23352

CAPITULO II
Trabajos de Investigación y Agronomía en Papa

Genética y Mejoramiento de la Papa

Edgar Hernández Castillo y Ramón Pineda Colorado

EDGAR HERNANDEZ CASTILLO

ESTUDIOS
Ingeniero Agrónomo. U.N., Agronomía Bogotá. Especialización: Mejoramiento de Plantas. U. Agraria La Molina, Lima Perú.

EXPERIENCIA PROFESIONAL
ICA Programa de Papa. Centros: Surbatá (Duitama), Obonuco (Pasto), San Jorge (Soacha). Con la participación del Convenio Colombo-Holandés, para investigación en Nemátodo quiste de la Papa. En el Convenio ICA-CIP-Pracipa y en el Convenio: U.N. - ICA y Fedepapa (UNIPAPA).

Colaboró en el desarrollo de nuevas variedades: Consumo e Industria y en el Proyecto de producción: Semilla Básica de Papa.

Autor de diferentes artículos sobre genética, mejoramiento y manejo del cultivo de la Papa.

En 1996: Director del Centro San Jorge, ICA Soacha.

1. TAXONOMIA

Las especies tuberíferas del Género ***Solanum*** pertenecen a la Sección Petota (=Tuberarium) y a la Subsección Papa (=Hyperba-sartrhum) (Tabla 1).

Según Hawkes (1978) la Subsección Papa comprende 18 series, las cuales involucran más o menos 158 especies, cuyo grado de ploidía va desde diploides hasta hexaploides o sea que en ellas se pueden encontrar números somáticos de cromosomas de 24, 36, 48, 60 y 72.

La serie Tuberosa es importante porque comprende las especies cultivadas. Sin embargo, las otras series tienen importancia para el fitomejorador porque son fuentes de resistencia para varios factores con los cuales él trabaja. Por ejemplo, las dos especies cultivadas **S. *juzepczukii*** y **S. *curtilobum***, que son resistentes a heladas, tienen la especie silvestre **S. *acaule*** como progenitor, de esta manera esta característica deseable es posible introducirla a variedades cultivadas en base a cruzamientos.

El nombre latino de la papa ***Solanum tuberosum*** fue dado en 1.596 por el botánico Gaspar Bauhin. Desde la

RAMON PINEDA C.

ESTUDIOS
Ing. Agrónomo Universidad Nacional Bogotá. 1967-1973 • M. Sc. Fitomejoramiento, Universidad Nacional Bogotá. 1979-1981 • Ph.D. Plant Genetics, University of Wisconsin USA 1986-1989 • Extensionista agrícola, ICA. 1974-1980 • Fitomejorador, ICA 1989-1991 • Genetista-Fitomejorador, ICA 1989-1991

ACTIVIDADES CIENTIFICAS
Líder en: • Participación en la Colección de Especies Silvestres de Papa en Colombia. 1992 • Proyecto Colaborativo ICA-CIP: Prueba y selección de nuevos clones de papa con agricultores (Fondos PNUD). 1993 • Interventor proyecto: Producción de semilla de papa criolla. FEDEPAPA-CORPOCEBADA. 1994. • Scientific adviser. International Foundation for Science, FIS. (Diez proyectos evaluados). 1992

Publicaciones: más de 30 en temas genéticos, fitomejoramiento técnicas en biotecnología y biología molecular.

Tabla 1. Clasificación sistemática de las Especies tuberíferas de *Solanum*.

FAMILIA:	Solanaceae
GENERO:	Solanum
SUBGENERO:	Papa
SECCION:	Patota
SUBSECCION:	Papa
SERIES:	32 (S.M. Bukasov, 1933) 26 (D.S. Correll, 1962) 18 (J.G. Hawkes, 1978)

primera mitad del presente siglo se han efectuado numerosas expediciones científicas en el continente americano con el propósito de recolección de las especies cultivadas y silvestres relacionadas con la papa.

En la actualidad, a la luz de muchos descubrimientos precedentes, se tiene mayor claridad en la clasificación. La citología y la genética unidas a las técnicas quimiotaxonómicas y de taximetría modernas permiten mejor visión de los patrones genéticos responsables de la variabilidad y de los limites que debe tener el concepto de especie.

2. ORIGEN

Los cronistas españoles han presentado las primeras referencias escritas sobre la papa. Las representaciones fitomórficas de tubérculos en tejidos y cerámicas datan de los primeros siglos de nuestra era. La papa inició la conquista de nuevos continentes a partir del año de 1570, pero su domesticación se pierde en la antigüedad; probablemente se inició con la llegada del hombre al continente americano hace no menos de 10.000 años.

Es evidente que hay gran diversidad genética de especies cultivadas y silvestres de papa en la región andina de América del Sur y la mayor concentración de diversidad específica se encuentra en las regiones centrales de Perú y Bolivia. En esta región numerosos cultivadores nativos muestran una gran variación en el tipo de hoja, color de la flor y características de los tubérculos como forma, color y sabor. De esta manera Vavillov determinó que el centro de origen de la papa se encuentra en esta región. Esta se ha complementado con evidencias arqueológicas, que prueban que varias culturas antiguas, tales como la Inca, Tiahuanaco, Nazcaa y Mochica, cultivaron la papa durante miles de años.

La evolución de la papa cultivada aparentemente se originó a partir del nivel diploide. Las fuerzas evolutivas de selección, migración, mutación, hibridación, polipidización e introgresión han contribuido a la divergencia y explican el origen de la gran variabilidad genética presente en las especies tuberíferas silvestres y cultivadas. La propagación vegetativa por medio de tubérculos facilitó la perpetuación de los poliploides impares, así como los cultivares más favorables. Sin lugar a dudas, la selección natural y humana jugó un papel importante en características de plantas con estolones cortos, tubérculos grandes, buen sabor y otras características agronómicas, tales como resistencia a heladas.

3. POLIPLODIA

El número genomial básico de las especies de la Sección Petota (*tuberarium*) es de X=12, de esta forma el germoplasma de especies tuberíferas de ***Solaunm*** se presentan en una serie poliploide con números cromosómicos somáticos naturales desde diploides (2n=2x=24) a hexaploides (2n=2x=72). Las hibridaciones interespecíficas

Tabla 2. Número cromosómico y distribución de las especies cultivadas (Egúsquiza, 1987)

CROMOSOMAS	ESPECIES	DISTRIBUCION
2n = 2x = 24	**S. *stenotomum***	Perú y Bolivia
2n = 2x = 24	**S. *phureja***	Colombia, Perú , Ecuador, Colombia y Bolivia.
2n = 2x = 24	**S. *gonniocalyx***	Perú, Bolivia
2n = 2x = 24	**S..*x ajanhuiri***	Perú, Bolivia
2n = 2x = 36	**S.*x juzepczuckii***	Perú, Bolivia, Argentina (NO)
2n = 3x = 36	**S.*x chaucha***	Colombia, Perú, Bolivia, Ecuador NO Argentina
2n = 4x = 48	**S. *tuberosum*** *ssp. tuberosum* *ssp. andigena*	Sur de Chile países Andinos
2n = 5x = 60	**S. *curtilobum***	Perú, Bolivia NO Argentina

dependen entonces del grado de parentesco y del paralelismo en el número ploídico. Las semillas sexuales se desarrollarán normalmente cuando presentan una relación cromosómica de 2:3:2 en el embrión, endospermo y tejidos somáticos de la planta madre; la hibridación entre progenitores de diferente número cromosómico altera esta relación y se produce incapacidad en el endosperma para diferenciarse y nutrir al embrión; en caso de producción de semilla, ésta puede ser inviable o de naturaleza cromosómica euploide, lo que conduce invariablemente a la esterilidad de sus gametos, dificultándose su uso posterior en el mejoramiento.

Las consecuencias genéticas de la poliploidía son más significativas en el caso de la papa. Por una parte, las papas tetraploides cultivadas son las de mayor capacidad productiva y de mejor rango de adaptación que las diploides y por otra parte, las diploides constituyen el 74% del germoplasma tuberífero.

3.1 ESPECIES CULTIVADAS

Las especies cultivadas presentan un valioso recurso para el desarrollo de nuevas variedades de papa, sus formas indígenas contienen una amplia variabilidad genética, se conservan desde tiempos prehispánicos y se cultivan preferiblemente en las regiones montañosas de Suramérica.

Según la taxonomía de Hawkes (1978) existen 8 especies (Tabla 2).

3.2 ESPECIES SILVESTRES

Las especies silvestres son importantes por poseer resistencias no encontradas hasta ahora en papas cultivadas. En los inicios de la investigación en papa se llegó a creer que no era necesario utilizar este germoplasma por tener una serie de desventajas como estolones largos y escasa tuberización.

Existen aproximadamente 160 especies silvestres de papa en las Américas. En el norte se encuentran desde el Sur de los Estados Unidos, pasando por México, América Central y en los paises andinos hasta Chile en el sur. Crecen desde el nivel del mar hasta más de 4.000 m de altitud. El 19% de las especies silvestres se encuentra en América del Norte y América Central y el 81% en América del Sur. El 54% de las especies suramericanas se encuentra en el Perú. En Colombia se han colectado entre otras las siguientes especies silvestres: **S. *juglandifolium*, S. *colombianun*, S. *moscopanum*, S. *tuquerrense*** y **S. *andreanum*.**

4. GENETICA EN LA PAPA

4.1. HERENCIA TETRASOMICA

La papa es una planta autógama con un porcentaje de polinización cruzada que varía del 5% al 25% dependiendo de las condiciones ambientales y de la variedad.

La papa que se cultiva comúnmente es tetraploide (2n=4x=48) y tiene herencia tetrasómica o sea que hay 4 cromosomas homólogos en lugar de dos. De este modo, hay cuatro alelos por locus. Cinco genotipos, AAAA (cuádruplex), AAAa (triplex), AAaa (dúplex), Aaaa (simplex) y aaaa (nuliplex) son posibles en cada locus y se pueden generar tres diferentes tipos de gametos en cada locus: AA, Aa y aa. de esta manera, la proporción de segregación de las tetraploides es diferente de la de los diploides. Por ejemplo, si se autofecunda una planta heterocigota AAaa (dúplex), para que en los descendientes haya la posibilidad de que se presente una planta homocigota recesiva (aaaa) se necesita como mínimo una población de 36, mientras que en las diploides se necesitan tan sólo 4 plantas. Esta situación ha dificultado mucho los estudios genéticos de herencia sobre la mayoría de los carácteres comerciales.

4.2 HETEROSIS Y SEGREGACION

La constitución genética de la papa es heterocigota para muchos carácteres y para obtener homocigosis se requieren varias autofecundaciones, lo que puede traer como consecuencia la acumulación de genes desfavorables y la presencia de individuos degenerados.

Debido a esta constitución altamente heterocigota, cuando se autofecunda una variedad se presenta una amplia segregación.

Se considera que para que se presenten dos genotipos iguales en esta segregación debe tenerse por lo menos un millón de plántulas.

4.3 AUTOINCOMPATIBILIDAD

En algunas especies diploides de *Solanum* se presenta autoincopatibilidad del tipo homomórfico. Esta dificultad consiste en que no es posible obtener descendencia con la autofecundación de una variedad. El polen y el estigma son concompatibles y no se produce elongación del tubo polínico impidiéndose la fecundación del óvulo. Este fenómeno dificulta la purificación de una variedad para determinadas características.

4.4 ESTERILIDAD

Está referida a la incapacidad de uno de los gametos para su desarrollo o función de fertilización con el gameto de sexo opuesto o la incapacidad de una planta para producir semilla sexual viable.

Puede ser causada por acción genética en los cruces interespecíficos

donde las diferencias de parentesco determinan diferencias en la estructura genomial.

En otros casos se ha encontrado acción citoplasmática como responsable de la esterilidad de plantas madres. Los extremos climáticos también pueden causar esterilidad; alta temperatura afecta los procesos gametogenéticos, el crecimiento del tubo polínico o la formación de endosperma.

La humedad ambiental y la luminosidad también afectan el desarrollo de los gametos y el éxito o fracaso de los cruzamientos.

5. METODOS DE FITOMEJORAMIENTO

Actualmente se trata de diferenciar entre métodos tradicionales, métodos modernos que utilizan técnicas relacionadas con biotecnología. En los primeros el manejo de los individuos y los cruzamientos siguen el sistema natural; en los segundos, se emplean técnicas especiales para modificar los individuos y permitir las combinaciones genéticas que no se dan en forma natural.

5.1 METODOS TRADICIONALES

La base genética del fitomejoramiento en papa ha sido la especie ***Solanum tuberosum*** con sus subespecies *andigena* y *tuberosum*; combinando estos dos genomas es como se ha obtenido la mayoría de las variedades en el mundo, aprovechando cierta diversidad genética que produce niveles aceptables de vigor hibrido. Esporádicamente se han utilizado especies cultivadas y silvestres relacionadas.

Los métodos preferidos por los fitomejoradores han sido:

a) Pedigree. Este se caracteriza por mantener la información de parentesco entre generaciones o algo así como un árbol genealógico.

b) Retrocruzamiento. En éste un genotipo receptor, generalmente élite pero carente de un carácter especifico, se cruza por varias generaciones con un genotipo donante de dicho carácter para lograr una combinación perfecta.

c) Selección recurrente. Se persigue con éste un aumento de la frecuencia genética de factores que controlan características de importancia económica dentro de una población donde sus individuos se intercruzan en forma controlada por varias generaciones.

5.2 METODOS MODERNOS

Básicamente existe en estos una manipulación genética o cromo-

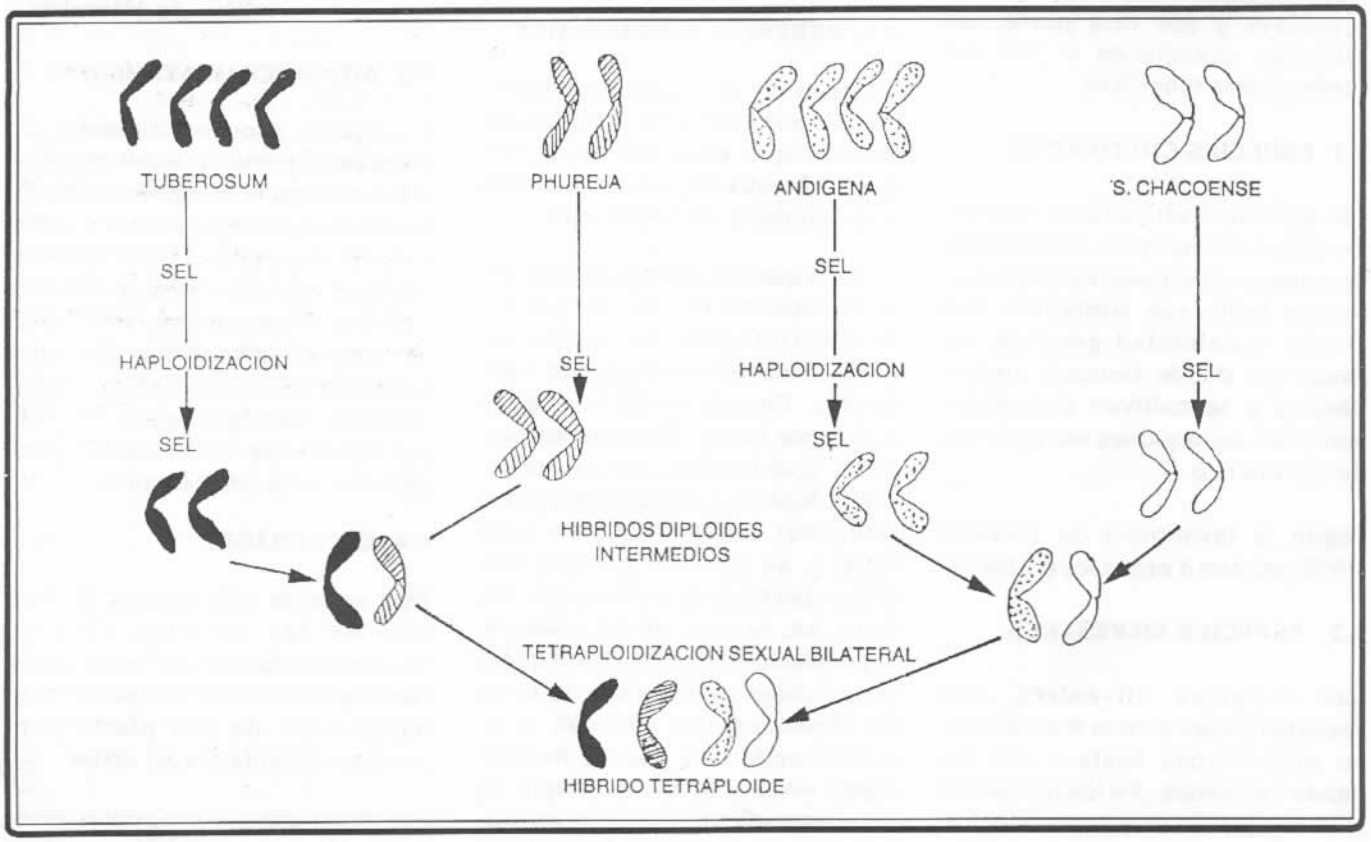

Figura 1. Esquema de Mejoramiento para aprovechar: herencia disómica, diversidad genética y poliploidización bilateral, adaptado de Chase (1963)

sómica artificial para lograr nuevas combinaciones; estos métodos se han favorecido de fenómenos que sólo ocurren en la naturaleza deforma extraordinaria como las mutaciones, simbiosis, apomixis, transformaciones, etc.

En papa el uso de mutantes melóticos y algunos tipos de apomixis han sido utilizados en las dos últimas décadas persiguiendo unas metas que se pueden ver gráficamente en Figura 1.

En este esquema los haploides de especies tetraploides se producen al desarrollarse óvulos fecundados, después de que ha ocurrido el estímulo de la polinización por ciertos clones diploides derivados de **S.*phureja*** llamados "inductores" como IVP-35 y I.22, con esto el nivel de las papas tetraploides se reduce de 48 a 24 cromosomas para cruzarlas con especies diploides.

El retorno a la condición tetraploide (4x=48) de la diploide (2x=24) se logra utilizando mutantes meióticos que producen esporas no reducidas, es decir de 24 cromosomas y no de 12, el producto final de cruzamientos 2X x 2X o 4X x 2X será de 48 cromosomas.

Otros métodos que aún se encuentran en etapa de experimentación pero que llegarán a aplicarse en un futuro son: Función de protoplastos, producción de haploides a partir de cultivos de anteras, transformaciones o producción de plantas transgénicas, mutaciones dirigidas, etc.

5.3 TECNICAS DE SELECCION

Normalmente se conocen dos tipos de selección de plantas: a. Directa y b. indirecta o de factores correlacionados.

En la directa, las plantas deben manifestar fenotípicamente el carácter que se pretende evaluar. Algunos de estos caracteres presentan herencia simple y son fáciles de manejar, pero generalmente para caracteres de importancia económica estos son de herencia compleja o poligénica y su rendimiento y calidad requieren de técnicas y diseños estadísticos.

Los indirectos aprovechan las correlaciones genéticas como es el caso de presencia de pelos glandulares en las hojas o sustancias químicas en los tubérculos y resistencia a insectos o porcentaje de materia seca y calidad culinaria. Esta selección presenta también complejidad en sus análisis por tratarse de caracteres variables.

En los últimos años se están utilizando, para la selección de caracteres variables, otros caracteres correlacionados que son estables y poco influenciados por el ambiente, estos son los marcadores genéticos, las bandas de proteínas, de isoenzimas y de genes (RFLP), que se descubre por electroforesis.

6. PRODUCCION DE VARIEDADES MEJORADAS DE PAPA EN COLOMBIA

Colombia hace parte del principal centro de origen de las especies cultivadas y silvestres de papa, los otros paises son Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. Debido a esto además de poseer una gran variabilidad fenotípica en cultivares, posee igualmente una amplia variación en fuentes de resistencia genética a plagas y enfermedades, las cuales a través de muchos años han coevolucionado con la planta.

Esta circunstancia hace que sea casi obligatorio el no detener el avance evolutivo de la especie, para que ésta, al igual que sus enemigos naturales, alcance cada día mayor adaptación a un medio ambiente que cambia aceleradamente. Esta evolución en las plantas se hace más efectiva con la ayuda de fitomejoramiento en el proceso de búsqueda de nuevas y mejores variedades.

Colombia también y con grandes ventajas está ubicada en una región del planeta que muchos consideran como la despensa agrícola y alimenticia del futuro, la papa es uno de los cultivos que de desarrollarse eficientemente podría no sólo solucionar en parte como hasta ahora el problema alimentario de clases menos pudientes, sino que puede llegar a constituirse en un importante renglón de exportación.

La competitividad del cultivo a nivel nacional e internacionalmente se verá muy favorecida con la producción de mejores variedades que directa o indirectamente contribuyen a reducir los costos de producción y satisfagan las necesidades de la industria de procesados y subproductos.

Los problemas que enfrente el cultivador de papa en Colombia son tanto de orden técnico como económico, dentro del primero las enfermedades, principalmente causada por el hongo ***Pytophthora infestans*** y las plagas del tubérculo, principalmente el Gusano Blanco (***Premnotrypex vorax***) y las Palomillas (***Phtorimaeas*** y ***Tecia solanivora***), son las que más afectan los rendimientos, la calidad del producto y al final la rentabilidad del cultivo.

Dentro de los factores económicos, los que más inciden obedecen al continuo aumento en los costos de los insumos y de la mano de obra utilizados, pero principalmente de la compleja estructura del mercadeo de este tubérculo. Los problemas técnicos en forma directa y los económicos en forma indirecta

pueden ser superados con nuevas variedades, que además de poseer resistencia a las principales enfermedades y plagas, sean más eficientes en el uso de los fertilizantes y requieran menos manejo en el campo por su precocidad.

El costante y acumulativo deterioro del medio ambiente, causado por el uso indiscriminado de insecticidas, fungicidas, es cada día más preocupante y a nivel internacional su disminución ocupa el interés de muchas organizaciones. Se piensa ya en el retiro obligatorio de variedades muy susceptibles a plagas y enfermedades.

Como respuesta a estos problemas, se ha logrado un gran avance en el conocimiento científico, de tal manera que con las técnicas de manipulación genética se puede pensar ya en la futura creación de los cultivos ideales y aunque esto puede estar aún muy lejos, se cuenta ya con técnicas que aumentan la eficiencia de la selección de plantas, lo que ayudado con el manejo sistemático de la información, permite que el trabajo de lo investigadores agrícolas sea mucho más eficiente y productivo.

Estas nuevas técnicas que están al alcance de paises en desarrollo, nos podrían convertir en líderes de la producción de variedades mejoradas de los cultivos anotados, de los cuales con ventaja poseemos el germoplasma nativo en sus naturales nichos ecológicos.

6.1 HISTORIA DEL MEJORAMIENTO DE LA PAPA EN COLOMBIA

En 1951 el doctor J.G. Hawkes publicó en la revista de Agricultura Tropical una completísima descripción de lo que fue la reorientación del programa de investigación en papa de Colombia, en este como en la mayoría de los programas de cultivo, las actividades giran en toro al mejoramiento genético. Para ese año los factores limitantes del cultivo se centraban en: métodos deficientes de cultivo, descuido en el control de plagas y enfermedades, uso ineficiente de fertilizantes y abonos, y pérdidas por heladas, sequía o exceso de lluvia. las estrategias para el aumento en los rendimientos se basaban en la "propaganda" para mejores técnicas de cultivo y facilidades de crédito; estudios experimentales para obtener variedades superiores resistentes a enfermedades y plagas, con mayor producción y calidad y de campañas para el uso de semilla certificada.

Las principales enfermedades reportadas fueron: gota, alternaria, roya, roña, polvosa, lama, "buba" (carbón), rhizoctoniasis, esclerotiniasis, fusarium, dormidera y pata negra. Los virus se describieron como enrollamiento, mosaico suave, mosaico rugoso, cálico y de amarillamiento de las venas. Como principales plagas se tenían: gusano blanco, chiza, pulguillas, minador y pulgones.

Las actividades se agruparon en proyectos a corto plazo (1-5 años), como los estudios de prácticas culturales. De mediano plazo (5-10 años), estudios de fertilización, plagas, serología, calidad y elementos menores. De largo plazo (10-15 años), producción de variedades resistentes a la gota, plagas, heladas, más precoces y de reposo corto y proyectos de "ciencia pura", sostenimiento de la colección viva, estudios botánicos y biométricos de las variedades, estudio de herencia de caracteres, fertilidad, esterilidad e incompatibilidad, estudios cromosómicos y empleo de colchicina, distribución de papas cultivadas silvestres y enfermedades y plagas, herbario y museo.

Para 1992, 41 años más tarde el plan de actividades de investigación en papa denominado Plan Operativo Anual de investigación (POAI) se dividia en siete grandes proyectos:

1. Colección, introducción, mantenimiento y evaluación de germoplasmas de papa.
2. Obtención de variedades mejoradas de papa.
3. Manejo y control de enfermedades de la papa.
4. Manejo y control de plagas de la papa.
5. Producción de semilla prebásica de papa.
6. Evaluación de las recomendaciones conjuntas sobre prácticas agronómicas.
7. Estudio de los factores limitantes que afectan la adopción de tecnología en papa.

El proyecto No. 2 que atañe al presente artículo, comprendía los siguientes subproyectos:

- Obtención de clones precoses.
- Obtención de clones con resistencia a la gota.
- Obtención de clones con calidad industrial.
- Obtención de clones en la extracción de nutrientes.
- Obtención de clones tolerantes a heladas.
- Obtención de clones resistentes a insectos.
- Evaluación de clones y variedades para industria.
- Selección de variedades en pruebas regionales.

La mejor forma de ver la continuidad de la investigación dentro del área del mejoramiento es analizar la producción de variedades mejoradas.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Tabla 3. Variedades mejoradas de papa entregadas a los agricultores por el ICA, Instituto Colombiano Agropecuario Sección de Tuberosas.

Nombre	Código	Genealogía	Año de Entrega	Centro o Estación
Parda Pastusa	44-57-1	Quincha x Tocana Colorada	1955	Tibaitatá
Diacol Monserrate	50-57-67	Branca Cascuda x Pana Blanca	1956	Tibaitatá
Diacol Cumbal	50-57-75	Branca Cascuda x Pana Blanca	1959	Obonuco
Diacol Guadalupe	50-44-87	Branca Cascudax Pajarita Careta	1960	Tibaitatá
Diacol Capiro	53-110-13	751 x Tuquerreña	1961	La Selva
Diacol Sumapaz	55-699-2	101 x Algodona	1961	Tibaitatá
ICA Cumanday	55-375-1	860 x Tuquerreña	1963	La Selva
ICA Alta Roja	798	Autofecundación de Alpha	1965	Tibaitatá
ICA Puracé	55-315-1	746 x Curipamba	1966	Tibaitatá
ICA Tenerife	55-300-1	691 x Ecuatoriana	1969	Tibaitatá
ICA Igrumá	55-244-2	Vertifolia x Lizaraza Rosada	1969	La Selva
ICA Quindío	57-875-1	Vertifolia x Leona	1970	Tibaitatá
ICA Tolima	59-908-7	Jabonilla x Yurac Tarma	1970	Tibaitatá
ICA Huila	59-908-8	Jabonilla x Yurac Tarma	1970	Tibaitatá
ICA Guantiva	59-908-22	Jabonilla x Yurac Tarma	1970	Tibaitatá
ICA Nevada	65-3-4d	Yema de Huevo x 1360	1972	Tibaitatá
ICA Sotará	5087 (15 U.S.W.)	Quimera de Katahdim	1972	Tibaitatá
ICA Nariño	63-94-4	((888 x (Jabonilla x Curipamba))) x Leona) x Tocana Blanca	1973	Obonuco
ICA Pandeazúcar	66-554-1	Vertifolia x Curipamba	1973	La Selva
ICA Picacho	66-566-29	125A x Curipamba	1973	La Selva
ICA San Jorge	66-520-12	Eersteling x Leona	1975	Tibaitatá
ICA Morasurco	66-511-10	Sotará x Renacimiento	1976	Obonuco
ICA Tibacuy	1142-A	Autofecundación	1977	Tibaitatá
ICA Tenquedama	71-33-2	(Madison x Jabonilla) x parda Pastusa	1978	Tibaitatá
ICA Guamués	71-41-5	(CCC 884 x Huacalajra) x Parda Pastusa	1981	Obonuco
ICA Chitagá	264 IN	Mutación somática de Diacol Monserrate	1982	Tibaitatá
ICA Mutiscua	66-680-7	C.C.C. 1254 x Argentina	1985	Pamplona

Hasta 1986 el ICA había entregado 27 variedades (Tabla 3), dentro de éstas sólo unas pocas son las que se cultivan y éstas poseen características casi en su totalidad superiores a las de las variedades nativas. Es de anotar el hecho de que la variedad más cultivada es la primera variedad lanzada. Parda Pastusa, pero esto ha sido fácilmente explicado por dos razones: 1. El patrón que el consumidor colombiano ha adquirido y 2. El efecto del intermediario en el mercadeo del tubérculo. De todas formas el incremento de rendimiento que con el buen manejo de esta variedad se ha logrado, deja ver la importancia del mejoramiento de los demás factores que componen el sistema de cultivo de la papa. La producción pasó de 4.8 ton/ha en 1948 a 16 ton/ha en 1988 y aproximadamente a 18 ton/ha en 1991, lo que constituye un aumento lineal con una proyección ideal óptima de 35 ton/ha que se lograría con variedades de alta producción como la ICA Puracé.

En 1995 se sacaron las variedades ICA- UNICA, ICA ZIPA e ICA MORITA.

La selección de variedades se ha realizado bajo un esquema (Figura 2), que aunque rígido en un principio es actualmente sólo una guía, ya que el principal objetivo de un proceso de varios años, que era el aumento del material para tener suficiente semilla para pruebas de comparación y lanzamiento, es ahora salvable con las nuevas metodologías de la multiplicación rápida de papa.

6.2 ENFOQUE ACTUAL DEL MEJORAMIENTO DE LA PAPA EN COLOMBIA

Con la reestructuración del ICA y el cambio del enfoque metodológico de la investigación apoyada por el estado al cual se dirige ahora a la implementación de las recomendaciones emanadas de grupos consultivos internacionales, se puede apreciar ahora una tendencia a limitar la participación del estado en la investigación y a concentrarse en teorías relacionadas con la agricultura de sostenibilidad, coordinadas por entidades de investigación básica o de enseñanza superior como las universidades.

La investigación práctica requerida por los diferentes sectores agroeconómicos deberá ahora ser realizada por los mismos interesados, productos Alimenticios Margarita inicia en 1996 actividades de investigación relacionadas con la producción de semilla sana y la obtención de nuevas variedades para industria.

Se podría sin embargo ahora limitar la investigación a necesidades específicas y posiblemente se perderían muchos de los avances logrados en algunos aspectos relacionados con proyectos más generales como son:

OBTENCION DE CLONES CON RESISTENCIA AL HONGO P. *infestans*

El mejoramiento para resistencia a **P. *infestans*** tuvo un gran desarrollo a nivel mundial debido al desastre que esta enfermedad causó en Europa, allí con una estrecha base genética en el cultivo de papa, el hongo se desarrolló de tal forma que no fue posible controlarlo. Los fitomejoradores europeos y americanos centraron su interés en las fuentes de resistencia reportadas en especies silvestres de Colombia y México como **S. *andreanum*** y **S. *demissum***, respectivamente: con éstas se inició un estudio profundo de la resistencia, encontrándose que existía tanto una resistencia específica o vertical condicionada por genes mayores y la inespecifica u horizontal debido a genes menores; la primera confiere inmunidad a determinada raza del hongo y es más fácil de incorporar, la segunda se encuentra en niveles bajos en la mayoría de los genotipos con algunas excepciones en clones de la **S. *andigena*** y otras especies cultivadas.

También fue posible estudiar las diferentes razas del hongo y seleccionar los que inicialmente se llamaron "filtros", ahora diferenciales, para distinguirlas entre si.

El hongo se encuentra en todas las áreas paperas de Colombia aunque actualmente el agricultor lo controla eficientemente, este control lo hace a costa de un alto uso de fungicidas y mano de obra que representa un 15% del costo total, pero principalmente a costa de la contaminación del medio ambiente. En promedio se realizan 9 aplicaciones durante el período vegetativo.

El proyecto inicial fue formulado en 1949 y se ha continuado con las modificaciones resultantes del avance en el conocimiento del hongo y de un mejor entendimiento de la relación genética y fisiológica entre la planta y el patógeno.

Con una prueba anual de aproximadamente 5.000 genotipos diferentes, el ICA ha desarrollado materiales de muy buena resistencia horizontal. Para la selección, siempre se ha preferido la búsqueda de este tipo de resistencia, sin embargo, hasta hace dos años se efectuaba la inoculación artificial de las plántulas en el semillero, lo cual hacia un poco más difícil la selección por resistencia horizontal, por esta razón se decidió no hacerla más o hacerla directamente en el campo con aislamientos de una raza compleja.

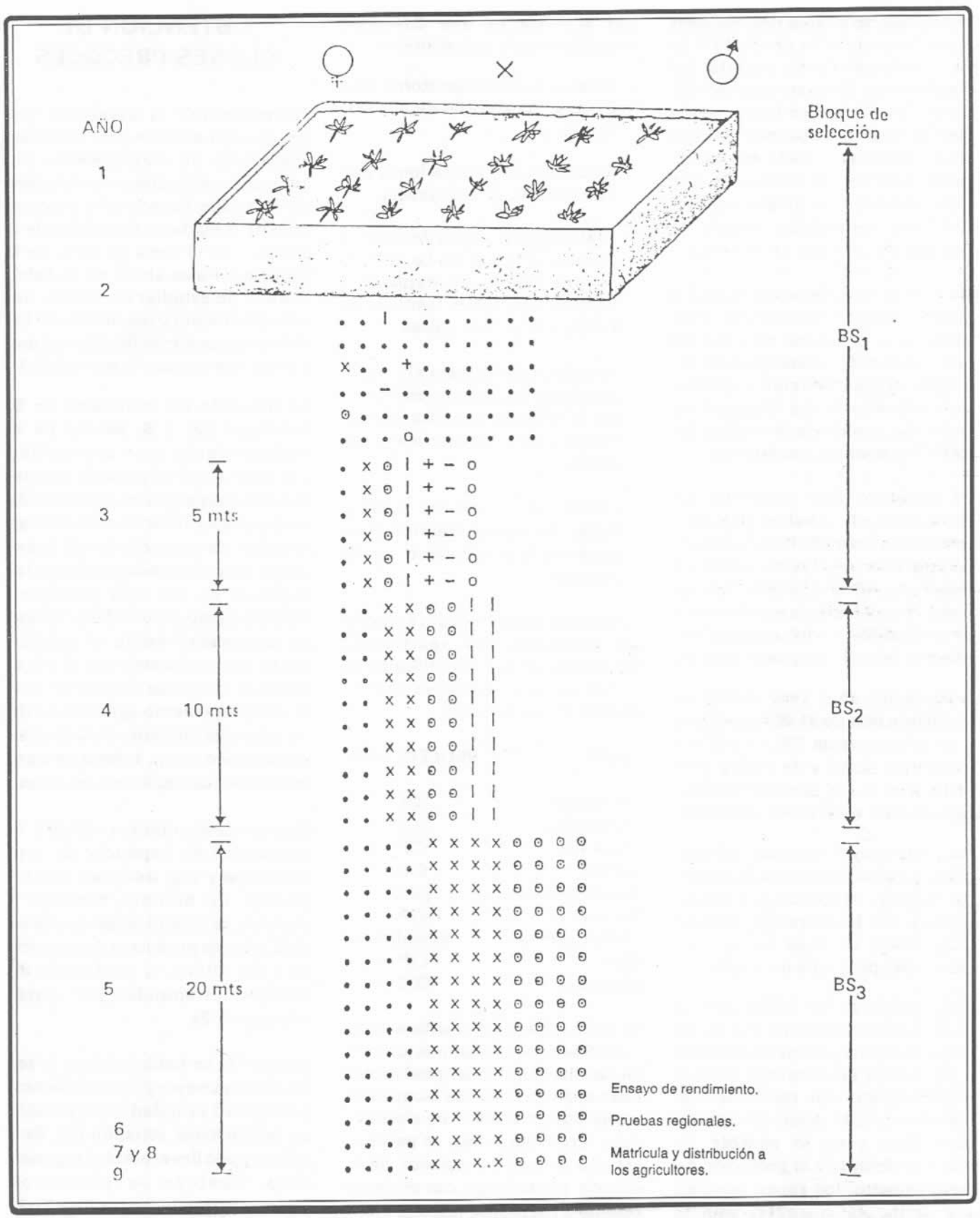

Figura 2. Proceso para la obtención de una variedad de papa

Este proyecto alcanzó proyecciones internacionales. Ya desde 1979 se ha venido evaluando material del Programa de Mejoramiento del CIP en el CI La Selva en lo que se ha denominado "Prueba internacional de **P. *infestans***". Cada año el CIP envía familias de tubérculos que son cultivados sin ninguna aplicación de fungicidas desde la inoculación artificial en el campo.

En 1991 se completaron 10 ciclos o poblaciones. Dentro de este material el programa nacional ha seleccionado los clones que por sus características generales podrán incluirse dentro los bloques de selección de variedades mejoradas del ICA y también progenitores.

El objetivo del proyecto de resistencia a **P. *infestans*** se puede resumir en: Desarrollo de acciones coordinadas para la producción de material genético con resistencia al hongo y caracteres agronómicos y de calidad adecuados a los requerimientos de los demás paises andinos.

Durante los años 1980 a 1983 se evaluaron más de 95.000 genotipos y se seleccionaron 770, en 1985 se evaluaron 12.000 y en 1990 y 1991 un total de 33.300. En 1983 también se probaron variedades europeas.

Para este proyecto se han utilizado como progenitores introducciones de México, Holanda y Estados Unidos, de la Colección Central Colombiana de Papa (CCC) y de clones del programa nacional.

Este proyecto se inició con la colaboración de Pracipa una nueva etapa que corresponde igualmente a un cambio en estrategia para el mejoramiento por resistencia al hongo en el CIP. Ahora se trata de identificar y en lo posible de eliminar dentro de la población de mejoramiento, los genes mayores con el fin de aumentar sólo la resistencia de tipo horizontal.

Las actividades que Colombia propuso en este proyecto son:

- Selección de progenitores bajo inoculación artificial de una raza compleja.
- Formación de poblaciones con un nivel alto de resistencia.
- Evaluación de clones de primera generación en el CI La Selva y mantenimiento de duplicados exportables como familias de tubérculos a otros paises.
- Estudios básicos para el conocimiento de los tipos de resistencia en la relación genética planta-hongo para un mejor manejo y utilización.
- Identificación de las razas y tipos de apareamientos para asegurar la presencia o no de zoosporas.

Con estos objetivos y bajo e criterio de selección por resistencia horizontal se han identificado ya clones como progenitores que no poseen genes mayores.

CLON	PROCEDENCIA
Monserrate	ICA
Curipamba	CCC
Cruza 148	CIP
Senesi	CIP
Branca Cascuda	CCC
Yungay	CIP
Santa Catalina	Ecuador
1850	CIP
Algodona	CCC

Se inició igualmente el aislamiento e identificación de las razas más comunes en las diferentes zonas productoras, estas serán identificadas bioquímicamente usando técnicas de electroforesis. Como etapa final se previo el estudio a nivel bioquímico de la relación planta-hongo con el fin de identificar parámetros más exactos en la selección por resistencia horizontal.

OBTENCION DE CLONES PRECOCES

Normalmente la selección por precocidad se hace para todos los materiales de mejoramiento del programa en los diferentes bloques de selección, basada en la observación de la madurez fisiológica de la planta o de la fecha de inicio de la floración. Hasta ahora no se había tratado de estudiar las causas, desenvolvimiento y resultados de los diferentes procesos fisiológicos que tienen que ver con la precocidad.

La inclusión de materiales de **S. *tuberosum*** ssp. y **S. *phureja*** en el mejoramiento por precocidad obedece a que el período vegetativo de estas especies es menor de 4 meses, su utilización sin embargo requiere de procedimientos especiales si se pretende combinar las especies en una sola población. Debido a esto dentro del proyecto de precocidad existe el subproyecto de mejoramiento a nivel diploide, donde se trata de mejorar el comportamiento agronómico de las especies diploides mediante su introgresión a ssp. ***tuberosum*** pero utilizando los haploides de estos.

Este proceso utiliza, entonces, la producción de haploides de ssp. ***tuberosum*** y ssp. ***andigena***, la producción de híbridos haploide x diploide, la identificación de clones de **S. *phureja*** productos de gametos 2n y por último, la producción de familias tetraploides por cruzamientos 4x-2x.

Ya en 1981 se había iniciado la selección recurrente por rendimiento, precocidad y calidad con base sólo en poblaciones tetraploides, ésta sólo se pudo llevar hasta el segundo ciclo. También se efectuaron algunos cruzamientos 4x-2x y 2x-2x pero igual fueron descontinuados.

Al igual que con el proyecto de **P. *infestans***, se entró en una segunda etapa con ayuda financiera de Pracipa en donde se planteaba estudiar en detalle los componentes de la precocidad factibles de manejar por métodos de fitomejoramiento.

A nivel diploide se inició una nueva producción de haploides de ssp. ***tuberosum*** y ssp. ***andigena*** a partir de materiales avanzados y de mejoramiento de la población conformada por la especie **S. *phureja*** tanto agronómicamente, como en su capacidad de producción de gametos no reducidos.

OBTENCION DE CLONES APTOS PARA PROCESAMIENTO

Este proyecto se incluyó dentro del Programa Operativo de la Sección de Tuberosas a partir de 1991, obedeciendo al auge que la industria de procesados de papa tiene actualmente.

Los objetivos son los siguientes:

a. Seleccionar híbridos de papa aptos para la industria del procesamiento con alto contenido de materia seca, bajo contenido de azúcares reductores, color, sabor y formas exigidas para la industria y el mercado nacional e internacional.
b. Determinar los factores bióticos y abióticos que a nivel de campo influyen en la expresión de los caracteres de calidad.
c. Determinar y estandarizar métodos adecuados de análisis a nivel de laboratorio de los factores que más influyen en la calidad para el procesamiento.
d. Entregar a los agricultores variedades mejoradas aptas para la industria, junto con las recomendaciones técnicas necesarias para su óptima utilización.

La sección de tuberosas a partir de germoplasma del ICA y de introducciones de Europa y USA, ha generado clones obtenidos de cruzamientos entre ssp. **andigena** x ssp. *tuberosum* orientados principalmente hacia el consumo de papa en fresco.

Dentro de este material se ha seleccionado material con valores apropiados de peso específico (P.E.) y contenido de azúcares reductores (A.R.) y algunos de estos materiales se están utilizando como progenitores o posibles nuevas variedades.

Los estudios realizados en la C C C (ssp. ***andigena***), al momento de la cosecha en relación con P.E. y contenido de A.R. dieron como resultado que el 31.5% de los clones (632) tienen un promedio de P.E. de 1.090 y el 33.1% superan este valor.

Por otra parte, el 46.9% de los clones tiene 0.25% de A.R. y el 41.7% presentan un contenido de A.R. menor a este valor. Esto nos está indicando el alto potencial con que se cuenta en el germoplasma del ICA para seleccionar progenitores adecuados para el proyecto de calidad.

Con este material y además con clones avanzados y variedades como Parda Pastusa se formó la población experimental y en 1992 se obtuvieron 14 familias de semilla sexual para su evaluación y multiplicación.

OBTENCION DE CLONES CON ALTA EFICIENCIA EN LA EXTRACCION DE NUTRIENTES

El gasto en fertilizantes en el cultivo de la papa representa un 20 a 25% del costo total. La respuesta que el cultivo tiene a la aplicación del fertilizante es ascendente y cuadrática pero con un máximo de rendimiento muy por encima del promedio obtenido comercialmente Por el costo del fertilizante, su aplicación deja de ser económica a niveles que están alrededor de los 1.500 kg de 10-30-10 por hectárea. Este potencial que tiene la planta de responder positivamente a la aplicación de fertilizantes está relacionada con la eficiencia de la planta a la toma de nutrientes especialmente fósforo. Es bien sabido que el sistema radicular de la planta es uno de los menos desarrollados dentro de los cultivos importantes y éste se concentra en un área localizada aproximadamente a 11 centímetros del eje de la planta. Lo anterior ha hecho pensar en la posibilidad de aumentar la eficiencia en la toma de nutrientes mediante la producción de plantas con un sistema radicular más desarrollado y extendido y más eficiente en la toma de fosfatos.

Este proyecto se inició en 1983 con la evaluación de 400 clones de la C C C, ssp. ***andigena*** el CI San Jorge bajo 2 dosis de P en el suelo; como este estudio fue efectuado bajo condiciones de campo y con solo un tubérculo por repetición se presentaron algunas inconsistencias, ya que los suelos especialmente en páramo son bastante heterogéneos. Sin embargo, de estos trabajos se pudieron identificar clones que con bajas dosis de P tenían un rendimiento aceptable.

En 1992 se inició una segunda etapa de este proyecto, utilizando los clones seleccionados anteriormente, se prevé la utilización de estos clones en un estudio más detallado y bajo condiciones controladas para identificar diferencias existentes en dos áreas principales:

a. Morfología del sistema radicular de cada uno de los clones; se estudiará su volumen, distribución y extensión, y también la relación de cada uno de estos factores con el rendimiento y la toma de P. Posteriormente se estudiará la heredabilidad de estos caracteres y se iniciará su manejo genético, con el fin de producir plantas con un sistema radicular más eficiente.

b. Toma activa de los nutrientes, esta característica que está desarrollada genéticamente, si resulta lo suficientemente variable en los clones evaluados, podrá ser manipulada con técnicas de mejoramiento clásicas o modernas para aumentar su expresividad.

El objetivo final de este estudio fue producir plantas más adaptadas a las condiciones de cultivo en Colombia con sus limitantes ocasionados por la alta fijación de P, la alta acidez y la poca mineralización de la materia orgánica. No se descarta la posibilidad de iniciar la utilización de técnicas más avanzadas de manipulación genética para la selección y producción de genotipos superiores.

MEJORAMIENTO POR RESISTENCIA A HELADAS

Dentro del convenio Pracipa, el proyecto de resistencia a heladas quedó bajo el liderazgo de Bolivia, en donde el doctor Nelson Estrada, vinculado ahora al proyecto Proimpa, continuó sus trabajos iniciados en Colombia.

El ICA, como participante de esta red, debía ejecutar acciones en este proyecto.

Los trabajos del Sem-B-92 se iniciaron con la evaluación de posibles progenitores con la exposición directa en campo, se incluirían allí los reportados con alguna resistencia que se originaron del proyecto bajo la dirección del doctor Estrada y también plántulas originadas del cruce entre ellos.

MEJORAMIENTO POR RESISTENCIA AL GUSANO BLANCO DE LA PAPA

La formulación de proyectos de mejoramiento para resistencia a plagas siempre se ha encontrado con el inconveniente de que, aun existiendo el potencial para lograr niveles altos de resistencia, es muy poco lo que se ha hecho y que los resultados sólo pueden planearse a muy largo plazo. Con la colaboración de los entomólogos del ICA, ya en 1982 se contaba con resultados que sugerían la posible no preferencia de ciertos clones de la C C C, estos trabajos adelantados por A. López y H. Calvache, fueron descontinuados hasta 1986 cuando con el apoyo de Pracipa y dentro del proyecto de manejo integral del gusano blanco, se formuló el proyecto de búsqueda de fuentes de resistencia a este insecto.

Las investigaciones iniciales se enfocaron en la caracterización poblacional del gusano blanco utilizando métodos bioquímicos (electroforesis), para determinar la homogeneidad de las poblaciones del insecto con lo cual se aseguraría una respuesta igual a cualquier criterio de selección. La homogeneidad de las poblaciones fue reportada por A. González (1989). La continuación del proyecto se refería a la identificación de los compuestos bioquímicos que podrían estar involucrados en la no preferencia para 4 de los 16 clones de la C C C reportados con esta característica, CCC 405, CCC 4269, CCC 4273 y CCC 4373.

En 1991 se pensó reiniciar este trabajo con la comprobación de la no preferencia de los mismos clones bajo condiciones controladas. La falta de entomólogo y alguna dificultad en el recibo de los recursos para la segunda fase a iniciarse en 1992, condujeron a la no ejecución de esta parte.

MEJORAMIENTO POR RESISTENCIA A LOS PRINCIPALES VIRUS

Desde 1951 se ha hablado de la búsqueda de resistencia a los principales virus. Los estudios de sintomatología, resistencia y evaluación de variedades fueron permanentes dentro de la Sección de Tuberosas, del ICA.

Las enfermedades virosas han sido consideradas como las principales causantes de degeneramiento de la semilla de papa, principalmente cuando ésta se siembra en condiciones donde existe una población alta de áfidos transmisores de los virus y donde es sembrada por 2 o más generaciones continuas. Bajo esta consideración, los principales problemas en relación con los virus se han presentado en zonas marginales del cultivo y en zonas paperas localizadas a baja altura como las de Antioquía.

En otros paises existen condiciones que limitan la producción de semilla y han forzado la organización de fuertes programas de producción de semilla certificada. En Colombia, por sus condiciones de páramo ideales, pareciera no existir por parte de los agricultores una previsión muy grande por semilla certificada, ya que la calidad de la que se produce en esas alturas es muy aceptable.

Los objetivos de este proyecto han sido producir genotipos con resistencia a los virus PVX, PVY, PVS y PLRV con buenas características de rendimiento y calidad.

Paralelamente se evalúan y seleccionan materiales introducidos obtenidos por cruzamiento con especies silvestres que poseen resistencia a los virus mencionados.

CONCLUSIONES

Colombia, indiscutiblemente, ocupa uno de los primeros lugares en Latinoamérica en lo que se refiere a la organización, desarrollo y logros del programa de investigación en papa y es muchas veces puesto de ejemplo en foros y reuniones internacionales.

Esta fructífera historia se ha debido al trabajo tesonero de muchos investigadores actualmente en retiro del instituto, entre los que podemos mencionar: J.G. Hawkes, L.E. Heidrick, H.D. Thurston, N. Estrada, L. Luján, V. Alba, E. Pérez, etc. y de los que conformaron en los últimos años la Sección de Tuberosas a nivel nacional.

Si bien la creación de variedades no es el único criterio para calificar los logros de un programa de investigación, si ha sido fructífera con 30 variedades, algunas de reconocimiento internacional por sus buenas características; asi Diacol Monserrate es considerada como una de las mayores fuentes de resistencia horizontal a la gota, Ica Puracé reconocida por su alto potencial de rendimiento y Parda Pastusa por su rusticidad.

Actualmente el país cuenta con un banco de gemoplasma que está siendo caracterizado profunda-mente y de materiales avanzados que perfectamente podrían ser lanzados como nuevas variedades, esto sin embargo debe ser analizado a fondo, pues Colombia, como en la mayoría de los paises con programas de producción de variedades, la adopción de nuevas variedades es muy lenta, se debe, por tanto estudiar los factores sociales y económicos que determinan esta adopción para así diseñar estrategias que hagan más rápido este proceso.

El uso de variedades mejoradas resistentes a los patógenos, sin descuidar la necesidad de mantener una variabilidad genética amplia para evitar el desarrollo de epidemias, podría representar para el país un ahorro muy grande de recursos relacionados con el uso de plaguicidas e insumos, lo que indirectamente favorecería la pureza del medio ambiente.

La restructuración del ICA ha determinado un cambio total en la filosofia de la investigación en papa, en la cual el estado deja ahora de tener ingerencia, para dar paso a la iniciativa privada; pero mientras este sector toma conciencia de la importancia de invertir recursos en investigaciones de aspectos generales, los logros de más de 30 años podrían quedar solo en los libros de campo.

BIBLIOGRAFIA

BROWN, C.R.: Algunas indicaciones referentes al manejo en la selección en el campo por resistencia a virus. Min, 1982, p.7.

EGUSQUIZA, R.: Botánic, Taxonomía y mejoramiento genético de la papa. En: El cultivo de la papa con énfasis en producción de semilla. Universidad Nacional Agraria La Molina. Programa de investigaciones y proyección social en papa, Lima, 1987, pp. 11-36.

ESTRADA, N.: Proyecto "Obtención de variedades de papa resistentes a la gota causada por P. *infestans*". ICA, Santafé de Bogotá. Miméografo, 1973, p.8.

ESTRADA, N.: Informe anual: Proyecto de resistencia a P. *infestans*, ICA, Santafé de Bogotá, 1983, p.28.

ESTRADA, N.: Taxonomía, genética y mejoramiento de la papa, Curso de manejo de germoplasma, ICA. CIP, Santafé de Bogotá, 1983, p.38.

GOMEZ, P.L.: Mejoramiento de la papa. En: Manual de papa. Temas de orientación agropecuaria No.130, Santafé de Bogotá, 1987, pp. 30-39.

GONZALEZ, A.E. y GOMEZ, P.L.: Determinación de la realidad genética del gusano blanco de la papa. Premnotrypes vorax (Hustache), por medio de separación electroforética. En: Seminario Taller "Aspectos entomológicos en el cultivo de la papa", PRACIPA Santafé de Bogotá, 1989, pp. 18-30.

HAWKES, I.G.: Organización y planeamiento para el mareamiento de la papa. Separatas Agricultura Tropical, Santafé de Bogotá, 1951, p. 44.

HAWKES, J.G. : Biosystematic of the potato. In: The Potato Crop. De. Harris, P.W. London Chapman and Hall, 1978, pp. 15-69.

HAWKES, J.G. : Recent advances in the evolution of tuber bearing Solanums. En: CIP. Plann. Cong. Explt. Tax. And Maint of potato germoplasm III, Lima, 1979, pp. 126-140.

HERNANDEZ, E. Y PINEDA, R: Mejoramiento para precocidad en Colombia. ICA, Santafé de Bogotá, 1991.

HERNANDEZ, E. y PINEDA, R: Mejoramiento para precocidad en Colombia. ICA, Santafé de Bogotá, 1991.

HERNANDEZ, E. Y PINEDA, R. Mejoramiento para procesamiento en Colombia. ICA. Santafé de Bogotá, 1991, p.9.

HUAMAN, Z.: Botánica sistemática, identificación, distribución y evolución de la papa cultivada. Curso de manejo de germoplasma. ICA. CIP., Santafé de Bogotá, 1983, p. 26.

ICA: Plan Nacional de Investigación en papa. Subgerencia de Investigación y transferencia, Santafé de Bogotá, 1981, Mimeógrafo, p. 93.

ICA: Informe anual de actividades del Programa Nacional de Investigación en papa. Subgerencia de investigación, División de cultivos, Santafé de Bogotá, 1983, p.31.

ICA: Informe anual de actividades. Regional Uno. ICA. En: Informe anual. División de Cultivos Múltiples. Programa Papa, Santafé de Bogotá, 1985, pp. 2-91.

ICA: Reunión anual de coordinación. Convenio ICA - CIP. Actas reunión anual, Tibaitata, Santafé de Bogotá, 1988, p. 107

Revista Papa, Fedepapa 1993.
Actualización 1996, R. Pineda