

## **Estrategias y Desafíos para el Mejoramiento de Papa para Procesamiento**

M. Bonierbale\*, W. Amorós\*, J. Espinoza\*,  
X.-Q. Li\*\* y T. Walker\*

\* Centro Internacional de la Papa, Lima Perú; \*\*Agriculture & Agri-Food, New Brunswick, Canada

### **Tendencias de la Producción, Utilización y Marketing**

El consumo de papa en forma procesada se ha incrementado en las últimas décadas sobre todo en las grandes ciudades de los países desarrollados y de algunos países en desarrollo. Esto podría estar explicado por la modernización y la incorporación cada vez mayor de la mujer al mercado de trabajo, adoptando nuevos patrones alimentarios con la tendencia a usar comida preparada o de fácil preparación. De otro lado, la globalización de la economía ha creado la homogeneización del consumo de algunos productos que el consumidor busca como la comida rápida a cual la papa es uno de los cultivos mas aptos.

El creciente consumo de papa procesada así como los ingresos económicos en varias regiones del mundo origina nuevos mercados para productos procesados importados, y mercados potenciales para el uso materia prima producida localmente en áreas que antes solo se producía papa para consumo fresco. Las papas fritas, en hojuelas o en tiras, son los productos procesados mas importantes en el consumo de papa, y es probable que esta tendencia siga incrementándose en el futuro.

En un análisis reciente del mercado en la China, Zhang et. al. (1998) identificaron la inversión foránea, el numero de restaurantes de comida rápida, el precio de papas procesados, el nivel económico del consumidor, la población, el precio de productos competitivos (sustitutos) y barreras al intercambio internacional, como factores principales que influyen la demanda de papas procesadas.

### **Oportunidades y Desafíos**

Aunque en muchos países en desarrollo el porcentaje de la producción de papa destinado para procesamiento no es muy alto, es importante ahora disponer de variedades adecuadas tanto para el procesamiento como para el consumo fresco, o variedades de doble propósito. Eso permitiría a los productores tener un valor agregado a sus cultivos y contribuirá a la competitividad del sector agrícola. Es probable que para algunos países de América Latina, el uso de la papa para procesamiento en hojuelas sería significativamente más económico respecto a las papas a la francesa; sin embargo, existe también un espacio para la producción de materia prima local para el procesamiento en tiras destinadas a restaurantes y cadenas nacionales de comida rápida.

La carencia de variedades con buena calidad para procesamiento, la falta de conocimiento sobre las mejores practicas de manejo, y la irregularidad de abastecimiento y precios de venta son los problemas mas destacados que hay que afrontar para aprovechar de estas oportunidades. En los países industrializados existen variedades con atributos para procesamiento pero estas variedades no producen igual en las condiciones de los países tropicales/sub-tropicales, debido a su falta de adaptación y carencia de factores de resistencia a enfermedades.

A parte de alto rendimiento en la agroecología indicada, se consideran los caracteres que afectan los tubérculos los mas importantes para la genética y mejoramiento de la papa. Las características que se requiere para la industria son los siguientes:

**Aspecto externo:**

- Buena forma con ojos superficiales de los tubérculos es importante porque facilita el pelado mecánico con mínima pérdida de materia prima.
- El tamaño también es importante y varía de acuerdo al tipo de producto.
- La pulpa o carne debe ser blanco o crema o amarillo claro para la mayoría de productos.
- Los tubérculos deben estar libres de mancha parda causada por el daño mecánico, rajaduras, verdeamiento, corazón vacío, y resistentes al golpe.

**Aspecto interno**

- Alto contenido de sólidos o materia seca (MS) que influye en la consistencia, textura y harinosidad. El contenido de MS es uno de los factores más importantes tanto para consumo fresco como para la mayoría de productos procesados, por que determina directamente el rendimiento, la menor absorción de aceite, y menor tiempo de proceso de fritura, y por consiguiente, la reducción de precios..
- Bajos niveles de azúcares reductores (AR) constituye un criterio de calidad importante para la mayoría de productos procesados. Los AR son responsables del oscurecimiento y consiguiente sabor amargo de las papas fritas, no solo con papas recién cosechadas, sino también durante y después de almacenamiento, determinando la calidad comercial y aceptación de producto. Almacenamiento a temperaturas menores de 8° C, conduce a elevados contenidos de AR. A esta característica varietal y ambiental, se refiere como el *endulzamiento en frío*.
- No-ocurrencia de oscurecimiento tanto al estado crudo o cocido
- Buen sabor
- Bajo contenido de glicoalcaloides

Las variedades deben poseer vigor y precocidad apropiados para la zona de producción, y resistencia a las enfermedades y plagas más importantes. Esto permite reducir los costos de producción y los riesgos a la salud y al ambiente, así como el precio de la papa como materia prima para el procesamiento.

**Conocimiento, variabilidad y genética de los caracteres**

Los carbohidratos son el mayor compuesto fotosintético almacenado en los cereales y tubérculos. La síntesis, el transporte y la acumulación de materia seca en tubérculos de la papa es una característica cuantitativa, controlado por varios factores genéticos, y afectados por las condiciones ambientales. La regulación de conversión de almidón en azúcares reductores durante la producción y el almacenamiento de papa, el brotamiento, y el alto contenido de aceite (30-40% grasa) en los productos procesados por fritura, son los principales desafíos científicos para la industria de procesamiento a las que el mejoramiento genético puede contribuir. Los factores que controlan estos aspectos están relacionados con el metabolismo de carbohidratos, principalmente el almidón y los azúcares.

Después de la cosecha, la papa tiene un periodo de dormancia de 2-3 meses. Cuando empieza el brotamiento, los contenidos de almidón y de agua en el tubérculo bajan. Tubérculos en esta condición no son aceptables ni para el consumo directo ni para procesamiento. El uso de inhibidores de brotamiento (CIPC, IPC) para postergar el brotamiento es común en Europa, EEUU y Canadá, pero su uso está restringido al periodo anterior a la venta de la cosecha, por razones de salud humana. Como alternativa, se incluye el almacenamiento en frío, o el uso de variedades con periodos largos de dormancia.

Mientras que el almacenamiento en frío es útil para mantener la calidad de tubérculos para consumo fresco, no es satisfactorio para las papas destinadas al procesamiento; la mayoría de cultivares acumulan azúcares reductores (AR) a  $<7^{\circ}\text{C}$  – principalmente la glucosa y fructosa. El contenido de los AR debe mantenerse a menos de 0.5% en base del peso fresco para las papas fritas en tiras, y  $<0.2\%$  para hojuelas para evitar consecuencias negativas al color y sabor del producto. En algunas variedades, el reacondicionamiento de las papas por un periodo de 2-4 semanas a  $20^{\circ}\text{C}$  después del almacenamiento al frío, resulta en una rápida disminución de los AR, mejorando su condición para fritura. Sin embargo, esto implica mayor costo de manejo, y no todas las variedades reaccionan en la manera ideal.

La obtención de variedades con contenidos bajos y estables de AR aun en frío, y/o propensas a su reacondicionamiento (RA), son entonces objetivos importantes para el mejoramiento genético. Estas características resultan en productos, como hojuelas fritas más claras en color (CH = color de hojuela) y de mejor sabor, muy apreciados por los consumidores. Aún en áreas donde aun no es importante el almacenamiento en cámara fría, se prefiere variedades con estas características, porque las condiciones ambientales durante la producción, así como durante el almacenamiento bajo condiciones rústicas (p.e. Sierra de los Andes), influyen en la acumulación de AR. Cultivares resistentes al endulzamiento en frío brindarían beneficios económicos y de salud, como son la estabilidad de la calidad del cultivo y el producto, eliminación de la necesidad de aplicar inhibidores de brotamiento, menores pérdidas de peso o daño directo del frío, y menos problemas patológicos asociados con los cambios fisiológicos del tubérculo en el almacén.

### **Mejoramiento Genético - Objetivos**

Son más de 50 características que deberían combinarse en una variedad moderna. Estas pueden agruparse de la siguiente manera:

- Rendimiento, incluyendo todos los factores ontogenéticos, fisiológicos y morfológicos que lo controlan.
- Resistencia a los factores ambientales adversos, plagas y enfermedades;
- Calidad para diferentes propósitos.

Para un proceso lógico de mejoramiento se requiere información acerca de la genética de los caracteres importantes. Los caracteres gobernados por genes mayores son relativamente fáciles de manejar. Se espera siempre un alto porcentaje de genotipos deseables en las progenies. Sin embargo la mayoría de las características de rendimiento y calidad son heredados por poligenes y solamente algunas plántulas expresan el carácter con el mismo grado o intensidad del padre.

## **Desafíos y estrategias del mejoramiento genético para calidad**

Los desafíos principales para el mejoramiento de características de calidad para procesamiento son tres. Primero, el poco conocimiento de los mecanismos genéticos que controlan la calidad post-cosecha. Segundo, la inestabilidad del fenotipo de calidad a las condiciones ambientales de producción y almacenamiento. Tercero, la probabilidad de que los genotipos superiores para calidad de procesamiento son adaptados a condiciones específicas ambientales y de manejo, haciendo difícil la transferencia de éxito de un programa de mejoramiento hacia otro. Aunque existen diferencias claras entre variedades, indicando variabilidad genética, las condiciones ambientales pueden causar diferencias dentro de las variedades (clones) tan grandes como entre ellos. Pruebas en diferentes localidades durante varias épocas son necesarias para poder identificar el fenotipo de calidad para procesamiento de un clon.

### **Métodos**

La selección para efectuar cambios genéticos en poblaciones con más alto contenido de MS, o bajo nivel de AR, depende de la disponibilidad de información genética. La *heredabilidad* es una estimativa de la proporción de la variabilidad que se ve en una característica que es dado a los factores genéticos (G), y que puedan pasarse a la progenie. Las ganancias por selección hacia un objetivo de mejoramiento dependen del nivel promedio de la población para la característica, la variancia genética que contiene, la heredabilidad del carácter, y la intensidad de selección que se aplica. En términos prácticos, la habilidad combinatoria, a partir de estudios de genética de poblaciones, sugiere la probabilidad de lograr ganancias con una selección fenotípica en un programa de selección recurrente. Los métodos para el monitoreo de poblaciones sirven para guiar el proceso, indicando por ejemplo si la selección ha provocado una disminución de la variabilidad disponible, a tal punto de recurrir a nuevas fuentes de diversidad genética.

### **Identificación de progenitores**

El éxito de mejoramiento de papa depende de la tasa de segregación de características de valor económico de los idiotipos a partir de poblaciones de semillas (sexuales) desarrollados a través de cruzamientos entre parentales selectos. La selección de parentales para mejoramiento de características cuantitativas basada solamente en sus características fenotípicas no permite una caracterización adecuada. Por esta razón, es importante identificar parentales superiores mediante la determinación de su habilidad combinatoria. En este contexto son significativas las pruebas de progenies, el análisis de las poblaciones, y el desarrollo metodológico de parentales con cierto grado de homocigocidad para algunas características en particular.

Para algunas características, principalmente las que son controladas por dominancia monogénica, como son los genes para resistencias a los virus (*Rx* e *Ry*) o al nematodo de quiste dorado (*H1*), se puede predecir la segregación en progenie basado en el fenotipo de los parentales. Parentales que contengan más de una copia (*múltiplex*) de estos genes dominantes son valiosos por el hecho de que su uso resulta en frecuencias más altas de individuos resistentes (Mendoza et al. 1996). A parte de las características monogénicas, el mejoramiento para precocidad, el color y el tamaño de tubérculo parecen estar sujeto a la misma estrategia de usar parentales con un alto

grado de homocigocidad, contrario a las características cuantitativas como el contenido de materia seca y los azúcares reductores.

### **Alcances**

El énfasis en programas de mejoramiento de características de post cosecha, dentro del conjunto de requisitos de variedades exitosas ha sido más grande en países desarrollados. Un estudio de las variedades históricamente usados, o mejorados específicamente para la producción de papas fritas en hojuelas en los EEUU durante los últimos 125 años demostró grandes diferencias en términos de varios requisitos de la industria (Love et. al. 1998),. Estos autores midieron el rendimiento total, de los tubérculos alcanzando al grado U. S. No. 1, el contenido de sólidos (MS), color de hojuela (CH), el porcentaje de hojuelas con defectos, los azúcares reductores (AR) y la sucrosa en un grupo de 44 variedades producidos y manejados simultáneamente en ensayos de campo, almacenamiento, y procesamiento. Reportaron tendencias hacia mejores valores en casi cada una de estos parámetros en las variedades lanzadas recientemente. La elevación de materia seca entre 1967 y 1978, época en la cual fueron liberados los primeros cultivares específicamente para procesamiento de papa en hojuelas, fue significativo. Un segundo pico correspondía con el interés de la industria en los últimos años contar con variedades de alta materia seca con el objetivo de reducir el contenido de aceite de las hojuelas. El cultivar Lenape (1967), retirado de la producción para sus altos contenidos de glycoalcaloides, es bien conocido como uno de las tantas variedades Norte Americanas con mas altos contenidos en materia seca.

A partir de la genética aplicada, el conocimiento de esas características y los respectivos roles de la variabilidad genética, ambiental e interacciones entre ellas, se ha incrementado en los últimos 50 años.

### **Parámetros G, A y GxA**

Varios factores del ambiente influyen la calidad post cosecha para procesamiento, incluyendo la textura y fertilidad del suelo (nutrición mineral y fuente), la temperatura del ambiente de producción o del almacén, la humedad disponible y la madurez del cultivo. Además de los factores ambientales existe también la probabilidad de que estos interactúan a la vez con los factores genéticos, causando la llamada *interacción genotipo por ambiente* (GxA). Esta situación hace, por ejemplo, que mientras una variedad o genotipo sufre con una disminución de su capacidad para acumular materia seca en temperaturas altas, no todas las variedades responden de la misma manera; pudiendo otros responder o no a la temperatura.

Estimados de los parámetros de variabilidad genética (G), ambiental (A) y genotipo x ambiente (GxA) que influyen a características cuantitativas depende de la situación específica de cada población y ambiente. Sin embargo, algunas generalidades útiles pueden ser destacadas por la información que aporta un conjunto de estudios clásicos sobre una característica como las que se requieren para el procesamiento.

Generalmente se ha considerado la materia seca como una característica de alta heredabilidad y baja interacción GxA, una combinación que simplificaría mejoramiento como la expresión de diferencias genéticas entre plantas sería relativamente constante de un ambiente al otro (Killick y Simmonds 1974).

La tasa de acumulación de los AR también está genéticamente determinada, mostrando alta heredabilidad (Hernandez et. al.1992; Colon et. al. 1989), pero la acumulación es sensible a la temperatura. Ehlenfeldt et al. (1989) mostraron que en una población derivada de dos líneas con excelentes parámetros para procesamiento y dos variedades comerciales, la resistencia al endulzamiento parecía estar controlado por genes recesivos con interacciones epistáticos. Diferentes parentales aportaron efectos aditivos y dominantes a sus progenies.

El entendimiento de la influencia del ambiente o la interacción G x A sobre la expresión de una característica cuantitativa, es importante para minimizar los costos asociados con múltiples localidades, así mismo es de mucha utilidad saber cuales son los componentes del ambiente que mas influyen el comportamiento. Un estudio en el Perú identificó la fertilidad del suelo (principalmente los elementos y fuentes de K y P) importantes en la MS, la radiación solar importante para el color de papas fritas en hojuelas, la temperatura mínima importante para glicoalcaloides, en un grupo de cuatro variedades producidos en 3 ambientes de al costa (Espinoza, en preparación).

### **Correlaciones entre características**

Correlaciones entre pares de características indican la probabilidad de dependencia de mecanismos genéticos diferentes o similares, incluyendo el ligamiento genético. Es muy conveniente en mejoramiento si la selección en una dirección deseada para una característica, halla también beneficios en otra. En caso de una correlación directa entre una característica de alta y otra de baja heredabilidad, es eficiente practicar un selección para la primera, para lograr progreso para la segunda.

Aunque otros investigadores han sugerido que estas dos caracteres son genéticamente independientes, Acatino et. al. (1973) encontraron una alta correlación directa entre la resistencia al endulzamiento en frió (EF; pero llamados por ellos 'resistente a la reversión') y la propensidad para reacondicionamiento (RA) en progenies diploides tanto como en tetraploides. En sus materiales, con fondos genéticos de los Grupos Tuberosum y Phureja, no fue significativo la interacción GxA para estos parámetros de calidad, sugiriendo que seria suficiente tamizar o evaluar poblaciones de mejoramiento un una sola localidad, así como para solo una de las dos características, sea EF o RA. Propusieron un modelo de dos loci mayores responsables para cada carácter, con el requisito de tener un alelo dominante presente a cada locus si es que se quiere obtener hojuelas de color claro.

### **Selección en etapas tempranas/ tardías y tamizados rápidos correlacionados**

Las características de alta heredabilidad, o sea que son menos afectados por el ambiente, pueden ser considerados desde el primer ciclo, cuando hay un numero máximo de genotipos y antes que empiece la replicación de parcelas. Eso es mas practico si existen métodos rápidos, eficientes y efectivos de tamizado para aplicarse a números grandes de individuos. El tamizado en etapas tempranas puede ser usado para eliminar genotipos no deseables (p.e. susceptible a los virus o nematodos controlado por genes mayores), o las familias menos deseables, antes de llevar la población al campo de evaluación y selección con sus altos costos logísticos y económicos.

La evaluación cuantitativa de los caracteres múltiples asociados con la calidad para procesamiento requiere recursos significantes, relegando la selección de clones para fritura en hojuelas a las etapas medianas y tardías, dependiendo de las prioridades relativas del programa total.

La alta correspondencia de materia seca y color de hojuelas encontrada en Holanda entre tubérculos de 10 variedades producidos en un tinglado con los producidos en el campo, sugerido a Neele y Louwes (1989) estudiar las mismas correlaciones entre plántulas (en la fase temprana de selección) y parcelas (normalmente más tarde) del campo. Usando el método de *peso bajo del agua* para estimar la gravedad específica, y la gluco-cinta para el contenido de AR en individuos de 10 familias, se encontraron altas correlaciones ( $r=0.88$  y  $r=0.91$ , respectivamente) entre las plántulas y parcelas del campo. En el mismo experimento, la correlación entre las familias y los valores promedio de los progenitores en el ensayo del campo para gravedad específica (similar a materia seca) fue de  $r=0.71$ . Con este resultado sugieren que se debe tratar de identificar solo las mejores familias y no necesariamente los mejores clones para color de hojuela con esta técnica, dado a la significancia de la interacción GxA sobre la característica. Sugieren practicar una selección familiar y una ligera selección al nivel clonal para gravedad específica, por ejemplo basado en la desviación estándar del ambiente, dividiendo los clones en las mejores familias en categorías bajo, medio, alto y muy alto.

Métodos acelerados de selección para buen color de hojuelas en etapas tempranas también han mostrados resultados exitosos en un programa de los EEUU y uno de Europa (Thill y Peloquin 1995; Mackay 2000).

### Selección en ambientes adversos

Los programas de mejoramiento del CIP en el Perú y del INTA, Argentina (Cacace et. al. 1994) aplican estrategias para evaluar clones y progenitores bajo de condiciones de estrés abiótico como temperaturas altas, la salinidad y la escasez de agua durante la tuberización para seleccionar variedades con contenidos de materia seca más altos que las que han sido importadas de los países del norte.

### Uso de los recursos genéticos

Esfuerzos de varios programas de mejoramiento de seleccionar cultivares que produzcan hojuelas claras directamente del frió ha resultado en un uso más amplio del germoplasma de los especies silvestres que posean características favorables (Pavek 1987; Plaisted y Hoopes 1989). Se han identificado fuentes de alta materia seca y estabilidad de AR en frió en especies silvestres así como en especies cultivadas de papa, nativas de la zona andina. Sin embargo estas especies normalmente no pueden ser usados directamente en mejoramiento, dado sus bajos rendimientos, formas de tubérculo no apropiadas, periodos vegetativas y dormancia cortos o muy largos, etc.

Colon et. al, (1989) seleccionaron 26 clones diploides de *S. phureja* y *S. goniocalyx* moderadamente resistentes al endulzamiento en frió (EF) o aceptable habilidad para reacondicionamiento (RA) para cruzarse con variedades Tuberosum llevando las mismas características por medio del sistema de gametos no reducidos. Evaluaron selecciones 2x (Tuberosum x Goniocalyx) y 4x (Tuberosum x Phureja), conjunto con un grupo de clones Tuberosum bajo diferentes condiciones de

almacenamiento en un programa de mejoramiento durante un periodo de 10 años. Encontraron efectos significativos en el orden 'Genotipo' > 'Año' > 'Genotipo x Año' en su análisis de varianza de las dos características, comprobando los cuadros medios contra la interacción G x A cuando esa interacción fue significativa ( $p < 0.05$ ). Identificaron clones resistentes al EF y con buena RA en varios progenies, con mejores formas de tubérculo, profundidad de ojos y color que los especies donantes; sin embargo persistía una moderada corta dormancia. Estos autores propusieron herencias para las dos características o recesivas o basados en un set de genes complementarios y no-aditivos.

Hanneman (1993) informó sobre la posible utilidad de 7 especies de América del Norte y más que 15 de América del Sur en el desarrollo de variedades con aptitud para procesamiento directamente del frío. El mejoramiento para procesamiento en Japón está usando *S. demissum*, *S. chacoense* y *S. stoloniferum* como fuentes de alta materia seca y *S. tuberosum* subsp. *andigena* para su tolerancia al endulzamiento.

Serquen y Peloquin (1996) presentaron estudios de la contribución de los híbridos *tuberosum* haploide al rendimiento y la calidad post-cosecha. A partir de poblaciones constituidos por híbridos entre *Tuberosum* 2x y las especies *S. berthaultii*, *S. bukasovii* y *S. sparsipilum*, lograron seleccionar progenitores superiores al nivel 2x para características de color de hojuela, aspecto del tubérculo y efectos heteróticos en rendimiento. Mientras que el uso de haploides de *tuberosum* aportaba a obtener familias con mayor tuberización, efectuando este tipo de pre-mejoramiento de los silvestres, es importante conocer también como estas selecciones combinan con progenitores tetraploide.

### Papel de la biotecnología

La biotecnología ya está apoyando al mejoramiento de papa con técnicas de multiplicación rápida, la detección y la diagnóstica. La biología molecular ofrece nuevas herramientas para estudiar, manipular o modificar procesos metabólicos, como son la defensa de las plantas frente a patógenos, producción bajo del estrés abiótico, la calidad post-cosecha, y otros. La promesa más significativa de la biotecnología aplicada a mejoramiento radica del hecho que los métodos para evaluar y manipular variabilidad al nivel del ADN nos permitan aprovechar de la información genotípica y no solo fenotípica.

La última década ha traído una explosión de información sobre la estructura, la organización y funciones de los genomas de plantas, incluyendo la disponibilidad de mapas genéticos de alta densidad.

Una aplicación de nuevas tecnologías del mapeo ha sido la disección genética de características cuantitativas en forma más precisa que antes. Específicamente, el mapeo con marcadores genéticos de ADN permite enumerar y ubicar efectos genéticos dentro y entre las cromosomas de un cultivo. Esto se logra mediante análisis fenotípico y molecular de una progenie que segrega a la vez por una característica cuantitativa, p.e. materia seca, glicoalcaloides, etc., y para marcadores moleculares.

## **Mapeo genético con marcadores moleculares**

Los marcadores pueden ser o neutros, representando una secuencia de ADN anónima, o conocidos, que codifican por un gen o una proteína ya publicada. De esa manera se busca una explicación de la variabilidad cuantitativa en términos de su arquitectura genética y bioquímica, ubicando los loci implicados en el genoma, e identificando marcadores neutros ligados a estos factores (*tags*) que facilitan su monitoreo en futuras generaciones de mejoramiento y la prueba de hipótesis de similitud o diferencia entre diferentes recursos genéticos llevando las mismas características.

En caso de contar con información genética o bioquímica sobre los caminos metabólicos involucrados en una dada característica, el mapeo, o la genética de asociación, llega a ser mas preciso, ayudando a desarrollar inferencias sobre los papeles de los genes que gobiernan la variabilidad.

La existencia de mapas genéticos de los 12 cromosomas de papa y un buena base de conocimiento de la bioquímica de la fotosíntesis, el metabolismo de carbohidratos el transporte de energía, no solo en papa (e.g. Fromer y Sonnewald 1995), además de la disponibilidad las secuencias de ADN de genes implicados (e.g. Du Jardin et al. 1995) facilita el mapeo de esta característica. Con estudios de genes candidatos se aprovecha directamente del hecho de que diferentes especies de plantas comparten algunas de los mismos procesos metabólicos y rutas bioquímicas.

Varios grupos de investigadores han estudiado la acumulación de materia seca en la papa a través del mapeo genético (Freye y Douches, 1994; Schafer-Pregl et. al. 1998; Chen et. al. in press), basado en marcadores neutros y candidatos. Chen et al. (in press) estudiaron la segregación de alelas de unos 60 genes ya conocidos, tomándolos como 'candidatos' para explicar la acumulación de materia seca en papa, para ubicarlos en el mapa genético de este cultivo. Eso permitió ver la correspondencia entre estos genes y los loci QTL (quantitative trait loci en ingles) previamente identificado controlando la acumulación de materia seca.

## **Bioquímica y biología molecular**

La acumulación de almidón en los tubérculos maduros de papa es el resultado de la fijación de carbón por la fotosíntesis, la síntesis de almidón y su conversión en sucrosa en las hojas activas en fotosíntesis, el transporte vascular de sucrosa desde el follaje hacia los tubérculos, y la síntesis y degradación de almidona en el tubérculo durante el crecimiento y el almacenamiento.

Para caracterizar un proceso complicado como esto, la genética molecular también dispone de métodos para identificar y ubicar los alelos específicos de los posibles genes involucrados, y seguir la expresión de esos genes en diferentes fondos genéticos o condiciones de desarrollo/ ambiente, a través de su actividad enzimático o la producción del RNA respectiva.

Las características de calidad post-cosecha: calidad de almidón, absorción de aceite, el endulzamiento al frío, la acumulación de glicoalcaloides, entr otos, son sujetos de las estrategias para la manipulación transgénica.

Los desafíos para el uso de la biotecnología incluyen:

- Sólo un número limitado de genes responsables para la calidad de procesamiento ha sido identificado
- Alto costo de selección asistida
- Opinión pública de los OGM

### **Soluciones propuestas**

- Descubrimiento de genes y promotores
- Protocolos de menores costos
- Genes de origen vegetal
- Nuevas herramientas (e.g. marcadores no-antibióticos) para la biología molecular

La entrega de nuevos productos de papa a la comercialización, estrategias regionales/globales?

Un factor importante la realización de oportunidades para la modernización de la producción y participación en nuevos mercados de la papa es la integración de esfuerzos de diferentes actores en la cadena, entre ellos: los productores, los investigadores, las semilleras, las instituciones de varios tipos (programas nacionales, internacionales, ONGs), los procesadores, los consumidores.

Estos actores comparten responsabilidades y tienen capacidades complementarios para la identificación de oportunidades y requisitos del mercado y el desarrollo y introducción de productos de alta calidad. Existen diferentes modalidades como los proyectos especiales, los acuerdos entre instituciones de investigación con la industria, cooperaciones o redes regionales. El programa de mejoramiento de Agriculture y Agri-Food Canada, está experimentando un modelo "Accelerated Release Program" que formaliza acuerdos, intereses y capacidades complementarios entre la investigación y la industria de procesamiento de papa.

Parece que una estrategia global para el mejoramiento de papa para el procesamiento actualmente no existe, pero, para lograr los avances necesarios, es muy importante que los diferentes programas de investigación, instituciones nacionales y regionales colaboran en el intercambio de experiencias y información. Componentes críticos de tal estrategia serían:

### **La investigación colaborativa**

La disposición de redes de información, llevando

- Características de clones promisorios, progenitores y variedades probadas/lanzadas
- Métodos de evaluación apropiados y comunes
- Zonificación agroecológica
- Evaluación en red
- Herramientas para biotecnología: mapas y marcadores de consenso
- Publicación de los logros

## Métodos participativos con los diversos usuarios

Retroalimentación de esta información al los programas respectivas de investigación.

## Referencias

- Cacace, J.E.; Huarte, M.A., and Monti, M.C. 1994. Evaluation of potato cooking quality in Argentina. *American Potato Journal* 71(3):145-153.
- Chen, X., Salamini, F., and Gebhardt, C. A potato molecular function map for carbohydrate metabolism and transport. (In press.)
- Colon, L.T.; Sijpkens, L., and Hartmans, K.J. 1989. The cold stability of *Solanum goniocalyx* and *S. phureja* can be transferred to adapted diploid and tetraploid *S. tuberosum* germplasm. In: Louwes, K.M.; Toussaint, H.A.J.M.; Dellaert, L.M.W. (comp.). Parental line breeding and selection in potato breeding. Proceedings of a joint conference. Conference of the EAPR Breeding Section and the EUCARPIA Potato Section, Wageningen (Netherlands). 11-16 Dec 1988. pp. 76-80.
- Douches, D.S. and Freyre, R. 1994. Identification of genetic factors influencing chip color in diploid potato (*Solanum* spp.). *American Potato Journal* 71(9):581-590.
- Du Jardin, P.; Rojas-Beltran, J.; Gebhardt, C.; Brasseur, R. 1995. Molecular cloning and characterization of a soluble inorganic pyrophosphatase in potato. *Plant Physiology* 109:853-860.
- Ehlenfeldt, M.K.; Boe, A.A., and Johansen, R.H. 1988. Inheritance of reducing sugar accumulation in progeny lines of cold chipping potato clones. In: 73rd Annual Meeting of the Potato Association of America. Corvallis, Oregon (USA). 30 Jul - 3 Aug 1989. Sum. only. *American Potato Journal* (66(8):519.
- Frommer, W.B. and Sonnewald, U. 1995. Molecular analysis of carbon partitioning in *Solanaceus* species. *J. Exp. Bot.* 46:587-607.
- Hanneman, R.E. 1993. Ability of wild and cultivated potato species to chip directly from 2C storage. *American Potato Journal* 70:814-815.
- Killick, R.J. and Simmonds, N.W. 1974. Specific gravity of potato tubers as a character showing small genotype-environment interactions. *Heredity* 32(1):109-112.
- Mackay, G.R. and Todd, D. 2000. A targeted and accelerated approach to breeding potatoes for processing. Abstract presented at the EARP/EUCARPIA Meetings held in Warsaw, Poland, July 3-7, 2000. pp. 10-11.
- Mendoza, H.A., Mihovilovich, E.J., and Saguma, F. 1996. Identification of triplex potato virus Y (PVY) immune progenitor derived from *Solanum tuberosum* ssp. *andigena*. *American Potato Journal* 73(1):13-19.
- Neele, A.E.F. and Louwes, K.M. 1989. Selection of potato seedlings for chip quality and dry matter content. In: Louwes, K.M.; Toussaint, H.A.J.M.; Dellaert, L.M.W. (comp.). Parental line breeding and selection in potato breeding. Proceedings of a

joint conference. Conference of the EAPR Breeding Section and the EUCARPIA Potato Section, Wageningen (Netherlands). 11-16 Dec 1988. p. 207.

Pavek, J.J. 1987. Some interesting aspects of recent and expected developments in potato breeding in North America. *Acta Horticulturae* 213-61-65.

Plaisted, R.L. and Hoopes, R.W. 1989. The past record and future prospects for the use of exotic potato germplasm. *American Potato Journal* 66:607-627.

Schafer-Pregl, R.; Ritter, E.; Concilio, L.; Hesselbach, J.; Lovatti, L.; Walkemeier, B.; Thelen, H.; Salamini, F.; Gebhardt, C. 1998. Analysis of quantitative trait loci (QTLs) and quantitative trait alleles (QTAs) for potato tuber yield and starch content. *Theoretical and Applied Genetics* 97(5-6): 834-846.

Serquen, F.C. and Peloquin, S.J. 1996. Variation for agronomic and processing traits in *Solanum tuberosum* haploids x wild species hybrids. *Euphytica* (Netherlands) 89(2):185-191.

Stevenson, F.J.; Akeley, R.V.; McLean, J.G. 1954. Potato utilization in relation to variety (Heredity) and environment. *American Potato Journal* 31(10):327-340.

Thill, C.A.; Peloquin, S.J. A breeding method for accelerated development of cold chipping clones in potato. *En. Diagr. Sum. (En). Tabs. Euphytica* (Netherlands). ISSN 0014-2336. 1995. 84(1):73-80.

Zhang et. al. 1987