

Estado del conocimiento del mejoramiento genético de cespitosas

State of the art of turfgrass breeding

Mislaidys López¹, M. C. González², L. Hernández¹, Wendy Ramírez¹, R. Medina¹ y J. M. Pérez¹

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey",

Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos",

Ministerio de Educación Superior

Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

E-mail: mislaidys.lopez@ihatuey.cu

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba

RESUMEN

Los núcleos de población crecen constantemente, más aún en las zonas urbanas, por lo que también aumenta de manera considerable la demanda de plantas de uso paisajístico y para áreas recreativas. Dichas zonas presentan condiciones únicas y hostiles para el crecimiento vegetal, incluso el de especies cespitosas. Los ambientes donde se desarrollan estas especies están muy influidos por el hombre y se consideran altamente estresantes, ya que combinan un gran número de factores de estrés biótico y estrés abiótico. En este sentido, el desarrollo de nuevas variedades adaptadas al estrés abiótico es un aspecto que ha pasado inadvertido. Por ello el desarrollo de programas de mejora específicos para condiciones locales constituye una necesidad urgente para la industria del césped. Los métodos convencionales de mejoramiento vegetal se han utilizado con éxito para obtener variedades mejoradas; sin embargo, el uso de modernas herramientas de la genética y la biotecnología ha marcado un nuevo hito en el mejoramiento genético de cespitosas, el cual está orientado, fundamentalmente, a la obtención de variedades tolerantes a estreses abióticos. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre el estado del conocimiento en el tema del mejoramiento genético de especies cespitosas.

Palabras clave: biotecnología vegetal, césped, mejora genética

ABSTRACT

Population centers are constantly growing, even more in urban zones, for which the demand for plants for landscaping purposes and recreational areas also increases considerably. These zones represent unique and hostile conditions for plant growth, even that of turfgrass species. The environments where these species are grown are very influenced by man and are considered highly stressing, because they combine a large number of biotic and abiotic stress factors. In this sense, the development of new varieties adapted to abiotic stress is an aspect which has been unnoticed. That is why the development of specific breeding programs for local conditions constitutes an urgent need for the turfgrass industry. Conventional plant breeding methods have been successfully used to obtain improved varieties; however, the use of modern genetics and biotechnology tools has marked a new milestone in turfgrass breeding, which is aimed, mainly, at the attainment of abiotic stress tolerant varieties. This paper presents a bibliographic review about the state of the art in the topic of turfgrass species breeding.

Key words: breeding, plant biotechnology, turfgrass

INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años, la industria del césped ha crecido más que ninguna otra en la rama de la agricultura y se ha llegado a convertir en una industria multimillonaria, capaz de generar miles de puestos de trabajo y/o servicios en todo el mundo.

La génesis de la industria cubana del césped se basó en un test de mercado realizado en Varadero en 1994, que identificó el interés de los hoteleros en mejorar sus jardines, lo que reforzaba la intención estratégica del Ministerio de Turismo (MINTUR) de construir varios campos de golf (Hernández *et al.*, 2007; Hernández, Suárez, Hernández y Martín,

2009). El factor determinante en este proceso fue la decisión del estado cubano de construir, por primera vez en Cuba, un campo de golf de 18 hoyos. En este sentido, en 1996 el Grupo de Inversiones del MINTUR solicitó a la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EEPF-IH) la realización de un proyecto, con el fin de desarrollar tecnologías para sembrar y establecer el césped del Varadero Golf Club (VGC).

El prestigio logrado en el VGC, el comienzo del uso intensivo del césped en las instalaciones deportivas –promovido por el Instituto Nacional de Deportes, Educación Física y Recreación (INDER)–, así como la constitución en el año 2000 del Programa de Servicios de Encespado de la EEPF-IH han generado un área de investigación y servicios de encespado de gran aceptación en el sector turístico y deportivo cubano, y así se ha consolidado una industria del césped de base tecnológica (Hernández *et al.*, 2007; Blanco, Martín, Suárez y Milera, 2010). Sin embargo, a pesar de este auge y de la prioridad que se le ha dado a las investigaciones de plantas cespitosas, la industria del césped en Cuba se enfrenta a un grave problema relacionado con el predominio de variedades de césped introducidas de mercados extranjeros, lo que se manifiesta en la escasez de variedades idóneas para las condiciones locales, como la salinidad, la sequía, la infertilidad de los suelos, etc. Por ello, la obtención de nuevas variedades adaptadas a condiciones edafoclimáticas locales es una necesidad urgente para el sector, lo cual ya se incluyó en una de las líneas prioritizadas de la EEPF-IH –“introducir y evaluar en las condiciones cubanas nuevas variedades de césped, incluyendo las resistentes a la sombra y tolerantes a la salinidad” (Hernández, 2010)– y del Programa Nacional de Mejoramiento Vegetal y Recursos Fitogenéticos referente a “la introducción y generalización de nuevas variedades de alta calidad genética y adaptadas a las principales condiciones edafoclimáticas del país”.

Entre las principales variedades empleadas se encuentran *Cynodon dactylon* (L.) Pers (bermuda grass, bermuda) y sus múltiples híbridos, *Paspalum notatum* Flugge (Bahia grass), *Pennisetum clandestinum* Holst. Ex Chiov (Kikuyo grass), *Stenotaphrum secundatum* (Walt.) Kuntze (St. Augustine grass), *Axonopus affinis* A. Chase (Common Carpet grass), *Axonopus compressus* Sw. P. Beauv (Tropical Carpet grass), *Zoysia* spp. (*Zoysia* grass), entre otras. A partir de estas se han obtenido, sobre todo en estaciones de Estados Unidos, numerosos

cultivares comerciales mediante la combinación de diferentes técnicas de mejoramiento genético (Alteper y James, 2005; Trenholm y Unruh, 2006; Holton, Skabo, Lowe y Sinclair, 2007; Sandu y Alperter, 2008; Brosnan y Deputy, 2008).

Los núcleos de población crecen constantemente, más aún en las zonas urbanas, por lo que también aumenta de manera considerable la demanda de plantas de uso paisajístico y para áreas recreativas. Dichas zonas presentan condiciones únicas y hostiles para el crecimiento vegetal: temperaturas elevadas (efecto isla), condiciones de suelo extremadamente variables (profundidad, compactación, materia orgánica, tipo de suelo, tráfico y uso intenso, etc.), escasez de recursos hídricos, etc. Por ello, las especies cespitosas se enfrentan a un reto único dentro del reino vegetal: la adaptación a zonas urbanas (Jonhson, 2008). En este sentido, en los últimos años la mayoría de los programas de mejora se han dirigido a la obtención de variedades tolerantes a factores de estrés abiótico como: la salinidad (Munns y Tester, 2008; Koc, Bas, Koc y Kusek, 2009; Abogadallah, Serag, El-Katouny y Quick, 2010), la sequía (Macar *et al.*, 2009), la sombra (Patton, 2010; Trappe, Karcher, Richardson, y Patton, 2011), las bajas temperaturas (Li, Bruneau y Qu, 2010), entre otros.

Por todo ello, este trabajo tuvo como objetivo contribuir al conocimiento del estado actual del mejoramiento genético de especies cespitosas.

Especies cespitosas

Dentro del reino vegetal, la familia de las gramináceas (*Poaceae*) es la que proporciona todas las especies vegetales formadoras de césped. Con 700 géneros y más de 7 500 especies, esta familia está presente en todos los ecotipos del planeta: desde el nivel del mar hasta los 3 600 m de altitud, y desde zonas áridas a áreas tropicales o de climas templados. Sin embargo, no más de 40 especies pertenecientes a las subfamilias *Festucoideae*, *Panicoidae* y *Eragrostoideae* son capaces de reunir las características botánico-agronómicas que permiten su uso como césped (Wiecko, 2008). Entre las especies de estaciones cálidas (megatérmicas) se destacan las siguientes:

a) *C. dactylon* (L.) Pers (bermuda grass, bermuda)

El género *Cynodon* comprende nueve especies, con un número de cromosomas que varía entre 18 y 54. Tanto las bermudas comunes (*C. dactylon*

(L.) Pers var. *Dactylon*) como sus híbridos son ampliamente utilizados como césped. La mayoría de las bermudas comunes tienen 36 cromosomas (Tifton 10 es una excepción, con 54) y producen polen y semillas. Los híbridos triploides (*C. dactylon* x *Cynodon transvaalensis*) tienen $2n = 3x = 27$ y son estériles. Sin embargo, a pesar de que las especies comunes pueden producir semillas, no es recomendable este tipo de propagación, debido a la aparición de mosaicos a lo largo del tiempo. Por ello, la propagación vegetativa es prácticamente la única forma de reproducción para obtener un césped uniforme (Blanchard y Miller, 2002).

Las especies de *Cynodon* son muy utilizadas por su crecimiento rastrero vigoroso, así como por su enraizamiento profundo y su rápido establecimiento mediante la producción de brotes laterales, lo cual proporciona una ventaja competitiva frente al resto de las hierbas indeseables. Estas especies producen un césped muy denso –entre verde claro y oscuro–, bien adaptado a la mayoría de las condiciones edafoclimáticas en muchas regiones. Además, tienen una excelente tolerancia al desgaste (pisoteo) y a condiciones adversas de salinidad y sequía, lo que las convierte en una buena elección para su uso en zonas costeras. Entre sus desventajas se encuentran la susceptibilidad a temperaturas bajas y la poca tolerancia a la sombra. Por debajo de 10 °C, entran en una fase de dormancia (reposo) y sus hojas se decoloran (Blanchard y Miller, 2002). Por ello, una de las estrategias de mejora para este género consiste en la obtención de genotipos resistentes a las bajas temperaturas.

1. Híbridos de *C. dactylon*

Los híbridos de bermuda son el resultado de cruces interespecíficos de *C. dactylon* x *C. transvaalensis*. Estos presentan una mejor calidad, densidad y color, así como una mayor tolerancia al estrés por el pisoteo, el calor y la sequía. Un aspecto muy importante que se ha mejorado en los híbridos es la tolerancia a alturas de corte muy bajas (2-3 cm). Entre los más conocidos –descritos por Blanchard y Miller (2002) y Brosnan y Deputy (2008)– se encuentran:

- Tifway (también conocido como 419): se obtuvo en 1960. Presenta textura fina, color verde oscuro y es extremadamente tolerante al pisoteo. Se utiliza en campos deportivos y de golf, y en jardines.
- Tifway II: se obtuvo a partir de Tifway y mantuvo sus características, pero con una tolerancia

mejorada a las bajas temperaturas y a los nematodos de la raíz.

- Tifgreen (conocido como 328): se obtuvo en 1956. Tiene textura fina, hábito de crecimiento bajo y desarrollo rápido. Produce un césped denso y muy resistente a las arvenses. Es susceptible a los nematodos y muy utilizado en campos deportivos y de golf.
- Tifdwarf: es muy similar a Tifgreen, pero con un color mucho más intenso y hojas más cortas. Es susceptible al ataque de orugas y se usa regularmente en campos de golf, por su color verde intenso.
- Tifsport (se conoce también como Tif 94): es similar a Tifgreen y Tifway II, moderadamente tolerante al frío y a una altura de corte muy baja.
- Tiflawn (conocido como Tif 57): se obtuvo en 1952, es de muy rápida dispersión y resistente al pisoteo.
- Txturf-10. Se obtuvo en 1957 y se recomienda para las pistas de atletismo. Es muy denso y de textura fina.

2. Otros híbridos menos conocidos:

- Celebration: color verde oscuro, muy agresivo, textura fina y muy resistente al pisoteo.
- GN-1: color verde oscuro, textura media y resistente a los nemátodos.

3. Híbridos superenanos

Los superenanos son genotipos que se han obtenido de mutaciones somáticas en los híbridos de bermuda, sobre todo a partir de Tifdwarf y Tifgreen; estos han comenzado a sustituir los utilizados usualmente en campos de golf (Tifgreen y Tifward). En general se ha mejorado la calidad del césped, ya que poseen una longitud intermodal muy pequeña, una mayor densidad de tallos y tolerancia a la siega –con una altura de corte inferior a 2,0-2,5 cm (Brosnan y Deputy, 2008)–. Entre los más conocidos se encuentran:

- TifEagle (también conocido como TW-72). Se obtuvo en 1997 y es un mutante inducido por mutaciones con cobalto 60, a partir de Tifway II. Posee hojas con lámina muy fina, densidad de tallos extremadamente alta y gran resistencia al pisoteo. Es comúnmente utilizado en campos de golf.
- Miniverde: mutante de Tifdwarf, con hojas mucho más finas, tasa de crecimiento lateral elevada y densidad de tallo mejorada. Como la mayoría de los híbridos superenanos, permite una altura de corte muy baja.

- FloraDwarf: se obtuvo a partir de Tifgreen. Es similar a Tifdwarf, pero con hojas más finas, aumento en la densidad de tallos y hábito de crecimiento extremadamente bajo.

4. Bermudas comunes

Las bermudas comunes se utilizan con frecuencia para establecer césped, campos de atletismo y de golf, y áreas verdes en general. Se propagan por semilla, presentan hábito de crecimiento vertical y textura de hoja gruesa, y son poco tolerantes a siegas por debajo de 2-3 cm. En los últimos años, los esfuerzos en la mejora han estado dirigidos a la obtención de genotipos con mejor tolerancia al frío, color verde-medio, densidad mejorada y, sobre todo, adaptadas a una altura de corte inferior a 2,0-2,5 cm. Algunas de las más conocidas son: Princess-77, Rivera, Savannah, Southern Star, Transcontinental y Yukon, entre otras.

5. Otras especies de *Cynodon*

Otras especies de *Cynodon*, más o menos empleadas como cespitosas, son:

- *Cynodon magennisii* (Magennis Bermudagrass)
- *Cynodon bradleyi* (Bradley Bermudagrass)
- *Cynodon transvaalensis* (African Bermudagrass)
- *Cynodon incompletus*

b) *P. notatum* Flugge (Bahia grass)

El género *Paspalum* incluye cerca de 320 especies (Duncan y Carrow, 2000); sin embargo, solo dos se usan como cespitosas: *Paspalum vaginatum*, que se emplea en los campos de golf en climas templados, y *P. notatum*, utilizado en climas cálidos.

P. notatum es una especie tropical nativa de América del Sur, autóctona del norte argentino y de Paraguay. Forma un césped de textura gruesa y aspecto rústico. Posee rizomas y estolones cortos y un sistema radical profundo, que la hace resistente a la sequía. Inicialmente, tiene un crecimiento lento; pero, una vez implantada, es muy invasora. Se adapta a distintos tipos de suelo, aun a los más pobres, y es tolerante a la sequía, al calor y al ataque de insectos y nematodos. Se indica especialmente para grandes extensiones, bordes de caminos, etc., debido a que no necesita mucho mantenimiento. La altura de corte depende del uso; como regla general, se recomienda entre 5 y 6 cm para parques, y en superficies grandes, hasta 10 cm. La densidad de siembra es de 1 kg/100 m², aunque depende de la calidad de la semilla.

Se conocen dos citotipos fundamentales: el cultivar diploide Pensacola y el tetraploide Argentine. Este último es superior en cuanto a la intensidad del color verde, la densidad y la producción de semilla. Recientemente se ha obtenido el cultivar Tifton-7, a partir de cultivo de callos de Argentine. Los estudios de mejora en esta especie se focalizan en el desarrollo de protocolos para la generación de cultivares comercialmente relevantes a partir de Argentine, mediante técnicas de cultivo de tejido y transferencia de genes (Alteper y James, 2005; Sandu y Alperter, 2008).

c) *P. clandestinum* Holst. Ex Chiov (Kikuyo grass)

P. clandestinum es una especie tropical, originaria de África, que ha sido introducida en muchas regiones del mundo. Se reconoce fundamentalmente por la tolerancia de sus variedades a la salinidad y la sequía (Radhakrishnam, Waisel y Sternberg, 2006). Presenta rápido crecimiento, gran cobertura y un sistema de raíces bien desarrollado, lo que le posibilita una ventaja adaptativa en la competencia con otras plantas arvenses. Además, tiene un valor añadido en el control de la erosión del suelo en zonas desérticas, y como pasto por su alto valor nutritivo (Radhakrishnam *et al.*, 2006).

Su número cromosómico es $2n = 36$. A pesar de que se reproduce solamente por vía vegetativa, en la mayoría de sus zonas de distribución hay indicios de la existencia de ecotipos con reproducción apomíctica (Marais, 2001). Existen varios ecotipos y/o variedades descritos (Holton *et al.*, 2007), entre los que se destaca el cultivar Whittet.

Esta especie brinda un césped muy agradable por el color de sus hojas y su textura. Tiene excelente resistencia al tránsito intenso; sin embargo, al igual que las bermudas, no tolera zonas sombrías. El cuidado es muy similar al de la bermuda; pero, debido a su gran agresividad de crecimiento, compete mejor con las plantas arvenses y requiere de una fertilización más intensa. Es importante que se corte con frecuencia y que se mantenga baja, para evitar la formación de broza. Por su alta tasa de crecimiento, tiende a "acolchonarse". Este efecto puede resultar atractivo en un principio; mas, si se agrava, perjudica el césped y puede llegar a la muerte. La altura de corte recomendada es de 3-4 cm. La densidad de siembra es de 400 a 700 g/100 m² al comienzo de la primavera.

d) *S. secundatum* (Walt.) Kuntze (St. Augustine grass)

S. secundatum tiene amplia distribución en regiones tropicales y subtropicales, en las que se usa

fundamentalmente como pasto. Su propagación es principalmente vegetativa, aunque también existe la reproducción sexual, asociada a altos niveles de esterilidad (Busey, 1986). Los estudios en esta especie se han centrado en la respuesta de los cultivares a los factores bióticos y abióticos (Li, Bruneau y Qu, 2006). Entre los más conocidos se encuentran: Floratan (láminas foliares anchas), Amerishade (tolerante a la sombra), Classic (tolerante al frío), Delmar (crecimiento denso), Mercedes (tolerancia al frío), Palmetto (hojas pequeñas y finas), Raleigh (tolerancia al frío), Sapphire (para céspedes particulares) y Seville (tolerante a la sombra).

e) *A. affinis* A. Chase (Common carpet grass)

En general, las especies de este género se encuentran extendidas por Australia, América Central, Malasia, América del Sur, América del Norte, Corea del Sur y África Occidental. Las cespitosas tienen un crecimiento lateral muy rápido, a través de estolones, lo que proporciona un césped atractivo y resistente al desgaste (Greene *et al.*, 2008).

A. affinis es una especie perenne rastrera que se propaga por estolones y forma un tapiz de vegetación baja, con tallos de hasta 50 cm de altura, estolones cortos y hojas estrechas, lisas y romas. Crece en suelos arenosos, bien drenados y de zonas húmedas. Persiste en los suelos pobres, responde bien al abonado y es un pasto popular en las zonas donde se adapta. Como cespitosa se cultiva, fundamentalmente, para la conservación de suelos. Las semillas son fáciles de cosechar y se puede establecer una buena densidad de masa, con un mínimo de preparación del terreno.

f) *A. compressus* Sw. P. Beauv (Tropical carpet grass)

A. compressus forma un césped perenne, muy denso, de textura gruesa y color verde medio. Asimismo, garantiza una cubierta mullida muy vistosa y ornamental que, por lo cerrado de su trama, dificulta el establecimiento de las plantas arvenses. Se adapta a una sombra mediana, soporta el tránsito y tiene buena capacidad de recuperación en caso de deterioro. Requiere la aplicación de hierro en la implantación y dentro del esquema de mantenimiento.

g) *Zoysia* spp. (*Zoysia* grass)

Las especies del género *Zoysia* se reproducen vegetativamente por rizomas y estolones, y producen un césped muy denso y resistente al pisoteo. Se

encuentran adaptadas a un rango muy amplio de condiciones ambientales: buena tolerancia al frío, a la sombra, a la salinidad, etc. Su establecimiento es difícil, debido a su lento crecimiento (Quian, Engelke y Foster, 2000; Wen y Chen, 2001; Trenholm y Unruh, 2006).

Se conocen, al menos, cinco especies que han sido utilizadas como césped: *Zoysia japonica*, *Zoysia matrella* (L.) Merr., *Zoysia tenuifolia* Trin., *Zoysia sinica* Hamce y *Zoysia macrostachya* (Quian *et al.*, 2000). Las más utilizadas son:

- *Z. japonica*: es la más tolerante al frío y puede establecerse a partir de semilla. Entre los cultivares más conocidos se encuentran: Meyer (mejora en textura, color, vigor y tolerancia a diferentes condiciones ambientales), Belair y El Toro (de textura más gruesa y más rápida propagación).
- *Z. matrella*: presenta hojas más delgadas, puntiagudas y resistentes. No tolera temperaturas muy bajas.
- *Z. tenuifolia*: es la de textura más fina y menos resistente a las bajas temperaturas. Forma un césped denso y mullido. Es de propagación lenta, por lo que se ha usado, fundamentalmente, como cobertura de suelo.
- *Z. japonica* x *Z. tenuifolia*: ha dado como resultado el cultivar Emerald, que combina la textura fina de *Z. tenuifolia* con la tolerancia al frío y la rápida dispersión de *Z. japonica*.

Además, existen otros cultivares más o menos empleados como cespitosas: Crowne, Empire y Ultimate (Trenholm y Unruh, 2006).

Sin embargo, la especie más importante dentro de este género es, sin duda, *Z. japonica*. Esta es muy utilizada en el Oriente por sus excelentes características: textura fina, ritmo de crecimiento muy lento, resistencia a enfermedades, tolerancia al tránsito intenso, etc. En algún momento fue considerada como el césped mágico, por presentar muchas ventajas y pocas desventajas, pero el hecho de no producir una semilla adecuada para la siembra hizo que quedara relegada. A esto se añade su extremadamente lento crecimiento, que constituye una característica favorable; pero una vez implantada, es una gran desventaja para poder reproducirse vegetativamente. Mediante técnicas especiales, puede ser cosechada y tratada para obtener semillas viables. En Estados Unidos se está trabajando intensamente para obtener variedades con mayor producción de semilla que los ecotipos actuales. Hasta el momento no es una especie im-

portante en Cuba, pero pudiera serlo en el futuro, cuando las nuevas variedades estén disponibles en el mercado.

h) *Buchloe dactyloides* (Nutt.) J.T. Columbus (Buffalo grass)

Buchloe dactyloides produce un césped tolerante a la sequía y al frío. Sin embargo, no se adapta a los lugares sombríos y no resiste el pisoteo.

i) *Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack (Centipede grass)

Eremochloa ophiuroides crece en lugares soleados y es poco tolerante a la sombra (no sobrevive debajo de los árboles) y al tráfico. Se propaga por semilla y de forma vegetativa.

j) *Distichlis spicata* (L.) Greene (Salt grass, alkali grass, spike grass)

Distichlis spicata se puede utilizar para casi todo tipo de césped, sobre todo en la restauración de marismas. Tolera suelos salinos, alcalinos y poco drenados.

Objetivo de los programas de mejora

El primer paso en cualquier programa de mejoramiento genético lo constituye la elección del objeto de la mejora. Los principales criterios de selección en cespitosas dependen, fundamentalmente, de su utilización: jardinería, terrenos deportivos (atletismo, béisbol, golf, etc.) o usos estéticos. En este sentido, los programas de mejora se dirigen hacia las siguientes variables:

- Densidad del césped
- Finura de la hoja
- Resistencia al pisoteo
- Resistencia a las enfermedades
- Aspecto estival
- Aspecto invernal
- Rapidez de instalación
- Color de la hoja
- Aspecto estético global
- Manejo
- Obtención de semilla

Sin embargo, por regla general, los atributos más importantes que se deben tener en cuenta son: la apariencia y la resistencia o tolerancia a factores de estrés biótico (enfermedades) y estrés abiótico (salinidad, sequía, temperatura, sombra) (Florkowski y He, 2007). Esto ha provocado que

los criterios de selección se dirijan hacia los aspectos que se aproximen a una gestión más ecológica de los céspedes:

- Tolerancia a la sequía (disminución del riego)
- Tolerancia al calor
- Tolerancia a la salinidad (riego con aguas recicladas)
- Tolerancia a la sombra (buen desarrollo bajo los árboles)

Estrés abiótico

Las plantas son afectadas, fundamentalmente, por dos tipos de estrés: el biótico y el abiótico. El primero es provocado por organismos vivos y comprende la susceptibilidad a plagas y enfermedades; mientras que el segundo es de tipo ambiental e incluye: las altas/bajas temperaturas, la salinidad, la sequía, la sombra, etc. Los abióticos se consideran uno de los principales factores limitantes en los cultivos agrícolas y/o industriales, ya que inciden en el crecimiento y la productividad de las plantas, y desencadenan una serie de trastornos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares. La sequía, las temperaturas extremas, los suelos salinos y, en menor medida, la sombra son los más perjudiciales.

El estrés hídrico (provocado por la salinidad y/o la sequía) es uno de los factores abióticos más estudiados, por dos motivos fundamentales: en primer lugar, porque provoca severos daños a las plantas; y, en segundo, por la gran cantidad de extensión de suelo que se afecta debido a estos factores limitantes –según datos de la FAO (<http://www.fao.org/corp/statistics/es/>), más del 20 % de la superficie agrícola mundial se encuentra afectada–. El estrés salino se produce por una excesiva concentración de sales en el suelo, lo que interfiere en el metabolismo de las plantas y provoca un desbalance en el equilibrio hídrico. La salinidad y la sequía dañan las plantas de forma muy similar, y el factor común a ambos estreses es la reducción del potencial de agua (Macar *et al.*, 2009). La salinidad puede estar dada intrínsecamente por las características propias del suelo (que sea salino) o ser provocada por factores externos como el riego, la actividad agraria, el empleo excesivo de fertilizantes, entre otros (Zhu, 2001). Cuando la sequía actúa, disminuye el porcentaje de germinación y el crecimiento vegetal.

Con respecto al agua, el césped es visto –con frecuencia– como sinónimo de derroche y, por tan-

to, no se considera sostenible, si se tiene en cuenta que el ahorro y buen uso del agua es un objetivo prioritario a nivel mundial. Esta hipótesis es vital para el manejo funcional de un césped en relación con el manejo integral de los recursos hídricos de las zonas urbanas, con la consiguiente reducción de los insumos (por ejemplo, el riego) (Florkowski y He, 2007). De ahí que la tolerancia/resistencia a la sequía del césped se haya convertido en una cuestión primordial entre los técnicos y profesionales de las áreas verdes, así como entre los responsables públicos en materia de medio ambiente.

La sombra es un factor que limita el crecimiento del césped. Esta actúa en la reducción de la masa de las raíces, el número de estas, las reservas de hidratos de carbono, los rizomas y los estolones, por lo que afecta la calidad general del césped (Trape *et al.*, 2011). En la mayoría de los casos, los árboles (componentes esenciales del diseño paisajístico en instalaciones turísticas y deportivas) son los responsables de este estrés, al competir por el recurso suelo.

Es evidente que los factores de estrés abiótico mencionados afectan significativamente la calidad del césped y son muy restrictivos en la selección de una determinada especie para un proyecto de encespado. Por ello, combatir este tipo de estrés se ha convertido en una necesidad urgente para investigadores y/o empresarios. Existe un consenso absoluto en que el método más efectivo para reducir el efecto de estos factores limitantes es la obtención de variedades resistentes y/o tolerantes, a través de programas de mejora genética, adaptadas a las condiciones particulares de cada localidad (Casler *et al.*, 2003; Koc *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2010; Patton, 2010; Trape *et al.*, 2011).

Mejoramiento genético de cespitosas

Florkowski y He (2007) describieron las tres fuerzas selectivas que contribuyen a crear y a mantener el *pool* actual de germoplasma en las variedades cespitosas; estas son:

1. Selección natural: proceso mediante el cual las especies se adaptan a las condiciones edafoclimáticas cambiantes de un ambiente en particular.
2. Selección "inconsciente" o domesticación: proceso mediante el cual el hombre selecciona fenotípicamente los individuos más valiosos e ignora o destruye aquellos que no lo son. Durante este proceso no se define ni predetermina ningún criterio de selección.

3. Selección metódica: procesos y/o métodos mediante los cuales el hombre selecciona los individuos siguiendo un criterio de selección predeterminado. Comprende todos los métodos de mejoramiento genético (convencionales y biotecnológicos).

La mejora de la calidad del césped en los últimos 50 años ha sido una parte importante de la investigación en biología vegetal y en ciencias agronómicas. Las primeras semillas comercializadas para césped durante la primera mitad del siglo XX provenían de lotes recolectados en poblaciones naturales. Después de la Segunda Guerra Mundial, la difusión de las leyes de Mendel, el desarrollo de los descubrimientos sobre genética (cromosomas, ADN) y la teoría de la genética cuantitativa permitieron establecer métodos de selección eficaces. Desde entonces, el progreso ha sido constante y rápido.

Desde hace siglos, en especies cespitosas el mejoramiento genético se ha realizado a través de la mejora convencional, y se han obtenido, solo en Estados Unidos, más de 246 cultivares desde 1946. Sin embargo, la inaccesibilidad al material genético —debido a la barrera de la reproducción sexual en estas especies—, unido a la gran cantidad de tiempo que hay que invertir para el desarrollo de estos programas, ha restringido el uso de tales métodos. La biotecnología vegetal ha permitido el descubrimiento de nuevos y más eficientes métodos de mejora, mediante la introducción de caracteres deseables en un espacio corto de tiempo. La combinación de las técnicas de cultivo de tejido, junto al desarrollo de tecnologías de transformación genética, ha posibilitado la introducción de genes específicos en gran cantidad de especies productoras de césped (Liang y Skinner, 2006).

Entre los métodos convencionales se destacan:

- a) La variación natural y domesticación

Los primeros esfuerzos en la mejora genética de especies cespitosas se centraron en utilizar la variación genética creada por selección natural. Los primeros cultivares estoloníferos (por ejemplo, bermudagrass) se identificaron y propagaron a partir de sus hábitats naturales, a principios de 1907 (Roux, 1969).

- b) La selección recurrente

Muchos de los nuevos cultivares de especies cespitosas se han obtenido por selección recurrente fenotípica y/o genotípica, que consiste en la eva-

luación de un gran número de plantas individuales o clones replicados, seguida por la selección y el cruzamiento de los mejores individuos. Este método requiere una etapa más: las plantas o clones a evaluar se disponen en un bloque de cruzamiento, y las semillas son obtenidas a partir de cada individuo. Para completar el ciclo, los cruces se producen entre los parentales de las mejores familias (Casler *et al.*, 2003).

c) La hibridación interespecífica

Numerosos cultivares de césped son el resultado –directa o indirectamente– de la hibridación interespecífica (Brilman, 2001; Belanger *et al.*, 2003). Los híbridos interespecíficos pueden surgir de forma natural o por medio de un programa de cruzamiento controlado. Uno de los ejemplos más ilustrativos es la gran cantidad de triploides híbridos obtenidos del cruce entre el tetraploide *C. dactylon* y el diploide *C. transvaalensis* (Busey, 1989).

Las nuevas tecnologías han iniciado una nueva era en el mejoramiento genético vegetal. Entre las más utilizadas se encuentran:

a) La selección asistida por marcadores (MAS)

La selección asistida por marcadores para caracteres cuantitativos consiste en: 1) la identificación de supuestos *Loci* para el carácter (Quantitative Trait Loci, QTL), mediante la correlación de los datos fenotípicos con marcadores, dentro de un mapa de ligamiento; 2) la determinación de qué supuesto QTL explica la mayor cantidad de varianza fenotípica y porta el efecto deseado sobre el carácter fenotípico; y 3) la selección de plantas sobre la base del marcador molecular, unido al supuesto QTL (Dudley, 1993).

b) La tecnología de marcadores moleculares

El empleo de la tecnología de marcadores moleculares ha posibilitado importantes avances científicos para el conocimiento de la genética y la genómica de las especies cespitosas. En este sentido, se han identificado similitudes y/o diferencias genéticas entre cultivares, y se han ilustrado los patrones de variación genética relacionados con la historia del cruzamiento de la especie (Huff, 2001).

c) La transgénesis

La transgénesis permite la transferencia de genes funcionales entre las especies o entre genotipos dentro de estas. Además, facilita a los mejorado-

res manejar directamente los caracteres de interés, como la tolerancia a factores edáficos y de estrés. Duncan y Carrow (2001) ofrecieron una revisión de la aplicación de estas tecnologías y mencionaron un grupo de genes de interés para la obtención de variedades cespitosas, transformadas para mejorar la tolerancia a situaciones de estrés.

d) La mejora por mutaciones

La inducción de mutaciones se ha aplicado durante los últimos 70 años para la obtención de cultivares mutantes de cultivos de propagación sexual y asexual. Los mutágenos más comunes que se emplean son los químicos y los físicos. Entre los agentes físicos, las radiaciones gamma son las más usadas para la inducción de mutaciones (Jain, 2005). Más de 1 800 cultivares de las principales especies cultivadas se han obtenido por esta vía (Suprasanna, Sidha y Bapat, 2008). Las mutaciones inducidas por radiación han sido ampliamente utilizadas en especies cespitosas para generar cultivares con modificaciones en caracteres morfológicos (Lu *et al.*, 2009).

e) Las técnicas de cultivo de tejidos

El cultivo de tejidos induce una variación en las plantas regeneradas conocida como variación somaclonal (Larkin y Scowcroft, 1981). Existen estudios que evidencian que esta es estable y tan útil para el mejoramiento vegetal como la inducida por mutaciones (Jain, 2001). En este sentido, las técnicas de inducción de callos, la regeneración de plantas y la posterior selección *in vitro* en ambientes y/o medios selectivos son ampliamente utilizadas para la mejora de especies cespitosas (Lu *et al.*, 2007).

f) La mutagénesis *in vitro*

La mutagénesis *in vitro* no constituye una técnica en sí misma, más bien es una combinación de la mejora por mutaciones con las técnicas biotecnológicas modernas de cultivo *in vitro*. La inducción de mutaciones puede ser reforzada mediante el empleo de técnicas *in vitro*. En este sentido, la combinación del cultivo *in vitro* y la mutagénesis se convierte en una poderosa vía para generar una variabilidad genética. Esta resulta más barata, simple y eficiente que otras tecnologías (Suprasanna *et al.*, 2008; Lu *et al.*, 2009). La principal ventaja del uso de mutagénesis *in vitro* es que se pueden tratar y,

posteriormente, regenerar una gran cantidad de células mediante diferentes ciclos de cultivo y en un período de tiempo relativamente corto.

Estas técnicas se han aplicado con gran éxito en Cuba, fundamentalmente en los programas nacionales de mejoramiento genético de arroz (Fernández, Peteira, González y Llanes, 2003) y, a nivel internacional, para el mejoramiento genético de cespitosas (Pongtongkam *et al.*, 2005; Lu *et al.*, 2007; Suprasanna *et al.*, 2008; Lu *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2010).

CONSIDERACIONES FINALES

Las plantas cespitosas están expuestas al estrés biótico y abiótico; este último necesita contextualizarse según las condiciones locales específicas, tales como: la salinidad, la sequía y la sombra.

Las variedades de gramíneas cespitosas introducidas en Cuba fueron mejoradas en países donde las condiciones edafoclimáticas difieren de las nuestras, lo cual implica la necesidad de implementar un programa de mejora genética para la obtención de variedades cubanas, que sean capaces de tolerar y/o resistir el estrés abiótico.

Se considera que el método por inducción de mutaciones es el adecuado para la obtención de nuevas variedades cubanas de césped, teniendo en cuenta que se ha obtenido resultados satisfactorios en el mejoramiento genético de otras gramíneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abogadallah, G.; Serag, M.M.; El-Katouny, T.M. & Quick, W.P. 2010. Salt tolerance at germination and vegetative growth involves different mechanisms in barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* L.) mutants. *Plant Growth Regul.* 60:1.

Alteper, F. & James, V.A. 2005. Genetic transformation of turf-type bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge) by biolistic gene transfer. *International Turfgrass Society Research Journal.* 10:485.

Belanger, F.C. *et al.* 2003. Interspecific hybridization between *Agrostis stolonifera* and related *Agrostis* species under field conditions. *Crop Sci.* 43:240.

Blanchard, L. & Miller, G.L. 2002. Managing bermudagrass turf: selection, construction, cultural practices and pest management strategies. John Wiley and Sons Inc. USA. 221 p.

Blanco, F.; Martín, G.J.; Suárez, J. & Milera, Milagros. 2010. Los cambios en el modelo organizativo de investigación en la EEPF "Indio Hatuey". Algunas reflexiones. *Pastos y Forrajes.* 33:1.

Brilman, L.A. 2001. Utilization of interspecific crosses for turfgrass improvement. *International Turfgrass Society Research Journal.* 9:157.

Brosnan, J.T. & Deputy, J. 2008. Bermudagrass. In: Turf Management. CTAHR. TM-5. Hawaii. [Disponible en:] <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/TM-5.pdf> [20/11/10].

Busey, P. 1986. Gamma ray dosage and mutation breeding in St. Augustine grass. *Crop Science,* 20:181.

Busey, P. 1989. Progress and benefits to humanity from breeding warm-season grasses for turf. In: Contributions from breeding forage and turf grasses. (Eds. D.A. Sleper *et al.*). CSSA Spec. Publ. 15. American Society of Agronomy. Madison, WI. p. 49.

Casler, M.D. *et al.* 2003. Turfgrass: biology, genetics and breeding. John Wiley and Sons. New York. 384 p.

Dudley, J.W. 1993. Molecular markers in plant improvement: Manipulation of genes affecting quantitative traits. *Crop Sci.* 33:660.

Duncan, R.R. & Carrow, R.N. 2000. Seashore paspalum: the environmental turfgrasses. Ann Arbor Press. Chelsea, Michigan. 281 p.

Duncan, R.R. & Carrow, R.N. 2001. Molecular breeding for tolerance to abiotic/edaphic stresses in forage and turfgrass. In: Molecular breeding of forage crops. (Ed. G. Spangenberg). Kluwer Academic Publ. Dordrecht, The Netherlands. p. 251.

Fernández, Arais; Peteira, Belkis; González, M. Caridad & Llanes, Yerani. 2003. Actividad peroxidasa, fenilalanina, amonoliasa y glicanasa en somaclones y mutantes de arroz. *Rev. Prot. Veg.* 18 (3):183.

Florkowski, W.J. & He, S. 2007. Preference of golf-course operators for various turf varieties and their perceived importance of selected problems in turf maintenance. In: Handbook of turfgrass management and physiology. (Ed. M. Pessaraki). CRC Press. USA. p. 3.

Greene, N.V. *et al.* 2008. Diversity and relatedness of common carpetgrass germplasm. *Crop. Sci.* 48:2298.

Hernández, L. A. 2010. Creación y desarrollo de Organizaciones Socialistas de Base Tecnológica para el sector agropecuario incubadas en Instituciones de la Educación Superior cubana. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Matanzas, Cuba. 179 p.

Hernández, L.A.; Suárez, J.; Hernández, G. & Martín, G.J.. 2009. CespIH®, una organización socialista de base tecnológica incubada en la educación superior cubana. *Pastos y Forrajes.* 32:315.

- Hernández, L.A. *et al.* 2007. El césped, un producto basado en el conocimiento. *Pastos y Forrajes*. 30:61.
- Holton, T.A.; Skabo, S.J.; Lowe, K.F. & Sinclair, K. 2007. Genetic fingerprinting of natural kikuyu populations. *Tropical Grasslands*. 41:236.
- Huff, D.R. 2001. Genetic characterization of heterogeneous plant populations in forage, turf, and native grasses. In: Molecular breeding of forage crops. (Ed. G. Spangenberg). Kluwer Academic Publ. Dordrecht, The Netherlands. p. 149.
- Jain, S.M. 2001. Tissue culture-derived variation in crop improvement. *Euphytica*. 118:153.
- Jain, S.M. 2005. Major mutation-assisted plant breeding programs supported by FAO/IAEA. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 82:113.
- Jonhson, P.G. 2008. Native grasses as drought-tolerant turf-grasses of the future. In: Handbook of turfgrass management and physiology. (Ed. M. Pessarakli). CRC Press. USA. p. 619.
- Koc, N.K.; Bas, B.; Koc, M. & Kusek, M. 2009. Investigation of *in vitro* selection for salt tolerant lines. *Biotechnology*. 8:155.
- Larkin, P.J. & Scowcroft, S.C. 1981. Somaclonal variation - a novel source of variability from cell culture for plant improvement. *Theor. Appl. Genet.* 60:197.
- Li, R.; Bruneau, A.H. & Qu, R. 2006. Improved plant regeneration and *in vitro* somatic embryogenesis of St Augustine grass [*Stenotaphrum secundatum* (Walt.) Kuntze]. *Plant Breeding*. 125:52.
- Li, R.; Bruneau, A.H. & Qu, R. 2010. Morphological mutants of St. Augustine grass induced by gamma ray irradiation. *Plant Breeding*. 129:412.
- Liang, G.H. & Skinner, D.Z. (Eds.). 2006. Genetically modified crops: their development, uses and risks. Food Products Press. USA. 394 p.
- Lu, S. *et al.* 2007. *In vitro* selection of salinity tolerant variants from triploid bermudagrass (*Cynodon transvaalensis* x *C. dactylon*) and their physiological responses to salt and drought stress. *Plant Cell Rep.* 26:1413.
- Lu, S. *et al.* 2009. Gamma-ray radiation induced dwarf mutants or turf-type bermudagrass. *Plant Breeding*. 128:205.
- Macar, T.K. *et al.* 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.). Cultivars and lines at early seedling stages. *Journal of Science*. 22 (1):5.
- Marais, J.P. 2001. Factors affecting the nutritive value of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review. *Tropical Grasslands*. 35:65.
- Munns, R. & Tester, M. 2008. Mechanism of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:651.
- Patton, A. 2010. Selecting zoysiagrass cultivars: Turf quality and stress tolerance improve turf performance and environmental stress tolerance through proper cultivar selection. *Golf Course Management*. 78 (5):90.
- Pongtongkam, P. *et al.* 2005. Inducing salt tolerance in purple guinea grass (*Panicum maximum* TD-58) via gamma irradiation and tissue culture. *Kasetsart J. :Nat. Sci.* 39:681.
- Quian, Y.L.; Engelke, M.C. & Foster, M.J.V. 2000. Salinity effects on Zoysiagrass cultivars and experimental lines. *Crop Sci.* 40:488.
- Radhakrishnam; M. Waisel; Y. & Sternberg, M. 2006. Kikuyo grass: A valuable salt-tolerant fodder grass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37:1269.
- Roux, W.N. 1969. Grass, a story of Frankenswald. Oxford University Press. Cape Town, South Africa. 212 p.
- Sandu, S. & Alperter, F. 2008. Co-integration, co-expression and inheritance of unlinked minimal transgene expression cassettes in an apomictic turf and forage grass (*Paspalum notatum* Flugge). *Plant Cell. Rep.* 27:1755.
- Suprasanna, P.; Sidha, Meenakshi & Bapat, V.A. 2008. Integrated approaches of mutagenesis and *in vitro* selection for crop improvement. In: Plant tissue culture and molecular markers: their role in improving crop productivity. (Eds. Ashwanii Kumar and N.F. Shekhawat). I. K. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi. p. 73.
- Trappe, J.M.; Karcher, D.E.; Richardson, M.D. & Patton, A.J. 2011. Shade and traffic tolerance varies for bermuda grass and zoysia grass cultivars. *Crop Sci.* 51:870.
- Trenholm, L.E. & Unruh, J.B. 2006. New and not so new lawn grasses for Florida. ENH1033. University of Florida. IFAS Extensions. [Disponibile en:] <http://ufdc.ufl.edu/IR00001764/00001> [20/11/10].
- Wen, J.H. & Chen, Y.C. 2001. Variation of salinity tolerance in *Zoysia* clones collected from different habitats in Taiwan. *Plant Prod. Sci.* 4:313.
- Wiecko, G. 2008. Management of tropical turfgrasses. In: Handbook of turfgrass management and physiology. (Ed. M. Pessarakli). CRC Press. USA. p. 115.
- Zhu, J. K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*. 6:66.