

Partición de la variación en comunidades de ácaros, influencia ambiental y espacial

Lisanny de la Rosa (Matrícula 100675664)

2026-02-24

Contents

Resumen (Abstract)	1
1. Introducción	2
2. Materiales y métodos	2
2.1 <i>Área de estudio y datos de la comunidad de ácaros</i>	2
2.2 <i>Variables ambientales</i>	3
2.3 <i>Variables espaciales</i>	3
2.4 <i>Transformación de datos</i>	3
2.5 <i>Análisis estadístico</i>	3
3. Resultados	4
4. Discusión	5
5. Limitaciones del estudio	5
6. Conclusión	5

Resumen (Abstract)

El presente estudio abordó el problema de comprender cómo los factores ambientales y espaciales influyen en la estructura de comunidades de ácaros del suelo. Se analizaron datos de una parcela de 2.5×10 m, considerando variables ambientales (densidad del sustrato, contenido de agua y tipo de sustrato) y polinomios de coordenadas espaciales. La técnica principal utilizada fue la partición de la varianza mediante análisis de redundancia (RDA). Los resultados mostraron que la fracción ambiental pura explicó el 14% de la variación, mientras que la fracción espacial pura representó el 9%, evidenciando procesos de dispersión limitada (Legendre & Legendre, 2012). Además, un 22% de la variación correspondió a la fracción compartida, lo que indica que las variables ambientales están espacialmente estructuradas (Arft et al., 1999). En conclusión, tanto el ambiente como el espacio contribuyen significativamente a la organización de las comunidades, aunque el 56% de la variación permaneció sin explicación, lo que sugiere la influencia de factores no medidos y procesos estocásticos (Borcard et al., 1992a). Una limitación importante del estudio es la escala espacial reducida, que restringe la extrapolación de los resultados a niveles regionales.

Palabras clave: Ácaros del suelo, Partición de la varianza, Redundancy Analysis (RDA), Factores ambientales, Estructura espacial, Dispersión limitada, Ecología de comunidades, Procesos estocásticos.

1. Introducción

La identificación de los factores que determinan la distribución de las especies constituye un eje central en la ecología. Se reconoce que las comunidades biológicas están estructuradas tanto por condiciones ambientales como por procesos espaciales, incluyendo dispersión y dinámica histórica (Borcard et al., 2011). En este marco, la partición de la variación se ha consolidado como una herramienta metodológica que permite separar la influencia de estas dimensiones y evaluar su importancia relativa en la organización de las comunidades (Borcard et al., 1992b).

Los ácaros oribátidos, organismos abundantes en suelos y turberas, ofrecen un modelo idóneo para este tipo de análisis. Su distribución puede estar condicionada por variables ambientales como la densidad del sustrato, el contenido de agua y el tipo de sustrato, pero también por procesos espaciales relacionados con la dispersión limitada y la heterogeneidad del hábitat (Borcard et al., 2004). El conjunto de datos clásico de la turbera de Quebec constituye un escenario de referencia para aplicar estas técnicas y explorar cómo se combinan los factores ambientales y espaciales en la estructuración de comunidades.

En este contexto, el problema central consiste en distinguir la contribución relativa de cada dimensión. Una primera pregunta que orienta este trabajo es si existe evidencia de dispersión limitada en las comunidades de ácaros. Si la fracción espacial pura explica una proporción significativa de la variación, ello sugeriría que la distribución de las especies no depende únicamente del ambiente, sino también de restricciones en la dispersión. Una segunda pregunta se refiere a la escala espacial considerada: ¿qué nivel de detalle falta por capturar en el modelo? Si la fracción inexplicada resulta elevada, podría indicar que las variables espaciales utilizadas no reflejan toda la estructura espacial, lo que abriría la posibilidad de incorporar escalas más finas o más amplias en futuros análisis. De estas preguntas se deriva la hipótesis de que tanto las variables ambientales como las espaciales contribuyen a explicar la variación en la composición de especies, pero que existe una fracción espacial significativa independiente del ambiente, lo que apoyaría la idea de que la dispersión limitada y la estructura espacial del hábitat desempeñan un papel clave en la organización de las comunidades.

Este análisis se inscribe en el marco más amplio de las ciencias ecológicas y biogeográficas. La integración de factores ambientales y espaciales permite avanzar hacia una comprensión más completa de los procesos que generan y mantienen la biodiversidad. La partición de la variación no solo aporta evidencia sobre la ecología de los ácaros, sino que también contribuye a debates generales sobre la importancia relativa del nicho y la dispersión en la estructuración de comunidades, un tema central en la ecología contemporánea Cottenie (2005).

2. Materiales y métodos

2.1 *Área de estudio y datos de la comunidad de ácaros*

El conjunto de datos mite corresponde a un muestreo clásico en ecología de comunidades realizado por Daniel Borcard en 1989. El muestreo consistió en la recolección de 70 núcleos de suelo en un área relativamente pequeña de 2.5 m × 10 m, dentro de un hábitat de musgos (*Sphagnum*) localizado en un bosque húmedo/bog del sur de Quebec, Canadá. Estos datos, junto con la información ambiental y espacial asociada, se encuentran disponibles en el paquete *vegan* de R (Oksanen et al., 2025). El dataset mite contiene la abundancia de especies de ácaros en las 70 muestras de sustrato, mientras que *mite.env* provee variables ambientales relevantes (densidad del sustrato, contenido de agua y tipo de sustrato). Por su parte, *mite.xy* incluye las coordenadas espaciales de cada muestra, lo que permite incorporar gradientes espaciales en los análisis y evaluar la influencia conjunta de factores ambientales y espaciales sobre la estructura de las comunidades de ácaros.

2.2 Variables ambientales

Las condiciones ambientales asociadas a cada muestra se obtuvieron del dataset complementario mite.env. Estas variables fueron seleccionadas por su relevancia ecológica y por representar condiciones físicas y químicas que potencialmente afectan la estructura de las comunidades de ácaros.

Variable	Descripción
SubsDens	Densidad del sustrato, refleja la compactación del medio y la disponibilidad de microhábitats.
WatrCont	Contenido de agua, indicador de humedad, factor crítico para la supervivencia y dispersión de los ácaros.
Substrate	Tipo de sustrato, variable categórica que distingue clases de hábitat y aporta información sobre heterogeneidad ambiental.

2.3 Variables espaciales

La información espacial proviene del dataset mite.xy, que contiene las coordenadas de cada muestra en el área de estudio. A partir de estas coordenadas se generaron polinomios espaciales de primer y segundo orden (x, y, x², y², xy). Este procedimiento permite modelar gradientes espaciales y capturar patrones de autocorrelación espacial en la distribución de las especies. La inclusión de polinomios espaciales es una aproximación común para representar procesos de dispersión limitada y efectos espaciales no directamente asociados a las variables ambientales medidas.

2.4 Transformación de datos

La matriz de abundancia de especies fue transformada mediante la estandarización de Hellinger (deco-stand(mite, "hellinger")). Esta transformación convierte las abundancias en valores relativos y aplica una raíz cuadrada, reduciendo la influencia de especies dominantes y evitando problemas asociados a la doble ausencia. El método de Hellinger es ampliamente recomendado para análisis de ordenación y partición de varianza en ecología comunitaria, ya que preserva las relaciones de similitud entre muestras y mejora la interpretación de los resultados.

2.5 Análisis estadístico

El análisis principal consistió en una partición de varianza mediante la función varpart() del paquete vegan.

Fracción	Descripción
Ambiente puro [a]	Varianza explicada únicamente por las variables ambientales.
Espacio puro [b]	Varianza explicada únicamente por las variables espaciales.
Fracción compartida [c]	Varianza explicada simultáneamente por ambiente y espacio, indicando estructuración espacial de las condiciones ambientales.
Varianza residual [d]	Proporción no explicada por los predictores considerados.

El significado estadístico de las fracciones de interés se evaluó mediante análisis de redundancia (RDA) y pruebas de permutación (anova.cca()), lo que permite determinar si las asociaciones observadas son robustas y no producto del azar. Este enfoque proporciona una visión integral de los factores que estructuran las comunidades de ácaros, diferenciando entre efectos puramente ambientales, espaciales y compartidos.

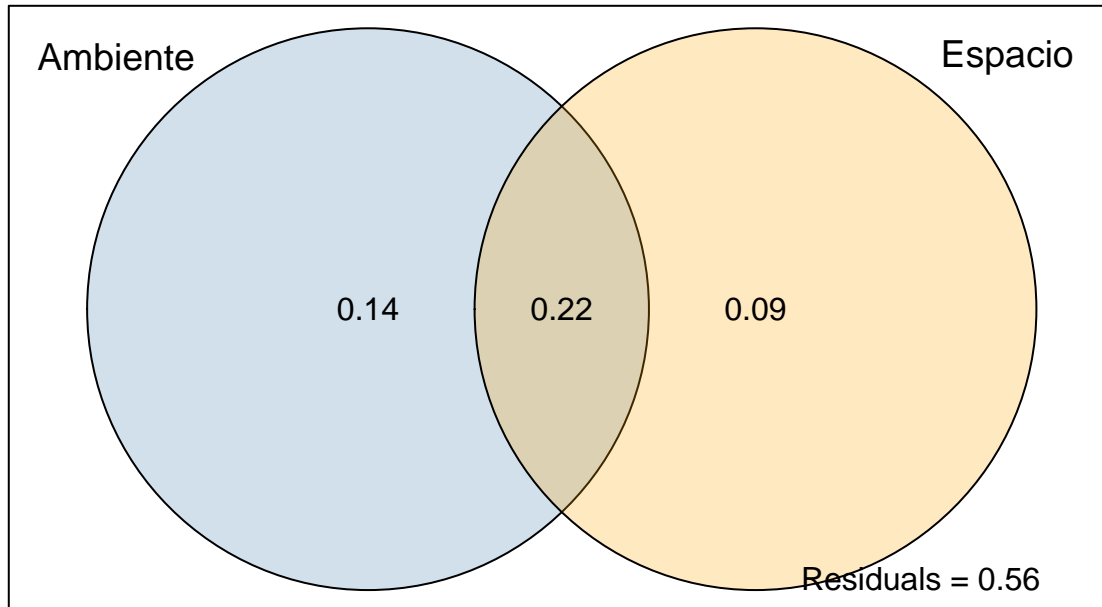
Table 3: Fracciones de varianza explicada por factores ambientales y espaciales en comunidades de ácaros

Fraccion	Varianza_explicada
Ambiente puro	0.14
Espacio puro	0.09
Compartida ambiente-espacio	0.22
No explicada	0.56

3. Resultados

El análisis de partición de la varianza reveló que la composición de las comunidades de ácaros está influenciada tanto por factores ambientales como espaciales, aunque con distinta magnitud y relevancia ecológica. La fracción ambiental pura explicó el 14% de la variación, lo que confirma que las condiciones locales del sustrato —como densidad, humedad y tipo— ejercen un efecto directo sobre la estructura comunitaria, reflejando la importancia de los gradientes microambientales en la organización de las especies. La fracción espacial pura representó el 9%, lo que sugiere la existencia de autocorrelación espacial y posibles limitaciones de dispersión, indicando que la distribución de los ácaros no depende únicamente de las condiciones ambientales, sino también de procesos de proximidad y colonización. La fracción compartida entre ambiente y espacio fue considerable, alcanzando el 22%, lo que evidencia que las variables ambientales están espacialmente estructuradas en el área de estudio y que los gradientes ambientales se distribuyen de manera sistemática en el espacio. Finalmente, la fracción no explicada alcanzó el 56%, lo que señala la influencia de factores no medidos —como microclima, composición química del suelo o interacciones biológicas— y la posible acción de procesos estocásticos en la distribución de las especies. En conjunto, estos resultados muestran que la estructura de las comunidades de ácaros responde a una combinación de determinismo ambiental, limitaciones espaciales y procesos aleatorios, subrayando la complejidad de los patrones ecológicos y la necesidad de ampliar la escala y las variables consideradas para comprender mejor la dinámica de estas comunidades.

El gráfico muestra la distribución de la varianza explicada entre factores ambientales y espaciales, destacando la fracción compartida y los residuos.



4. Discusión

Los resultados muestran que tanto los factores ambientales como espaciales contribuyen a la estructura de las comunidades de ácaros, aunque con distinta magnitud. La fracción ambiental pura (14%) indica que las condiciones locales del sustrato influyen directamente en la composición de las comunidades, lo que coincide con estudios que destacan el papel determinista de las variables ambientales en la organización de comunidades biológicas (Borcard et al., 1992a).

La fracción espacial pura (9%) sugiere la existencia de **dispersión limitada**, es decir, que la distribución de las especies no depende únicamente de las condiciones ambientales, sino también de la proximidad espacial y de procesos de colonización. Este hallazgo es consistente con la literatura sobre autocorrelación espacial en ecología de comunidades (Legendre & Legendre, 2012).

La fracción compartida (22%) evidencia que las variables ambientales están **espacialmente estructuradas**, lo que significa que la humedad y el tipo de sustrato varían de manera sistemática en el espacio. Este patrón refleja la interacción entre ambiente y espacio, y ha sido señalado como un aspecto clave en la interpretación de gradientes ecológicos (Arft et al., 1999).

Finalmente, la elevada proporción de varianza no explicada (56%) sugiere la influencia de factores no medidos, como el microclima, la composición química del suelo o interacciones biológicas (competencia, depredación). También puede reflejar procesos estocásticos en la distribución de las especies, lo que plantea la necesidad de considerar escalas espaciales adicionales para capturar mejor la variación (Borcard et al., 1992a).

En conjunto, los resultados obtenidos permiten responder de manera clara a las preguntas de investigación planteadas. Se encontró evidencia de dispersión limitada, reflejada en la fracción espacial pura, mientras que las variables ambientales mostraron estar espacialmente estructuradas, lo que se confirma en la fracción compartida entre ambiente y espacio. Una proporción considerable de la variación se debe precisamente a esta interacción, lo que sugiere que los gradientes ambientales se distribuyen de forma sistemática en el espacio. Por otro lado, la elevada fracción de varianza no explicada apunta a la influencia de factores no medidos y a la posible acción de procesos estocásticos en la distribución de las especies. Finalmente, la estructura espacial observada corresponde principalmente a procesos locales de microhábitat, aunque no se descarta la existencia de gradientes regionales más amplios que no fueron capturados en el diseño experimental.

5. Limitaciones del estudio

Limitación	Descripción	Implicación
Escala espacial reducida	El muestreo se realizó en una parcela pequeña (2.5×10 m).	Limita la extrapolación de los resultados a escalas regionales más amplias.
Número de variables ambientales	Solo se midieron densidad del sustrato, contenido de agua y tipo de sustrato.	Otros factores relevantes (pH, nutrientes, microclima) no fueron considerados.
Varianza no explicada elevada	El 56% de la variación no fue atribuida a ambiente ni espacio.	Indica influencia de factores no medidos y procesos estocásticos.
Diseño temporal	El estudio se realizó en un único momento.	No se captaron variaciones estacionales o interanuales.
Dataset no publicado	El conjunto de datos proviene de un muestreo no formalmente publicado.	Su uso está restringido a fines metodológicos y de enseñanza.

6. Conclusión

El análisis de partición de la varianza aplicado a las comunidades de ácaros del suelo permitió responder de manera clara a las preguntas de investigación planteadas. Se encontró evidencia de **dispersión limitada**,

reflejada en la fracción espacial pura (9%), lo que confirma que la distribución de las especies no depende únicamente de las condiciones ambientales, sino también de procesos de colonización y proximidad espacial (Legendre & Legendre, 2012). Asimismo, las variables ambientales mostraron estar **espacialmente estructuradas**, como lo demuestra la fracción compartida (22%), lo que indica que los gradientes ambientales se distribuyen de forma sistemática en el espacio (Arft et al., 1999).

La fracción ambiental pura (14%) subraya la importancia de las condiciones locales del sustrato en la organización de las comunidades, en concordancia con estudios previos que destacan el papel determinista de las variables ambientales (Borcard et al., 1992a). Por otro lado, la elevada proporción de varianza no explicada (56%) apunta a la influencia de factores no medidos, como el microclima, la composición química del suelo o las interacciones biológicas, además de la posible acción de procesos estocásticos.

En conjunto, estos hallazgos muestran que la estructura espacial observada corresponde principalmente a procesos locales de microhábitat, aunque no se descarta la existencia de gradientes regionales más amplios que no fueron capturados en el diseño experimental. Este estudio resalta la necesidad de considerar simultáneamente factores ambientales y espaciales en la ecología de comunidades, y de ampliar la escala de análisis para comprender mejor la complejidad de los patrones de distribución de las especies.

- Arft, A., Walker, M., Gurevitch, J., Alatalo, J., Bret-Harte, M., Dale, M., Diemer, M., Gugerli, F., Henry, G., Jones, M., et al. (1999). Responses of tundra plants to experimental warming: Meta-analysis of the international tundra experiment. *Ecological Monographs*, 69(4), 1–24.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numerical ecology with r*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>
- Borcard, D., Legendre, P., Avois-Jacquet, C., & Tuomisto, H. (2004). Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. *Ecology*, 85(7), 1826–1832. <https://doi.org/10.1890/03-3111>
- Borcard, D., Legendre, P., & Drapeau, P. (1992b). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73(3), 1045–1055. <https://doi.org/10.2307/1940179>
- Borcard, D., Legendre, P., & Drapeau, P. (1992a). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73(3), 1045–1055. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1940179>
- Cottenie, K. (2005). Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecology Letters*, 8(11), 1175–1182. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Hubbell, S. P. (2011). The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. In *The unified neutral theory of biodiversity and biogeography*. Princeton University Press.
- Legendre, P., & Legendre, L. (2012). Numerical ecology, third english ed. *Developments in Environmental Modelling*. Elsevier, Amsterdam, 1006.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O’Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2025). *Vegan: Community ecology package*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>