

# CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDADES AGROFORESTALES: ANÁLISIS MULTIVARIABLE Y BAYESIANO

Ana Cano-Ortiz<sup>1</sup>, Francisco J. Esteban Ruiz<sup>2</sup>, Carlos Pinto-Gomes<sup>3</sup>, Alfonso Rodríguez-Torres<sup>4</sup>, Joaquín Goñi<sup>5</sup>, Irene de la Haza Campaña<sup>2</sup> y Eusebio Cano Carmona<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamentos de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas. 23071-JAÉN (España). Correo electrónico: ecano@ujaen.es

<sup>2</sup>Biología Experimental. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas. 23071-JAÉN (España).

<sup>3</sup>Departamento de Ecología. Universidad de Évora. Largo dos Colegiais 2. 7004-516-ÉVORA (Portugal).

<sup>4</sup>Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Carlos III s/n. Edificio Sabatini. 45071-TOLEDO (España).

<sup>5</sup>Departamento de Física y Matemática Aplicada. Universidad de Navarra. C/ Inunlarrea 1. 31080-PAMPLONA (España).

## Resumen

Como consecuencia de las investigaciones realizadas en España y Portugal sobre bioindicadores edáficos en el olivar (composición florística y edáfica), se han obtenido un conjunto de asociaciones vegetales, de las cuales resaltamos en este trabajo *Trifolio cherleri-Plantaginetum bellardii* Rivas Goday 1958 (TP), *Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae* Rivas-Martínez & Izco 1977 (TT) y *Plantago bellardi-Aegilopetum geniculatae* nova (PA). Las dos primeras se desarrollan sobre sustratos silíceos de ombrotipo seco-subhúmedo del sur de España, y la tercera que se desarrolla en los territorios alentejanos de Portugal sobre sustratos neutros y ombrotipo seco-subhúmedo. Con el fin de caracterizar y asignar de modo adecuado los resultados obtenidos en cada parcela a un tipo de asociación vegetal determinada, y a su vez establecer las posibles relaciones planta-suelo en cada asociación, hemos utilizado técnicas estadísticas multivariantes y bayesianas. El análisis de conglomerados realizado a partir de los índices de abundancia-dominancia puso de manifiesto cómo los inventarios pertenecientes a la asociación PA se agrupan en una rama única y separada de la correspondiente a las otras dos asociaciones (TP y TT). Por otra parte, cuando para cada asociación se obtiene la divergencia de *Kullback-Leibler* entre una de las especies características que da nombre a la asociación, y las demás especies y los atributos edáficos de las parcelas en las que se detectó dicha asociación, se observa cómo cada comunidad se caracteriza no sólo por las especies presentes sino también por la mayor información proporcionada por determinados atributos edáficos.

Palabras clave: *Fitosociología, Estadística, Asociación, Ecológico*

## INTRODUCCIÓN

En España se ha practicado una olivicultura tradicional hasta la década de los setenta del

siglo pasado, pero la intensa renovación tecnológica en el cultivo del olivo dio lugar a la implantación de una *Nueva Olivicultura*, que con una plena aceptación económica y social ha

llegado hasta nuestros días; consecuencia de ello ha sido el uso desmesurado de pesticidas, herbicidas y productos fitosanitarios que causan un gran impacto ambiental (GUERRERO, 1991).

La olivicultura puede ser sostenida y sostenible. La primera es la que se lleva a cabo con un aporte externo de energía (es lo que se conoce como explotación agrícola) sin tener en cuenta la conservación, y existe el aporte continuo de productos (nutrientes) para la producción del olivar, por lo que se trata de llevar a cabo una producción lo más alta posible que conlleva un coste ambiental y, por supuesto, un alto coste económico para el agricultor. Por otro lado, la agricultura sostenible es aquella en la que se obtiene el recurso sin que este se agote, de tal manera que por sí mismo se recupera y, por tanto, no es necesario un aporte de energía externa. Así pues, existe una justificación ambiental para el estudio de las comunidades vegetales en el cultivo de olivar, ya que su mantenimiento puede ayudar a resolver las crecientes problemáticas de erosión de suelos, contaminación de acuíferos, pérdida de biodiversidad, introducción de elementos florísticos invasores, desequilibrios poblacionales de plagas debido a la pérdida de los ecosistemas, etc. Por consiguiente vemos necesaria la implantación, en una mayor extensión del territorio, de una agricultura que respete al medio ambiente al mismo tiempo que es productiva para el agricultor (CANO-ORTIZ, 2007).

Para una adecuada implantación en el olivar de una agricultura ecológica rentable, es necesaria la caracterización fitosociológica y edáfica de las parcelas de cultivo. Sin embargo, la asignación a una determinada asociación de las especies vegetales presentes en los inventarios realizados a pie de campo no siempre resulta una tarea sencilla, más aún cuando se detecta cierta similitud entre los índices de abundancia dominancia de las mismas o se revisan los trabajos previos descritos por otros autores en zonas de estudio similares. Así pues, en este trabajo se incluyen los resultados iniciales obtenidos tras la aplicación de métodos estadísticos avanzados con el fin de asignar parcelas a una determinada asociación y proponer el posible establecimiento de nuevas asociaciones. Concretamente, se analizan los resultados fitosociológicos y edáficos obtenidos en una serie de parcelas de cultivo de olivar del sur de España y el alentejo de Portugal. La composición florística de

las parcelas estudiadas en España a priori sería encuadrada como perteneciente a las asociaciones *Trifolio cherleri-Plantaginetum bellardii* Rivas Goday 1958 y *Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae* Rivas-Martínez & Izco 1977; sin embargo, en el caso de las parcelas alentejanas, estas bien podrían haberse asignado a alguna de las dos anteriores asociaciones citadas, aunque como trata de demostrar nuestro estudio, el empleo de técnicas estadísticas avanzadas apoyan su asignación a una nueva asociación que denominamos *Plantago bellardi-Aegilopetum geniculatae* nova.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron 60 parcelas de muestreo en Portugal y España, siguiendo criterios de homogeneidad fisonómica. En ellas se aplicó la metodología fitosociológica de BRAUN-BLANQUET (1979). En primer lugar se realizó un estudio del área mínima, que en todos los casos fue de 1 m<sup>2</sup>, área en el que se encuentra la máxima biodiversidad de las comunidades de estudio (CANO-ORTIZ et al., 2005). A continuación se tomaron datos de altitud y localización con GPS, cobertura, altura media de la vegetación, pendiente, orientación, especies presentes y se llevó a cabo la estima de la abundancia-dominancia. Para la denominación de los taxones se han utilizado diversas floras: Flora Ibérica, Flora Europea, Flora de Andalucía Occidental y en especial la Flora de PEREIRA COUTINHO (1939) para Portugal. Paralelamente, en todas las parcelas se recogieron tomas de 1 kg de suelo obtenido a diversa profundidad según el sistema radicular de las especies dominantes; estos suelos son identificados con el mismo código que los inventarios fitosociológicos producidos en esa misma UTM. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Agroalimentario de Granada (Atarfe), siguiendo el procedimiento de análisis estipulado en el BOE 246, orden del 17/09/1981. Se analizaron los parámetros edáficos (atributos del suelo) más influyentes en la presencia de los taxones: capacidad de intercambio catiónico, carbonatos, calcio, fósforo asimilable, magnesio, materia orgánica oxidable, nitrógeno, pH, potasio, salinidad y textura.

Finalmente se aplica el modelo estadístico bayesiano para comprobar que el modelo fitosociológico es correcto y para establecer la relación entre los parámetros florísticos y edáficos.

Puesto que en su conjunto se ha detectado la presencia de más de 300 especies de herbáceas, y dado que pretendemos establecer reglas de asociación entre los componentes florísticos de las asociaciones resultantes y las características edáficas de las parcelas en las que están presentes, hemos recurrido a métodos estadísticos avanzados. Así pues, la agrupación de los inventarios de cada una de las asociaciones florísticas se ha establecido mediante análisis de conglomerados con el uso de los programas CLUSTER Y TREEVIEW (<http://rana.lbl.gov/EisenSoftware.htm>), y las relaciones entre las diferentes especies de las asociaciones fitosociológicas detectadas y sus parámetros edáficos se han analizado mediante la obtención de redes probabilísticas bayesianas y la divergencia de *Kullback-Leibler* con el uso del programa BAYESIA LAB 3.1 (<http://www.bayesia.com>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

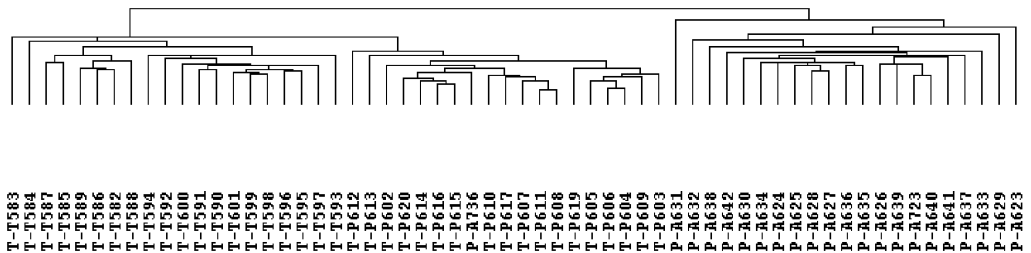
El estudio fitosociológico puso de manifiesto que, de las 60 parcelas estudiadas, 19 de ellas podían asignarse inicialmente como correspondientes a la asociación *Trifolio cherleri-Plantaginetum bellardii* Rivas Goday 1958 (TP) y 20 a la asociación *Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae* Rivas-Martínez & Izco 1977 (TT); ambas asociaciones se detectaron en sustratos de pizarras paleozoicas, granitos y cuarcitas (sustratos silíceos)

de ombrotipo seco-subhúmedo. Las 21 parcelas restantes fueron a priori asignadas a *Plantago bellardi-Aegilopetum geniculatae nova* (PA), que se desarrollan en los territorios alentejanos de Portugal sobre sustratos neutros y ombrotipo seco-subhúmedo (GARCÍA FUENTES & CANO, 1996).

La figura 1 muestra los resultados obtenidos tras el análisis de conglomerados correspondiente a estas asociaciones, en la que se observa una agrupación adecuada de las parcelas según el tipo de asociación propuesta. Puesto que este análisis se ha realizado a partir de los índices de abundancia dominancia de las especies presentes en los inventarios estudiados, la agrupación se obtiene como resultante de sus componentes florísticos y su relación de parentesco al presentar una similar sinecología y corología; si bien existen diferencias florísticas que agrupan los inventarios acordes al tipo de asociación asignada a priori, el compartir diferentes especies las conecta desde el punto de vista dinámico.

En cuanto a los valores de los atributos edáficos mostrados en la tabla 1, puede observarse cómo éstos también son propios y característicos según el tipo de asociación propuesta.

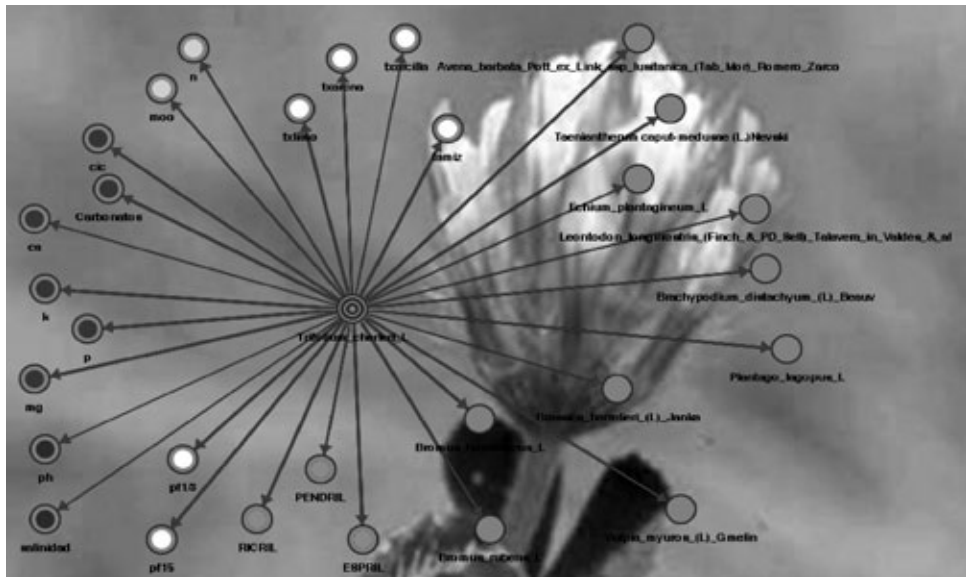
Como abordaje para la búsqueda de relaciones planta-suelo hemos utilizado una aproximación bayesiana. Un ejemplo de red probabilística bayesiana se muestra en la figura 2 para la asociación TT (el algoritmo de aprendizaje utilizado fue *Augmented Naives Bayes*) cuando el nodo diana es la especie *Trifolium cherleri*. En ella puede observarse un diferente grosor de los arcos que relacionan la especie utilizada como nodo diana con otras especies características de la asociación



**Figura 1.** Dendrograma correspondiente al análisis de conglomerados de los inventarios de los índices de abundancia-dominancia de las especies vegetales presentes en las parcelas estudiadas. Cada inventario se representa con un número y se le antepone la asociación a priori asignada. T-P: *Trifolio cherleri-Plantaginetum bellardii* Rivas Goday 1958; T-T: *Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae* Rivas-Martínez & Izco 1977; P-A: *Plantago bellardi-Aegilopetum geniculatae nova*

<i>Trifolio cherleri-Plantagnetum bellardii</i>											
CIC	MOO	N	P	Mg	K	pF 15atm	Tx arc	Tx ar	Tx lim	Sa	pH
meq/100g	%	%	p.p.m	meq/100g	meq/100g	%	%	%	%	mmho/cm	
5,217	1,569	0,086	5,263	0,519	0,142	4,791	9,682	75,470	14,869	0,047	6,047
<i>Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae</i>											
CIC	MOO	N	P	Mg	K	pF 15atm	Tx arc	Tx ar	Tx lim	Sa	pH
meq/100g	%	%	p.p.m	meq/100g	meq/100g	%	%	%	%	mmho/cm	
9,630	1,458	0,084	5,111	1,097	0,156	6,673	13,588	64,925	21,488	0,049	6,130
<i>Plantagini bellardii-Aegilopetum geniculatae</i>											
CIC	MOO	N	P	Mg	K	pF 15atm	Tx arc	Tx ar	Tx lim	Sa	pH
meq/100g	%	%	p.p.m	meq/100g	meq/100g	%	%	%	%	mmho/cm	
10,538	1,800	0,136	5,605	1,713	0,206	11,824	25,825	44,980	29,201	0,105	7,581

**Tabla 1.** Valores medios de los atributos edáficos obtenidos en las parcelas correspondientes a las asociaciones estudiadas. CIC: capacidad de intercambio catiónico,-, MOO: materia orgánica oxidable; P: fósforo; Mg: magnesio; K: potasio; pF 15 atm: presión de filtración a 15 atmósferas; Tx arc, Tx ar y Tx lim: texturas de arcilla, arena y limo (respectivamente); Sa: salinidad



**Figura 2.** Red probabilística bayesiana correspondiente a la asociación *Trifolio cherleri-Taeniatheretum capitis-medusae* Rivas-Martínez & Izco 1977. El modelo presenta como nodo diana la especie *Trifolium cherleri*. Un mayor grosor de los arcos indica una mayor información mutua entre los nodos relacionados. (Ver la descripción de las abreviaturas en la Tabla 1.)

y con los atributos edáficos de las parcelas en los que dicha asociación fue descrita. Un mayor grosor del arco indica una mayor reducción de la incertidumbre de la distribución de probabilidad del índice de abundancia-dominancia de la especie objeto de interés (en este caso *Trifolium cher-*

*leri*) cuando conocemos las características del nodo al que se conecta. O dicho de otro modo, cómo el conocimiento previo de la presencia de determinadas especies características y de atributos edáficos concretos nos ayuda a definir el índice de abundancia-dominancia de dicha especie,

para ello utilizamos el índice propuesto por VAN DER MAAREL (1979) y, por lo tanto, nos proporciona información característica de esta asociación en concreto (CANO-ORTIZ, 2007)

El grosor de los arcos de las redes probabilísticas bayesianas está relacionado con la divergencia de *Kullback-Leibler*, un índice que en estadística bayesiana nos indica la cantidad de información útil, o ganancia de información, que podemos obtener del valor del nodo diana una vez conocido el valor de otro nodo con el que se relaciona. Las especies características y los atributos edáficos que presentan una divergencia  $KL > 3$  en cada una de las asociaciones estudiadas son: para la asociación TP (con nodo diana *Trifolium cherleri*), *Plantago bellardi*, *Hypochaeris achyrophorus*, potasio, calcio y capacidad de intercambio catiónico; para la asociación TT (con nodo diana *Trifolium cherleri*), *Bromus hordeaceus*, *Taeniantherum caput-medusae*, *Avena barbata*, potasio, fósforo, tamiz y magnesio; y para la asociación PA nova (con nodo diana *Aegilops geniculata*), sólo *Aegilops triuncialis*, aunque el tamiz presenta un valor próximo a 3 (0,28). Así pues, las relaciones establecidas por el modelo bayesiano entre los parámetros florísticos y edáficos muestran, a través de la divergencia de *Kullback-Leibler*, que la información aportada a través de las relaciones establecidas entre ellas son propias y diferentes para cada asociación.

Por tanto las asociaciones fitosociológicas quedan claramente delimitadas unas de otras como consecuencia de las diferencias florísticas, ecológicas y biogeográficas existentes (GÉHU, 1980). Así mismo se demuestra que las asociaciones vegetales pueden proponerse como bioindicadoras de determinados atributos del suelo (CANO-ORTIZ et al., 2005), lo cual puede ser de utilidad para el establecimiento de una agricultura ecológica en sistemas agroforestales ya que el mantenimiento de las cubiertas, además de ejercer una protección física del suelo y evitar en gran medida el uso de herbicidas, nos proporciona una idea de la presencia de determinados atributos edáficos al estar estos relacionados con especies concretas, lo cual

puede reducir el uso en ocasiones indiscriminado de suplementos nutricionales y abaratar costes.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRAUN BLANQUET, J.; 1979. *Fitosociología*. Editorial Blume. Madrid.
- CANO ORTIZ, A.; 2007. *Bioindicadores ecológicos y manejo de cubiertas vegetales como herramienta para la implantación de una agricultura sostenible*. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén. Jaén.
- CANO ORTIZ, A.; GARCÍA FUENTES, A. Y CANO, E.; 2005. Sobre el valor del área mínima en fitosociología: caso concreto de algunas asociaciones presentes en sierra Mágina (Jaén). *Bol. Inst. Est. Giennenses* 192: 41-46.
- CANO ORTIZ, A.; GARCÍA FUENTES, A.; RUIZ, L. & CANO, E.; 2005. *Resultados preliminares de las comunidades arvenses del olivar: su uso como bioindicadores edáficos en Malherbología Ibérica y Magreví: soluciones comunes a problemas comunes*: 129-134. Huelva.
- PEREIRA COUTHINO, A.X.; 1939. *Flora de Portugal: plantas vasculares*. Editorial Bertrand. Lisboa.
- GARCÍA FUENTES, A. & CANO, E.; 1996. *Malas hierbas del olivar giennense*. Publ. Inst. Est. Giennenses. Jaén.
- GÉHU, J.M<sup>a</sup>.; 1980. La phytosociologie d'aujourd'hui. Méthodes et orientations. *Not. Fitosoc.* 16: 1-16.
- GUERRERO, A.; (1991). *Nueva olivicultura*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; FERNÁNDEZ GONÁLEZ, F.; Loidi, J.; Lousa, M. & Penas, A.; 2001. Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level. *Itinera Geobotanica* 14: 5-341.
- VAN DER MAAREL, E.; 1979. Transformation of cover abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio* 39: 97-114