

## Ensayos

# Situación actual del mejoramiento genético del melón para la resistencia al Mildiu pulverulento de las cucurbitáceas.

### Resumen

El presente trabajo recoge algunos aspectos generales relacionados con el cultivo del melón desde el punto de vista de su origen, distribución y clasificación botánica. También se hace un bosquejo sobre la situación de la producción de melón en Cuba.

Dentro del campo del mejoramiento genético se enfatizó en la tendencia actual de esta disciplina para el cultivo del melón en el mundo y se abordaron las temáticas referentes a los diferentes métodos de mejoramiento que constituyen herramientas necesarias para la búsqueda de resistencia genética a las enfermedades. Se realizó un estudio sobre la resistencia al mildiu pulverulento de las cucurbitáceas, abordando el control genético y las principales fuentes de resistencia que se conocen, así como la serie diferencial que permite determinar las diferentes razas del patógeno. Este trabajo recoge algunos de los resultados obtenidos en Cuba y en especial en el Instituto de Investigaciones Hortícolas «Liliana Dimitrova» en el mejoramiento genético del melón, así como las perspectivas futuras que existen en el país con vistas a lograr un desarrollo vertiginoso de este cultivo.

### Abstract

This study draws together some general aspects related to the cultivation of melons from the point of view of its origin, distribution and botanical classification. It also offers an outline of the situation of melon production in Cuba.

Within the field of genetic improvement emphasis is placed on the present tendency of this discipline for world melon cultivation. It deals with the topics related to different improvement methods which become necessary tools in the search for genetic resistance to diseases. A study was carried out on the resistance of cucurbitaceae to powdery mildew, tackling genetic control and the principal sources of resistance which are known, and also the differential series which enables us to determine the different strains of the pathogen. This study brings together some of the results obtained in Cuba, especially in the "Liliana Dimitrova" Horticultural Research Institute, on the genetic improvement of melons, as well as the outlook for this country to achieve a speedy development of this crop.

### Abstrait

Le présent travail rassemble quelques aspects généraux liés à la culture du melon depuis les points de vue de son origine, sa répartition et sa classification botanique. Il y figure aussi une ébauche de la situation de la production du melon à Cuba. Au sein du champ de l'amélioration génétique, s'est accentuée la tendance actuelle de cette discipline vers la culture du melon dans le monde et on y aborde les thématiques faisant référence aux différentes méthodes d'amélioration qui constituent des outils nécessaires à la recherche d'une résistance génétique aux maladies. On a réalisé une étude sur la résistance au mildiou pulvérulent des cucurbitacées, en abordant le contrôle génétique et les principales sources de résistance connues, ainsi que la série différentielle qui permet de déterminer les différentes espèces du pathogène. Ce travail rassemble quelques-uns des résultats obtenus à Cuba et plus particulièrement par l'Institut de Recherches Horticoles «Liliana Dimitrova» dans l'amélioration génétique du melon, ainsi que les perspectives futures qui existent dans ce pays, avec le dessein de réussir un développement vertigineux de cette culture.

\* Yasi Lemus Islas  
Julio César Hernández Salgado

## 1. Introducción

El cultivo del melón (*Cucumis melo L.*), ha experimentado en los últimos veinte años un desarrollo extraordinario en todo el mundo, pasando a ser de un producto de consumo minoritario a otro de amplia aceptación. Hecho que se fundamenta en un crecimiento continuado de las superficies cultivadas y sobre todo en la mejora general del cultivo y de las variedades cultivadas (Zapata et al., 1989)

En Cuba el melón presenta serias dificultades para su desarrollo a cielo abierto, debido a la alta humedad relativa imperante en nuestro clima, que favorece la aparición de enfermedades severas en el follaje, como el mildiu velludo (*Pseudoperonospora cubensis*), que constituye la limitan-

\* Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana Cuba.

te fundamental de la producción de melón en el país, ya que provoca una defoliación total de las plantas mucho antes que el cultivo concluya su ciclo de vida.

Messiaen (1981) señala que en países de clima tropical húmedo, es necesario cultivar esta especie bajo condiciones de cultivo protegido, para lograr buenos rendimientos y calidad de los frutos. Bon et. al. (1990) han desarrollado la producción de melón bajo condiciones protegidas en las Antillas francesas, región del Caribe donde existen limitantes climáticas similares a las nuestras (elevada humedad relativa e intensas lluvias), considerando lo factible que resulta la implantación de túneles tipo sombrilla, con los cuales se alcanzan rendimientos que oscilan entre 15 y 20 t/ha.

Sin embargo el empleo de tecnologías protegidas en el cultivo del melón ha desencadenado la aparición de enfermedades del follaje que hasta ahora no habían constituido un problema en la producción, tal es el caso del mildiu pulverulento de las cucurbitáceas.

Risser y Pitrat (1986) y Ucini (1990) plantean que han sido innumerables los países que se han dedicado al estudio de la resistencia genética al mildiu pulverulento, pues la vía del mejoramiento parece ser el método más seguro para combatir esta enfermedad.

En los años 70 el melón se sembraba en Cuba en muchas provincias a todo lo largo del país, pero sus áreas y producciones eran mucho menores que las de sandía, producto de su sensibilidad a las enfermedades y a las dificultades con el transporte y el mercado. Las variedades 'Halest Best' y 'Honey Dew' eran las más utilizadas, pero sus frutos se reblandecían y se deterioraban con mucha facilidad; sin embargo los rendimientos oscilaban entre 13 y 20 t/ha (Simón, 1942 y Guenkov, 1974).

En la actualidad la producción de melón en Cuba está totalmente desplazada hacia las instalaciones de cultivo protegido.

## 2. Origen, distribución y clasificación botánica

El melón es una hortaliza de extrema importancia a nivel mundial, muchos son los países consumidores que la producen o la importan, su cultivo está difundido por muchos países de Europa, Asia y América.

El origen del melón no está debidamente establecido, algunas autoridades sugieren África, mientras que otras el oeste de Asia. Parece ser que los primeros tes-

timonios sobre el cultivo de esta especie provienen de fuentes egipcias unos veinticuatro siglos antes de Cristo (Zapata et. al., 1989).

Según Seshadri y More (1996) los descubrimientos arqueológicos del valle Harapan en la India, demostraron la presencia en esa zona de vestigios de semillas de plantas de melón que datan de unos 2500 ó 2000 años antes de Cristo. Esto desató una gran polémica acerca del centro de origen de esta especie.

La mayoría de los estudiosos de esta planta señalan su centro de origen en África, donde en la actualidad existen especies silvestres con número cromosómico  $n=12$ , siendo diploides todas las formas cultivables  $2n=24$  (Casseres, 1980; Messiaen, 1981; Maroto, 1992).

Seshadri y More (1996) afirman que esta planta es nativa del continente africano ya que en la actualidad se pueden encontrar en el este de África Tropical y en el sur del desierto de Sahara plantas silvestres de *Cucumis melo*. Por lo antes expuesto se considera a África como el centro genético primario de esta especie. Además señalan que la diversificación de esta especie ocurrió en el suroeste y centro de Asia, extendiéndose hacia Turquía, Irán, Iraq, Arabia Saudita, Afganistán, algunos estados de la C.I.S, así como Pakistán y el norte y centro de la India, todas estas regiones son consideradas centros primarios de diversificación. Como centro de diversificación secundaria se hace especial referencia a las Antillas (Messiaen, 1981).

El melón se encuentra extendido por diferentes zonas de la geografía mundial, sobre todo entre los 50° de latitud norte y los 30° de latitud sur, fundamentalmente en climas soleados y no demasiado fríos con temperaturas que oscilan entre 25 y 30 °C (Gamayo, 1991).

Según Gola et. al. (1966) la clasificación botánica del melón es la siguiente :

División: Embriophyta , Asiphonograma , Criptógamas vasculares.

Subdivisión: Angiospermas.

Clase: Dicotiledóneas.

Subclase: Metaclamídias.

Orden: Cucurbitales.

Familia: Cucurbitaceae.

Género: Cucumis.

Especie: *Cucumis melo L.*

Hoy día se conocen diversas variedades cultivadas, siendo la clasificación más utilizada la elaborada por Naudin, famoso botánico africano muy conocedor de esta especie (Naudin, 1959).

C. melo var. cantaloupensis. Son los llamados Cantaloupes. Frutos de tamaño medio, de superficie rugosa, verrugosa o escamosa y no reticulada. Son los cultivares más utilizados en Europa.

C. melo var. reticulatus. Frutos de tamaño medio, reticulados, con débiles suturas, carne verde o salmón. Incluye los Cantaloupes comercializados en los EE.UU.

C. melo var inodorus. Frutos de piel lisa o muy rugosa, no reticulados, de maduración tardía que pueden ser almacenados durante un mes o más.

C. melo var. flexuosus. Frutos delgados, rectos o curvados, de 30-50 cm de largo se utilizan inmaduros en ensaladas y para confituras.

C. melo var. conomon. Frutos pequeños oblongos, lisos frecuentemente con manchas débiles; carne blanca y pulposa en la madurez.

C. melo var. dudain. Frutos pequeños, de 3-5 cm de largo, globulares, pubescentes en la madurez y con fuerte olor picante.

C. melo var. sacharinus. Frutos con características intermedias entre las indicadas para las variedades botánicas reticulatus e inodorus, sus frutos son de tamaño medio, lisos, reticulados, o moteados de una coloración intensamente verdosa, que posteriormente se torna naranja; son de corteza gruesa, carne delicada y aromática.

C. melo var. chito Cultivar de escaso desarrollo vegetativo, hojas de pequeño tamaño, frutos lisos, de tamaño similar a una naranja y de sabor ácido. Se utilizan para conservas y encurtidos.

C. melo var. agrestis. Engloba líneas de plantas con frutos no comestibles, de pequeño tamaño. Reciben el nombre genérico de “melones salvajes”.

Dentro de los principales tipos de melón que son cultivados y comercializados en el mundo, están los “reticulatus”, “cantaloupes” y los “inodorus” (o de invierno) cuyo uso fundamental es como ensaladas (Gabriel et al., 1991).

### 3. Métodos de mejoramiento genético empleados para el cultivo del melón

Para un mejorador el conocimiento adecuado del sistema de producción de las plantas con que

trabaja es esencial, ya que esto define en gran medida el diseño genético y de apareamiento que se debe utilizar así como el sistema de selección que debe emplearse.

En el caso específico de la especie *Cucumis melo L* a pesar de ser una planta alogama desde el punto de vista del mejoramiento genético se maneja como una planta autógama, impidiendo el cruzamiento libre de esta especie a través del sellado de las flores, ya que de esta forma se produce un mayor avance en los programas de mejoramiento.

Los principales métodos para crear nuevos cultivares en especies autógamas son: introducción, selección e hibridación.

Los métodos de selección aplicados son la selección en masa y la selección de líneas puras.

La selección en masa se utiliza cuando existe un grupo de plantas similares en apariencia, se seleccionan y se cosechan mezclando semillas y posteriormente se siembran en otra generación.

Una línea pura no es más que una progenie descendiente únicamente por autofecundación de una planta individual homocigótica, los representantes de una línea pura son todos idénticos en cuanto a sus características. La selección de líneas puras se practica en poblaciones segregantes después de la hibridación artificial de dos variedades.

El método de hibridación consiste en cruzar dos variedades o líneas puras y seleccionar en la descendencia los segregantes que contengan la combinación de las mejores características de los progenitores.

### 4. Tendencia actual del mejoramiento genético del melón

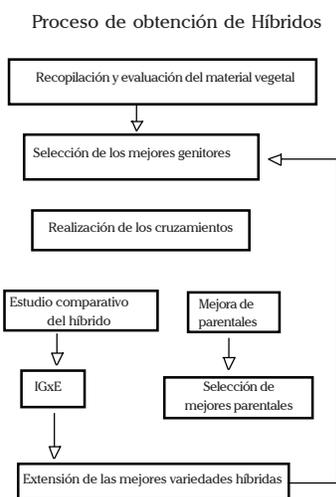
Hoy día a pesar del elevado precio de la semilla híbrida, la tendencia general en la mejora del melón es la obtención de híbridos de gran vigor, debido a la heterosis que se observa para la mayor parte de los caracteres de interés agronómico (Ditix, 1983).

Las técnicas de hibridación se explotan ampliamente y permiten introducir distintos genes que rigen caracteres interesantes en las plantas. Hoy en día no existe ninguna teoría concluyente sobre cómo ocurren las interacciones génicas no aditivas aprovechadas en la hibridación comercial, las cuales conducen a una sobremanifestación de los híbridos con respecto a los padres en cuanto a crecimiento, vitalidad, fertilidad,

adaptabilidad al medio y otros caracteres y cualidades, las cuales han sido designadas con el nombre de heterosis (Rodríguez et al. , 1987).

Marquéz (1988) plantea que la hibridación en las plantas es el método genotécnico que aprovecha la generación  $F_1$  proveniente del cruzamiento entre dos poblaciones parentales  $P_1$  y  $P_2$ , las cuales pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, o variedades sintéticas.

Gómez (1985) plantea que para iniciar un plan de obtención de híbridos se requiere ante todo, tener conocimientos acerca de la biología de la especie con que se trabaja y el modo de herencia genética de aquellos caracteres con los cuales se desea dotar a los nuevos genotipos. La consecución de estos híbridos hasta su comercialización lleva implícito los siguientes pasos (Fig.1).



La importancia de la recopilación del material vegetal radica en la necesidad por parte del mejorador de disponer de suficiente variabilidad genética; para ello es necesario poseer una colección con amplia variabilidad en sus genotipos, que incluya variedades autóctonas y variedades mejoradas. Posteriormente se procede a la caracterización de los diferentes genotipos, teniendo en cuenta los caracteres de interés agronómicos. Una vez caracterizados se procede a la elección de los genitores para realizar los cruzamientos; una vez que contamos con la semilla se procede a la comparación de híbridos obtenidos con los híbridos comerciales; después de realizada la comparación se eliminan aquellos que muestren poco interés.

En los dos años siguientes, los híbridos seleccionados se comparan con los comerciales en uno o dos ambientes y de acuerdo al análisis estadístico se seleccionan los más prometedores. En caso de que se haya introducido alguna resistencia se realizaran las pruebas pertinentes para demostrarla.

El melón es una especie extremadamente polimorfa, las formas sexuales más extendidas son las andromonoicas, siendo la primera condición la más primitiva desde el punto de vista evolutivo (Gómez, 1985).

Allard (1970) plantea que la estructura floral de las cucurbitáceas permite la producción de grandes cantidades de semillas  $F_1$ , entreplantando los dos tipos que se desean hibridar y suprimiendo las flores estaminadas de la línea elegida como genitor femenino del híbrido.

La importancia de la creación de híbridos con resistencia a enfermedades y elevada productividad es evidente y constituye un objetivo primordial de cualquier programa de mejora que se pretenda llevar a cabo en los próximos años.

## 5. Bases genéticas de la resistencia a enfermedades

Aunque desde tiempos muy remotos existía el conocimiento de que las variedades diferían en su actitud para soportar las enfermedades, esto no fue utilizado hasta el siglo XIX, en que se diseñaron los primeros programas para la producción de variedades (Allard, 1970).

Lozano y Schawrts ( 1981 ) y Buddenhagen y De Pontii ( 1983 ) señalan que desde hace algunos años el desarrollo de variedades resistentes ha sido reconocido en el Caribe como el más usual y económico medio de control de las enfermedades. El mejoramiento de la resistencia a las plagas y enfermedades es un aspecto especial del mejoramiento genético y juega un papel importante en la producción desde el punto de vista económico, especialmente en países tropicales donde las pérdidas por estos conceptos son cuantiosas (De Armas, 1985). Van del Plank (1968) señala que la resistencia puede ser monogénica (resistencia gobernada por un solo gen) y poligénica (resistencia gobernada por más genes); además plantea que los términos “genes mayores” y “genes menores” son usados en lugar de oligogénica y poligénica.

Definiendo el término de resistencia vertical podemos decir que presenta un control oligogénico dominante, la resistencia está dada por genes mayores, cuyos efectos individuales son detectados prontamente; es específica, de carácter fuerte y la resistencia poligénica es aquella que es determinada por muchos “genes menores” de efecto individual pequeño, que pueden ser contados e identificados individualmente (Király et al., 1974) .

Estos autores se refieren a la herencia de la resistencia monogénica y señalan que ésta es característica de plantas con resistencia estable, y es menos afectada por los factores ambientales; la dificultad está en la aparición de nuevos tipos de patógenos que contengan la resistencia ya conocida y explotada; los genes encargados de este tipo de resistencia son denominados genes mayores debido a su fácil utilización, además ellos son los responsables de la resistencia específica o diferencial a veces denominada por algunos resistencia vertical.

Según Van del Plank (1968) los términos más usados actualmente para definir la resistencia de las plantas a las enfermedades son: resistencia horizontal (RH) y vertical (RV). La resistencia vertical es la derivación de este término en matemática y se refiere al lado vertical del gráfico; esta resistencia se prueba mediante un análisis de varianza en el cual existen interacciones diferenciales entre patotipos y patodemos, su carácter fundamental es que opera contra algunos patotipos verticales, pero no contra todos; es de modo general (pero no necesariamente) heredada por genes mayores y a menudo (pero no invariablemente) cualitativa. La característica epidemiológica de la resistencia vertical es la reducción aparente en el inóculo inicial, lo cual trae como resultado que la epidemia se retrase. Este mismo autor define la resistencia horizontal como una resistencia de efectos parciales, que a pesar de ser efectiva contra todas las razas del patógeno, manifiesta dicha resistencia a través de una reducción cuantitativa de los índices o porcentajes de infección, incubación y reproducción, los cuales en conjunto conducen a decaída en la epidemia; también este tipo de resistencia a través de un análisis de varianza permite detectar diferencias significativas entre patotipos y patodemos.

En melón para el caso específico de resistencia al mildiu pulverulento se producen reacciones de

hipersensibilidad la cual se manifiesta por la formación de necrosis.

Clearjeau y Laterrot (1980) al estudiar la resistencia plantean que se dividen en dos: resistencia absoluta y resistencia parcial. La resistencia absoluta es designada como inmunidad; este término es utilizado para denominar la resistencia que se manifiesta como ausencia de síntomas visibles, pero no excluye la penetración; ésta puede ser por insensibilidad, debido a las fitotoxinas específicas emitidas por el patógeno, o por un mecanismo de hipersensibilidad que pueden llegar a localizar estrechamente ciertos patógenos y provocar la muerte rápida de las células contaminadas e importantes modificaciones metabólicas en las células vecinas.

Ambos autores señalan que la resistencia parcial es menos sensible, se caracteriza por la disminución del número de puntos de fijación de los agentes patógenos sobre el huésped, lo cual retarda el crecimiento y desarrollo del parásito dentro de los tejidos y la disminución del número de unidades .. El resultado global de este fenómeno es una progresión más lenta de la enfermedad a nivel de planta y de la epidemia a nivel de cultivo. En este caso, la eficiencia de una resistencia proviene de la combinación de estos dos factores (resistencia absoluta y parcial) y de la estabilización en el tiempo.

## 6. Métodos de mejora genética para la resistencia a enfermedades. Aplicación de la biología molecular

El trabajo de mejora genética para la resistencia es un trabajo difícil y de mucha dedicación, son diversos los métodos que se emplean para su realización una vez que existe conocimiento de la presencia en la planta de genes de resistencia .

Allard (1970) citado por De Armas (1985) señala que cuando los genes de resistencia se encuentran en variedades comerciales, el medio más fácil y mejor para obtener variedades resistentes es la selección dentro de esas variedades. Cuando no se encuentra la conveniente resistencia en variedades comerciales, sino en tipos que no se utilizan por sus características agronómicas inadecuadas, se utilizan generalmente los métodos de mejora por retrocruzamiento o mejora genealógica. Si el genitor resistente es un tipo no adaptado es lógico elegir el retrocruzamiento como método de mejora.

El término retrocruzamiento hace referencia al empleo de una de las formas paternas de un cruce como la forma paterna constante o recurrente en una sucesiva serie de cruzamientos con su progenie inmediata. El objetivo perseguido por el retrocruzamiento es transferir un reducido número de caracteres procedentes de una de las formas paternas. El primer paso en un programa de retrocruzamiento basado en la presencia de dos formas paternas originales A y B, siendo B la forma paterna recurrente, consiste en cruzar una planta  $F_1$  (o planta seleccionada  $F_2$ ) procedente de un cruzamiento A x B con el B. La progenie de este primer retrocruzamiento es nuevamente cruzada con la B en el segundo retrocruzamiento, y así se prosigue hasta que se haya cumplido el número establecido de retrocruzamientos, que oscila alrededor de seis Rodríguez et al., (1987).

Estos mismos autores plantean, que la mayoría de las resistencias que existen en las poblaciones naturales pueden ser aprovechadas solamente por medio del cruzamiento siendo el método de retrocruzamiento el más utilizado.

De acuerdo con Rodríguez et al. (1987) cuando la mejora para la resistencia se hace a partir de la fuente natural de genes de resistencia, se debe comparar cuál de los métodos es el adecuado: la selección o el cruzamiento. La mejora por selección ha de emplearse solamente cuando en la población existen idiotipos suficientes que tengan genes de resistencia. Esto no ocurre en las variedades obtenidas por mejoramiento, pero en las variedades nativas y en las poblaciones naturales si es posible que existan suficientes genotipos que permitan emplear la selección. Si la resistencia buscada es monogénica (cualitativa) y está dada por genes en estado recesivo, se puede emplear con éxito la selección masal, y en caso que esté dado por genes en estado dominante, entonces se debe emplear la selección individual.

Dentro del trabajo de resistencia la búsqueda de mutaciones en las plantas ha sido muy empleada, la mayoría de ellas han constituido un punto de partida para la creación de nuevas variedades (Sinnott et al., 1968).

Poehlman (1967) define a las mutaciones como las transformaciones inesperadas que tienen origen en el material hereditario producto de cambios que se producen en el gen por reacomodos cromosómicos o por

la pérdida o duplicación de segmentos cromosómicos. Este autor clasifica las mutaciones como dominantes y recesivas, siendo estas últimas las más comunes, pudiéndose apreciar sólo cuando se unen en un individuo producto de la segregación los dos genes recesivos, mientras que las mutaciones dominantes manifiestan un efecto inmediato.

Las mutaciones pueden ser inducidas o espontáneas, las inducidas son muy utilizadas en el mundo y son provocadas por rayos ionizantes (rayos x, rayos g, neutrones) así como por agentes químicos mutagénicos que perturban la replicación de las bases purínicas y pirimidílicas del DNA, dando origen a caracteres novedosos en las plantas cultivadas. Estos agentes mutagénicos pueden ser aplicados también a los gametos (en general a los granos de polen), a los meristemos dormantes o en vías de crecimiento (granos, tubérculos, yemas, plantas enteras). En el primer caso las mutaciones dominantes podrán manifestarse sobre las plantas que han sido desarrolladas a partir de óvulos fecundados con polen tratado, mientras que las mutaciones recesivas tienen como características que se revelan en la generación siguiente (Messiaen, 1981).

La resistencia por mutaciones representa para las especies cultivadas un elemento importante. En el futuro cuando se agoten las fuentes de resistencia que existen, será aún mayor la función que desempeñen las mismas en el mejoramiento de la resistencia, pues se tendrán que crear por estos medios nuevos genes que puedan emplearse directamente o por cruzamiento. Las mutaciones tienen sobre el cruzamiento la ventaja de que pueden crear nuevos genes o alelos sin tener que descomponer el idiotipo de la planta (Rodríguez et al., 1987).

Allard (1970) señala que las mutaciones constituyen un aspecto interesante para la creación de nuevas fuentes de resistencia y que durante años, países como EE.UU. y Francia han demostrado gran interés en ellas y han dirigido sus programas de investigación hacia esta alternativa genética; sin embargo con el desarrollo vertiginoso que ha experimentado el mundo en los últimos años en el campo de la biotecnología, han quedado reemplazados en cierta medida las técnicas tradicionales de mejoramiento para la resistencia, pues estas técnicas novedosas aunque son muy costosas, facilitan la obtención de plantas con resisten-

cia a plagas y enfermedades en un plazo de tiempo relativamente corto.

## Apoyo de la biotecnología y la biología molecular al mejoramiento genético.

La meta de todo fitomejorador es aumentar la producción de los cultivos, utilizando para ello sus propiedades genéticas, los métodos biotecnológicos han reforzando el trabajo que se realiza por medio de la mejora tradicional de forma tal que las técnicas de cultivo de tejido, de DNA recombinante e ingeniería genética han permitido la manipulación de genes a nivel molecular, facilitando de esta manera la identificación, aislamiento y caracterización de genes específicos.

Nozeran y Bancelhon (1983) señalan que la eficiencia de las técnicas "in vitro" permite no sólo la multiplicación vegetativa, la producción de mutantes y de variantes concernientes a la fase esporofítica, sino también la obtención de individuos haploides que raras veces aparecen en la naturaleza de forma espontánea.

El método comúnmente más utilizado para la producción de plantas haploides es el cultivo de anteras, aunque también se puede emplear el cultivo aislado de granos de polen FAO (1990).

Son numerosas las técnicas empleadas en los trabajos de cultivo "in vitro" relacionados con el mejoramiento, dentro de ellas podemos mencionar la variación somaclonal y la obtención de haploides como las de mayor uso.

Pierik (1989) y González (1995) definen los procesos de variación somaclonal como las mutaciones que experimentan las plantas regeneradas "in vitro" al pasar a la fase de callo, que son heredables a las progenies de las plantas regeneradas.

El mayor interés de las variaciones somaclonales radica en que las nuevas características de las plantas regeneradas son heredadas y transmitidas a la descendencia, constituyendo una fuente de variabilidad genética de gran utilización en los programas de mejoramiento de plantas (González, 1995).

Según González (1995) el cultivo de anteras es ampliamente utilizado para la obtención de homocigotes, mediante la duplicación del número cromosómico de una planta haploide, favoreciendo la formación de un diploide, lo cual permite que se logre una homocigosis perfecta en un tiempo muy corto; mientras que

por la vía sexual se requiere de 6 autofecundaciones sucesivas para llegar al 98-99% de homocigosis. Cuando se está en presencia de plantas dioicas y otras que son autoincompatibles es casi imposible la obtención de líneas puras usando los métodos convencionales, sin embargo mediante la diploidización de plantas obtenidas "in vitro" se pueden lograr líneas homocigóticas con un considerable ahorro de tiempo.

Pierik (1989) plantea que la duplicación espontánea de los cromosomas en plantas haploides ocurre pocas veces, tradicionalmente esta duplicación se realiza con colchicina al 0,1% durante 24 horas.

FAO (1990) y González (1995) se refieren a lo difíciles de obtener y detectar que son los mutantes en las plantas superiores ya que los genes recesivos no se expresan frente a los alelos dominantes y sólo a través de un proceso prolongado de autofecundaciones se puede arribar a plantas homocigóticas recesivas diploides. El cultivo de haploides tiene la ventaja de detectarlas con rapidez y facilidad al tener un juego simple de cromosomas sin la presencia de alelos complementarios.

Las investigaciones que se realizan en el campo de la genética van dirigidas a la obtención de una producción superior, un valor nutritivo más elevado, una mayor resistencia de las plantas al medio, a los agentes patógenos, conservando al mismo tiempo biodiversidad en las especies y protegiendo los recursos genéticos. La contribución de la genética vegetal a estas investigaciones es esencial. Gracias a los nuevos descubrimientos dentro de la biología molecular y la ingeniería genética; algunos países desarrollados se refieren al empleo de plantas transgénicas como uno de los logros más grandes dentro de las investigaciones genéticas (Sasson, 1985).

El surgimiento de los marcadores bioquímicos y moleculares han abierto nuevas posibilidades desde el punto de vista genético específicamente en los programas de mejoramiento genético en plantas.

Según Beckman (1988) un peldaño superior en la escala evolutiva corresponde a los marcadores genéticos y en especial a las técnicas de polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP) que brindan nuevas perspectivas para identificar y mapear genes útiles que posteriormente pueden ser incorporados en el genoma vegetal. Esta técnica puede también utilizarse como un arma poderosa para proteger

nuestras propias variedades; ya que permite realizar identificación de variedades; además puede determinar el grado de heterogeneidad genética existente entre los diversos genotipos disponibles en los bancos de germoplasma.

De particular importancia para la economía de nuestro país es la utilidad potencial que puede tener la técnica de RFLP para la detección de importantes genes en especies silvestres y que condicionan entre otras una mayor adaptabilidad a estrés ambiental y tolerancia a plagas y enfermedad mediante un programa de mejora convencional asistido por marcadores moleculares.

Según Mc Clean (1997) por la técnica de RFLP se pueden mapear genes que controlan resistencia a enfermedades y el procedimiento consiste en crear dos volúmenes de DNA muestra, uno que contenga DNA de las plantas o líneas que muestran resistencia a la enfermedad. Cada uno de esos volúmenes contendrá una muestra aleatoria de todos los loci del genoma, excepto para aquel que se encuentre en la región del gen para el que existe diferencia de los patrones RFLPs entre los dos volúmenes de DNA, mostraría el marcador ligado al locus de interés.

Debe significarse que con la detección por esta vía de genes de resistencia a enfermedades, se facilita en gran medida el trabajo práctico de *screening* de diferentes genes de resistencia a enfermedades sin necesidad de inocular a la población.

Los RFLPs pueden ser empleados también para el diagnóstico de agentes específicos que causan enfermedades a las plantas. El método se basa en la utilización de sondas provenientes del material genético del agente infeccioso, las que son empleadas posteriormente, para la detección y (o) identificación de dicho agente.

La alta especificidad de este método se debe al hecho de que ciertas secuencias nucleótidas de un determinado patógeno, presentan porciones únicas que no se hallan en otro organismo infeccioso, tales secuencias específicas son usadas como sondas para la detección del agente infeccioso en particular.

De todo lo antes expuesto resulta evidente que todos los genes mayores pueden por esta vía ser detectados y rápidamente transferidos a una variedad con lo cual el mejorador está en condiciones de responder a las demandas del mercado, así como a las

presiones del ambiente y a la aparición de nuevas razas patogénicas.

Según Iglesias et al. (1992) en plantas alógamas que posean un genoma de gran tamaño resulta bastante problemática la aplicación de marcadores genéticos. Esto es debido a que puede darse el caso de que un alelo cuantitativo de efecto positivo pueda encontrarse asociado con un alelo marcador específico mientras que lo contrario puede ocurrir, sin embargo en plantas alógamas con un genoma no muy grande, puede utilizarse sin dificultad alguna esta técnica.

Según Staub and Thomas (1998) dentro de los marcadores más efectivos para asistir la selección se encuentra el RFLP.

En el caso específico del melón la biología molecular ha sido empleada en la construcción del mapa genético de esta especie (Marc Oliver et al; 1998, Yi-Hong et al; 1998, Christophe et al; 2000 and Marc Oliver et al; 2000).

Los RAPDs por su parte pueden ser empleados con múltiples propósitos, uno de los más importantes lo es sin dudas el estudio de la identidad genética entre especies estrechamente relacionados o dentro de una misma especie, así como para el mapeo de genes.

Sin duda alguna es la mejora para la resistencia un campo donde siempre se investigará y donde las investigaciones serán cada vez más profundas siempre que se tengan en cuenta para el futuro la utilización más generalizada de tecnologías que hoy resultan tan novedosas como la ingeniería genética.

#### 7. Estudio de la resistencia al mildiu pulverulento.

El mildiu pulverulento es una de las primeras enfermedades descritas en melón; esta enfermedad se desarrolla en sistemas protegidos, por lo que se hace casi imposible cultivar melón sin su presencia. (Pitrat et al., 1998).

Blancard et al. (1991) señala que existen varios hongos que pueden producir el mildiu pulverulento en las cucurbitáceas. La *Leveillula taurica* ha sido encontrada en pepino, pero no es un problema sobre melón. Las especies fúngicas responsables de esta enfermedad en melón son *Sphaerotheca fuliginea* (Schlecht. Ex Fr) Poll y *Erysiphe cichoracearum* DC ex Merat.

Según Castaño y Río (1994) estos hongos se clasifican de la siguiente forma:

Clase : Ascomycetes  
Subclase : Euascomycetidae  
Serie : Pyrenomycetes  
Orden : Erysiphales  
Familia : Erysiphaceae  
Género : Erysiphe  
Sphaerotheca  
Especies : ***Erysiphe cichoracearum***  
Sphaerotheca fuliginea

Ambos hongos han sido identificados en muchos países y generalmente ***S. fuliginea*** es la más prevalente (Bertrand y Pitrat, 1989; Vakalounakis et al., 1994; Mohamed et al., 1995 y Vakalounakis y Klironomou., 1995).

En Francia hasta hace poco no se sabía muy bien cual era la especie de ***Oidium sp*** que se desarrollaba sobre las cucurbitáceas; actualmente se conoce que existen las dos antes mencionadas, que a veces suelen aparecer por separado y otras en conjunto. En España la especie más importante es la ***S. fuliginea*** (Armengol y Martínez, 1995). Según Goidánich y Casirini (1998) en los Estados Unidos el oidio que interesa a las cucurbitáceas es ***E.cichoracearum***. En Cuba no se han realizado estudios recientes para precisar si existe ***S. Fuliginea*** sobre nuestras cucurbitáceas; aunque históricamente se ha reportado ***E. cichoracearum*** (Simón, 1942; Du Pont, 1949 y Fernández, 1973).

Según Pitrat et al. (1998) la composición racial de estos dos hongos es muy variada; en ***S. fuliginea*** se conoce de la existencia de seis razas del patógeno; mientras que para ***E. cichoracearum*** sólo se reportan dos razas, la 0 y la 1.

La enfermedad inicialmente se manifiesta con la presencia de pequeñas manchas blanquecinas, de forma circular y aspecto pulverulento que se desarrollan sobre el tejido; las cuales están compuestas por micelio y estructuras reproductivas del patógeno. Las manchas se unen y llegan a cubrir todo el limbo de la hoja, lo cual le proporciona un color blanco - grisáceo a la planta. En estadíos avanzados de la enfermedad las hojas se secan y se produce muchas veces la defoliación. El pecíolo, el tallo y el fruto presentan alteraciones análogas pero menos frecuentes, el fruto es raramente afectado, excepto en algunas variedades de melón. Una vez ocurrida la defoliación, el patógeno se aprovecha de los azúcares de la planta y como conse-

cuencia reduce el contenido de ellos (Viloria y Mac Beath, 1991 y Castaño y Río, 1994).

Según Blancard et al. (1991) las especies fúngicas que son responsables del oidio en el melón, producen síntomas completamente idénticos sobre las hojas, pecíolos, tallos y más raramente sobre los frutos, por lo que su diferenciación a simple vista resulta casi imposible, aunque otros autores señalan que existe una pequeña variación en la coloración del micelio que tiende a ser más pardo en ***S. fuliginea*** (Goidánich y Casirini, 1998).

La temperatura no es un factor limitante para el desarrollo de la enfermedad, su óptimo desarrollo se produce a una temperatura de 26°C; la humedad no asume una importancia determinante, la óptima está alrededor del 70 %, las temperaturas inferiores a los 10°C y superiores a los 35 °C impiden el proceso infeccioso (Boselli et al. , 1996 y Averre et al. , 1998).

El ciclo de desarrollo de esta enfermedad es muy corto, los síntomas aparecen pasado 7 días de la contaminación primaria, las hojas jóvenes no son infestadas por el patógeno, mientras que aquellas que tienen de 19 a 23 días de desarrollo son más propensas a la enfermedad (Guadalupe FDGDEC, 1995).

Desde hace algunos años el desarrollo de variedades resistentes ha sido reconocido en el Caribe como el más usual y económico medio de control de las enfermedades. El mejoramiento de la resistencia a las enfermedades es un aspecto especial del mejoramiento genético y juega un papel importante en la producción desde el punto de vista económico, especialmente en países tropicales donde las pérdidas por estos conceptos son cuantiosos (Lozano y Schawrst, 1981 y Buddenhagen y De Pontii, 1983).

Blancard et al. (1991) plantea que hace mucho tiempo que se conocen y se utilizan los genes de resistencia; el trabajo de resistencia al mildiu pulverulento data de más de 50 años, pero tiene sus límites, ya que el nivel de esta resistencia y su estabilidad a veces suelen ser insuficientes. En algunas ocasiones la resistencia está ligada a características negativas en la planta, lo que dificulta su utilización; en melón se ha reportado que niveles muy altos de resistencia a oidio están ligados a fenómenos de necrosis.

Hasta la actualidad los estudios realizados han demostrado que existe un alto nivel de resistencia a ***S.***

*fuliginea* y *E. cichoracearum* en melón y su control es monogénico dominante (Pitrat et al., 1998).

Pitrat (1994) ha descrito 8 genes que controlan la resistencia a *S. fuliginea*. Este mismo autor llegó a la conclusión de que existen 3 genes que controlan la resistencia a *E. Cichoracearum*.

Tabla1. Control genético de la resistencia al mildiu pulverulento.

GEN	RESISTENCIA	CULTIVAR
<b><i>Sphaerotheca fuliginea</i></b>		
Pm1	Raza 1	
Pm2	Raza 2	
Pm3	Raza 1	
Pm4	Razas 0-1-2-3-4-5	
Pm5		
Pm6	Raza 2	
Pmw	Raza 2	
Pmx	Razas 0-1-2-3-4-5	
<b><i>Erysiphe cichoracearum</i></b>		
PM-E	Raza 0 y 1	
PM-F	Raza 0 y 1	
Pm-H	Raza 0 y 1	

Según Cornide et al. (1993) aquellas enfermedades que tienen un control monogénico manifiestan resistencia de tipo vertical, que se caracteriza por la interacción diferencial con los patotipos del huésped, por su expresión cualitativa y herencia mendeliana, así como por la reducción del inóculo inicial que retrasa el inicio de la epidemia, el mecanismo más frecuente de resistencia vertical es el de hipersensibilidad.

Desde el punto de vista del mejoramiento cuando uno o dos genes controlan la reacción de resistencia es mucho más fácil introducir estos genes en una nueva variedad, los niveles de resistencia pueden ser altos y las plantas tendrán una respuesta de todo o nada (es decir variedad sensible o resistente) La dominancia de estos genes no es siempre total; si la variedad comercial es un híbrido F<sub>1</sub> con un solo parental resistente, el nivel de resistencia del híbrido a la enfermedad será ligeramente inferior al del parental homocigótico. En el caso de la resistencia del melón al oidio sobre las variedades comerciales F<sub>1</sub> heterocigóticas, se hace necesario en ocasiones un tratamiento complementario antioidio (Blancard et al., 1991).

Un aspecto esencial del trabajo de mejoramiento genético encaminado a la búsqueda de resis-

tencia a enfermedades, es la realización de ensayos que discriminen el comportamiento de los materiales que posee el mejorador para utilizar esta información en sus programas de mejoramiento. Estudios similares han realizado en sus colecciones locales (Floris y Alvarez., 1995).

Fanourakis et al (2000) señala la existencia de una serie diferencial para determinar razas del patógeno a través de la cual pueden determinarse los genes presentes en los materiales.

Tabla 2. Serie diferencial para determinar razas de *Sphaerotheca fuliginea* causantes del mildiu pulverulento.

Variedades	Resistencia por razas					
	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>
MR-1	R	R	R	R	R	R
PMR-5	R	R	R	S	R	R
EDISTO-47	R	R	R	R	S	R
WMR-29	R	R	R	R	S	R
PMR-45	R	R	R	S	S	S
ANANAS YOKNEAM	S	S	S	S	S	S
IRAN-H	S	S	S	S	S	S

R- Resistente S- Susceptible

El mejoramiento para la resistencia al mildiu pulverulento fue incluido dentro del primer programa moderno de búsqueda de resistencia a enfermedades en melón. Se comenzó con LG 525 y se concluyó en la liberación de PMR 45, resistente a la raza 1 de *S. fuliginea* y a partir de PI 79376 se llegó a PMR 5 resistente a la raza 2 de este patógeno (Pitrat et al., 1998).

Según Goidanich y Casirini (1998) en Francia se han obtenido híbridos con óptima tolerancia y calidad, como 'Romeo', 'Çantor' y 'Pharo'; mientras que en América se han obtenido buenas variedades resistentes a la raza 1 y 2 de oidio, como Çampo', 'Jacumba' y Çhilot' entre otros.

## 7. Programa de mejora actual para el cultivo del melón en Cuba. Resultados.

A partir de 1989 en Cuba y en especial en el Instituto de Investigaciones Hortícolas «Liliana Dimitrova» se comenzó un programa de mejoramiento genético para el cultivo del melón, cuyo objetivo era obtener cultivares con buena adaptación al cultivo protegido y resistentes al mildiu pulverulento. Como parte de este programa se desarrolló una fuerte introducción de variedades, sobre todo de origen italiano, la cual estuvo precedida por una fuerte selección e hibridación. Una vez que contamos con los híbridos experimentales se diseñaron varios estudios comparativos de los híbridos en diferentes localidades y finalmente se obtuvo el melón 'Charenlí' primer híbrido cubano para instalaciones de cultivo protegido, con un fruto tipo charentais y resistente al mildiu pulverulento.

En la actualidad la perspectiva del mejoramiento genético en el cultivo del melón en Cuba, está encaminada a la obtención de nuevos híbridos de características de fruto diferentes, adaptados al cultivo protegido, resistentes al mildiu pulverulento y resistentes a la *Cercospora casicola* que constituye un grave problema en el cultivo protegido de melón en nuestro país desde hace algún tiempo.

## 8. Conclusiones

De lo antes expuesto queda demostrada la importancia del mejoramiento genético de esta especie, ya que a través de él podemos lograr cultivos con mejores características, mejor calidad de los frutos, altos rendimientos, mayor adaptabilidad a las condiciones de cultivo protegido y sobre todo resistentes a las principales enfermedades que se le presentan al cultivo en estas condiciones. El trabajo de mejoramiento genético es un trabajo continuo y su objetivo fundamental es aportar a la producción nuevos cultivares para ampliar la estructura varietal del país.

## Bibliografía

ALLARD, R. W.

Principios de la mejora genética de las plantas.—La Habana: Edición revolucionaria, 1970.— 498 p.

ARMENGOL, J. Y G. MARTÍNEZ.

1995 Situación fitosanitaria y su control en los cultivos. Agrícola Vergel 14(162): 328-334.

AVERRE, C. W; J. K. BROW; B. D. BRUTON; L. D. CHANDLER; R. M. DAVIS Y J. A. DUTHIE.

1998 Compendium of Cucurbit Diseases. - - New York: APS PRESS. - - 87 p.

BECKMAN, J. S, AND M. SOLER.

1989 Backcross inbred lines for mapping and cloning of loci of interest In: T. Helentjaris, and Burr (eds). Development and applications of molecular markers to problems in plant genetics. Current communications in molecular biology. Cold Spring harbor laboratory pp: 117-122.

BERTRAND, F. AND M. PITRAT.

1989 Screening of a muskmelon germplasm for susceptibility to 5 pathotypes of powdery mildew. In Cucurbitaceae'89. - -México,- - p. 140-142.

BLANCARD, D., H. LECOQ. Y M. PITRAT.

1991 Enfermedades de las cucurbitáceas.—Madrid: Ediciones Mundi-Prensa,— 301 p.

BON, DE. H. , P. RAULT. , F. PARFAIT. , P. DALY.

1990 Observations de variétés de melon (*Cucumis melo*) á la Martinique. P. H. M. Revue Horticole 303 : 40.

BOSELLI, M. , T. GALASSI. Y F. MAZZINI.

1996 La difesa fitosanitaria. Terra e vita (29): 44-49.

BUDDENHAGEN, I. W. AND V. M. B. DE PONTIL.

1983 Crop improvement to minimize future losses to diseases and pests in the tropics. Plant Protection Bull. FAO 31(1): 11-30.

CASSERES, E.

1980 Producción de hortalizas.—Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura,—p. 217-235.

CASTAÑO - ZAPATA, J. Y L. DEL RÍO.

1994 Guía para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica. - - 3ª edición. - -Honduras : Zamorano Academic Press. - 302 p.

CLEARJEAU, M. AND H. LATERROT.

1980 Creation de variétés résistantes aux maladies chez les plantes maraichères. IDIA enero-febrero.

- CORNIDE, M. T., H. LIMA. Y J. SURLÍ.  
1993 Resistencia genética de las plantas cultivadas. - - La Habana : Editorial Científico Técnica, - - p. 17.
- DE ARMAS, GEORGINA.  
1985 Resistencia genética y su utilización en algunas enfermedades de tomate y pimiento. Boletín de Reseñas. N<sup>o</sup> 5: 7-38.
- DIXIT, J.  
1983 Heterosis in muskmelon (*Cucumis melo L.*). Journal of Research 13(4): 549-554.
- DU PONT.  
1949 Índice de plagas y enfermedades en plantas. La Hacienda 44(3): 52,.
- FAO.  
1990 Fundamentos teórico-práctico del cultivo de tejidos vegetales.—Roma: FAO.—112 p.
- FERNÁNDEZ, M. R.  
1973 Catálogo de enfermedades de plantas cubanas: Academia de Ciencias de Cuba.—77p.
- FLORIS, E. AND J. M. ALVAREZ.  
1995 New sources for powdery mildew resistance in melon from Spanish local cultivars. Cucurbit Genetic Cooperative Report 18: 41.
- GABRIEL, E. L., G. MARTÍN., M. GATICA., H. RIQUELME. Y M. R. FURLANI.  
1991 Melones para exportación. Mercados y técnicas de producción. Agro de Cuyo 1(1): 40-47.
- GAMAYO, D. J.  
1991 Cultivo de el melón en invernaderos.—España: Generalitat Valenciana Conselleria D' Agricultura i Pesca.—182 p.
- GOLA, G., G. NEGRI. Y C. CAPPELLETTI.  
1966 Tratado de botánica.— La Habana: Edición revolucionaria.— 1160 p.
- GÓMEZ, MARÍA LUISA.  
1985 Mejora genética del melón (*Cucumis melo L.*).—España: Estación Experimental “La mayora”.
- GOIDÁNICH, G.. Y B. CASIRINI.  
1998 La difesa delle piante orticole. Fisiopatíe, virosi e malattie crittogamiche. - - Italy : Edagricole. - - p. 679-683.
- GONZÁLEZ, MARÍA C.  
1995 Curso internacional de verano: Biología y mutagénesis.—La Habana: INCA.
- GUADALUPE FDGDEC.  
1999 Fiche Phytosanitaire du melon. - - Guadalupe: Fédération Départementale des Groupements de Défence contro les Ennemis des Cultures de Guadalupe (FDGDEC).
- GUENKOV, G.  
1981 Fundamentos de la horticultura cubana.—La Habana: Editorial pueblo y educación.—308 p.
- IGLESIAS, R. Y R. ROJAS.  
1992 Utilización del polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP) en los programas de mejoramiento genético de plantas. Cultivos Tropicales 13(1).
- KIRALY, Z., Z. KLEMENT., F. SOLYMOSSY. AND J. VOROS.  
1974 Methods in plant pathology.—Budapest: Akademiai Kiadó.
- LOZANO, J. C. Y H. F. SCHAWRTZ.  
1981 Limitaciones de la resistencia a enfermedades de varios cultivos alimenticios en América Latina. Fitopatología Colombiana 10(1-2): 33.
- MAROTO, J. V.  
1992 Horticultura herbácea especial.—3<sup>ra</sup> edición.—Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.—539 p.
- MÁRQUEZ, F.  
1988 Hibridación Introducción. En Genotécnia vegetal(Tomo I).—México: A.G.T Editor, s.a.— p. 1-16.
- MAC, O, J. GARCÍA-MAS, M. MORALES, R. DOLCET-SANJUAN, MC. DE VICENTE, H. GÓMEZ, H. VAN LEEUWEN, A. MONFORT, P. PUIGDOMÉNECH, AND P. ARÚS.  
2000 The Spanish melon genome project: Construction of a sturated genetic map. Acta Horticulture. 510: 241-245.
- MC CLEAN, PH.  
1997 Mappiing plant genomes with molecular markers. The classes of molecular markers In: URL= <http://11.cornegied.pb.Stanford.Edu/methods/aflp.htm>.
- MESSIAEN, C. M.  
1981 Le melone. En Les variétés résistantes.—Paris: Institut National De la Recherche Agronomique.—p. 263-277.
- MOHAMED, Y. F. , M. BARDIN. , P. C. NICOT. AND M. PITRAT.  
1995 Cusal agents of powdery mildew of cucurbits in Sudan. Plant Diseases 79 : 634 -636.