

## APOMIXIS EN LA PROPAGACION DE PLANTAS

Entre las múltiples formas de propagación que se conocen, la apomixis es un evento natural muy útil para la agricultura ya que combina las ventajas de la propagación por semilla botánica y los métodos de propagación vegetativos.

La apomixis puede definirse como la producción de semillas sin previa fecundación. Esta puede producirse por varios mecanismos y las semillas resultantes tienen sólo el material genético de la madre. Puede requerir o no de la polinización o de la germinación del tubo polínico para dar inicio a la formación de semilla, pero nunca se produce la unión sexual, siendo un término más específico que el concepto de poliembrionía, que alude sólo a la presencia de más de un embrión en la semilla independientemente del origen de los mismos.

Especialmente en la horticultura, la apomixis es una alternativa para la reproducción vegetativa de especies con características superiores, donde al no ocurrir intercambio de material genético, se puede reproducir indefinidamente un genotipo dado, permitiendo la producción de semillas de alta calidad.

Aunque las causas de la formación del embrión sin fecundación aún no están bien determinadas, la apomixis permite la reproducción de especies obteniendo plantas iguales a la planta madre, lo que asegura un mejor control en la producción.

Actualmente, la propagación y el estudio de los mecanismos genéticos que rigen la apomixis en diversas especies están tomando cada vez más fuerza, ya que representa una forma de clonación de plantas a través de semillas y porque brinda la oportunidad de desarrollar nuevos y únicos cultivares de especies.

En el Perú, la propagación de patrones de cítricos usando semilla apomíctica es la forma de propagación más utilizada y eficiente. Muchos pastos comerciales también se propagan por semilla apomíctica. Por ello es importante que se sigan haciendo investigaciones que nos permitan abrir nuevas puertas utilizando este principio.

### CONCEPTOS Y CLASIFICACION

Desde 1719, año en que Leewenhock observó la presencia de más de un embrión en las semillas de naranjo, a la fecha el mismo fenómeno ha sido reportado en muchas otras especies..

Este nuevo embrión sin fecundación, de origen materno o vegetativo puede formarse por diferentes mecanismos. En cada caso, el efecto es que la producción de semillas se torna asexual, de manera que tiende a originar la reproducción de un clon por semilla. Tal generación de plantas así obtenidas se conocen como plantas apomícticas. Algunas especies o individuos producen solamente embriones apomícticos y se les conoce como plantas de *apomixis obligada* (*Paspalum notatum*, *Pennisetum ciliare*) mientras que otras que producen tanto embriones apomícticos como sexuales son conocidas como plantas de *apomixis facultativa*, como por ejemplo el blue grass (*Poa pratensis* L.). La apomixis ha sido reportada en 35 familias y 300 especies.

Existen muchas clasificaciones para la apomixis, atendiendo a los diferentes procesos que ocurren a nivel del saco embrionario y las diferentes formas de origen de los embriones, pero la clasificación más usada es la siguiente:

- ❖ **Apomixis recurrente**, donde el saco embrionario (gametofito femenino) se desarrolla a partir de una célula madre (o de alguna célula adyacente si es que la célula madre se desintegra) sin que ocurra meiosis completa. El óvulo por lo tanto tendrá por lo tanto el mismo número diploide de cromosomas y un embrión se desarrollará directamente del núcleo de ese óvulo sin que ocurra fecundación. La formación de este tipo de semilla apomíctica puede ocurrir con o sin el estímulo de la polinización. Ocurre en algunas especies de *Poa*, *Taraxacum*, *Allium*, *Rubus* y otros.
- ❖ **Apomixis no recurrente**, el embrión se forma directamente del núcleo del óvulo, sin fertilización. Por lo tanto, al provenir de una célula madre haploide, el embrión también resultará haploide. Esto ocurre raramente en la naturaleza y no es específico de ningún tipo de especie y tiene sobre todo un interés genético. Este ciclo de crecimiento no se debería considerar apomíctico porque la semilla haploide no es un clon de la planta madre.
- ❖ **Embrionía adventicia**, también llamada embrionía nucelar o gemación nucelar, ocurre especialmente en el género *Citrus*. La formación de embriones apomícticos puede ocurrir adicionalmente a la formación del embrión sexual; pero a diferencia de la apomixis recurrente, los embriones se originan en la nucela o en los tegumentos del saco embrionario, es decir fuera del saco embrionario. Por lo tanto la semilla puede contener varios embriones, uno de los cuales es de origen sexual. En el género *Opuntia*, los embriones nucleares se originan sólo con el estímulo de la polinización.
- ❖ **Apomixis vegetativa**, este proceso ocurre cuando en el escapo floral, se forman estructuras vegetativas (yemas y bulbillos aéreos) en lugar de las flores, como en *Poa bulbosa* y algunos *Allium*, *Agave* y especies de grass. En el norte de la costa, es común encontrar unas variedades de cebolla que producen bulbillos en vez de flores, los cuales son usados como semillas por los agricultores.

**La poliembrionía**, queda definida como la presencia de más de un embrión en la semilla, pero independientemente del origen de éstos; por lo tanto la apomixis nucelar es un caso de poliembrionía, el origen no determinado de los embriones en mango y la formación de varios embriones por causa de la división del proembrión en las coníferas se citan como los casos más importantes.

## . PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN EN APOMIXIS

Investigaciones recientes están apuntando hacia la identificación de los genes responsables de este fenómeno natural, con la esperanza de transferir los genes identificados hacia los cultivos de importancia económica a fin de obtener nuevas formas de producción masiva de semilla de calidad, como por ejemplo en el cultivo de maíz donde genes de pastos de gramíneas emparentadas con este cultivo están siendo transferidos hacia el maíz híbrido.

Se considera que estas investigaciones pueden originar una nueva revolución tecnológica en el cultivo de maíz donde el *Tripsacum*, una gramínea silvestre se está utilizando para transferir apomixis mediante el enfoque de los **genes candidatos** donde se están buscando genes en el maíz que se localicen en el mismo segmento del genoma de la apomixis en el *Tripsacum* (mostrado por marcadores moleculares) y que expresen modificaciones en la forma de reproducción similares a las observadas en las plantas apomícticas..

En Rusia, el laboratorio Dimitri Petrov y sus investigadores fueron los que definieron con éxito en los años sesenta el modelo de transferencia de apomixis hacia el maíz identificando los cromosomas particulares que llevan los genes de la apomixis, tratando de generar el prototipo de maíz apomíctico.

Las investigaciones en diferentes cultivos para determinar su potencial apomíctico han dado diferentes resultados como en fresa (*Fragaria spp*) donde hasta la fecha ha sido bastante difícil determinar la apomixis obligada o facultativa, estableciéndose que en este género la apomixis es un fenómeno excepcional.

En China, se estudia el género *Bohemeria* a fin de extender la propagación por semilla de este cultivo de importancia económica en Asia, ya que la propagación vegetativa es bastante deficiente y debido a que en este género se encuentran especies silvestres que presentan apomixis con mucha frecuencia .

En el ámbito de la comunidad científica internacional la identificación y utilización de los genes de apomixis para la producción de semillas de cultivos importantes representa un potencial para lo que muchos consideran el gran salto en la producción agrícola, lo que constituiría una verdadera revolución asexual de la semilla, de efectos mejores que los de la revolución verde. En la investigación básica la apomixis es todavía un desafío para los investigadores cuyos alcances son todavía inimaginables de medir.

## CONCLUSIONES

- La apomixis es una ventaja en aquellos cultivos y especies en donde la formación de embriones sin fecundación permiten obtener poblaciones uniformes genéticamente a partir de semilla botánica, siendo de mucha importancia, al ser una forma natural de propagación.
- La apomixis puede ser una alternativa en la búsqueda de cultivos que solucionen problemas de rendimiento y producción de nuevas variedades, contribuyendo a la producción masiva de semilla mejorada.
- La existencia de apomixis en muchas especies silvestres, relacionadas con cultivos de importancia económica, ha permitido estudiar mejor este fenómeno y abrir las posibilidades de transferencia de genes apomícticos a cultivos de importancia económica
- A pesar de estos grandes beneficios potenciales, la excesiva uniformidad genética, puede contribuir también con la pérdida de biodiversidad.

## **BIBLIOGRAFIA SOBRE APOMIXIS,,,,,**

- ❖ Hartmann, H.T., D.E.Kester, F.T.Davies, Jr. , and R.L. Geneve.1997.Plant Propagation: Principles and Practices. Sixth edition. Prentice Hall.
- ❖ Siura Saray. Principios de Propagación de plantas. Apuntes de clase.1998.
- ❖ Apomixis, Species, and Revolution. Ion I. Bara et. al.  
<http://www.cimmyt.mx/research/ABC/ApomixisNews11-1htm>
- ❖ Experimental Apomixis in Garden Strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*). Sergey O. Baturin et. al.  
<http://www.cimmyt.mx/Research/ABC/ApomixisNews11-2htm>.
- ❖ Abnormal Behavior of Chromosomes in Meiosis of Reduced Maize-Tripsacum Hybrids: The progeny from 49-Chromosome Apomicts. L.A. Luking and A.K. Chistyakova.  
<http://www.cimmyt.mx/Research/ABC/ApomixisNews11-3htm>
- ❖ Efforts to Create Apomictic Diploids of *Paspalum notatum* , var.Parodi. Glenn W. Burton  
<http://www.cimmyt.mx/Research/Abc/apomixisNews11-12htm>
- ❖ New Eu-Funded Apomixis Research Projects. Thomas Dresselhaus.  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-3htm>
- ❖ Apomixis in the Genus *Boehmeria* in China. GG. Zana and Zhao  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-7htm>
- ❖ The “Salmon System” of wheat-A suitable model for Apomixis Research. F.Matzk  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-8htm>
- ❖ Apomixis Research in Europe  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisGermany96-97.htm>
- ❖ Declaration of the participants in the conference on “Designin a Research Strategy for Achieving Asexual seed Production in Cereals”)”Bellagio Apomixis Declaration.  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/Apomixis10-11htm>
- ❖ Apomixis in *Paspalum simplex*: Achievments and Perspectives. F. Pupulli.et.al  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-10htm>.
- ❖ Apomixis in Angiosperms: Nucellar and Integumentary embryony. Naumova; Tamana.  
<http://crcpress.com/catalog/4570.htm>
- ❖ Proyecto Apomixis  
<http://198.93.240.203/Research/Abc/Apomixisbroch.spa.html>
- ❖ Crop and Food Research  
<http://lcncri-4.Lincoln.eri.n2/curreseas/apomixis/index.htm>
  
- ❖ Apomixis gen may allow farmers to plant.  
<http://www.worldbank.org.html/cgiar/newsletter/Oct95/3apomix.htm>
- ❖ Transposon Tagging  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-9htm>.
  
- ❖ La semilla de los árboles  
<http://www.guialverde.com/árboles/semillas.htm>
  
- ❖ Locus *Atripisacum dactyloides* apomixis  
<http://www.agron.missouri.edu/cgi-bin-mdb3/locus/112157>
- ❖ Apomixis Page (Cimmyt)

<http://www.cgiar.org/cimmyt/Biotechnology/apomixishtm>

- ❖ Apomixis in *S. Cervisiae* wine strains  
<http://www.Genome-www.stanford.edu/saccharomyces/Yeast98/abshtml/319.html>

### Otros Artículos:

- ❖ Apomixis Research in diploid sugar beet. Laura Seilova, Institute of plant.
- ❖ Which gene(s) are we looking for?. Andrea Mazzucato, Dipartimento di Agrobiología e Agrochimica, Italy.
- ❖ In vitro Apomixis in unpollinated Ovary Culture of Wheat. S. Mukhambetzhonov, Institute of Plant Physiology, Genetics and Bioengineering, Kazakhstan
- ❖ Molecular Markers have proven their value in Apomixis Research. Hilde Nybon, Department of Horticulture Plant Breeding, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden.
- ❖ Why is gametophytic Apomixis almost restricted to polyploids? The Gametophyte-expressed lethal model. A. J. Richards, Department of Agricultural and Environmental Science, University of Newcastle.
- ❖ BIO4-CT97-2282 Apomixis in Agriculture: A molecular approach. Plant biotechnology Programmes in the fourth framework Programme (1994-1998)
- ❖ Apomixis: Giving Poor Farmers access to hybrids. Elizabeth de Paez, CIAT.
- ❖ Apomixis. Article from the publication "Agricultural Revolutionizing Hybrid Corn Production"
- ❖ Hortscience. A publication of the American Society for Horticultural Science.1998. Performance of eight apomictic selections as Apple Rootstocks. David C, Ferree.

## RESUMEN

### Trabajo semestral de Principios de Propagación de Plantas

Por: Fiorela Bustamante Siura

Direcciones e-mail: [19970866@lamolina.edu.pe](mailto:19970866@lamolina.edu.pe)

**Tema:** Apomixis: Un nuevo recurso en la propagación de plantas para la producción masiva de semillas mejoradas

**Resumen:**



Apomixis, es un recurso muy útil para la agricultura, por el cual se obtienen plantas genéticamente iguales a las plantas madres a través de la propagación por semilla sin que haya ocurrido fecundación del gameto femenino.

## 1. APOMIXIS, ESPECIES Y EVOLUCIÓN

Bara et al. En Rumania revisan el concepto de especie y su relación desde el punto de vista evolutivo con el fenómeno de apomixis. Señalan que la especie como un sistema funcional y estructural con una aparición real en la biósfera, puede ser analizada y descrita desde dos puntos de vista: uno metódico y otro sistémico. De acuerdo con el primer punto de vista, la especie representa una entidad taxonómica situada en una posición bien definida del árbol filogenético. De acuerdo con el segundo punto de vista, la especie representa una etapa en la organización e integración de la materia viviente, un sistema en el que se reúnen subsistemas en forma estructural y funcional donde la especie por sí misma constituye un subsistema dentro del sistema biocenótico.

Cuando se utilizan estos puntos de vista para explicar el origen y evolución de las especies, la reproducción apomítica, aumenta los problemas relacionados con el estatus de las especies. Algunos especialistas, consideran que aquellos individuos que se reproducen apomíticamente no pueden pertenecer dentro de ciertas especies. Los autores del presente estudio opinan que – al menos, metodológicamente – este es un concepto falso. Primero, como una entidad estructural y funcional supraindividual de la materia viva, la especie se caracteriza por un sin fin de peculiaridades que la definen como una manera concreta de reproducción siendo sólo una de ellas. Segundo, los que sostienen el concepto “biológico de las especies” ven a la reproducción como un proceso único e integratorio que asegura la circulación de la información hereditaria (fluído de genes) a través de los individuos de una población (especie).

Por otro lado, existen muchas especies opcionales apomíticas (apomixis facultativa) y sería completamente ilógico considerar a uno u otro individuo de diferente comportamiento (reproducción amphimítica o reproducción apomítica) como pertenecientes a diferentes especies.

Darwin consideró, en su teoría de la evolución de las especies a través de la selección natural, que ésta no guarda relación con lo individual. Más tarde, Mayr estableció que la hazaña más importante de la biología en el siglo veinte era el reemplazo del pensamiento tipológico con el popular, fundando el “concepto biológico de la especie”, de acuerdo con el cual, la verdadera especie sólo es representada por un grupo de individuos caracterizados por una total **panmixis** (cambios libres de gametos y, en consecuencia, de los genes).

## **APOMIXIS E IMPORTANCIA EN ESTUDIOS GENETICOS**

Paéz del CIAT, menciona que, excepto en cítricos la apomixis se da raramente en cultivos de importancia económica y que la mayoría de genes apomícticos se encuentran en especies silvestres relacionadas con los cultivos. Sin embargo los científicos están tratando de encontrar el “gen de la apomixis” que introducido a los cultivos puede significar que algún día los agricultores puedan sembrar semillas obtenidas de sus propias cosechas, año tras año sin necesidad de comprar nuevas semillas. Esta posibilidad podría transformar la agricultura tanto de los países en desarrollo como de los países industrializados.

Becker (1998), del USDA-ARS Southern Plains Research Station señala que la apomixis es una forma natural de clonación de plantas a través de semillas, que ofrece a los mejoradores de plantas un sistema único para desarrollar nuevos y distintivos cultivares en muchas especies, y que les dará a los científicos una potente herramienta para crear híbridos que puedan producir generaciones de plantas genéticamente iguales que retienen sus genes híbridos originales. Estas investigaciones se están realizando en muchos cultivos de importancia económica como por ejemplo en maíz, donde el sueño de los mejoradores de plantas ha sido por muchos años encontrar la forma de transformar este cereal y otros en una super planta capaz de reproducirse por sí misma sin que ocurra la pérdida del vigor híbrido, las características agronómicas o la resistencia a plagas y enfermedades. En este proyecto, los genes de transferencia de apomixis han sido obtenidos de *Tripsacum dactyloides*, que es un pasto nativo y silvestre de Norte América que tiene un pool de genes que se pueden transferir al maíz como resistencia a heladas, insectos, sequía así como tolerancia al exceso de humedad. Este año, el Servicio de Investigación Agrícola obtuvo la primera patente de una planta apomíctica (patente N° 5,710,367) denominada “maíz apomíctico” y su próxima meta es la obtener la patente del gen o los genes específicos responsables de esta característica.

Se asegura que la apomixis puede fijar el vigor híbrido y permitir una mayor eficiencia en la producción consistente de semillas de alta calidad. Su propósito apunta a la identificación de los genes claves que controlan la apomixis en especies modelos y que contribuirán a la compilación de marcadores moleculares para añadirlas en la transferencia de cultivos económicamente importantes.

Kindiger (1998) señala que Rusia, a través del laboratorio Dimitri Petrov fueron los primeros que definieron con éxito en los años sesenta el modelo de transferencia de apomixis hacia el maíz, identificando los cromosomas particulares que llevan los genes de apomixis. Desde 1993, el equipo de Kindiger y el Instituto de Citología y Genética de Novosibirsk de Siberia han

desarrollado programas cooperativos para evaluar el germoplasma ruso en la mira de generar el prototipo de maíz apomíctico.

Se concluye que la apomixis tiene el potencial para aumentar significativamente las posibilidades del mejoramiento del cultivo, de elevar el rendimiento de las cosechas y de reducir los costos de la siembra a un nivel que le puede ser práctico para un pequeño agricultor en un país en desarrollo.

## **PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN EN APOMIXIS**

Investigaciones recientes están apuntando hacia la identificación de los genes responsables de este fenómeno natural, con la esperanza de transferir los genes identificados hacia los cultivos de importancia económica a fin de obtener nuevas formas de producción masiva de semilla de calidad, como por ejemplo en el cultivo de maíz donde genes de pastos de gramíneas emparentadas con este cultivo están siendo transferidos hacia el maíz híbrido.

El CIMMYT considera que estas investigaciones constituyen una nueva revolución tecnológica en el cultivo de maíz donde el *Tripsacum*, una gramínea silvestre se está utilizando para transferir apomixis mediante el enfoque de los **genes candidatos** donde se están buscando genes en el maíz que se localicen en el mismo segmento del genoma que la apomixis en el *Tripsacum* (mostrado por marcadores moleculares) y que expresen modificaciones en la forma de reproducción similares a las observadas en las plantas apolíticas.

En Rusia, el laboratorio Dimitri Petrov y sus investigadores fueron los que definieron con éxito en los años sesenta el modelo de transferencia de apomixis hacia el maíz identificando los cromosomas particulares que llevan los genes de la apomixis.

Las investigaciones en diferentes cultivos para determinar su potencial apomítico han dado diferentes resultados como en fresa (*Fragaria spp*) donde hasta la fecha ha sido bastante difícil determinar la apomixis obligada o facultativa, estableciéndose que en este género la apomixis es un fenómeno excepcional. En China, se estudia el género *Bohemeria* a fin de extender la propagación por semilla de este cultivo de importancia económica en Asia, ya que la propagación vegetativa es bastante deficiente y debido a que en este género se encuentran especies silvestres que presentan apomixis con mucha frecuencia .

En el ámbito de la comunidad científica internacional la identificación y utilización de los genes de apomixis para la producción de semillas de cultivos importantes representa un potencial para lo que muchos consideran el gran salto en la producción agrícola, lo que constituiría una verdadera revolución asexual de la semilla, de efectos mejores que los de la revolución verde. En la investigación básica la apomixis es todavía un desafío para los investigadores cuyos alcances son todavía inimaginables de medir.

## **2. APOMIXIS, ESPECIES Y EVOLUCIÓN**



Bara et al. En Rumania revisan el concepto de especie y su relación desde el punto de vista evolutivo con el fenómeno de apomixis. Señalan que la especie como un sistema funcional y estructural con una aparición real en la biósfera, puede ser analizada y descrita desde dos puntos de vista: uno metódico y otro sistémico. De acuerdo con el primer punto de vista, la especie representa una entidad taxonómica situada en una posición bien definida del árbol filogenético. De acuerdo con el segundo punto de vista, la especie representa una etapa en la organización e integración de la materia viviente, un sistema en el que se reúnen subsistemas en forma estructural y funcional donde la especie por sí misma constituye un subsistema dentro del sistema biocenótico.

Cuando se utilizan estos puntos de vista para explicar el origen y evolución de las especies, la reproducción apomítica, aumenta los problemas relacionados con el estatus de las especies. Algunos especialistas, consideran que aquellos individuos que se reproducen apomíticamente no pueden pertenecer dentro de ciertas especies. Los autores del presente estudio opinan que – al menos, metodológicamente – este es un concepto falso. Primero, como una entidad estructural y funcional supraindividual de la materia viva, la especie se caracteriza por un sin fin de peculiaridades que la definen como una manera concreta de reproducción siendo sólo una de ellas. Segundo, los que sostienen el concepto “biológico de las especies” ven a la reproducción como un proceso único e integratorio que asegura la circulación de la información hereditaria (fluído de genes) a través de los individuos de una población (especie).

Por otro lado, existen muchas especies opcionales apomíticas (apomixis facultativa) y sería completamente ilógico considerar a uno u otro individuo de diferente comportamiento (reproducción amphimítica o reproducción apomítica) como pertenecientes a diferentes especies.

Darwin consideró, en su teoría de la evolución de las especies a través de la selección natural, que ésta no guarda relación con lo individual. Más tarde, Mayr estableció que la hazaña más importante de la biología en el siglo veinte era el reemplazo del pensamiento tipológico con el popular, fundando el “concepto biológico de la especie”, de acuerdo con el cual, la verdadera especie sólo es representada por un grupo de individuos caracterizados por una total **panmixis** (cambios libres de gametos y, en consecuencia, de los genes).

Es por todos reconocido que cada población posee un pool de genes característicos, cuya composición genética es modificada o no como una función de la resultante de las interacciones complejas presentes en el ecosistema.

No obstante, el pool de genes se va modificando a través de la sucesión de generaciones. Es verdad que un gen es transmitido de un individuo a otro, no en la dirección macho-hembra, pero sí en la dirección padre-progenie. El proceso en que cada gen es transmitido de una generación a otra se denomina reproducción.

Consecuentemente, indiferente de la modalidad de reproducción, el pool de genes es llevado a través de la línea de generaciones – en el caso de **amphimixis**. Además, entre las dos modalidades de reproducción ninguna diferencia ocurre como la carga de información hereditaria transmitida desde una generación a otra. Las diferencias aparecen luego, por las cuales se preserva el tesoro genético de los padres en los tesoros de los descendientes.

La reproducción **amphimítica** asegura y eleva la variabilidad a través del encuentro accidental de gametos, pero además está sujeta a una elevada presión selectiva

comparada con la reproducción **apomíctica**, precisamente a través de la acción de selección en el ámbito de los gametos. Es obvio que el mismo gen tiene diferentes valencias, aguantando la presión de selección en una forma diferenciada cuando pertenece a diferentes grupos de vínculos. Otra vez, una explicación es necesaria. Bajo algunas condiciones ambientales estables, una elevada amplitud de variabilidad individual puede ser poco económica y muy costosa para la población. En tal situación, la selección tiene un carácter estabilizante, eliminando individuos que se desvían de la norma en una manera significativa. La reproducción apomíctica es muy ventajosa bajo ciertas condiciones, si se considera la economía de la población. Por otro lado, tal situación permite la orientación del proceso evolutivo, sin afectar la velocidad de su desarrollo. Por el contrario, bajo condiciones ambientales variables, cuando la selección puede ejecutarse en una manera desorganizada o por lo menos orientada, la variabilidad de la amplitud elevada es benéfica ya que puede contribuir a acelerar el proceso de la especiación (diversificación evolutiva).

Como una conclusión general, la aserción puede ser realizada de los dos modos de reproducción (**amphimíctica y apomíctica**) pueden influenciar la dirección y la proporción de una población de una modificación de un pool de genes, aunque no por ellos mismos, mas sí con el proceso de selección que no influye de ninguna forma al estado de la especie. Actualmente la reproducción ocurre dentro de la población de especies, e indiferente de la manera de su éxito, asegura la perpetuación de las especies. Además la integridad de las especies significa no sólo reproducción **amphimíctica**; es un complejo mucho más complejo. Cada especie, como un sistema biológico abierto, tiene varias características muy importantes. En otras palabras, no existe un sistema biótico individual extra específico. Más aún, muchas especies opcionales apomícticas existen, y sería completamente ilógico considerar una y un mismo individuo como pertenecientes a una cierta especie cuando se perpetua **amphimícticamente** pero no cuando se reproduce **apomícticamente**.

### 3. ESTUDIOS DE APOMIXIS EN DIFERENTES ESPECIES

#### ❖ Apomixis experimental en fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*)

Baturin menciona que el género *Fragaria* es un buen modelo para investigar problemas de reproductividad biológica debido a su ontogenia perenne. Todas las especies de *Fragaria* son valiosas como plantas comestibles. *Fragaria x ananassa Duch.* ( $2n=8x=56$ ) tiene una gran importancia agronómica. En la población nativa de *Fragaria*, la apomixis obligada no se ha encontrado todavía. La apomixis facultativa, aún ha sido muy difícil de identificar también.

En este trabajo se buscó elaborar un concepto del papel sexual y formas apomícticas de reproducción de la semilla de *Fragaria*, para contestar las preguntas sobre los mecanismos de desarrollo de semilla apomíctica, encontrar las maneras de aplicar la reproducción apomíctica y para clarificar la base genética de apomixis en *Fragaria*.

El análisis de citoembriológico realizado reveló el potencial apomítico o estructural en *Fragaria* (Sukhareva y Baturin 1992), considerando que puede descubrirse apomixis funcional con la ayuda de técnicas especialmente desarrolladas por la inducción de apomixis (Sukhareva 1976; Baturin 1997). Para obtener descendencia apomítica, se usan métodos diferentes para controlar desde fuera o impedir el proceso sexual.

Apomixis de manera autónoma en *Fragaria* es por consiguiente un fenómeno excepcional.

Se desarrolló una tecnología barata y fácil para inducir apomixis en fresa que puede aplicarse como un nuevo método para mejora del cultivo. También puede usarse para algunas otras especies de propagación vegetativa. Esta tecnología permite regular y controlar los modos de reproducción de la semilla en *Fragaria*.

#### ❖ **Conducta anormal de Cromosomas en Meiosis de los híbridos de maíz-tripsacum.**

##### **La Descendencia de 49-cromosoma**

Lukina y Chistyakova con el propósito de transferir la habilidad para la reproducción del cromosoma apomítico 49 desde *Tripsacum* a maíz estableció la manera de traslado genético a través de: (a) obteniendo una serie de generaciones del backcross de maíz x el híbrido de *Tripsacum* reduciendo el número de cromosomas de *Tripsacum* y teniendo dos juegos completos de cromosomas de maíz en su genomió complementarios, y (b) obteniendo "tripsacoid" de las plantas de maíz x la suma de líneas de *Tripsacum* combinando 20 cromosomas de maíz y un pequeño (ningún más de tres) número de cromosomas de *Tripsacum* en su complemento. Acerca del experimento, resultó que este esquema era complicado por varios eventos negativos que llevaron a resultados indeseables.

#### ❖ **Esfuerzos por crear plantas apomíticas diploides de *Paspalum notatum* var. *Parodi***

Burton menciona que la apomixis obligada es el modo de reproducción en los tetraploides naturales del bahiagrass *Paspalum notatum* Flugge. Si se pudiera encontrar o crear apomixis en las especies diploides de *Paspalum notatum*, podrían arreglarse las características de muchas plantas deseables y se podría reducir el tamaño de la población necesarias para las investigaciones genéticas.

#### ❖ **Apomixis en el Género *Boehmeria* en China**

El género *Boehmeria* es un miembro de la familia de las Urticaceas . Abarcarca alrededor de 120 especies que se extendieron en Asia, América y América Latina. Hay aproximadamente 32 especies en China. Ramie (*Boehmeria nivea*) es una cosecha fina

que ha sido cultivada durante miles de años y todavía es una cosecha importante en el sur de China. En general, la propagación del ramie no es un método eficaz y conveniente. Apomixis puede producir semillas asexuales y podría usarse en la mejora de propagación del ramie. Algunas de estas especies pueden tener 3-5 generaciones por un año y hay tipos ricos de apomixis en el género. Estos tipos muestran diferencias importantes en los mecanismos y niveles de ploidia o en los cariotipos. Los poliploides apomicticos con siploides sexuales sobreviven en las mismas especies. Boehmeria es una planta de flores unisexuales y las especies apomicticas en este género son formaciones autónomas del gineceo y el endospermo. Este tipo de plantas apomicticas pueden producir la flor masculina y polinizarse a través de químicos artificiales para inducir hibridación. Estos también pueden usarse como un material especial para estudiar la alteración de la expresión del sexo en plantas apomicticas (Zang y Zhao).

### ❖ **El Sistema Salmón de Trigo - Modelo Conveniente para la Investigación de Apomixis**

F. Matzk

El éxito de formación de semilla de apomixis en la evolución depende de una unión genética íntima de los componentes diferentes de apomixis, en cuanto al apomeiosis del caso y parthenogenesis. Los solos procesos por sí, son callejas ciegas en evolución. Por consiguiente, una selección contra la recombinación libre entre éstos ocurre en naturaleza.

Las líneas isogénicas o los mutantes específicos que exhiben solos componentes de formación de semilla de apomixis son muy útiles estudiar procesos celulares y moleculares involucrados en la red regulador de reproducción. Los tales componentes son por ejemplo: -Parthenogenesis que representa la alternación del gametophyte al sporophyte sin fertilización.

Parthenogenetic y " las líneas estériles masculinas son idénticas acerca del grado y la expresión temporal (alrededor del anthesis) de parthenogenesis. Esto fue demostrado por el auxinay prueba de descendencia (Fig.1). El cronometrando de aborto de polen, sin embargo, difiere en cS y KS. Por consiguiente, productos del gen específicos que aparecen en los dos parthenogenetic y las líneas estériles masculinas pero están faltando en la línea sexual o viceversa deben asociarse con parthenogenesis en lugar de con esterilidad masculina

### ❖ **Apomixis en vitro en ovario sin fecundación Cultivo de Trigo**

#### **S. MUKHAMBETZHANOV**

Uno de las peculiaridades interesantes en culturas de ovario sin polinizar es la posible inducción de algunos elementos de apomixis sin polinización. Las células de la bolsa del embrión y el tejido somático que lo rodean pueden entrar fuera del estado de diferenciación final y embriones de apomixis de forma en condiciones del vitro. En el trabajo presente, nosotros intentamos demostrar apomixis en ovario sin fecundar en culturas de trigo.

Dos métodos de desarrollo del gametophyte hembra en condiciones del vitro se observó. En el primero, las células de bolsa de embrión se degeneraron. Las células de aparato de huevo eran el primero en ser destruido, seguido por la célula central y el complejo antipodal. Por el segundo, los embriones de apomixis no diferenciada se formaron. y

descubrimos embriones no diferenciados multicelulares que desarrollaron en el área del micropilar de la bolsa del embrión.

Los resultados de estos experimentos indican que ese gynogenesis, apogameta, integumental y embryony del nucellar pueden ocurrir en en vitro unpollinated trigo ovario culturas.

#### ❖ **Transposon que etiqueta para el aislamiento de mutantes del apomixis y los genes correspondientes en Petunia**

Sree K. Ramulu,)

El objetivo de nuestra investigación es aislar mutantes de apomixis en Petunia y clonar los genes correspondientes con la ayuda de transposon etiquetar. Esto puede abrir nuevas rutas para el traslado de la característica de apomixis hacia cultivos importantes. Los elementos de *Transposable* mueven de su situación del cromosoma e inducen mutaciones insertando en los genes y rompiendo su integridad estructural vía el excision y reintegración. Pueden usarse mutagenesis de Transposon para poner en correlación un fenotipo del mutante directamente a un nuevo evento de integración de transposon. Esto facilita el aislamiento directo de genes sin el requisito para conocimiento anterior sobre la naturaleza del producto del gen designado. La Apomixis mediante inserción de mutantes serán aislados protegiendo para semilla parcial ponga en la ausencia de fertilisation

#### ❖ **Apomixis en cerevisiae de S. agasajan tensiones**

Castrejón, Francisco

La apomixis se ha investigado en una levadura de vino, IFI256. En esta tensión la falta de formación del tetrad es debida a mutaciones recesivas localizadas en cromosoma VIII. Uno de ellos los mapas en el SPO12 sitio considerando que un segundo uno está caracterizándose actualmente. La complementación con el gen funcional permitiría que los meiosis completos de esto y otro apomictico agasajan tensiones.

#### **¿Por qué se restringen los apomixis del gametophytic casi al polyploids?**

##### **El modelo letal gametophyte-expresado**

A.J. RICHARDS

La apomixis y la poliploidia están muy entrelazados; sin embargo, se sabe que la apomixis solo se puede dar en plantas diploides mas no en poliploides. Muchos autores señalan que la herencia de la Apomixis es gobernada por un solo gen.



#### **4. APOMIXIS: OPINIONES Y PERSPECTIVAS EN LA COMUNIDAD CIENTÍFICA**

Pupilli et al mencionan que la comunidad científica está debatiendo si los estudios de apomixis en diferentes especies son una alternativa más conveniente que los sistemas convencionales. Tomando como ejemplo el caso de *Paspalum* demostrado para céspedes, podría demostrarse un acercamiento apropiado para etiquetar genes de apomixis.

##### **❖ Nuevos Proyectos de investigación en apomixis**

Dresselhaus habla del interés por producir clones por medio de la apomixis, siendo las madres de estos clones plantas híbridas.

Los nuevos proyectos de investigación en apomixis apuntan a lo siguiente: (i) entender la regulación genética de varios procesos apomícticos y las diferencias entre la reproducción sexual y asexual, (ii) transferir genes de apomixis de pastos naturales generalmente apomícticos a otros cultivos de plantas importantes que normalmente se reproducen sexualmente, y finalmente en el futuro (iii) controlar la reproducción asexual y sexual en plantas apomícticas y de reproducción asexual.

##### **❖ Investigación sobre apomixis en Europa**

La apomixis (reproducción asexual a través de semillas) es una manera de producir semillas que son clones de su planta madre. Esto es particularmente interesante si la planta de la madre es un híbrido. Hay un interés creciente para usar apomixis en la producción de muchos cultivos, porque permitiría reproducir material de la planta híbrida. Sin embargo, esta investigación es todavía limitada e insuficiente para muchos cultivos de importancia comercial y el potencial de mayor prospecto es el descubrimiento de los procesos y el traslado de genes de apomixis de semilla asexual a las especies de cosechas sexuales.

##### **❖ Ensayando Apomixis; Una Nueva Frontera En Ciencia de la Planta**

enjaezando genes del apomixis para mejora de la planta ofrece el potencial para el salto al cuántum en producción de agricultura--una "revolución asexual", los beneficios de que podría empequeñecer aquéllos de la "revolución verde". por otro lado, el apomixis presenta desafiando y oportunidades intrigantes de definir muchos organismal, procesos reproductores, fisiológicos, celulares y moleculares. La manera en la que se usarán varios análisis y manipulaciones para el apomixis investiga siga siendo indefinido grandemente.

(1 Conferencia internacional en Apomixis, Estación de la Universidad, TX, EE.UU., 25-27 de septiembre de 1995,)

##### **❖ Este artículo es de la publicación "Investigación Agrícola" el 1998 de diciembre**

## Producción de Maíz Híbrida revolucionando

, Apomixis es una forma de clonación, funcionalmente similar a los métodos más familiares como propagación cortante, injerto y cultura del tejido, todavía acopló con la economía y simplicidad de producción de la semilla.

Apomixis tiene el potencial para aumentar la proporción de mejora del cultivar significativamente, aumentar el nivel de uniformidad de la cosecha y reducir los costos de planta que engendra a un nivel que sería práctico para un poseedor pequeño en una nación en vías de desarrollo.

### **Declaración de los participantes en la conferencia sobre "Diseño de una Estrategia de Investigación para la Producción de Semillas Asexuales en Cereales"**

Richard A. Jefferson

. La apomixis promete revolucionar el mejoramiento de plantas al establecer un sistema que permite mantener invariable las características de cualquier variedad vegetal, incluyendo los híbridos, a través de innumerables generaciones. Esta cualidad establecerá condiciones más eficientes de manejo, mejoramiento y producción. Para los mejoradores de plantas, ofrece también una oportunidad para agilizar el desarrollo de variedades específicamente adaptadas a condiciones locales, usando y conservando mayor diversidad genética. La apomixis también permitirá que los campesinos y agricultores de bajos recursos puedan sembrar año tras año la semilla que producen a partir de variedades locales, lo que no es posible con los híbridos comerciales disponibles actualmente.

## 5. El Proyecto Apomixis

Este proyecto ha sido diseñado para brindar soluciones a los agricultores de bajos recursos, quienes, al no contar con variedades híbridas o mejoradas de maíz, luchan por sobrevivir sembrando plantas de bajo rendimiento. El Cimmyt, pretende transferir las características apomicticas al maíz, Se está retrocruzando el híbrido, como producto del cruce del maíz con su pariente silvestre el *Tripsacum*. Entre las estrategias para lograr esto, está la de identificar y aislar los genes de la apomixis en el *Tripsacum* y transferirlos directamente al maíz.

La apomixis permitirá a los fitomejoradores generar nuevas variedades en menos tiempo y a menor costo. El maíz apomictico haría económicamente factible el desarrollo de variedades adaptadas a zonas agroecológicas reducidas. Los productores de semilla, podrán producir híbridos a costos mucho menores. La tecnología apomictica reduce al mínimo la mano de obra que se requiere para producir híbridos, al no necesitarse el control riguroso de la polinización. La semilla híbrida se podrá reciclar indefinidamente, sin perder sus características de alto rendimiento.

### **Principales logros a la fecha;**

Descubrimientos, existen diferencias estructurales cruciales entre los ovarios de las plantas sexuales y las asexuales, lo que ha conducido directamente a l desarrollo de nuevos instrumentos de selección que a su vez permiten identificar los especímenes apomícticos, con mucho mayor certeza.

El Camino a la Apomixis, se dio un gran paso adelante con la generacion de plantas apomicticas parecidas al maíz que contienen unos cuantos cromosomas al *Tripsacum*.

Se identifica e4l candidato prometedor, los estudios de genética molecular han llevado a l identificación de un gen” candidato” muy prometedor que participa en el control de la Apomixis. Este gen llamado “elongado del maíz” se está clonado y pronto se llevará a cabo experimentos para verificar su función.

### **BIBLIOGRAFIA.**

- ❖ Hartmann, H.T., D.E.Kester, F.T.Davies, Jr. , and R.L. Geneve.1997.Plant Propagation: Principles and Practices. Sixth edition. Prentice Hall.
- ❖ Curso avanzado de genética.1992.Migel Morán
- ❖ Siura Saray. Principios de Propagación de plantas. Apuntes de clase.1998.
- ❖ Apomixis, Species, and Revolution. Ion I. Bara et. al.  
<http://www.cimmyt.mx/research/ABC/ApomixisNews11-1htm>
- ❖ Experimental Apomixis in Garden Strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*). Sergey O. Baturin et. al.  
<http://www.cimmyt.mx/Research/ABC/ApomixisNews11-2htm>.
- ❖ Abnormal Behavior of Chromosomes in Meiosis of Reduced Maize-Tripsacum Hybrids: The progeny from 49-Chromosome Apomicts. L.A. Luking and A.K. Chistyakova.  
<http://www.cimmyt.mx/Research/ABC/ApomixisNews11-3htm>
- ❖ Efforts to Create Apomictic Diploids of *Paspalum notatum* , var.Parodi. Glenn W. Burton  
<http://www.cimmyt.mx/Research/Abc/apomixisNews11-12htm>
- ❖ New Eu-Funded Apomixis Research Projects. Thomas Dresselhaus.  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-3htm>
- ❖ Apomixis in the Genus *Boehmeria* in China. GG. Zana and Zhao  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-7htm>
- ❖ The “Salmon System” of wheat-A suitable model for Apomixis Research. F.Matzk  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-8htm>
- ❖ Apomixis Research in Europe  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisGermany96-97.htm>
- ❖ Declaration of the participants in the conference on “Designin a Research Strategy for Achieving Asexual seed Production in Cereals”)”Bellagio Apomixis Declaration.  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/Apomixis10-11htm>
- ❖ Apomixis in *Paspalum simplex*: Achievements and Perspectives. F. Pupulli.et.al  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-10htm>.
- ❖ Apomixis in Angiosperms: Nucellar and Integumentary embryony. Naumova; Tamana.  
<http://crcpress.com/catalog/4570.htm>
- ❖ Proyecto Apomixis  
<http://198.93.240.203/Research/Abc/Apomixisbroch.spa.html>
- ❖ Crop and Food Research

- ❖ <http://lcncri-4.Lincoln.eri.n2/curresea/apomixis/index.htm>
- ❖ Apomixis gen may allow farmers to plant.  
<http://www.worldbank.org.html/cgiar/newsletter/Oct95/3apomix.htm>
- ❖ Transposon Tagging  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-9htm>.
- ❖ La semilla de los árboles  
<http://www.guíaverde.com/árboles/semillas.htm>
- ❖ Locus *Atripisacum dactyloides* apomixis  
<http://www.agron.missouri.edu/cgi-bin-mdb3/locus/112157>
- ❖ Apomixis Page (Cimmyt)  
<http://www.cgiar.org/cimmyt/Biotechnology/apomixishtm>
- ❖ Apomixis in *S. Cervisiae* wine strains  
<http://www.Genome-www.stanford.edu/saccharomyces/Yeast98/abshtml/319.html>

### Otros Artículos:

- ❖ Apomixis Research in diploid sugar beet. Laura Seilova, Institute of plant.
- ❖ Which gene(s) are we looking for?. Andrea Mazzucato, Dipartimento di Agrobiología e Agrochimica, Italy.
- ❖ In vitro Apomixis in unpollinated Ovary Culture of Wheat. S. Mukhambetzhonov, Institute of Plant Physiology, Genetics and Bioengineering, Kazakhstan
- ❖ Molecular Markers have proven their value in Apomixis Research. Hilde Nybon, Department of Horticulture Plant Breeding, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden.
- ❖ Why is gametophytic Apomixis almost restricted to polyploids? The Gametophyte-expressed lethal model. A. J. Richards, Department of Agricultural and Environmental Science, University of Newcastle.
- ❖ BIO4-CT97-2282 Apomixis in Agriculture: A molecular approach. Plant biotechnology Programmes in the fourth framework Programme (1994-1998)
- ❖ Apomixis: Giving Poor Farmers acces to hybrids. Elizabeth de Paez, CIAT.
- ❖ Apomixis. Article from the publication "Agricultural Revolutinazing Hybrid Corn Production"
- ❖ Hortscience. A publication of the American Society for Horticultural Science.1998. Performance of eight apomictic selections as Apple Rootstocks. David C, Ferree.

### Referencias mas importantes:

1. Curso de Genetica Avanzada. Miguel Moran. 1992
2. Hartmann, H.T., D.E. Kester, F. T. Davies, Jr., and R.L.Geneve.1997. Plant Propagatio: Principles and Practices. Sixth edition.
3. Apomixis, Species, and Evolution. Ion I. Bara et.al  
<http://www.cimmyt.mx/Research/ABC/ApomixisNews11-1htm>

4. Experimental Apomixis in Garden Strawberry. Sergey O. Baturin et.al.  
<http://www.cimmyt.mx/Research/ABC/ApomixisNews11-2htm>
5. New EU-Funded Apomixis Research Projects. Thomas Dresselhaus.  
<http://198.93.240.203/Research/ABC/ApomixisNews10-3htm>



el huerto