. Importancia de la caracterización para fomentar el uso del germoplasma conservado

La erosión genética causada por la destrucción de los hábitats, la selección natural, y por los agentes bióticos ha acrecentado en los últimos años el interés por la conservación del germoplasma vegetal “ex situ”. En la agricultura, paradójicamente, el éxito de los fitomejoradores en la obtención de cultivares de mayor rendimiento y cultivares más uniformes, es otro de los factores que han contribuido a destruir la diversidad genética ^{[78], [79]}.

La **vulnerabilidad genética** es la “situación que se produce cuando un cultivo ampliamente difundido es susceptible de manera uniforme a un peligro creado por una plaga, un patógeno o el medio ambiente como consecuencia de su constitución genética, abriendo así la posibilidad de pérdidas generalizadas del cultivo”.

La **erosión genética**, por otra parte, se definió como “la pérdida de genes individuales y de combinaciones específicas de genes (es decir, complejos de genes), tales como los que se mantienen en las razas autóctonas adaptadas localmente. El término ‘erosión genética’ en ocasiones se utiliza en un sentido estricto, es decir, para hacer referencia a la pérdida de genes o alelos. También se usa en un sentido más amplio, para referirse a la pérdida de variedades”. De este modo, mientras que la erosión genética no implica necesariamente la extinción de una especie ni de una subpoblación, sí representa una pérdida de variabilidad y, por lo tanto, una pérdida de flexibilidad.

Una gran cantidad de informes de países expresan su preocupación sobre el creciente uso de variedades genéticamente uniformes y la tendencia a cultivarlas en áreas cada vez más grandes, lo cual genera mayor vulnerabilidad genética. Muchos reclaman un mayor uso de diversidad genética para contrarrestar esta situación. Implementar diversidad a nivel de finca y de campo ayuda a amortiguar la propagación de nuevas plagas y enfermedades, al igual que las vicisitudes del clima. A fin de poder adaptar la agricultura a las condiciones en constante cambio, es necesario que los fitomejoradores desarrollen y mantengan un conjunto de nuevas variedades. Uno de los ejemplos más reveladores a nivel mundial del impacto de la vulnerabilidad genética fue el brote y la propagación incesante de la cepa Ug99 de la roya del tallo, una enfermedad a la que está expuesta la gran mayoría de las variedades de trigo existentes^{[78], [80]}. Otro ejemplo es: la pérdida de dos millones de fardos de algodón entre 1991 y 1993 debido a las malas cosechas causadas por el virus del encrespamiento de la hoja del algodón. Luego se identificaron tipos de algodón resistentes y se los usó para desarrollar nuevas variedades de algodón resistentes al virus, que se adaptaron a las condiciones de crecimiento.

En el caso de la erosión genética, los segundos informes de países mencionan una notable cantidad de causas: reemplazo de variedades locales, aclareo de tierras, sobreexplotación, presiones demográficas, degradación ambiental, cambios en los sistemas agrícolas, pastoreo

excesivo, legislación y políticas inapropiadas, plagas, enfermedades y malas hierbas. Un análisis de los informes, en apariencia, indicaría que la erosión genética podría ser mayor en el caso de los cereales, seguidos de las hortalizas, las frutas, los frutos secos y las leguminosas.

En 1996, el primer Plan de Acción Mundial (PAM) resaltó la importancia de la caracterización, tanto como una manera de ayudar a vincular la conservación de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA) con su utilización, como para facilitar la identificación de deficiencias en las colecciones y el desarrollo de colecciones de referencia. Numerosos informes de países indicaron que la falta de datos sobre caracterización y evaluación fácilmente disponible es una de las principales limitaciones para un mayor uso de los RFAA en los programas de mejora. Si bien la mayoría de los cultivos referentes a productos básicos se han caracterizado sustancialmente a nivel morfológico, se han hecho relativamente pocas evaluaciones bioquímicas o sensoriales. Entre los grupos de cultivos sobre productos básicos, los cultivos de fibras y las especias se han caracterizado y evaluado más extensivamente, mientras que la evaluación bioquímica se ha realizado sobre todo en los cultivos de oleaginosas y las especias.

A fin de mejorar la gestión de las colecciones y de alentar un uso mejorado del germoplasma, la documentación, la caracterización y la evaluación deben fortalecerse y unificarse, y los datos deben ser más accesibles. Se necesita una mayor estandarización de los sistemas de manejo de datos e información. Esta estrategia permitiría a los fitomejoradores y a otros investigadores seleccionar germoplasma de modo más eficiente y eliminar la necesidad de repetir las selecciones.

Documentación, evaluación y recuperación de información son componentes necesarios de un sistema eficiente para la conservación de los recursos de germoplasma ^[78] y para que la población pueda comprender la necesidad de invertir dinero público en la conservación y gestión de dichos recursos. Justamente para favorecer el uso de la gran cantidad de germoplasma que está almacenado en bancos parece del todo indispensable caracterizarlo para favorecer su uso en la resolución de los retos que tenemos planteados respecto a seguridad alimentaria, nutrición, salud, incremento de producción, disminución de insumos en los cultivos, desarrollo del mundo rural, conservación del territorio y conservación del patrimonio cultural.

2. Objetivos

El trabajo tiene como objetivo general contribuir a la caracterización de la colección nuclear española de judía gestionada por el CRF-INIA para fomentar su utilización, planteándose los siguientes objetivos específicos:

- a) Describir la variabilidad que existe en la colección nuclear española para componentes de la piel y cotiledón, vinculados al valor sensorial y nutricional.
- b) Comparar la variabilidad encontrada y sus magnitudes con la variabilidad, sensorial y culinaria.
- c) Identificar entradas valiosas por su valor nutricional o por su alto contenido en moléculas vinculadas a características sensoriales apreciadas por los consumidores.

3. Material y métodos

3.1. Material vegetal.

En este proyecto se analizan 202 entradas que constituyen la colección nuclear del CRF-INIA propuesta por de la Rosa *et al.* (2000)^[73]. Cada entrada se identifica con el código del Inventario Nacional de Recursos Fitogenéticos y se nombran con las letras BGE (Banco de Germoplasma Español), seguidas de un número de seis dígitos.

3.2. Lugar de cultivo y métodos de manejo

Las 202 entradas fueron sembradas en Sabadell (Noreste de España: 41 ° 32 '50.7 "N, 2 ° 4' 14.7" E), en suelo franco con abundante Ca, P bajo, y un clima mediterráneo suave. Estas condiciones permiten un buen desarrollo y madurez tanto de materiales de ciclo corto como largo. Se utilizó un diseño de dos bloques al azar con 21 plantas por parcela elemental. El experimento se llevó a cabo a baja densidad (29.167 plantas· ha⁻¹) para facilitar el registro individualizado de los datos. Se colocó una red vertical en las entradas de crecimiento indeterminado. Las plantas fueron cultivadas con el manejo tradicional de la zona, incluyendo el riego por goteo y fertilizantes cuando se precisaban.

Las semillas fueron cosechadas por parcelas, pero debido a la falta de significación del factor bloque para características agronómicas, se combinaron las semillas de los dos bloques en cada entrada para asegurar una muestra suficiente para realizar los análisis químicos.

3.3. Preparación de las muestras.

3.3.1. Preparación de las muestras

La piel de la semilla del frijol común representa un 8-15% del total de la masa de la semilla, por lo que para poder obtener resultados más precisos al analizar las muestras, estas han de ser separadas del cotiledón y molturadas por medios mecánicos. Para ello, las semillas (45-50 g) se sumergen totalmente en agua destilada (150 ml) durante 24 h. Transcurrido este tiempo se

escurren y se secan mediante un papel de filtro (en este momento se calcula el % de agua absorbida mediante la siguiente fórmula: $100 \times (\text{peso en el momento } t_1 - \text{peso en el tiempo } t_0) / \text{peso en el tiempo } t_0$) y se procede a la separación de la piel y el cotiledón de manera manual. Se pre moltura el cotiledón para facilitar el secado de la muestra. Se introducen ambas partes por separado en una estufa a 60°C durante 48h (Figura 3.1). Finalmente se molturan con un molino Perten con luz de malla 0.4 mm. Para obtener una muestra de menor tamaño y más homogéneo y se almacenan en bolsas de polietileno a 4°C para el análisis NIR.

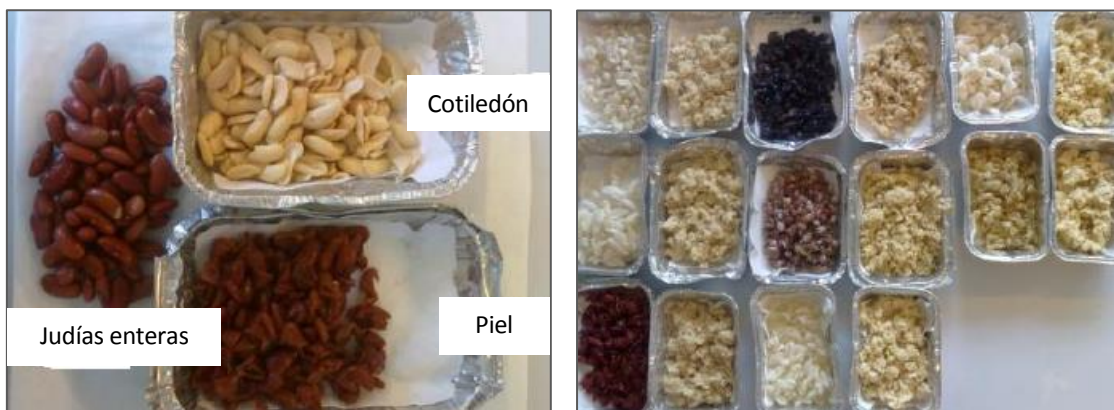


Figura 3.1 Preparación de las muestras. Arriba a la izquierda, muestras en remojo. Abajo a la izquierda, separación de la piel y el cotiledón. Abajo a la derecha, piel y cotiledón pre molido ya secos. Fuente: Propia



Figura 3.2 Molino Perten, 3100

3.4. Métodos analíticos. Regresiones NIR empleadas para estimar los distintos compuestos y grado de eficiencia de las predicciones.

3.4.1. Near infrared spectroscopy (NIR)

La espectroscopia de infrarrojo es una técnica no destructiva, rápida, de gran precisión y exactitud, siempre que se sigan los procedimientos adecuados (quimiometría) para generar las ecuaciones de predicción requeridas ^{[81], [82]}. Mediante este método analítico es posible analizar tanto gases, como líquidos y sólidos, siempre y cuando se utilice el accesorio adecuado. El infrarrojo comprende una pequeña región del espectro electromagnético que incluye el intervalo de longitud de onda de 780 nm hasta 1.000.000 nm. La banda de energía se define por conveniencia en tres zonas : El infrarrojo lejano (FIR) de 25.000 a 1.000.000 nm, el infrarrojo o infrarrojo medio (MIR) de 2.500 nm a 25.000 nm y, por último el infrarrojo cercano (NIR) que comprende las bandas de 780 nm a 2.500 nm ^[83].

La tecnología NIR aprovecha la medida de absorbancia de una muestra en diferentes frecuencias cuando esta está expuesta a un haz de luz de radiación electromagnética del infrarrojo ^[84]. Cuando la luz incide sobre una muestra, una parte de los fotones puede transmitirse a través de la muestra y el resto es reflejado, o absorbido por algunos enlaces covalentes que actúan como resortes oscilantes que se acoplan con la frecuencia o longitud de onda (nm) exacta de la radiación lumínica ^[81]. Al absorber energía, los enlaces de las moléculas vibran en dos formas fundamentales: se extienden, aumentando la distancia interatómica a lo largo del eje entre dos átomos (lo que ocurre a frecuencias más altas o menor longitud de onda); o se doblan (a frecuencias más bajas o mayor longitud de onda), cambiando el ángulo de enlace entre dos átomos. La vibración resultante se disipa, provocando un mero calentamiento de la muestra. La absorción es selectiva y depende de los grupos moleculares involucrados ^[81]. El conjunto de las respuestas de absorbancia de la muestra analizada a diferentes longitudes de onda se conoce con el nombre de espectro electromagnético ^{[85], [86]}.

Se asume que en los casos de reflexión o transmisión obedecen a la ley de Beer-Lambert, que establece que la absorbancia a cualquier longitud de onda, es proporcional al número o concentración de moléculas absorbentes presentes en el camino recorrido por la radiación^[81].

En términos más rigurosos, la energía total reflejada por una muestra, es la suma de la reflexión especular (superficial o en forma de espejo) más la reflexión difusa, que es aquella temporalmente absorbida y luego re-emitida por la muestra. Sólo esta última forma (reflexión difusa) entrega información útil acerca de la naturaleza o composición de la muestra^[87], lo que pone de manifiesto el problema de dispersión de luz, que afecta a la reflexión difusa y que depende del tamaño de partícula de la muestra^[81]. Como se observa en la Figura 3.3, todas las bandas están relacionadas con los enlaces donde participa el átomo de hidrógeno, ya que es el que provoca las vibraciones más amplias y mayores desviaciones por ser el átomo más ligero. Las señales de los enlaces con átomos más pesados como los dobles y triples enlaces o los enlaces C=O o C-Cl son casi inexistentes en la región del NIR^[88]. Los sobre tonos se encuentran desde 700 hasta a 2000 nm y las bandas de combinación se encuentran entre los 1900 y los 2500 nm.

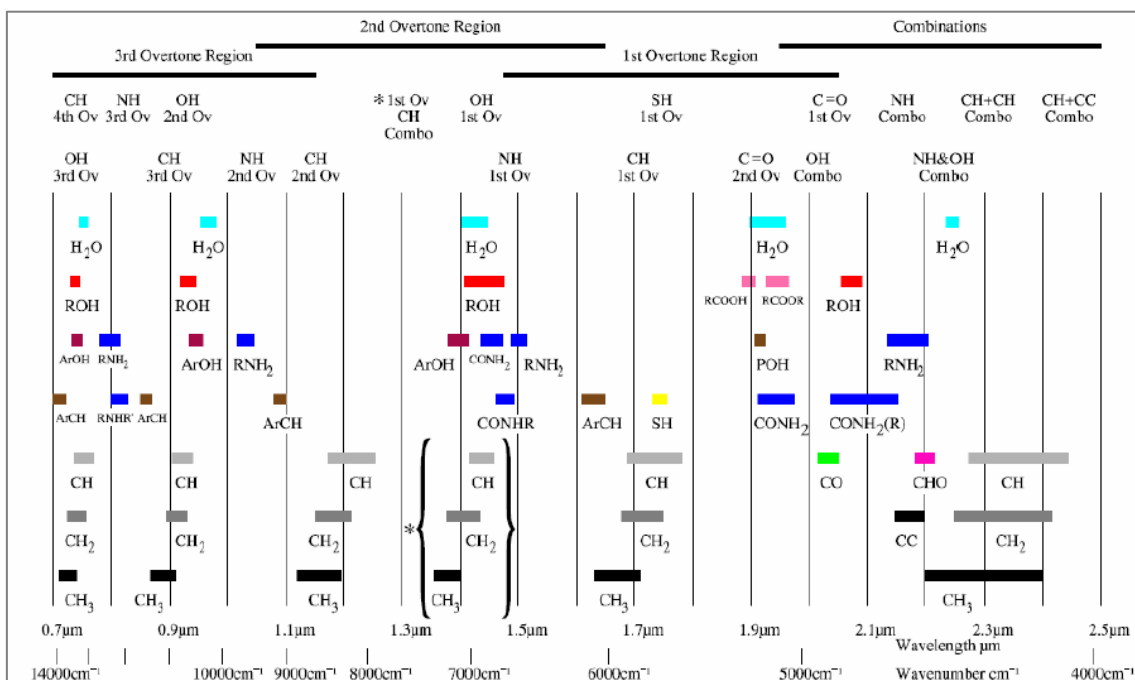


Figura 3.3 Bandas de absorción en la región NIR. Murray, I. (2004).

Una ventaja de trabajar en la región NIR del espectro, consiste en que al utilizar longitudes de onda menores (en relación al infrarrojo medio, o MIR), la penetración de la radiación es mayor,

debido a que el grado de absorción es más débil con cada armónico sucesivo, en comparación con la banda de absorción fundamental en el sector MIR. Esto determina que es posible analizar por reflectancia una muestra sólida de mayor grosor, obteniendo información más representativa y al mismo tiempo es posible trabajar en modo transmisión (o transmitancia) en muestras húmedas heterogéneas bastante más gruesas y con más facilidad de manejo que en la región MIR ^[81].

3.4.2. Regresiones NIR

Para estimar los atributos químicos de las muestras, estas se registraron mediante la espectroscopia de infrarrojo (NIR), utilizando un espectrofotómetro modelo 5000 (Foss NIRSystems, Silver Spring, MD, EE.UU.). Los espectros se registraron cada 2 nm entre 1100 nm y 2500 nm, con un promedio de 32 barridos. Midiéndose por separado las muestras de piel y cotiledón molidas. Cada muestra se registró dos veces y el espectro medio se utilizó para los cálculos. Se calculó la absorbancia a cada longitud de onda como $(\text{Log } (1 / R))$; esta variable se correlaciona con componentes químicos mejor que lo hace la reflectancia. Se usó un software de visión, versión 2.51, (Foss NIRSystems, Silver Spring, MD, EE.UU.) para recoger los espectros, e importar los datos.

3.4.2.1. Composición química de la piel

Se utilizaron los modelos de regresión desarrollados por Plans *et al.* (2012)^[65] en el NIRS para estimar la fibra dietética, ácidos urónicos, ceniza, calcio, magnesio, y fósforo en la materia prima de las cubiertas de las semillas. Los rangos de RPDs obtenidos en los modelos fueron de 2.6, 1.5, 3.5, 3.6 i 1.5 para la fibra dietética, los ácidos urónicos, las cenizas, el calcio y el magnesio, respectivamente.

3.4.2.2. Composición química del cotiledón

Se utilizaron los modelos de regresión desarrollados por Plans *et al.* (2013)^[99] en el NIR para determinar la proteína, almidón, y la amilosa aparente en el cotiledón molido. Los mejores modelos de regresión PLSR se obtuvieron utilizando el equipo FT-NIR, que proporciona unos RPD de 3.7, 3.2 i 2.8, respectivamente.

3.5. Métodos estadísticos empleados.

3.5.1. Estadísticos descriptivos de la variabilidad

3.5.1.1. Varianza

La mejor forma de medir la dispersión de una serie de datos es comparar cada uno de ellos con la media de la serie, y esto es exactamente lo que hace la varianza (σ^2). Es la medida de dispersión por excelencia, pues representa el promedio de los cuadrados de las distancias de los valores de la variable respecto a la media^[89].

3.5.1.2. Coeficiente de variación

Cuando se comparan series de datos que tienen medias un poco diferentes, la desviación típica no permite comparar cuál de las dos series de datos presenta una mayor variación, ya que normalmente la serie de datos con una mayor media también suele tener una mayor variabilidad. En este caso es más aconsejable el uso del coeficiente de variación (CV), que se calcula como el porcentaje que representa la desviación típica con respecto a la media. En el caso que la desviación típica sea desconocida, se utiliza la cuasi desviación típica^[90].

El coeficiente de variación es una medida de dispersión relativa, la cual facilita comparar distribuciones o grupos dentro de una distribución. Es una medida adimensional, por su relatividad, y representa la desviación respecto de la media. Se ve limitada en la medida en que la variable pueda tomar tanto valores positivos como negativos, o cuando la media tiende a cero. Cuando la media es menor que cero, el CV se toma en valor absoluto^[89]. Este estimador es independiente de la unidad de la media por lo que puede compararse la variabilidad de dos muestras, provenientes de poblaciones diferentes^[91].

3.5.2. Estadísticos relacionales

3.5.2.1. Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación (r) se calcula para estimar la bondad con que se ajustan los puntos experimentales a una línea recta. Este toma valores entre $-1 \leq r \leq 1$. Si r toma el valor de -1 describiría una correlación negativa perfecta, y si en caso contrario toma el valor de 1 , este describiría una correlación positiva perfecta. Para evitar posibles errores al interpretar el valor de r siempre ha de ir acompañado del gráfico de calibración, ya que pese a que en ocasiones r tienda a tomar el valor cero no quiere decir que entre las variables no haya correlación, sino que podría haber correlación pero esta no ser lineal. Los valores de r obtenidos en análisis instrumental son normalmente muy altos, de manera que un valor calculado, junto con la propia gráfica de calibrado, suele ser suficiente para asegurar que se ha obtenido una relación lineal útil. Sin embargo, si los valores de r obtenidos son bajos, se debería emplear un contraste estadístico adecuado para ver si el coeficiente de correlación es realmente significativo; el método más sencillo es calcular el valor de θ ^[92].

3.5.2.2. Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de la varianza (Anova) es un método para comparar dos o más medias. Cuando se quiere comparar más de dos medias es incorrecto utilizar repetidamente el contraste basado en la t de Student por dos motivos: En primer lugar, dado que se realizarían simultánea e independientemente varios contrastes de hipótesis, la probabilidad de encontrar alguno significativo por azar aumentaría. Por otro lado, en cada comparación la hipótesis nula es que las dos muestras provienen de la misma población, por lo tanto cuando se hayan realizado todas las comparaciones, la hipótesis nula es que todas las muestras provienen de la misma población y, sin embargo, para cada comparación, la estimación de la varianza necesaria para el contraste es distinta, pues se ha hecho en base a muestras distintas.

El método que resuelve ambos problemas es el Anova, aunque es algo más que esto: es un método que permite comparar varias medias en diversas situaciones; muy ligado, por tanto, al diseño de experimentos y, de alguna manera, es la base del análisis multivariante ^[93].

3.5.3. Análisis de covarianzas múltiples: Componentes principales

Los métodos espectroscópicos, entre otros, proporcionan gran cantidad de datos analíticos sobre muchos componentes de una única muestra. Estas situaciones en que se miden varias variables para cada muestra, proporcionan datos multivariantes. El objetivo de muchos métodos de análisis multivariante es la reducción de los datos. Con mucha frecuencia se presenta cierta correlación entre las variables, de manera que algo de la información resulta redundante. El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica para reducir la cantidad de datos cuando está presente la correlación, es decir, reducir la matriz de correlaciones a un conjunto menor de variables latentes o componentes principales (CP). Este tipo de análisis se basa en encontrar componentes principales, que sean combinaciones lineales de las variables originales. Sin embargo los componentes principales (CP) también se eligen de manera que la primera componente principal recoja la mayor parte de la variación que hay en el conjunto de datos, la segunda recoge la siguiente mayor parte de variación, y así sucesivamente. Estos CPs se caracterizan por no estar correlacionados entre sí, ya que son ortogonales. Por tanto, cuando haya correlación significativa el número de CPs útiles serán mucho menor que el número de variables originales.

Antes de proceder al análisis de PCA se debería estandarizar cada variable, a media cero y varianza unidad. De este modo no habría ninguna variable con una varianza mucho mayor que el resto, lo que produciría que esta controlara la primera componente principal, y por tanto todas tendrían el mismo peso ^{[92], [94], [95]}.

4. Resultados y Discusión

4.1. Descripción de la variabilidad para compuestos químicos en la colección nuclear de judías española

Se han podido analizar 195 entradas de la colección nuclear, ya que el resto presentó problemas en el desarrollo del cultivo y no se obtuvo semilla suficiente para realizar los análisis químicos. Una vez efectuados los registros espectrométricos y aplicadas las ecuaciones de regresión reportadas por Plans *et al.* (2012)^[65] y Plans *et al.* (2013)^[99], para la estimación de los diversos compuestos químicos para la piel (Ca, Mg, P, cenizas, UA y fibra) y para el cotiledón (Proteína, amilosa aparente, amilosa y almidón), de las entradas obtenemos los resultados que se muestran a continuación.

En la Tabla 4.1 se presentan los valores medios para los caracteres de la piel: 41.73, 11.58, 628.27, 2.38, 0.23 y 120.93 correspondientes a los caracteres de cenizas, Ca, DF, Mg, P y Ác. Urónicos respectivamente. Si comparamos estos con el rango de variabilidad que presentan otros autores, se observan que las medias están comprendidas en los rangos de variabilidad reportados por Plans *et al.* (2012)^[65]. Esto se debe a que en el estudio experimental realizado por dicho autor se escogieron 90 accesiones de variedades locales españolas y seleccionaron líneas endogámicas para abarcar una amplia variabilidad para los caracteres químicos. Por otra parte cabe destacar que la media obtenida para el Ca es 5 veces mayor que para el Mg, hecho que comparte con los resultados reportados por Plans *et al.* (2012)^[65]. Se presentan los valores máximos y mínimos para los caracteres de la piel: 20.1-86.8, 3.7-30.7, 504.7-818.5, 0.7-4.0, 0.0-0.61, 73.3-160.0 (g·Kg⁻¹) para los caracteres de cenizas, calcio, fibra, magnesio, fósforo y ác. Urónicos respectivamente (Tabla 4.1). Comparando estos con los resultados reportados en las Tablas 1.3 y 1.4 (ambas presentadas en la introducción, apartado 1.4 “Valor nutricional”) y con los reportados por Plans *et al.* (2012)^[65], se observa que presentan similitudes con los reportados por Plans *et al.* (2012)^[65]. Sin embargo difieren con los reportados en las Tablas 1.3 y 1.4, sobre todo en los caracteres de Ca, DF y P. Probablemente ello es debido a la gran

variabilidad genética y ambiental que presentan las judías y al gran número de accesiones examinadas en el presente estudio.

En la Tabla 4.2 Se presentan los valores medios para los caracteres estudiados en el cotiledón: 223.2, 319.0, 292.3, 428.1 ($\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$) para proteína, amilosa aparente, amilosa y almidón respectivamente. Si comparamos estos con el rango de variabilidad que presentan otros autores, se observan que las medias están comprendidas en los rangos de variabilidad reportados por Plans *et al.* (2012)^[65] y por los reportados en las Tablas 1.3 y 1.4. También se muestran los valores mínimos y máximos para cada carácter del cotiledón: 181.7-275.5, 245.0-392.3, 187.8-446, 309.2-517.2 ($\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$) para proteína, amilosa aparente, amilosa y almidón respectivamente (Tabla 4.1). Comparando estos con los resultados reportados en la Tablas 1.3 y 1.4 y con los reportados por Plans *et al.* (2012)^[65], se observa que presentan similitudes con ambas fuentes ya que pese a haber variabilidad genética y ambiental esta afecta en menor medida a los caracteres del cotiledón.

Comparamos la variabilidad intragrupal para cada uno de los caracteres mediante el coeficiente de variación (CV). Los resultados mostrados en la Tabla 4.1 nos permiten observar que el CV es más elevado para los caracteres P, Ca, cenizas, Mg y ácidos urónicos con CV de 53.4%, 43.0%, 29.2%, 23.77% y 14.0% respectivamente. Se observa que en todos los casos superó el 10%, excepto en la fibra que obtuvo un CV de 8.78%. Se puede pues concluir que existe una elevada variabilidad en casi todos los caracteres. En cuanto al fósforo (carácter con mayor CV), se podría decir que esta elevada variabilidad viene dada por los reducidos valores que presenta dicho compuesto por lo que el error de medida es determinante.

Tabla 4.1 Análisis estadísticos para los caracteres químicos de la piel: Media, desviación, máximo, mínimo y coeficiente de variación.

	Cenizas (g·Kg ⁻¹)	Ca (g·Kg ⁻¹)	DF (g·Kg ⁻¹)	Mg (g·Kg ⁻¹)	P (g·Kg ⁻¹)	Ac. Urónicos (g·Kg ⁻¹)
Media	41.73	11.58	628.27	2.38	0.23	120.93
Desviación estándar	12.20	4.98	55.18	0.56	0.12	16.97
Desviación de la media	0.87	0.36	3.95	0.04	0.01	1.22
Max	86.77	30.66	818.50	3.99	0.61	159.99
Min	20.12	3.72	504.72	0.69	0.00	73.25
CV%	29.24	43.03	8.78	23.77	53.41	14.04

Los datos obtenidos para los diferentes caracteres evaluados en el cotiledón (Tabla 4.2) nos revelan mediante el CV que la variabilidad intragrupal en general es baja, ya que los resultados obtenidos han sido de un 9.04%, 8.07% y 7.16% para proteína, amilosa aparente, y almidón (respectivamente). En el caso de la amilosa, esta variabilidad es un poco más elevada con un CV del 14.6%.

En general si comparamos los datos de CV en los caracteres correspondientes a la piel y el cotiledón (Tabla 4.1 y Tabla 4.2) se observa que los caracteres de la piel presentan mayor CV siendo los de mayor valor por orden decreciente el P, el Ca, cenizas, Mg, amilosa y almidón (para el cotiledón). Se puede pues deducir que la parte de la semilla con mayor variabilidad genética respecto a la composición química es la piel.

Comparando los CV obtenidos para los caracteres químicos de la CN respecto a otros caracteres ya estudiados en la CN por Rivera *et al.* (2016)^[96] se observa que los CV para los caracteres sensoriales de las judías secas fueron más elevados en el % de color blanco (CV= 162.4%), el volumen (CV=41.4%) y en la curvatura de la semilla (CV=36.6%). Para los caracteres sensoriales de las judías cocidas se observan CV bastante elevados, la rugosidad presenta un CV del 76.4%, el flavor cv del 39.2%, la percepción de la piel con un CV de 38.1%, por lo que se puede concluir que los caracteres sensoriales presentan mayores CV que los componentes químicos de la piel y el cotiledón analizados en judía cruda.

Los caracteres químicos no se tuvieron en cuenta a la hora de crear la CN, sin embargo las medias de dichos caracteres sí que entran en los rangos obtenidos por Plans *et al.* (2012)^[65]

cuyas muestras sí que fueron seleccionadas pensando en obtener una elevada variabilidad para los caracteres químicos.

Tabla 4.2 Análisis estadísticos para los caracteres químicos del cotiledón: Media, desviación, máximo mínimo, y coeficiente de variación.

	Proteína (g·Kg ⁻¹)	Amilosa Aparente (g·Kg ⁻¹)	Amilosa (g·Kg ⁻¹)	Almidón (g·Kg ⁻¹)
Media	223.20	318.97	292.25	428.14
Desviación estándar	20.17	25.75	42.52	30.66
Desviación de la media	1.52	1.94	3.04	2.20
Max	275.45	392.33	446.10	517.22
Min	181.70	244.96	147.76	309.16
CV%	9.04	8.07	14.55	7.16

Los resultados presentados en la Tabla 4.3 muestran que la media para el % de piel es de 8.4 % y del cotiledón de 91.6%. El valor obtenido para el % de la piel es algo inferior al reportado por Moraghan *et al.* (2006)^[97] el cual indica que la cantidad de piel es de un 10-15% , y el del cotiledón un 90%, en este ensayo utilizó doce genotipos diferentes de judía. Si observamos el mínimo y el máximo obtenidos para % de piel y de cotiledón se aprecia que el mínimo para el % de piel es muy bajo y el máximo para el % de cotiledón es elevado. Los valores extremos de proporción de piel en nuestro estudio podrían ser debidos a que algunas muestras no se hidrataron bien y al hacer la separación del cotiledón perdíamos muestra de piel. El carácter % de agua absorbida a las 24h presenta un CV de 12.24%, lo que nos indica que no existe mucha variabilidad para este carácter. Si los comparamos con los reportados por Rivera *et al.* (2011)^[96] se observa que el CV de agua absorbida a las 3h es del 80% y a las 24 h del 12.9%, concluyendo que a las 24h todas las variedades habían alcanzado su tope de absorción y por ello existen menos diferencias. Observando el máximo y el mínimo para dicho carácter (38.2 g·Kg⁻¹ -134.3 g·Kg⁻¹) (Tabla 4.3) nos muestra que existen varias entradas con un valor de absorción muy bajo, coincidiendo con que estas entradas son de color marrón vinoso o bicolor. El agua absorbida está influenciada por muchos parámetros como los reportados por Abdel Kader (1995)^[98] pero en nuestro caso todas las muestras fueron sometidas a las mismas condiciones de temperatura (alrededor de 20°C) y el mismo tipo de agua (agua destilada).

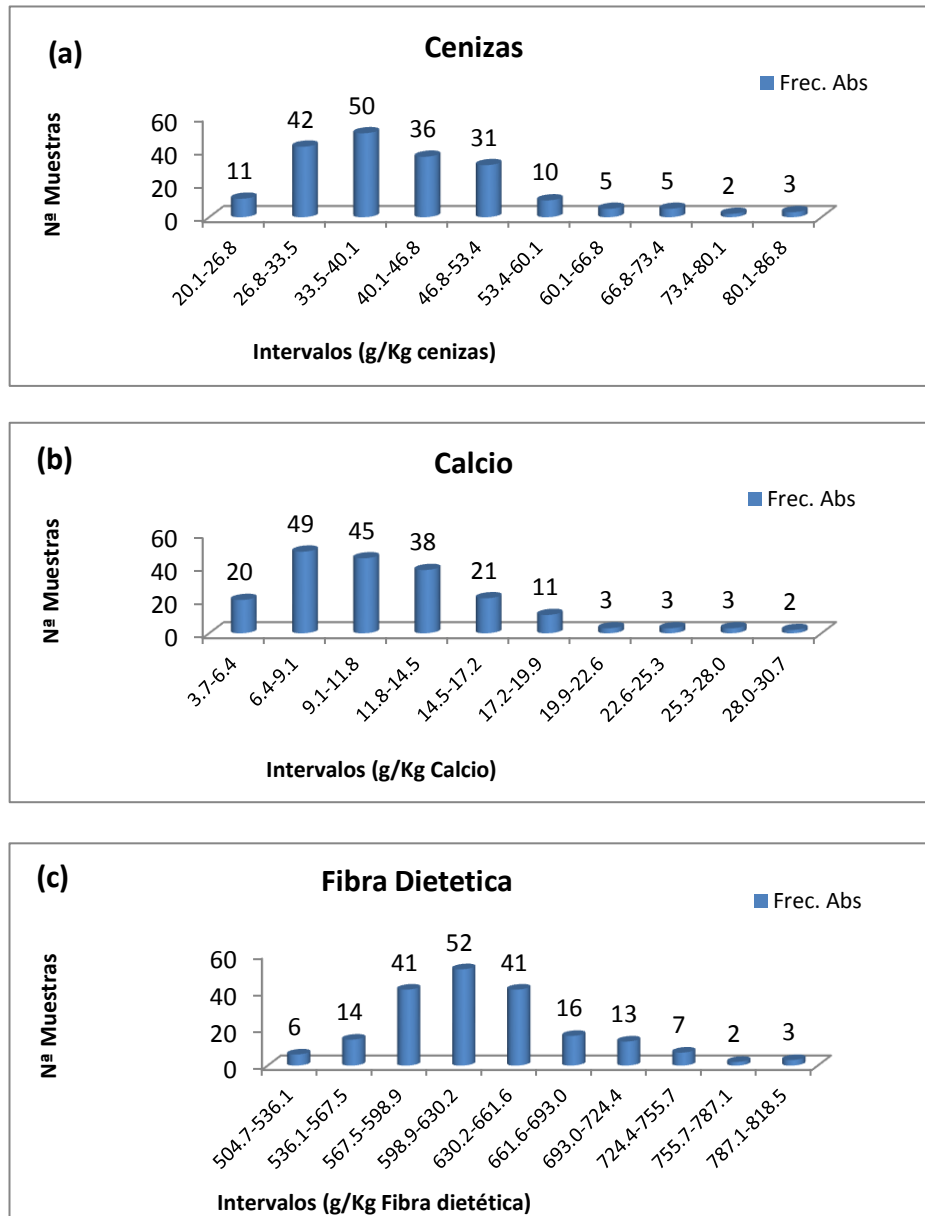
Tabla 4.3 Análisis estadísticos para el porcentaje de piel y cotiledón y porcentaje de agua absorbida durante el remojo: Media, desviación, máximo, mínimo y coeficiente de variación.

	% piel	% cotiledón	% agua absorbida a las 24h
Media	8.38	91.62	102.88
Desviación estándar	0.91	0.91	12.59
Desviación de la media	0.61	6.61	7.96
Max	11.66	94.94	134.30
Min	5.06	88.34	38.19
CV%	10.91	1.00	12.24

La Figura 4.1 (caracteres estudiados en la piel) y la Figura 4.2 (caracteres estudiados en el cotiledón), nos muestran las diferentes frecuencias para los caracteres estudiados de piel y cotiledón. En las Figuras 4.1 (a), (b) y (c), se observa que la mayor parte de las muestras contienen concentraciones reducidas de estos analitos y están comprendidas en los intervalos 26.8-53.4 g·Kg⁻¹ para el carácter de cenizas, 6.4-14.5 g·Kg⁻¹ para el carácter de calcio y 567.5-14.5 g·Kg⁻¹ para el carácter de fibra dietética. En el caso de las Figuras 4.1 (e) y (f), presentan el mayor número de muestras comprendidas en la zona intermedia del rango mínimo-máximo de concentraciones del analito, por tanto nos encontramos con que las muestras de fósforo están en mayor número en el intervalo de 0.2-0.3g·Kg⁻¹ y 107.9-134.0 g·Kg⁻¹ para los ácidos urónicos. En cambio observando la Figura 4.1 (d) las muestras para este carácter se concentran en la parte intermedia-alta, por lo que comprenden los intervalos 2.0-3.0 g·Kg⁻¹.

La Figura 4.2 nos muestra las diferentes frecuencias para los caracteres estudiados en el cotiledón. La figura (g) presenta el mayor número de muestras comprendidas en la zona intermedia del rango mínimo-máximo de concentraciones del analito, por tanto nos encontramos que un mayor número de muestras comprendidas en la zona intermedia del rango mínimo-máximo 200.4-247.3 g·Kg⁻¹. Las Figuras (h) e (i), destacan ya que las muestras mayoritariamente se distribuyen a concentraciones medias entre los intervalos 289.2-348.1 g·Kg⁻¹ y 237.3-326.8 g·Kg⁻¹, respectivamente.

La Figura (j) correspondiente al almidón sigue la misma línea que la gráfica mostrada por el magnesio, ya que las muestras se concentran a valores elevados de concentración de dicha substancia, englobando el intervalo 392.4-454.6 g·Kg⁻¹.



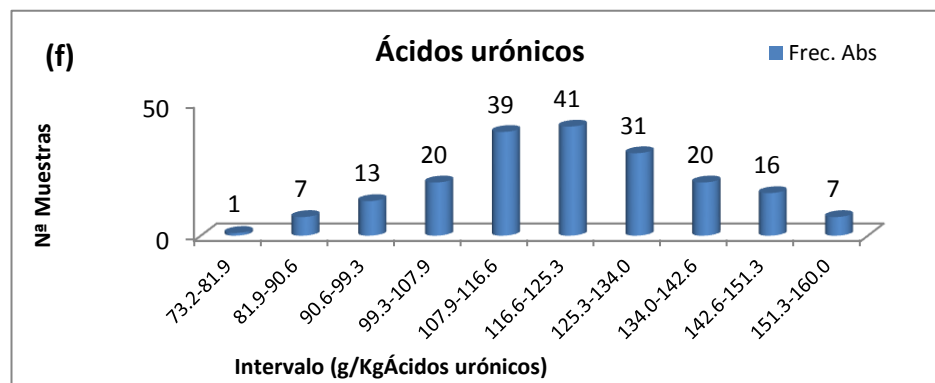
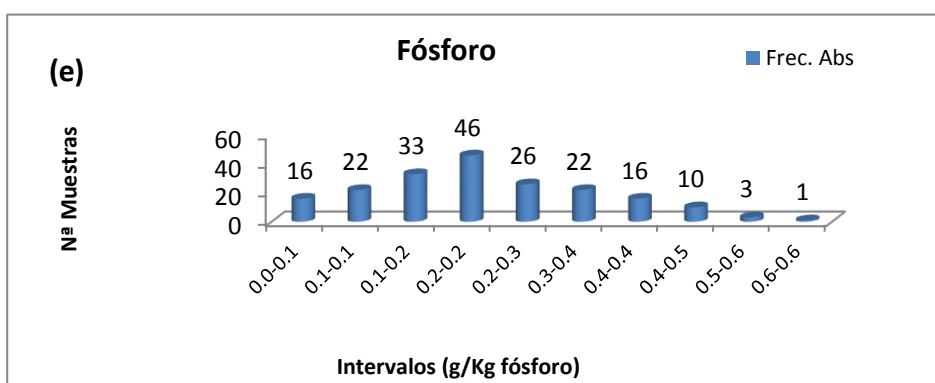
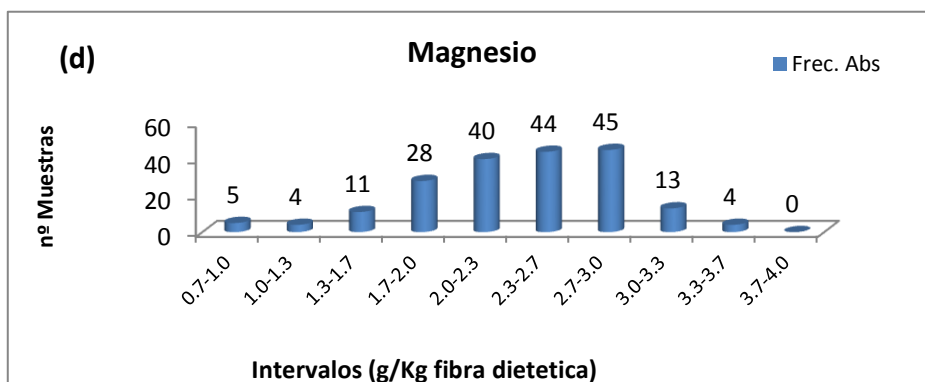


Figura 4.1 Frecuencias absolutas para los diferentes caracteres químicos estudiados en la piel: a) Cenizas, b) Calcio, c) Fibra dietética, d) Magnesio, e) Fósforo, f) Ácidos urónicos.

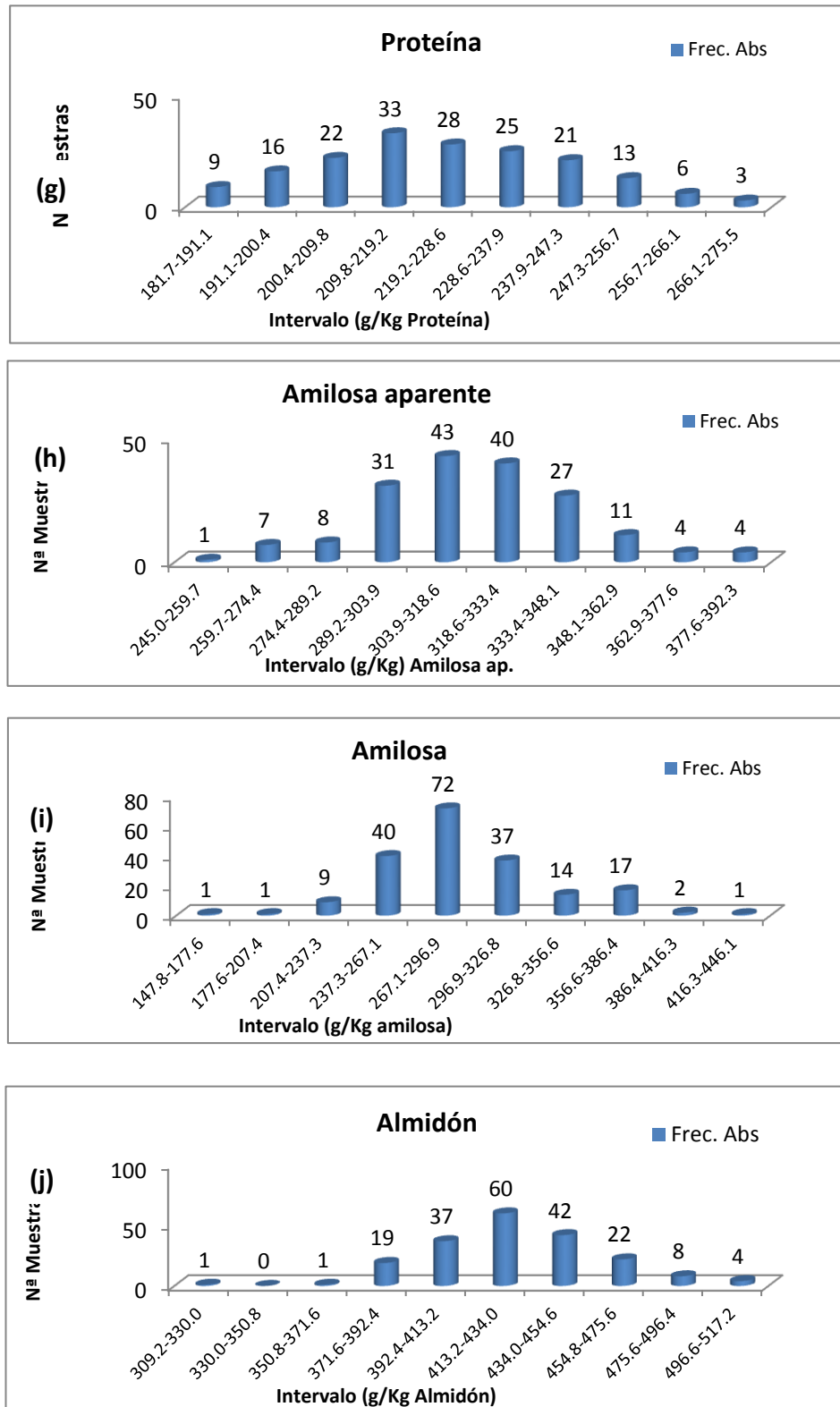


Figura 4.2 Frecuencias absolutas para los diferentes caracteres químicos estudiados en el cotiledón: g) Proteína, h) Amilosa aparente, i) Amilosa, b) Almidón.

Para comprobar si los datos obtenidos siguen una distribución normal se ha realizado el test de normalidad de Shapiro-Wilk. Aplicamos las siguientes hipótesis:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si Sig. (p-valor)} > 0.05 \text{ aceptamos } H_0 \text{ (hipótesis nula)} \rightarrow \text{distribución normal} \\ \text{Si Sig. (p-valor)} < 0.05 \text{ rechazamos } H_0 \text{ (hipótesis nula)} \rightarrow \text{distribución no normal.} \end{array} \right.$$

Los resultados obtenidos (Tabla 4.4) contrastados con las hipótesis nos indican que los únicos caracteres que se ajustan a una distribución normal son los ácidos urónicos (valor $p=0.577$), las proteínas (valor $p=0.2012$), la amilosa aparente (valor $p=0.2312$) y la amilosa (valor $p=0.2312$). Como en los cuatro casos el valor de p es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 4.4 Resultados obtenidos mediante el test de normalidad Shapiro Wilk para los caracteres de piel y cotiledón.

SHAPIRO WILK		
ANALITO	SERIE W	P-VALOR
Cenizas	0.9231	1,38E-08
Calcio	0.9141	3,13E-09
Fibra dietética	0.9636	6,23E-05
Magnesio	0.9832	0,01999
Fósforo	0.985	0,03595
Ácidos urónicos	0.9937	0,577
Proteína	0.9893	0,2012
Amilosa aparente	0.9897	0,2312
Amilosa	0.9897	0,2312
Almidón	0.9853	0,03954

4.2. Relación entre el origen de domesticación, el color de la semillas y la composición química de la colección nuclear

Hasta el momento se han citado correlaciones significativas entre diversos caracteres morfológicos, agronómicos^{[6], [10]}, bioquímicos^{[10], [11]}, moleculares (ADN)^[12], y sensoriales^[96] y la

zona de domesticación (mesoamericana y andina). Aproximadamente el 75% de las muestras evaluadas en este trabajo son de origen andino y el 25% de origen mesoamericano. En este apartado exploraremos si existen diferencias significativas para los caracteres químicos estudiados en función del origen de domesticación (Pérez *et al.* (2009))^[8].

Por desgracia, hay poca información en la literatura en relación con el contenido de nutrientes según color de la piel de las judías. Moraghan *et al.* (2002)^[100] estudiaron genotipos mesoamericanos provenientes de varias localizaciones (Fargo, Dakota del Norte, Montecillo y México) y observaron que la cantidad de hierro que se encuentra en las semillas puede variar de acuerdo con el color. Atribuyen esta diferencia al contenido de taninos ya que estos forman complejos con el hierro dando color negro. Lombardi-Boccia *et al.* (1998)^[101] reportaron un mayor contenido de calcio en los granos sin color (blancos). Sin embargo, no se ha publicado ningún estudio concluyente que relacione la composición química con los diferentes patrones de color de la judía. En este apartado emplearemos los resultados de la colección nuclear, con abundante variación para el color, para tratar de encontrar diferencias significativas entre los analitos estudiados y el color de las accesiones.

Nuestras muestras fueron clasificadas de forma cualitativa según el color en varias categorías: blanco, amarillo, gris marrón verde, negro, púrpura, crema, marrón, ocre, marrón vinoso, rosado, bicolor (cuando las semillas presentaron la combinación de dos colores), y tricolor (cuando las semillas presentaron la combinación de tres colores).

Para poder verificar si existen diferencias significativas entre los caracteres químicos estudiados en función del color o el origen de domesticación, trataremos los resultados mediante un análisis de la varianza (ANOVA).

a) Composición química en función de la zona de domesticación

Los resultados muestran que existen diferencias significativas en función del origen de domesticación únicamente para los caracteres cenizas y calcio vinculados a la piel y para la amilosa y el almidón vinculados al cotiledón, con una $P < 0.001$. Para el resto de caracteres las diferencias no son estadísticamente significativas (Tabla 4.5).

Tabla 4.5 Resultados del análisis de la varianza en función del origen de domesticación para los diferentes caracteres químicos.

ORIGEN		
	Valor de F	Significación
CENIZAS	37.10	***
CALCIO	37.77	***
FIBRA	0.07	-
Mg	0.71	-
P	0.54	-
ÁC.URONICOS	1.10	-
PROTEINA	3.88	-
AMILOSA APA.	1.97	-
AMILOSA	7.26	***
ALMIDÓN	9.35	***

*** P < 0.001; ** P < 0.01; * P < 0.05; (-) no significativo

Los resultados obtenidos mediante la comparación de medias en función del origen de domesticación muestran que los materiales de origen mesoamericano tienen mayor concentración para los componentes cenizas, calcio, amilosa y almidón (Tabla 4.6). Estos resultados concuerdan con los reportados por Islam *et al.* (2002)^[13], el cual encuentra diferencias significativas en el calcio, en la faseolina, en la lecitina, en el fósforo, azufre, hierro y zinc dependiendo del origen mesoamericano o andino. Para el contenido de calcio reporta que las muestras de origen mesoamericano tienen mayor concentración para este compuesto que las de origen andino, dato que también se comparte en nuestros resultados. En el caso del fósforo nuestro estudio no ha revelado diferencias significativas de contenido según el origen.

Tabla 4.6 Comparación de promedios en función del origen de domesticación correspondiente al análisis de la varianza. Mínima diferencia significativa (Mds) calculada a una $p \leq 0.05$.

	Cenizas	Calcio	Amilosa	Almidón
Mesoamericano (50 muestras)	52.107	15.858	297.918	435.974
Andino (118 muestras)	37.301	9.804	280.384	415.765
Mds	3.398	1.380	13.366	9.375

b) Composición química en función de la coloración de la semilla

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza muestran que existen diferencias significativas entre las entradas de la colección nuclear en función de color de la semilla para todos los caracteres estudiados excepto para el contenido de Mg y amilosa. (Tabla 4.7).

Tabla 4.7 Resultados del análisis de la varianza en función del color para los diferentes caracteres químicos.

COLOR DE LA SEMILLA		
	Valor de F	Significancia
CENIZAS	6.15	***
CALCIO	6.60	***
FIBRA	8.03	***
Mg	0.85	-
P	5.72	***
ÁC.URONICOS	14.23	***
PROTEINA	3.00	**
AMILOSA APA.	1.95	*
AMILOSA	0.72	-
ALMIDÓN	2.11	***

*** P < 0.001; ** P < 0.01; * P < 0.05; (-) no significativo

En la Tabla 4.7 se muestran la comparación de los promedios para los caracteres químicos de la piel y del cotiledón relacionado con el color de la semilla.

Las entradas sin color (blanco) y las de color amarillo son las que presentan mayor cantidad de cenizas y de calcio, mientras que las de color marrón vinoso o rosado son las que poseen menor cantidad. Se observan diferencias significativas entre las entradas de color blanco y el resto de colores, coincidiendo con lo reportado por Lombardi-Boccia *et al.* (1998)^[101] que indica en su estudio que las judías de color blanco son las que tienen mayor cantidad de calcio.

En cuanto a los ácidos urónicos, también se presentan diferencias de contenido asociadas al color. Las semillas de color blanco son las que tienen una mayor cantidad para este compuesto, aunque no se diferencia significativamente del amarillo y el tricolor. Sí se

diferencian significativamente de las de color gris, marrón vinoso, púrpura, bicolor, rosado y negro, que son las que poseen menores concentraciones, respectivamente, sin diferenciarse significativamente entre ellas (Tabla 4.8).

Respecto a la fibra, las semillas de color blanco son las que presentan mayor contenido para este compuesto, sin presentar diferencias significativas entre sus promedios con la tricolor. Estas (blancas) ,por eso, si se muestran diferencias significativas con el resto de colores.

Sobre el almidón las muestras de color púrpura, crema, marrón vinoso, ocre y negro no presentan diferencias significativas. En cambio, si se diferencian significativamente de las de color rosado y marrón.

En cuanto a la amilosa aparente, las entradas de color púrpura, negro, crema y marrón vinoso, son las que presentan mayores concentraciones respectivamente (Tabla 4.8) y se diferencian significativamente de las de color rosado. En este caso las entradas de color blanco no muestran diferencias significativas respecto a las de color. Si observamos el color de la semilla relacionado con la proteína los resultados nos muestran que las entradas de color marrón y rosado son las que presentan mayor contenido para este carácter, sin diferenciarse significativamente entre ellas. Sin embargo si presentan diferencias significativas con las entradas de color amarillo, tricolor, bicolor, ocre, marrón vinoso, crema, negro y púrpura, las cuales no se diferencian significativamente entre ellas.

Por último relacionando el color con el fósforo, las semillas de color blanco y tricolor son las que poseen contenidos más bajos, diferenciándose de las de color rosado, negro, marrón vinoso, marrón y bicolor las cuales no presentan diferencias en sus promedios, y son las que tienen contenidos más altos.

Tabla 4.8 Comparación de medias para los caracteres químicos en función del color de la semilla.
Mínima diferencia significativa (MSD) calculada a una $p \leq 0.05$

	CENIZAS (g·Kg ⁻¹)	CALCIO (g·Kg ⁻¹)	FIBRA (g·Kg ⁻¹)	FÓSFORO (g·Kg ⁻¹)	ACIDOS URÓNICOS (g·Kg ⁻¹)	PROTEÍNA (g·Kg ⁻¹)	AMILOSA APARENTE (g·Kg ⁻¹)	ALMIDÓN (g·Kg ⁻¹)
Blanco	53.52	16.40	685.16	0.15	138.16	228.33	311.97	422.65
Amarillo	45.34	12.83	625.16	0.18	135.07	222.70	310.17	422.60
Tricolor	41.65	12.29	663.14	0.13	129.10	220.48	314.41	424.63
Gris-marrón-verde	41.04	12.28	600.15	0.21	112.93	238.40	311.22	423.34
Negro	40.59	10.81	599.94	0.33	103.19	213.08	332.35	437.58
Purpura	39.14	10.28	627.58	0.24	112.28	211.50	334.89	446.14
Crema	37.90	9.67	623.01	0.23	121.84	214.05	331.13	445.16
Bicolor	37.20	9.76	619.72	0.26	111.65	220.29	318.36	429.93
Marrón	36.90	9.04	590.42	0.29	119.41	245.87	313.38	398.75
Ocre	34.39	9.20	596.38	0.17	126.82	217.60	312.03	441.51
Marrón vinoso	33.33	7.62	581.18	0.30	116.49	215.87	329.29	443.13
Rosado	31.85	7.30	629.08	0.34	109.44	243.48	295.22	411.44
Mds	9.43	3.80	41.46	0.10	11.20	17.92	23.87	25.17

4.3. Estudio de correlación entre los caracteres químicos, sensoriales y culinarios

Los resultados mostrados en la Tabla 4.9 ponen de manifiesto una correlación positiva ($p \leq 0.001$) elevada entre la cantidad de cenizas y el calcio ($r=0.97$), hecho que no sorprende ya que las cenizas vienen determinadas por el contenido de minerales presentes en la judía, y el principal es el Ca (Tabla 4.1). El contenido en cenizas presenta a su vez una débil correlación significativa positiva con el contenido en fibra ($r=0.24$) y de la misma magnitud pero con signo negativo con el contenido de almidón ($r=-0.24$). Por otra parte el magnesio se correlaciona positivamente con los ácidos urónicos ($r=0.4$) con quienes muy probablemente forma complejos estables en la piel. Existe una elevada correlación negativa entre la proteína y el almidón ($r=-0.85$), que se mantiene en valores altos con sus componentes amilosa aparente y la amilosa ($r=-0.56$ y $r=-0.46$, respectivamente). Entre la amilosa aparente y la amilosa existe una correlación positiva ($r=0.97$) y de igual modo se correlacionan la amilosa y el almidón aunque con menor valor ($r=0.66$). También se ha hallado una correlación negativa entre el fósforo y los ácidos urónicos ($r=-0.52$) (Tabla 4.9).

Las correlaciones entre los caracteres químicos de la piel y del cotiledón con los caracteres sensoriales se muestran en la Tabla 4.10, con un grado de significación máximo de $p \leq 0.001$. Se observa la existencia de correlación negativa entre la harinosidad de la judía con las cenizas, el calcio y los ácidos urónicos ($r=-0.56$, $r=-0.55$ y $r=-0.53$, respectivamente). El brillo se correlaciona positivamente con las cenizas, el calcio, la fibra dietética, los ácidos urónicos y negativamente con el fósforo ($r=0.46$, $r=0.46$, $r=0.45$, $r=0.46$ y $r=-0.4$ respectivamente).

Las correlaciones entre los caracteres químicos de la piel y del cotiledón con los caracteres culinarios (datos de caracteres culinarios extraídos de Rivera *et al.* (2011)^[96]), se muestran en la Tabla 4.11, con una significación máxima de $p \leq 0.001$. Se observa una correlación positiva entre la absorción de agua a 24 h y el contenido de proteína ($r=0.36$) y ác. urónicos ($r=0.34$). El ritmo de absorción de agua durante el remojo se correlaciona positivamente con el contenido de cenizas ($r=0.37$), calcio ($r=0.37$), fibra dietética ($r=0.34$) y ác. urónicos ($r=0.5$). El tiempo de cocción presenta una correlación positiva con el contenido de proteína ($r=0.31$) y negativa con el de almidón ($r=-0.30$). El % de judías enteras tras la cocción se correlaciona negativamente

con la cantidad de calcio y positivamente con la cantidad de magnesio ($r=-0.27$, $r= 0.31$), con una significación de ($p\leq 0.001$), y con una significación de ($p\leq 0.01$) se correlaciona negativamente con las cenizas ($r=-0.24$) (Tabla 4.11).

Tabla 4.9 Análisis de correlaciones para los caracteres químicos de la piel y cotiledón de las judías.

	Calcio (g·Kg ⁻¹)	Fibra (g·Kg ⁻¹)	Mg (g·Kg ⁻¹)	P (g·Kg ⁻¹)	Ác. Urónicos (g·Kg ⁻¹)	Proteína (g·Kg ⁻¹)	Amilosa Aparente (g·Kg ⁻¹)	Amilosa (g·Kg ⁻¹)	Almidón (g·Kg ⁻¹)
Cenizas (g·Kg ⁻¹)	0.97 ***	0.24 ***	-0.18 *	-0.08	0.17 *	0.06	-0.06	-0.16 *	-0.24 ***
Calcio (g·Kg ⁻¹)		0.19 **	-0.28 ***	-0.14	0.13	0.08	-0.09	-0.19 **	-0.26 ***
Fibra (g·Kg ⁻¹)			0.02	-0.32 ***	0.3 ***	0.05	0.08	0.11	0
Mg (g·Kg ⁻¹)				-0.26 ***	0.4 ***	-0.04	-0.07	0	0.01
P (g·Kg ⁻¹)					-0.52 ***	0.09	0.08	0.01	-0.06
Ác. Urónicos (g·Kg ⁻¹)						0.01	-0.16 *	-0.11	-0.04
Proteína (g·Kg ⁻¹)							-0.56 ***	-0.46 ***	-0.85 ***
Amilosa Aparente (g·Kg ⁻¹)								0.97 ***	0.6 ***
Amilosa (g·Kg ⁻¹)									0.66 ***

*** P < 0.001; ** P < 0.01; * P < 0.05; P < 0.1.

Tabla 4.10 Análisis de correlaciones para los caracteres químicos de la piel y cotiledón y los caracteres sensoriales de las judías

	Cenizas (g·Kg ⁻¹)	Calcio (g·Kg ⁻¹)	Fibra (g·Kg ⁻¹)	Mg (g·Kg ⁻¹)	P (g·Kg ⁻¹)	Ác. Urónicos (g·Kg ⁻¹)	Proteína (g·Kg ⁻¹)	Amilosa Aparente (g·Kg ⁻¹)	Amilosa (g·Kg ⁻¹)	Almidón (g·Kg ⁻¹)
Brillo	0.46 ***	0.46 ***	0.45 ***	0.11	-0.4 ***	0.46 ***	-0.12	-0.08	-0.07	0.01
Rugosidad	0.35 ***	0.34 ***	0.22 **	-0.03	-0.16 *	0.27 ***	0.09	-0.12	-0.07	-0.08
Olor	-0.29 ***	-0.27 ***	-0.08	-0.07	0.15 *	-0.27 ***	-0.1	0.04	-0.02	0.11
Percep. Piel	-0.26 ***	-0.21 **	-0.04	-0.2 **	0.12	-0.19 *	-0.21 **	0.15	0.16 *	0.23 **
Harinosidad	-0.56 ***	-0.55 ***	-0.38 ***	-0.11	0.33 ***	-0.53 ***	-0.08	0.15	0.12	0.15
Flavor	-0.29 ***	-0.26 ***	-0.05	-0.07	0.12	-0.27 ***	-0.06	0.09	0.08	0.08

*** P < 0.001; ** P < 0.01; * P < 0.05; P < 0.1.

Tabla 4.11 Análisis de correlaciones para los caracteres químicos de la piel y cotiledón y los caracteres culinarios de las judías

	Cenizas (g·Kg ⁻¹)	Calcio (g·Kg ⁻¹)	Fibra (g·Kg ⁻¹)	Mg (g·Kg ⁻¹)	P (g·Kg ⁻¹)	Ác. Urónicos (g·Kg ⁻¹)	Proteína (g·Kg ⁻¹)	Amilosa Aparente (g·Kg ⁻¹)	Amilosa (g·Kg ⁻¹)	Almidón (g·Kg ⁻¹)
Abs24h	0.11	0.13	0.23 **	-0.05	-0.12	0.34 ***	0.36 ***	-0.1	-0.05	-0.18 *
RitmoAbs	0.37 ***	0.37 ***	0.34 ***	-0.05	-0.23 **	0.5 ***	0.07	-0.08	-0.1	-0.1
TiempCocc	0.1	0.17 *	0.12	-0.14	0	-0.03	0.31 ***	-0.25 **	-0.12	-0.3 ***
X.Enteras	-0.24 **	-0.27 ***	-0.03	0.31 ***	-0.09	-0.06	0.13	0.04	-0.03	-0.14

*** P < 0.001; ** P < 0.01; * P < 0.05; P < 0.1.

4.4. Análisis de componentes principales

Las muestras estudiadas se agruparon utilizando un PCA basado en los caracteres químicos de la piel y del cotiledón. En este análisis, el primer componente explicó el 30% de la variación, el segundo componente explicó el 22%, y el tercero un 19% (Tabla 4.12).

Al representarlo gráficamente, solamente tomamos los valores del componente 1 y 2 ya que entre estos explican más de un 50% y la representación en un plano resulta más fácil de interpretar visualmente.

El primer eje tuvo correlación positiva con las cenizas, el calcio, la fibra dietética, ácidos urónicos y proteína, pero una correlación negativa con el magnesio, el fósforo, la amilosa aparente, la amilosa y almidón. El segundo eje está positivamente correlacionado con las cenizas, el calcio, la fibra dietética, magnesio, ácidos urónicos, amilosa aparente, amilosa y almidón y negativamente relacionado con el fósforo y la proteína. La representación de las distintas accesiones en el plano delimitado por los dos primeros componentes principales muestra una elevada dispersión de estas por todos sus cuadrantes, que corresponde a la gran diversidad genética que existe en las entradas estudiadas (Figura 4.3).

Tabla 4.12 Porcentaje de variación que explica cada uno de los ejes resultantes del análisis de componentes principales junto con el acumulado.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
R2	0.302	0.219	0.191	0.090	0.071
Acumulativo R2	0.302	0.520	0.711	0.801	0.872

Esta elevada variabilidad química es positiva para el mejorador ya que tiene a su alcance un abanico de posibilidades para poder obtener una variedad mejorada en cualquiera de los caracteres estudiados, tanto desde el punto de vista nutricional como sensorial.

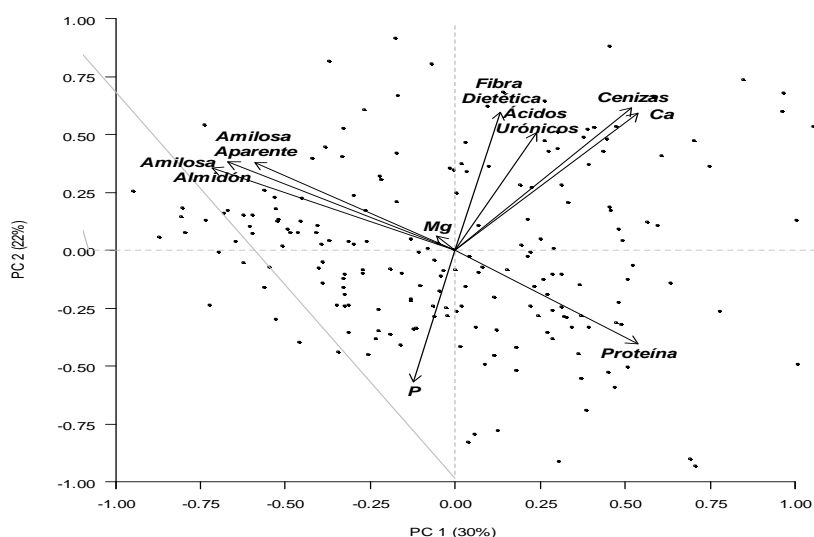


Figura 4.3 Representación gráfica del análisis de componentes principales para los caracteres químicos de la piel y cotiledón

Los resultados obtenidos en este trabajo, se suman a la información disponible hasta el momento y pasarán a formar parte de la documentación que acompaña a las entradas de la colección nuclear de judías española del CRF. Partir de una base de datos exhaustiva ha de facilitar en gran medida el uso del material conservado en el CRF ya que ahorra a los mejoradores la tarea de caracterizar el material para determinar cuál es más conveniente para sus programas. Este proceso permite ahorrar tiempo y recursos ya que económicamente es muy costoso tener que explorar las entradas más interesantes dentro de toda la variabilidad presente en la colección nuclear.

4.5. Identificación de entradas valiosas por su valor nutricional o por su alto contenido en moléculas vinculadas a características sensoriales apreciadas por los consumidores.

❖ Por su valor nutricional.

Observando los resultados obtenidos para los diferentes caracteres nutricionales podemos destacar la entrada BGE029586 que posee la mayor cantidad de proteína ($275.45 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$) en su composición. Por el contrario si queremos una judía con alto contenido en almidón nos decantaremos por la entrada BGE026151 la cual contiene $517.22 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, asumiendo una baja cantidad de proteína. Ya en el estudio de correlaciones hemos visto que estos dos caracteres son antagónicos y que las elevadas acumulaciones de proteína se hacen a expensas de disminuciones en el contenido de almidón (y viceversa). Por su elevado contenido en magnesio nos encontramos la entrada BGE003074 con una concentración de $3.99 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$. Esta muestra también presenta altos contenidos en ácidos urónicos y proteína con concentraciones de $150.17 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ y $272.94 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, respectivamente. En cuanto a la entrada BGE011030 observamos que posee el máximo valor de concentración para la fibra dietética con un valor de $818.50 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$. Esta misma muestra también presenta un bajo valor de concentración para el fósforo con un valor de $0.06 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$.

❖ Por su contenido en moléculas vinculadas al valor sensorial

La muestra BGE29586 en su análisis muestra bajo contenido de cenizas, calcio y ácidos urónicos ($20.12 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, $4.45 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, $105 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, respectivamente), esto según las correlaciones obtenidas en la Tabla 4.9 nos indicaría que esta muestra debería de presentar un elevado flavor y olor pero nos mostraría también una elevada percepción de la piel y una elevada harinosidad. Por el contrario si buscamos variedades con baja percepción de la piel, baja harinosidad y un elevado brillo, caracteres que interesan al consumidor, nos decantamos por una muestra con elevados contenidos en cenizas, calcio, fibra dietética y ácidos urónicos, basándonos en las correlaciones mostradas en la Tabla 4.10, la entrada BGE019991 reúne estas premisas con contenidos químicos elevados ($66.5 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, $18.4 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, $733.3 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, $133.5 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$) de cenizas, calcio, fibra dietética y ácidos urónicos respectivamente.

CONCLUSIONES

- ❖ Los resultados indican una elevada variabilidad para los caracteres estudiados en la piel con CV del 14.04%, 23.77%, 29.24%, 43.03% y el 52% correspondientes a los ácidos urónicos, magnesio, cenizas, calcio y fósforo, respectivamente. Y menor variabilidad para los caracteres estudiados en el cotiledón mostrando CV inferiores a un 10%. La variabilidad genética parece ser menor en los caracteres estudiados en el cotiledón.
- ❖ Se han encontrado diferencias significativas en función de la zona de domesticación. Las entradas de origen mesoamericano presentan un mayor contenido de cenizas, calcio, amilosa y almidón; tomando valores promedios de 52.1, 15.9 g·Kg⁻¹, 297.9 g·Kg⁻¹ y 436.0 g·Kg⁻¹, respectivamente, frente a los andinos que presentan promedios de 37.3 g·Kg⁻¹, 9.8, 280.3 g·Kg⁻¹, 415.8 g·Kg⁻¹.
- ❖ Las entradas estudiadas han mostrado diferencias significativas en función del color para los caracteres siguientes, cenizas, calcio, fibra dietética, fósforo, ácidos urónicos, proteína, amilosa aparente y almidón. Las judías de color blanco y amarillo son las que presentan mayor contenido en calcio, cenizas, fibra dietética y ácidos urónicos. Elevados contenidos de almidón y amilosa se presentan en semillas de color púrpura, crema y negro. Las semillas de color marrón o rosado poseen mayor promedio en proteínas.
- ❖ El estudio de correlaciones entre los caracteres químicos muestra que la proteína se correlaciona negativamente con la amilosa aparente ($r = -0.46$), la amilosa ($r = -0.56$) y el almidón ($r = -0.85$). La fibra dietética y el magnesio se correlacionan positivamente con los ácidos urónicos ($r = 0.3$) y ($r = 0.4$), respectivamente, y negativamente con el fósforo ($r = -0.32$) y ($r = -0.26$). Las cenizas y el calcio se correlacionan positivamente con la fibra dietética ($r = 0.24$) y ($r = 0.19$), respectivamente, y negativamente con el magnesio, la amilosa y el almidón. Magnesio, amilosa y almidón vs cenizas presentan valores de r de -0.18, -0.16 y -0.24 respectivamente, y vs calcio de -0.28, -0.19 y -0.26, respectivamente.

- ❖ El estudio de correlaciones entre los caracteres químicos y los caracteres sensoriales y culinarios muestra una correlación positiva de cenizas, calcio y ácidos urónicos con el brillo (0.46, 0.46 y 0.46), Con la rugosidad estos mismos caracteres presentan correlaciones de (0.35, 0.34 y 0.27), respectivamente y con el ritmo de absorción de 0.37, 0.37 y 0.5, respectivamente. Así mismo estos caracteres están correlacionados negativamente con el olor (-0.29, -0.27 y -0.27), la percepción de la piel (-0.26, -0.21 y -0.19), la harinosidad (-0.56, -0.55 y -0.53) y el flavor (-0.29, -0.26 y -0.27), respectivamente. Finalmente el porcentaje de semillas enteras después de la cocción está correlacionado negativamente con el contenido en cenizas y calcio (-0.24 y -0.27, respectivamente).
- ❖ El análisis de componentes principales muestran que el contenido en cenizas y el contenido de calcio son los caracteres más discriminantes. La representación gráfica de las accesiones en el plano determinado por los dos primeros ejes (explican más de un 50% de la variación), muestra una gran dispersión de las accesiones. Ello indica una elevada variabilidad en la composición química de las muestras estudiadas al menos para algunos analitos y escasa correlación entre ellos. Disponer de estos datos correspondientes a las distintas accesiones de la colección nuclear de judía del CRF ha de facilitar su uso por parte de los mejoradores, que se ahorran largos procesos de caracterización antes de elegir sus materiales base.
- ❖ La entrada BGE029586 posee la mayor cantidad de proteína $275.45 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ en su composición. Por el contrario si queremos una judía con alto contenido en almidón nos decantaremos por la BGE026151 la cual contiene $517.22 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, asumiendo una baja cantidad de proteína. Por su elevado contenido en Magnesio destacamos la muestra BGE003074 con una concentración de $3.99 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$. Esta muestra también presenta altos contenidos en ácidos urónicos y proteína con concentraciones de $150.17 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ y $272.94 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$, respectivamente. En cuanto a la muestra BGE011030 observamos que posee el máximo valor de concentración para la fibra dietética con un valor de $818.50 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$. Esta muestra también presenta un bajo valor de concentración para el fósforo con un valor de $0.06 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Freytag, D.G., Debouck, G.F., 2002 . "Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (*Leguminosae-Papilionodeae*) in North America, Mexico and Central America.," p. 298.
- [2] Broughton, W.J., Hernandez, G., Blair, G., Beebe, S., Gepts, P., Vanderleyden, J., 2003. "Beans (*Phaseolus* spp.); model food legumes," *Plant Soil*, vol. 252, no. 1, pp. 55–128.
- [3] Singh, S., 1999. "Production and Utilization," in *Common bean improvement in the twenty-first century*, pp. 1–25.
- [4] Debouck, D.G., 1999. "Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean," *Common Bean Improv. Twenty-First Century*, pp. 25–52.
- [5] Brücher, H., 1988. *The wild ancestor of in south America*. Kluwer academic, pp. 185-214.
- [6] Gepts, P., Debouck, D., 1991. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), in: van Schoonhoven, A., Voysest, O. (Eds.), *Common Beans: Research for Crop Improvement*. CAB International-CIAT, Wallingford, Uk, pp. 7–54.
- [7] L. Kaplan, L., 1965. "Archeology and domestication in American *Phaseolus* (Beans)," *Econ. Bot.*, vol. 19, no. 4, pp. 358–368.
- [8] Pérez-Vega, E., Campa, A., De la Rosa, L., Giraldez, R. and Ferreira, J.J., 2009. "Genetic diversity in a core collection established from the main bean genebank in Spain," *Crop Sci.*, vol. 49, no. 4, pp. 1377–1386.
- [9] Singh, S. P., Gutiérrez, J., Molina, A., Urrea, C. and Gepts, P., 1991. "Genetic Diversity in Cultivated Common Bean: II. Marker-Based Analysis of Morphological and Agronomic Traits," *Crop Sci.*, vol. 31, no. 1, pp. 23–29.
- [10] Singh, S. P., Gepts, P. and Debouck, D. G., 1991. "Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, *Fabaceae*)," *Econ. Bot.*, vol. 45, no. 3, pp. 379–396.
- [11] Koenig, R. and Gepts, P., 1989. "Allozyme diversity in wild *Phaseolus vulgaris*: further evidence for two major centers of genetic diversity," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 78, no. 6, pp. 809–817.
- [12] Khairallah, M., Sears, B. and Adams, M., 1992. "Mitochondrial restriction fragment length polymorphisms in wild *Phaseolus vulgaris* L.," in *Domestication of the common bean*, *Theor. Appl. Genet.*, pp. 915–922.
- [13] Islam, F., Basford, K., Jara, C., Redden, R. and Beebe, S., 2002. "Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean," *Genet. Resour. Crop Evol.*, vol. 49, no. 3, pp. 285–293.

- [14] Chacón, M., Pickersgill, B. and Debouck, D., 2005. "Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 110, no. 3, pp. 432–444.
- [15] Schmutz, J., McClean, P., Mamidi, S., Wu, G., Cannon, S., Grimwood, J., Jenkins, J., Shu, S., Song, Q., Chavarro, C., Torres-Torres, M., Geffroy, V., Moghaddam, S., Gao, D., Abernathy, D., Barry, K., Blair, M., Brick, M., Chovatia, M., Gepts, P., Goodstein, D., Gonzales, M., Hellsten, U., Hyten, D., Jia, G., Kelly, J., Kudrna, D., Lee, R., Richard, M., Miklas, P., Osorno, J., Rodrigues, J., Thareau, V., Urrea, C., Wang, M., Yu, Y., Zhang, M., Wing, R., Cregan, P., Rokhsar, D. and Jackson, S., 2014. "A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications.," *Nat. Genet.*, vol. 46, no. 7, pp. 707–13.
- [16] Beebe, S., Skroch, P., Tohme, J., Duque, M., Pedraza, F. and Nien, H., 2000. "Structure of genetic diversity among common bean landraces of Middle American origin based on correspondence analysis of RAPD," *Crop. Sci.*, vol. 40, pp. 264–273.
- [17] Díaz, L. and Blair, M., 2006. "Race structure within the Mesoamerican gene pool of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as determined by microsatellite markers," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 114, no. 1, pp. 143–154.
- [18] Gepts, P., Osborn, T., Rashka, K. and Bliss, F., 1986. "Phaseolin-protein Variability in Wild Forms and Landraces of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*): Evidence for Multiple Centers of Domestication," *Econ. Bot.*, vol. 40, no. 4, pp. 451–468.
- [19] Papa, R. and Gepts, P., 2003. "Asymmetry of gene flow and differential geographical structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica.," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 106, pp. 239–250.
- [20] Kwak, M. and Gepts, P., 2009. "Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae).," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 118, pp. 979–992.
- [21] Kwak, M., Kami, J. and Gepts, P., 2009. "The putative Mesoamerican domestication center of *Phaseolus vulgaris* is located in the Lerma- Santiago Basin of Mexico," *Crop Sci.*, vol. 49, pp. 554–563.
- [22] Nanni, L., Bitocchi, E., Bellucci, E., Rossi, M., Attene, G., Rau, D., Gepts, P. and Papa, R., 2011. "Nucleotide diversity of a genomic sequence similar to SHATTERPROOF (PvSHP1) in domesticated and wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.).," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 123, pp. 1341–1357.
- [23] Rossi, M., Bitocchi, E., Bellucci, E., Nanni, L., Rau, D., Attene, G. and Papa, R., 2009. "Linkage disequilibrium and population structure in wild and domesticated populations of *Phaseolus vulgaris* L.," *Evol. Appl.*, vol. 2, pp. 504–522.
- [24] Bitocchi, E. and Nanni, L., 2012. "Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data," *Pnas*, vol. 109, no. 14, pp. 788–796.

- [25] Gepts, P., Kmiecik, K., Pereira, P. and Bliss, F., 1988. "Dissemination pathways of common bean (*Phaseolus vulgaris*, *Fabaceae*) deduced from phaseolin electrophoretic variability. I. The Americas," *Econ. Bot.*, vol. 42, no. 1, pp. 73–85.
- [26] Gepts, P., 1988. "Phaseolin as an evolutionary marker," *Genet. Resour. Phaseolus beans*, pp. 215–241.
- [27] Paredes, O. and Gepts, P., 1995. "Extensive introgression of Middle American germplasm into Chilean common bean cultivars," *Genet. Resour. Crop Evol.*, vol. 42, no. 1, pp. 29–41.
- [28] Leterme, P. and Carmenza Muñoz, L., 2002. "Factors influencing pulse consumption in Latin America," *Br. J. Nutr.*, vol. 88 Suppl 3, pp. S251–5.
- [29] Champ, M., 2002. "Grain legumes and health," in *Grain Legum*, In a workshop, pp. 13–14.
- [30] Lara, J., 2016 [Online]. "Cereales y legumbres, la combinación perfecta para una proteína vegetal de calidad," *Vitónica*. Available: <http://www.vitonica.com/alimentos/cereales-y-legumbres-la-combinacion-perfecta-para-una-proteina-vegetal-de-calidad>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [31] Granito, M., Guinand, J., Perez, D. and Perez, S., 2009. "Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris* procesada: Un ingrediente potencial para Alimentos," *Interciencia*, vol. 34, no. 1, pp. 64–70.
- [32] Lawal, O., Adebawale, K., Ogunsanwo, B., Sosanwo, O. and Bankole, S., 2005. "On the functional properties of globulin and albumin protein fractions and flours of African locust bean (*Parkia biglobossa*)," *Food Chem.*, vol. 92, no. 4, pp. 681–691.
- [33] Makri and, E. and Doxastakis, G., 2006. "Emulsifying and foaming properties of *Phaseolus vulgaris* and coccineus proteins," *Food Chem.*, vol. 98, no. 3, pp. 558–568.
- [34] Kutos, T., Golob, T., Kač, M. and Plestenjak, A., 2003. "Dietary fibre content of dry and processed beans," *Food Chem.*, vol. 80, no. 2, pp. 231–235.
- [35] Queiroz-Monici, K., Costa, G., Da Silva, N., Reis, S. and De Oliveira, A., 2005. "Bifidogenic effect of dietary fiber and resistant starch from leguminous on the intestinal microbiota of rats," *Nutrition*, vol. 21, no. 5, pp. 602–608.
- [36] Granito, M., Trujillo, L. and Guerra, M., 2004. "Uso de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna Sinensis* como extensores de una bebida láctea fermentada," *Arch. latinoam. nutr.*, vol. 54, pp. 229–234.
- [37] Egounlety, M., 2002. "Production of legume-fortified weaning foods," *Food Res. Int.*, vol. 35, no. 2–3, pp. 233–237.
- [38] Guzmán-Maldonado, S., Acosta-Gallegos, J. and Paredes-López, O., 2000. "Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L)," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 80, no. 13, pp. 1874–1881.

- [39] Ulloa, J., Petra, M., Ulloa, R., Carmen, J., Ramírez, R., Blanca, I. and Ulloa, E., 2011. "El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos," *Rev. Fuente*, vol. 3, no. 8, pp. 5–9.
- [40] Guzmán-Maldonado, S., Acosta-Gallegos, J., Alvarez-Muñoz, M., Garcia-Delgado, S. and Loarca-Piña, G., 2002. "Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol," *Agric. técnica en Mex.*, vol. 28, no. 2, pp. 159–172.
- [41] Mubarak, A., 2005. "Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes," *Food Chem.*, vol. 89, no. 4, pp. 489–495.
- [42] Chasquibol, N., Lengua, L., Delmás, I., Rivera, D., Bazán, D. and Aguirre, R., 2003. "Alimentos funcionales o Fitoquímicos, Clasificación e Importancia," *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 5. pp. 9–20.
- [43] Melorose, J., Perroy, R. and Careas, S., 2015. "Fitoquímicos," *Statew. Agric. L. Use Baseline*, vol. 1, pp. 1–3.
- [44] Chasquibol, N., Laura, L., Delmás, I., Rivera, D., Aguirre, R. and Bravo, M., 2003. "Clasificación e importancia," *Univ. Nac. mayor San Marcos*, vol. 5, pp. 9–20, 2003.
- [45] Hosfield, G., Uebersax, M. and Isleib, T., 1984. "Seasonal and genotypic effects on yield and physico chemical seed characteristics related to food quality in dry edible beans," *Soc. hort. sci*, vol. 109, pp. 182–189.
- [46] Roudot, A., 2004. *Reología y análisis de textura de alimentos (Roudot)*. Editorial Acribia.España.
- [47] Bosch, L., Casañas, F., Sánchez, E., Pujolà, M. and Romero del Castillo, R., 1998. "La mongeta Ganxet: millora genètica d'una varietat tradicional," *Arch. la ESAB*, pp. 7–14.
- [48] Carneiro, J., Minim, V. and Souza, M., 2005. "Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão," *Ciën Tec Ali-Campinas*, vol. 25, pp. 18–24.
- [49] Bressani, R., 1993. "Grain quality of common beans," *Food Rev. Int.*, vol. 9, no. 2, pp. 237–297.
- [50] Castellanos, J., Guzmán, H., Jiménez, A., Mejía, C., Muñoz, J., Acosta, J., Hoyos, G., López, E., González, D., Salinas, R., González, J. and Fernández, P., 1997. "Preferential habits of consumers of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mexico," *Arch Latinoam Nutr*, vol. 47, pp. 163–167.
- [51] Burr, H., Kon, S. and Morris, H., 1968. "Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage," *Food Technol-Chicago*, vol. 22, pp. 336–338.
- [52] Bay, A., Bourne, M. and Taylor, A., 1996. "Effect of moisture content on compressive

- strength of whole snap beans (*Phaseolus vulgaris* L) seeds and separate cotyledons," *Int J Food Sci Tech*, vol. 31, pp. 327–331.
- [53] Elia, F., Hosfield, G., Kelly, J. and Uebersax, M., 1997. "Genetic analysis and interrelationships between traits for cooking time, water absorption, and protein and tannin content of Andean dry beans," *J Am Soc Hortic Sci*, vol. 122, pp. 512–518.
- [54] Kigel, J., 1999. "Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors," *Biotechnol Agron Soc Env.*, vol. 3, pp. 205–209.
- [55] Sperling, L., Scheidegger, U. and Buruchara, R., 1996. "Designing seed systems with small farmers: principles derived from bean research in the Great Lakes region of Africa," *Overseas Dev. Inst.*, vol. 60, p. 14.
- [56] Paredes, O., Reyes, C., Montes, R. and Carabez, A., 1989. "Hard-to-cook phenomenon in common beans: influence of growing location and hardening procedures," *Int J Food Sci Tech*, vol. 24, pp. 535–542.
- [57] Stoyanova, M., Tonev, T., and Nankova, M., 1997. "Effect of agro ecological conditions and nitrogen fertilizer application on the chemical composition and technological properties of field bean seeds," *Pochvozn Agrokhn Ekol*, vol. 27, pp. 65–67.
- [58] Gloyer, W., 1928. "Hardshell of beans: its production and prevention under storage conditions," in *Proceedings of the nineteenth and twentieth annual meetings of the Association of Official Seed Analysts of North America*, pp. 52–55.
- [59] Stanley, D. and Aguilera, J., 1985. "A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - the influence of structure and composition," *J. Food Biochem.*, vol. 9, no. 1985, pp. 277–323.
- [60] Rolston, M., 1978. "Water impermeable seed dormancy," *Bot. Rev.*, vol. 44, no. 4754, pp. 365–396.
- [61] Bourne, M., 1967. "Size, density, and hardshell in dry beans," *Food Technol.*, vol. 21, pp. 17–20.
- [62] Kyle, J. and Randall, T., 1963. "A new concept of the hard seed character in *Phaseolus vulgaris* L. and its use in breeding and inheritance studies," *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, vol. 83, pp. 461–475.
- [63] Dupin, H. and Cuq, J., 1997. "*La Alimentación Humana*", Ediciones Bellaterra.
- [64] Pujolà, M., Farreras, A. and Casañas, F., 2007. "Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.)," *Food Chem.*, vol. 102, no. 4, pp. 1034–1041.
- [65] Plans, M., Simo, J., Casanas, F. and Sabate, J., 2012. "Near-Infrared Spectroscopy Analysis of Seed Coats of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): A Potential Tool for Breeding and Quality Evaluation," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 60, no. 3, pp. 706–712.

- [66] Pujolà, M., Farreras, A. and Casañas, F., 2007. "Creaminess and chemical composition in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.): The roles of proteins and starch," in *Fifth European conference on grain legums*, Conference, p. 425.
- [67] SAGARPA, 2015 [Online]. "Recursos fitogenéticos," Available: <http://snics.sagarpa.gob.mx/rfaa/Paginas/recursos-fitogeneticos.aspx>.
- [68] Perez-Vega, E., 2008. "Caracterización de germoplasma de judía y localización de caracteres cuantitativos en el mapa genético de la especie," *Serv. Investig. y Desarro. Agroaliment. del Principado Astur.*, p. 132.
- [69] Santalla, M., Rodiño, A. and De Ron, A., 2002. "Allozyme evidence supporting southwestern Europe as a secondary center of genetic diversity for the common bean," *Theor. Appl. Genet.*, vol. 104, no. 6–7, pp. 934–944.
- [70] Brown, A., Hodgkin, T., Van Hintum, T. and Morales, E., 1995. "*The core collection at the crossroads*".
- [71] Hintum, T., 2000. "Duplication within and between germplasm collections: A quantitative model," *Genet. Resour. Crop Evol.*, vol. 47, pp. 507–513.
- [72] De la Rosa, L., Ron, D., Manzanera, A. and Galarreta, D., 2008. "Red Española De Colecciones De Judías".
- [73] De la Rosa, L., Lázaro, A. and Varela, F., 2000. "Racionalización de la Colección de *Phaseolus vulgaris* L.," in *II Seminario de Judía de La Península Iberica*, Actas Asociación Española de Leguminosas, Villaviciosa, España, pp. 55–62.
- [74] Asensio, C., Asensio, M., Manzanera, S., Ibeas, A. and De la Rosa, L., 2010. "Resistance to halo blight common bacterial blight and cacterial brown spot in spanish common bean core collection," *Annu. Report. Bean Improv. Coop*, vol. 53, pp. 101–111.
- [75] Pérez-Vega, E., Campa, A., De la Rosa, L., Giraldez, R. and Ferreira, J., 2006. "Evaluation for resistance to anthracnose of a core collection established from the CRF-INIA common bean collection.," *Annu. Rep. Bean Improv. Coop*, vol. 49, pp. 201–202.
- [76] Pascual, A., Campa, A., Pérez-Vega, E., Giraldez, R., Miklas, P. and Ferreira, J., 2010. "Screening common bean for resistance to four *Sclerotinia sclerotiorum* isolates collected in northern Spain.," *Plant Dis*, vol. 94, pp. 885–890.
- [77] Fenero, D. and Rivera, A., 2015. "Caracterización sensorial y culinaria de germoplasma de judía grano (*Phaseolus vulgaris* L.) y aplicación a la mejora genética".
- [78] Sprague, G., 1980. "Plants: their preservation and use," *Annu.Rev.Phytopathol.*, vol. 18, pp. 147–165.
- [79] Mroginski, L., Roca, W. and Kartha, K., 1991. "Crioconservación del germoplasma, in "*Cultivo de tejidos en la agricultura. Fundamentos y aplicaciones*". pp. 715 – 730.

- [80] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2010. "El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2010," *Act. Diet.*, vol. 13, no. 2, p. 64.
- [81] Murray, I., 1993. "Forage Analysis by Near Infra-Red Reflectance Spectroscopy," in *Sward Measurement Handbook*, Second Ed., British Grassland Soc, pp. 285–312.
- [82] Garrido, A., Guerrero, J. and Gomez, A., 1993. "Posibilidades y limitaciones de la aplicación de la técnica NIRS en la evaluación nutricional de alimentos para el ganado," in *Nuevas Fuentes de Alimentos para la Producción Animal IV*, Junta de A., pp. 243–255.
- [83] Jerry, J. and Lois, W., 2012. "*Practical Guide and Spectral Atlas for Interpretive Near Infrared Spectroscopy*", Second edi.
- [84] Shermanm, H., 1997. "Infrared Spectroscopy," in *Ed. Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*, NJ.USA., F. Settle, pp. 247–283.
- [85] Plans, M., 2014. "Utilització de l'espectroscòpia d'infraroig com a eina per a la selecció i millora de la mongeta seca (*Phaseolus vulgaris* L.)," UPC.
- [86] Cen, H. and He, Y., 2007. "Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 72–83.
- [87] Davies, A. and Grant, A., 1987. "Review: Near infra-red analysis of food.," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 22, pp. 191–207.
- [88] Kaye, W., 1954. "Near Infrared spectroscopy, Spectral identification and analytical application," *Spectrochimica*, vol. 6, pp. 257–287.
- [89] Albarado, J. and Obagi, J., 2008. "*Fundamentos de inferencia estadística*", Pontificia.
- [90] Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Vergara, A. and Vaamonde, A., 2006. "*Tratamiento de datos*", Diaz de Sa.
- [91] Quiroga, V., 1977. "*Manual de estadística descriptiva*", Publicaciones Miscelaneas.
- [92] Miller, J.N and Miller, J.C., 2002. "*Estadística y Quimiometria para Química Analítica*", 4a Ed, Prentice H. Prentice Hall.
- [93] Steel, R. and Torrie, J., 1997. "*Análisis de la Varianza I*", McGraw-Hill, México.
- [94] Zavala, J., 2012. "*Análisis Multivariado*", Ed. Biblioteca Nueva USC.
- [95] Peña, D., 2002. "*Análisis de datos multivariantes*", McGraw-Hill Interamericana de España.
- [96] Rivera, A., Casquero, P., Mayo, S., Almirall, A., Plans, M., Simó, J., Romero, R., Castillo, D. and Casañas, F., 2011. "Culinary and sensory traits in the Spanish Core Collection of common," pp. 1–20.
- [97] Moraghan, J., Etchevers, J. and Padilla, J., 2006. "Contrasting accumulations of calcium and

- magnesium in seed coats and embryos of common bean and soybean," *Food Chem.*, vol. 95, no. 4, pp. 554–561.
- [98] Abdel Kader, Z., 1995. "Study of some factors affecting water absorption by faba beans during soaking" *Food Chem.*, vol. 53, pp. 235–238.
- [99] Plans, M., Simó, J., Casañas, F., Sabaté, J., Rodríguez, L., 2013. "Characterization of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by infrared spectroscopy: Comparison of MIR, FT-NIR and dispersive NIR using portable and benchtop instruments". *Food research int.*, vol. 54, pp. 1643-1651.
- [100] Moraghan, J.T., Padilha, J., Etchevers, J.D., Grafton, K., Acosta, J.A., 2002. "Iron accumulation in seed of common bean". *Plant and soil*, vol. 246, pp. 175-183.
- [101] Lombardi-Boccia, G., Lucarini, M., Di Lullo, G., Del Puppo, E., Ferrari, A. and Carnovale, E., 1998. "Dialysable, soluble and fermentable calcium from beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a model for *in vitro* assessment of the potential calcium availability. *Food chemistry*, vol. 61, pp. 167-172.