

## ANÁLISIS CUANTITATIVO Y MODELIZACIÓN EN ECOLOGÍA

Semestre A-2015

**Horario:** Lunes. 2 horas teóricas y 6 horas de práctica

**Profesores:** Luis D. Llambí y Teresa Schwarzkopf

**Duración del curso:**

Inicio: 9 de marzo del 2015.

Finalización de clases: 26 de Junio del 2015

### PROGRAMA

La ecología como ciencia se caracteriza por analizar problemas en una serie de niveles de integración, desde el individuo hasta los ecosistemas y la ecosfera y por utilizar escalas espaciales que van de unos pocos centímetros cuadrados hasta cientos de kilómetros. Asimismo las escalas de tiempo van de los segundos a los millones de años. Por otro lado la comprobación de hipótesis y teorías concerniendo problemas ecológicos utiliza ya sea enfoques descriptivos u observacionales como experimentales de campo y de laboratorio, así como estrategias de construcción de modelos matemáticos de naturaleza predictiva. Dada la gran complejidad de los sistemas y problemas abordados en la mayoría de las investigaciones ecológicas, se hace necesario el uso de enfoques y herramientas que permitan integrar y analizar muchos tipos de información con una alta variabilidad espacial y temporal, así como explorar las consecuencias de la interacción entre múltiples hipótesis, factores o mecanismos causales.

Este curso, por su naturaleza introductoria, pretende presentar al estudiante de ecología una serie de herramientas sencillas para la organización de su información, el diseño de estudios descriptivos y experimentales y la evaluación estadística de los resultados, camino que deberán seguir recorriendo y profundizando si desarrolla una carrera en la investigación ecológica. Actualmente, existen una serie de programas de computación que han facilitado la labor de procesar datos, graficarlos y analizarlos, pero muchas veces se utilizan de forma inapropiada (sin conocer los principios que están detrás de su funcionamiento), lo que nos puede llevar a cometer errores importantes tanto en el uso de estas herramientas como en la interpretación de los resultados. Por esto, en este curso haremos particular énfasis en la comprensión de la lógica básica de la metodología de la investigación científica en ecología, partiendo de los principios del diseño de estudios observacionales y experimentales y su aplicación a la evaluación de problemas ecológicos. Así realizaremos una revisión de los principios, metodologías e interpretación de métodos univariados y multivariados de análisis de datos y prueba de hipótesis (análisis de varianza, métodos multivariados de ordenación y clasificación, análisis de regresión y análisis de las relaciones entre datos ambientales y bióticos).



## TEORIA

### UNIDAD 1. INTRODUCCION.

1.1 Lógica y enfoques de investigación en ecología. El método inductivo y el método hipotético deductivo. Falsacionismo y sus críticas. La observación y la ecología descriptiva. La formulación de modelos y la ecología teórica. Prueba de hipótesis en ecología, las hipótesis y los modelos nulos. La experimentación: experimentos observacionales, experimentos de manipulativos de campo y de laboratorio.

### UNIDAD 2. DISEÑO EXPERIMENTAL Y PRUEBA DE HIPÓTESIS EN ECOLOGÍA.

#### Objetivo

Familiarizar al estudiante con las bases conceptuales y las herramientas estadísticas para el diseño y análisis de muestreos y experimentos y la prueba de hipótesis en ecología. Discutir conceptos y propiedades básicas de los datos ecológicos. Discutir los principios básicos del diseño experimental y familiarizarse con las principales herramientas estadísticas para la comparación de medias y el análisis de varianza.

#### Contenido

2.1 Lógica de muestreo y la prueba de hipótesis. Población y muestreo representativo. Distribuciones de frecuencia, medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y dispersión, estimación de precisión del muestreo. Prueba de hipótesis estadística (hipótesis nulas, tipos de errores y potencia). Comparación de las medias de dos poblaciones (prueba t).

2.2 Diseño experimental y análisis de varianza. Experimentos y recolección de datos, replicación, controles, aleatorización e independencia. Introducción al análisis de varianza y modelos lineales generales. Análisis del efecto de un factor (ANOVA de una vía). Suposiciones de la ANOVA, enfoques paramétricos y no paramétricos.

2.3. Diseños factoriales complejos y permanova. Diseños factoriales, interacciones entre factores. Factores fijos vs. aleatorios, factores ortogonales vs. anidados. ANOVA utilizando permutaciones (PERMANOVA).

### UNIDAD 3. ESTADÍSTICA MULTIVARIADA

#### Objetivo

Discutir la importancia y la lógica de los estudios multivariados en ecología. Introducir al estudiante en el conocimiento y manejo de programas especializados de análisis de ordenamiento y clasificación de datos ecológicos. Lograr que el estudiante construya matrices generales y aplique métodos de ordenamiento y clasificación de la vegetación



utilizando PRIMER. Introducir al estudiante al análisis de varianza de datos multivariados utilizando PERMANOVA.

#### Contenido

3.1. Análisis de ordenamiento. ¿Qué es la estadística multivariada? Aplicaciones a la ecología. Tipos de análisis multivariados: ordenamiento y clasificación. Noción básica del ordenamiento como reducción del espacio multivariado. Matrices e índices de similaridad. Métodos de gradiente indirecto: análisis de componentes principales, análisis de correspondencia, análisis de correspondencia linealizado. Medidas y matrices de similaridad y distancia. Escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) y Análisis de Coordenadas Principales (PCO).

3.2. Análisis de clasificación. ¿Qué es un análisis de clasificación y para qué sirve?. Tipos de clasificaciones. Clasificaciones jerárquicas aglomerativas y divisivas. Clasificación no jerárquica. Prueba de hipótesis multivariada utilizando PERMANOVA.

### **UNIDAD 4. ANALISIS DE REGRESION Y RELACIONES DE MATRICES AMBIENTALES Y BIOTICAS**

4.1. Introducción: la respuesta de los organismos vivos a los cambios ambientales. El carácter multivariante de la data biológica y ambiental. Planteamiento de hipótesis.

4.2. Correlación vs. Regresión: correlación paramétricas y no paramétricas y modelos de regresión lineal simple.

4.3. Métodos multivariados: relacionamiento de matrices ambientales y bióticas, correlaciones entre matrices, selección de variables ambientales, análisis de gradiente directo (Análisis Canónico de Correspondencia, Análisis de redundancia basado en distancias dbRDA). Herramientas de síntesis. Herramientas estadísticas. El problema de la colinearidad.

### **PRACTICA**

Práctica 1: Ejercicios en diseño de muestreo. Estadística descriptiva. Medidas de tendencia central, medidas de dispersión, distribuciones de frecuencia, precisión del muestreo. Exploración gráfica de los datos. Pruebas de comparación de medias muestrales. Uso del SPSS.

Practica 2: Diseño de experimentos. Experimentos y recolección de datos, replicación, controles, aleatorización e independencia.

Práctica 3: ANDEVA de una vía. Evaluación de las homocedasticidad. Transformaciones de los datos. Tests *a priori* (contrastes) y *a posteriori* (post-hoc). ANDEVA no paramétrica (Kruskal-Wallis).



Práctica 4: Diseños factoriales, interacciones entre factores. Factores fijos vs. aleatorios, factores ortogonales vs. anidados. ANDEVA utilizando permutaciones (PERMANOVA).

Práctica 5: Análisis de datos multivariados. Métodos de ordenación. Uso del software Primer 6. Análisis de Componentes Principales (ACP) para variables ambientales: análisis de correlación exploratorio, normalización, interpretación de los resultados; Ordenamiento de matrices especie-sitios utilizando Escalamiento Multidimensional No-Métrico (NMDS) y Análisis de Coordenadas Principales (PCO): diagramas de rango de abundancia, transformaciones de los datos (peso de especies dominantes y raras), medidas y matrices de similitud-distancia, diagramas de Shepard, interpretación de resultados.

Práctica 6: Análisis de clasificación utilizando la técnica de cluster jerárquico aglomerativo en Primer 6. Transformaciones y cálculo de la matriz de similitud, Cluster usando distancia promedio (groupaverage), distancia máxima (single linkage) y distancia mínima (complete linkage). Combinación de análisis de ordenamiento y clasificación (superposición del cluster análisis sobre una ordenación NMDS). Prueba de hipótesis multivariada (Permanova sobre la matriz de similitud comunitaria), evaluación de homogeneidad de dispersión (Permdisp).

Práctica 7: Correlación vs. Regresión lineal simple.

Práctica 8: Análisis multivariados de gradiente directo (relaciones entre matrices ambientales y bióticas). Configuración de matrices. Estandarización de datos. Colinearidad de variables.

Práctica 9: Métodos y enfoques de relacionamiento de variables biológicas y ambientales. Herramientas de visualización y pruebas estadísticas.

Práctica 10: Análisis de casos de estudio.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analysis for changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.
- Clarke, KR, Gorley RN. 2006. Primer v6: User Manual/Tutorial. Plymouth: Primer-E.
- Fariñas, M.R. 1996. Análisis de la vegetación y de sus relaciones con el ambiente mediante métodos multivariantes de ordenamiento. Postgrado en Ecología Tropical. CIELAT – ULA, Mérida.
- Gotelli, N., Ellison, A. 2004. A primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates.
- Haefner, JW. 2005. Modeling biological systems. Principles and Applications. Springer.



- Hulbert SH. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54(2):187-211.
- Jongman, R.H.G., TerBraak, C.J.F. and Tongeren, O.F.R. (Eds) 1995. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press.
- Llambí LD. 1998. Un debate epistemológico en ecología: Popper y la prueba de hipótesis. *Interciencia* 23(5):286-292.
- Leps, J., Smilauer, P. 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press. 269 pag.
- Pielou, EC. 1984. *The interpretation of ecological data. A primer on classification and ordination*. John Wiley & Sons. 262 pag.
- 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.
- Van Emden H. 2008. *Statistics for Terrified Biologists*. Blackwell Publishing.

## CRONOGRAMA

S	Fecha	Actividad Teórica	Actividad Práctica	Responsable
1	16 marzo	Unidad 1.1. Enfoques de investigación en Ecología (8:00-9:30)		LDL
2	23 marzo	Unidad 2.1: Lógica de muestreo y prueba de hipótesis	Práctica 1. Diseño de muestreo (2:00-6:00)	LDL
3	SEMANA SANTA			
4	6 abril	Unidad 2.2 Diseño experimental (8:00-9:30)	Práctica 2: Diseño de experimentos (10:00-12:00, 2:00-6:00)	LDL
5	13 abril	Unidad 2.2. Análisis de varianza (8:00-9:30)	Práctica 3: Análisis de varianza (10:00-12:00, 2:00-6:00)	LDL
6	20 abril	Unidad 2.3. Anova factorial, diseños complejos (8:00-9:30)	Práctica 4: Diseños complejos 10:00-12:00, 2:00 – 6:00	LDL
7	27 abril	Unidad 3.1. Análisis multivariado,	Discusión de artículos, Diseño experimental	LDL



		ordenación(8:00-9:30)		
8	4 de mayo	Unidad 3.2 Análisis multivariado, clasificación(8:00-9:30)	Práctica 5: Análisis de Ordenación	LDL
9	11 de mayo	Discusión de artículos, ordenación	Práctica 6: Clasificación	LDL
10	18 de mayo	Examen Parcial, Unidades 1, 2 y 3.		LDL
11	25 de mayo	4.1. Introducción 4.2. Correlación vs. Regresión (8:00-9:30)	Práctica 7: Correlación vs. Regresión	TS
12	1 de junio	4.4. Métodos multivariados (8:00-9:30)	Práctica 8: Análisis multivariados de gradiente directo I	TS
13	8 de junio	4.4. Métodos multivariados (8:00-9:30)	Práctica 9: Análisis multivariados de gradiente directo II	TS
14	15 de junio	Discusión de artículos (8:00-9:30)	Práctica 10: Análisis de casos de estudio I	TS
15	22 de junio	Examen 2: Unidad 4 (8:00-12:00)		TS
16	1 Julio (semana amortiguamiento)			
17				

### EVALUACION

La evaluación se realizará a través de:

1. Discusión de artículos: 30%
2. Dos (2) exámenes parciales: 35% + 35% = 70%

No habrá examen final ni reparación. La asistencia a las sesiones prácticas es **obligatoria**.

