

Potato quality traits: variation and genetics in Ecuadorian potato landraces

Xavier Cuesta Subía

Thesis

submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor
at Wageningen University
by the authority of the Rector Magnificus
Prof.dr.M.J. Kropff,
in the presence of the
Thesis Committee appointed by the Academic Board
to be defended in public
on 10th June 2013
at 16.00 hrs. in the Aula.

III

Summary

The quality in potato is defined as the sum of favorable characteristics of the tuber. A complex set of external and internal quality traits are required for fresh and processing potatoes. External quality traits include tuber shape, eye depth, skin and flesh color but also dormancy and greening are important. Internal quality traits include the content of dry matter (DMC), reducing sugars (RSC), glycoalkaloids (TGA), enzymatic discoloration (ED) and nutritional quality.

In this thesis we identified the potato “ideotype” required for the Ecuadorian fresh market and studied the variation for the main quality traits for the fresh and processing market in a representative group of Ecuadorian potato landraces. Furthermore, Diversity Array Technology (DArT) markers were used to identify Quantitative Trait Loci (QTLs) for important traits as tuber shape, eye depth, skin characteristics and flesh color in a mapping population CHAR-01 based on *S. phureja* landraces.

The results from this thesis will be used in the INIAP potato breeding program to obtain the “optimized” potato required for each Ecuadorian region, which is a difficult task to perform through traditional breeding. However, using the variation available among potato landraces which we have identified and the inclusion of advanced breeding clones from INIAP and the International Potato Center (CIP), together with molecular marker technology, the development of new improved varieties with the desired quality traits will be feasible.

In Chapter 2, we identified the potato “ideotype” for each Ecuadorian region based on preference criteria of the three main actors in the potato value chain, farmers, traders and consumers. Differences among regions and chain actors for potato preferences were found. In general, farmers in all areas were concerned about the characteristics related to agronomic aspects; consumers were interested in tuber quality and processing characteristics while traders were interested in marketability of potatoes and healthy tubers.

The key quality traits for farmers were late blight resistance, tuber yellow flesh color and round shape. For traders tuber yellow flesh color, good taste and marketable potatoes were important, while for consumers, good taste, tuber yellow flesh color and mealy consistence were the most important traits.

The preferred ideotype in the Northern and Center area of Ecuador were quite similar: round tuber shape, red or pink skin color, shallow eyes, big or mean size, mealy consistence and fast cooking while in the Southern area the ideotype should have

yellow skin color, mean depth of eyes, big size, suitable of “locro” soup and soft consistence. In all cases the ideal potato should be resistant to late blight, be high yielding and early maturing. Furthermore, good taste, yellow flesh and suitability for several cooking applications were preferred.

Tuber quality and processing characteristics in each region were related to varieties traditionally cultivated in these regions, in the North Superchola, in the Center, INIAP-Gabriela, INIAP-Cecilia and in the South Bolona. The ideotype of potato in Ecuador was affected by the preferences of the actors in the chain and was influenced by the region of the country. Therefore potato breeding program of Ecuador to obtain new varieties should focus in the ideotype defined for the North-Center and South region.

In Chapter 3, we studied the variation of the main quality traits in a representative group of potato landraces from the Ecuadorian potato collection in three different environments. For all traits a large variation was observed. The interaction effect genotype x environment (GxE) was significant for most parameters, but was smaller than genotypic effect, except for total glycoalkaloid content for peeled potatoes.

For characteristics such as greening and dormancy the estimates of the broad sense heritability were high ($H > 0.76$), therefore the selection response for the development of new potato varieties will be greater. However, some traits were affected by the environment such as total glycoalkaloid content for peeled potatoes and yield ($H < 0.34$). Total glycoalkaloid content in all potato landraces was lower than the upper limit considered safe for consumption. Besides this, most potato landraces suited the characteristics of dry matter and reducing sugar content demanded by the processing industry, while the white cream and yellow skinned potatoes showed low enzymatic discoloration compared with colored tubers.

We identified several potato landraces as possible progenitors for use in breeding e.g. Leona blanca, Leona negra, Leona negra norte, Milagrosa, Uvilla, Chaucha amarilla and Chaucha pintada were outstanding, with best characteristics for processing, while Uvilla, Leona blanca, Milagrosa, Puña, Jubaleña, Chaucha amarilla, Chaucha pintada and Bolona seemed best for use in the fresh market.

This study provides useful information concerning the potential of the potato landraces to contribute to get the ideal potato for the fresh and processing market through direct use or through crop improvement for quality.

In Chapter 4, we studied the variability for potato tuber dry matter content, total polyphenol content (TPC) and total carotenoid content (TCC) in 23 representative

Summary

potato landraces and determined if farmers preferences about potato landraces in three representative areas are based on characteristics related to nutritional value.

A large variation for dry matter and antioxidant content was observed, most of the variation was due genotype ($H > 0.87$). The antioxidant content was similar or lower compared to previous studies on improved or Andean potato landraces. Then the landraces with the highest contents could be used to select progenitors to develop new potato varieties with high dry matter, carotenoids and polyphenols content through plant breeding and we expect a fast progress in breeding for those characters.

For high DMC the landraces Puña, Roja plancha, Chaucha botella and the improved variety Superchola are good options to use in breeding. While, Papa chacra, Sabanera, Negra ojona, Morasurco, Colorada, Suscaleña blanca and the improved variety INIAP-Estela could be selected as progenitors to increase the levels of TPC.

Additionally, the landraces Chaucha botella, Papa chacra, Carriza, Rosada, Coneja, Mampuera and the improved varieties Superchola and INIAP-Estela could be selected as progenitors to develop improved varieties with high TCC.

Therefore some Ecuadorian potato landraces are important source for useful alleles for quality traits to increase antioxidant content for direct use or as potential progenitors for breeding to enhance these traits.

Additionally, farmer's main criteria of selection of potato landraces were good taste, tuber yellow flesh color and mealy consistence. These characters have been reported associated with some quality traits as DMC, low levels of glycoalkaloids and high content of carotenoids. Then farmer's preferences include empirical valuation of potato-quality rather than specific knowledge on nutritional characteristics of these potatoes. Furthermore, several farmers selected potato landraces based on the criteria that they are new in the region.

In Chapter 5, we developed a mapping population CHAR-01 based on *S. phureja* parents contrasting in quality traits. We assessed the segregation of tuber shape, eye depth, skin and flesh color in this population. DArT markers were used for genotyping.

The DArT markers tended to cluster in various regions of the genome, with little or no coverage in other regions, as a result the DArT marker coverage was not uniform across the genome. QTLs affecting these important quality traits were identified using the genetic map developed. The most prominent QTLs for tuber shape and eye depth were detected on chromosome X and explained 33.7% and 14.6% of the variance, respectively. The loci that control these traits were linked. The most important QTLs

for skin and flesh color were also on chromosome X, explaining 19.9% of the variance and on chromosome III, explaining 13.9% of the variation. Additional QTLs with minor effects were also detected.

Our study identified novel QTLs that have not been reported previously, for tuber shape and eye depth QTLs *Sh-1*, *Sh-2*, *Ey-1*, *Ey-2* and *Ey-3* identified on chromosome I. For skin color two QTLs *Sk-2* and *Sk-3* were detected on chromosome IX and V respectively, *Sk-2* probably correspond a (*chi*) or (*chs*) genes, while *Sk-3* is related to *bHLH* gene, which constitute candidate genes for controlling anthocyanin biosynthesis.

New, presently unknown QTLs *FL-1* and *FL-3* involved in tuber yellow flesh color were also found. Comparing the location of these new QTLs with the genome sequence of potato *S. tuberosum* group Phureja DM1-3 516 R44 (DM), which was recently published suggest that they are related to the carotenoid cleavage dioxygenase gene (*CCD*) and β -carotene hydroxylase (*Chy*) respectively, that are involved in zeaxanthin accumulation in the yellow-fleshed potatoes.

Furthermore there were also QTLs that are consistent with other studies using mapping populations with different backgrounds e.g. QTLs for tuber shape, eye depth, and tuber skin color identified on chromosome X or QTLs for tuber flesh color detected on chromosome III.

The obtained results improve our understanding on the inheritance of quality traits for variety development and will provide a source for molecular marker development and the genetic characterization of other traits of importance for potato in Ecuador. This than will allow the possibility toward the use by INIAP of new approaches for genomic research and develop of new varieties improving the efficiency and precision of conventional plant breeding through molecular assisted selection (MAS).

In Chapter 6, results from the findings of this thesis are discussed in a broader perspective. The possibility of use selected landraces in breeding to obtain the required ideotype for the fresh market, processing market and to enhance antioxidant content is analyzed, as well the probability of use the molecular markers identified in CHAR-01 population in a MAS program for the development of the required varieties are discussed. The factors that have influenced the acceptance of new varieties are considered and a proposal of breeding for the fresh and processing market is presented, it consists in breeding at the diploid and tetraploid level combined with use of molecular markers.

Resumen

La calidad en papa se define como la suma de características favorables del tubérculo; un grupo complejo de características externas e internas se requieren para el mercado en fresco y procesado. Las características externas constituyen la forma, profundidad de ojos, color de piel y pulpa del tubérculo. Además la dormancia y el verdeamiento son importantes. Las características internas incluyen el contenido de materia seca, azúcares reductores, glicoalcaloides, descoloración enzimática y la calidad nutritiva.

En esta tesis identificamos el “ideotipo” de papa requerido para el mercado en fresco Ecuatoriano y estudiamos la variación de los principales caracteres de calidad en un grupo representativo de variedades nativas de papa. Además usando marcadores DArT se identificaron caracteres cuantitativos (QTLs) para aspectos importantes como forma, profundidad de ojos y color de la pulpa del tubérculo en una población de mapeo denominada CHAR-01 proveniente de variedades *S. phureja*.

Los resultados de esta tesis serán usados por el programa de mejoramiento genético del INIAP para obtener la papa “ideal” requerida por cada región del país, tarea complicada de llevar a cabo a través del mejoramiento convencional, pero con el uso de la diversidad disponible en las variedades nativas seleccionadas y la inclusión de clones avanzados del programa de mejoramiento del INIAP y del Centro Internacional de la papa (CIP) combinado con el uso de marcadores moleculares será posible la obtención de variedades mejoradas con las características de calidad deseadas.

En el **Capítulo 2** nosotros identificamos el “ideotipo” de papa para cada región del Ecuador basados en los criterios de preferencia de agricultores, comerciantes y consumidores. Diferencias entre regiones y actores para las preferencias de papa fueron identificadas. En términos generales en todas las áreas las preferencias de los agricultores estuvieron relacionadas con las características agronómicas, consumidores en características de calidad del tubérculo y de procesamiento, mientras que los comerciantes estuvieron interesados en que las papas sean comerciables y en la sanidad de los tubérculos. Los caracteres claves para los agricultores fueron resistencia al tizón tardío, pulpa color amarillo del tubérculo y de forma redonda. Para los comerciales, los caracteres pulpa amarilla, buen sabor y tubérculos comerciales fueron importantes.

El “ideotipo” de papa en el Norte y Centro de Ecuador fue similar, tubérculo redondo, de color rojo o rosado con ojos superficiales, de tamaño entre medio a grande, consistencia arenosa y rápida cocción, mientras que en el Sur el ideotipo deberá tener tubérculo de piel amarilla, profundidad de ojos medios, tamaño grande con consistencia suave y ser adecuado para preparar “locro”. Además la papa ideal para

Resumen

todas las regiones deberá incluir resistencia al tizón tardío, alto rendimiento y precocidad, además de forma redonda del tubérculo, buen sabor, color amarillo de la pulpa y que sea apta para varias formas de preparación.

Las variedades tradicionales que han sido cultivadas por años influyeron en las preferencias de los diferentes actores, en la zona Norte de Ecuador la variedad Superchola fue preferida; en el Centro INIAP-Cecila o INIAP-Gabriela y en el Sur la variedad nativa Bolona. Por lo tanto el programa de mejoramiento del Ecuador para obtener nuevas variedades debería enfocarse en el ideotipo identificado para la región Norte-Centro y Sur.

En el **Capítulo 3** estudiamos la variación de los principales caracteres de calidad en un grupo representativo de variedades de la colección Ecuatoriana de papa. Para todos los caracteres se observó gran variación en donde el efecto genotipo x ambiente (GxE) fue significativo para la mayoría de caracteres, pero este fue menor que el efecto del genotipo, excepto para el contenido total de glicoalcaloides de papas peladas.

Para los caracteres verdeamiento y dormancia los estimados de heredabilidad en el sentido amplio fueron altos ($H > 0.76$), por lo que la respuesta a la selección dentro del será mayor. Sin embargo, algunos caracteres como contenido total de glicoalcaloides para papas peladas y rendimiento fueron afectados por el ambiente ($H < 0.34$). El contenido total de glicoalcaloides en todas las variedades nativas fue menor que el límite considerado seguro para el consumo. Además, los contenidos de materia seca y azúcares reductores de la mayoría de variedades nativas estuvieron dentro de los valores requeridos por la industria de procesamiento, mientras que las variedades con piel blanco-crema o amarillo mostraron reducida descoloración comparadas con las papas coloreadas.

Nosotros identificamos varias papas nativas como posibles progenitores e.g. Leona blanca, Leona negra, Leona negra norte, Milagrosa, Uvilla, Chaucha amarilla y Chaucha pintada las cuales mostraron las mejores características para procesamiento, mientras que Uvilla, Leona blanca, Milagrosa, Puña, Jubaleña, Chaucha amarilla, Chaucha pintada y Bolona presentaron características para el consumo en fresco.

Este estudio provee con importante información sobre el potencial de las variedades nativas para obtener la variedad ideal de papa para el mercado en fresco y procesamiento a través de uso directo o en mejoramiento para calidad.

En el **Capítulo 4** nosotros estudiamos la variación del contenido de materia seca del tubérculo, el contenido de polifenoles y carotenoides totales en 23 variedades nativas

representativas y determinamos en tres zonas si las preferencias de los agricultores acerca de las variedades nativas está relacionada con el su valor nutritivo.

Se identificó gran variación para el contenido de materia seca y antioxidantes, la mayor variación observada fue debido al genotipo ($H > 0.87$). El contenido de antioxidantes fue similar o menor comparado con estudios previos. Por lo tanto las variedades nativas con los mayores contenidos podrían ser usadas como progenitores para desarrollar nuevas variedades con altos contenidos de materia seca, carotenoides y polifenoles y esperamos un rápido progreso en mejoramiento para esos caracteres.

Para alto contenido de materia seca, las variedades, Puña, Roja plancha, Chaucha botella y la variedad mejorada Superchola son buenas opciones para usar en mejoramiento. Mientras que las variedades Papa chacra, Sabanera, Negra ojona, Morasurco, Colorada, Suscaleña blanca y la variedad mejorada INIAP-Estela podrían ser seleccionadas para incrementar el contenido de polifenoles. Adicionalmente, las variedades nativas Chaucha botella, Papa chacra, Carriza, Rosada, Coneja, Mampuera y las variedades mejoradas Superchola e INIAP-Estela podrían ser seleccionadas como progenitores para desarrollar variedades con altos contenidos de carotenoides. Por lo tanto Las variedades nativas Ecuatorianas son importante fuente de genes para incrementar los contenidos de antioxidantes a través de su uso directo o como progenitores en un programa de mejoramiento genético.

Los principales criterios de selección de los agricultores en relación a las papas nativas fueron buen sabor, color amarillo de la pulpa y consistencia arenosa. Estos caracteres han sido asociados con el contenido de materia seca, bajos niveles de glicoalcaloides, azúcares reductores y altos contenidos de carotenoides. Por lo cual las preferencias de los agricultores incluyen evaluaciones empíricas de la calidad del tubérculo, más que un conocimiento específico de los caracteres nutricionales de las papas. Además el carácter de “novedosa” fue importante para la selección de las variedades nativas.

En el **Capítulo 5**, nosotros desarrollamos una población de mapeo CHAR-01 proveniente de progenitores *S. phureja* contrastantes en caracteres de calidad. Nosotros evaluamos la segregación de la forma del tubérculo, la profundidad de los ojos, el color de la piel y el tubérculo. Marcadores DArT fueron utilizados para el genotipaje. Los marcadores DArT tuvieron una tendencia de agruparse en algunas regiones del genoma con poca o ninguna cobertura en otras, como resultado, la cobertura no fue uniforme. Se identificaron loci para caracteres cuantitativos (QTLs) que afectan la expresión de estos caracteres. Los más importantes QTLs para forma del tubérculo y profundidad de ojos fueron detectados en el cromosoma X (Progenitor-2) este explicó el 33.7% y 14.6% de la variación respectivamente. Los loci que controlan estos caracteres estuvieron ligados. Los más importantes QTLs para color de

Resumen

la piel y pulpa fueron ubicados en el cromosoma X (Progenitor-1, 19%), III (Progenitor-1, 13.9%) respectivamente. QTLs adicionales con efectos menores también se identificaron.

Nuestro estudio identificó nuevos QTLs que no han sido reportados, para forma del tubérculo y profundidad de los ojos QTLs *Sh-1*, *Sh-2*, *Ey-1*, *Ey-2* y *Ey-3* en el cromosoma I. Para color de la piel dos QTLs *Sk-2* and *Sk-3* fueron detectados en el cromosoma IX y V respectivamente, *Sk-2* probablemente corresponde a (*chi*) o (*chs*) genes, mientras *Sk-3* es relacionado al gen bHLH, los cuales constituyen genes candidatos para controlar la biosíntesis de antocianinas.

Nuevos QTLs desconocidos *FL-1* y *FL-3* involucrados en el color amarillo de la pulpa del tubérculo fueron identificados en la población. Comparando la ubicación de estos nuevos QTLs con la secuencia del genoma de la papa *S. tuberosum* grupo Phureja DM-13 516R44 (DM), estos probablemente están relacionados con el gen cleavage carotenoide dioxygenasa (CCD) y β -caroteno hydroxylase (*Chy*) respectivamente, los cuales están relacionados con la acumulación de la zeaxantina. También se identificaron QTLs que son consistentes con otros estudios, por ejemplo QTLs para forma del tubérculo, profundidad de ojos y color de piel fueron identificados en el cromosoma X o QTLs para color de la pulpa detectados en el cromosoma III.

Los resultados obtenidos mejoran nuestro entendimiento de la herencia de los caracteres de calidad para el desarrollo de variedades y provee importante información para el uso de marcadores moleculares y la caracterización de otros caracteres. Además permitirá el uso de nuevas tecnologías para investigación genómica y el desarrollo de nuevas variedades, utilizando el mejoramiento convencional con el apoyo de la selección asistida (MAS).

En el **Capítulo 6**, los resultados encontrados en esta tesis son discutidos en una perspectiva amplia. La posibilidad de utilizar las variedades nativas seleccionadas en mejoramiento para obtener el ideotipo requerido para el mercado en fresco, procesamiento y para mejorar el contenido de antioxidantes es analizado, así como la probabilidad de usar los marcadores identificados en la población CHAR-01, dentro de un programa MAS es discutido. Los factores que han influido la aceptación de las nuevas variedades son analizados y una propuesta de mejoramiento para el mejoramiento en fresco y procesamiento es presentada la cual consiste en el mejoramiento convencional a nivel diploide y tetraploide combinado con el uso de marcadores moleculares.