



Colección cubana de hongos micorrizógenos arbusculares: historia, funcionamiento y conservación

Cuban collection of arbuscular mycorrhizal fungi: history, functioning and conservation

Eduardo Furrázola Gómez^{1*} y Raquel M. Rodríguez-Rodríguez²

Palabras clave: cepario, colecciones microbiológicas, Cuba, micorriza arbuscular, taxonomía
Key words: arbuscular mycorrhizae, Cuba, microbiological collections, strains collection, taxonomy

Recibido: 20/04/2017

Aceptado: 15/07/2017

RESUMEN

A diferencia de otras colecciones microbiológicas, las colecciones de hongos micorrizógenos arbusculares para su establecimiento, conservación y manejo presentan características y requerimientos propios. Esto se debe a su carácter biotrófico obligatorio, pues este grupo fúngico necesita de una planta hospedera para completar su desarrollo, no existiendo hasta el momento medio de cultivo sintético en el cual pueda aislarse y multiplicarse sin la presencia de la raíz vegetal. En el presente trabajo se realizó una revisión histórica y metodológica de la Colección cubana de hongos micorrizógenos arbusculares (CCHMA), presentándose además sus principales valores en estudios taxonómicos y de biodiversidad, así como de aplicaciones prácticas. La CCHMA fue creada en 1983 y cuenta actualmente con 1327 preparaciones fijas con especies y/o morfotipos (esporas fúngicas) procedentes de Cuba y otras regiones del Mundo. A ella se han incorporado 117 cepas vivas como registro histórico y cuenta con 27 cepas aisladas de nuestro país, a la vez que conserva 10 ejemplares tipos, entre holotipos e isotipos. Las cepas obtenidas de esta colección son la base para la elaboración del MicoFert, un biofertilizante micorrízico comercial producido por el Instituto de Ecología y Sistemática.

ABSTRACT

In contrast with other microbiological collections, arbuscular mycorrhizal fungal collections have special characteristics for its establishment, conservation and management. That is consequence of the obligate biotrophs character of those fungi as result that these fungi needs a living plant in order to complete its development, not existing up to now any synthetic culture media in which they could be isolated and multiplied without the presence of a root. The present work comprises historic and methodological information about the Cuban collection of arbuscular mycorrhizal fungi (CCHMA) besides to present also the values of this collection in different taxonomical and biodiversity studies, as well as its principal practical applications. That collection was created in 1983. At present the collection have 1327 preserved slides with species or morphotypes (fungal spores) from Cuba and other World's regions. To that collection have been incorporated 117 AM fungal strains like historical register and posses 27 Cuban strains, all at once exhibit 10 taxonomic types between holotypes and isotypes. With the strains obtained from that collection is elaborated the MicoFert, a commercial mycorrhizal biofertilizer produced by the Institute of Ecology and Systematic.

* Autor para correspondencia: eduardof@ecologia.cu

¹ Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Carretera de Varona 11835 e/ Oriente y Lindero, Calabazar, Boyeros, La Habana 19, C.P. 11900. La Habana, Cuba.

² Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências do Solo Cx.P. 37, 37200-000 Lavras, MG, Brazil e-mail: ode.raquel@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), (phylum Glomeromycota) son miembros importantes del sistema suelo-planta, y su diversidad está íntimamente ligada a la diversidad y productividad de las comunidades vegetales (Goi y de Souza, 2006). Ello se debe a que para completar su ciclo de vida obligatoriamente necesitan asociarse a las raíces de una planta o en su defecto al menos a raíces transformadas genéticamente creciendo en un medio de cultivo especial con el suministro de una fuente carbonada, que garantice el correcto crecimiento de las mismas (Morton y Benny, 1990; Peterson *et al.*, 2004). Por esta razón, resulta común que cualquier colección referente a dichos hongos conste de cepas fúngicas asociadas a una planta hospedera creciendo en un invernadero o casa de vegetación, cepas posteriormente conservadas en el mismo substrato donde se reprodujeron, en viales con líquidos preservantes y esporas conservadas de forma permanente en portaobjetos (vouchers).

Cuba cuenta con una importante colección de HMA que data de los años 80 del pasado siglo, pionera junto a sus fundadores, de la Micorrizología en Cuba. No obstante, no existe registro publicado acerca de su historia y funcionamiento, por lo cual el presente trabajo tuvo como objetivo abordar estos aspectos. Para ello, fue realizada una revisión exhaustiva de los documentos históricos de la Colección cubana de hongos micorrizógenos arbusculares (CCHMA), la base de datos de la colección, las muestras de herbario y el cepario actual. Además de las publicaciones relacionadas con el empleo y/o estudio de las cepas contenidas en esta colección.

Reseña histórica de la CCHMA

El surgimiento de la Colección cubana de hongos micorrizógenos arbusculares se remonta al año 1983 y tuvo su origen en el antiguo Instituto de Botánica de la Academia de Ciencias de Cuba. Dicha colección fue iniciada por el Dr. Ricardo A. Herrera Peraza y el Lic. Roberto L. Ferrer Sánchez. Los primeros registros resultaron algunas cepas obtenidas de los contactos de los investigadores con especialistas extranjeros como la Dra. Bárbara Mosse de la *Rothamsted Experimental Station* (Reino Unido) y la Dra. Vivienne Gianinazzi-Pearson del *INRA/CNRS/Université Bourgogne, Plante-Microbe-Environnement, INRA-CMSE, Dijon Cedex* (Francia). También arribaron cepas procedentes de la Colección del Dr. Sergio Palacios de la UNAM en Ciudad de México e importantes aportes de la colección del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia)

del Dr. Edwald Sieverding (Alemania). Igualmente se incluyeron cepas de la colección del Dr. Valentín Furlan de Canadá, de la Colección del Dr. Fabio Blanco, de la Universidad Nacional de Heredia, Costa Rica y de la colección del Dr. James Bever durante su trabajo en Durham en la Universidad de Carolina del Norte.

Producto de la fusión de los antiguos Instituto de Botánica y el Instituto de Zoología, ambos perteneciente a la Academia de Ciencias de Cuba, surge en 1987, el Instituto de Ecología y Sistemática (IES) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Se traslada entonces la colección al Grupo de Micorrizas de la Subdirección de Micología en la Finca La Chata, Carretera Varona 11835 e/ Oriente y Lindero, La Habana 19, CP 11900, Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba, donde permanece hasta la fecha.

La CCHMA continuó enriqueciéndose con cepas cubanas y recibió sus aportes más significativos procedentes de la Colección internacional de micorrizas vesículo arbusculares (INVAM) con sede en la Universidad de West Virginia, EE.UU, gracias a su curador el Dr. Joseph Morton; de Brasil por medio del Dr. José Oswaldo Siqueira de la Universidad Lavras, Minas Gerais y del Dr. James Bever quien en este momento laboraba en la Universidad de California, Irvine, entre otras.

Actualmente la colección cuenta con 1327 preparaciones fijas con especies y/o morfotipos (esporas fúngicas) procedentes tanto de las instituciones antes mencionadas como de otros sitios de Cuba y el Mundo. Contiene además especies colectadas en Bolivia, Chile, Ecuador y Venezuela, entre otros.

En cuanto a ejemplares tipo la CCHMA cuenta con holotipos y/o isotipos de las especies: (i) *Acaulospora herrerae* Furrazola, B.T. Goto, G.A. Silva, Sieverd. & Oehl; (ii) *Glomus brohultii* Sieverd. & R.A. Herrera; (iii) *Glomus cubense* Y. Rodr. & Dalpé, (iv) *Glomus crenatum* Furrazola, R.L. Ferrer, R.A. Herrera & B.T. Goto; (v) *Fuscutata savannicola* (R.A. Herrera & Ferrer) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.; (vi) *Racocetra alborosea* (Ferrer & R.A. Herrera) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.; (vii) *Racocetra minuta* (Ferrer & R.A. Herrera) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.; (viii) *Cetraspora striata* (Cuenca & R.A. Herrera) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.; (ix) *Scutellospora tepuiensis* Furrazola & Cuenca y (x) *Scutellospora tricalypta* (R.A. Herrera & Ferrer) C. Walker & F.E. Sanders.

El registro histórico de cepas vivas alcanza el número de 117, si bien en estos momentos se encuentra en análisis

y actualización. Además se trabaja en el pronto incremento con nuevas cepas de estudios recientes provenientes de Brasil, Venezuela, y Cuba.

Aportes de Cuba a la CCHMA

Los primeros registros de cepas cubanas conservadas de forma permanente en esta colección datan del año 1986 y proceden de estudios ecológicos desarrollados en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, en el occidente de nuestro país. En esta Reserva han sido muestreados con este fin los bosques siempreverdes y pastizales de reemplazo asociados a estas formaciones vegetales (Furrazola *et al.*, 2016a; Herrera *et al.*, 1988; Herrera-Peraza y Furrazola, 2002).

La CCHMA también incluye cepas de otros estudios realizados en Topes de Collantes, provincia de Sancti Spiritus, el Jardín Botánico de Cienfuegos, importantes ejemplares de Moa provincia de Holguín, de suelos del propio IES y como resultado del proyecto de Unión Europea “*Alleviating abiotic and biotic soil constraints by combining arbuscular mycorrhizal fungi with banana and plantain micropropagation systems*”, que se dedicó al estudio de estos hongos en 30 agroecosistemas cultivados con plátano (*Musa* spp.) en el occidente de Cuba. Producto de estos y otros nuevos estudios existen aislamientos que tentativamente constituyen especies nuevas y que aún se están estudiando. Hasta la fecha se hallan 27 cepas cubanas de HMA registradas en la colección.

Métodos empleados para el estudio de los HMA

La obtención y multiplicación de HMA para la CCHMA se realiza básicamente mediante la extracción directa de esporas a partir de muestras de suelo y de los cultivos trampa, ambos seguidos de la identificación morfológica. Los cultivos trampas permiten obtener suficientes esporas con todos los atributos morfológicos necesarios para identificar la especie, así como permiten observar las mismas en sus diferentes estadios ontogenéticos.

Técnicas de muestreo

Para la obtención de esporas y/o propágulos de HMA muestras de suelo son colectadas con ayuda de pequeñas palas o muestreadores de suelo, realizando monolitos de 10 x 10 x 20 cm, del horizonte A, donde existe un mayor número de raicillas y la actividad biológica es mayor (Furrazola *et al.*, 2015; Lovera y Cuenca, 2007). De cada sitio se toman varias sub-muestras incluyendo raíces, y en caso de estudiarse comunidades asociadas a una especie vegetal determinada, se toman muestras de la rizosfera de varios

individuos de la especie vegetal seleccionada (Sieverding, 1991).

La realización de estudios en ambientes contrastantes en cuanto topografía, características edáficas, disponibilidad de recursos, presencia o no de actividad antrópica, entre otras, resulta sumamente importante y se han considerado para la conformación de la Colección. Ello permite no solo su incremento en número de especies, sino también la realización de comparaciones entre cepas pertenecientes a una misma especie y la estimación de sus tendencias funcionales en diferentes ecosistemas (Furrazola, 2003).

Aislamiento e identificación de esporas de HMA

Existen varias metodologías descritas para la extracción y separación de esporas de HMA a partir de muestras de suelo (Gerdemann y Nicolson 1963; Sutton y Barron 1972; Sieverding, 1983).

En nuestro laboratorio el procedimiento empleado consiste en una modificación del método del tamizado de una suspensión de suelo en agua, de Gerdemann y Nicolson, (1963) que fue propuesto por Herrera-Peraza *et al.* (2004). Esta metodología permite eliminar toda la arcilla, limo y humus (menores de 40µm) y dejar tamizados muy limpios compuestos por humus bruto mayor de 40 µm, arena, raicillas, micelio externo y esporas del hongo.

La extracción de las esporas se lleva a cabo de manera directa a partir de los tamizados resultantes de una sub-muestra de suelo de 100 g ya tratada, y a través de la realización de cultivos trampa. Estos últimos se realizan con el objetivo de multiplicar y facilitar el aislamiento de algunas cepas nativas que en campo pueden no estar esporuladas en el momento del muestreo o cuyas esporas se encuentran en muy pequeño número y se corre el riesgo de perderlas con la manipulación.

Independientemente de la metodología utilizada, el proceso concluye con la observación directa de las esporas aisladas bajo el microscopio estereoscopio. Donde aquellas que se observan saludables, intactas y con colores vivos son contadas y separadas por grupos teniendo en cuenta tamaño, color y forma (Fig.1).

Las esporas para su identificación se montan en polivinil alcohol lactoglicerina (PVLG) y en una mezcla de polivinil alcohol lactoglicerina: reactivo de Melzer (1:1, v/v), evaluándose los diferentes caracteres morfológicos

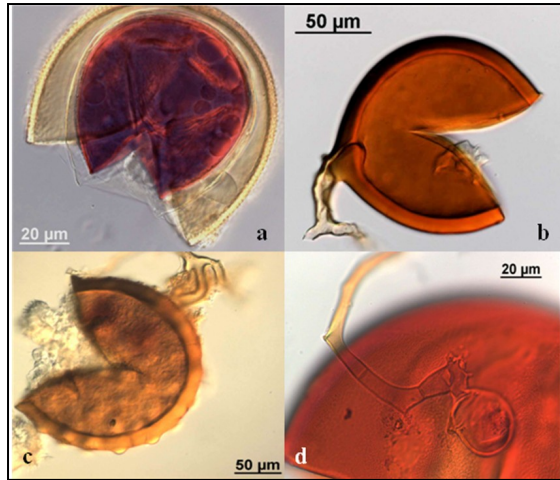


Figura 1. Esporas de especies cubanas de HMA. a) *Acaulospora herrerae*, b) *Glomus brohultii*, c) *Glomus crenatum*, d) *Racocetra minuta*.

Figure 1. Spore of Cuban AMF species a) *Acaulospora herrerae*, b) *Glomus brohultii*, c) *Glomus crenatum*, d) *Racocetra minuta*.

de identificación. Paralelamente son fotografiadas bajo el microscopio compuesto Carl Zeiss modelo Axioscop 2. Plus con aumentos desde 200 hasta 1000x. con la cámara AXIOCAM acoplada al mismo (Fig. 2) y los diferentes caracteres son medidos mediante el programa AXIOVISION 3.1 a 1300x 1030 dpi.



Figura 2. Equipamiento empleado en el trabajo con la CCHMA

Figure 2. Equipment use in the work with the CCHMA

Para la clasificación de las especies de hongos MA se trabaja con las descripciones originales de las mismas, además de las revisiones generales existentes (Berch, 1988; Schenck y Pérez, 1988; Oehl *et al.*, 2011a, b; Redecker *et al.*, 2013), las páginas web del INVAM <http://www.invam.caf.wvu.edu>, del Dr. Janusz Blaszowski (Departamento de Patología de Plantas de

la Universidad de Agricultura de Szczecin, Polonia) <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota> y de MycoBank Database www.mycobank.org. Cuando es necesario se comparan con los ejemplares existentes en la propia CCHMA.

Obtención de cultivos puros de HMA

La base de este tipo de colección fúngica resulta en la obtención de cultivos puros y consta de dos aspectos igualmente importantes y complementarias: el primero se refiere al conocimiento de la taxonomía y la catalogación de las especies y el segundo comprende el aspecto práctico de la producción, basado este, en el uso de métodos que permitan la multiplicación de las cepas evitando la contaminación por patógenos (Sieverding 1983).

Una vez realizada la identificación de las especies y/o morfotipos objeto de interés, se multiplican las esporas aisladas para obtener cultivos puros con cantidades adecuadas. Esto se realiza inoculando las esporas de una única especie o morfotipo (de 50 a 100 esporas) a una planta hospedera, generalmente una gramínea (productora de una gran cantidad de raicillas). Las plantas utilizadas para la multiplicación de HMA de la CCHMA son *Sorghum bicolor* L. Moench. (de ciclo corto de 3 a 4 meses) y *Brachiaria decumbens* L. (perenne), ambas altamente micorrízicas y seleccionadas en estudios llevados a cabo por nuestro grupo de trabajo (Ferrer *et al.*, 2004). El sustrato utilizado es suelo ferralítico cuarcítico amarillento lixiviado mezclado con arena sílice en proporción (3:1 v/v) cuyo contenido de P asimilable es de menos de 9 µg/g (según la metodología de Olsen *et al.*, 1954) antes de mezclarse con la arena y de 3 ppm después de mezclado con un valor de pH resultante de 5.7.

Culminado el ciclo de vida de la planta, se deja secar la misma, se elimina la biomasa aérea y se obtiene un sustrato sólido consistente en la mezcla de suelo y arena donde se encuentra los distintos propágulos micorrízicos (raicillas colonizadas, micelio externo y esporas del hongo). Posteriormente, este sustrato es homogenizado y se seca a temperatura ambiente para su almacenamiento.

Métodos de almacenamiento

El almacenamiento y conservación de cepas puras en forma activa, es decir que se encuentran en fase de multiplicación, exige una inversión grande de espacio, tiempo y mano de obra en un invernadero. Estos inconvenientes se logran minimizar almacenando al hongo de diferentes formas, ya que así se puede disponer de la

cepa o inóculo cada vez que sea necesario (Sieverding, 1983).

Una vez comprobada la pureza de la cepa producida, y que el sustrato sólido con los propágulos micorrízicos está seco (porcentaje de humedad menor del 5%), son guardados en bolsas plásticas rotuladas. De esta forma se guardan en habitaciones climatizadas, conservando la viabilidad de 1 a 3 años.

Las pruebas de viabilidad del hongo se realizan a más de 1 año de almacenamiento por lo general, inoculando plantas hospederas con la cepa. Seguidamente se observa si el hongo fue capaz de colonizar las raíces de la nueva planta utilizada. Las preparaciones fijas con las esporas se montan en portaobjetos con PVLG y/o una mezcla de PVLG: reactivo de Melzer (1:1, v/v), y se almacenan en cajas plásticas de 100 divisiones enumeradas consecutivamente.

Documentación

La información correspondiente a la CCHMA está contenida en una base de datos sobre Microsoft Access 2003. Cuenta con un registro de 136 sitios muestreados de Cuba, Chile, EE.UU, Francia, México y Venezuela donde han sido estudiados estos hongos. También contiene 374 registros sobre artículos de la literatura científica con descripción de especies, ontogenia de la espóra, morfología, nuevas tipificaciones, etc.

En el caso de las especies y cepas muestreadas en los diferentes ecosistemas naturales y de reemplazo de los países estudiados, los principales campos de la base de datos resultan: país, región, localidad, sitio, parcela, especie fúngica, medio de montaje, colectores, fecha de colecta y fecha de montaje de la preparación. Para las especies reproducidas en el invernadero los principales campos de la base de datos resultan: Cepa IES-No. (No. consecutivo en la Colección), identidad de la cepa inoculada, tipo de propágulo, generación inoculada, generación producida, fecha de inoculación, secado y desmonte, hospedero empleado, composición del sustrato, proporción del sustrato y cantidad de cepa producida.

Los portaobjetos con las esporas conservadas en PVLG y PVLG/Melzer cuenta con representantes de los géneros *Acaulospora*, *Cetraspora*, *Diversispora*, *Claroideoglossum*, *Entrophospora*, *Fuscutata*, *Glomus*, *Intraspora*, *Gigaspora*, *Racocetra*, *Septoglossum* y *Scutellospora*. Igualmente componen la colección más de 24 000 imágenes digitales en formato jpg tomadas al microscopio

compuesto CARL ZEISS modelo AXIOSKOP 2 Plus con aumentos de hasta 1000x.

Otros datos de interés de la CCHMA

Con fecha 5 de mayo del año 2000, el Dr. Joseph B. Morton, Profesor de Botánica y Microbiología Ambiental de la Universidad de West Virginia, EE.UU y Curador de la INVAM, expresó en carta enviada a la Dirección del IES: "*Me sorprendí al conocer que el tamaño de la colección del Dr. Herrera se encuentra entre la colección del TARI (Taiwán Agricultural Research Institute), y el BEG (Banco Europeo de Glomales) y que los cultivos que él posee consisten de un germoplasma fúngico bien caracterizado. Esas colecciones estaban consideradas en ese entonces como la tercera y segunda colección mundial de HMA, respectivamente.* Ello sin dudas, prestigia esta colección establecida por el Dr. Ricardo Herrera.

En el año 2002 el Dr. Herrera curador principal de la colección hasta su fallecimiento, efectuó una importante gira por Universidades y Herbarios de los EE.UU, donde logró apreciar las principales colecciones de HMA depositados en los mismos. En el Jardín Botánico de Nueva York revisó todos los ejemplares pertenecientes a la colección de Glomeromycota. En Bloomington, Indiana, también estudió ejemplares del Herbario de OSC (de la Universidad de Oregón, en Corvallis), y de todos los ejemplares estudiados recopiló un valioso material fotográfico. En Harvard (Farlow Herbarium) revisó exhaustivamente: (i) la Colección de Tipos; (ii) la Colección General; (iii) Colección de von Höhnelt; (iiii) Colección de Patouillard, y otras colecciones menores, incluyendo las Exicatas de Ravenhorst donde se reportaba la presencia de representantes de estos hongos. También fueron revisadas las colecciones de Thaxter quien realizara una amplia monografía sobre HMA en 1922, casi todas basadas en las colectas de E. C. Jeffrey efectuadas a finales del siglo XIX. Todo este trabajo resultó de gran importancia para la actualización y ubicación taxonómica de las diferentes cepas de HMA ubicadas en la CCHMA.

Tal fue el impacto generado por este recorrido por los principales herbarios de los EE.UU y la productividad científica de esta visita, que en carta expedida el 5 de Agosto del 2002 por el destacado ecólogo y micorrizólogo norteamericano, Profesor Asistente de la Universidad de Indiana el Dr. James Bever, el mismo expone: *como resultado de su vasta experiencia en la taxonomía y su extenso examen de las colecciones originales de tipos de Hongos Micorrizógenos Arbusculares, Ricardo se halla en*

la primera fila en el campo de la taxonomía de las micorrizas arbusculares" y más adelante afirma: "El Dr. Herrera se halla en medio de una profunda revisión de la taxonomía de este grupo de hongos. Su éxito en este empeño impulsará la ciencia universal". El Dr. Ricardo Herrera lamentablemente, falleció en diciembre del 2006, dejando muchos proyectos y trabajos taxonómicos en curso. No obstante, dejó personal capacitado que en estos momentos se empeña en dar continuidad a su obra.

La CCHMA se halla inscrita en la Federación Cubana de Colecciones de Cultivos Microbianos asociada a la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. Nuestro Grupo de Micorrizas también funge como Centro de Referencia Nacional del Laboratorio Central de Cuarentena Vegetal (LCCV) del Centro Nacional de Sanidad Vegetal.

Por último cabe destacar el importante intercambio científico desarrollado en los últimos años por integrantes de nuestro Grupo de Trabajo con los micólogos y/o taxónomos brasileños; ello ha dado sin dudas un gran impulso a los estudios taxonómicos en Cuba, tomando en consideración los criterios más actualizados empleados para el estudio de este grupo fúngico. De nuestras visitas a la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Universidad Federal de Rio Grande del Norte y la Universidad Federal de Pernambuco surgieron importantes relaciones de trabajo con los Drs. Ricardo L.L. Berbara, Bruno Tomio Goto, Gladstone Alves da Silva y Leonor Costa Maia, los cuales han permitido tanto la publicación de nuevos reportes de especies para Cuba, como especies nuevas para la Ciencia (Furrazola *et al.*, 2013; 2016b; Goto *et al.*, 2012). Muy productivos vínculos de trabajo surgieron además de esta colaboración con Brasil, con los Dres. Fritz Oehl y Janusz Błaskowski, quienes laboran en el *Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Ecological Farming Systems*, en Zurich, Suiza y *Department of Ecology and Protection of Environment, West Pomeranian University of Technology in Szczecin*, Polonia, respectivamente.

Aplicaciones de la CCHMA

Nuestra colección brinda servicios de identificación de especies de HMA, además de ser centro de referencia e intercambio con investigadores de Cuba y el Mundo. Constituye un instrumento indispensable en estudios ecológicos y guarda relación directa con actividades de rehabilitación y/o reforestación de ecosistemas perturbados, existiendo resultados prácticos al respecto (Torres *et al.*, 2004). Un ejemplo de ello es nuestra participación en el Proyecto ALBA "Recuperación de

áreas degradadas por la actividad minera en la cuenca del río Caroní, subcuenca del río Ikabarú, Venezuela" junto con el Instituto de Geografía Tropical en el 2008, con la propuesta de un protocolo de rehabilitación que comprendía el empleo de hongos micorrizógenos arbusculares.

También constituyen la base de prácticas agroecológicas y producción agrícola sostenible (Herrera-Peraza *et al.*, 2011; Ley-Rivas *et al.*, 2015; 2017; Ojeda *et al.*, 2015). Todo lo cual, es posible por la existencia de un banco de germoplasma diverso y activo de nuestra Colección.

A partir del mismo es elaborado un biofertilizante comercial con el nombre de MicoFert®, el cual ha sido probado satisfactoriamente en países como Venezuela, Perú, Chile y México. En nuestro país se desarrollaron importantes experimentos con el empleo del MicoFert® en la década de los años 90 del pasado siglo, el cual se aplicó a diversos cultivos de importancia económica con muy buenos resultados productivos (Herrera-Peraza *et al.*, 2011). A través de su empleo pueden obtenerse ahorros de hasta un 80% de las dosis de fertilizantes químicos recomendadas para los distintos cultivos, con el consiguiente beneficio para el suelo, el manto freático y el medio ambiente en general. En los últimos años, varios resultados avalan la efectividad de las cepas presentes en esta colección en distintos experimentos realizados tanto en nuestro país como en el exterior, lo cual sin dudas ofrece perspectivas ventajosas para su generalización a distintas regiones del país (Ley *et al.*, 2011; 2016; Ojeda *et al.*, 2015; Páez-Gázquez *et al.*, 2004)

Retos y perspectivas de la CCHMA

La CCHMA se enfrenta a varios retos tras más de 30 años de funcionamiento. Deben superarse distintas carencias materiales que atentan contra su normal desarrollo, deben aplicarse varios de los últimos cambios taxonómicos sugeridos para este grupo de hongos del suelo, así como continuar su crecimiento con cepas procedentes de ecosistemas naturales no estudiados anteriormente en nuestro país. Igualmente debe afrontarse con ideas renovadoras la carencia de personal que atiende la misma, pues el trabajo con estos hongos requiere de una paciente tarea de formación, dado la minuciosa labor que implica su estudio y manipulación.

Entre nuestras perspectivas futuras se encuentra colaborar más estrechamente con otras colecciones internacionales similares, oficializar su inscripción en registros de colecciones internacionales y colaborar con

nuevos trabajos de identificación de cepas a los servicios científico técnicos ofrecidos por nuestra Institución.

LITERATURA CITADA

- Berch SM. 1988.** *Compilation of the Endogonaceae. Mycologue Publications.* 331, Daleview Place, Waterloo, Ontario.
- Ferrer RL, Furrazola E, Herrera-Peraza RA. 2004.** Selección de hospederos y substratos para la producción de inóculos micorrizógenos vesículo-arbusculares. *Acta Botánica Cubana.* 168: 1–10.
- Furrazola, E. 2003.** Tendencias funcionales de las micorrizas arbusculares en ecosistemas naturales y de reemplazo en Venezuela y Cuba. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias en Ecología y Sistemática Aplicada. IES-CITMA.
- Furrazola E, Goto BT, da Silva GA, Torres-Arias Y, Morais T, Pereira de Lima CE, de Almeida Ferreira AC, Costa Maia L, Sieverding E, Oehl F. 2013.** *Acaulospora herrerae*, a new pitted species in the Glomeromycetes from Cuba and Brazil. *Nova Hedwigia.* 97 401–413.
- Furrazola E, Covacevich F, Torres-Arias Y, Rodríguez-Rodríguez RM, Ley-Rivas JF, Izquierdo K, Fernández-Valle R, Berbara RLL. 2015.** Functionality of arbuscular mycorrhizal fungi in three plant communities in Managed Floristic Reserve San Ubaldo-Sabanalamar, Cuba. *Revista de Biología Tropical.* 63: 341-356.
- Furrazola E, Herrera-Peraza RH, Torres-Arias Y, Silva J, Morales S. 2016a.** Patterns in arbuscular mycorrhizal biomass in Venezuelan and Cuban ecosystems. *Acta Botánica Cubana.* 215: 219-232.
- Furrazola E, Torres-Arias Y, Thoen D, Berbara RLL, Jobim K, Goto BT. 2016b.** *Glomus segmentatum*, rediscovery of a rare epigeous sporocarpic fungus to Cuba. *Current Research in Environmental & Applied Mycology.* 6: 143–149.
- Gerdemann JW, Nicolson TH. 1963.** Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of British Mycological Society.* 46: 235–244.
- Goi R, de Souza FA. 2006.** Diversidade de microrganismos do solo. *Floresta e Ambiente.* 13: 6–65.
- Goto BT, Jardim JG, da Silva GA, Furrazola E, Torres-Arias Y, Oehl F. 2012.** *Glomus truffemii* (Glomeromycetes), a new sporocarpic species from Brazilian sand dunes. *Mycotaxon.* 120: 1-9.
- Herrera RA, Rodríguez ME, Furrazola E. 1988.** Caracterización y dinámica de las fitomasas de raíces y micorrizas vesículo-arbusculares en la Sierra del Rosario. En: Herrera RA, Menéndez L, Rodríguez ME, García EE (eds.), *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No. 1, 1974-1987* ROSTLAC, Montevideo, Uruguay. Capítulo 21, pp. 447-472.
- Herrera-Peraza RA, Furrazola E. 2002.** Influência das taxas de renovação da necromassa no funcionamento exuberante ou austero de micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) em floresta tropical. En: Kageyama PY, de Oliveira RE, de Moraes LFD, Gandara FB (eds.), *Restauração Ecológica de Ecosistemas Naturais*, 167-184, Livraria e Editora Agropecuaria, Sao Paulo.
- Herrera RA, Furrazola E, Ferrer RL, Fernandez R, Torres Y. 2004.** Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas.* 35: 113–123.
- Herrera-Peraza RA, Hamel C, Fernández F, Ferrer RL, Furrazola E. 2011.** Soil–strain compatibility: the key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants? *Mycorrhiza.* 21:183–193.
- Ley-Rivas JF, Aliaga L, Moron C, Furrazola E. 2011.** Efecto del biofertilizante MICOFERT en la producción de dos variedades de lechuga en Perú. *Acta Botánica Cubana.* 213: 36–39.
- Ley-Rivas JF, Sánchez JA, Ricardo NE, Collazo E. 2015.** Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. *Agronomía Costarricense.* 39: 47-59.
- Ley-Rivas JF, Aliaga Rodríguez L, Furrazola Gómez E. 2016.** Efectividad del biofertilizante MICOFERT® en el cultivo de espárragos en Perú. *Acta Botánica Cubana.* 215: 75–79.
- Ley-Rivas JF, Sánchez JA, Furrazola Gómez E, Rodríguez-Rodríguez RM, Gómez Ricardo O. 2017.** Variabilidad funcional de hongos arbusculares en el cultivo de papaya en la etapa de vivero. *Acta Botánica Cubana.* 216: 47–54.
- Lovera M, Cuenca C. 2007.** Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la Gran sabana, Venezuela. *Interciencia.* 32: 108-114.
- Morton JB, Benny GL. 1990.** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae y Giagasporeineae, and two new families, Gigasporaceae, with emendation of Glomaceae. *Mycotaxon.* 37: 471–491.
- Oehl F, Sieverding E, Palenzuela J, Ineichen K, da Silva GA. 2011a.** Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus.* 2: 191–199.
- Oehl F, da Silva GA, Goto BT, Sieverding E. 2011b.** *Glomeromycota*: three new genera and glomoid species reorganized. *Mycotaxon.* 116: 75–120.
- Ojeda L, Furrazola E, Hernández C. 2015.** Respuesta de *Leucaena leucocephala* cv. Perú a la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola. *Pastos y Forrajes.* 38: 176–182.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept- Agric. Cir.pp. 939.
- Páez-Gázquez AC, Cué Díaz JL, García Quiñónez E, Miranda Izquierdo E, Viñas Suárez N. 2004.** Efecto del EcoMic y MicoFert en condiciones de cepellón para el cultivo de *Nicotiana tabacum*, Lin., var. Criollo 98, bajo diferentes dosis de fertilizantes fosfórico. *Centro Agrícola.* 31: 73-78.
- Peterson R, Massicotte B, Melville H. 2004.** Arbuscular mycorrhizas. En: Peterson R, Massicotte B, Melville H. (eds.),

Mycorrhizas: Anatomy and Cells Biology, Cap.III, pp. 55-79, National Research Council of Canada.

Redecker D, Schüßler A, Stockinger H, Stürmer S, Morton J, Walker C. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*. 23: 515–531.

Schenck NC, Pérez Y. 1988. *Manual for identification of VA mycorrhizal fungi*. 2da Edición. INVAM. University of Florida. Gainesville.

Sieverding E. 1983. *Manual de Métodos para la Investigación de Micorriza Vesículo-Arbuscular en el Laboratorio*. CIAT, Proyecto Micorriza, Colombia.

Sieverding E. 1991. *Vesicular Arbuscular Mycorrhizae. Management in Tropical Agroecosystems*. Schriftenreihe der GTZ, No. 224, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ, Cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn.

Sutton JC, Barron GL. 1972. Population dynamics of *Endogone* spore in soil. *Canadian Journal of Botany* 26: 29–43.

Torres-Arias Y, Rodríguez ME, Oviedo R, Herrera-Peraza RA. 2004. Ecotecnologías para la rehabilitación de áreas afectadas por la minería en Moa. *Acta Botánica Cubana* 163: 7-13.