

SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial: casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España)

J.L. Quero

Grupo de Investigación Ecología Terrestre, Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n 18071, Granada. España

SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial: casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España). SADIE es una herramienta de análisis espacial basado en índices de distancia. Su sencilla metodología, cuantifica el patrón espacial de una variable objeto de estudio, detecta los agregados locales de la variable y cuantifica el grado de asociación o disociación espacial entre pares de variables. SADIE genera estadísticos continuos para cada punto de muestro con lo que las diferentes facetas del patrón espacial que SADIE detecta, puede ser representadas mediante mapas. Otra de las ventajas de SADIE es su baja exigencia con datos de diferente naturaleza aunque también se describen diferentes limitaciones de la metodología. El creador de SADIE también ha diseñado un sencillo programa informático, bajo entorno Windows, que facilita la utilización de esta herramienta. A modo de ejemplo, se presentan resultados de un estudio sobre la variación espacial a pequeña escala de factores abióticos en la heterogénea Sierra Nevada (Granada). La versatilidad y sencillez de uso, han hecho que esta herramienta de análisis espacial se haya extendido considerablemente en los últimos tiempos.

Palabras clave: análisis espacial basado en índices de distancia, ecología espacial, heterogeneidad, patrón espacial.

SADIE as tool for heterogeneity quantification: practical cases in Sierra Nevada National Park (Granada, Spain). SADIE is a tool for spatial analysis based in distance indices. Its simply methodology, quantifies the spatial pattern of a focal variable, reveals local clusters of the variable and measures the association or dissociation degree between variables. SADIE creates continuous statistics in each sample point, in this way, different characteristics of the spatial pattern should be mapped. SADIE can be use with data of different nature although different shortcomings of this methodology are described. The creator of SADIE have also designed a software, which can be use in windows, facilitating the harness of this tool. As example, different results from a field study about small-scale spatial variation of abiotic factors in Sierra Nevada National Park are presented. Lately, this spatial analysis tool has been widely used in scientific literature because its versatility and simplicity.

Keywords: heterogeneity, spatial analysis by distance indices, spatial ecology, spatial pattern.

Introducción

Desde un punto de vista metodológico, el análisis espacial es una herramienta fundamental para explorar si una variable sigue un patrón espacial determinado, ya sea homogéneo, heterogéneo o aleatorio. La base teórica de este tipo de análisis consiste en la evaluación de objetos o entidades, sobre la base de conocimiento de su situación en el espacio. El análisis espacial se ha desarrollado inicialmente en otras disciplinas tan variadas como la geografía, la ingeniería, la geología o la física. Es por ello que la ecología actual dispone de muchas herramientas para el análisis espacial (Dale, 1999; Fortin y Dale, 2005). SADIE (spatial analysis by distance indices) es el curioso acrónimo de una técnica desarrollada por Joe Perry y colaboradores en la Estación Experimental de Rothamsted (Harpenden, Reino Unido), que se basa en la utilización de índices de distancia. Su

sencilla base matemática y estadística junto con los escasos requerimientos de la estructura de datos, hacen de SADIE un asequible método para el análisis espacial de los datos ecológicos. Fue ideado originariamente para el análisis espacial de la distribución de poblaciones de animales, donde frecuentemente la información es obtenida en forma de conteos a lo largo del espacio. La estructura de este tipo de datos se caracterizan por un elevado número de ceros y distribuciones alejadas de la normal con lo cual se escapaban a los requerimientos de las técnicas disponibles hasta la fecha (Maestre, 2003) tales como la estacionariedad (los datos deben estar normalmente distribuidos), el isotropismo (el patrón debe mostrar la misma intensidad en todas direcciones), la equidistancia (los datos deben estar espaciados de manera regular) o el efecto borde (el tamaño y la forma del área de estudio afectan a la capacidad de los estadísticos para estimar el patrón espacial). Sin embargo, SADIE no necesita seguir ninguna de estas exigencias ya que los resultados están condicionados a la heterogeneidad presente en los mismos (Bell, 1998). A partir de las operaciones que efectúa, SADIE determina el patrón espacial general de una determinada variable en un área de estudio, detecta los agregados locales de esa variable en esa área y proporciona una medida de asociación local entre pares de variables.

Patrón espacial general de una variable objeto de estudio

En la naturaleza, una variable determinada puede tener fundamentalmente un patrón espacial agregado, regular o aleatorio. La base matemática que usa SADIE para evaluar dicho patrón es una estima de la distancia mínima en el espacio, D , requerida para obtener la regularidad, esto es, que los distintos valores de la variable estudiada alcancen el valor promedio en todas las posiciones del espacio (**Fig. 1A**). Para calcular esta distancia, SADIE utiliza un algoritmo que optimiza el flujo de transporte desde zonas con valores altos de la variable hasta zonas con valores bajos de la variable. Una vez obtenido el valor D de nuestros datos (D_{obs}), necesitamos evaluar estadísticamente si este valor difiere de la aleatoriedad. Para ello, SADIE realiza un test de permutaciones donde los valores de la variable son distribuidos al azar en el espacio; esto se repite varios cientos o miles de veces, calculándose D con cada una de estas permutas y obteniéndose así su distribución de frecuencias. La división del valor observado, D_{obs} , por el valor medio, D_{perm} , obtenido a partir de las permutaciones genera un índice de agregación, I_a , que describe el patrón espacial de los datos: comúnmente, el patrón espacial es agregado, cuando $I_a > 1$, aleatorio si $I_a = 1$ y regular si $I_a < 1$. La significación estadística de D (P -valor) puede obtenerse calculando qué proporción de valores de D en la distribución de frecuencias tiene un valor igual o mayor al valor observado (**Fig. 1B**). Para más información sobre cómo se obtiene el índice I_a puede consultarse un didáctico tutorial sobre SADIE, que puede descargarse gratuitamente en la siguiente dirección: http://www.rothamsted.ac.uk/pie/sadie/SADIE_downloads_tutorial_page_5_5.php

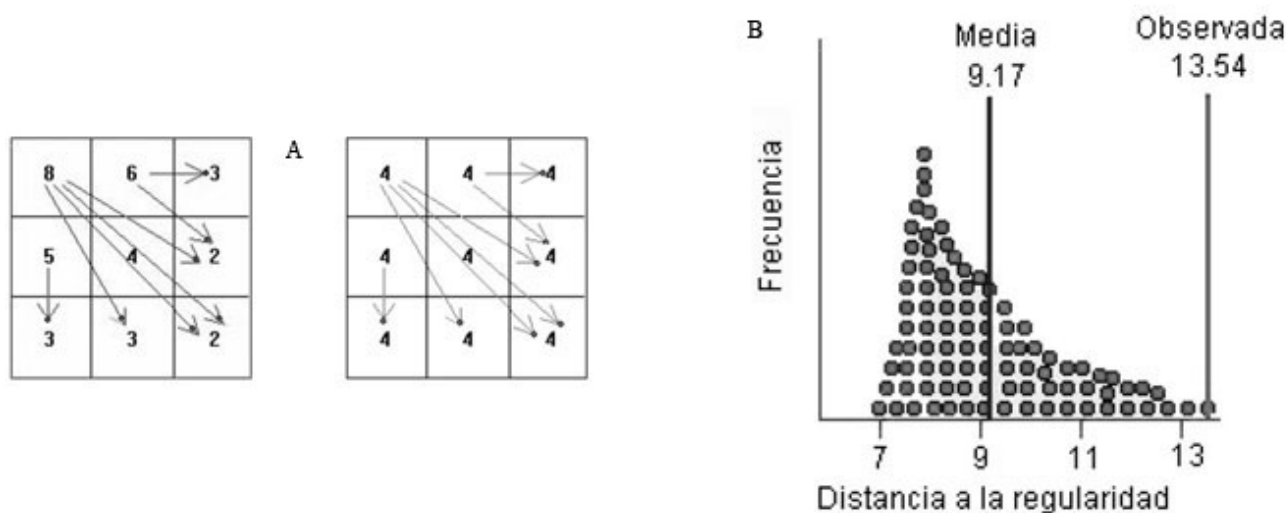


Figura 1. A) En el recuadro de la izquierda se encuentra la distribución original de los valores de la variable, mientras que en de la derecha se encuentra la distribución regular que alcanza después del movimiento de los individuos. Los flujos desde las celdas con más individuos que la media se encuentran representados por las flechas. En este ejemplo, $D = 13,54$. **B)** Distribución de frecuencias de los valores de la distancia a la regularidad obtenidos durante las permutaciones, en este caso, $P = 0,01$ (un valor igual o mayor a D_{obs} de 100 permutas), indicando la presencia de una agregación significativa (Tomado de Maestre 2003).

Detección de agregados locales de una variable en el área de estudio

I_a , es una medida del patrón espacial general de un grupo de datos en un área de estudio determinada, pero no proporciona información sobre una zona concreta del área de estudio, por ejemplo, si una determinada zona corresponde a una mancha (zona con valores altos de la variable) o a un claro (zona con valores bajos de la variable). Esta información se obtiene del índice de agrupación (v), que cuantifica el grado en el que cada valor de la variable en su posición, contribuye al patrón espacial general de los datos. SADIE calcula un índice de agrupación (v) en cada posición muestreada basándose nuevamente en el algoritmo de transporte. Si se considera una unidad A donante que tiene un flujo de unidades hacia n unidades receptoras, la distancia media de flujo, Y_A , se calcula teniendo en cuenta la magnitud y la distancia del flujo desde A a n . Y_A es un buen indicador de la agregación porque tiende a ser mas elevado para una unidad que forma parte de una mancha que para una que tiene un valor de la variable elevado pero que esta rodeada por unidades vecinas con valores bajos. Sin embargo, Y_A depende de la escala a la que las distancias son medidas, del valor de cobertura y de su localización respecto a otras unidades. Entonces, a partir de Y_A se calcula v que es adimensional y tiene en cuenta estas características. Este proceso se repite para cada una de las unidades de muestreo, con lo cual, se obtiene un valor de v por posición. Así, podemos delimitar espacialmente la presencia de manchas y claros en nuestra área de estudio. Mas detalles sobre los cálculos pueden encontrarse en Perry *et al.*, (1999). Las unidades de muestreo situadas dentro de una mancha tienen valores de v (por convención v_i) elevados y positivos, mientras que, en aquellas ubicadas en un claro, éstos (por convención v_j) son elevados y negativos. La presencia de agrupaciones en los datos viene dada por valores elevados de v_i o muy bajos de v_j . Valores de v mayores que 1,5 o menores que -1,5 indican la presencia de una mancha o de un claro respectivamente, mientras que aquellos cercanos a 1 indican una distribución aleatoria de esa unidad (Perry *et al.*, 1999). Una de las principales ventajas de éste índice es que obtenemos un valor de v por cada posición muestreada en nuestra área de estudio de manera que podemos visualizar las manchas y claros mapeando los valores de v mediante interpolación lineal (**Figs. 2 y 3**).

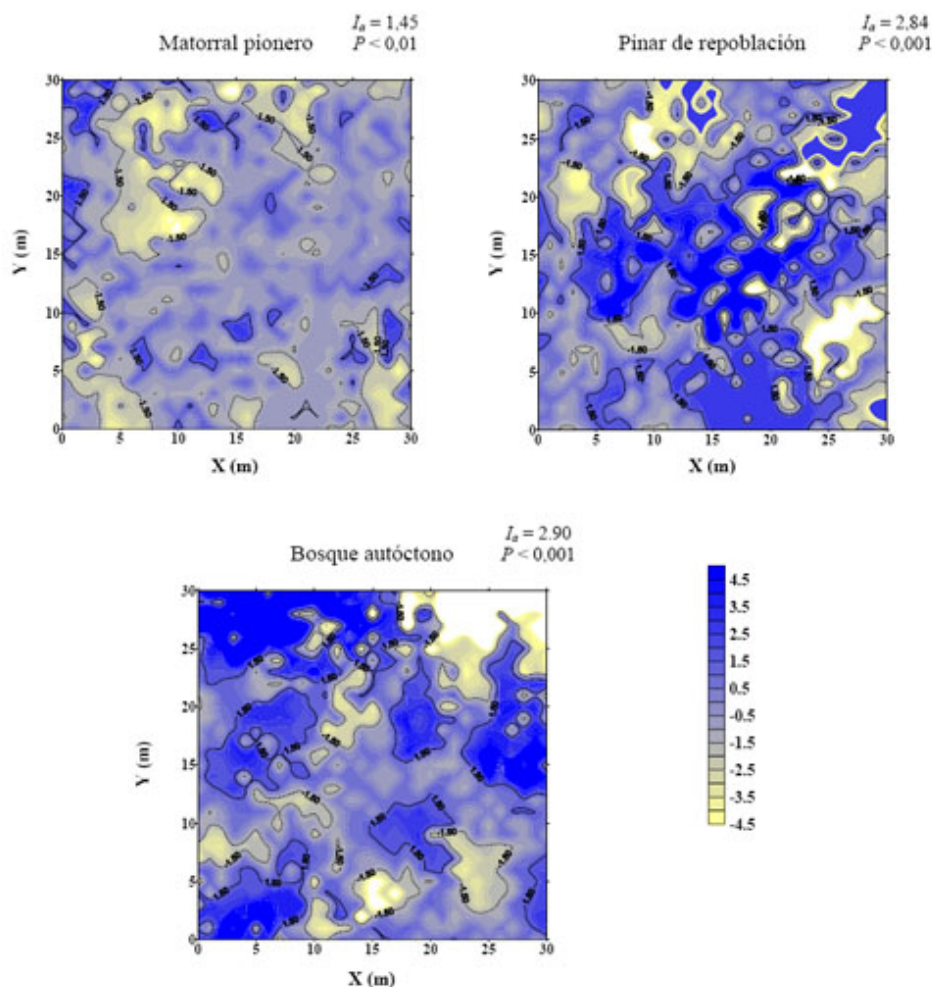


Figura 2. Mapas del índice de agrupación (v) de la humedad del suelo tomada en primavera obtenidos en tres unidades de paisaje del Parque Nacional de Sierra Nevada (matorral pionero, pinar de repoblación y bosque autóctono). Las áreas de azul intenso, indican valores de v por encima de 1.5 y muestran manchas de agregación (delimitados por una línea continua), mientras que las áreas amarillas indican valores de v por debajo de -1,5 y muestran claros de agregación (línea discontinua). En cada una de las unidades de paisaje, se muestra el patrón general de agregación (I_a) y su significación estadística. Los mapas se obtuvieron mediante interpolación lineal con Surfer v8.

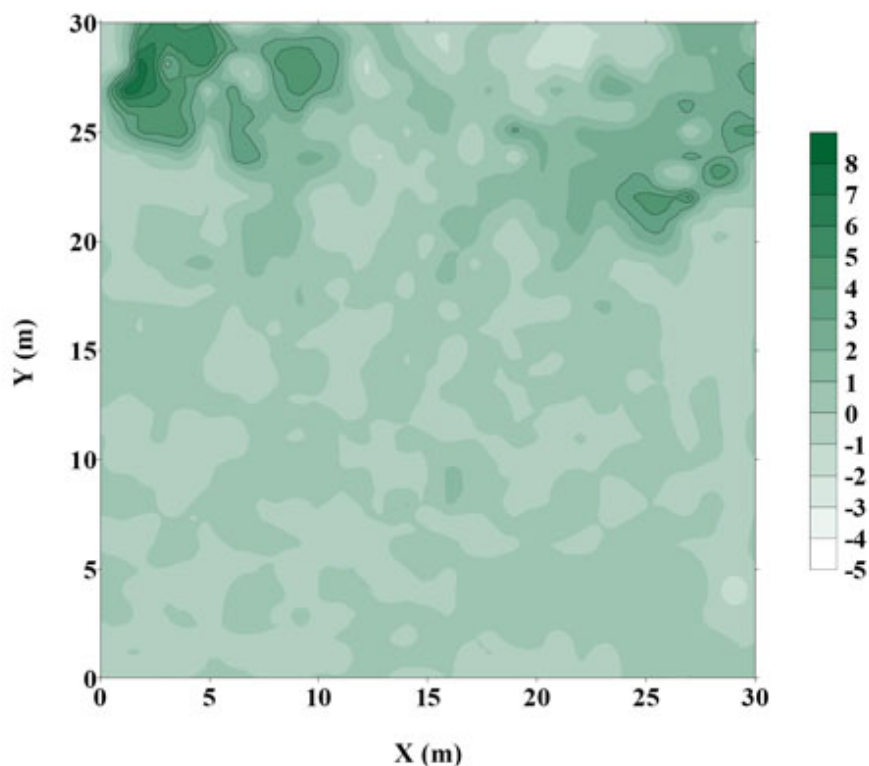


Figura 3. Mapa de asociación local entre la humedad del suelo tomada en verano y la disponibilidad de luz (GSF) en una parcela de bosque autóctono en el Parque Nacional de Sierra Nevada. Las áreas de color verde y blanco señalan las zonas de asociación y disociación de los patrones espaciales de ambas variables, estando contorneadas por una línea negra cuando ésta fue significativa ($P < 0,05$). En este caso, sólo encontramos manchas de asociación. El patrón general de asociación espacial fue positivo y significativo ($r = 0,5$; $P < 0,001$). Los mapas se obtuvieron mediante interpolación lineal con Surfer v8.

Co-variación espacial entre pares de variables

Ya que en su formación se ha tenido en cuenta el patrón espacial de la variable, los índices de agrupación (v) pueden utilizarse para evaluar la co-variación espacial entre dos variables, es decir, el grado de correlación espacial positiva (asociación), negativa (disociación) o neutra (falta de asociación espacial). Para ello, bastaría con hacer un análisis de correlación de los índices de agrupación de sendas variables. En este caso, la correlación sólo describe el grado de asociación o disociación para toda la zona de estudio, sin embargo, SADIE efectúa un análisis de asociación local capaz de distinguir las zonas de asociación y disociación que ocurren dentro del área de estudio (Perry y Dixon, 2002). En definitiva, cuantifica el grado al que cada unidad de muestreo contribuye a la medida global de asociación espacial (Winder *et al.*, 2001). Por ejemplo, si en una zona donde existiesen valores altos de una variable (mancha), la otra variable presentara valores bajos (claro), estas dos variables estarían localmente disociadas dentro del área de estudio. La medida de asociación para una unidad de muestreo (x), se calcula teniendo en cuenta los índices de agrupación de las dos variables objeto de estudio (v_1 y

v_2), sus medias (q_1 y q_2), y el número de unidades muestreadas (Perry y Dixon, 2002), de hecho, la media de todos los valores de χ correspondientes a las diferentes unidades de muestreo, equivale al coeficiente de correlación de los valores de v para ambas variables estudiadas. Al igual que v , los valores de χ son continuos y están autocorrelacionados, por lo que se pueden representar en un mapa en dos dimensiones con el fin de visualizar las zonas donde se produce asociación o disociación dentro de la superficie estudiada (Maestre, 2003, **Fig. 3**). Esto permite revelar características de los datos que no son evidentes cuando se analiza el coeficiente de correlación de los valores de v para las dos variables (Anselin, 1995). La significación estadística de χ puede obtenerse a partir del test de permutaciones utilizado para evaluar la correlación de los valores de v para las dos variables estudiadas (v_1 y v_2), (Perry y Dixon, 2002).

Breve descripción del programa informático SADIE

El creador de esta útilísima herramienta de análisis espacial, Joe Perry, también ha diseñado un programa de ordenador de fácil manejo, bajo entorno Windows, en el que se pueden llevar a cabo todos los análisis descritos anteriormente. El programa puede ser descargado de manera gratuita en la siguiente dirección URL <http://www.rothamsted.ac.uk/pie/sadie/>, donde pueden encontrarse también manuales de instrucciones, numerosa documentación y separatas de numerosos artículos que han utilizado SADIE. Básicamente, el programa está compuesto por dos aplicaciones, una de ellas, denominada “rebrelv13.exe”, calcula los índices que describen los patrones espaciales, tanto general (I_a) como locales (v) de una variable objeto de estudio; la otra, calcula los índices que describen el patrón espacial de asociación de dos variables, general (coeficiente de correlación de v) y locales (χ), y es denominada “n_a.exe”. Ambas aplicaciones realizan el test de permutaciones para calcular la significación estadística de los diferentes patrones espaciales. Los ficheros de entrada pueden ser creados fácilmente con formato texto delimitado por tabulaciones (*.dat ó *.txt). Para el caso de “rebrelv13.exe” se necesitan dos ficheros de entrada, “rbni5.dat” con tres columnas, dos de posición (coordenadas x, y) y una con el valor de la variable objeto de estudio. El otro fichero llamado “rbni8.dat” sólo está compuesto por dos números, la “semilla” para comenzar las randomizaciones y otro número que indica el número de randomizaciones a realizar. En el caso de la aplicación “n_a.exe”, son necesarios dos ficheros “n_ai4.dat” y “n_ai5.dat”; cada uno de ellos llevará tres columnas, dos con las coordenadas x e y, una tercera con los valores del índice de agrupación la variable a analizar (v). Se requiere también un tercer fichero, “n_ai8.dat”, análogo a “rbni8.dat”. Sendas aplicaciones generarán varios ficheros de salida en el mismo formato *.dat ó *.txt, fácilmente interpretables y con explicaciones de cada uno de los resultados.

Limitaciones de SADIE

Dada su metodología, SADIE es una herramienta de fácil manejo que calcula el patrón espacial de una variable cuya naturaleza (ya sea binaria, discreta, continua etc.) no altera los resultados que obtiene SADIE. Pero no todo son ventajas con SADIE. Dado que es un método desarrollado para el análisis de conteos, su aplicación en el estudio de variables continuas y/o con decimales requiere categorización, con la consiguiente pérdida de información, aunque esto puede ser resuelto transformando cada valor en un número entero, multiplicando la variable por una potencia de 10. Por otro lado, es necesario establecer cuadrados de muestreo, es decir, cada unidad de muestreo debe de tener la misma superficie, lo que conlleva un problema a la hora de elegir el tamaño idóneo de la unidad de muestreo de cara al proceso que se quiere detectar mediante el análisis espacial (Fortín, 1989; Legendre y Legendre, 1998). Ello requiere en ocasiones un claro conocimiento del sistema objeto de estudio. Otra consideración a tener en cuenta con SADIE, fue descubierta por Xu y Madden (2003). Estos autores generaron datos artificiales para evaluar si la cantidad y posición de manchas y claros en el área de estudio podían afectar a los resultados. Demostraron que los estadísticos de SADIE, en especial I_a , dependían de la posición de los “clusters” (manchas y claros), cuando la cantidad de éstos era baja, es decir, llevado al extremo, un hipotético “cluster” puede alterar el resultado que aporta SADIE, según se encuentre en el centro o en una esquina del área de estudio. Sin embargo este error se solucionaba cuando los datos incluían gran cantidad de manchas y claros en el área de estudio. Una consecuencia directa de esto, es la precaución que debemos tener a la hora de comparar los estadísticos de SADIE entre estudios. Xu y Maden (2003) insisten en que un estadístico simple, como el I_a , no puede capturar todas las características del patrón espacial (ver también Goodall y West, 1979; Dale, 1999), y sugieren la utilización combinada de varias técnicas de análisis espacial.

Caso práctico: Heterogeneidad ambiental a pequeña escala en el Parque Nacional de Sierra Nevada

En este apartado, ejemplificaremos con datos reales derivados de un estudio de heterogeneidad a pequeña escala la metodología SADIE descrita anteriormente. Consecuencia combinada del uso humano y la historia natural, el Parque Nacional de Sierra Nevada presenta un paisaje muy heterogéneo a diferentes escalas de observación. A escala de paisaje, presenta claras diferencias, desde las huellas glaciares remanentes en las altas cumbres, hasta la aterrizada y cultivada Alpujarra, pasando por las diversas formaciones forestales en altitud intermedia. En éstas últimas, centraremos el interés de nuestro estudio, ya que a mayor resolución encontramos también una alta heterogeneidad, debida fundamentalmente a una

composición de rodales de bosque autóctono, pinar de repoblación y matorral pionero (**Fig. 4**). Dentro de estos rodales, nos preguntamos si la heterogeneidad espacial de determinadas variables ambientales determinaba la supervivencia de plántulas de especies arbóreas, evaluando también la co-variación de estas variables en el espacio. Ya que las plántulas están influenciadas por las condiciones que inmediatamente las rodean (Grubb, 1977), elegimos una escala de observación metro a metro y ubicamos en cada uno de los rodales (bosque autóctono, pinar de repoblación y matorral pionero) un área de estudio o malla de 30 x 30 m con nodos separados cada metro, lo que supone un total de 961 puntos por malla. En cada uno de estos nodos se anotaron diferentes variables ambientales. Por brevedad, y para ilustrar los diferentes análisis SADIE, utilizaremos sólo la humedad del suelo en primavera de 2005, medida con un sensor TDR ("Time Domain Reflectometry") y la disponibilidad de luz, estimada mediante fotografía hemisférica. En la página web <http://www.ugr.es/~jlquero> es posible descargar algunos ficheros de ejemplo, formato *.txt, que incluyen estos datos.



Figura 4. Panorámica general del bosque de montaña nevadense que ilustra la heterogeneidad del paisaje, formado por matorral pionero (parte inferior de la imagen), bosque autóctono dominado por *Pinus sylvestris* L. subsp. *nevadensis* Christ. (parte central de la imagen) y las densas repoblaciones forestales (al fondo de la misma). (Fotografía J. L. Quero).

Patrón espacial de la humedad del suelo en los diferentes rodales. En primer lugar, se ha evaluado el patrón espacial general de la humedad del suelo en el matorral pionero, el pinar de repoblación y en el bosque autóctono. Partimos con un fichero que contiene tres variables, la coordenada espacial x , la coordenada y , y los valores de humedad en cada una de las posiciones. SADIE detectó que la humedad del suelo en primavera de 2005 se disponía de manera agregada en el espacio en los tres tipos de rodales, es decir, en todos los casos $I_a > 1$ y $P < 0,05$ (**Fig. 2**). Pero esta información no era suficiente para detectar las diferentes manchas (valores altos de humedad agregados) y claros (valores bajos de humedad agregados) de nuestras áreas de estudio. Para ello, calculamos los índices de agrupación (v) de cada uno de los puntos de muestreo. Esta información, se puede representar en un mapa mediante *kriging*, que es una técnica de interpolación (*sensu* Fortin & Dale, 2005: ver artículo de A. Gallardo en este volumen), que nos permite estimar los valores de una superficie continua a partir de una muestra de puntos obtenidos en esa superficie, conociendo el patrón espacial de la muestra.

Co-variación espacial de la humedad del suelo en verano y la disponibilidad de luz en el bosque autóctono. En este caso, partimos de dos ficheros de datos, cada uno conteniendo las coordenadas espaciales x e y , además de los índices de agrupación (v) obtenidos mediante el anterior procedimiento. Es importante enfatizar que, sendos ficheros deben de tener los casos de cada una de las variables (coordenada x , coordenada y e índice de agrupación v) exactamente en el mismo orden, ya que para el análisis, SADIE no detecta la posición en el espacio (x , y), sino el número de caso. SADIE calcula el patrón espacial de asociación general (coeficiente de correlación de los valores de v) y local (χ). El patrón general de asociación resultó significativo y positivo; no obstante, esta asociación espacial no se encontró en todas las posiciones muestreadas (**Fig. 3**). En las manchas donde se halló este patrón, la humedad del suelo incrementó con la disponibilidad de luz, resultado

que puede parecer ilógico, aunque ya se ha encontrado en otros ecosistemas mediterráneos (Valladares & Pearcy, 2002). Por otro lado, los valores bajos de χ , indicarían disociación, aunque en este caso no encontramos manchas significativamente disociadas.

Trabajos científicos más relevantes con SADIE

Para comprobar el impacto de este tipo de análisis en la literatura científica, se ha introducido en el buscador "Web of Science" la palabra "SADIE". Encontramos un total de 55 artículos SCI que utilizan esta metodología en diferentes campos de estudio (muestreo desde 1991 hasta el presente). La mayoría de ellos corresponden a trabajos realizados en agro-ecosistemas, sin embargo también se ha utilizado en ámbitos como la ecología de la regeneración (Maestre *et al.*, 2003) o las interacciones planta-planta (Zuniga *et al.*, 2005). Además de los diferentes trabajos que el creador de SADIE ha publicado para presentar la metodología y las diferentes aplicaciones (Perry 1995, 1996, 1998; Perry *et al.*, 1999; Perry y Dixon, 2002; Perry *et al.*, 2002), podemos destacar de entre los mas citados a Bohan *et al.*, (2000), que mediante el uso de SADIE demostraron que la depredación de un escarabajo carábido (*Pterostichus melanarius* Illiger.) sobre babosas no era oportunista, y Turechek y Madden (1999) que estudiaron el patrón espacial de la incidencia de una enfermedad de la fresa (*Fragaria vesca* L.) causada por un hongo (*Phomopsis obscurans* Ellis & Everh).

Los estudios que emplean SADIE han ido incrementando desde que se publicó el primer trabajo, en 1991, en el que se esbozaba el índice de agregación (I_a) (Perry & Hewwit, 1991). Esta metodología se está expandiendo en diferentes áreas de conocimiento (13 trabajos en SCI publicados en 2005, y 6 trabajos publicados hasta mediados de 2006). La versatilidad y sencillez de uso pueden ser dos características clave que expliquen la extensión de esta herramienta de análisis espacial en la literatura científica.

Agradecimientos

Luis Matías, Irene Mendoza y Asier Herrero colaboraron en el trabajo de campo. A Rafa Villar y Regino Zamora les debo sus ánimos y la ilusión puesta en el trabajo que desempeño. Fernando Maestre fue quien me inició en esto de la estadística espacial, gracias por su empeño en enseñarme. Este estudio se desarrolló en el seno del proyecto CICYT HETEROMED (REN2002-04041-C01). JLQ disfruta de una beca FPI-MEC (BES-2003-1716) para la realización del proyecto. Este trabajo forma parte de la Red Andaluza para el Estudio del Bosque Mediterráneo (REDBOME, www.ugr.es/~redbome).

Referencias

- Anselin, L. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis* 27: 93-115.
- Bell, E. D. 1998. *Spatio-temporal dynamics of UK moths*. Tesis Doctoral, Universidad de Leicester, Reino Unido.
- Bohan, D.A., Glen, D. M., Wiltshire, C. W. y Hughes, L. 2000. Parametric intensity and the spatial arrangement of the terrestrial mollusc herbivores *Deroceras reticulatum* and *Arion intermedius*. *Journal of Animal Ecology* 69: 1031-1046.
- Dale, M. 1999. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. 324 pp.
- Fortin, M. J. y Dale, M. 2005. *Spatial Analysis. A Guide for Ecologists*. Cambridge University Press. Cambridge. 365 pp.
- Fortin, M. J., Drapeau, P. & Legendre, P. 1989. Spatial autocorrelation and sampling design in plant ecology. *Vegetatio* 83: 209-222.
- Goodall, D. W. y West, N. E. 1979. A comparison of techniques for assessing dispersion pattern. *Vegetatio* 40: 15-27.
- Grubb, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biological Review* 52:107-145.
- Legendre, P. y Legendre, L. 1998. *Numerical ecology*. Second English edition. Elsevier Publishers, Amsterdam, Holland.
- Maestre, F. T. 2002. *La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de factores bióticos y abióticos*. Tesis doctoral, Universidad de Alicante. Alicante. 365 pp. Edición en línea, URL: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=8589>
- Maestre, F. T., Cortina, J., Bautista, S., Bellot, J. y Vallejo, R. 2003. Small-scale environmental heterogeneity and spatio-

temporal dynamics of seedling survival in a degraded semiarid ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.

Perry, J. N. y Dixon, P. 2002. A new method to measure spatial association for ecological count data. *Ecoscience* 9: 133-141.

Perry, J. N. y Hewitt, M. 1991. A new index of aggregation for animal counts. *Biometrics* 47: 1505-1518.

Perry, J. N. 1995. Spatial analysis by distance index. *Journal of Animal Ecology* 64: 303-314.

Perry, J. N. 1996. Simulating spatial patterns of counts in agriculture and ecology. *Computers and Electronics in Agriculture* 15: 93-109.

Perry, J. N., 1998. Measures of spatial pattern for counts. *Ecology* 79: 1008-1017.

Perry, J. N., Liebhold, A. M., Rosenberg, M. S., Dungan, J., Miriti, M., Jakomulska, A. y Citron-Pousty, S. 2002. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography* 25: 578-600.

Perry, J. N., Winder, L., Holland J. M. y Alston R. D. 1999. Red-blue plots for detecting clusters in count data. *Ecology Letters* 2: 106-113.

Turecheck, W. W. y Madden, L. V. 1999. Spatial pattern of strawberry leaf blight in perennial production systems. *Phytopathology* 89: 421-433.

Valladares, F. y Pearcy, R. W. 2002. Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of carbon gain and photo-inhibition in a Californian shrub during a dry El Niño year. *Plant, Cell and Environment* 25: 749-759.

Winder, L., Alexander, C., Holland, J. M., Woolley C. y Perry, J. N. 2001. Modelling the dynamic spatio-temporal response of predators to transient prey patches in the field. *Ecology Letters* 4: 568-576.

Xu, X. M., Madden, L. V. 2003. Considerations for the use of SADIE statistics to quantify spatial patterns. *Ecography* 26: 821-830.

Zúñiga, B., Malda, G. y Suzan, H. 2005. Planta-nodrizza interactions in Lophophora diffusa (Cactaceae) in a subtropical desert in México. *Biotropica* 37: 351-356.