

ARTÍCULO CIENTÍFICO

REPRESENTATIVIDAD DE LA DIVERSIDAD DEL GÉNERO *Musa* EN EL ECUADOR

Tapia, Césara*; Paredes, Nellyb;c; Lima, Luisb

aINIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Panamericana Sur km 1, Quito Ecuador.

bINIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía. Vía San Carlos km. 1.5, sector la Parker. Orellana Ecuador.

cEscuela Superior Politécnica del Chimborazo. Extensión Norte Amazónica. Gaspar de Carvajal entre Quito y Napo. Orellana, Ecuador.

Ingresado: 11/11/2016

Aceptado: 15/03/2019

Resumen

Este estudio permitió identificar vacíos en la colección del género *Musa*, de la Estación Experimental Central de la Amazonía del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, (INIAP). Esto fue posible mediante el uso de las herramientas CAPFITOGEN, permitiendo identificar 24 categorías ecogeográficas, de las cuales las categorías 10 y 9 fueron las más frecuentes con 70.501 y 44.709 celdas, respectivamente. Estas categorías presentaron características ecogeográficas muy similares con temperaturas anuales promedio de 20,9°C; precipitación del mes más húmedo de 276 mm; elevación promedio de 1051 msnm; pendiente de 3,8 grados y pH ácido (4,5-5,5). En lo relacionado a la ocurrencia, se observa vacíos geográficos en 20 de las 24 categorías. Es así que mediante la herramienta REPRESENTA de CAPFITOGEN se debe realizar colectas suplementarias a lo largo de las estribaciones orientales y occidentales, principalmente de las provincias de Bolívar, Cotopaxi, amplias zonas de Los Ríos y reductos de las provincias de Loja, Guayas, Manabí, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas. Las herramientas CAPFITOGEN son de gran utilidad para mejorar la representatividad de las colecciones que se conservan en el banco de germoplasma del INIAP.

Palabras clave: CAPFITOGEN, categorías, ecogeográficas, representatividad.

DIVERSITY REPRESENTATIVENESS OF THE GENUS *Musa* IN ECUADOR

Abstract

This study allowed the identification of gaps in the collection of genus *Musa* of the Central Amazon Experimental Station of National Institute of Agricultural Research. This was possible by using the CAPFITOGEN tools, identifying 24 ecogeographical categories, of which the categories 10 and 9 were the most frequent with 70.501 and 44.709 cells, respectively. These categories had very similar ecogeographical characteristics with average annual temperature of 20,9°C; precipitation of 276 mm in the wettest month; average elevation of 1051 meters above sea level; slope of 3,8 degrees and acid pH (4,5-5,5). In relation to the occurrence, geographic gaps were observed in 20 of the 24 categories. The tool REPRESENTA of CAPFITOGEN allowed identify sites along the eastern foothills, the western foothills, mainly in the province of Bolivar, Cotopaxi, large areas of Los Rios and redoubts of the provinces of Loja, Guayas, Manabí, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas and Esmeraldas, for additional collections. These tools are useful to enhance the representativeness of INIAP genebank collections.

Keywords: CAPFITOGEN, categories, ecogeographical, representativeness.

* Correspondencia a: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Panamericana sur km 1, Quito, Ecuador. Teléfono: (+593) 223006089, Correo electrónico: cesar.tapia@iniap.gob.ec.

I. INTRODUCCIÓN

Los recursos fitogenéticos son la base de la seguridad alimentaria mundial, por ello es de suma importancia mantener la diversidad genética de las variedades tradicionales del género *Musa* que son utilizadas en la alimentación humana y animal. [1] El cultivo de banano y plátano es el rubro agrícola de mayor importancia en el Ecuador, debido a su aporte a la generación de divisas, y como alimento de los ecuatorianos. De banano se siembran alrededor de 250.000 ha, [2] mientras que de plátano se siembran aproximadamente 123.355 ha. [3]

Los bananos y plátanos cuentan con más de 50 especies y decenas de híbridos, que por lo general, son de gran tamaño, herbáceas perennes, de tallos subterráneos rizomatosos, del que parten sus grandes hojas con vainas fuertemente dispuestas en espiral, dando forma de un falso tallo (pseudotallo), con vaina, pecíolo y frutos con forma capsular. [4-6]

Los bananos y plátanos pertenecen a la familia botánica Musaceae, orden Scitamineae; esta familia está conformada por los géneros *Musa* y *Ensete*, son monocotiledóneas, de cruza intra e inter-específicas entre *Musa acuminata* Colla (genoma A) y *Musa balbisiana* Colla (genoma B). El género *Ensete* se reproduce por semilla, es de uso ornamental y hábitat subtropical. [6, 7] En orden de importancia económica, existen bananos triploides (AAA, AAB y ABB), diploides (AA y AB) y tetraploides (AAAA, AAAB y AABB). [5]

A nivel mundial, existe 3 630 entradas en 11 colecciones de germoplasma de *Musa* con información de datos pasaporte, clasificación botánica, descriptores morfológicos y taxonómicos, estudios moleculares, que se maneja en un Sistema de Información de Germoplasma de *Musa* (MGIS, en sus siglas en inglés) <http://www.crop-diversity.org/mgis/>

En la Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA) del INIAP se conservan 91 accesiones de Musáceas, de las cuales 45 entradas corresponden a bananos y 46 entradas a plátanos; sin embargo, es necesario mejorar la representatividad de esta colección mediante colectas optimizadas [8] con la finalidad de incrementar la variabilidad en el banco de germoplasma del INIAP; esto permitirá contar con

germoplasma de utilidad para programas de mejora genética que buscan materiales con características superiores, de buena calidad y tolerantes a los principales problemas fitosanitarios. Es así que los bancos de germoplasma cumplen un rol importante para la conservación de especies tradicionales y son la base para los programas de fitomejoramiento y producción agrícola. [9, 10]

Para mejorar la representatividad de la colección del género *Musa* de la EECA, últimamente se ha creado el Programa para el Fortalecimiento de las Capacidades en Programas de Recursos Fitogenéticos en América Latina - CAPFITOGEN, con una serie de herramientas, entre ellas, REPRESENTA (RE) que permite hacer un análisis de representatividad ecogeográfica de una especie dentro de una colección de germoplasma, detectando sesgos, vacíos o faltantes geográficos y ecogeográficos en la colección objetivo. [11, 12]

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar vacíos geográficos faltantes en la colección del género *Musa*, de la EECA, con la finalidad de mejorar la representatividad de esta colección en el Banco de Germoplasma del INIAP, germoplasma valioso para uso en programas de mejora genética que contribuye a la seguridad alimentaria de la población sobre todo de la Amazonía ecuatoriana.

II. METODOLOGÍA

La colecta del género *Musa* comprendió los siguientes pasos: 1) se definió la ruta de colecta (cantones Pastaza, Morona, Sucúa, Huamboya, Yantzaza, Centinela del Cóndor, El Pangui, Gualaquiza, La Joya de los Sachas y Shushufindi) y la época óptima (marzo a junio), 2) se utilizó el método no probabilístico incidental o casual estableciendo circunferencias de 200 m² con la colecta en base a dos criterios: que cada sitio estuviese representado por 1 a 5 individuos y que la distancia entre sitios fuese igual o mayor a 50 m o hasta localizar el siguiente individuo, [13, 14] 3) al ser especies de propagación vegetativa, se colectó entre 3 y 5 hijuelos por entrada, 4) los materiales colectados fueron colocados en mallas plásticas debidamente identificadas, 5) se recopiló la información de cada entrada en el sitio de colecta, y 6) las entradas fueron trasladadas a la EECA para el manejo respectivo en vivero y posteriormente el establecimiento en campo.

Para la identificación de vacíos geográficos se utilizó los datos de latitud y longitud de las 91 entradas colectadas y se aplicó varias de las herramientas CAPFITOGEN. [11] En primer término se utilizó la herramienta TESTABLE que permitió encontrar los errores o desajustes en la tabla de datos pasaporte.

En segundo lugar, se utilizó la herramienta GEOQUAL que determinó el grado de certidumbre contenido en algunos descriptores de pasaporte cuya función fue definir inequívocamente el lugar donde el germoplasma fue recolectado. De esta manera, GEOQUAL realizó una evaluación de la calidad de los datos de descripción de la localidad y de las coordenadas indicadas como sitio de recolección.

En tercer lugar, se generó el mapa de caracterización ecogeográfica del terreno (ELC), donde se visibilizó diferentes escenarios ambientales que pueden corresponderse con los diferentes procesos adaptativos para el género *Musa*, en la Costa y Amazonía ecuatoriana. El mapa se generó desde una cota inferior a 1800 msnm. En la elaboración del mapa ELC se utilizó celdas de 1 km x 1 km (30 arc-segundos) considerando variables ecogeográficas importantes para el desarrollo del cultivo de bananos y plátanos como: temperatura promedio anual, rango de temperatura anual, precipitación anual, precipitación del mes más húmedo, precipitación del mes más seco, elevación, pendiente, profundidad, carbono orgánico en el suelo y pH. Para la variable elevación se empleó el SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - NASA Jet Propulsion Laboratory). [15]

Las capas climáticas estuvieron en formato ráster a una resolución de 1 km x 1 km, [16] las capas geofísicas en formato ráster con una resolución de 90 m, [15] y las capas edáficas en formato vectorial a una escala de 1:50000. [17] Para estandarizar la resolución espacial de 90 m del SRTM y hacer coincidir con la resolución espacial de 1 km de las variables en estudio de WorldClim, se realizó un remuestreo (resample) aplicando el método de asignación de Interpolación Bilineal de ArcGIS (Bilinear Interpolation), que utiliza el valor de los cuatro centros de celda de entrada más cercanos para determinar el valor en el ráster de salida. El nuevo valor para la celda de salida es una media ponderada de estos cuatro valores, ajustada para contar su

distancia desde el centro de la celda de salida. [18] La variable edáfica profundidad del suelo, obtenida del MAGAP [17] en formato shapefile, fue convertida en formato ráster empleando el software ArcGIS; la resolución espacial fue de 1 km y se procedió a asignar ponderaciones de 1 a 5 (muy superficial, superficial, poco profundo, moderadamente profundo y profundo) de acuerdo a la profundidad efectiva del recurso suelo.

Por último, se utilizó la herramienta RE, [11] con la finalidad de establecer la representatividad de la colección, además se utilizó el mapa ELC, [11] para conocer que las condiciones ambientales presentes en un marco espacial, están representados en la colección de germoplasma de *Musa*, y se comparó la distribución de la frecuencia de las colectas realizadas y las frecuencias de las categorías detectadas con el mapa ELC; esto permitió visualizar claramente qué ambientes están sub representados en la colección de plátano y bananos del INIAP-EECA.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de definir los vacíos en la colección conformada de 91 accesiones del género *Musa*, en primer término fue necesario generar el mapa ELC. Este mapa definió 24 categorías ecogeográficas para la Costa y Amazonía ecuatoriana donde se adapta adecuadamente este género, de las cuales las categorías 10 y 9 que están representadas con los colores turquesa y café oscuro, son las más frecuentes con 70 501 y 44 709 celdas, respectivamente. Contrariamente las categorías 12 y 23 fueron las menos frecuentes con 57 y 15 celdas, respectivamente (Fig. 1 y 2). Las categorías 9 y 10 tienen características ecogeográficas muy similares con temperaturas anuales promedio de 20.9°C, rango de temperatura promedio de 11,6°C, precipitación anual de 2005 mm, precipitación del mes más húmedo de 276 mm, precipitación del mes más seco de 94 mm, elevación promedio de 1051 msnm, pendiente de 3,8, pH ácido (4,5-5,5), suelos moderadamente profundos (50-100 cm) y carbono orgánico medio (2-4%). Por lo tanto, el uso de variables ambientales, edáficas y geofísicas apoyan a la construcción de mapas ecogeográficos [19-21] como por ejemplo, Iowa, EE.UU se utilizó este tipo de mapas para determinar la capacidad de los cultivos. [22, 23]

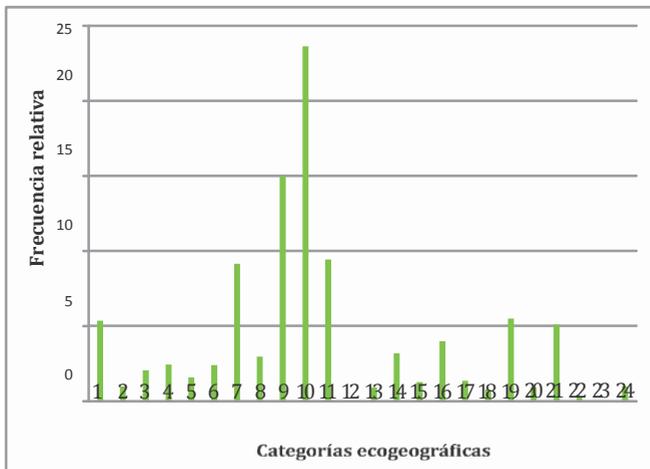


Fig. 1: Frecuencias relativas de las 24 categorías ecogeográficas identificadas para el género *Musa*, en el Ecuador

Mediante la herramienta RE se logró clasificar las categorías ecogeográficas por frecuencia de ocurrencia de la especie y por frecuencia de categoría del mapa ELC. Las frecuencias por las entradas colectadas (Tabla 1), fueron nulas en 20 de las 24 categorías, dos categorías con frecuencias bajas, una con frecuencia media alta y una con frecuencia alta. En lo referente a las frecuencias en base al mapa ELC, cinco frecuencias fueron bajas, seis frecuencias medias bajas, siete con frecuencias medias altas, y seis con frecuencias altas. Con la finalidad de identificar sitios (categorías) que sean de mayor priorización, se eligió 11 categorías con las frecuencias nulas, para el caso de clasificación por ocurrencias de especies, bajas y media bajas para la clasificación por frecuencia de categoría en mapa ELC, donde es prioritario la colecta de germoplasma de este género (en la Tabla 1 con asterisco se resalta las categorías elegidas). Estudios similares concuerdan con la presente investigación, donde identificaron 27 categorías ecogeográficas para ocho especies, las mismas que fueron definidas por un conjunto de rangos específicos para cada una de ellas, agrupando categorías del mapa en la escala, media-alta, media-baja o baja. [23]

Varios estudios se han realizado, principalmente en España utilizando 6 especies de *Lupinus*. Al igual que en la presente investigación, el método incluyó la aplicación de sistemas de información geográfica,

Tabla 1: Frecuencias por especie y frecuencia en base al mapa ELC para las 24 categorías definidas

Categorías ecogeográficas	Clasificación frecuencia por ocurrencia de la especie	Clasificación por frecuencia de categoría en mapa ELC
1	media alta	alta media
2*	nula nula	baja media
3	nula nula	alta media
4	nula baja	alta media
5*	nula nula	baja media
6	alta baja	alta alta
7	nula nula	media alta
8	nula nula	alta
9	nula nula	alta
10	nula nula	alta
11	nula nula	baja
12*	nula nula	media baja
13*	nula	media alta
14		media baja
15*		media alta
16		media baja
17*		baja
18*		alta
19		baja media
20*		alta baja
21		baja media
22*		baja
23*		
24*		

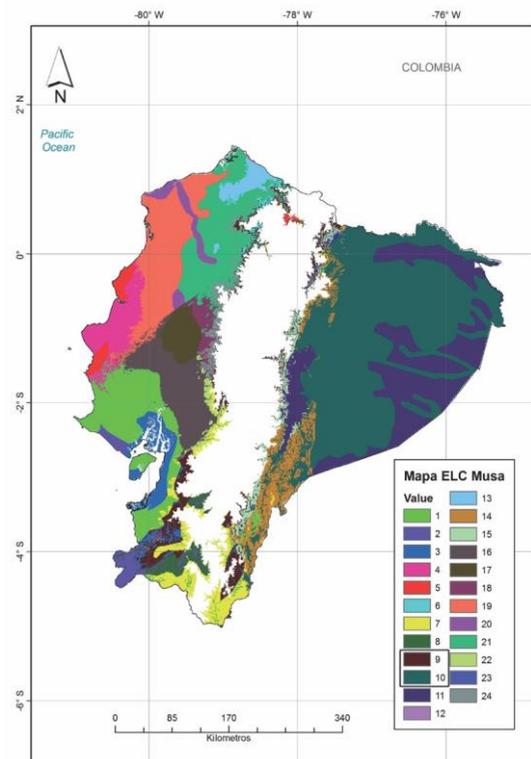


Fig. 2: Mapa ELC para el género *Musa*, en la Costa y Amazonía ecuatoriana

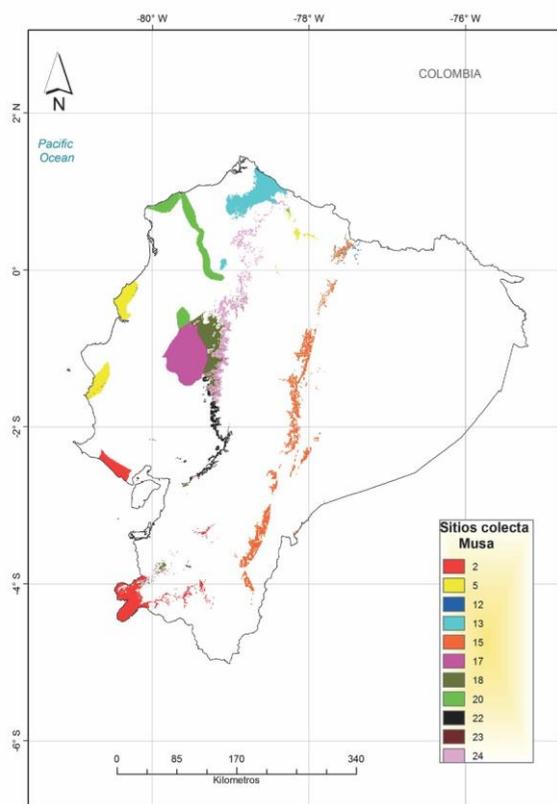


Fig. 3: Sitios priorizados en la Costa y Amazonía ecuatoriana para la colecta del género *Musa*.

mapas ELC, modelos de distribución de especies y análisis de las deficiencias para identificar los sitios de recolección priorizados, [24] como las que se identificó para el género *Musa*, en la Amazonía, Costa y ciertas zonas de las estribaciones (Fig. 3). Estos sitios priorizados coinciden con las zonas bananeras más importantes de Ecuador que están distribuidas entre las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro, al igual que las zonas plataneras más grandes de Ecuador, como son Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas. [25, 26]

IV. CONCLUSIONES

El mapa ELC identificó escenarios adaptativos no homogéneos clasificados en 24 categorías ecogeográficas para la biodiversidad del género *Musa*, encontrándose categorías de baja frecuencia que comparten solo ciertas características en sus componentes climáticos, geofísicos o edáficos con las categorías de alta frecuencia.

El mapa ELC permitió la capacidad de discriminar correctamente escenarios adaptativos utilizando

variables ecogeográficas que más influyen en la adaptación abiótica del género, y que por tanto, determinan su distribución, lo que contribuye a la colecta, conservación y utilización eficiente de los recursos fitogenéticos.

Las principales zonas para la colecta suplementaria del género *Musa* están ubicadas a lo largo de las estribaciones orientales y las estribaciones occidentales, principalmente en las provincias de Bolívar y Cotopaxi. Amplias zonas de Los Ríos, y reductos de las provincias de Loja, Guayas, Manabí, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas.

En las provincias de Loja, Los Ríos y Esmeraldas es necesario realizar un mayor número de colectas por la presencia de una mayor diversidad de agroecosistemas (categorías).

Las herramientas CAPFITOGEN son de gran utilidad para mejorar la representatividad de las colecciones que se conservan en los bancos de germoplasma a nivel nacional e internacional.

REFERENCIAS

- [1] FAO (2013) "Dirección de Estadística - FAOSTAT: cultivos: bananos: Bolivia", Disponible en: <http://faostat3.fao.org/>
- [2] V. Quimi (2011) "Banano el pan de cada día", Campoadentro. 13, 35-36.
- [3] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (MAGAP) (2016) "Cultivos y producción (en línea). Estadística de producción agrícola. 2015", Disponible en: <http://www.magap.gob.ec/mag01/index.php>
- [4] A. Berrie (1997) "The Musaceae: the bananas". En: "An introduction to the botany of the major crop plants". Heyden, Londres. pp.113-116.
- [5] J. Robinson (1996) "Banana and Plantains". Cambridge, UK. CAB International, 238 p.
- [6] R. Vásquez; A. Romero; J. Figueroa. 2005. Paquete Tecnológico para el Cultivo de Plátano. (ed.) Gobierno del Estado de Colima. N° 001. Colima, Mx. 72 p
- [7] L. Sierra (1993) "Post cosecha y agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia". 145 p.
- [8] M. Parra-Quijano (2011) "Colecta optimizada de los Recursos Fitogenéticos" Fundación Agrobiodiversidad Colombiana. 15. p.

- [9] J.M.M Engels, L. Visser (eds.) (2007) "Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma" Manuales para Bancos de Germoplasma No. 6. Bioersivity International, Roma, Italia
- [10] Y.L. Wang, M.J. Fan, S.I. Liaw (2005) "Cryopreservation of in vitro-grown shoot tips of papaya (*Carica papaya* L.) by vitrification", *Botanical Bulletin of the Academia Sinica* 46: 29-34.
- [11] M. Parra-Quijano, E. Torres, J.M. Iriondo, F. López (2015) "Herramientas CAPFITOGEN para la conservación y utilización de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura", Versión 2.0. 289 p.
- [12] M. Parra-Quijano; D. Draper; E. Torres, J.M. Iriondo (2008) "Ecogeographical representativeness in crop wild relative ex situ collections". En: N. Maxted; B.V. Ford-Lloyd, S.P. Kell; J.M. Iriondo, M.E. Dulloo, J. Turok, (ed.) "Crop wild relative conservation and use". CAB International, Wallingford. p. 249-273.
- [13] G. Bacchetta, A. Sánchez; G. Fenu, B. Jiménez-Alfaro; E. Mattana, B. Piotta, M. Virevaire (eds) (2008) "Conservación ex situ de plantas silvestres", Principado de Asturias / La Caixa. 378 p.
- [14] D. Falconer, T. Mackay (2007) "Introducción a la Genética Cuantitativa", 4a Edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia S. A. 469 p.
- [15] Shuttle Radar Topography Mission. <http://srtm.csi.cgiar.org/> Consultado May 2015
- [16] WorldClimate (1996). <http://www.worldclimate.com>. Consultado May 2015
- [17] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <http://geoportal.magap.gob.ec/geonetwork/srv/spa/main.home>. Consultado May 2015
- [18] G. Colosimo, M. Crespi, L. De Vendictis, K. Jacobsen, 2009. Accuracy evaluation of SRTM and ASTER DSMs. 29th Annual EARSeL Symposium, Chania Greece, 15-18 June 29th Annual EARSeL Symposium, Chania Greece, 15-18 June.
- [19] M.E. Ferguson, A. Jarvis, H.T. Stalker, D.E. Williams, L. Guarino, J.F.M. Valls, R.N. Pittman, C.E. Simpson, P.J. Bramel (2005) "Biogeography of wild *Arachis* (Leguminosae): distribution and environmental characterization", *Biodivers Conserv* 14:1777-1798
- [20] A. Jarvis, S. Yeaman, L. Guarino, J. Tohme (2006) "The role of geographic analysis in locating, understanding, and using plant genetic diversity", *Methods Enzymol* 395:279-298
- [21] G. Wang, G. Zhou, L. Yang, Z. Li (2003) "Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilianshan Mountains, Gansu, China", *Plant Ecol* 165:169-181
- [22] C.L. Williams, W.W. Hargrove, M. Liebman, D.E. James (2008) "Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering" *Agric Ecosyst Environ* 123:161-174
- [23] M. Parra-Quijano, J. Iriondo, E. Torres (2011) "Ecogeographical land characterization maps as a tool for assessing plant adaptation and their implications in agrobiodiversity studies" *Genet Resour Crop Evol*, DOI 10.1007/s10722-011-9676-7.
- [24] M. Parra-Quijano, J. Iriondo, E. Torres (2011) "Improving representativeness of genebank collections through species distribution models, gap analysis and ecogeographical maps" *Biodivers Conserv*. DOI 10.1007/s10531-011-0167-0
- [25] Asociación de Exportadores Bananeros del Ecuador (AEBE) (2016) "Estadísticas de Exportación de Ecuador 2009 (en línea)", Disponible en: <http://www.aebe.com.ec/Desktop.aspx?Id=178>
- [26] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2015) "Encuesta superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC) (en línea)", Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>