

ANÁLISIS DE LAS PREFERENCIAS ECOLÓGICAS DE LA VEGETACIÓN ESPONTÁNEA. CASO DE ESTUDIO APLICADO A LOS CEREALES DE INVIERNO

Ramôa S.^{1*}, Oliveira-E-Silva P.¹, Vasconcelos T.², Fortes P.², Portugal J.¹

¹*Departamento de Biociências, Escola Superior Agrária de Beja, Rua Pedro Soares, Apartado 6158, 7800-908 Beja, Portugal.*

²*Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, Apartado 354, 1349-017 Lisboa, Portugal.*

**sramoa@ipbeja.pt*

Resumen: Se efectuaron 100 muestreos florísticos en parcelas de trigo, avena, cebada, caracterizándose algunas variables como el pH, textura del suelo, contenido en fósforo y potasio, precipitación, tipos de suelos y cultivos. Se realizó un análisis de frecuencias y abundancia de las especies. El método estadístico usado para las preferencias ecológicas fue el Método de los Perfiles Ecológicos e Información Mutua complementado con la aplicación del Método de Análisis Canónico de Correspondencias. Según el Método de los Perfiles Ecológicos e Información Mutua, la distribución de la vegetación estudiada está estrechamente relacionada con la textura y pH. Los resultados de la aplicación del criterio de información Akaike y función ANOVA confirman los mismos factores como discriminantes en la distribución de la vegetación.

Palabras clave: Análisis de frecuencias, abundancia de las especies, método de los Perfiles Ecológicos e Información Mutua, método de Análisis Canónico de Correspondencias, peso Akaike, test ANOVA.

Summary: *Analysis of the ecological preferences of spontaneous vegetation. Case study applied to winter cereals.* It was conducted 100 floristic surveys in fields of wheat, oat, barley together with the measurement of some variables, such as pH, soil texture, phosphorus and potassium content, precipitation, soil types and type of crops. An analysis of frequency and abundance of species was performed. The statistical method used for ecological preferences was the Ecological profiles and Mutual Information methodology complemented with the Canonical Correspondence Analysis methodology. According the Method of Ecological profiles and Mutual Information, the distribution of species is closely related to texture and pH. The application of Akaike information

criterion and ANOVA function confirm the same factors as discriminating the distribution of vegetation.

Keywords: Frequency analysis, species abundance, Ecological Profiles and Mutual Information Method, Canonical Correspondence Analysis, Akaike weight, ANOVA test.

INTRODUCCIÓN

El control químico de las malas hierbas es el método de control más utilizado, pero en los últimos tiempos ha habido una tendencia creciente del control integrado con otros métodos que son más aceptables en una agricultura moderna y sostenible, donde el conocimiento exhaustivo de la vegetación espontánea y su ecología resultan muy importantes. El presente trabajo presenta una metodología de análisis de las preferencias ecológicas de la vegetación espontánea mediante el método de Perfiles Ecológicos e Información Mutua (Gounot, 1958; Godron, 1965), y tiene como objetivo examinar la relación entre las especies con los factores ambientales, suministrando información sobre el valor del indicador de las especies para dichos factores que diferencian su distribución –factores activos (Devineau & Fournier, 2007). Esta metodología permite, también, hacer grupos de especies con las mismas preferencias –grupo de especies indicadoras de cada factor considerado activo– que constituyen los llamados grupos ecológicos. Una ventaja importante de este método es proporcionar información sobre la calidad del muestreo (Vasconcelos, 1984) y permitir el estudio para cada especie, factor a factor. Según Fariñas et al. (2008), el método de los perfiles ecológicos suministra información próxima a los resultados de un análisis multivariado siendo, inclusive, más preciso, ya que indica directamente la respuesta ecológica de las especies. Este autor considera que esta metodología es simple y poderosa, aunque los resultados obtenidos carecen de significado estadístico. Así, un análisis con un enfoque multifactorial es necesario (Devineau & Fournier, 2007; Vergel, 2009) cuando se pretende obtener informaciones complementarias y, con este propósito, se utilizó en este trabajo el método de Análisis Canónico de Correspondencia, un método inferencial y paramétrico que permite hacer la construcción automática de modelos. Esta forma de obtener un mejor modelo se basa en la teoría de la Información y es un modo heurístico para buscar un modelo con equilibrio entre el ajuste y la complejidad del mismo y que desincentiva el sobreajuste. La construcción automática de modelos genera un conjunto de modelos candidatos y los clasifica de acuerdo con el criterio de información de Akaike, uno de los métodos más populares. Este se basa en la estimativa de la pérdida de información del conjunto de modelos candidatos en relación al mejor modelo. El modelo que minimiza la distancia Kulback-Leibler (menor AIC) es

aquél que corresponde al modelo con menor pérdida de información (Wagenmakers & Farrell, 2004; Provete et al., 2011). El objetivo de este trabajo es mostrar la aplicación de estos métodos utilizando los resultados obtenidos en un estudio en cereales de invierno.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se hicieron 100 muestreos en cultivos arvenses de secano (trigo, avena y cebada) y el método de muestreo fue la "vuelta al campo" propuesto por Maillet (1981). El análisis de la composición florística se basó en cálculos de frecuencia relativa (FR) y abundancia media (AM). La abundancia media de especies se calculó a partir de los coeficientes de abundancia propuestos por Barralis (1975, 1976), muy adecuados en estudios de los agroecosistemas y usados por Vasconcelos (1984), Vasconcelos et al. (1999 a,b), Fernandes (2003), Caetano (2006), Pacheco (2009), Fried et al. (2012) y Lavrador et al. (2013). La abundancia media de especies se calcula según la siguiente fórmula donde n_i : número de muestreos en el que se atribuye a una especie un determinado coeficiente de abundancia i :

$$AM = \frac{n_1 \times 0.5 + n_2 \times 1.5 + n_3 \times 11.5 + n_4 \times 35.5 + n_5 \times 75.5}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5} \quad (1)$$

La relación FR/AM ha permitido distinguir los diferentes grados de infestación de las especies según Michez & Guillermin (1984). El método estadístico utilizado en este trabajo ha sido el método de los Perfiles Ecológicos e Información Mutua complementado con el análisis multivariado. Las clases de factores consideradas han sido: pH_(H2O): (1) 4,6-5,5 (ácido), (2) 5,6-6,5 (ligeramente ácido), (3) 6,6-7,5 (neutro), (4) 7,6-8,5 (ligeramente alcalino); P₂O₅ asimilable (mg/kg): (1) ≤ 25 (muy bajo), (2) 26-50 (bajo), (3) 51-100 (medio), (4) 101-200 (alto); K₂O asimilable (mg/kg): (1) 26-50 (bajo), (2) 51-100 (medio), (3) 101-200 (alto), (4) > 200 (muy alto); Textura: (1) arenoso-franca, franco-arenosa, franca, (2) limosa, franco-limosa, franco-arcillo-arenosa, (3) franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa, (4) arcillo-limosa, arcillosa; Suelos: (1) Luvisoles, (2) Vertisoles, (3) Cambisoles, (4) Leptosoles; precipitación (mm): (1) 524, (2) 547, (3) 580, (4) 618, (5) 639, (6) 657, (7) 676; Cultivos: (1) trigo, (2) avena, (3) cebada.

Así, se estableció los diferentes tipos de perfiles (perfil de conjunto, perfiles de frecuencias absolutas, perfiles de frecuencias relativas, y perfiles de frecuencias corregidas), de acuerdo con Vasconcelos (1984), Sá (1989), Fernandes (1994), Vela (1998), Caetano (2006), Fariñas et al. (2008) y Vergel (2009). Se calculó la entropía-especie [H(E)] y se evaluó

la calidad de los factores ecológicos analizados $[Q(L)]$ de los muestreos a partir de los valores obtenidos en la entropía-factor $[\hat{H}(L)]$ y entropía-factor máxima $[\hat{H}(L)_{\max}]$. Se consideraron activos los factores con $IM(L,E) \geq 0,05$ bits y $Q(L) \geq 0,9$ de acuerdo con Santos (1992) y Fernandes (1994).

Entre las técnicas multivariadas disponibles, se ha seleccionado la ordenación, una vez que su propósito es reducir la dimensionalidad de los datos para facilitar la interpretación de los resultados cuando existen demasiadas variables implicadas (Schaefer, 2014). Dentro del método de ordenación se ha utilizado el Análisis Canónico de Correspondencia (CCA) desarrollado por Ter Braak (1987) que es una técnica de análisis de gradiente directo una vez que relaciona la variación en el seno de las comunidades (composición y abundancia) con la variación ambiental (ordenación constreñida). A partir de la ordenación de las especies constreñidas a todas las variables independientes, se utilizó la función *step* que, por selección automática mediante el método *stepwise*, generó los modelos candidatos y los clasificó según el criterio de información de Akaike (AIC). Mediante los valores del peso Akaike obtenidos para cada modelo, se alcanzó, así, el modelo más sencillo y sólido que representa el mejor equilibrio entre el comportamiento de las especies frente las variables ambientales seleccionadas. Este parámetro indica la probabilidad de elegir el mejor modelo y cuanto mayor sea su valor, mayor será también esta probabilidad (Wagenmakers & Farrell, 2004). Con el test ANOVA se examinó la significación estadística del modelo obtenido, considerando un número de permutaciones de 1.000, y de los factores analizados.

El tratamiento de los datos se llevó a cabo mediante la utilización de la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2007 y del programa informático libre - *R* (R Development Core Team, 2011), que utiliza los paquetes *Biodiversity*, *Mass* y *Vegan* (Oksanen et al., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los 100 muestreos en cultivos arvenses de secano se identificaron 229 taxones que se distribuyeron en 40 familias. Las familias que presentaron mayor expresión, Asteraceae, Poaceae y Fabaceae, han representado cerca de 52% del total de los taxones presentes en el área de estudio. Estas familias también presentaron mayor expresión en otros trabajos realizados en olivares de regadío localizados en el Alentejo (Pacheco, 2009), al igual que en la región de Trás-os Montes (al nordeste de Portugal), con el cultivo de trigo de secano (Aguiar, 1992), y en el centro de Portugal en la región de Beira Alta, en cultivos perennes como el viñedo (Monteiro et al., 2012). Las familias con menor expresión representaron 27% del total de los taxones presentes.

La Tabla 1 presenta los valores de frecuencia relativa y abundancia media de las especies con FR > 50%. Esta Tabla pone de manifiesto que existen 7 especies presentes en más de la mitad del inventario de las parcelas muestreadas (FR > 50%) y que son: *Polygonum aviculare*, *Anagallis arvensis*, *Convolvulus arvensis*, *Phalaris minor*, *Avena sterilis*, *Lolium rigidum* y *Raphanus raphanistrum*.

Tabla 1. Frecuencias relativas (FR) y abundancias medias (AM), de las especies.

Especies	AM	FR (%)
<i>Polygonum aviculare</i> L.	2,5	65
<i>Anagallis arvensis</i> L.	3,0	63
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	1,6	63
<i>Phalaris minor</i> Retz	3,4	61
<i>Avena sterilis</i> L.	1,7	56
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	5,8	53
<i>Raphanus raphanistrum</i> L. ssp. <i>microcarpus</i> (Lange) Cout.	1,9	52

Con una frecuencia entre [50%; 25%] se registran 13 especies: *Anacyclus radiatus*, *Misopates orontium*, *Sonchus oleraceus*, *Papaver rhoeas*, *Silene gallica*, *Chrysanthemum segetum*, *Spergularia purpurea*, *Foeniculum vulgare*, *Bromus diandrus*, *Phalaris paradoxa*, *Plantago afra*, *Vulpia geniculata* y *Chamaemelum mixtum*. Las especies frecuentes son escasas y, por otra parte, las especies consideradas raras y poco frecuentes (FR ≤ 10%) son muy numerosas (170 especies). Las especies *Lolium rigidum*, *Avena sterilis* y *Convolvulus arvensis* también fueron identificadas como frecuentes y de abundancia elevada por Sá (1989) en cultivos de trigo en la región de Alto Alentejo (Portugal). Cirujeda et al. (2011), identificaron a *Lolium rigidum* y *Avena sterilis* como especies más abundantes. La *Avena sterilis*, fue también considerada por Charrua (1980) como una de las malas hierbas más importantes en el cultivo del trigo en la región alentejana. *Anagallis arvensis* y *Lolium rigidum* fueron 2 de las 3 especies más frecuentes encontradas por Pallavicini et al. (2013) en diferentes hábitats del cultivo de cereales en Andalucía (España).

Según Michez & Guillermin (1984), el grado de infestación de las especies ha sido el siguiente: solamente 1 especie mostró un grado de infestación catalogado como muy alto, *Lolium rigidum*; 8 de ellas mostraron un grado de infestación alto, *Raphanus raphanistrum*, *Oxalis pes-caprae*, *Lolium temulentum*, *Ranunculus trilobus*, *Galium aparine*, *Phalaris minor*, *Anagallis arvensis* y *Polygonum aviculare*; y 18 especies un grado de infestación medio, *Capsella rubella*, *Scandix pecten-veneris*, *Campanula erinus*, *Galium verrucosum*, *Heliotropium europaeum*, *Lolium multiflorum*, *Rapistrum rugosum*, *Agrostis pourretii*, *Plantago afra*,

Chamaemelum mixtum, *Phalaris paradoxa*, *Vulpia geniculata*, *Chrysanthemum segetum*, *Anacyclus radiatus*, *Sonchus oleraceus*, *Papaver rhoeas*, *Avena sterilis* y *Convolvulus arvensis*. En Portugal también se identificó *Lolium rigidum* con grado de infestación elevado en olivares en Baixo Alentejo (Pacheco, 2009) y en viñedos en región del Dão (Monteiro et al., 2012). También, muy recientemente, en la región alentejana se han registrado casos de resistencia de *Lolium rigidum* (Calha et al., 2014).

La calidad del muestreo [Q(L)] para los factores textura y pH ha sido $\geq 0,9$ siendo, por tanto, considerados como factores muy bien muestreados. Por el contrario, el resto de los factores ofrecieron valores inferiores a 0,9, aunque fósforo, potasio y precipitación adquieren valores de calidad muy próximos a este valor. La Figura 1 muestra la relación entre la Información Mutua (IM) media de las especies con frecuencia relativa $\geq 25\%$ y la calidad del muestreo.

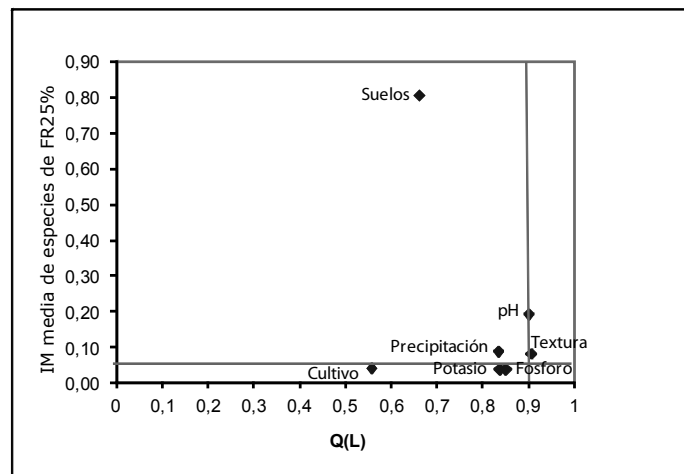


Figura 1. Relación entre la Información Mutua media y la calidad del muestreo.

Es fácilmente observable que los valores, simultáneos, más altos de Información Mutua ($IM \geq 0,05$) y de calidad del muestreo ($Q(L) \geq 0,9$), los registran los factores textura y pH. Estos 2 factores se encuentran en la parte más a la derecha del gráfico que delimita los factores que deben tenerse en cuenta, y como tal, se consideran factores capaces de mayor actividad en la distribución ecológica de las especies –factores activos. La precipitación presenta una buena relación con las especies ($IM \geq 0,05$) pero la calidad del muestreo ha sido por debajo de 0,9, aunque muy próxima.

Para complementar la información obtenida, así como para la construcción y comparación del modelo más ajustado, y evaluar su significación estadística se aplicó el método de análisis canónico de correspondencias (CCA). La Tabla 2 muestra los resultados de la aplicación de la función *step*, criterio de información Akaike, función ANOVA a los datos de las especies y las diferentes variables ambientales.

Tabla 2. Modelos candidatos basados en el criterio de información Akaike.

Modelo	k_i	AIC	ΔAIC_i	W_i	F
pH	1	462,65	3,53	0,08	**
T+pH	2	459,38	0,26	0,43	**
R+T+pH	3	459,12	0	0,49	**

T: textura; R: precipitación; criterio de información Akaike (AIC_i), diferencia de Akaike (ΔAIC_i), peso Akaike (W_i), número de parámetros del modelo (k_i); nivel de significación: ** 0,01.

De entre los factores analizados, se han verificado como factores que representan el balance entre el buen ajuste y la complejidad del modelo (mayores valores de peso Akaike) la precipitación, textura y pH. El modelo elegido fue significativo a un nivel de 1% y la precipitación fue el factor que, a través de este análisis estadístico, demostró ser relevante en la modelación de las especies aunque no se ha identificado como un factor activo en el método anterior, dado su nivel de exigencia en el control de calidad de muestreo de difícil control cuando se utiliza muestras aleatorias. Los restantes factores (textura y pH), fueron coincidentes en ambas metodologías aplicadas. Estos resultados confirman lo reportado por Fariñas et al. (2008) que consideraron al método de Perfiles Ecológicos e Información Mutua como muy bueno y adecuado en análisis de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIAR CFG (1992) *Estudos herbológicos no trigo em Trás-os-Montes numa óptica de Protecção Integrada*. Diss. Mestrado em Protecção Integrada. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica. Lisboa, 183 p.

ATLAS DO AMBIENTE DIGITAL. Disponible gratuito en: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/index.html> (acceso en 10/2011).

BARRALIS G (1975) Résultats d'une enquête sur la repartition et la densité des mauvaises herbes en France. 8^{ème} Conference du COLUMA 4, 1042-1058.

- BARRALIS G (1976) Méthode d'étude des groupements adventices des cultures annuelles à la Côte d'Or. *V^{ème} Colloque Int. Ecol. Biol. Mauvaise Herbes* 1, 59-68.
- CAETANO MF (2006) *Flora das vinhas da região demarcada do Dão*. Relatório de trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica. Lisboa, 49 p.
- CALHA I, PORTUGAL J & MENDES S (2014) *Resistência do Lolium rigidum ao Pinoxaden em searas de trigo no Alentejo*. Reunião de Grupo de Resistências aos herbicidas da Sociedade de Malherbologia. Comunicação Oral, janeiro de 2014, Madrid.
- CHARRUA MMG (1980) Sobre infestantes de trigo em Portugal. *I Congresso Português de Fitiatria e de Farmacologia. III Simpósio Nacional de Herbologia* 3, 23-29.
- CIRUJEDA A, AIBAR J & ZARAGOZA C (2011) Remarkable changes of weed species in Spanish cereal fields from 1976 to 2007. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 675-688.
- DEVINEAU JL & FOURNIER A (2007) Integrating environmental and sociological approaches to assess the ecology and diversity of herbaceous species in a Sudan-type savanna (Bondoukuy, western Burkina Faso). *Flora* 202, 350-370.
- FARIÑAS MR, LÁZARO N & MONASTERIO M (2008) Ecología comparada de *Hypericum laricifolium* Juss. Y *H. juniperinum* Kunth en el valle Fluvio-glacial del Páramo de Mucubají. Mérida, Venezuela. Sociedad Venezolana de Ecología. *Ecotrópicos* 21(2), 75-88.
- FERNANDES JM (2003) *Ecologia da Flora espontânea e competição da Erva-moira (Solanum nigrum L.) na cultura do tomate para indústria*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica. Lisboa, 225 p.
- FERNANDES JM (1994) *Estudos de competição da erva-moira na cultura do tomate para indústria numa perspectiva de Protecção Integrada*. Diss. Mestrado em Protecção Integrada. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica. Lisboa, 137 p.
- FRIED G, KAZAKOU E & GABA S (2012) Trajectories of weed communities explained by traits associated with species' response to management practices. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 158, 147-155.
- GODRON M (1965) *Les principaux types de profils écologique*. C.N.R.S.-C.E.P.E. Montpellier, 8 p.

- GOUNOT M (1958) Contribution a l`étude des groupements végétaux messicoles et rudéraux de la Tunisie. *Annual Service Botanique et Agronomic de Tunisie* 31, 1-288.
- LAVRADOR F, MONTEIRO A & SOUSA BASTOS M (2013) Gestión de la vegetación en los ferrocarriles Portugueses – estudio de un caso. *Actas de XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, València*. 319-323.
- MAILLET J (1981) *Evolution de la flora adventice dans le Montpellierais sous la pression des techniques culturales*. Thèse Doctorat Ing. Ecologie, U.S.T.L. Montpellier, 200 p.
- MICHEZ JM & GUILLERM J (1984) Signalement écologique et degré d`infestation des adventices des cultures d`été en Lauragais. *7^{ème} Coll. Int. Ecol. Biol. Mauvaises Herbes* 1, 155-162.
- MONTEIRO A, CAETANO F, VASCONCELOS T & LOPES CM (2012) Vineyard weed community dynamics in the Dão winegrowing region. *Ciência Técnica e Vitivinícola* 27(2), 73-82.
- OKSANEN J, BLANCHET FG, KINDT R et al. (2013) vegan: Community Ecology Package. R package version 1.17-6. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- PACHECO AI (2009) *Vegetação espontânea de olivais intensivos no Baixo Alentejo*. Diss. Mestrado em Engenharia Agronómica – Hortofruticultura e Viticultura. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica. Lisboa, 81 p.
- PALLAVICINI Y, BASTIDA F, PUJADAS A, IZQUIERDO J & GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL (2013) Comparación de la riqueza y la composición de especies arvenses entre los diferentes hábitats de los cultivos cerealistas. *Actas XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, València*, 195-198.
- PROVETE DB, SILVA FR & SOUZA TG (2011) *Estatística aplicada à ecologia usando o R*. Programa de pós-graduação em Biologia Animal. Universidade Estadual Paulista, S. José do Rio Preto, 122 p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- SÁ MGF (1989) *Ecologia da flora das searas de trigo do Alto Alentejo*. Dissertação Mestrado em Produção Vegetal. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 125 p.

- SANTOS LMP (1992) *Ecologia da flora da Serra de Montejunto*. Trabalho fim de curso de Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica. Lisboa, 184 p.
- SCHAEFER J (2014) Multivariate applications in ecology. Disponible en: <http://ichthyology.usm.edu/courses/multivariate/schedule.php> (acceso en: 1/03/2014).
- TER BRAAK CJF (1987) The analysis of vegetation-environment relationships by canonic correspondence analysis. *Vegetatio* 69, 69-77.
- VASCONCELOS MTC (1984) *Estudos bio-ecológicos das infestantes na cultura do tomateiro*. Diss. Mestrado em Produção Vegetal. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica. Lisboa, 122 p.
- VASCONCELOS T, MOREIRA I & PORTUGAL J (1999a) Flora infestante na cultura do tomate para indústria no Baixo Alentejo. *Actas de Horticulturae* 3, 308-311.
- VASCONCELOS T, TAVARES M & GASPAR N (1999b) Aquatic plants in the rice fields of the Tagus valley, Portugal. *Hydrobiología* 415, 59-65.
- VELA MJ (1998) *El viñedo del Campo de Borja con su flora infestante*. Centro d'estudios Borjanos. Institución Fernando El Católico. Borja, 126 p.
- VERGEL AFO (2009) *Heterogeneidad de la vegetación en un paisaje de origen glacial en el Páramo de las cruces, sierra de la Culata, Mérida, Venezuela*. Postgrado en Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, 127 p.
- WAGENMAKERS E & FARRELL S (2004) AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic Bulletin & Review* 11(1), 192-196.