**ANALISIS DE DATOS ECOLOGICOS**

Postgrado en Ecología Tropical

**PRACTICA: Diseños Factoriales Complejos**

**Profesor**: Luis D. Llambí

CONTENIDOS: Diseños factoriales, interacciones entre factores. Factores fijos vs. aleatorios, factores ortogonales vs. anidados. ANOVA utilizando permutaciones (PERMANOVA).

**Ej 1.** Se realizó un experimento para evaluar el efecto de la fertilización con fósforo en presencia o ausencia de inóculos de micorriza sobre el crecimiento de juveniles de una especie leñosa (congrio) en áreas de bosque ribereño del Orinoco a restaurar (el congrio es extraído del bosque por la calidad de su madera). Con este fin, se sembraron en bolsitas con suelo esterilizado del bosque, 10 réplicas de juveniles como control. Además, se sembraron 10 réplicas con fertilizante fosforado en un nivel intermedio y 10 réplicas con un nivel alto. El procedimiento se repitió con juveniles inoculados con una combinación de micorrizas obtenidas del bosque. Todas las bolsitas se colocaron en un invernadero en campo. Luego de 2 meses, se evaluó el cambio en el peso seco de los juveniles. Los resultados se presentan en la Hoja 1 del archivo Excel para la práctica. a) Identifique la variable respuesta, los factores y sus niveles o tratamientos; indique si son factores fijos o aleatorios y si el diseño es ortogonal o anidado; realice un diagrama para representar lo distribución de los factores en las unidades experimentales réplicas; b) Grafique los promedios del peso seco para los diferentes niveles de fertilización, con y sin la inoculación. ¿Qué le sugieren los resultados sobre la posible interacción entre ambos factores?; c) Señale las hipótesis a evaluar; d) Introduzca los datos en el programa Primer 6.0, verificando que los factores fueron leídos correctamente; e) Realice el análisis de PERMANOVA considerando primero solo el factor fertilización con fósforo y luego para los dos factores (fósforo y micorrizas) e interprete los resultados. Repita el procedimiento para otro conjunto de datos correspondientes al mismo experimento presentados en la Hoja 2. Compare los resultados de ambos experimentos. ¿Qué concluye?

**Ej 2**. En un estudio sobre la calidad de agua, se midió la conductividad del agua en tres ríos ubicados en tres unidades ecológicas diferentes (Páramo, Selva Nublada, Bosques Bajos) y en tres años sucesivos. En cada rio y año se efectuaron 3 mediciones. Los resultados se presentan en la tabla abajo. A) Identifique la variable respuesta y los factores y niveles; indique si los factores son fijos o aleatorios y si el diseño es ortogonal o anidado; realice un diagrama para representar lo distribución de los factores en las unidades experimentales réplicas; b) ¿Son independientes las réplicas en este caso? Discuta; c) Grafique los promedios de conductividad en cada situación. ¿Qué le sugieren sobre la posible interacción entre ambos factores?; d) Señale las hipótesis a evaluar; e) Introduzca los datos en Primer 6.0 y realice el análisis de PERMANOVA. Interprete los resultados.



Tomado de: Segnini (2010).

**Ej 3**. Se realizó un experimento para evaluar el efecto del pastoreo sobre la riqueza de especies de plantas en páramos de la Cordillera de Mérida. Para esto, se seleccionaron 4 valles en la Sierra Nevada (Cuenca alta del chama) sometidos a pastoreo extensivo de ganado. En las laderas de cada valle se establecieron 5 parcelas control, con cercas de exclusión y con cercas con aperturas. Los resultados se presentan en la Hoja 3 del archivo Excel de la práctica. a) ¿Cuál es la pregunta en este estudio?; b) ¿Cómo dispondría usted en el espacio las parcelas con los tratamientos?; **OJO:** ¿Cómo sería un diseño clásico de bloques para este experimento? c) Identifique la variable respuesta, los factores y sus niveles o tratamientos; indique si son factores fijos o aleatorios y si el diseño es ortogonal o anidado; realice un diagrama para representar lo distribución de los factores en las unidades experimentales réplicas; d) Grafique los promedios de riqueza por parcela para las diferentes situaciones. ¿Qué le sugieren los resultados sobre la posible interacción entre ambos factores?; e) Señale las hipótesis a evaluar; f) Introduzca los datos en el programa Primer 6.0, verificando que los factores fueron leídos correctamente; g) Realice el análisis de PERMANOVA para este diseño e interprete los resultados.

**Ej 4**. En el contexto del Proyecto GLORIA en Venezuela, se desea estudiar los cambios con la altitud en la abundancia de *Hypericum laricifolium*, un arbusto abundante en el páramo andino, cuya colonización de cumbres elevadas pudiera ser interpretada como un indicador del calentamiento global. Para esto, se definieron 3 rangos altitudinales (3900-4000, 4200-4300, 4500-4600 m). En cada rango de altitudes se seleccionaron 4 cumbres y se midió en 10 parcela de 2x5 m la cobertura de *H. laricifolium*. Los resultados se presentan en la Hoja 4 del archivo Excel de la práctica. a) Identifique la variable respuesta, los factores y sus niveles o tratamientos; indique si son factores fijos o aleatorios y si el diseño es ortogonal o anidado; realice un diagrama para representar lo distribución de los factores en las unidades experimentales réplicas; b) Grafique los promedios de cobertura por parcela para las diferentes situaciones. ¿Qué le sugieren los resultados sobre la posible interacción entre ambos factores?; c) Señale las hipótesis a evaluar; d) Introduzca los datos en el programa Primer 6.0, realice el análisis de PERMANOVA para este diseño e interprete los resultados.

**Bibliografía recomendada**

Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth.

Hulbert SH. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54(2):187-211.

Quinn, GP., Keough MJ. 2002. Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge University Press.

Segnini S. 2010. Escogiendo un método estadístico: manual práctico para las ciencias biológicas. Universidad de los Andes, Mérida.

Underwood, AJ. 1997. Experiments in Ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press.