

**IDENTIFICACION DE LINEAS DE INVESTIGACION BIOTECNOLOGICAS PARA
LA SERICULTURA EN COLOMBIA**

LUZ MARINA GARZÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

ECAPMA

Popayán

2015

IDENTIFICACION DE LINEAS DE INVESTIGACION BIOTECNOLOGICAS PARA LA
SERICULTURA EN COLOMBIA

LUZ MARINA GARZÓN

Trabajo de grado en la modalidad monografía para optar el título de especialista en
Biotecnología Agraria

ASESORA MARTHA ISABEL. ALMANZA., M.Sc, Ph.D.
Bióloga, Profesora Titular Universidad del Cauca

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE.
ECAPMA
Popayán
2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

CONTENIDO

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1. GUSANO DE SEDA <i>Bombyx spp.</i> | 4 |
| 1.1. CLASIFICACIÓN DE RAZAS DE GUSANO DE SEDA <i>Bombyx mori</i> | 4 |
| 1.2 RAZAS COMERCIALES DE GUSANO DE SEDA..... | 6 |
| 1.2.1 Razas Japonesas | 7 |
| 1.2.2 Razas Chinas | 8 |
| 1.2.3 Razas Coreanas | 9 |
| 1.2.4 Razas Europeas | 9 |
| 1.2.5 Razas de India..... | 14 |
| 1.2.6 Razas de Turquía | 14 |
| 1.2.7 Razas Egipcias..... | 14 |
| 1.2.8 Razas de Colombia | 15 |
| 1.2.9 Razas de Latinoamérica..... | 18 |
| 1.3 PRODUCCIÓN DE HÍBRIDOS | 20 |
| 2. MORERA <i>Morus sp.</i> | 23 |
| 2.1 CLASIFICACIÓN DE GÉNERO <i>Morus sp.</i> | 23 |
| 2.2 VARIEDADES DE JAPÓN..... | 27 |
| 2.3 VARIEDADES DE INDIA | 28 |
| 2.4 VARIEDADES DE EUROPEAS..... | 29 |
| 2.5 VARIEDADES DE COLOMBIA..... | 33 |
| 2.6 VARIEDADES DE LATINOAMÉRICA..... | 33 |
| 3. BANCOS DE GERMOPLASMA..... | 36 |
| 3.1 MANTENIMIENTO DE BANCOS DE GERMOPLASMA DE <i>B. mori</i> | 36 |
| 3.2 CONSERVACIÓN DE BANCOS DE GERMOPLASMA DE MORERA | 37 |
| 4. IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA | |

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| EN SERICULTURA..... | 38 |
| 4.1 GUSANO DE SEDA <i>B. mori</i> | 40 |
| 4.1.1 Bancos de germoplasma..... | 40 |
| 4.1.2 Voltinismo..... | 41 |
| 4.1.3 Moltinismo..... | 41 |
| 4.1.4 Otras características..... | 42 |
| 4.1.5 Técnicas para conservar los bancos de germoplasma..... | 42 |
| 4.2 MEJORAMIENTO GENÉTICO DE <i>B. mori</i> | 42 |
| 4.3 BANCO DE GERMOPLASMA DE <i>Morus sp.</i> | 44 |
| 4.4 MEJORAMIENTO DE MORERA..... | 45 |
| 4.5 MARCADORES MOLECULARES..... | 48 |
| 5. CERTIFICACIÓN DE SEDA ORGÁNICA..... | 50 |
| 6. USOS POTENCIALES DEL GUSANO DE SEDA <i>B. mori</i> | 53 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 55 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Principales razas de mayor uso en Japón. | 8 |
| Tabla 2. Características de híbridos del banco de germoplasma de Bulgaria. | 12 |
| Tabla 3. Características de híbridos de gusano usados en Colombia | 16 |
| Tabla 4. Razas chinas en el banco de germoplasma colombiano de la Universidad Tecnológica de Pereira. | 18 |
| Tabla 5. Características comerciales de híbridos de Perú | 18 |
| Tabla 6. Características de líneas genéticas de gusano de seda <i>B. mori</i> del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de la Molina (Perú)..... | 19 |
| Tabla 7. Rendimientos de capullo de híbridos F1 obtenidos en la Universidad Nacional de la Molina..... | 19 |
| Tabla 8. Principales especies de morera cultivadas en el mundo..... | 25 |
| Tabla 9. Variedades de morera italianas..... | 31 |
| Tabla 10. Principales proteínas producidas a partir de gusano de seda..... | 54 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de gusano de seda Pílamó 1, en la vereda Santa Bárbara, propiedad del señor Ramiro Almanza en el municipio del Tambo, departamento del Cauca.....16

Figura 2. Raza de gusano Pílamó 1, próximo a la formación capullos, en la vereda Santa Bárbara, propiedad del señor Ramiro Almanza municipio del Tambo, departamento del Cauca.....17

RESUMEN

La biotecnología es una herramienta importante para innovar la producción de hilo de seda y puede convertir la sericultura en una importante cadena productiva para el departamento del Cauca y Colombia. El objetivo del estudio fue identificar líneas de investigación biotecnológica en sericultura para Colombia y en particular para el departamento del Cauca, mediante la revisión de fuentes bibliográficas de Latinoamérica, Europa y consultas con sericultores caucanos. Las tres líneas de investigación que están relacionadas con la adaptación del gusano de seda y la morera a las condiciones agroambientales específicas del trópico con énfasis en Colombia, son: establecimiento y conservación de bancos de germoplasma, mejoramiento genético, y desarrollo de procesos de certificación orgánica donde los marcadores moleculares; son una herramienta fundamental en la distinción de germoplasma y el desarrollo biotecnológico de la sericultura. La investigación biotecnológica en sericultura desarrollada en Colombia es mínima, por lo que se debe comenzar desde cero para realizar programas de mejoramiento genético, que requieren de razas e híbridos de gusano de seda y cultivares de morera existentes en los bancos de germoplasma mundial y además, aprovechar la condición de certificación orgánica internacional que posee la seda del departamento del Cauca. La sericultura hace parte de la economía del departamento del Cauca desde hace desde hace 30 años, sin embargo, sus sistemas de producción de gusano y morera no han cambiado durante este tiempo, siendo poco eficiente ambiental, social y económicamente. El desarrollo de estas líneas de investigación puede contribuir a mejorar la calidad de hilo de seda para que cumpla con los estándares requeridos en los mercados nacionales e internacionales.

Palabras claves

Gusano de seda, morera, biotecnología, sericultura, híbridos, voltinismo, moltinismo, germoplasma.

ABSTRACT

Biotechnology is an important innovation producing silk thread and can turn into a major sericulture production chain for the department of Cauca and Colombia tool. The aim of the study was to identify lines of biotechnology research in sericulture to Colombia and in particular for the department of Cauca, by reviewing literature sources in Latin America, Europe and consultations with caucanos silkworm. The three lines of research that are related to the adaptation of the silkworm and mulberry to specific agro-environmental conditions in the tropics with emphasis on Colombia, are: establishment and maintenance of genebanks, genetic improvement, and development of organic certification processes where molecular markers; and are a fundamental tool in distinguishing germplasm and biotechnology development of sericulture. Biotechnology research in sericulture developed in Colombia is minimal, so it should start from scratch for breeding programs that require breeds and hybrids of silkworm and cultivars existing global banks mulberry germplasm and also leverage provided international organic certification has silk Cauca Department. Sericulture is part of the economy of Cauca last 30 years, however, their production systems and mulberry worm have not changed during this time, being inefficient environmentally, socially and economically. The development of these lines of research can help improve the quality of silk thread to comply with the required standards in national and international markets.

Keywords

Silkworm, mulberry, biotechnology, sericulture, hybrids, Voltinism, moltinismo, germplasm.

INTRODUCCIÓN

La Sericultura es el conjunto de actividades culturales y económicas que se desarrollan en torno a la seda (Pescio *et. al* 2008); e integra tres componentes, el agrícola con el cultivo de la morera *Morus sp*, el pecuario con la cría del gusano de seda *Bombyx mori* y el agroindustrial, con la transformación del hilo en la industria textil, cosmetológica y la medicina (Cifuentes y Sohn, 1998). La seda es ampliamente utilizada en la elaboración de subproductos que van desde la fabricación de telas, material quirúrgico, construcción, aeronáutica, la producción de proteína recombinante hasta injertos óseos, ya que estimula el crecimiento y adhesión de las células, es biodegradable y resistente (Elises, 2001); además, el aceite de crisálidas se utiliza para productos cosméticos, como lociones, cremas que poseen propiedades de aceleración sobre el cambio de las células epiteliales y sirve como coadyuvante en todos los problemas de la piel (Soto y Tamayo, 2008).

Aunque Colombia en los años 2006 y 2007 alcanzó una producción de 4.160 kilogramos, su consumo se estimó en 8.522 kilogramos, es importante destacar que la producción de capullo fresco ha venido aumentando año tras año (Enciso, 2008) pero Brasil lidera la producción de hilo devanado en Latinoamérica siendo el tercer productor mundial (Espinoza, 2012).

En Colombia y en el departamento del Cauca la sericultura ha sido una actividad importante desde hace 30 años, especialmente en los municipios de Morales, Timbio y el Tambo, donde se convirtió en una alternativa para la diversificación de las actividades productivas del campo y contribuyó al mejoramiento de los ingresos y condiciones de vida de las familias campesinas (Rodríguez *et al.*, 2012).

En el año 2000 nació La Corporación para el Desarrollo de la Sericultura del Cauca, CORSEDA, que desde entonces ha tratado de sacar adelante esta actividad, vinculando más de 300 familias campesinas, que se dedican a la cría de gusanos de seda, y producción de capullos, la elaboración manual de hilos y artículos tipo exportación (PADEMER, 2003), en la actualidad, la entidad trabaja en la articulación de la cadena productiva de la seda buscando mejorar la productividad y competitividad mediante la organización e integración de cada uno de sus eslabones, que involucran a los cultivadores de la morera, los sericultores, las tejedoras de fibra, los empresarios y comercializadores.

Aunque la seda es un producto comercial importante para el departamento, no se ha hecho investigación biotecnológica en seda, desde hace muchos años no se ha cambiado el sistema de producción de gusano ya que todavía se viene trabajando con razas que no se han adaptado completamente al clima colombiano y que no están produciendo la calidad de hilo requerida para mercados nacionales e internacionales, de igual manera aún se cultiva las mismas variedades de morera que son de difícil reproducción, además en Colombia y Latinoamérica no se cuenta con la información suficiente y necesaria acerca de programas de mejoramiento genético (Salas *et al.*, 2006) porque la mayor parte de la investigación está dirigida a la producción de capullos de gusano de seda.

Dadas las condiciones actuales en la actividad serícola de Colombia y la posibilidad de que la agrocadena de la seda renazca en el departamento del Cauca, es esencial identificar líneas biotecnológicas fundamentales en la investigación de la seda que sirvan para trabajar nuevos paquetes tecnológicos que involucren procesos biotecnológicos y contribuyan al mejoramiento de la industria serícola, y de esta manera ofrecer a los sericultores materiales vegetales y razas de gusanos altamente productivos, de fácil propagación, resistentes a plagas, enfermedades y a condiciones ambientales adversas, además mejorar el

proceso técnico productivo el cual debe ser adaptado al departamento del Cauca ya que el actualmente utilizado se ha desarrollado en otras zonas del país.

Este trabajo se desarrolló mediante la identificación de la literatura científica pertinente relacionada con la temática en Colombia, Latinoamérica y a nivel mundial; consulta de las principales bases de datos (pubmed, Science.gov, journal insect science, universidades en Colombia que realizan trabajos con gusano de seda) y conversaciones con sericultores del municipio del Tambo; tuvo como objetivo identificar las diferentes líneas de investigación biotecnológicas en sericultura para mejorar la producción y calidad del hilo de seda requeridos para mercados especializados, en la elaboración de subproductos y de esta manera lograr que la sericultura se convierta en una actividad económica importante para el departamento del Cauca y Colombia.

1. GUSANO DE SEDA *Bombyx spp.*

El gusano de seda es un insecto del orden de los Lepidópteros; completamente domesticado y adaptado a la cría comercial, no existe en estado libre por haber perdido la capacidad de volar y sobrevivir en condiciones ambientales extremas (Pescio *et al.*, 2008).

Según Gaviria *et al.* (2006), el gusano de seda es un insecto de importancia económica, posee una gran variedad de características comerciales, como colores de la seda, marcas de la piel, número de mudas, colores del cuerpo, hábitos alimenticios, secreción, producción de seda y fibroína, es un recurso genético molecular ideal para resolver problemas biológicos, una especie que incluye más de 400 mutaciones y cientos de razas geográficas mejoradas genéticamente.

1.1. CLASIFICACIÓN DE RAZAS DE GUSANO DE SEDA *Bombyx mori*

A nivel mundial, no existe una codificación estándar de razas de gusano de seda, cada país maneja sus propios bancos de germoplasma y sus programas de mejoramiento convencionales, donde se han creado gran variedad de híbridos, por lo cual es difícil identificar si se está hablando de razas similares o diferentes.

Según Cifuentes y Sohn (1998) y Castejón (2013), las razas de *B. mori* se pueden catalogar por acreditación de bancos de germoplasma en:

- a. Grupo japonés
- b. Grupo europeo
- c. Grupo español
- d. Grupo híbrido

Además por el origen geográfico, el gusano de seda *B. mori* se clasifica en:

- a. Razas japonesas: poseen 3 marcas larvales, forman capullos con cintura de color blanco, verde o amarillo, son univoltinos o bivoltinos y son resistentes a los cambios ambientales desfavorables.
- b. Razas chinas: la mayoría no tienen marcas larvales, la forma de capullo es ovalada de color generalmente blanco, amarillo, dorado, rosado y rojo, son multivoltinos, univoltinos o bivoltinos, son de crecimiento rápido y uniforme.
- c. Razas europeas: poseen marcas larvales normales pero tenues, producen capullos ovalados de color blanco, son sensibles a las condiciones ambientales y a enfermedades como la Pebrina, Muscardina, son todos univoltinos, originarios de Europa y Asia central, producen huevos grandes y pesados y la duración del periodo larval es muy largo especialmente en el quinto instar.
- d. Razas tropicales: producen capullos pequeños de color verde, amarillo o blanco con bajo porcentaje de seda cruda, son multivoltinos, poseen huevos pequeños y livianos con corteza brillante, las larvas son pequeñas, tolerantes a la temperatura, humedad y son de duración larval corta.

Cifuentes y Sohn (1998) también clasifican las razas de gusano de seda según su moltinismo, aspecto que se refiere al número de mudas en su ciclo de vida, esta característica está relacionada con la constitución genética y las condiciones ambientales. De acuerdo a esto las razas de *B. mori* son:

- a. Trimudantes de duración larval corta, cuerpo larval, capullos pequeños y filamento delgado.
- b. Tetramudantes son populares en las crías comerciales, poseen cuerpo larval y capullos intermedios.
- c. Pentamudantes, fueron inducidos por una mutación natural de los tetramudantes, la duración larval es larga, cuerpo larval y capullos grandes,

filamento grueso, estas razas son menos resistentes a condiciones ambientales adversas.

En relación con el voltinismo, Cifuentes y Sohn (1998) lo consideran como el carácter genético que establece el número de generaciones en un año bajo condiciones naturales y determinado por la madre en la etapa embrionaria. Los gusanos de seda provenientes de zona templada son univoltinos, producen una generación al año, el filamento obtenido del capullo es de buena calidad, el cuerpo larval es grande, los bivoltinos tienen dos generaciones al año, su periodo larval es corto, son relativamente resistentes a temperaturas y humedades altas y la calidad del filamento es buena. Las razas originadas en la costa tropical son multivoltinos los cuales producen generaciones continuas durante todo el año y se caracterizan por presentar un periodo larval muy corto y son tolerantes a temperaturas altas.

1.2 RAZAS COMERCIALES DE GUSANO DE SEDA

En Colombia y en especial en el departamento del Cauca la sericultura es una actividad que se practica desde la década de los ochenta y la investigación biotecnológica desarrollada es escasa, por tal motivo para iniciar una investigación al respecto es necesario conocer las características de las diferentes razas existentes en los bancos de germoplasma de los países productores de seda del mundo y de este modo identificar razas de gusano de seda que se adapten a las condiciones de suelo y clima de Colombia.

A nivel mundial existen diferentes variedades comerciales de gusano de seda en países como España, China, Italia, Bulgaria, India, Japón, Corea y en Latinoamérica en Colombia, Brasil, Perú, Bolivia, Ecuador y Paraguay para obtención de hilo de seda, pero todas estas especies provienen de un ancestro común, *Bombyx mandarina*.

B. mandarina es considerado como el antepasado más probable de todos los gusanos de seda del mundo que vive en estado salvaje en Japón, gran parte de China, Corea y otras zonas de Asia, posee cuerpo más delgado con alas bien desarrolladas en los machos y son de color marrón-grisáceo (Monedero, 2009).

Según Altman y otros autores (2003) *B. mandarina* ha pasado por un proceso de domesticación durante miles de años donde surgieron miles de razas locales, cada una con sus características y adaptaciones propias; una de las más importantes es *B. mori* que contribuye al 95% de la seda mundial. La seda, es segregada por las glándulas sericígenas del gusano y se utiliza para elaborar el capullo, una estructura cerrada de protección en la que realiza la metamorfosis que consta de dos proteínas, la fibroína y la sericina (Cifuentes y Sohn, 1998).

Algunas de las razas fundamentales que se conservan en diferentes bancos de germoplasma se describen a continuación:

1.2.1 Razas Japonesas

Según Kosegawa (2002) en el siglo XIX la mayoría de razas japonesas domesticadas fueron variedades antiguas que se utilizaron para la producción de capullos y la producción de huevos. La reserva genética en Japón se clasifica en cuatro grupos: nativos o líneas puras, mejorados o híbridos F1, mutantes criados para la preservación de los genes mutantes y cepas intermedias. Las razas nativas y mejoradas están divididas en tres tipos: japoneses, chinos y europeos, pero mediante un proceso de mejoramiento se logró adaptar las razas chinas y europeas al clima de Japón. Actualmente la Universidad de Kyushu y el Instituto Nacional de Ciencias Agro biológicas de Japón (NIAS) funcionan como centro para los recursos genéticos de gusanos de seda en Japón, donde se conservan 450 líneas de gusano de seda domesticado. En la Tabla 1 se encuentran algunas de las razas de mayor uso en Japón con algunas de sus características.

Tabla 1. Principales razas de mayor uso en Japón

| Razas | Características |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M-201: | Esta raza tiene la pigmentación del tegumento en mosaico. |
| O-10. | Tienen partes del tegumento carente de pigmentación por lo que esas zonas son transparentes. |
| U41. | <p>Son de color blanco-grisáceo, con ocelos en la parte superior e inferior de su cuerpo. Los ocelos superiores son verdosos con el contorno negro en forma de C y los inferiores son circulares, del mismo color. La mancha de su protuberancia es de forma tronco-cónica de color verdoso con unas ligeras manchas a ambos lados y puntos dobles en todos sus segmentos.</p> <p>Esta variedad de gusanos es delicada, de crecimiento lento y poco adaptada a temperaturas altas. Su óptimo rendimiento es a de 26° C.</p> |
| U41. | Las larvas son blancas, con ocelos y máscara bien visibles. Los ocelos son de un color cercano al dorado y en los "falsos ojos" se distingue una tonalidad marrón-verdosa, las larvas son pequeñas, en su 5ª muda alcanzan 5,5 centímetros de longitud, los capullos son de tamaño reducido de color amarillo, con cintura, débiles o poco compactos al tacto. Su etapa de pupa dura 14 días. |
| G-33 | Las larvas poseen ocelos de color verde amarronado, bien marcados en la parte superior del cuerpo. Tienen puntos visibles, en cada uno de los segmentos y en la protuberancia o "falsos ojos" tienen una mancha triangular invertida del mismo color de los ocelos. La cabeza de estas larvas es de un color claro, casi rojizo, son de crecimiento lento, su longitud es corta, característica de las razas orientales. Poseen capullos acinturados de tamaño pequeño, ligeros al tacto; son de varios colores pastel. Los adultos son de tamaño pequeño. |

Fuente: NIRMIL (2013); Monedero (2009)

1.2.2 Razas Chinas

Según Chen (2002) desde 1949, existe un gran logro, no sólo en la colección e investigación de variedades locales de todo China, sino que también se introdujo una gran cantidad de nuevas líneas de gusanos de seda de Japón, la antigua Unión Soviética y otros países para enriquecer el banco de genes del gusano de seda. China cuenta con más de 1.000 variedades de gusanos de seda que se conservan en diferentes institutos, en 1987 se registraron 510 variedades de gusanos de seda procedentes de 26 institutos y universidades, incluyendo 139 variedades popularizadas, 10 variedades mejoradas autorizados después de la

identificación nacional, 199 variedades locales, 70 con características especiales, y 56 materiales genético introducidos de países extranjeros. Las nuevas variedades de gusanos de seda criados a partir de 1980 fueron producidas y adaptadas a condiciones de cría adversas. Además, fueron criadas algunas con caracteres económicos especiales o con fines especiales (Instituto de Investigación de la Sericultura, la Academia China de Ciencias Agrícolas, 2003).

Entre las variedades con características especiales se encuentran las variedades altamente tolerantes al fluoruro (Shen, Li, Tang, Li y Shen, 2002; Lin, Yao, Chen y Wu, 1998), variedades con hilo grueso como el híbrido Xinmiao × Mingri que pueden producir seda cruda con buena elasticidad y resistencia a la tracción, indicando que es un material adecuado para la explotación de las telas de seda anti arrugas (Shen *et al.*, 2002) y variedades en las cuales se puede distinguir su sexo de acuerdo al color como CY_{2c} (raza china) y JY₆₂₈ como variedad comercial, donde el capullo femenino es de color amarillo y blanco masculino (Xu, Jiang y Chen, 2000).

1.2.3 Razas Coreanas

Según Sohn (2002) los recursos genéticos de gusano de seda se conservan en el departamento de Entomología de la sericultura de Corea, allí se mantienen 340 cepas de gusanos de seda, de las cuales 321 cepas son registradas y 19 no registradas, están clasificadas por su origen, y voltinismo donde se destacan razas como Myun 49, Usungjukei, jam 103 y jam109.

1.2.4 Razas Europeas

Gómez (2013) afirma que en España por el momento se han podido recuperar 13 razas de gusano y de las cuales aún se conservan cinco. Una de ellas es Almería –galera, considerada como último ejemplar superviviente de gusano de seda español del siglo XVI en varias poblaciones indígenas de Sierra Madre de Oaxaca (México), esta raza se encontraba en Italia, fue arrasada por la pebrina en España

y en Europa. Las larvas son de color blanco, tiene la particularidad que sus capullos son de mayor tamaño, alargados con cintura, mide 54 x 16 milímetros; color amarillo pálido, su hilo es bueno para la fabricación de suturas quirúrgicas de buena calidad, se utiliza para pesca en Italia y es denominada raza de Almería. También se encuentra la raza Amarilla Española número 1, que es una variedad murciana, posee larvas de color blanco y capullo de color amarillo subido, sus dimensiones son 36x18 milímetros ligeramente acinturado, muy rico en seda y por último la raza Amarilla Española número 2, "Sierra Morena", es una raza antigua, muy vigorosa, sus larvas son de color ceniciento jaspeado, muy resistentes a las enfermedades, el capullo es algo alargado, acinturado, de color amarillo paja, muy rico en seda de excelente calidad; mide 42x18 milímetros.

A pesar que durante mucho tiempo se consideró como una raza pura española, en el año 2013, se realizaron estudios donde se concluyó que la Raza Amarilla Española número 2 sierra morena, no se podría clasificar como una raza pura debido a que en tres años de estudio no solo se hilaron capullos de tres colores distintos sino que en todas generaciones aparecieron individuos blancos a pesar de seleccionar y criar por separado larvas de color gris jaspeado propias de esta especie, lo cual hizo pensar que la raza es producto de una hibridación (Castejón, 2013) .

La raza Amarillo Sierra Morena es originario de Andalucía, su color característico es el amarillo anaranjado, alargado y sin cintura, aunque ocasionalmente se puede encontrar algunos individuos que hacen la seda verdosa (González, 2001a).

En Italia actualmente en la estación serícola de Ascoli y Padua se encuentran cerca de 130 razas de gusanos de seda agrupadas por color de capullo, voltinismo y origen (Cappelloza, 2002b) donde se destaca, Abruzzo, que es una de las razas de mayor importancia en Italia, por su buen rendimiento y gran riqueza en seda.

Las larvas son blancas; el capullo, de color amarillo-rosáceo de 38 x18 milímetros. También se encuentra la raza TG10 cruce de dos razas de capullos amarillo.

Por otro lado Según Mauchamp (2002) los recursos genéticos de gusanos de seda de Francia se encuentran en la "Unité Nationale Séricicole", cerca de Lyon. Fue establecido por el Dr. Gérard Chavancy en 1982. El objetivo de la colección era salvaguardar las cepas restantes dispersos en diferentes lugares. En este banco de germoplasma se guardan razas que se obtuvieron de diferentes estaciones de sericultura (Italia, Japón, Ucrania entre otros).

Nistari es una de una de las razas que se encuentran en Francia, es multivoltina resistente a altas temperaturas, que se utiliza para fines científicos (Moorthy *et al.* 2007).

En el banco de germoplasma de Bulgaria se encuentran diferentes híbridos con características especiales las cuales se encuentran en la Tabla 2. Estos híbridos fueron creados y producidos en la Estación Experimental de sericultura, VRATZA donde se encuentran 183 razas (Tzenov, 2008). Entre las cuales se destacan:

- a. Híbrido de cuatro direcciones (KK Hesa x 1) x (2 x Vesletz Gergana 2, sus larvas tienen marcas normales, ha sido especialmente seleccionado por tolerancia a las condiciones de cría desfavorables, así como la corta duración en el instar quinto; el híbrido Camino (SN 1 x Iva 1) x (2 x Magos Nova 2), sus hembras poseen marcas larvales en forma de cebrá y los machos tienen marcas normales sin formato.
- b. El híbrido Súper 1 x 2 Hesa se caracteriza por buenas características biológicas, tecnológicas de los capullos y de filamento de seda; el B1 híbrido x Svila 2, se caracteriza por buenas características biológicas,

comerciales de los capullos y de filamento de seda y el Hesa híbrido 1 x Svila 2 donde las larvas tienen marcas normales.

Tabla 2. Características de híbridos del banco de germoplasma de Bulgaria

| Hibrido | Duración larval (días) | Peso capullo (gramos) | Longitud del hilo (metros) | % de seda cruda | Peso en caja (kilogramos) |
|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|
| (KK Hesa x 1) x (2 x Vesletz Gergana 2) | 25-27 | 1,85-2 | 1200-1300 | 42-44 | 35-37 |
| (SN 1 x Iva 1) x (2 x Magos Nova 2) | 26-28 | 1,90-2,2 | 1200-1300 | 42-44 | 39 |
| Super 1 x 2 Hesa | 28-30 | 2,10-2,30 | 1250-1300 | 42-43 | 37-38 |
| El Vratza híbrido 35 x Merefa 2 | 28-30 | 2,35-2,40 | 1450-1500 | 43-45 | 42-44 |
| El B1 híbrido x Svila 2 | 28-30 | 2,50-2,70 | 1350-1450 | 43-45 | 43-45 |
| La Hesa híbrido 1 x Svila 2 | 28-30 | 2,55-2,65 | 1450-1500 | 43-45 | 43-45 |

Fuente: Sericulture and Agricultura Experiment Station Vratza (s.f)

También se encuentran híbridos F1 de gusanos de seda con características especiales como color de seda, se destacan los siguientes:

- a. Negro - amarillo, son híbridos F1 de gusano de seda que tienen larvas negras y los capullos son de color amarillo. El peso de capullo fresco es 1,80 a 2,00 gramos, peso de la concha - 0,300 a 0,320 gramos.
- b. Híbrido pink, sus larvas tienen marcas normales, el color del capullo es rosa. El peso de capullo fresco es 2 a 2,2 gramos.
- c. Híbrido verde, sus larvas tienen marcas normales, el color del capullo es verde. El peso de capullo fresco es 2,00 a 2,20 gramos.

- d. Zebra - híbrido amarillo, se trata de un híbrido F1 de gusanos de seda del gusano de seda que tiene larvas de cebra y los capullos son de color amarillo. El peso de capullo fresco es 2,20 a 2,40 gramos.
- e. KK Hesa x 1, es un tipo japonés bivoltino híbrido simple. Las larvas del gusano de seda último estadio son de color blanco azulado y con marcas normales. La forma del cuerpo es más delgada y más larga. Los capullos son de color blanco, alargado con alta constricción.
- f. Vesletz 2 x Gergana 2, es mono-bivoltino tipo chino híbrido simple. Las larvas del gusano de seda último estadio son de color blanco azulado. La forma del cuerpo es más gruesa y más corta. Los capullos son blancos y ovalados.
- g. SN1 Iva x 1, son híbridos simples bivoltinos de tipo japonés. Las larvas del gusano en el último estadio son de color blanco azulado, los individuos femeninos tienen marcas de cebra y las masculinas tienen marcas normales. La forma del cuerpo es más delgada y larga. Los capullos son de color blanco y alargado.
- h. Magi 2 x Nova 2, es un híbrido simple, mono-bivoltino de tipo chino. Las larvas del gusano de seda último estadio son de color blanco azulado, las hembras son tienen marcas cebra y en los machos son claras. La forma del cuerpo es más gruesa y corta. Los capullos son de color blanco, con forma oval.
- i. Bulgaria 1 (BG1), es una línea monovoltina, sus larvas presentan manchas larvales muy acentuadas, el capullo es de color blanco y elongado. La línea Bulgaria 2 (BG2); es monovoltina, con capullo blanco y ovalado.

1.2.5 Razas de India

Según Thangavelu (2002) en la India, el Centro de Recursos de Germoplasma (CSGRC), en Hosur se mantienen 357 accesiones de germoplasma de gusanos de seda, de los cuales 63 son multivoltinas y 294 son accesiones de gusanos de seda bivoltino. El germoplasma de gusano de seda disponible en la India se agrupa en tres categorías: Indígenas, introducidos y mejorados. La colección de germoplasma de gusanos de seda de la India cuenta con representación de 12 países, especialmente Europa y Asia, además de germoplasma nativo de la India. Además de estos recursos genéticos, hay parientes silvestres de *B. mandarina*, *Ocinara* sp, *Theophila* sp, y estos constituyen los recursos genéticos salvajes de la India. Otra especie encontrada es Nistari, una cepa multivoltinas indígena criadas en todo el año por los agricultores de la India Oriental, se aclimata las condiciones de estrés ambiental (Moorthy *et al.*, 2007).

1.2.6 Razas de Turquía

En Turquía se encuentran comercialmente dos razas, blancos de Bagdad variedad blanca y negra. La variedad negra son gusanos con tonos anaranjados sobre fondo negro y marrón con finas rayas blancas, manchas salpicadas de color rosa y naranja. Tienen combinación de 5 colores diferentes (Monedero, 2009).

1.2.7 Razas Egipcias

Una de las razas egipcias es la E- 30 que se destaca por su color negro con tonalidades rosadas y anaranjadas a lo largo de sus segmentos, forman cintura en su capullo, son consistentes, espesos, compactos y además del blanco hay algunos que tienen irradiaciones verdosas. Los adultos tienen nervaduras bien visibles en las alas, con dos líneas negras paralelas cortas a ambos lados de las alas, casi en la zona más alejada del tórax de la polilla (NIRMIL, 2013).

1.2.8 Razas de Colombia

Del mismo modo Colombia ha utilizado híbridos para la producción de seda desde el año de 1982 cuando la Federación de Cafeteros importó los huevos de gusano de seda *B. mori* desde Japón y Corea para su incubación y cría. A mediados de los ochenta el gobierno Coreano entregó nuevas razas de gusano de seda con el fin de contribuir a la promoción de la sericultura en Colombia pero estas no se adaptaron a las condiciones ambientales del país (PADEMÉR, 2003).

Posteriormente en el año de 1991 la producción de seda se apoyó en la cría de híbridos importados, que se distinguían por su alta productividad pero baja resistencia a enfermedades como el híbrido coreano “Perla del Otún”, que luego fue sustituido por larvas producidas en el país y adaptadas a las condiciones tropicales (García, 1992; Perea y Cardona, 1999).

En el año de 1992 se creó el Centro de Desarrollo Tecnológico de Sericultura, CDTS con sede en Pereira que inició un importante estudio de genética y mejoramiento del gusano de seda, proceso que buscó alternativas al único híbrido comercial existente en la época el “Konsota” (Sohn y Ramírez, 1999a). Konsota es el resultado de cruce doble de razas chinas por razas japonesas (J1 x J2) x (C1 x C2), producidas en la zona cafetera colombiana adaptadas a estas condiciones ambientales (García, 1999).

Años más tarde en 1996 en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) continúa el proceso de mejoramiento genético y se logra obtener el híbrido comercial Pílamó 1, resultado de un cruce doble de dos líneas de la raza japonesa y dos líneas de raza china (K05 y K30) x (CLSxCHS) y su recíproco. El híbrido comercial Pílamó 1, se ha utilizado desde entonces en Colombia y en países vecinos como Perú, Ecuador y Bolivia, dado que sus características productivas fueron superiores en un 10 y 15% a los híbridos existentes en esa época (Sohn y Ramírez, 1999b), como se muestra en la Tabla 3 .

Tabla 3. Características de híbridos de gusano usados en Colombia

| Raza | Peso del capullo (gramos) | % corteza | Long del hilo (metros) |
|----------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Pílamo 1 | 2,10 | 21,31 | 811 |
| Pílamo2 | 2,06 | 21,33 | 758 |
| Konsota | 2,02 | 21,41 | 852 |

Fuente: Martos (2010).

Actualmente, Colombia orienta su actividad serícola a la producción de huevos híbridos F1 Pílamo 1 que son comercializados en cajas que contienen alrededor de 20,000 unidades, y a la producción de hilo de seda para fines de tejeduría artesanal (Figura 1 y 2) (Martos, 2010). También se ha usado el híbrido Pílamo 2, solo para investigación pero no de forma comercial. En la Tabla 4 se encuentran algunas razas chinas de gusano y las características comerciales, estas se encuentran en la colección del banco de germoplasma colombiano presente en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

Figura 1. Cultivo de gusano de seda Pílamo 1, en la vereda Santa Bárbara, propiedad del señor Ramiro Almanza en el municipio del Tambo, departamento del Cauca



Figura 2. Raza de gusano Pílamo 1, próximo a la formación capullos, vereda Santa Bárbara, propiedad del señor Ramiro Almanza municipio del Tambo, departamento del Cauca



En los países de Latinoamérica como Perú, Bolivia, Brasil y Ecuador se ha venido trabajando desde hace varios años con transferencia de tecnología de Colombia donde actualmente se produce hilo de seda con el híbrido comercial Pílamo 1, pero cada país mediante programas de mejoramiento han establecido sus propios bancos de germoplasma con diferentes híbridos obtenidos a partir de razas importadas de otros países los cuales se encuentran en estudio.

Tabla 4. Razas chinas en el banco de germoplasma colombiano de la Universidad Tecnológica de Pereira

| Líneas | No huevos | Dur. Larval (días) | Pupación % | Cap. Bueno kilos/caja |
|--------|-----------|--------------------|------------|-----------------------|
| CA | 555 | 22.06 | 79.2 | 25.6 |
| CBS | 501 | 22.21 | 72.1 | 20.6 |
| CC | 531 | 22.06 | 84.4 | 24.5 |
| CGS | 512 | 22.21 | 70 | 20.5 |
| CHS | 521 | 22.21 | 72.2 | 21.2 |
| CJ | 516 | 23.06 | 79.9 | 30.8 |
| CLS | 512 | 23.06 | 80.4 | 26.3 |
| CTS | 513 | 22.06 | 80.9 | 23.1 |
| NG | 507 | 23.01 | 80.9 | 26.3 |

Fuente: Sohn y Ramírez (1999a)

1.2.9 Razas de Latinoamérica

En Perú al igual que Colombia se produce la seda proveniente de *B. morí*, híbrido Pílamó 1, Sin embargo la Universidad Agraria de La Molina, UNALM a través del proyecto de sericultura, ha generado tres líneas puras de gusano: Lucy (Italia), Silvia (Italia) y Ana, con las cuales se ha elaborado híbridos de altos rendimientos, estas características se pueden observar en la Tabla 5 (Red andina de la seda, 2011).

Tabla 5. Características comerciales de híbridos de Perú

| Híbridos | Peso (gramos) | Rendimiento caja (kilogramos) | % de Corteza Capullo | % Devanabilidad |
|--------------|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|
| Lucyx silvia | 2,06 | 41 | 24 | 93 |
| Ana x lucy | 2,09 | 30 | 24 | 100 |

Fuente: Red Andina de la seda Boletín latinoamericano de la seda (2011)

Las líneas genéticas monovoltinas que se han trabajado son: Ana f7 (material genético de la UNALM), Eva1 F7 (Corea del sur), Eva2F7 (Corea del sur), Lucy F6 (Italia), Sylvia F6 (Italia), y oro F7 (Italia) y se han utilizado para la producción de híbridos (Martos, 2010). En la Tabla 6 se describen algunas características de líneas genéticas del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de la

Molina. Allí se observa que las líneas Lucy F6 y Sylvia F6 presentan peso del capullo superior a las otras líneas genéticas con un valor de 1,49 gramos y 1,42 gramos respectivamente, así mismo el porcentaje de corteza es 24,09 y 22,29. En la Tabla 7 se muestra el rendimiento de capullo de diferentes híbridos procedentes de las líneas genéticas monovoltinas, donde el que más se destaca es Lucy F6 H x Sylvia F6 M con un valor de 41,60 kilogramos de capullo fresco por caja y un porcentaje de seda cruda de 19,70.

Tabla 6. Características de líneas genéticas de gusano de seda *B. mori* del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de la Molina (Perú)

| Líneas genéticas | Coloración del capullo | Forma del capullo | Peso del capullo (gramos) | % de corteza del capullo |
|------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|
| Ana f7 | Amarillo intenso | Elíptico alargado | 1,33 | 20,01 |
| Eva1 F7 | Blanco | Constricto | 1,39 | 23,3 |
| Eva2F7 | Blanco | Elíptico | 1,12 | 23,15 |
| Lucy F6 | Blanco | Elíptico | 1,49 | 24,09 |
| Sylvia F6 | Blanco | Constricto | 1,42 | 22,29 |
| oro F7 | Amarillo oro | Constricto | 1,11 | 12,55 |

Fuente: Martos (2010).

Tabla 7. Rendimientos de capullo de híbridos F1 de la Universidad Nacional de la Molina

| Híbridos F1 | Rendimiento por caja en kilogramos de ,capullo fresco | % de Seda cruda |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Eva1 F7 H x Sylvia F6 M | 32 | 19,90 |
| Eva2 F7 H x Sylvia F6 M | 28,80 | 20,80 |
| Eva2 F7 H x Lucy F6 M | 22,80 | 21,90 |
| Lucy F6 H x Sylvia F6 M | 41,60 | 19,70 |
| Ana F7 H x Lucy F6 M | 30,20 | 20 |
| Sylvia F6 H x Lucy F6 M | 39,40 | 20,30 |

Fuente: Martos (2010)

En Bolivia la sericultura comenzó en el año de 1866, posteriormente en el año de 1987 se importaron razas de gusano de seda de Inglaterra de Luillington Silk

Farm. Luego se desarrolló la cría de gusanos con híbridos provenientes de Brasil, Corea y Colombia (Suarez, 2006).

Es importante resaltar que la producción comercial de seda se realiza mediante híbridos desarrollados de razas que han sido adaptados a la región, además son resistentes a enfermedades y su nivel de producción es mayor; no se utilizan razas puras ya que son originarias de otros países y la producción de seda es menor (Martos *et al.* 2012).

1.3 PRODUCCIÓN DE HÍBRIDOS

Durante mucho tiempo las razas puras fueron usadas como variedades comerciales pero su productividad era muy baja debido a la poca resistencia a las condiciones climáticas, posteriormente se realizaron cruzamientos y los híbridos resultantes dieron como resultado mayores producciones y mejor comportamiento en condiciones desfavorables.

Según Cervantes (2013), la sericultura industrial moderna durante todo el siglo XX se basó en el uso de polihíbridos resultado del cruce de cuatro razas distintas, buscando el mejor rendimiento industrial en el proceso de hilatura. En España, la Estación Sericícola de Murcia importaba y distribuía dicha semilla, y también realizó sus propios híbridos, tales como:

- a. China Blanca x Sierra Morena
- b. China oro x Amarilla española nº 1
- c. Sierra Morena x Italiana blanca.

Según Martos (2010), el éxito de la industria serícola depende de la calidad de los híbridos de gusano de seda que produzcan capullos de buena calidad y gran rendimiento en seda cruda.

Las razas puras de gusano de seda son patrimonio exclusivo del país que las genera y son mantenidas con mucho celo en ambientes bien protegidos. El tamaño o volumen del capullo en gusano de seda es un carácter importante en la evaluación de los mismos y el tamaño varía según la variedad de gusano, estación de crianza, condiciones de crianza y cosecha.

Cifuentes y Sohn (1998) clasifican los híbridos así:

- a. Híbrido F1 donde los dos padres son razas puras
- b. Híbrido triple uno de los padres es F1 y el otro es raza pura
- c. Híbrido doble donde los dos padres son F1 de diferentes razas
- d. Híbrido de F2 dos padres son del mismo híbrido.

En la selección de líneas para el desarrollo de híbridos se tiene en cuenta las razas que tienen capullos de mayor peso o mayor cantidad de fibra; líneas con más alto porcentaje de corteza de capullo, filamento de mayor longitud y mejor porcentaje de devanabilidad o con mayor cantidad de filamento que no se rompe. Con estas características anteriormente mencionadas se obtiene un híbrido de gusano de seda con excelentes características biológicas y comerciales (Zhao, 2002).

Las líneas e híbridos F1 de gusano de seda polivoltinos juegan un rol importante en sericultura tropical, pero son pobres en productividad y calidad de seda, han sido explotadas comercialmente en las últimas cinco décadas como líneas puras o en cruzamientos F1 por su adaptabilidad a condiciones climáticas adversas y aclimatación a estaciones y regiones específicas (Martos, 2010), al ser cruzados con bivoltinos, adquieren características productivas superiores en calidad y cantidad y se desarrollan para propósitos comerciales en términos de productividad en seda y heterosis (Rao *et al.*, 2004).

Los híbridos F1 tienen alto grado de homogeneidad genética, evidenciando efecto de vigor híbrido en tamaño y peso de capullo. La clasificación de la seda depende de los números, finura, longitud, resistencia y elongación, porcentaje de sericina, sección de fibra y color del filamento. Una vez realizada la clasificación se deben estudiar los procesos de tejeduría: tejido plano o tejido de punto (INTI, 2010).

Avendaño y Soria (1998) definen a la calidad de capullos como un conjunto de características que determinan su estructura y propiedades físicas, y en consecuencia su comportamiento al devanado. El peso del capullo es la característica comercial más importante, el cual indica la cantidad aproximada de seda cruda que puede ser devanada de los capullos, variando con la variedad de gusano de seda, estaciones de crianza, y condiciones de crianza y cosecha; en líneas puras los capullos pesan de 1.5 a 2.2 gramos, y en variedades híbridas 2.5 gramos.

2. MORERA *Morus sp*

Cifuentes (2004) afirma que la morera es el único alimento del gusano de seda. En forma natural la morera es un árbol que puede alcanzar más de 18 metros de altura y puede durar más de 100 años de vida. Sus hojas se utilizan para alimentar las larvas del gusano de seda, pero su madera puede ser utilizada en carpintería especialmente para fabricación de raquetas de tenis.

La morera contiene el flavonoide morina, semioquímico que actúa como kairomona para la atracción de *Bombyx mori* hacia la planta (Schoonhoven *et al.*, 1998). El alimento y la calidad nutricional tiene gran influencia en el desempeño del gusano de seda, en la fase larvaria y de encapullado (Takahashi *et al.*, 2000). Sin embargo, las características físicas como; dureza, cera y pilosidad que presenta cada variedad de morera son diferentes e influyen sobre el consumo de los gusanos (Roy *et al.*, 2000). Algunas sustancias químicas presentes en las cera son estimulantes de la alimentación, como los alcoholes hexacosanol y octacosanol que se comportan como fago estimulantes para las larvas recién nacidas (Bernays y Chapman, 1994).

El gusano de seda para su desarrollo morfológico y para llevar a cabo sus funciones fisiológicas necesita de dos nutrientes importantes: proteína cruda y carbohidratos, estos nutrientes se encuentran concentrados en porcentajes altos en las hojas jóvenes. La cantidad de nutrientes en las hojas de morera; proteínas, lípidos, hidratos de carbono, vitaminas, minerales y agua varía de acuerdo a la variedad, fertilidad del suelo, clima, época del año, edad y posición de las hojas (Roy *et al.*, 2000).

2.1 CLASIFICACIÓN DE GÉNERO *Morus sp*

Al igual que en el gusano de seda a nivel mundial existen muchas especies de morera reconocidas en la alimentación de gusano de seda. En Colombia es poca

la información acerca de investigaciones biotecnológicas del cultivo de la morera, es por eso que se hace una revisión sobre las diferentes variedades cultivadas en algunos países del mundo para conocer sus características y adaptación, y de esta manera buscar alternativas para la alimentación del gusano de seda diferentes a la variedad cultivada actualmente, Kanva 2.

La morera posee un amplio germoplasma formado por una gran diversidad de especies y variedades que constituyen un valioso recurso genético. La Sericultura ha sido la razón principal del impresionante proceso de selección y mejoramiento del género *Morus* a través del tiempo. Por ello se han creado y extendido una gran cantidad de variedades de excelente capacidad de producción de biomasa, calidad nutritiva y alta resistencia al ataque de plagas y enfermedades, para un amplio rango de condiciones de clima y suelo (Medina *et al.*, 2009).

El género *Morus* es uno de los grupos taxonómicos más interesantes por su gran variabilidad genética y su importancia comercial (Vijayan *et al.*, 2011). Según Zheng y otros autores (1998) citado en Cifuentes y Sohn, (1998), la familia Moraceae fue clasificada por Linneo en cinco especies, *Morus alba*, *Morus nigra*, *Morus rubra*, *Morus indica* y *Morus tartárica* pero otros autores como el profesor Cehn Rong en china clasifica la familia en doce especies de las cuales solo son cultivadas *M. alba*, *M. mongólica*, *M. acidosa*, *M. cathayana* y *M. nigra*.

Por otro lado Zheng y otros autores (1998), citado en Cifuentes y Sohn (1998), subdivide al género en 4 subfamilias *M. alba*, *M. Nigra*, *M. Rubra*, *M. papyrifera*, y Sánchez (2002) afirma que las especies más importantes de este género son *M. alba*, *M. nigra*, *M. indica*, *M. laevigata* y *M. bombycis*

De igual forma el género *Morus* se distribuye ampliamente en varias partes del mundo (Awasthi *et al.*, 2004; Sharma *et al.*, 2000) originando innumerables variedades e híbridos, incluyendo muchos poliploides, como producto de una

intensiva selección y mejoramiento genético (Sánchez, 2002), pero a pesar del creciente interés en esta planta, excluyendo la zona asiática, la disponibilidad de germoplasma de morera es limitada.

Cabe anotar que existe posible sinonimia en varias de las especies de morera por lo cual es difícil identificar con claridad las variedades existentes, entre ellas se encuentran:

Morus bombycis (*M. australis*)

Morus indica (*M. alba*)

Morus japónica (*M. alba*)

Morus kagayamae (*M. australis*)

Morus laevigata (*M. alba* var. *laevigata*, *M. macroura*)

Morus latifolia (*M. alba*)

Morus macroura (*M. alba* var. *laevigata*)

Morus mongólica (*M. alba* var. *mongólica*)

Morus multicaulis (*M. alba*)

Morus serrata (*M. alba* var. *serrata*)

Morus trilobata (*M. australis* var. *trilobata*)

Cada país mediante programas de mejoramiento tiene sus propios bancos de germoplasma donde producen y evalúan los diferentes materiales que se han obtenido. En la Tabla 8 se pueden encontrar las principales especies de morera cultivadas en algunos países del mundo.

Tabla 8. Principales especies de morera cultivadas en el mundo

| China | Indonesia | India | Brasil | Japón |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|
| <i>Morus alba</i> | <i>Morus alba</i> | <i>Morus alba</i> | <i>Morus alba</i> | <i>Morus bombycis</i> |
| <i>Morus multicaulis</i> | <i>Morus nigra</i> | <i>Morus indica</i> | | <i>Morus alba</i> |
| <i>Morus bombycis</i> | <i>Morus multicaulis</i> | <i>Morus serrata</i> | | <i>Morus latifolia</i> |
| <i>Morus atropurpurea</i> | <i>Morus cathyana</i> | <i>Morus laevigata</i> | | |
| | <i>Morus mierovra</i> | <i>Morus multicaulis</i> | | |
| | | <i>Morus tartárica</i> | | |

Fuente: Rodríguez (2010)

Cappelozza (2002a) afirma que la mayoría de las especies de morera son diploides con 28 cromosomas ($2n=28$); sin embargo, las triploides se cultivan también por su adaptabilidad, crecimiento, vigor y calidad de las hojas, además esta especie, es rica en los niveles de ploidía, ya que se han encontrado variedades triploides en *M. bombycis* y *M. cathyana* tiene variedades tetraploides, pentaploides y hexaploides.

Es importante destacar que las especies de morera más comunes y cultivadas en el mundo son:

Morus nigra, se cultiva en varios países del mundo como Persia, Ucrania, oeste de Europa y este de China, son plantas arbóreas, caducifolias, de talla media, con crecimiento de hasta 15 metros, las hojas son simples, alternas, gruesas y con peciolo largo, de forma ovada, lobuladas y a su vez algo irregulares en la base con el envés piloso a lo largo de los nervios. El fruto, es una infrutescencia de color negruzco y de sabor agridulce. La seda obtenida a partir de estas plantas es rustica (Rodríguez y González, 2000).

Morus alba L. una de las variedades más utilizadas en la alimentación de gusano de seda, es originaria de China oriental y central, también se cita a la India como lugar de origen. Es una planta arbórea, caducifolia y de copa densa. El fruto es carnoso de color blanco amarillento. Referencias históricas determinan que su introducción en Europa se realizó en el siglo VI, bajo Justiniano (emperador de Bizancio). En la actualidad, es la más utilizada en Sericultura por todos los países, aunque en algunas partes de América del Sur se cultiva otra especie muy similar, *Morus indica* (Rodríguez y González, 2000). *M. alba* por su gran resistencia y adaptabilidad a condiciones de sequía y suelos pobres, es la de mayor distribución en el mundo (Sánchez 2000; Sharma *et al.*, 2000; Vijayan *et al.*, 2011).

Fuera de Latinoamérica, y específicamente en la India, sobresalen *M. alba*, *M. indica*, *Morus serrata* y *M. laevigata* (Ravindran, 1997). En China se mantienen en colección cerca de 1.000 accesiones, la mayoría de estas originadas principalmente de *M. multicaulis*, *M. bombycis* y *Morus atropurpurea* (Yongkang, 2002).

Por último una de las especies de morera cultivadas es *Morus rubra*, oriunda de América y el continente australiano, no se usa para la alimentación de gusano de seda, por que produce baja calidad de seda (Sánchez, 2002). Posee hojas grandes y ovals en su base (Lana, 1984).

2.2 VARIEDADES DE JAPÓN

González (2001b) y Machii (2002) afirman que en el año 1950, la Estación Sericícola importó de Japón un grupo de variedades de morera (*Morus alba* L), para hacer una segunda crianza de gusano de seda en otoño. En Japón se registran 24 especies, muchas de las cuales proceden de *M. bombycis*, *M. alba* y *M. latifolia*. Entre ellas se encuentran la especie Kokuso 20 que pertenece a la especie *Morus latifolia*, esta planta necesita gran cantidad de horas de frío para su buen crecimiento; si no las cubre, en primavera presenta ramas con pocas hojas en su base o únicamente en las puntas. El árbol es de vigor medio, de porte erguido y ramificado, con tronco, nudoso, hojas acorazonadas, asimétricas, de limbo rugoso, dentado irregular, textura fina, tamaño grande, color verde blanco y frutos muy abundantes de tamaño grande.

También se encuentra variedad Kokuso 21 de la especie *Morus latifolia*, es un árbol de vigor medio a elevado con corteza de color claro y porte erecto o abierto, sus hojas son de tamaño grande a muy grande, acorazonadas, asimétricas, dentadas irregulares, limbo grueso, rugoso, color verde oscuro, brillante y suave al tacto. Es una variedad que no produce fruto por carecer de flores femeninas.

Finalmente se encuentra la variedad Kokuso 27 que pertenece a la especie *Morus alba*, es un árbol vigoroso de porte abierto y expandido, tallos ramificados de hojas grandes asimétricas, lanceoladas, hendidas y gruesas de color verde oscuro, margen dentado regular y áspero al tacto. Los frutos son escasos, de color negro, alargados. La producción de hoja es tardía, (como Kokuso 21), su aprovechamiento es de la hoja y es usada para ornamentación (Tzenov, 2008a).

2.3 VARIEDADES DE INDIA

En india se tienen variedades como Tr- 10, Chinese White, K- 2, Sujapur Local, BC2 -59, S -1635, C -1730, Mandalaya, S - 30 (Vishala), RFS- 175, Anantha, C - 2016, C -2017, S -41 y V – 1, donde la variedad Mandalaya es el genotipo más prometedor y de mayor rendimiento de hoja, además posee tricomas cortos y poca cantidad de idioblastos, características óptimas para la cría de gusanos de seda (Singhal *et al.* 2010).

Otras especies procedentes de india, pertenecen a la especie *Morus indica*, entre ellas se destacan la variedad Kanva 2, una planta diploide ampliamente cultivada en el sur del país, produce alrededor de 30 a 35 Toneladas / hectárea / año, posee alta capacidad de enraizamiento y adaptación, es resistente a las manchas foliares y moderadamente resistente a la roya de la hoja y el oídio. También se encuentra la variedad S-13 que produce de 8 a 12 Toneladas / hectárea / año, es resistente a las manchas foliares y oídio, además es moderadamente resistente a la roya de la hoja y la infestación Tukra (Singhal *et al.* 2010). Por último se destaca la variedad S-34, una especie diploide, resultado del cruce de la progenie de S30 x Berc 776, recomendada para zonas secas donde su rendimiento es de alrededor de 15 Toneladas / hectárea / año, es resistente al oídio de la hoja, moderadamente resistente a las manchas foliares, pero es susceptibles a la infestación Tukra (Datta, s.f).

2.4 VARIEDADES EUROPEAS

Según González, (2001b) los materiales tradicionales cultivados en Murcia (España) pertenecen a la especie *Morus alba* L. y son fundamentalmente los correspondientes a los 37 tipos de morera denominados Cristiana, Macocana y Valenciana, siendo las dos primeras de origen local y la Valenciana del Reino de Valencia, dentro de las variedades extranjeras introducidas algunas corresponden a tipos de origen italiano *Morus alba* L, japonés y filipino y pueden considerarse clones perfectamente definidos y mantenidos con la reproducción asexual o agámica, (injerto y estacas o estaquillas).

Algunas de las variedades presentes en el banco de germoplasma español son la morera viuda, morera balsa, morera agarena y morera de Murcia.

La Morera viuda es un árbol vigoroso y frondoso de porte globoso poco ramificado posee hojas pequeñas, lanceoladas suaves al tacto, sus frutos son de color blanco, posee una buena calidad de hoja. La variedad morera balsa es un árbol vigoroso de porte erecto y ramificado, tiene hojas lanceoladas y limbo aserrado irregular, sus frutos son de color negro; la variedad de morera agarena es un árbol de porte recto y ramificado con hojas lanceoladas de limbo aserrado irregular y textura fina, sus frutos son de color negro y por último se destaca la morera de Murcia es un árbol de vigor medio, tallo ramificado a partir del segundo año de poda, porte abierto y redondeado, hoja lanceolada, de tamaño mediano, color verde claro, hoja gruesa, ondulada, suave al tacto y limbo dentado irregularmente, el fruto está dotado de pedúnculo corto y fino, es de color negro, pequeño, poco de sabor dulce. Produce gran cantidad de hoja.

Entre las variedades de la especie *Morus alba* L., se destacan la morera cristiana, la morera Macocana y la morera Valenciana

- a. Morera Cristiana es el tipo más extendido en la región de Murcia, su hoja es quizá la mejor para la crianza del gusano de seda por su calidad organoléptica y alimenticia, su valor nutritivo es extraordinario en relación a las demás variedades y tipos.
- b. Morera Macocana, también es una especie típica de la región de Murcia, es un árbol de gran desarrollo, de porte abierto y ramificado, su hoja es rustica, de tamaño medio, lanceolada, gruesa, suave al tacto y de color verde. El fruto es negro y abundante con un pedúnculo largo.
- c. Morera Valenciana, denominada así probablemente por su origen, se pueden distinguir dos tipos perfectamente diferenciables: precoz y tardía. El tipo más común es la variedad Valenciana tardía llamada también rizada por el aspecto de sus hojas con limbos muy rugosos, es un árbol grande, redondeado y poco ramificado, de hojas compactas, acorazonadas, de color verde oscuro muy brillante, tiene limbo rugoso o liso según su tipo, su textura es gruesa y margen dentado regular, los frutos son escasos, de color blanco, tamaño mediano. Su aprovechamiento es por la hoja para la alimentación del gusano de seda (González, 2001b)

Por otro lado en Italia, Cappelozza (2002a) informa la existencia de una colección de 51 accesiones conformadas principalmente por *Morus nigra* y *M. alba*, algunas se encuentran en la Tabla 9, las variedades que pertenecen a *Morus alba*, son de hoja pequeña, más o menos redondeada, la planta es de porte erguido y compacto, poco ramificada, estas variedades exigen bajas temperaturas y por consiguiente presentan brotación tardía, los frutos de color blanco o negro (González, 2001a).

Tabla 9. Variedades de morera italianas

| Variedad | Aprovechamiento |
|-----------------------|-----------------------|
| Fossombrone | Hoja y ornamentación |
| Limonella | Hoja, y ornamentación |
| Ciaroca | Hoja |
| Nostrano del Garda | Hoja |
| Bresciana | Hoja |
| Innesto a frutto nero | Hoja y fruto |
| Giazzola | Hoja |
| Pomella | Hoja |
| A mazetto | Hoja |
| Selvático | Hoja |
| Brianzola | Hoja |
| Moscatella doppia | Hoja y fruto |

Fuente: Pelegrín (2013)

También en el banco de germoplasma de Italia se encuentra la morera filipina (multicaule), que pertenece a la especie *Morus alba* L. su hoja es de baja calidad para la crianza del gusano de seda, es un árbol de vigor medio, porte abierto muy ramificado, sus hojas son grandes, limbo rugoso, que le proporciona un aspecto abollado y áspero, de color verde claro, margen aserrado uniforme. Su aprovechamiento es ornamental, también se usa para la alimentación del gusano de seda en su primeras etapa de vida (González, 2001a).

Por su parte en Bulgaria en Sericulture and Agricultura Experiment Station Vratza se encuentran variedades femeninas, masculinas y bisexuales pertenecientes a la especie *Morus alba*.

Entre las variedades femeninas se destaca Mulberry No 24 y Mulberry Vratza No18. La especie Mulberry No 24 tiene tallos largos, hojas enteras y grandes (18 centímetros x 15 centímetros), posee buen rendimiento en condiciones de verano ,13 000 kilogramos / hectárea; se siembra a una distancia de 3 metros por 1 metro es decir 3.300 árboles por hectárea, es una planta con buena resistencia al frío; la variedad Mulberry Vratza No18 tiene hojas grandes (29 centímetros x 21

centímetros) que deja rendimiento mayor a 14.000 kilogramos / hectárea, en condiciones de verano.

Dentro de las variedades bisexuales se destacan Mulberry No 59 y Mulberry Kokuso 27, la primera es una variedad búlgara con amentos es su mayoría masculinos, posee tallos largos, hojas enteras grandes (23 centímetros x 20 centímetros), su rendimiento es superior a 13 000 kilogramos / hectárea y la variedad Mulberry Kokuso 27 japonesa con amentos también en su mayoría masculinos posee tallos largos de fuerte crecimiento y hojas lobuladas grandes (22 centímetros x 17 centímetros). Su rendimiento en condiciones de verano es mayor a 16.000 kilogramos / hectárea.

Las variedades masculinas más comunes son Mulberry Vesletz, Mulberry Tbilisuri y Mulberry No 3. La variedad Mulberry Vesletz tiene hojas de tamaño mediano (16 centímetros x 12 centímetros) deja un rendimiento en condiciones de sequía mayor a 14.000 kilogramos/ hectárea; la variedad Mulberry Tbilisuri, posee buen desarrollo de las ramas las cuales tiene hojas grandes (21 centímetros x 18 centímetros), es una planta que tolera el frío, su rendimiento en condiciones de sequía es mayor de 13.000 kilogramos / hectárea, y por último la variedad Mulberry No 3, es una variedad con hojas grandes, tallo delgado y de color verde claro .

También se encuentran diferentes variedades de la especie *Morus kagayamae* entre ellas se destacan las variedades femeninas como Mulberry Vratza 1 y la variedad japonesa. Mulberry Vratza 1 posee hojas enteras y grandes (22 centímetros x 19 centímetros), su rendimiento en condiciones de verano es mayor de 16.000 kilogramos / hectárea. La variedad japonesa, tiene buen desarrollo de la longitud media de las ramas, sus hojas son enteras y grandes (25 centímetros x 19 centímetros), presenta buena resistencia al frío, su rendimiento en condiciones

de verano es mayor de 16.000 kilogramos/ hectárea, Sericulture and Agricultura Experiment Station Vratza (s.f).

De la especie *Morus latifolia* el banco de germoplasma de Bulgaria tiene variedades japonesas mencionadas anteriormente como Mulberry Kokuso 20 y Kokuso 21, con árboles masculinos y femeninos y su rendimiento en condiciones de sequía es mayor de 15.000 kilogramos / hectárea. También se puede encontrar la variedad Mulberry Kokuso 70, una planta bisexual con amentos en su mayoría masculinos, hojas grandes enteras o lobuladas (22 centímetros x 17 centímetros). Deja rendimiento en condiciones de sequía superior a 16.000 kilogramos / hectárea., Sericulture and Agricultura Experiment Station Vratza (s.f).

2.5 VARIEDADES DE COLOMBIA

Las especies más importantes de este género pertenecen a *M. alba e indica*, de las cuales se han originado innumerables variedades e híbridos, como producto de una intensiva selección y mejoramiento genético (Sánchez, 2002), pero en Colombia la mayor parte de las plantaciones de morera están cultivadas con la variedad Kanva 2 perteneciente a la especie *Morus indica* introducida de la india en 1977 y que sustituyo la variedad japonesa ichinoise de lenta propagación vegetativa (García y Krause, 2000). También se han realizado siembras de la variedad Taisong, pero no se ha tenido buenos resultados en su reproducción por estacas.

2.6 VARIEDADES DE LATINOAMÉRICA

Brasil, se cuenta con tres colecciones con un total de 90 variedades, todas provenientes de *M. alba* de las cuales se han generado numerosos estudios agronómicos y nutricionales (Almeida y Fonseca, 2002, citado en Medina *et al.*, 2009). Asimismo, Benavides (2002) menciona en América Central, cuatro variedades de morera denominadas Criolla, Indonesia, Tigreada y Acorazonada,

las cuales entraron a la región en la primera mitad del siglo pasado cuando se intentó desarrollar la producción del gusano de seda.

Adicionalmente, Rodríguez *et al.* (2012) afirman que en algunos países como México y Venezuela existen algunas variedades, denominadas genéricamente "Criolla", con diferencias morfo estructurales a la tradicionalmente conocida por ese nombre, de las cuales no se conoce con exactitud la forma de introducción y en qué momento ocurrió la propagación. También se cultiva la variedad SLP3, con hojas grandes enteras de color verde limón de morfología caudada acorazonada, con base lineal, borde serrado, ápice prolongado y con longitud de peciolo de 6.5 centímetros, la apariencia de la yema presenta inclinación en la punta. El fruto es de color blanco. La variedad SLP5, es de hojas ovales de tamaño medio de color verde intenso, caudadas, con base acunada, tipo de borde serrado mastoidal, presenta lámina lisa y gruesa y el fruto es de color blanco.

Por su parte la introducción de la sericultura en el Ecuador, tuvo una duración de dos años, desde 1996 a 1998, una época difícil pero importante ya que en el Ecuador no existía una "cultura de la producción serícola" e inclusive se tuvo que importar la semilla vegetativa de morera de la variedad Kanva 2 desde Colombia, la cual se sabía era apta para su cultivo en zonas subtropicales; mientras que en el Ecuador se encontró una variedad de morera "local" muy difundida como planta ornamental que pertenece a la especie *Morus alba*, y aunque fue empleada para alimentación del gusano de seda, los resultados obtenidos no fueron favorables, ya que el bajo nivel nutritivo proporcionado por esta hoja, incidía en una mala calidad del producto capullo (I.I.L.A, 2001).

Domínguez y otros autores (2001) afirman que en Cuba, aun cuando se han realizado investigaciones puntuales con *M. nigra*, los mejores resultados se han obtenido con las variedades de *M. alba*, de las cuales la variedad Indonesia y la acorazonada han demostrado un comportamiento agronómico sobresaliente,

respecto a las variedades Cubana y Tigreada. Sin embargo en los últimos años se está trabajando con otros híbridos introducidos que demuestran buena respuesta agronómica (Noda *et al.*, 2004). Algunas variedades de morera pertenecientes a *M alba* L. (Criolla, Indonesia, Cubana y Tigreada), como la variedad Tigreada tienen puntos bien definidos sobre la cutícula del tallo y sus hojas son lobuladas; mientras que Acorazonada tiene sus hojas en forma de corazón. Por su parte Tigreada e Indonesia son variedades de buen comportamiento morfo agronómico durante el establecimiento donde la primera posee un alto potencial de producción de hojas y la segunda por una notable capacidad de acumulación de tejido leñoso. La variedad Indonesia también se destaca, en variables y/o características tan importantes como la emergencia de las yemas, la distancia corta entre los nudos, la longitud de las ramas nuevas, y la longitud y grosor de la base del tallo principal. Ello presupone un alto potencial de crecimiento y acumulación de biomasa leñosa (Pentón *et al.*, 2007).

Por otro lado en Perú la ciudad de Lima la Universidad Nacional Agraria de La Molina - UNALM cuenta con una pequeña plantación de morera de aproximadamente unos 1,000 m² aprox. sembrada a inicios de los noventa y constituida por especies de *Morus indica* variedad kanva 2, (procedente de Colombia), *Morus nigra* variedad morera negra y *Morus alba* variedad morera blanca. Las labores que se realizan en dicho centro universitario son las de investigación y capacitación en sericultura, los huevos de gusano de seda que se emplean en las crías son segregantes de híbridos f1 y han sido obtenidos a partir de huevos híbridos f1 de Colombia, Brasil y Corea del sur (Martos, 2010).

Actualmente, las crías de gusano de seda y los cultivos de morera se están realizando básicamente para fines de capacitación y transferencia de tecnología. En Calca – Cusco, se cultiva *Morus nigra*, *Morus multicaulis*, y *Morus indica* var. Kanva 2; además se cuenta con alrededor de 4 has de *Morus multicaulis* y 0.5 has de Kanva 2 (Red andina de la seda, 2011).

3. BANCOS DE GERMOPLASMA

Los bancos de germoplasma son una herramienta biotecnológica importante para preservar la diversidad de los recursos genéticos de diferentes líneas de gusano de seda y variedades de morera, allí se conservan colecciones que reúnen la variabilidad genética intra-específica de diferentes materiales que pueden perpetuar estas especies; por medio de los bancos de germoplasma se puede documentar, caracterizar y evaluar la variabilidad genética, para el mejoramiento de características deseables, además, es posible realizar la multiplicación y distribución del germoplasma y así mismo identificar líneas o poblaciones que deben ser mantenidas para preservar el máximo de la diversidad genética, aspectos de gran utilidad en la toma de decisiones sobre qué individuos usar para hacer nuevas combinaciones genéticas (Graur y Wen-Hsiung, 2000).

3.1 MANTENIMIENTO DE BANCOS DE GERMOPLASMA DE *B. mori*

Un aspecto importante para tener en cuenta es el mantenimiento y preservación de los bancos de germoplasma donde se deben de clasificar y criar las razas de gusano de seda por separado para evitar la endogamia. Las razas tropicales se crían de dos a cinco veces en el año y se utiliza la técnica de almacenamiento de huevos en frío (Kosegawa, 2002).

Según Cifuentes y Sohn (1998) para inducir univoltinos y bivoltinos de seis meses a un año se usan métodos de hibernación, el tratamiento comienza desde la ovoposición donde la temperatura debe ser entre 23 -25 °C con 70 a 80 % de humedad. Después de la ovoposición los huevos se preservan a 25 °C durante 40 a 60 días. Posteriormente estos se guardan a una temperatura de 20 °C por un mes de ahí la temperatura se controla hasta llegar a 5 °C por dos a tres meses, antes de la etapa de refrigeración los huevos se desinfectan con formol al 2% y agua, para la activación de los mismos se utiliza tratamiento ácido. Para el control de la enfermedad pebrina después de la eclosión, las cáscaras de huevos de cada

lote, pieles de gusanos de seda después de cada muda y capullos se utilizan para realizar un examen microscópico y detectar la enfermedad (Tzenov, 2008b).

Según Cifuentes y Sohn (1998) la mayoría de razas de gusano que se utilizan para producción de capullos comerciales son bivoltinas en las que se cambian a univoltinas por medio de la temperatura durante la incubación y cría, por esta razón es necesario activar los huevos que no están hibernados con tratamiento ácido permitiendo de esta manera criar gusanos todo el año, se utiliza una concentración de 15.2% de ácido clorhídrico, una temperatura de solución a 15 °C por 6 minutos; posteriormente los huevos deben ser lavados con agua limpia por media hora hasta que salga el ácido y luego secados por 10 horas. También ha sido utilizado la refrigeración de huevos después del tratamiento ácido, los métodos utilizados son: 1) refrigerar los huevos en 2.5 – 5 °C que pasan 40 horas a 25 °C después del tratamiento ácido y 2) refrigerar los huevos en 2.5 – 5 °C que pasan 18 horas a 25 °C de transcurrido el tratamiento ácido, estos huevos solo se pueden preservar por 20 días en refrigeración.

3.2 CONSERVACIÓN DE BANCOS DE GERMOPLASMA DE MORERA

Según Vijayan *et al.* (2011), la conservación de recursos de germoplasma de morera se puede realizar de dos formas: 1) *in vitro*, la conservación se realiza por crio preservación y bancos de genes de DNA, preservación de yemas apicales, axilares o embriones somáticos con solución alginato de sodio y 100 mM de cloruro de sodio, 2) *in situ* en campo bajo condiciones naturales, pero tiene la ventaja de libre intercambio genético mediante polinización.

4. IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN SERICULTURA

La sericultura es una actividad productiva importante para varios países del mundo, comprende tres componentes, el pecuario con la cría de gusano de seda, el agrícola con el cultivo de la morera y el agroindustrial con la transformación del hilo y el capullo del gusano de seda (Cifuentes y Sohn, 1998). En Colombia la sericultura comenzó en los años ochenta en el eje cafetero en los municipios de Chinchiná (Caldas), Pereira (Risaralda) y en el departamento del Cauca en los municipios de Timbío y Morales, luego se extendió a los municipios de el Tambo, Piendamó y Santander de Quilichao, donde esta actividad se convirtió en una alternativa para la diversificación de las actividades productivas del campo (PADEMÉR, 2003).

En el año 2000 en el Cauca nació la Corporación para el Desarrollo de la Sericultura del Cauca (CORSEDA), que desde entonces ha vinculado a numerosas familias en la producción y comercialización de productos artesanales elaborados con seda orgánica certificada (PADEMÉR, 2003). Al igual que en otros países Colombia ha usado híbridos de gusano en la producción de seda como la Perla de Otún, Konsota y el actualmente utilizado, es decir, el híbrido Pílamó 1, creado en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) en el año de 1996, el cual fue el resultado de un cruce doble de dos razas japonesas y dos razas chinas; de igual forma, este híbrido también es usado en países vecinos como Bolivia, Brasil, Perú y Ecuador.

El gusano de seda se alimenta únicamente de la morera, sin embargo, es importante mencionar que a nivel mundial existen diferentes géneros de morera reconocidos en la alimentación del gusano, entre ellos se encuentra *Morus alba*, *Morus nigra*, *Morus indica*, *Morus bombycis*, *Morus morfosinensis* (Cifuentes y Sohn, 1998), aunque el más usado es *Morus alba* por adaptabilidad a condiciones

«edafoclimáticas»¹ (Torres, 1997). En Colombia y en el departamento del Cauca la totalidad del área sembrada pertenece a la variedad Kanva 2 perteneciente a la especie *Morus indica*. El contenido nutricional de la morera es importante para la alimentación del gusano y se ve reflejado en la calidad del hilo producido, el cual debe cumplir con estándares de calidad que permitan su utilización la industria textil para la fabricación de prendas con propiedades antialérgicas y en el campo de la medicina para la elaboración de tornillos, suturas, regeneración de hueso y cartílago (Kim *et al.*, 2005).

El gusano de seda puede ser usado como biorreactor para la producción de proteína recombinante, (Maeda, 1989) también se ha utilizado en cruzamiento con araña *Argiope trifasciata* para la producción de hilo recombinante altamente resistente y elástico para la fabricación de chalecos antibalas (Wen *et al.*, 2009), mientras que en la industria cosmetológica la crisálida del gusano es utilizada para la fabricación de aceite y productos para el cuidado de la piel y cabello (Kundu, *et al.*, 2008).

Aunque la seda ha sido un producto importante para el departamento del Cauca, desde hace muchos años no se ha cambiado el sistema de producción de gusano de seda, todavía se trabaja con razas de gusano que aún no se adaptan en su totalidad al clima colombiano y que no producen la calidad y cantidad de seda requerida para mercados nacionales e internacionales; de igual forma, los sericultores siguen cultivando la misma variedad de morera introducida hace treinta años, por consiguiente, es necesario identificar otras líneas de investigación biotecnológica que permitan aplicar nuevos paquetes tecnológicos cuyo impacto contribuya al mejoramiento de la industria serícola de Colombia y el departamento del Cauca.

¹ Son las condiciones de suelo y clima que necesita el cultivo de la morera para su óptimo desarrollo productivo de follaje.

4.1 GUSANO DE SEDA *B. mori*

La sericultura depende de diferentes componentes para su desarrollo, como son los bancos de germoplasma, el mejoramiento genético de gusano de seda y morera y los procesos de certificación. Estos componentes se basan en tecnologías de vanguardia como los marcadores moleculares que se utilizan para estandarizar, discriminar, determinar parentesco e identificar de razas de gusano de seda y variedades de morera que aún no tienen claro su origen, pero que poseen características comerciales importantes para los programas de mejoramiento (Dekkers, 2004), también pueden ser usados para la búsqueda de características genómicas que rigen cualidades cuantitativas y ayudan a determinar el comportamiento, localización de genes de interés. Regiones de Colombia como el Cauca necesitan razas de gusano adaptadas al clima y con buenas características comerciales, de excelente calidad y producción de seda; en el caso de la morera se requieren variedades de alto valor nutritivo y buena producción de follaje.

4.1.1 Bancos de germoplasma

Las condiciones ambientales de Colombia y en especial el departamento del Cauca son particulares por encontrarse en una zona tropical. En el Cauca una de las exigencias para el desarrollo biotecnológico es la creación de un banco de germoplasma de gusano de seda con razas que respondan a las siguientes características comerciales: a) **Hilo**: como producto intermedio o materia prima debe tener una adecuada longitud, grosor, elasticidad ² y devanabilidad,³ b) **Capullo**: Debe tener un buen peso, el cual está relacionado con el tipo de raza y alimentación, y su forma depende del tipo de material genético utilizado, igualmente, su color está influenciado por las condiciones ambientales como la humedad relativa, ya que, a temperatura baja y humedad alta el color del capullo

² Capacidad que tiene el hilo de recobrar la forma original sin llegar a romperse al momento del devanado.

³ Es la actividad que se caracteriza por la facilidad del devanado (desenrollar) del hilo sin que éste se rompa en su proceso de transformación.

es amarillo; finalmente, el grosor del capullo cuya dimensión se determina por la condiciones ambientales, la raza y la calidad de los encapulladores (Krause, 1991).

4.1.2 Voltinismo

En gusano de seda el voltinismo, es un carácter genético que determina el número de generaciones por año en condiciones ambientales naturales, criterio fundamental para la creación de un banco de germoplasma en el que además, se deben tener en cuenta el uso de materiales polivoltinos y monovoltinos: a) Los Polivoltinos son tolerantes a condiciones ambientales variables, pero son de corta duración larval en especial las razas chinas y japonesas en las cuales predomina esta característica, aunque según (Cifuentes y Sohn, 1998) las japonesas producen seda de mala calidad, b) Los monovoltinos no son tolerantes a condiciones ambientales adversas, sin embargo, poseen excelentes características de longitud del hilo y peso del capullo que son útiles en programas de mejoramiento de la calidad comercial del gusano de seda.

4.1.3 Moltinismo

Según Cifuentes y Sohn (1998) “El carácter moltinismo es el resultado de la interacción entre varias constituciones genéticas y las condiciones ambientales. Es uno de los más importantes caracteres económicos” esta característica está relacionada con la cantidad de mudas en el ciclo de vida del gusano, es importante en el manejo comercial, y se pueden tener en cuenta razas tetramudantes, así como trimudantes de origen coreano o chino, aunque éstas no son muy comunes en la cría comercial por su corta duración larval están menos expuestas a enfermedades.

4.1.4 Otras características

Para la puesta en marcha del banco de germoplasma se deben de tener en cuenta materiales de gusanos que posean buen porcentaje de posturas, heredabilidad, hábito de apareamiento, eficiencia para conversión de alimento y baja mortalidad.

4.1.5 Técnicas para conservar los bancos de germoplasma

Elaboración de protocolos para la conservación de bancos de germoplasma teniendo en cuenta, el voltinismo, la identificación de las razas, temperatura de incubación de huevos, cría y mantenimiento de materiales por separado para evitar la endogamia, control de enfermedades y ciclos de cría que se va a realizar por año especialmente en materiales polivoltinos.

4.2 MEJORAMIENTO GENÉTICO DE *B. mori*

Cifuentes y Sohn (1998) afirman que la estabilización de la cosecha de capullos es muy importante para la sericultura por lo cual es indispensable criar una variedad de gusano de seda vigorosa y tolerante. Se debe criar una variedad de gusano que tolere un medio ambiente desfavorable u resista a varias enfermedades.

Con el establecimiento de banco de germoplasma se podrá acceder a diferentes materiales de gusano de seda para realizar programas de mejoramiento y obtener nuevos híbridos con características que aumentan la producción de hilo con el mínimo consumo de alimento (Cifuentes y Sohn, 1998). También se podrá obtener materiales tolerantes a enfermedades causadas por hongos como muscardina blanca y verde causadas por *Bauveria bassiana* y *Nomurasea rileyi* respectivamente y desmayos bacteriales ocasionado por *Bacillus turigiensis* especialmente en zonas donde se realiza controles biológicos de insectos con *Bauveria bassiana* y *Bacillus turigiensis*, así como la tolerancia al virus de la poliedrosis nuclear causada por el virus (VPN) presente en todas las etapas de cría del gusano de seda.

El uso de razas polivoltinas son importantes en el mejoramiento del gusano de seda, las cuales son pobres en producción de seda, no obstante, al cruzarlas con razas bivoltinas o monovoltinas se pueden obtener híbridos superiores con características comerciales como la buena calidad del hilo de seda, la longitud del filamento y la resistencia a las condiciones ambientales variables. La utilización del moltinismo es fundamental para obtener razas trimudantes o tetramudantes de corta duración larval que estén menos expuestas a las diversas condiciones ambientales que pueden provocar el ataque de plagas y enfermedades.

Es importante destacar que para la producción comercial de hilo de seda se utilizan híbridos de gusano desarrollados de razas adaptadas a la región , resistentes a diferentes enfermedades y con altos rendimientos, donde el uso de la heterosis es la mejor alternativa para la producción de híbridos F1 por medio de líneas puras; es decir, poblaciones estables, las cuales se reproducen mediante cruces simples, dobles y triples, para obtener híbridos con características superiores a las de los padres, ya que, de acuerdo con Martos (2010) la heterosis positiva es mayor en los cruces simples. En las poblaciones segregantes, los “hijos” de los híbridos presentan bajos niveles de producción y una alta dispersión de caracteres; por tal razón, no son recomendables para la producción de híbridos comerciales. También se pueden desarrollar híbridos dobles los cuales se obtienen de dos híbridos simples con altos rendimientos y características comerciales, presentan variabilidad genética pero se adaptan mejor a las condiciones ambientales (Ramírez, 2006).

De igual manera, para lograr programas de mejoramiento es necesario disponer de líneas puras, seleccionando las adecuadas para generar una nueva línea híbrida con fines comerciales.

4.3 BANCO DE GERMOPLASMA DE *Morus sp.*

En Colombia la mayor parte del área sembrada de morera es de la variedad Kanva 2 de la especie *Morus indica* (Zambrano, 2008), por lo tanto es conveniente establecer un banco de germoplasma con diferentes variedades de *Morus sp.*, con alta producción de follaje, buena respuesta a la poda, buen contenido nutricional.

Las variedades de morera presentes en el banco de germoplasma deberán ser tolerantes a suelos pobres en nitrógeno, ya que los altos contenidos de proteína en las hojas y los grandes rendimientos de biomasa por unidad de área exige altas cantidades de este nutriente en el suelo y esto indica la necesidad de reponer las cantidades extraídas por la planta, en proporciones relativamente altas, por tal motivo se debe tener en cuenta variedades de la especie *Morus alba*, como la variedad *Miura* y *calabresa*, que sobresalen por su excelente producción de follaje durante períodos secos y eficiencia en la extracción de nutrientes, su buena composición nutricional y que aunque ya se han realizado algunos estudios, se podría profundizar más en ellos (García y Krause 2000). También es necesario identificar y evaluar variedades locales de las cuales no se conoce su procedencia precisa, comportamiento agronómico y productivo pero que ya han sido sometidas a procesos de selección, como la variedad Taisong de la especie *Morus formosensis* originaria de Taiwán.

También se podrá evaluar especies de morera de acuerdo a características de la superficie foliar como presencia de tricomas e idioblastos los cuales tienen relevancia en la calidad morfológica de las hojas de morera, donde materiales libres de tricomas serían más atractivos para la alimentación del gusano de seda (Singhal *et al.*, 2010).

Los bancos de germoplasma de morera requieren de técnicas especiales para ser conservados, razón por la cual se debe elaborar protocolos para el mantenimiento de estos teniendo en cuenta métodos *in vitro* y conservación en campo.

4.4 MEJORAMIENTO DE MORERA

Para realizar programas de mejoramiento genético de morera se debe tener en cuenta materiales con resistencia a plagas como *Empoasca*, *Tetranychus equitorius*, nematodos y a enfermedades como llaga de la raíz *Roselinia sp*, *Aecidium mori*, *Sercospora moricola* y *Sclerotinia moricola*, para evitar que el uso de productos químicos causen toxicidad al gusano de seda durante la alimentación. De la misma forma se debe identificar materiales vegetales tolerantes a condiciones ambientales variables como humedad relativa alta que favorece la aparición de enfermedades, baja temperatura donde se inhibe el crecimiento de la planta, causando defoliación y alto brillo solar que incrementa la función fisiológica (Torres, 1997).

Para la reproducción de la morera es necesario considerar la recomendación de (Katsumata citado por Domínguez *et al.*, 2001) que sugiere para el mejoramiento de la morera en países tropicales propagar de manera asexual (estacas) variedades rusticas, vigorosas, precoces y de fácil reproducción con especies japonesas mejoradas de alta producción, alto valor nutritivo pero de difícil reproducción vegetativa con el fin de obtener plantas que reúnan vigor , rusticidad con alta producción y calidad del forraje. Del mismo modo la producción con buena cantidad de entrenudos y hojas grandes sería útil para obtener buen follaje con menos cantidad de plantas.

También se debe identificar especies de *Morus* triploides y diploides con buenas características comerciales para obtener mediante procesos de hibridación especies de morera triploides que son superiores en vigor, calidad nutricional y textura de la hoja. Además genéticamente son más tolerantes a condiciones de estrés que las diploides (Chakraborti *et al.*, 1998).

En la producción de hoja de morera para la alimentación de gusano de seda intervienen factores como, variedad, posición de la hoja en la planta, sistema de cultivo, clima y fertilizantes. Elementos como N, P, K, Ca, y B influyen directamente en la calidad, palatabilidad del follaje y por consiguiente en la salud y peso del gusano. Teniendo en cuenta que la producción de hilo de seda en el departamento del Cauca es orgánica es necesario evaluar variedades de morera para identificar cuáles son las eficientes la extracción de nutrientes del suelo, las especies de morera deberán responder positivamente a la aplicación de fertilizantes de origen orgánico compostado, a la asociación de cultivos, el uso de coberturas verdes, para evitar el uso de fertilizantes nitrogenados de origen sintético. La morera es una planta altamente extractora del nitrógeno del suelo, por lo que el cultivo requiere aplicaciones adecuadas de este elemento mineral, se podría intercalar con una leguminosa arbustiva o arbórea tropical como *Leucaena* para que la fijación de nitrógeno que hace la leguminosa compense la extracción efectuada por la planta.

De la misma forma se podrá seleccionar a nivel de laboratorio hongos endomicorrizicos o ectomicorrizicos y establecer cuáles de ellos son mejores para la morera, aunque castillo en 1988 hizo el primer reporte sobre la presencia de Micorriza Versículo Arbuscular en morera kanva 2 mejorando el desarrollo productivo de estas, un aspecto importante para optimizar el aprovechamiento de fertilizantes orgánicos y fósforo del suelo (Lemos, 1999).

Otro elemento importante para la sericultura es la calidad nutricional de la hoja de morera, aspecto que está relacionado con la fertilización, por lo cual se deben realizar investigaciones orientadas a conocer el comportamiento de la planta en condiciones de suelo variadas, con pH ácidos o alcalinos, donde no existe información disponible, (Medina *et al.*, 2009) y de esta manera encontrar materiales de morera tolerantes a suelos bajos en materia orgánica.

Para el control de plagas y enfermedades el uso de prácticas agronómicas deberá ser preventiva para evitar la presencia de insectos y enfermedades en el cultivo por medio del empleo de control mecánico, físico o biológico con el uso de trampas, plantas repelentes, extractos de plantas o enemigos naturales como medio de erradicación de plagas que se puedan presentar en el cultivo, la obtención de materiales de morera tolerantes a plagas y enfermedades también es un aspecto fundamental para evitar el uso de agroquímicos en la producción de follaje y una posible intoxicación del gusano con la alimentación.

Herramientas biotecnológicas: En Colombia la reproducción de la morera se realiza por estacas, aunque este método garantiza una mayor homogeneidad de las plantaciones, tiene desventajas como pobre desarrollo radicular, lenta reproducción que ocasiona un alto porcentaje de pérdidas (Balakrishnan *et al.*, 2009).

Una alternativa para la obtención de material vegetal es el cultivo *in vitro*, por medio de esta técnica se produce grandes cantidades de plantas con poco material vegetal en el menor tiempo, además se obtiene plantas libres de plagas y enfermedades con altos niveles de follaje mediante producción limpia. El cultivo de tejidos, mediante organogénesis en medios de cultivo semi sólido y propagación *in vitro* mejora el sistema de reproducción de morera (Salas *et al.*, 2005). Aunque la reproducción *in vitro* de algunas especies de *Morus alba* ya se ha estudiado, todavía no se han evaluado las plantas en condiciones de campo (Salas *et al.*, 2006), por lo que se debe investigar el comportamiento de estas, pues existe poca información acerca del uso de técnicas de propagación y de la evaluación agronómica del género *Morus* en Latinoamérica (Salas y Agramonte, 2002).

4.5. MARCADORES MOLECULARES

En gusano de seda se conoce muy poco sobre los genes involucrados en los caracteres comerciales de peso, longitud y grosor del hilo, pero varios marcadores

moleculares son utilizados en la búsqueda de estas características genómicas. Los marcadores de ADN son útiles para estandarizar, discriminar, determinar parentesco e identificar de razas de gusano de seda que aún no tienen claro su origen, pero que poseen características comerciales importantes para los programas de mejoramiento (Dekkers, 2004). El fortalecimiento de la sericultura en varios países del mundo, ha dado origen a muchas especies de morera, mediante un largo proceso de domesticación, donde se dio o diferentes nombres a dichas especies ocasionando confusión en la identificación taxonómica del género *Morus*.

Al igual que en gusano de seda los marcadores moleculares son una herramienta importante para diferenciar con más precisión los materiales de morera con los que se está trabajando en sur América; en especial en Colombia donde según algunos sericultores del departamento del Cauca aún no tienen claro si la variedad sembrada pertenece a *Morus indica* o *Morus alba*, (Conversación con Juan Campo, sericultor del municipio del Tambo, departamento del Cauca, Marzo de 2014). Los marcadores más utilizados son los AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) que se utilizan para la identificación de los caracteres de producción como peso de capullo, peso de corteza (Gaviria *et. al* 2006), los RFLP, asociados a la caracterización de germoplasma de estudios filogenéticos, localización de genes específicos y características agronómicas importantes. Los RAPDs y PCR, orientados a la búsqueda de características genómicas que rigen cualidades cuantitativas, ayudan a determinar el comportamiento, localización de genes de interés y genes mutantes en *B. mori* donde existe alta mutación espontánea.

Los marcadores moleculares poseen varias ventajas sobre las características morfológicas ya que no son modificados por el medio ambiente y pueden ser identificados en cualquier etapa de desarrollo. Varias técnicas se han utilizado en un intento de identificar polimorfismos moleculares en el gusano de seda,

incluyendo los marcadores de enzimas tales como amilasas presentes en hemolinfa en zonas tropicales y templadas (Abraham *et al.*, 1992; Goldsmith, 1995).

Los AFLP se pueden utilizar con éxito en el gusano de seda para revelar polimorfismos de ADN útiles como marcadores genéticos, esta es una técnica valiosa para el descubrimiento de la variación genética, además se puede identificar el origen geográfico de los materiales genéticos (Gaviria *et al.*, 2006).

5. CERTIFICACIÓN DE SEDA ORGÁNICA

La certificación del hilo de seda como producto orgánico es un aspecto fundamental para el auge de la industria serícola del departamento de Cauca. La obtención del hilo de seda mediante prácticas ecológicas protege y respeta el medio ambiente. En el Cauca CORSEDA, cuenta con 22 fincas asociadas con la certificación Global Organic Textile Standard (GOTS) que incluye procesos como la producción de huevos de gusano de seda, el cultivo de la morera, la cría del gusano de seda, la producción de capullos, el devanado manual del hilo de Seda, el proceso de tintorería con uso de tintes de origen natural extraídos de cortezas, hojas, raíces, flores y semillas y la elaboración de prendas por mujeres artesanas (CORSEDA, 2012).

Los estándares de producción orgánica son establecidos por Normas Orgánicas Nacionales (NOP) de los Estados Unidos y la Unión Europea donde CORSEDA cuenta con la empresa certificadora Control Unión, la cual asegura y garantiza la producción de hilo de seda libre de productos químicos dañinos para el medio ambiente y la salud humana. Para el desarrollo de la Agricultura Orgánica se hace necesario diseñar estrategias que deben ser seguidas de manera conjunta por los Sericultores, como la producción de semilla de buena calidad a través de micro propagación y así evitar la intervención de insumos químicos que provocan desbalances en el medio natural y promueven un rendimiento sostenible, también se pueden utilizar variedades criollas o mejoradas que a través del mejoramiento genético mejoran su adaptación a condiciones ambientales, enfermedades y plagas. La certificación de hilo de seda orgánico exige la sostenibilidad de los recursos naturales donde se debe tener en cuenta el uso de razas de gusano que no afecten el equilibrio natural, evitando la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM), ya que no se conocen las posibles repercusiones de estos en el medio ambiente y en la salud humana, de esta manera la certificación orgánica asegura que no se hayan utilizado estos

materiales de forma intencional en la producción y elaboración de los productos orgánicos, como el gusano de seda que se ha modificado genéticamente para la producción de seda recombinante de araña *Argiope trifasciata* (Wen *et al.*, 2009).

Para el cultivo de la morera se debe usar semilla producida de forma orgánica excepto que esta no se encuentre disponible en el mercado, haciéndose necesario el establecimiento del banco de germoplasma que tenga variedades de morera con características agronómicas deseables para facilitar la propagación de semilla libre de productos químicos que aporten en la calidad, palatabilidad del follaje y por consiguiente en la salud y peso del gusano.

Para la producción de hilo de seda orgánica en el departamento del Cauca es necesario evaluar variedades de morera para identificar cuáles son más eficientes en la extracción de nutrientes del suelo, así mismo que respondan positivamente a la aplicación de fertilizantes de origen orgánico compostado y a las prácticas de manejo orgánico como el uso de micorrizas, control de plagas , enfermedades para evitar el uso de agroquímicos en la producción de follaje, que puede causar e intoxicación del gusano con la alimentación y de esta manera cumplir con las normas que exige la certificación orgánica.

“La certificación surge como una estrategia de mercados verdes donde hay un grupo de compradores dispuestos a pagar un sobreprecio por productos con ciertas características. En este sentido, la certificación es definida por la demanda y no por la oferta y aunque hay consumidores que exigen ciertas características de los productos que adquieren, por principios éticos y morales –por ejemplo, amigables con el ambiente, comercio justo, social-mente responsables” (Van Hoof *et al.*, 2008).

Según Guhl (2009) la obtención de la certificación genera incentivos económicos para el productor, recibiendo un sobreprecio en los productos presentados al

mercado. La certificación implica mejorar las condiciones de vida de los sericultores y sus familias al recibir mayores ingresos por el producto producido. “Lo que se certifica no es el producto en sí sino la manera como fue producido”. El cumplimiento de los criterios de certificación debe ser verificado de manera independiente. No es suficiente que el productor cumpla los criterios de certificación de manera voluntaria para poder acceder a un sello específico. Este proceso debe repetirse con cierta frecuencia, la cual depende del sello de certificación, para que el productor pueda mantenerse como certificado.

6. USOS POTENCIALES DEL GUSANO DE SEDA *B. mori*

Las fibras de seda de *B. mori* han sido los principales materiales utilizados en medicina para la fabricación de suturas, regeneración de hueso, cartílago y ligamentos (Kim *et al.*, 2005).

La fibroína es un material de naturaleza proteica, altamente biocompatible (Elices y Toluero, 2001), no produce rechazo ni respuesta inflamatoria en los tejidos donde se injerta (Wang *et al.*, 2006). También se utiliza en la elaboración de tornillos como implantes médicos que inicialmente se usaron en animales pero en la actualidad, ya se utilizan en seres humanos. Estos implantes son menos rechazados y más compatibles con el cuerpo, no interfieren con los rayos X y no causan sensibilidad al frío (Maeda, 1989).

Según Cervantes (2013), de la pupa se pueden obtener básicamente dos tipos de bioproductos, que corresponden a su fracción lipídica y a su fracción acuosa con efectos positivos a nivel cardiovascular y neuroprotección. La sericina tiene una aplicación interesante como antioxidante y antitumoral.

En el sector cosmetológico la sericina se ha utilizado como agente activo en el campo de la cosmética, debido a sus propiedades hidratantes (Voegeli, *et al.*, 1993). Con el tiempo se han desarrollado también productos como acondicionador para el cuidado capilar, uñas y filtro solar (Kundu *et al.*, 2008). También se utiliza el aceite de crisálida para el cuidado de la piel (Soto, 2008).

Es importante resaltar que el gusano de seda se ha modificado genéticamente para la producción de seda recombinante de araña *Argiope trifasciata*.

La seda de araña es una proteína fibrosa única con una combinación de resistencia a la tracción y elasticidad, pero el aislamiento de grandes cantidades

es muy difícil, por esto se utilizó a *B. mori* para la producción de seda recombinante, en la transformación se utilizó un vector basado en piggyBac para inyectar los huevos de gusanos de seda, donde los gusanos transgénicos muestran la expresión del gen recombinante con fluorescencia en sus ojos, y posteriormente en el capullo. La seda recombinante presenta alta resistencia a la tracción y buena elasticidad en comparación con la seda no transgénica (Wen *et al.*, 2009).

Por otro lado la larva de *B. mori* puede utilizarse de forma eficiente como biorreactor para la producción de proteína recombinante para usos médicos, como se puede observar en la Tabla 10. En general, el sistema de expresión de proteína recombinante en células de insectos basado en un vector baculovirus (SEB) es uno de los más interesantes de los cuatro sistemas principales de producción de proteína existentes (procariontas, levaduras, insectos y mamíferos (Maeda *et al.*, 1985).

Tabla 10. Principales proteínas producidas a partir de gusano de seda

| Proteínas | Aplicación |
|-------------------------|-----------------------------|
| VEGF | Cicatrización, Angiogénesis |
| FGF | Regulación De Angiogénesis |
| Interferón-T Bovino | Antiviral |
| Lactoferrina Porcina | Antimicrobiano |
| Interleukina-21 Bovina | Sistema Inmune |
| Interleukina-18 Porcina | Sistema Inmune |

Fuente: Cervantes (2013)

7. CONCLUSIONES

En Colombia y el departamento del Cauca no existe información científica actualizada sobre investigación biotecnológica en sericultura, debido a que la investigación mínima se ha dedicado solo a la parte comercial y productiva.

En el departamento del Cauca no se ha cambiado el sistema de producción de gusano de seda y de morera ya que todavía se viene trabajando con razas que no se han adaptado completamente al clima colombiano y que no producen la calidad de hilo requerida para mercados internacionales.

La identificación de líneas de investigación como el establecimiento de bancos de germoplasma, mejoramiento genético de gusano de seda y morera, y los procesos de certificación, podrían contribuir a mejorar la calidad y cantidad de hilo de seda orgánica producida por capullo y así cumplir con los estándares requeridos en mercados nacionales e internacionales.

El voltinismo y moltinismo son aspectos fundamentales para tener en cuenta en los programas de mejoramiento ya que así se pueden seleccionar razas con buenas características comerciales y buena resistencia a condiciones ambientales adversas.

Las condiciones ambientales de Colombia y en especial el departamento del Cauca son particulares por lo cual es indispensable para el desarrollo biotecnológico crear un banco de germoplasma de gusano de seda con razas que respondan a características comerciales como buena calidad del capullo, lo cual se ve reflejado en el hilo de seda de buena longitud, grosor, elasticidad y devanabilidad.

Es importante evaluar diferentes variedades de morera, para la alimentación del gusano de seda debido que en Colombia la mayor parte del área sembrada es de la variedad Kanva 2 de la especie *Morus indica*, por lo tanto es importante establecer un banco de germoplasma con diferentes variedades de *Morus sp*, que posean características agronómicas deseables para facilitar la propagación de semilla libre de productos químicos que aporten en la calidad, buena salud y peso del gusano, además que posean alta producción de follaje, buena respuesta a la poda, buen contenido nutricional y tolerancia a suelos pobres en materia orgánica

Los marcadores moleculares son una herramienta importante para diferenciar con precisión las variedades de morera con las que se está trabajando en Colombia ya que según algunos sericultores del departamento del Cauca aún no es claro si la variedad sembrada pertenece a *Morus indica* o *Morus alba*.

El establecimiento de un banco de germoplasma de gusano de seda es una alternativa biotecnológica para poder acceder a diferentes razas de gusano y realizar programas de mejoramiento genético donde se obtienen híbridos que responden a características comerciales de buena calidad, cantidad e hilo de seda, además de tolerancias a plagas y enfermedades.

La certificación del hilo de seda como producto orgánico es un aspecto fundamental para la industria serícola del departamento de Cauca, que aporta un alto valor agregado a los productos elaborados y garantiza la producción de seda libre de productos químicos dañinos para el medio ambiente y la salud humana, pero es necesario realizar seguimiento a los procesos de certificación orgánica de seda de manera continua, para verificar que los sericultores cumplan con los criterios establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E. G., Nagaraju, J. y Datta R. K. (1992). Biochemical Studies of Amylases in the Silkworm, *Bombyx mori* L.: Comparative Analysis in the Diapausing and Nondiapausing Strains. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* (22), 687-873.
- Almeida, J. E. y Fonseca, T. (2002). Mulberry Germplasm and Cultivation in Brazil. *Animal Production Health Paper* (147), 73-95.
- Altman, G., Díaz, F., Jakuba, C., Calabro, T., Horan, R. L., Chen, J., Lu, H. *et al.* (2003). Silk-based Biomaterials. *Biomaterials* (24), 401-416.
- Avendaño, F., Soria, S. (1998). Manual de sericultura: el capullo, características y clasificación. Penipe, Ecuador.
- Awasthi, A., Nagaraja, G., Naik, G., Kanginakudru, S., Thangavelu, K. y Nagaraju, J. (2004). Genetic Diversity and Relationships in Mulberry (*Genus Morus*) as Revealed by RAPD and ISSR Marker Assays. *BMC Genetics* (5), 1-8.
- Balakrishnan, V., Ram, L., Ravindran, K. y Philip, J. (2009). Clonal Propagation of *Morus alba* L. through Nodal and Axillary Bud Explants. *Botany Research International*, 2(1), 42-49.
- Benavides, J. E. (2002). Utilization of Mulberry in Animal Production Systems. Mulberry for Animal Production. *Animal Production and Health Paper*, (147), 291.
- Bernays, E. A. y Chapman, R. F. (1994). Host Plant Selection by Phytophagous Insects. *Chapman and Hall*, 312.

- Cappelozza, L. (2002a). Mulberry Germplasm Resources in Italy. *Animal Production Health Paper* (147), 97-101.
- Cappelozza, S. (2002b). *Estado de conservación de Bombyx mori (Carteras), recursos genéticos en Italia*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e01.htm>
- Caspian Seas and Central Asia Silk Association [Bacsa]. (s. f). *Black Caspian Seas and Central Asia Silk Association*. Recuperado de <http://www.bacsa-silk.org9>
- Castejón, J. (2013). Amarilla española número 2 “sierra morena” no es español. *AERCEGSA* (5), 3-5.
- Cervantes, S. A. (2013). *El gusano de seda, Bombyx mori (Linneo, 1758) como plataforma de producción de proteínas naturales y recombinantes. Aplicaciones en Biotecnología e Ingeniería de Tejidos*. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Chakraborti, S., Vijayan, K., Roy, B. (1998). In vitro induction of tetraploidy in mulberry, *Morus alba* L.. *Plant Cell Reports* (17), 799–803.
- Chen, Y. (2002). *Conservation Status of Silkworm Germplasm Resources in China*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e01.htm>
- Cifuentes, C. A. y Sohn, W. K. (1998). *Manual de Sericultura. Cultivo de la morera y cultivo de gusano en el trópico*. Pereira: Fondo Editorial de Risaralda.
- Cifuentes, C. (2004). *Pablo y el gusano de seda: la morera*. Colombia: Red andina de la seda.

- Corseda. (2012). *Link orgánico*. Recuperado de http://www.corseda.com/link_organico.html.2012
- Datta, R. K. (s. f.). *Research & Training Institute Central Sericultural, Central Silk Board, Srirampura de india*. Recuperado de www.fao.org/livestock/agap/frg/mulberry/Papers/HTML/Datta.htm
- Dekkers, J. (2004). Commercial Application of Marker and Gene Assisted Selection Livestock. Strategies and Lessons. *Journal of Anilan Science* (82), 313-328.
- Domínguez, A., Tellez, E. y Revilla, J. (2001). Comportamiento inicial de dos especies de morera en fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes* (2), 147-152.
- Elices, M. y Toluero, G. (2001). Usos médicos de la seda. *Investigación y Ciencia* 28-35.
- Enciso, H. (2008). *Red Latinoamericana de la Seda*. Recuperado de www.redandinadelaseda.org
- Espinoza, A. (2012). *Proceso socioeconómico del Perú*. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- García, C. J. (1992). *Crías comparativas de dos híbridos de gusano de seda Bombyx mori L.* Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé].

- García, C. J. (1999). Desarrollo del gusano de seda en la zona cafetera, con diferentes niveles de suministro de morera y áreas de cría. *Cenicafé*, 50(2), 126-135.
- García, C. y Krause, H. (2000). Estudio de adaptación de materiales promisorios de morera en la zona central colombiana. *Cenicafé*, 51(1), 54-65.
- Gaviria, D., Aguilar, E., Serrano, H., Ramírez, L. y Alegría, A. (2006). Identificación de marcadores moleculares AFLPS asociados con caracteres de productividad en gusano de seda, *Bombyx mori*. *Centro de Desarrollo Tecnológico de la Sericultura [CDTS]*, Pereira. 7-15
- Goldsmith, M. R. (1995). Genetics of the Silkworm: Revisiting an Ancient Model System. *Molecular Model Systems in the Lepidoptera*, 21-76.
- Gómez, J. E. (2001). *El último gusano en la ruta de la seda, provincia No 8*. Granada: Imprenta Ideal.
- González, F. (2001a). *El gusano de seda y la morera*. Murcia: Imprenta Regional de Murcia.
- González, F. (2001b). La Estación Sericícola de Murcia 1892-1976. En Serie técnica y de estudios. *Serie Técnica: 20*. Murcia: Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.
- Graur, D. y Wen-Hsiung, R. (2000). *Fundamentals of Molecular Evolution*. Recuperado de http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/19176/1/DES_Diversidad%20genetica%20en%20bancos%20de%20Germoplasma.pdf

- Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en Aratocha, Santander. *Revista de estudios sociales* (32), 114–125. Recuperado de <http://res.uniandes.edu.co/view.php/582/view.php>
- Instituto de Investigación de la Sericultura. Academia China de Ciencias Agrícolas. (2003). *Página institucional*. Recuperado de <http://www.sricaas.com/>
- Instituto Ítalo Latino Americano [IILA]. (2001). La seda en los países de la Comunidad Andina. En Forum sobre la seda en los países sobre la Comunidad Europea . Quito: Dirección General para la Cooperación al Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (2010). Aporte a la comprensión de la situación de la sericultura del Argentina y Latinoamérica (86), 70-71.
- Kim, K. H., Jeong, L. y Park, H. N. (2005). Biological Efficacy of Silk Fibroin Nanofiber Membranes for Guided Bone Regeneration. *Journal Biotechnology* (120), 327-339.
- Kosegawa, E. (2002). *Estado de conservación de material genético, sericultura recursos en Japón*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e01.htm>
- Krause, B. (1991). El hilo y el capullo de seda. *Manual de Sericultura Colombiana* (38), 10-14.
- Kundu, S., Dash, B., Dash, R. y Kaplan, D. L. (2008). Natural Protective Glue Protein, Sericin Bioengineered by Silkworms: Potential for Biomedical and Biotechnological Applications. *Progress Polymer Science*. 33(10), 998-1012.

- Lana, V. (1984). *Tratado de la morera y la cría de gusano de seda*. Barcelona Editorial Sintés.
- Lemos, Y. (1999). Las micorrizas en la morera ,*Morus sp. Sericultura colombiana* (28), 5-7.
- Lin, C., Yao, Q., Chen, K. y Wu, D. (1988). Sericin Dissolubility of Different Silkworm Varieties and its Correlative Analysis. *Acta Sericologia Sinica*, 24(2), 81-85.
- Machii, H. (2002). Mulberry Breeding, Cultivation and Utilization in Japan. *Animal Production and Health Paper*,(147), 63.
- Maeda, S., Kawai, T., Obinata, M., Fujiwara, H., Horiuchi, T., Saeki, Y., Sato, Y. *et al.* (1985). Production of Human Alfa-Interferon in Silkworm Using a Baculovirus Vector. *Nature*, (315), 592-594.
- Maeda, S. (1989). Expression of Foreign Genes in Insects Using Baculovirus Vectors. *Annual Review Entomology*,(34), 351-371.
- Martos, T. A. (2010). *Evaluación morfológica y biológica y rendimiento en capullo y fibra de seda n híbridos f1 de gusano de seda*. (Tesis doctoral inédita), Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Martos, T. A., Prieto, Z. A., Vargas, R. y Chuquija, J. (2012). Híbridos F1 de “gusano de seda” *Bombyx mori L.* con altos rendimientos en capullo y fibra de seda cruda. *Sciéndo*, 15(1), 52-64.

- Mauchamp, B. (2002). *Estado de conservación de gusano de seda, recursos genéticos en Francia*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e01.htm>
- Medina, M., García, D. y Moratinos, L. (2009). La morera, *Morus sp*, como recurso forrajero: Avances y consideraciones de investigación. *Zootecnia Tropical*, 27(4). Recuperado de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt2704/pdf/medina_m
- Monedero, E. (2009). *Banco genético de Bombrix mori (Valencia, España)*. Recuperado de http://bombyx-mori-genetic.blogspot.com/2009_07_01_archive.html
- Moorthy, M., Das, K., Mukhopadhyay, K. y Mandal, K. (2007). Evaluation of Thermo Tolerance of “Nistari” an Indigenous Strain of Multivoltine Silkworm, *Bombyx mori* L. *Journal Industrial Entomology.*, 15(1), 17-21.
- Nirmil. (2013). *Seda, los secretos de Bombrix mori*. Recuperado de <http://seda-nimril.blogspot.com/>
- Noda, Y. G., Pentón, G. y Martín, J. (2004). Comportamiento de nueve variedades de *Morus alba* (L.) durante la fase de vivero. *Pastos y Forrajes*, 27(2), 131-138.
- Pademer. (2003). *Sistematización de experiencias locales proyecto de apoyo al desarrollo de la microempresa rural*. Popayán: Autor.

- Pelegrín, M. M. (2013). *Variedades y tipos de moreras en el levante español*. (Tesis de maestría inédita). Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Alicante, España.
- Pentón, G., Martín, G., Pérez, A. y Noda, Y. (2007). Comportamiento morfo agronómico de variedades de morera, *Morus alba* L. durante el establecimiento. *Pastos y Forrajes*, 30(3), 671-683
- Perea, O. y Cardona, J. (1999). Análisis técnico económico de crías japonesas coreanas. Pereira. Federación Nacional de Cafeteros.
- Pescio, F., Zunini, H., Basso, C. Divo, S. M. (2008). *Sericultura. Manual para la producción*. Buenos Aires: Editorial INTI.
- Ramírez, L. (2006). *Mejora de plantas alogamas*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Ranvindran, S. (1997). Distribution and Variation in Mulberry Germplasm. *Indian Journal Plant Genetic Resources*, 10(2), 233-242.
- Rao, C., Chandrashekaraiyah, C., Ramesh, K. I., Basha, S. V., Seshagiri, A. y Nagaraju, H. (2004). Evaluation of Polyvoltine Hybrids Based on Silk Productivity in Silkworm, *Bombyx mori* L. *Journal. Industrial. Entomology.*, 8(2), 181-187.
- Red Andina de la Seda. (2011). Líneas puras e híbridos generados en la Universidad La Molina. *Boletín Latinoamericano de la Seda*,(20), 5-6.

- Rodríguez, J. y González, F. (2000). *Cultivos arbóreos tradicionales y biodiversidad. Contribución a su conocimiento y conservación en la Región de Murcia*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Rodríguez, M. (2010). *Morera. Un nuevo forraje para la alimentación del ganado*. La Habana: Editorial Científico-técnica.
- Rodríguez, A., Martínez, A. y Ventura, M. (2012). Adaptación de tres variedades de morera, *Morus* sp. en el estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 671-683.
- Rodríguez, A., Vargas M. y Ventura, M. (2012). *Manual de Sericultura en Hidalgo*. México D. F.: Editorial Ciudadano.
- Roy, A. K., Singh, M. K., Singh, B. D., Mishra, P. K., Jayaswa, L. J. y Andrai, S. (2000). Comparative Effect of Mulberry Varieties on Rearing Performance of Silkworm, *Bombyx mori* L. *Journal Advanced Zoology*, 21(1), 39-42.
- Salas, B. J. E. y Agramonte, P. (Diciembre, 2002). *Establecimiento in vitro de morera, Morus alba L. variedad criolla o cubana*. Trabajo presentado en el V Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería tropical" y II Reunión Regional de Morera, Matanzas, Cuba
- Salas, J. E., Agramonte, D., Barbón, R., Jiménez, F., Collado, R., Pérez, M. y Gutiérrez, O. (2005). Propagación *in vitro* de *Morus alba* L. en medio de cultivo semisólido. *Bioteología Vegetal*, 5(2), 81-87.
- Salas, J. E., Agramonte, D., Barbón, R. y Jiménez, F. (2006). Caracteres morfológicos de plantas de *Morus alba* derivadas de cultivo *in vitro* en condiciones de campo. *Revista Ra Ximhai*, 2(2), 469-479.

- Sánchez, M. D. (2000). Mulberry, an Exceptional Forage Available Almost Worldwide. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/Mulberry/Papers/HTML/Mulbwar2.htm>
- Sánchez, M. D. (2002). World Distribution and Utilization of Mulberry and its Potential for Animal Feeding. *Animal Production and Health Paper*, 1(147), 1-8.
- Sericulture and Agricultura Experiment Station Vratza. (s. f.). Selling mulberry cuttings and saplings of highly productive varieties. Recuperado de <http://ses-vratza.bacsa-silk.org/en/chernichevi-fidanki/>
- Schoonhoven, L. M., Jermy, T. y Van Loon, J. A. (1998). Insect and Flowers: The Beauty of Mutualism. *Insect-Plant Biology: From Physiology to Evolution*, (409), 1-17
- Sharma, A., Sharma, R. y Machii, H. (2000). Assesment of Genetic Diversity in a Morus Germplasm Collection Using Fluorescence-Based AFLP Markers. *Theoretical and Applied Genetics*, (101), 1049-1055.
- Shen, X.-J., Li, Y.-R., Tang, S.-M., Li, G.-F. y Shen, X.-H. (2002). A Fluoride-Endurance Silkworm Variety Huafeng_{GW} × Hue.A Suitable both for Spring and Autumn. *Acta Sericologica Sinica*, 28(1), 52-53.
- Singhal, B. K., Baqual, M. F., Khan, M. A., Bindroo, B.B. y Dhar, A. (2010). Microscopía electrónica de barrido de la superficie foliar de 16 genotipos de *Morus* sp. en relación a su valor alimenticio para crianza del gusano de

la seda, *Bombyx mori* L. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(2), 191-198.

Sohn, H. (2002). *Conservation Status of Silkworm Germplasm Resources in China*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e01.htm>

Sohn, W, K. y Ramírez, L. (1999a). Comparación de la variación de la calidad el capullo de los híbridos de cruce simple, triple y doble del gusano de seda *Bombyx mori*. *Avances técnicos del CDTS*, (3), 24-51.

Sohn, W, K. y Ramírez, L. (1999b). Evaluación de líneas puras gusano de seda *Bombyx mori*. En los caracteres cuantitativos. *Avances técnicos del CDTS*, (3), 1-23.

Soto, C. A. y Tamayo, A. (2008). *Aprovechamiento integral de la crisálida de gusano de seda, Bombyx mori, híbrido Pilamo 1*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Suárez, W. (2006). Overview of Colombian Sericulture. *Boletín Latinoamericano de la Seda*, (10), 11-12.

Takahashi, R., Kronka, S. N., y Hirose, T. (2000). Desenvolvimento da glândula sericígena do bichoda-seda, *Bombyx mori* L., sob a influencia de diferentes tipos de adubajao na amoreira. *Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa*, 47(2), 121-125.

Thangavelu, K. (2002). *Conservation Status of Silkworm Genetic Resources in India*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e01.htm>

- Torres, F. (1997). Factores que influyen en la producción de hoja de morera. *Avances técnicos del CDTS*, (18), 12-14.
- Tzenov, P. (2008). *Caspian Seas and Central Asia Silk Association, BACSA, (Bulgaria)*. Recuperado de <http://www.bacsa-silk.org/en/sericulture-germplasm-in-bacsa-countries/>
- Tzenov, P. (2008). *Características de las razas: Daizo, Bulgaria 1 y Bulgaria. (Bulgaria)*. Recuperado de http://www.bacsa-silk.org/user_pic/BACSA%20_intern_testing_silkw_hybrids_2006.pdf
- Van Hoof, H., Monroy, N. y Asaer, A. (2008). *Producción más limpia*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Vijayan, K., Saratchandra, B. y Teixeira da Silva, J. A. Germplasm Conservation in Mulberry, *Morus* sp. *Scientia Horticulturae*, (128), 371-379.
- Voegeli, R., Meier, J. y Blust, R. (1993). Sericin Silk Protein: Unique Structure and Properties. *Cosmetics Toiletries.*, (108), 101-108.
- Wang, Y., Kim, H-J., Vunjak-Novakovic, G. y Kaplan, D. (2006). Stem Cell-Based Tissue Engineering with Silk Biomaterials. *Biomaterials*, (27), 6064-6082.
- Wen, H., Lan, X., Zhang, Y., Zhao, T., Wang, Y., Kajiura, Z. y Nakagaki, M. (2009). Transgenic Silkworms, *Bombyx mori*, Produce Recombinant Spider Dragline Silk in Cocoons. *Science.gov*, 37:1815–1821
- Xu, M.-K., Jiang, Y.-H. y Chen Y.-Y. (2000). Breeding of Practical Varieties Xinmiao × Mingri with Super-Thick Filament Size. *Acta Sericologia Sinica*, 26(4), 214-218.

Yongkang, H. (2002). Mulberry Cultivation and Utilization in China. *Animal Production and Health Paper*, (147), 11-43.

Zambrano, R. (2008). *Evaluación del efecto de cuatro cantidades de hoja de morera, Morus indica variedad "Kanva 2", y tres áreas de alojamiento, sobre la producción de capullo del gusano de seda, Bombyx mori variedad "Pilamo 1", durante la época lluviosa en santo domingo de los colorados.* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Santo Domingo, Ecuador.

Zhao, Q., Li, L., Wei, Z., Zhang, Z. y Shen, X. (2002). Path Coefficient Analysis on Major Silk Quality Characteristics of the Silkworm, *Bombyx mori* L. *International Journal of Industrial Entomology*, 5(1), 135-139.