

MANUAL DE PRÁCTICAS Y SEMINARIOS DE ECOLOGÍA

(2º de Grado en Ciencias Ambientales)



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

UNIDAD DOCENTE DE ECOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ



Pilar Castro (coordinadora), Álvaro Alonso, Josabel Belliure, Asunción Saldaña, Margarida Santos, Paloma Ruiz-Benito, Tíscar Espigares, Mercedes Uscola.

(Versión revisada en enero 2021)

ÍNDICE

I. PRESENTACIÓN	3
II. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE PRÁCTICAS Y SEMINARIOS	4
III. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA	11
1. EL MÉTODO CIENTÍFICO EN ECOLOGÍA.....	12
2. COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA HIPÓTESIS	14
3. SELECCIÓN DE VARIABLES.....	15
4. ESTRATEGIA DE RECOGIDA DE DATOS	16
5. BIBLIOGRAFÍA.....	22
IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS EN ECOLOGÍA.....	25
1. INTRODUCCIÓN	26
2. ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES CUALITATIVAS: TEST DE LA χ^2	32
3. TESTS DE COMPARACIÓN DE DOS MEDIAS.....	35
4. TESTS DE COMPARACIÓN DE MÁS DE DOS MEDIAS.....	44
5. ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES CUANTITATIVAS: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN	52
6. REGRESIÓN.....	57
V. ELABORACIÓN DE UN TRABAJO CIENTÍFICO EN ECOLOGÍA.....	61
1. TÍTULO	64
2. RESUMEN.....	64
3. PALABRAS CLAVE	64
4. INTRODUCCIÓN	65
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	65
6. RESULTADOS.....	66
7. DISCUSIÓN	68
8. BIBLIOGRAFÍA.....	69
9. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	70
VI. GUIONES DE LAS PRÁCTICAS	71
MÓDULO I. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	72
MÓDULO II EFECTOS DE DIVERSOS FACTORES AMBIENTALES EN LA GERMINACIÓN Y EL DESARROLLO DE PLANTAS	75
MÓDULO III. INTRODUCCIÓN A LA ESCRITURA DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	84
MÓDULO IV. DISEÑO DE MUESTREOS DE CAMPO EN ECOLOGÍA	86
MÓDULO V. ESTRUCTURA DE COMUNIDADES	93
MÓDULO VI. TRABAJO CIENTÍFICO DE ECOLOGÍA.....	98
VII. GUIONES DE LOS SEMINARIOS	103
PRESENTACIÓN	105
SEMINARIO 1 CASOS DE ESTUDIO	107
SEMINARIO 2 BASES DE DATOS PARA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	128
TRABAJO EN CASA LECTURA DE TRABAJOS Y ELABORACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE VUESTRO ARTÍCULO.....	135
SEMINARIO 3 CORRECCIÓN CRUZADA DE TRABAJOS Y CÓMO HACER PRESENTACIONES ORALES	137
SEMINARIO 4 CONGRESO DE ECOLOGÍA.....	142

I. PRESENTACIÓN

Este manual contiene los materiales de apoyo que utilizaremos en los seminarios y prácticas de Ecología a lo largo del curso. Estos materiales incluyen los siguientes documentos

- I. Presentación
- II. Información general de las prácticas y seminarios: Contenidos, calendarios, aulas de impartición, trabajos que hay que entregar y evaluación de los mismos.
- III. Métodos de investigación en Ecología. Este documento es una aproximación al método científico; resume métodos para diseñar experimentos controlados y muestreos de campo.
- IV. Métodos de análisis de datos en Ecología. Sintetiza los tests de estadística bivariante que utilizaremos a lo largo del curso.
- V. Elaboración de un trabajo científico en Ecología
- VI. Guiones de las prácticas
- VII. Guiones de los seminarios

Os recomendamos que tengáis a mano este manual en todas las sesiones de prácticas y seminarios, ya sea en versión escrita o digital.

II. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE PRÁCTICAS Y SEMINARIOS

Las prácticas y seminarios de la asignatura suponen una herramienta que permiten desarrollar capacidades, más allá de los conocimientos que se desarrollan en la parte teórica. En estas sesiones aprenderemos cómo se adquiere el conocimiento en Ecología, pasando por todas las fases del método científico (planteamiento de hipótesis, revisión bibliográfica, comprobación de hipótesis con experimentos o muestreos, análisis de datos y elaboración de un trabajo científico). Los seminarios se centrarán en las estrategias de búsqueda de información científica y en la comunicación oral de resultados científicos. En las prácticas aprenderemos a diseñar experimentos y muestreos, a organizar y analizar los datos y a elaborarlos en forma de artículo científico. A lo largo de estas sesiones los alumnos trabajaréis en equipos de tres personas e iréis entregando los resultados obtenidos en cada bloque y realizando exámenes individuales. En la **Tabla II.1** se resumen el **programa** de seminarios y prácticas, junto con los trabajos/exámenes que hay que entregar y el peso que estos tienen en la nota. En la **Tabla II.2** se indica el *lugar, fecha y profesor de cada sesión* de prácticas/seminarios (si se produjera algún cambio se avisará a través de Blackboard). La **Tabla II.3** muestra la **rúbrica** que aplicaremos para corregir los trabajos de prácticas, que debéis consultar y aplicar (a modo de autoevaluación) antes de entregar cada trabajo.

Para un desarrollo eficaz de las prácticas y seminarios, **cada alumno debe leer el guión de la sesión antes del inicio de la misma**, todos ellos contenidos en este manual (consultar índice).

Tabla II.1- Planificación de las prácticas y seminarios de Ecología (Pr- sesiones de prácticas, Sm- sesiones de seminarios). Esta tabla aporta una información resumida. La información detallada de cada sesión hay que consultarla en el guion de la práctica/seminario correspondiente¹.

Semana	Sesión	Módulo	Contenidos	Trabajo no presencial	Trabajo a entregar	Fecha y forma de entrega	Peso en la nota
3	Pr-1	I. Introducción al método científico y al diseño de experimentos	-Introducción al método científico y diseños experimentales -Resolución de problemas de diseño de experimentos -Planteamiento del problema de la práctica siguiente para diseñar el experimento en casa	-Diseñar el experimento de la práctica siguiente, respondiendo a los apartados de la ficha.	Ficha individual con el diseño del experimento	En papel en Pr-2	-
4	Pr-2	II. Factores que afectan a la germinación de semillas	- Puesta en común del diseño del experimento - Puesta en marcha del experimento y cuantificación de variables.				-
5	Pr-3		- Obtención de los datos del experimento - Presentación de resultados descriptivos - Inicio del análisis estadístico	Análisis de los resultados (con estadística descriptiva e inferencial, usando R).			
5	Sm-1		-Constitución de equipos de trabajo. -Presentación de preguntas ecológicas (campo). -Selección de un caso por cada grupo.	-Lectura de documentos del caso seleccionado. -Acotar pregunta, plantear hipótesis.	-	-	
6	Pr-4	III. Introducción a la escritura de artículos científicos	- Examen de diseño de experimentos - Explicar qué es un artículo científico y las partes de que consta. - Lectura crítica de artículos científicos	Elaboración de un artículo científico con los datos de la práctica anterior	Trabajo científico	Semana 7 en AV ²	10% Pr 15% Pr
7	Pr-5	IV. Introducción al diseño de muestreos	- Introducción al diseño de muestreo. -Resolución de problemas de diseño de muestreos sobre comunidades simuladas.	Diseñar el muestreo del problema seleccionado en Sm-1	Ficha con el diseño del muestreo	En papel en Pr-8	
7	Sm-2		-Puesta en común de la información leída por los miembros del equipo. - Examen individual sobre lo anterior -Introducción a las herramientas on-line de búsqueda de información científica. -Búsqueda bibliográfica de antecedentes sobre vuestro caso de estudio.	-Lectura de artículos seleccionados. -Redactar borrador de la introducción con bibliografía -Solicitar tutoría individual para que el profesor revise vuestro planteamiento (antes de Sm-3).	Ficha con artículos seleccionados Borrador de la introducción	- Semana 8 en AV - Semana 10 en AV	-10% Sm -10% Sm

¹ Esta tabla es un resumen breve de los contenidos y tareas de cada sesión de prácticas/seminarios. Para ver una información más detallada, ir a la sesión correspondiente.

² AV-Aula Virtual (<https://www.uah.es/es/aula-virtual/>)

Semana	Sesión	Módulo	Contenidos	Trabajo no presencial	Trabajo a entregar	Fecha y forma de entrega	Peso en la nota
8	Pr-6	V. Análisis de la estructura de comunidades	-Examen sobre diseño de muestreo -Cálculo de índices de riqueza y diversidad taxonómica y funcional en comunidades vegetales invadidas y no invadidas por especies exóticas				15% Pr
9	Pr-7		-Comparación gráfica y estadística de los índices obtenidos entre comunidades invadidas y no invadidas.		Entrega de resultados y scripts usados	Al final de la sesión	10% Pr
10	Sm- 3		-Corrección cruzada de borradores de la introducción. -Cómo hacer una presentación oral.	Leer comentarios a vuestra introducción y mejorarla	Valoración de las introducciones de los compañeros	En clase	-
10	Pr-8	VI. Trabajo científico	-Puesta en común y mejora de diseños de muestreo	Redactar la sección de <i>Metodología</i> de vuestro trabajo	-		
11	Campo		-Ejecución del muestreo de campo	Organizar los datos para su análisis estadístico			
12	Pr- 9		-Análisis de datos (gráfico y estadístico) -Elaboración de tablas/figuras	Redactar la sección de <i>Resultados</i> de vuestro trabajo			
13	Pr-10		-Examen de análisis de datos -Redacción del trabajo y preparación del Power Point	Terminar el trabajo final (presentación oral y escrita)	Trabajo final	En AV en semana 14	15% Pr 35% Pr
14	Sm-4		-Presentación oral del trabajo realizado por cada grupo. -Debate y preguntas		-Power Point (equipo) -Presentación (individual) -Participación en debate (individual)	En clase	-40% Sm -35% Sm -5% Sm

Tabla II.2. Lugares, fechas y profesores de cada sesión de prácticas y seminarios, separado por grupos (el número de grupo está entre paréntesis).

PRÁCTICAS DE ECOLOGÍA. CCAA. 2º CUATRIMESTRE 2020/21																			
FEB/MARZO	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES						
Semana/Hora	sesión(grupo)	Profesor*	Aula				sesión(grupo)	Profesor	Aula				Ses (gr)	Prof	Aula	Ses (gr)	Prof	Aula	
3		22				23		24			25			26					
8:55-11:50	Pr-1(1)	EG	13				Pr-1(2)	PC	13										
14:30-17:25	Pr-1(3)	MU	13				Pr-1(4)	AS	13										
4		1				2		3			4			5					
8:55-11:50	Pr-2(1)	EG	Lab Quim				Pr-2(2)	DG	Lab Quim										
14:30-17:25	Pr-2(3)	MU	Lab Quim				Pr-2(4)	AS	Lab Quim										
5		8				9		10			11			12					
8:55-11:50	Pr-3(1)	EG	Lab Quim				Pr-3(2)	DG	Lab Quim					Sm-1 (3) AA online				Sm-1 (4) AS online	
14:30-17:25	Pr-3(3)	MU	Lab Quim				Pr-3(4)	AS	Lab Quim					Sm-1 (1) EG online				Sm-1 (2) PC online	
6		15				16		17			18			19					
8:55-11:50	Pr-4(1)	DG	13				Pr-4(2)	DG	13										
14:30-17:25	Pr-4(3)	MU	13				Pr-4(4)	DG	13										
7		22				23		24			25			26					
8:55-11:50	Pr-5(1)	DG	13				Pr-5(2)	DG	13					Sm-2 (3) AA online				Sm-2 (4) AS online	
14:30-17:25	Pr-5(3)	MU	13				Pr-5(4)	DG	13					Sm-2 (1) EG online				Sm-2 (2) PC online	
ABRIL																			
	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES						
SEMANA SANTA																			
9		12				13		14			15			16					
8:55-11:50	Pr-6(1)	EG/IM	Huér./31**				Pr-6(2)	PC/IM	Huér./31**					Sm-3 (3) AA online				Sm-3 (4) AS online	
14:30-17:25	Pr-6(3)	MU/PR	Huér./31**				Pr-6(4)	AS/PR	Huér./31**					Sm-3 (1) EG online				Sm-3 (2) PC online	
10		19				20		21			22			23					
8:55-11:50	Pr-7(1)	EG/IM	Huér./31**				Pr-7(2)	PC/IM	Huér./31**										
14:30-17:25	Pr-7(3)	MU/PR	Huér./31**				Pr-7(4)	AS/PR	Huér./31**										
11		26				27		28			29			30					
8:55-11:50	Pr-8(1)	EG	13				Pr-8(2)	PC	13					Campo(1,2) EG/PC (9-14 h)					
14:30-17:25	Pr-8(3)	AA	13				Pr-8(4)	AS	12										
MAYO																			
	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES						
12		3				4		5			6			7					
8:55-11:50	Fiesta CAM					Campo(3,4) AA/AS (9-14 h)					Pr-9(2)	PC/IM	Huér/Viso	Pr-9(1)	EG/IM	Huér/Viso			
14:30-17:25											Pr-9(4)	AS/PR	Huér/Viso	12:05_Pr-9(3)	AA/PR	Huér/Viso			
13		10				11		12			13			14					
8:55-11:50						Pr-10(1)	EG/IM	Huér./Viso			Pr-10(2)	PC/IM	Huér/Viso						
14:30-17:25						Pr-10(3)	AA/PR	Huér./Viso			Pr-10(4)	AS/PR	Huér/Viso						
14		17				18		19			20			21					
8:55-11:50								Sm-4 (1) EG online, Sm-4 (2) PC online											
14:30-17:25																			
15		24				25		26			27			28					
8:55-11:50						Sm-4 online AA 12, Sm-4(4) AS online													
14:30-17:25																			
*Profesores	AA	Alvaro Alonso		EG	Elena Granda		MU	Mercedes Uscuola		IM	Ignacio Morales								
	AS	Asun Saldaña		PC	Rlar Castro		DG	David García		PR	Paloma Ruiz								
**Aula 31	Los alumnos que realicen las prácticas 6 y 7 en el aula 31 deberán llevar su portátil con Excel y R																		

Tabla II.3. Rúbrica que utilizaremos en la corrección de los trabajos de prácticas/seminarios de Ecología. Podéis ver los criterios que seguiremos y usarla para autoevaluar vuestro trabajo antes de entregarlo.

ASPECTO A EVALUAR	Mal	Regular	Bien	Muy bien
PROGRESIÓN DE LOS ALUMNOS A LO LARGO DEL CURSO (no aplica al primer trabajo)				
1. ¿Se aprecia una mejora del trabajo respecto a trabajos anteriores?	Se encuentran los mismos errores cometidos en trabajos anteriores (formato, fondo o estructura). Denota no haber mirado las correcciones.	Mejora algunos aspectos respecto a trabajos anteriores, pero otros sigue repitiendo muchos errores previamente corregidos.	Comete pocos de los fallos cometidos en trabajos anteriores.	No comete ninguno de los fallos cometidos en trabajos anteriores. Denota haber analizado concienzudamente las correcciones.
ORGANIZACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO				
2. ¿Se aprecia una buena planificación, organización y revisión del trabajo?	El trabajo no se ajusta a la estructura indicada, no se encuentra el hilo conductor, no se entiende bien. Denota no haber consultado los materiales de apoyo y haberse entregado sin ninguna revisión.	El trabajo está dividido en los apartados del trabajo científico, pero los contenidos no corresponden con los títulos, o no siguen un orden lógico, o sus contenidos se solapan y repiten. Ha habido escasa consultada los materiales de apoyo facilitados.	El trabajo está dividido en los apartados del trabajo científico. Hay un hilo conductor más o menos lógico y coherente. Se aprecia que se han consultado, al menos en parte, los materiales de apoyo facilitados (manual o artículos de apoyo).	El trabajo está dividido en los apartados del trabajo científico. Los contenidos de cada apartado corresponden con lo que cabe esperar. Siguen un orden lógico y una estructura coherente. No hay redundancias entre apartados. Han consultado los materiales de apoyo facilitados (manual o artículos de apoyo). Se aprecia que se ha dedicado tiempo a elaborarlo y a revisarlo.
3. ¿Hay buena coordinación entre los miembros del equipo?	El trabajo es un “corta y pega” de partes elaboradas por separado. Hay contradicciones entre partes y/o formatos dispares y errores. El trabajo se ha entregado sin armonizar las partes.	Se aprecia una coordinación parcial entre los miembros del grupo; hay cierta coherencia entre partes, pero también hay contradicciones y diversidad de estilos. El trabajo no ha sido revisado por todos los miembros del grupo	Se aprecia coordinación entre los miembros del equipo; no hay contradicciones ni formatos dispares, pero hay errores menores, fácilmente detectables.	El trabajo muestra una coherencia entre todas sus partes, un estilo y formato homogéneos, no se aprecia que haya sido redactado por personas diferentes.
CONTENIDOS				
4. Calidad de los contenidos	El trabajo se aborda a un nivel muy superficial, inferior al que cabe esperar de un alumno de 2º de Grado. Denota una escasa comprensión del tema.	El nivel de profundidad es intermedio, se observa una comprensión parcial del tema. Argumentos/razonamientos poco consistentes.	El nivel de profundidad es adecuado para 2º de Grado, denota una aceptable comprensión del tema. Argumentos consistentes	El trabajo muestra un nivel de profundidad adecuado a lo que cabe esperar en 2º de Grado. Denota que se ha revisado el tema en fuentes adecuadas y que se comprenden los fundamentos del mismo. Hay argumentos sólidos y bien razonados.

ASPECTO A EVALUAR	Mal	Regular	Bien	Muy bien
5. Integración de conocimientos aportados en clases anteriores (teóricas o prácticas)	No aplica conocimientos aportados en clases anteriores.	Apenas aplica conocimientos aportados en clases anteriores, o si lo hace, denota una escasa comprensión de los mismos.	Se aplican parte de los conocimientos aportados en clases previas, aunque otros aspectos pertinentes de la teoría/prácticas no se aplican.	Se aplican e integran adecuadamente los conocimientos aportados en las clases teóricas y/o prácticas para la resolución del problema. Denota un buen dominio de los conocimientos pertinentes de la teoría.
6. Introducción (planteamiento e hipótesis).	No está clara la pregunta planteada. No hay hipótesis.	Hay un objetivo/pregunta formulado, pero resulta vago o confuso, no hay hipótesis o si las hay estas no están justificadas.	El objetivo/pregunta está claramente formulado, hay hipótesis, aunque su justificación es escasa o poco convincente.	El objetivo/pregunta está claramente formulado, hay hipótesis bien razonadas, y/o sustentadas en antecedentes correctamente citados.
7. Revisión del tema en la introducción (aplica al trabajo final)	No se indica qué aportan otros autores al problema de trabajo.	Hay cierta revisión bibliográfica, pero es insuficiente en cantidad y calidad, no queda claro qué se sabe o no se sabe sobre el tema.	Hay revisión bibliográfica, en cantidad suficiente, pero de calidad intermedia. No queda muy claro qué aportan otros al problema	Hay una buena revisión del tema (en cantidad y calidad), que deja claro qué se sabe y qué se va a aportar.
8. Discusión (aplica al trabajo final)	No hay discusión, solo una conclusión que sintetiza los resultados. O lo que llaman discusión es una repetición de resultados.	Hay discusión, pero básicamente repite resultados y hace una escasa interpretación de los mismos. No integra sus resultados con el conocimiento previo (sin referencia a bibliografía previa).	Hay discusión que en su mayoría interpreta (no repite) los resultados. Los argumentos son claros y sólidos, pero hay escasa integración del conocimiento previo. No queda muy claro qué aporta el trabajo.	Hay discusión que en su mayoría interpreta (no repite) los resultados. Los argumentos son claros y sólidos. Se integran los resultados con conocimiento previo, citando otros trabajos y comparando resultados o interpretaciones. Hay un mensaje final claro con aportaciones de calidad.
ASPECTOS FORMALES				
9. Formato texto	Texto sin formato homogéneo, sin sangría, sin jerarquía de tamaños de los títulos, etc. Mal uso de la puntuación (por ej. separación de párrafos por extensión del texto, no por contenidos).	Formato parcialmente trabajado (por ej. los títulos se destacan en función de su jerarquía) pero bastante mejorable (sin sangrías, texto sin justificar, etc.).	Texto bien formateado, visualmente agradable, pero mejorable en cuanto al tamaño del texto, o formato de los títulos.	Texto con formato homogéneo, justificado, los títulos de los apartados destacan y denotan su nivel jerárquico. Tamaño de texto normal, títulos más grandes. Agradable a la vista.

10. Formato de tablas/ figuras	No hay tablas/gráficos que muestren los resultados, o si los hay, tienen una calidad tan mala que no permiten entender el resultado.	Hay tablas y/o gráficos que muestran los resultados, pero de mala calidad (tamaño insuficiente, sin leyenda autoexplicativa, sin nombres o sin unidades, sin estadística, hay redundancias, se presentan datos brutos, etc.). En general denota que no han seguido las instrucciones aportadas en el manual.	Hay tablas/gráficos no redundantes, con leyenda completa, nombres de las variables correctos, con estadística. Se citan correctamente en el texto. Faltas menores de formato (por ej. uso de abreviaturas no definidas, número desigual de decimales, faltan unidades en las variables, etc.)	Hay tablas/gráficos no redundantes, citados en el texto, con leyenda completa, nombres correctos de variables, unidades de las mismas, estadística. Se cumplen todas las normas de formato indicadas en el manual. Tienen una calidad visual buena.
ASPECTO A EVALUAR	Mal	Regular	Bien	Muy bien
11.Redacción	Cuesta entenderlo, porque está mal redactado, mal puntuado, o se usa un vocabulario inadecuado.	Se entiende regular. El vocabulario es más o menos adecuado, pero la redacción hace que el significado sea confuso.	En general se entiende bien, no hay errores gramaticales, los nombres científicos están bien escritos. Pero en ocasiones hay apartados confusos.	Todo el texto se entiende perfectamente. No hay errores gramaticales o de nomenclatura científica. Se usa un vocabulario preciso y adecuado para un trabajo científico, no hay ambigüedades.
BIBLIOGRAFÍA				
12.Cantidad y calidad de la revisión bibliográfica (aplica al trabajo final)	No se cita bibliografía en el texto, aunque luego puede aparecer un apartado de bibliografía de escasa calidad (revistas no científicas o webs). Los contenidos del trabajo no denotan una consulta bibliográfica seria.	No se ha consultado la bibliografía recomendada para su caso de estudio o la bibliografía que han buscado es insuficiente. Hay referencias bibliográficas, pero no se ajustan mucho al tema. No queda claro que se hayan consultado las referencias.	Se ha consultado la bibliografía recomendada y bibliografía adicional requerida en el trabajo en la cantidad adecuada. Los trabajos seleccionados se ajustan al tema, aunque no queda claro que se hayan leído y comprendido.	Se ha consultado la bibliografía recomendada y bibliografía adicional requerida. Los trabajos seleccionados se ajustan al tema, tienen calidad (artículos científicos), una buena parte de revistas internacionales. Queda claro que se han leído y comprendido los trabajos citados.
13.Formato de la bibliografía	No hay citas y/o no hay bibliografía. No se siguen las normas de citación. No hay correspondencia entre citas y bibliografía.	Hay citas y bibliografía, pero se corresponden parcialmente e incumplen el formato establecido.	Hay citas y bibliografía que se corresponden totalmente (todos los artículos citados aparecen en la bibliografía y viceversa). Se siguen en su mayoría las normas de citación, pero no completamente (por ej. no hay un formato homogéneo).	Hay citas y bibliografía que se corresponden totalmente (todos los artículos citados aparecen en la bibliografía y viceversa). Se siguen las normas de citación (se ha consultado y aplicado lo que se indica en el manual y/o la web de la biblioteca -apartado "cómo citar"-).

III. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA



1. EL MÉTODO CIENTÍFICO EN ECOLOGÍA

El método científico arranca con un problema o pregunta, que puede derivar de observar un fenómeno de la naturaleza, de la necesidad tomar decisiones de gestión, de un razonamiento, etc. Si los antecedentes publicados hasta el momento no permiten encontrar una respuesta satisfactoria, el siguiente paso es plantear una explicación provisional a la pregunta (hipótesis) y comprobar de forma empírica si estamos en lo cierto o no. Para que los esfuerzos de distintas personas contribuyan al desarrollo progresivo del conocimiento, hemos de seguir un método común, riguroso, repetible y comprobable. Este método se denomina “Método Científico” y se utiliza en un gran número de disciplinas. En cada una de ellas adquiere particularidades propias dependiendo del objeto de estudio. En nuestro caso veremos cómo el método científico se aplica en Ecología. Las etapas del método científico se resumen en la Figura III.1:

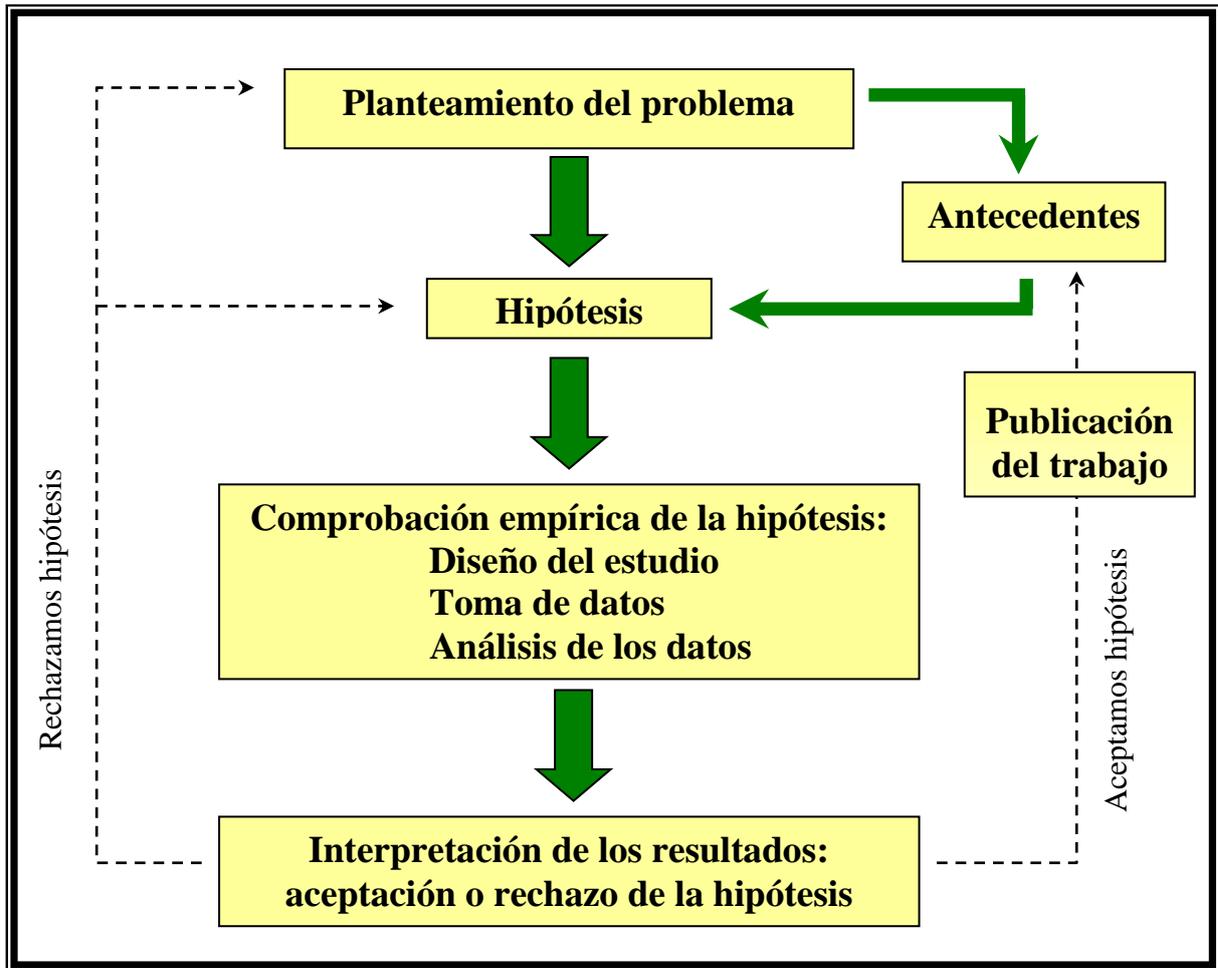


Figura III.1. Etapas del método científico.

Las hipótesis en Ecología suelen implicar una predicción sobre cómo una o varias variables independientes (o factores) afectan a una o más variables respuesta. La comprobación de hipótesis implica realizar muestreos de campo o experimentos donde se miden los factores y las respuestas para ver si coinciden con la predicción. Si finalmente aceptamos nuestra hipótesis, ésta dejará de ser una hipótesis para formar parte del cuerpo de conocimiento ya comprobado que otros científicos podrán consultar, previa publicación de nuestro estudio. El rechazo de la hipótesis implica que hay que plantear una hipótesis alternativa y comprobarla con un nuevo experimento o muestreo. Esto puede dar lugar al planteamiento de nuevas y más interesantes hipótesis. Este es el modo en que se construye la ciencia, por ensayo y error. Hay que subrayar que nunca se demuestra la veracidad de las hipótesis sino su falsedad, es decir, una interpretación o teoría se mantiene hasta que se demuestra que es falsa. Por último, para que se pueda construir un cuerpo de conocimiento cada investigador debe dar a conocer sus resultados mediante la publicación de un trabajo científico, donde se exponga la pregunta, la hipótesis, el proceso de comprobación de hipótesis y la interpretación de los resultados.

2. COMPROBACIÓN EMPÍRICA DE LA HIPÓTESIS

La comprobación empírica de la hipótesis es la fase clave en la respuesta a nuestra pregunta ecológica. La primera decisión a tomar se refiere si el estudio que vamos a realizar es “experimental” u “observacional”, es decir, si vamos a controlar o no los factores que afectan a la respuesta esperada (ver más abajo). En ambos casos habrá que determinar qué variables se van a medir, cómo se van a recoger los datos (es decir, qué tipo de muestreo o de experimento se va a llevar a cabo), y cuáles van a ser los análisis que se van a realizar para poder responder a nuestra pregunta. Una vez tomadas estas decisiones podremos hacer la recogida efectiva de los datos y su análisis (Figura III.2).

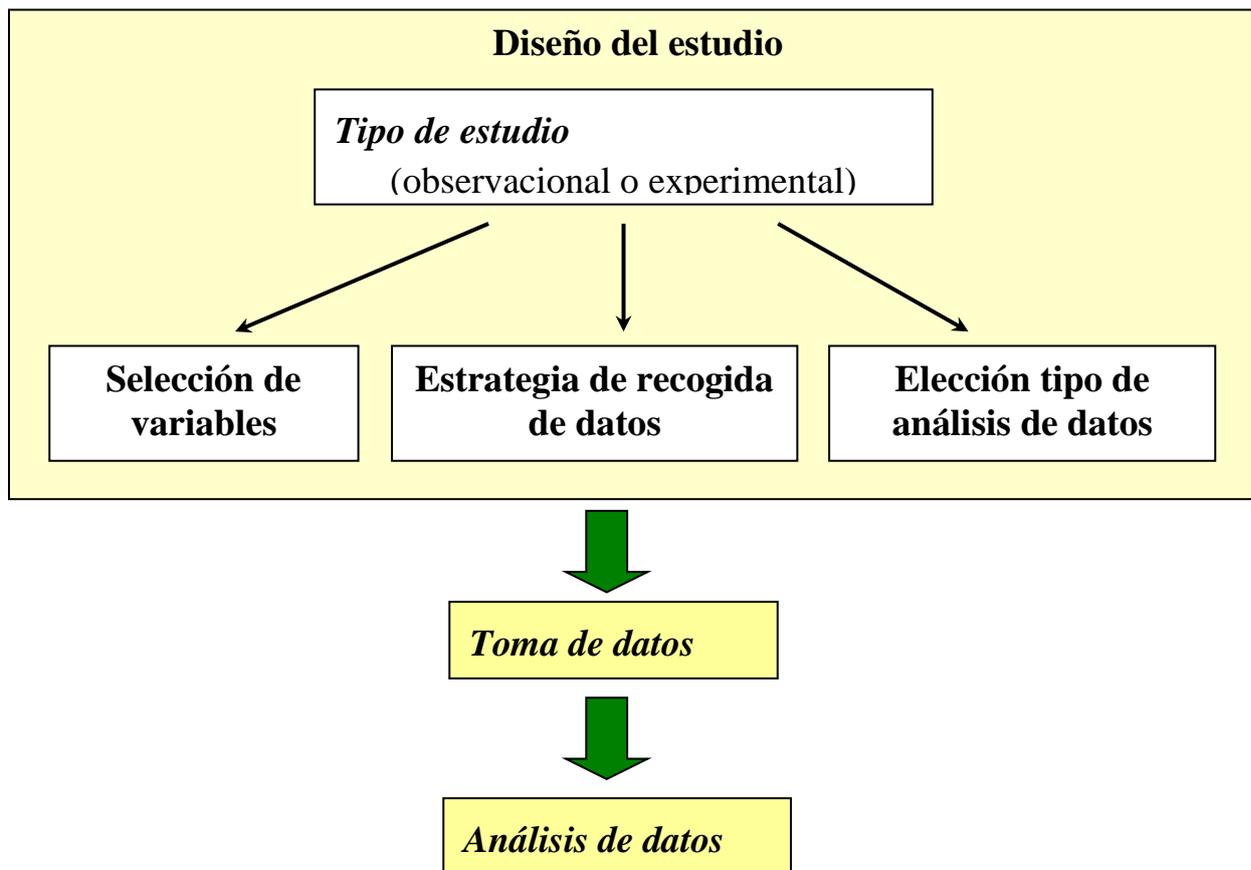


Figura III.2. Esquema detallado de la fase de valoración empírica de la hipótesis.

2.1. Tipos de estudio

En Ecología solemos comprobar las hipótesis mediante estudios observacionales o experimentales. En realidad constituyen los dos extremos de un gradiente de control de los factores que esperamos que afecten a la variable respuesta. En el estudio observacional no hay control de estos factores, sino que el investigador se limita a registrar los valores de esos factores (como ocurre en muchos estudios de campo). En cambio en el estudio experimental el investigador controla los factores que espera que afecten a la respuesta, manteniendo constantes los que no le

interesan (esto último lo podemos hacer en condiciones de laboratorio). Cada uno presenta ventajas e inconvenientes, tal como se representa en la Figura 3. Según la pregunta que se pretenda responder será más conveniente uno u otro, o bien cualquiera de las diferentes posiciones a lo largo del gradiente entre ambos extremos (por ejemplo experimentos en campo).

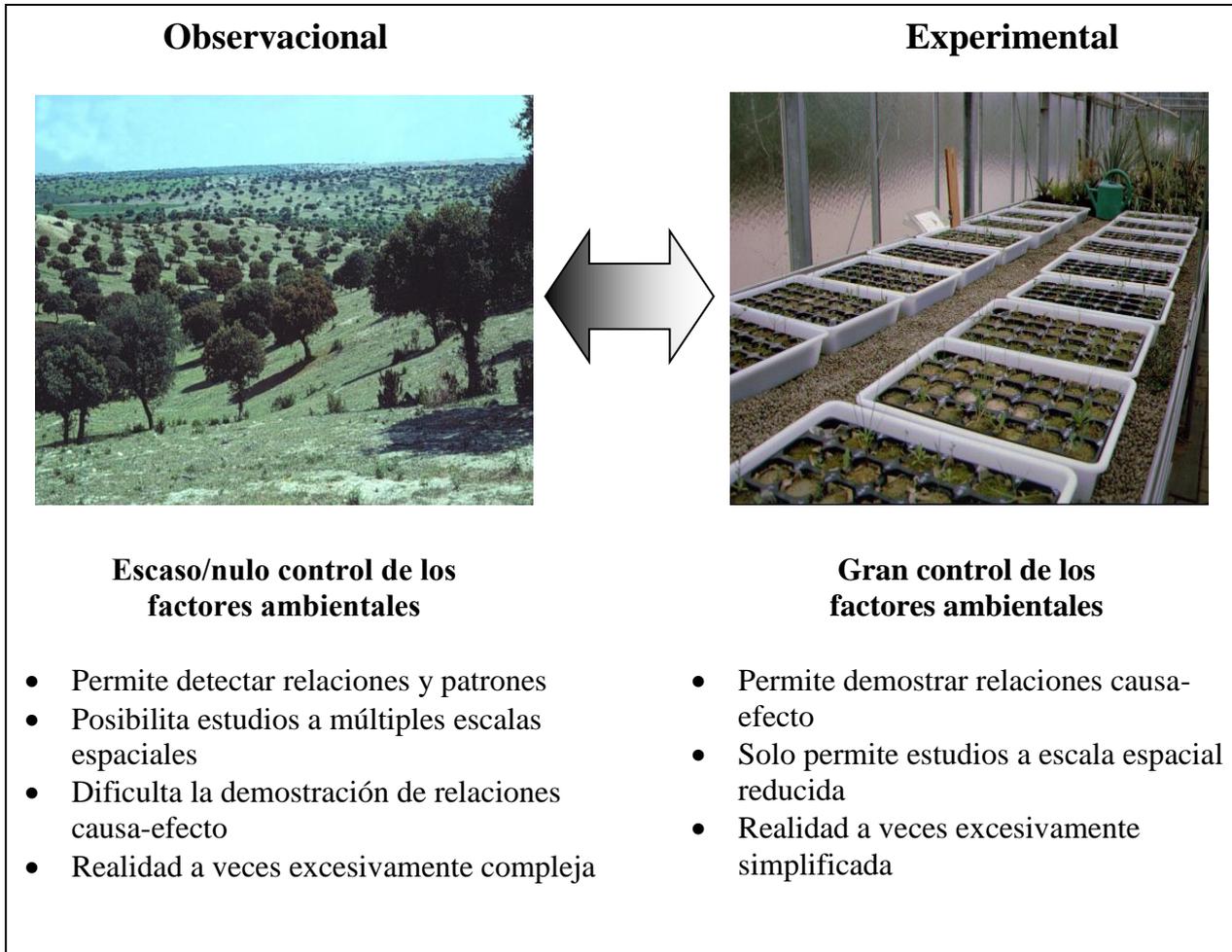


Figura III.3. Características de los estudios observacionales y experimentales

3. SELECCIÓN DE VARIABLES

Una vez hemos decidido cuál es la mejor manera de abordar nuestro problema ecológico (experimento o muestreo de campo), tenemos que concretar qué variables vamos a considerar para responder más adecuadamente a nuestra pregunta. Las variables son características *observables* que se desea estudiar (medir, controlar o manipular) y que toman diferentes valores. Se pueden clasificar principalmente de dos formas:

3.1 - Atendiendo al papel que cumplen en la hipótesis propuesta

INDEPENDIENTES o FACTORES: Son las que el investigador considera responsables de la respuesta esperada

DEPENDIENTES o RESPUESTA: Son las que el investigador mide para cuantificar el la respuesta esperada

3.2- Atendiendo al tipo de medida que se les puede aplicar

Tabla III.1. Tipos de variables que podemos encontrar en cualquier experimento o muestreo

VARIABLES	DEFINICIÓN	SUBTIPOS	EJEMPLOS
CUALITATIVAS	Toman valores no numéricos	Dicotómicas	Sexo
		No dicotómicas	Raza, color de pelo
CUANTITATIVAS	Toman valores numéricos (al menos tres valores diferentes)	Discretas	Nº de descendientes
		Continuas	Peso

Ejemplos:

1. Hipótesis ecológica: la sombra que proyecta la vegetación reduce la evaporación del suelo y por tanto en zonas con vegetación el suelo estará más húmedo que en zonas sin vegetación.

Variables: presencia/ausencia de vegetación (independiente, cualitativa con dos estados); humedad del suelo (dependiente, cuantitativa).

2. Hipótesis ecológica: el agua es el principal factor que limita el crecimiento de las plantas. Por lo tanto al aumentar la cantidad de agua que aportamos a las plantas aumentará su crecimiento.

Variables: niveles de riego (alto, medio y bajo, independiente, cualitativa con tres estados); incremento en altura (dependiente, cuantitativa).

4. ESTRATEGIA DE RECOGIDA DE DATOS

Según hayamos decidido realizar un estudio observacional o experimental tendremos que decidir la estrategia de recogida de datos, es decir, tendremos que diseñar el experimento o el muestreo más adecuado para contestar a nuestra pregunta ecológica. Vamos a ver ahora en detalle los tipos de experimentos y de muestreos, y las decisiones a tomar en cada caso.

4.1. Diseños experimentales

Si hemos optado por un estudio experimental, en nuestra hipótesis consideraremos uno o varios factores (variables independientes) como causa del fenómeno que queremos estudiar y reproducir bajo condiciones controladas. El experimento más sencillo conlleva un solo factor, por ejemplo efectos del riego en el crecimiento de plántulas de encina. Los pasos para establecer el diseño experimental son los siguientes:

1. Determinar los niveles del factor que controlamos. Por ej. podemos establecer en un cultivo tres intensidades de riego (alto, medio y bajo), dos niveles de fertilización (con/sin), cuatro niveles de temperaturas (10°, 15°, 20° y 25°C), etc.

2. Determinar la unidad experimental básica, que es la unidad mínima sobre la que se aplica cada nivel de tratamiento/s. Puede ser un individuo, un grupo de individuos, una unidad de superficie, etc.
3. Asignar un número de unidades experimentales a cada tratamiento (número de réplicas). Este número ha de ser manejable pero representativo. Ha de ser proporcional a la variabilidad esperada entre unidades experimentales.
4. Establecer la distribución en el espacio de las unidades. Para ello hay tres maneras principales.
 - *Al azar*: Las unidades experimentales se distribuyen de forma totalmente aleatoria en el espacio disponible. Supongamos que queremos asignar a un grupo de 90 plantones de encina tres niveles de riego (los que aparecen en la figura con tres rellenos diferentes). La unidad experimental sería un plantón y asignaríamos 30 unidades a cada nivel de riego (Fig. III.4). Este diseño resulta adecuado cuando el espacio en el que se dispone el experimento es muy homogéneo.

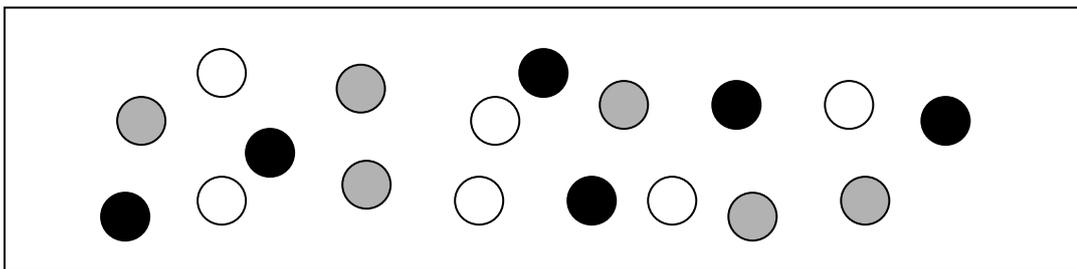


Figura III.4. Distribución al azar de tres niveles de riego (blanco-alto, gris-medio, negro-bajo) entre unidades experimentales (círculos)

- *En bloques al azar*. Las unidades experimentales se agrupan en bloques (un bloque consta de una unidad de cada tratamiento distribuidas al azar) y los bloques se distribuyen en el espacio al azar o de forma regular. En el ejemplo anterior, cada bloque constaría de tres encinas, cada una de las cuales con un nivel de riego distinto, lo que daría un total de 30 bloques. Este diseño se utiliza cuando se sospecha que el área experimental no es homogénea (por ej. en un invernadero hay una pared que proyecta un gradiente de sombra, o puede que el sistema de riego no nos asegure un riego homogéneo en todo el invernadero) (Fig. III.5). Con este diseño la variabilidad ambiental no deseada se reparte por igual entre los tratamientos, para evitar artefactos en los resultados. El análisis estadístico que se aplica a este diseño permite cuantificar la varianza entre bloques y eliminarla.

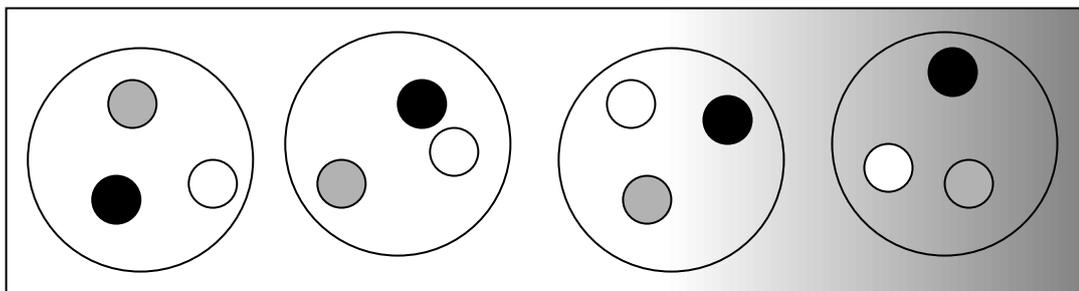


Figura III.5. Distribución de unidades de experimentales en bloques al azar para asegurar que el gradiente de sombra afecta por igual a todos los tratamientos (representados blanco, gris y negro)

4.2. Diseño de muestreos observacionales

Cuando se ha optado por comprobar una hipótesis con un muestreo observacional, es necesario realizar un buen diseño del muestro antes de tomar ningún dato. Para ello hay que tomar una serie de decisiones, que componen la *estrategia de muestreo*.

La forma ideal de comprobar una hipótesis sería medir las variables implicadas en todos y cada uno de los individuos (o unidades) que componen la población a estudiar. Por ejemplo, queremos comprobar si existe relación entre la longitud del pico y el peso de los gorriones. La captura y medida de todos los gorriones de la población nos daría una certeza absoluta sobre nuestro problema, pero resulta inviable. Lo que se hace en su lugar es tomar una **muestra** representativa dentro de un **universo de muestreo**, en este caso, la población. En otras palabras, realizamos un **muestreo**. Sobre esa muestra se toman las medidas y se comprueba la hipótesis con ayuda de los métodos estadísticos, que nos permiten cuantificar la probabilidad de cometer un error al extrapolar las conclusiones obtenidas sobre la muestra para el conjunto de la población.

En los estudios observacionales no existe un control de las variables, como ocurre en los estudios experimentales, por lo que cabe esperar una mayor variabilidad entre unidades. Es por ello por lo que es fundamental elegir una muestra suficientemente **representativa** de la población, compuesta por un número de **réplicas** adecuado. En el ejemplo anterior de los gorriones, necesitaremos tomar las medidas de longitud y de pico en un número de individuos significativo, por ejemplo 100 individuos. En este caso la **unidad de muestreo** (sobre el que se toman las medidas) es el gorrión y el **número de réplicas** es 100.

En algunos casos el concepto de réplica no es tan claro. Por ejemplo, si queremos caracterizar el tamaño de las hojas de un bosque de encinar para compararlo con otro bosque, podemos realizar la replicación en dos niveles: por un lado el bosque está compuesto de árboles, pero cada árbol tiene un elevado número de hojas, siendo la hoja la unidad última donde tomamos la medida. En este caso es necesario diseñar el muestreo teniendo en cuenta esos dos niveles. Si elegimos 1000 hojas del mismo individuo y promediamos sus tamaños, no tendremos un valor representativo del bosque, ya que el individuo muestreado puede ser más grande o más pequeño de lo normal. Tampoco sería adecuado elegir una hoja en 1000 individuos distintos, ya que en este caso cada individuo quedaría pobremente representado con una única hoja. Sería más correcto elegir, por ejemplo, 100 árboles distribuidos por todo el bosque, y recoger de cada uno 10 hojas distribuidas por distintas partes de la copa. En este caso la **réplica** sería el individuo (100 réplicas), mientras que la hoja será una **pseudo-réplica** (1000 hojas). La forma correcta de analizar estos datos sería promediar las 10 hojas de cada individuo y utilizar las 100 réplicas en el análisis. Si utilizamos los 1000 valores como réplicas estaremos cometiendo un error de muestreo llamado **pseudo-replicación**.

En resumen, al diseñar un muestreo debemos seguir los siguientes pasos:

- a) **Seleccionar las variables** a medir. Para realizar un adecuado diseño de muestreo, es fundamental tener claro desde el principio cuáles son las variables que se van a medir, cuáles son dependientes e independientes y si su naturaleza es cualitativa o cuantitativa. El tipo de variables condiciona el tamaño de la unidad de muestreo y el número de repeticiones que se pueden hacer. La siguiente sección se dedica al estudio de las variables bióticas más frecuentemente estudiadas en ecología.
- b) Selección de la **unidad de muestreo**. Puede ser una superficie, un volumen, un individuo, etc. Además debemos saber si nuestro muestreo necesita de pseudo-réplicas.

- c) **Número** de unidades de muestreo que se considera necesario (réplicas, y en su caso pseudo-réplicas). Se considera un número representativo de muestras cuando el valor del parámetro que se va a medir varía poco con la adición de nuevas muestras (Figura III.6).

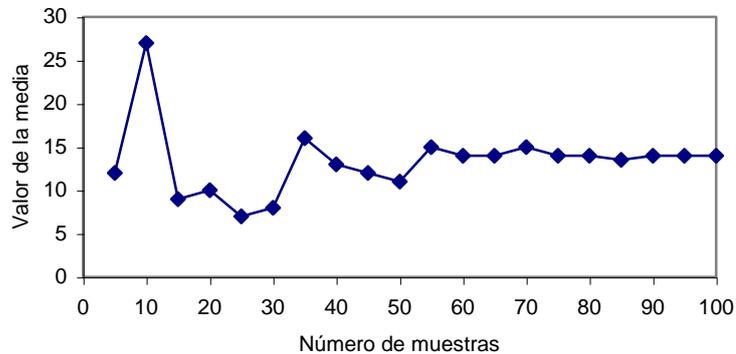


Figura III.6. Valor de la media en función del número de réplicas. Se puede observar que cuando el número es bajo, la adicción de nuevas réplicas puede cambiar considerablemente la media, pero a partir de unas 60 réplicas la media ya no cambia al añadir más réplicas.

4. Cómo se distribuyen las unidades en el espacio y en su caso en el tiempo. El objetivo de un muestreo es seleccionar una muestra donde todas las unidades sean igualmente independientes entre sí. Para ello hay distintos métodos. La selección de uno u otro dependerá de cómo es de homogéneo el universo de muestreo.

- a) **Muestreo aleatorio simple o al azar:** cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido. Es apropiado en el caso de que el universo de muestreo sea homogéneo o no tengamos información que indique lo contrario. Para conseguir una verdadera selección al azar se pueden generar con el ordenador, o hacer un sorteo después de haber numerado todos los individuos de la población, etc. (Fig. III. 6).

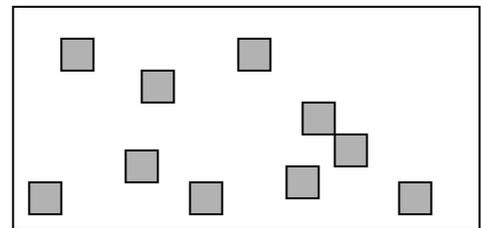


Figura III.6. Distribución aleatoria de unidades de muestreo (por ej. cuadrículas UTM de un mapa).

- b) **Muestreo sistemático o regular:** las unidades de muestreo se distribuyen a intervalos regulares según un criterio preestablecido. Como en el caso anterior, se usa cuando el universo de muestreo es homogéneo, pero sospechamos que las unidades más próximas se parecen entre sí más que las más distantes. Por ejemplo, si en un encinar queremos caracterizar las hojas de una población, la probabilidad de que dos árboles muy próximos procedan de la misma raíz (sean clones idénticos) es muy elevada, por tanto aplicamos un muestreo sistemático

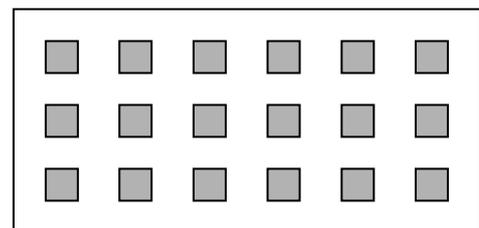


Figura III.7. Distribución regular de unidades de muestreo (por ej. parcelas de 1 m² tomadas a distancias regulares).

5. Organización de los datos. Antes de llevar a cabo el muestreo, es fundamental prever la organización de los datos que se van a tomar. Para ello hay que realizar una tabla o **estadillo**, que facilite la recogida eficaz de los datos. Algunos de los datos que conviene incluir en cualquier estadillo son: la fecha y la localidad de muestreo y el autor de las observaciones cuando hay varias personas implicadas en el muestreo. Normalmente las variables se colocan en columnas y las unidades de muestreo en filas (Tabla III.2).

Tabla III.2. Ejemplo de estadillo diseñado para caracterizar una comunidad de invertebrados acuáticos

Autor:		Fecha:		Localidad:		
	Temperatura	pH	Abundancia especie 1	Abundancia especie 2
Unidad 1	15	7.5	1	15	-	-
Unidad 2	12	7.3	3	48	-	-
Unidad 3	12	7.2	8	78	-	-
Unidad 4	13	8.2	4	23	-	-
Unidad 5	14	6.2	7	64	-	-
Unidad 6	17	6.8	2	85	-	-
Unidad 7	19	5.5	12	14	-	-
Unidad 8	15	7.1	8	15	-	-
Unidad 9	13	7.0	9	32	-	-

5. BIBLIOGRAFÍA

- Begon, M., Harper, J. L. y Townsend, C. R. 1996. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. 3ª Edición. Ediciones Omega, Barcelona.
- Mackenzie, A., Ball, A.S. and Virdee, S. R. 1998. Instant Notes in Ecology. Bios Scientific Publishers, UK.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. 1986. Introducción a la Bioestadística. Editorial Reverté.
- Zar, J.H., 1996. Biostatistical Analysis. 3rd Edition. Prentice-Hall International, London.

APÉNDICE III.I: FICHA PARA GUIAR EL DISEÑO DE UN ESTUDIO ECOLÓGICO

1. Planteamiento del **objetivo o pregunta**.

2. Planteamiento de **hipótesis y su justificación**

3. Diseño de estudio para comprobación de cada predicción:

- *Tipo de estudio*: Observacional o experimental. Justificación.

- *Variables* (en variables cualitativas, especificar las categorías que se incluyen)

VARIABLE(S) INDEPENDIENTE(S)	Cualit. o cuantit	VARIABLE(S) DEPENDIENTES	Cualit. o cuantit

- *Protocolo de muestreo o experimento*

MUESTREO:

- ¿Cuál es la unidad de muestreo?
- ¿Cuántas réplicas se toman?
- ¿Cómo se distribuyen las réplicas en el espacio?

EXPERIMENTO:

- ¿En qué consiste la unidad experimental?
- ¿En qué consisten los tratamientos?
- ¿Cuántas réplicas hay en cada tratamiento?
- ¿Cómo se distribuyen los tratamientos en el espacio? (puedes ayudarte de un esquema).

- *Método estadístico* que se va utilizar:

4. Dibujo del **estadillo** apropiado para la toma de datos.

IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS EN ECOLOGÍA



1. INTRODUCCIÓN

La Estadística proporciona a la Ecología (y a otras ciencias experimentales) las herramientas necesarias para el análisis de los datos. Dado que no podemos hacer estudios en toda la población (no es posible contar todos los ácaros que hay en un suelo, ni medir el área foliar de todas las hojas de un bosque, ni medir la longitud de todas las carpas que tiene un lago), la estadística nos permite cuantificar la probabilidad de cometer error al extrapolar los resultados obtenidos de una muestra al conjunto de la población.

La **estadística descriptiva** reúne un conjunto de técnicas que facilitan la organización, resumen y comunicación de datos; la **estadística inferencial** permite hacer pruebas de contraste de hipótesis.

1.1. Exploración de los datos

Cuando tenemos una colección de datos resultantes de un experimento o muestreo, conviene realizar una primera exploración de cómo son esos datos, antes de realizar ningún análisis complejo. La **estadística descriptiva** aporta parámetros que nos dan una idea inicial sobre cómo son esos datos. Concretamente, disponemos de “medidas de tendencia central” y de “medidas de dispersión” de los datos alrededor de ese valor central.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

Estas medidas indican alrededor de qué valor se agrupan los datos observados. Distinguimos:

1. Media aritmética (X): es el centro de gravedad de la serie de datos y se calcula como

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde x_i representa cada uno de los valores de la variable y n el número de réplicas.

2. Mediana: es el punto medio de una serie ordenada de datos
3. Moda: es el valor más frecuente de la serie de datos.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Estas medidas indican si los valores de la variable están muy dispersos o se concentran alrededor de la medida de centralización. Son:

1. Rango (R): Diferencia entre el valor máximo (x_{max}) y el mínimo (x_{min}) observado.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (\text{Ecuación 2})$$

2. Varianza (s^2): Expresa la dispersión de valores entorno a la media (X)

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - X)^2}{n-1} \quad (\text{Ecuación 3})$$

3. Desviación estándar (s): Es la raíz cuadrada de la varianza.

Para tener una representación visual de estas medidas, es recomendable representar gráficamente la media junto con medidas de dispersión.

DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS

Tras calcular los parámetros de la estadística descriptiva, debemos explorar cómo se distribuyen los datos. Los histogramas de frecuencias (Fig. IV.1) son una herramienta de representación de datos que nos permiten observar cómo se distribuyen los mismos. Están formados por rectángulos adyacentes que tienen por base cada uno de los intervalos de la variable medida y por altura las frecuencias absolutas (nº de veces que aparecen datos dentro de ese intervalo). El número de intervalos a utilizar (k) se puede calcular según la regla de Sturges (1926): $k = 1 + 3.322 * \log(n)$, donde n es el tamaño de muestra.

De entre todas las distribuciones posibles que puedan seguir unos datos, la **distribución normal** es la más interesante desde el punto de vista estadístico, pues reúne unas propiedades que han hecho posible que a partir de ella se desarrollaran numerosos métodos de análisis de datos.

Propiedades de la distribución normal:

- Los valores cercanos a la media son los más abundantes, y a medida que nos alejamos de la media, los datos presentan una frecuencia cada vez menor.
- Es simétrica alrededor de la media. Por tanto, media, mediana y moda coinciden.
- Se caracteriza por dos medidas: media y desviación típica
- Tiene forma de campana, sin un pico excesivo.
- El 50% de las observaciones se encuentran por debajo de la media y el 50% por encima.
- El 68% de las observaciones se encuentran dentro del intervalo $x \pm s$
- El 95% de las observaciones se encuentran dentro del intervalo $x \pm 1,96 * s$
- El 99% de las observaciones se encuentra dentro del intervalo $x \pm 2,57 * s$.

Cómo dibujar un histograma de frecuencias

Para saber si una serie de datos sigue una distribución normal o no, podemos dibujar histogramas de frecuencia o un gráfico qq . Por último, podemos utilizar test estadísticos para saber si la distribución de nuestros datos se ajusta a algún modelo de distribución. A continuación mostraremos cómo hacer cada una de estas pruebas con R studio.

Análisis en R de la distribución de datos *

* Los análisis en R mostrarán en **verde** los comentarios al texto (al estar precedidos de "#") R los interpreta como comentarios, no como comandos), en **azul** el código de R a incluir en el programa y en **negro** los resultados al mismo.

Histograma de frecuencias para explorar la normalidad de una serie de datos

```
#Generamos datos un conjunto de datos imaginarios de longitud de tarso (en mm) en una población de aves. Nuestros datos deben seguir una distribución normal, una media 69.7 cm y una desviación estándar de 14.65. A continuación representamos un histograma de distribución de frecuencias de esos datos.
```

```
data<-rnorm(n = 1000, mean = 69.7, sd = 14.65) #genero una serie de datos aleatorios que cumplan los requisitos de media y desviación estándar indicados y que sigan una distribución normal.
hist(data, #histograma con los datos Figura IV.1
```

```

xlab = "Longitud de tarso (mm)", ylab = "Probabilidad", #añado los nombres de los
ejes.
main = "", prob = TRUE, ylim = c(0,0.04)
lines(density(data), col="blue", lwd=2) #mostramos la probabilidad en el eje Y y
aumentamos el límite para que se vea bien la curva
abline(v=69.7, col="red")#Dibujamos una línea roja en la media

```

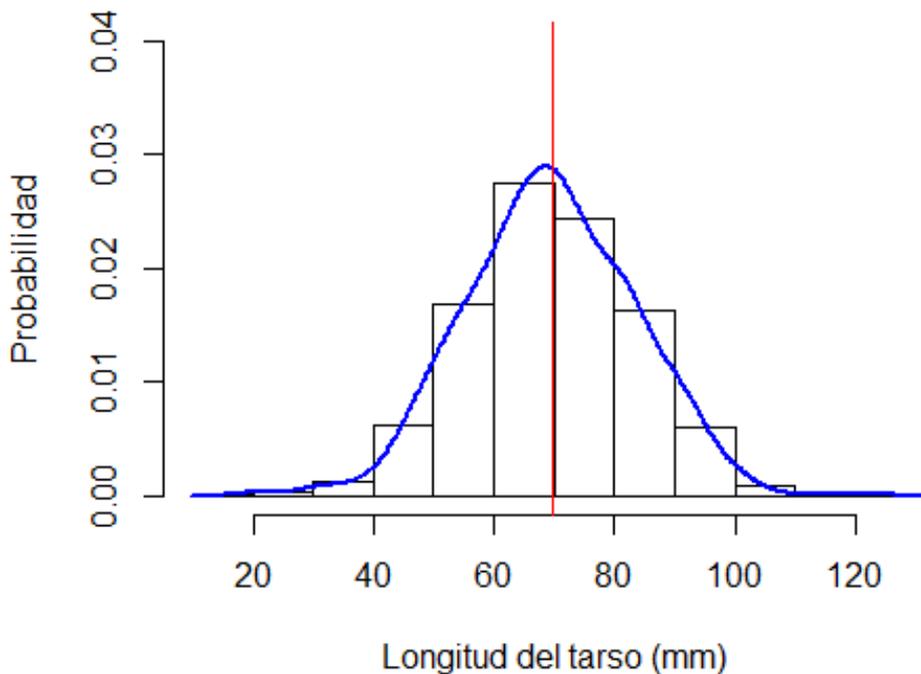


Figura IV.1. Histograma de probabilidad de la variable “Longitud del tarso (mm)” (eje X) de una población de aves. El eje Y muestra la probabilidad con la que aparecen valores en cada intervalo de X. En este caso se trata de una distribución normal.

Cómo dibujar un gráfico qq para explorar la normalidad

Un gráfico qq-normal confronta los cuantiles teóricos en caso de que la distribución sea normal, con los cuantiles reales de los datos (Fig. IV.2). Si la distribución se ajusta a la normalidad los puntos se distribuyen a lo largo de una línea recta diagonal.

Podemos crear un gráfico qq con los datos creados en el ejemplo anterior con el siguiente código:

Gráfico qq para explorar la normalidad de una serie de datos

```

data<-rnorm(n = 1000, mean = 69.7, sd = 14.65) # genero una serie de datos aleatorios
que cumplan los requisitos de media y desviación estándar indicados y que sigan una
distribución normal.

```

```
qqnorm(data, col="springgreen4") # dibujo el gráfico qq, indicando que los puntos tengan color verde
qqline(data) # añado la línea diagonal, que indica la distribución teórica que seguirían los puntos en caso de ser normales.
```

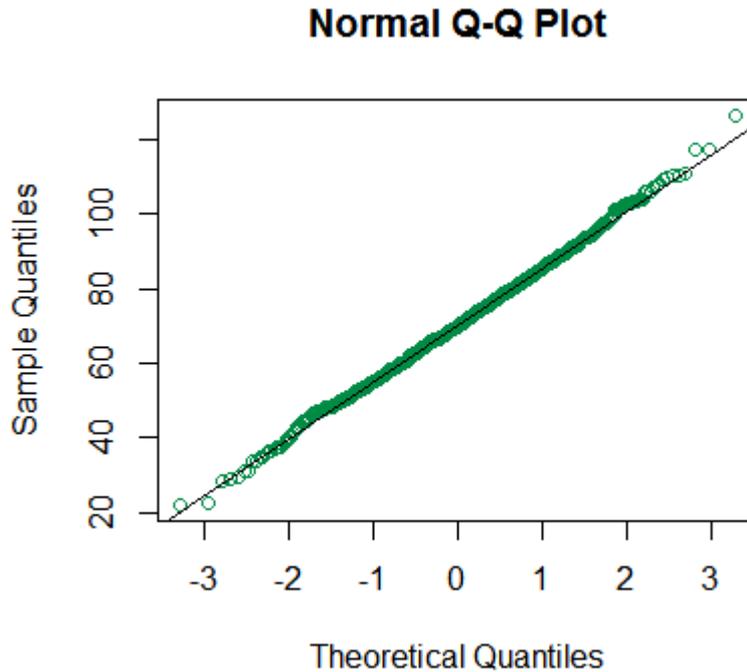


Figura IV.2. Gráfico qq para explorar la normalidad de la variable “Longitud del tarso (mm)”. El eje X indica los cuantiles teóricos si la distribución es normal y el eje Y los cuantiles de la muestra. Como los datos (en verde) se ajustan a la línea diagonal teórica de una distribución normal, podemos considerar que la distribución de los datos es normal.

Cómo hacer un test estadístico para comprobar la normalidad de los datos

Existen diversos test estadísticos que nos indican la probabilidad de que la distribución que sigue una serie de datos difiera de una distribución normal (hipótesis nula o H_0). El resultado del test nos devuelve un valor de probabilidad (*valor de p*). Si $p \leq 0.05$, rechazamos H_0 y concluimos que nuestros datos no se ajustan a una distribución normal. Si por el contrario $p > 0.05$ aceptamos H_0 y concluimos que nuestros datos siguen una distribución normal (ver más detalles en el apartado 1.2).

En nuestro caso vamos a aplicar el test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad a la serie de datos de los ejemplos anteriores.

Test de Shapiro-Wilk para explorar la normalidad de una serie de datos

```
data<-rnorm(n = 1000, mean = 69.7, sd = 14.65) # genero una serie de datos aleatorios que cumplan los requisitos de media y desviación estándar indicados y que sigan una distribución normal.
```

```
shapiro.test(data) # Test de normalidad
Shapiro-Wilk normality test
```

```
data: data
W = 0.99865, p-value = 0.6524
```

Observamos que el valor de p que devuelve el test es muy superior a 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal. Este resultado es concordante con la exploración gráfica mostrada en las figuras IV.1 y IV.2.

HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS (HOMOCEDEASTICIDAD)

Cuando queremos comparar dos o más series de datos, correspondientes a la misma variable (por ej. la humedad del suelo entre zonas con suelo desnudo y zonas de tomillar), probablemente tendremos que saber si las varianzas difieren entre las series de datos. Esta información es necesaria para poder seleccionar el test estadístico adecuado (ver apartado 1.2). Para ello podemos aplicar manualmente el test de la F de Snedecor. Este test evalúa la hipótesis nula (H_0) de que las varianzas son iguales.

Cuadro IV.1. Prueba de comprobación de varianzas iguales: F de Snedecor

Se calculan las varianzas de cada una de las dos muestras: S^2_1 y S^2_2
Se calcula el estadístico F_{cal} a partir de la siguiente fórmula:

$$F_{cal} = \frac{S^2_{mayor}}{S^2_{menor}} \text{ (ecuación 4)}$$

Grados libertad: n_1-1 , n_2-1 (n_1 tamaño de la muestra de varianza mayor)

H_0 : varianzas iguales. Si $F_{cal} \geq F_{crítica}$ (La $F_{crítica}$ se busca en las tablas, ver sección dedicada al Anova), se rechaza la H_0 , es decir, se concluye que las varianzas no son iguales.

Alternativamente, podemos realizar un test similar de homocedasticidad usando RStudio. La hipótesis nula que se evalúa, al igual que antes, es que las varianzas son iguales. El test nos devuelve un valor de p , que si es mayor de 0.05 nos llevará a aceptar la hipótesis nula. En caso contrario, rechazaremos H_0 y concluiremos que las varianzas no son iguales.

Test de Barlett para explorar la homogeneidad de varianzas

```
# genero una matriz (data frame llamado "datos") con una variable que es "longitud del tarso" de una especie de ave y otra que es "habitat" con dos categorías. En cada tipo de hábitat (bosque y matorral) hay 50 medidas de longitud de tarso.
```

```
longitud<-rnorm(n = 100, mean = 69.7, sd = 14.65)
habitat<-c("bosque", "matorral")
habitat<-rep(habitat, each=50)
datos<-data.frame(habitat, data)
```

```
# Aplico el test de Barlett para ver si la varianza de la longitud de tarso difiere entre ambos tipos de hábitat.
```

```
bartlett.test(longitud ~ habitat, data=datos) # Si los valores de la variable dependiente están en dos columnas tendría que usar esta forma: bartlett.test(list(var1, var2))
```

```
Bartlett test of homogeneity of variances
```

```
data: longitud by habitat
```

```
Bartlett's K-squared = 0.0056683, df = 1, p-value = 0.94
```

El resultado ofrece un valor de p muy superior a 0.05, por lo que no rechazo la hipótesis nula y concluyo que la varianza de longitud de tarso es igual en ambos tipos de hábitat.

1.2. Pruebas de contraste de hipótesis

Se han desarrollado numerosos tests estadísticos que permiten realizar pruebas de contraste de hipótesis a partir de la distribución normal y la existencia de homogeneidad de varianzas: son las pruebas **paramétricas**. Sin embargo, no siempre los datos que obtenemos en un trabajo científico se ajustan a estos requisitos; en esos casos recurrimos a la **estadística no paramétrica**.

Para contrastar una hipótesis ecológica (H_{ecol} , por ej. el factor A afecta a la respuesta B), hemos de plantear una hipótesis nula (H_0), que supone la negación de la hipótesis ecológica (el factor A no afecta a la respuesta B). Cuando realizamos cualquier test estadístico de contraste de hipótesis, lo que hacemos es calcular la probabilidad de equivocarnos al rechazar H_0 (y por tanto aceptar nuestra hipótesis). Esa probabilidad es el **valor de p** (o **p -valor**) que acompaña a un resultado estadístico. Por tanto, para poder rechazar H_0 el valor de p debe ser bajo. Para tomar una decisión respecto a cuál sea la hipótesis ‘verdadera’, el investigador fija el nivel máximo de error que se permite asumir al aceptar H_{ec} (que se suele denotar como α). Por convenio el umbral de significación se suele fijar en 0, es decir, nos permitimos un error máximo del 5% en nuestra afirmación de la hipótesis ecológica. **Por tanto, si $p \leq 0.05$, rechazamos H_0 y aceptamos H_{ec} .**

En función del número de variables implicadas en un análisis estadístico, distinguimos dos tipos de métodos de análisis de datos:

- **Métodos bivariantes:** Permiten evaluar la relación entre dos variables (normalmente un factor y una variable respuesta). Los tipos de pruebas bivariantes que se desarrollan en este manual dependen de la naturaleza de las variables implicadas y se resumen en la Tabla 1.
- **Métodos multivariantes:** El análisis implica manejar al mismo tiempo tres o más variables. Este tipo de pruebas no se incluyen en este manual.

Tabla IV.1. Resumen de los métodos estadísticos bivariantes en función de la naturaleza de las variables y del tipo de distribución (normal o paramétrica o no)

Variable 1 (dependiente)	Variable 2 (independiente)		Los datos siguen distribución normal y/o tienen homogeneidad de varianzas	
			SI	NO
Cualitativa	Cualitativa		-	Test de la χ^2 (tablas de contingencia)
Cuantitativa	Cualitativa	2 categorías	t-Student	U de Mann-Whitney/Wilcoxon
		> 2 categorías	Análisis de la varianza (ANOVA)	Kruskal-Wallis
Cuantitativa	Cuantitativa	Se asume que una var. es causa de la otra	Regresión	-
		No se asume relación causa-efecto	Correlación de Pearson	Correlación de Spearman

2. ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES CUALITATIVAS: TEST DE LA χ^2

El test de la χ^2 se utiliza para analizar la asociación entre dos **variables cualitativas** (por ejemplo, la presencia/ausencia de una especie y el tipo de suelo, color de la flor y presencia/ausencia de polinizadores, etc.). Este test parte de una tabla de contingencia, donde las columnas indican las categorías de la variable A y las filas las categorías de la variable B. En cada celda se anota la frecuencia de observaciones correspondiente. El test compara las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas en caso de que no existiera asociación (es decir, si las observaciones se distribuyen al azar entre las categorías de las variables).

2.1. Requisitos e hipótesis de trabajo

La aplicación de este test requiere que las muestras estén tomadas al azar y que las frecuencias esperadas sean superiores a 5. Como se trata de un test que relaciona variables cualitativas, no hay ningún requisito acerca de la distribución de las variables.

Las hipótesis de trabajo serán del tipo:

- H_{ecol} : Existe asociación entre las variables (por ej. esperamos mayor frecuencia de polinizadores en las flores amarillas que en las azules)
- H_0 : Las dos variables son independientes (por ej. a los polinizadores no les importa el color de las flores y aparecerán con la misma frecuencia en las amarillas y en las azules)

2.2. Contraste de hipótesis

Se compara el valor obtenido de χ^2_{cal} con el valor χ^2_{crit} correspondiente al número de grados de libertad apropiados y al valor de α previamente seleccionado (normalmente, $\alpha=0.05$ ó 0.01):

Si $\chi^2_{cal} \geq \chi^2_{crit}$, se rechaza la H_0 (hay asociación entre las variables)

Si $\chi^2_{cal} < \chi^2_{crit}$, se acepta la H_0 (no hay asociación entre las variables)

2.3 Procedimiento de cálculo de la χ^2

Supongamos, por ejemplo, que queremos saber si existe asociación entre la presencia de la especie A (un invertebrado acuático) y el tramo del río (alto, medio y bajo) para el caso del río Henares. Nuestras hipótesis son:

- H_{ecol} : Existe relación entre la presencia de la especie A y el tramo del río
- H_0 : La presencia de la especie A es independiente del tramo del río

Para comprobar cuál se cumple hemos hecho un muestreo a lo largo del río y en cada tramo hemos registrado la presencia (+) o ausencia (-) de la especie en 15 muestras de agua tomadas al azar. Los resultados se muestran en la Tabla IV.2. A partir de estos datos construiríamos una tabla de contingencia con los datos observados en campo (Tabla IV.3)

Tabla IV.2: Presencia (+) o ausencia (-) en cada una de las 15 réplicas de agua tomadas en cada tramo del río Henares.

	Tramo Alto	Tramo Medio	Tramo Bajo
	+	-	-
	+	-	+
	+	-	-
	-	+	-
	+	-	-
	+	-	-
	+	-	-
	+	-	-
	+	+	-
	+	-	-
	-	-	-
	+	-	-
	+	-	-
	+	-	-
	+	-	-

Tabla IV.3. Tabla de contingencia que muestra los valores observados de frecuencia de la especie A en cada tramo del río, según la tabla 2.

		Tramo del río		
		Alto	Medio	Bajo
Especie A	+	13	2	1
	-	2	13	14

A continuación se calcula el estadístico χ^2_{cal} siguiendo la siguiente fórmula:

$$\chi^2_{(\alpha, gl.)} = \sum \frac{(o - e)^2}{e}$$

o = frecuencias observadas en el inventario
 e = frecuencia esperada de una celda, suponiendo que no hubiese asociación
 $e = \frac{c_t * f_i}{N}$
 c_t = total de la columna donde está la celda
 f_i = total de la fila donde está la celda
 N = nº total de casos
 $gl.$ (grados de libertad) = (nº columnas-1)*(nº filas-1)

Para calcular el estadístico χ^2_{cal} conviene añadir a la tabla de contingencia las frecuencias esperadas en cada celda (entre paréntesis), como se indica en la Tabla 4.

Tabla IV.4. Tabla de contingencia que muestra la frecuencia de la especie A observada en cada tramo del río y la frecuencia esperada en caso de independencia entre variables (entre paréntesis)

		Tramo del río			Total
		Alto	Medio	Bajo	
Especie A	+	13 (5.3)	2 (5.3)	1 (5.3)	16
	-	2 (9.7)	13 (9.7)	14 (9.7)	29
Total		15	15	15	45

$$\chi^2_{cal} = \frac{(13-5,3)^2}{5,3} + \frac{(2-5,3)^2}{5,3} + \frac{(1-5,3)^2}{5,3} + \frac{(2-9,7)^2}{9,7} + \frac{(13-9,7)^2}{9,7} + \frac{(14-9,7)^2}{9,7} =: 25.8$$

$$\chi^2_{crit} (2 \text{ g.l.}, \alpha=0.05) = 5.99$$

$$\chi^2_{cal} > \chi^2_{crit} (p < 0.05)$$

Análisis en R del test de la χ^2 :

#Primero creamos la tabla de contingencias, que corresponde a nuestros datos:

```
rio<-matrix(c(13,2,1,2,13,14),byrow=TRUE,ncol=3)
```

```
colnames(rio)=c("Alto","Medio","Bajo")
```

```
rownames(rio)=c("Presente","Ausente")
```

```
rio #Para ver si la tabla está bien
```

```
      Alto Medio Bajo
Presente 13    2    1
Ausente  2   13   14
```

#Aplicar el test de la chi-cuadrada

```
chisq.test(rio)
```

```
Pearson's Chi-squared test
```

```
data: rio
```

```
X-squared = 25.797, df = 2, p-value = 2.501e-06
```

En consecuencia, se rechaza H_0 con una probabilidad de equivocarnos = 2.5×10^{-6} y concluimos que la especie A aparece preferentemente en los tramos altos del río, ya que es en éstos donde su frecuencia observada es mayor que la esperada.

Caso especial: En las tablas de contingencia de 2x2, como la de la Tabla IV.5, el estadístico χ^2_{cal} se puede calcular con las fórmulas que aparecen debajo.

Tabla IV.5. Tabla de contingencia de 2 x.2

		Variable 1		Total filas
		A	B	
Variable 2	+	(a)	(b)	(a+b)
	+	(c)	(d)	(c+d)
Total columnas		(a+c)	(b+d)	(a+b+c+d)

Si $N \geq 30$

$$\chi^2_{cal} = \frac{(a*d - b*c)^2 * N}{(a+b)*(c+d)*(a+c)*(b+d)}$$

Si $N < 30$ (Corrección de Yates)

$$\chi^2_{cal} = \frac{N * (|a*d - b*c| - N/2)^2}{(a+b)*(c+d)*(a+c)*(b+d)}$$

3. TESTS DE COMPARACIÓN DE DOS MEDIAS

Sirven para comparar la media o mediana de una variable respuesta cuantitativa entre dos grupos definidos por dos categorías de una variable independiente cualitativa. Por ejemplo, si queremos comparar el peso corporal de los conejos entre una población que vive en un retamar y otra que vive en una pradera sin retamas. En ese caso, la variable independiente cualitativa es la población (retamar o pradera) y la variable dependiente cuantitativa es el peso corporal.

3.1. Selección del test

Para seleccionar el test apropiado debemos saber si los valores de la variable respuesta cuantitativa siguen una distribución normal dentro de cada grupo. Esto se puede comprobar visualmente dibujando un histograma, un gráfico qq, o un test como Shapiro-Wilk (ver sección 2.1). Asimismo, han que comprobar si las varianzas de ambos grupos son similares, con la F de Snedecor (Cuadro IV.1) o con el test de Barlett (ver sección 1.2).

Si la variable cuantitativa sigue la distribución normal y las varianzas de ambos grupos son iguales, se utilizará el test paramétrico: **t de Student**. En cualquier otro caso se realizará el test no paramétrico: **U de Mann-Whitney**.

3.2. Hipótesis de una o dos colas

Cuando la hipótesis ecológica establece que existen diferencias entre las medias (o medianas) de los dos grupos, sin presuponer cuál de las dos medias es mayor que la otra, se dice que la hipótesis es de “dos colas”, ya que incluye dos posibilidades (que la media del grupo A sea mayor que la del B o viceversa).

$$H_{\text{ecol}}: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Por el contrario, si la hipótesis ecológica establece que una de las dos medias es mayor que la otra, la hipótesis es de una cola, porque solo incluye una posibilidad. En este caso la hipótesis nula es la que abarca dos posibilidades (que la diferencia de las medias vaya en sentido contrario al esperado o que las medias sean iguales).

$$H_{\text{ecol}}: \mu_1 > \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

Es importante establecer esta diferencia porque el resultado del p-valor difiere.

3.3. Cálculo de la t de Student para muestras independientes

Este es el cálculo que tenemos que aplicar cuando las muestras tomadas en las dos situaciones definidas por la variable categórica son independientes, es decir, no hay unas que a priori sean más similares a otras.

Si los datos cumplen los requisitos establecidos, se puede calcular el estadístico t_{cal} a partir de la siguiente fórmula:

$$t_{\text{cal}} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_c \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{donde:} \quad S_c = \sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

n_1 y n_2 = tamaños de las muestras 1 y 2 respectivamente

\bar{x}_1 y \bar{x}_2 = medias de las muestras 1 y 2 respectivamente

s_1^2 y s_2^2 = varianzas de las muestras 1 y 2 respectivamente

A continuación se mide la significación del estadístico t_{cal} , comparando ese valor con el valor de un estadístico t_{crit} que se obtiene mirando las tablas correspondientes. Para identificar el t_{crit} que nos corresponde hemos de fijarnos en el número de colas que tiene nuestra hipótesis (una cola: *one-tailed*; dos colas: *two-tailed*), en el nivel de significación (α) con el que pretendemos rechazar la hipótesis nula (normalmente $\alpha = 0.05$) y en los grados de libertad del test ($n_1 + n_2 - 2$).

- Si $|t_{\text{cal}}| \geq t_{\text{crit}}$ ($\alpha=0.05$ o inferior) \Rightarrow se rechaza H_0 y se acepta H_{ecol} (las medias son diferentes)

- Si $|t_{\text{cal}}| < t_{\text{crit}}$ ($\alpha=0.05$) \Rightarrow se acepta H_0 y se rechaza H_{ecol} (las medias son iguales)

Cuadro IV.2: Ejemplo de cálculo de la t de Student

Queremos saber si la humedad del suelo en un determinado lugar varía en función de la cubierta vegetal del mismo (tomillar o suelo desnudo), pues suponemos que la cubierta vegetal contribuye a aumentar la humedad del suelo por disminución de la evaporación. Para ello se ha realizado un muestreo en el que se ha medido la humedad de suelo (en % del volumen) en seis muestras distribuidas al azar bajo tomillares y en 8 muestras también distribuidas al azar en la misma zona, pero en condiciones de suelo desnudo.

Variabes:

- Cobertura de suelo (cualitativa, independiente)
- Humedad del suelo (cuantitativa, dependiente)

Hipótesis

- H_{ecol} : la humedad de suelo es mayor bajo el tomillar: $\mu_{tomillar} > \mu_{suelo\ desnudo}$ (una cola).
- H_0 : $\mu_{tomillar} \leq \mu_{suelo\ desnudo}$

Tabla de datos:

Cobertura	Humedad de suelo (%)	n	Media	s^2
tomillar	73.0 74.2 75.0 75.3 75.5 75.8	6	74.8	1.04
suelo desnudo	71.0 71.5 72.0 72.4 73.5 74.0 74.3 75.2	8	72.9	2.20

Cálculos:

$$t_{cal} = \frac{74.8 - 72.9}{1.42 \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{8}}} = 2.36$$

$$t_{cal} = 2.36 > t_{crit} (\alpha=0.05, 12\text{ gl, una cola}) = 1.782$$

Interpretación:

Se rechaza la H_0 , y se acepta la H_{ecol} , es decir, se concluye que existen diferencias significativas en la humedad del suelo en función de la cobertura vegetal, siendo mayor en condiciones de cubierta vegetal de tomillar que en condiciones de suelo desnudo.

Análisis en R del test paramétrico de comparación de dos medias (t de student)

```
#Creamos un vector con datos para cada una de las dos situaciones que queremos comparar
tomillar<-c(73.0,74.2,75.0,75.3,75.5,75.8)
suelo<-c(71.0,71.5,72.0,72.4,73.5,74.0,74.3,75.2)
```

```
#Representamos gráficamente los datos para ver dónde parece que hay mayor humedad
boxplot(tomillar, suelo, ylab="humedad del suelo", col="tan", names=c("tomillar",
"suelo"))
```

```
#La figura resultante es la Fig. IV.3
```

```
#REQUISITOS PARA APLICAR LA T-STUDENT
```

```
#Comprobamos la normalidad de la variable en "tomillar" y en "suelo".
```

```
#Lo podemos hacer visualmente con histogramas y gráfico qq.
```

```
#También podemos aplicar el test de Shapiro-Wilk (ver scripts en sección 1.1)
```

```
#Analizamos si las varianzas de la variable en tomillar y en suelo son iguales.
```

```
#Aplicamos el test de Barlett (ver sección 1.1).
```

```
#Como se cumplen todos los requisitos, aplicamos la t de Student
```

```
t.test(tomillar, suelo) #Aquí hacemos un test de dos colas.
```

```
t = 2.6896, df = 11.977, p-value = 0.01971
```

```
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
```

```
95 percent confidence interval: 0.3438945 3.281105
```

```
sample estimates: mean of x mean of y
```

```

74.8000  72.9875
#Si quiero plantear una hipótesis de una cola donde la hipótesis alternativa es que la
humedad del suelo desnudo es mayor que la del tomillar haré lo siguiente:
t.test(tomillar, suelo, alternative="greater")
t = 2.6896, df = 11.977, p-value = 0.009857
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.6112328      Inf
sample estimates:
mean of x mean of y
 74.8000  72.9875
#En este caso el p-valor es la mitad que en el test de dos colas, porque solo estoy
considerando uno de los dos posibles resultados.
# Prueba a hacer el test de una cola pero con la alternativa contraria:
t.test(tomillar, suelo, alternative="less")

```

Los datos de humedad de suelo siguen una distribución normal con forma de campana de Gauss, tanto en el tomillar como en suelo desnudo (Figura IV.3a,b). Además, no muestran desviaciones notable de la normalidad en el gráfico qq. Igualmente, los test de Shapiro, que testan normalidad, sugieren que en ninguna de las dos situaciones (cobertura de tomillar y suelo desnudo) los datos presentan desviaciones de la normalidad ($p > 0.05$). Cuando hemos realizado el test paramétrico t de Student, la variable dependiente “humedad del suelo” difiere significativamente entre las dos categorías de la variable independiente (tomillar y suelo desnudo) ($P < 0.001$).

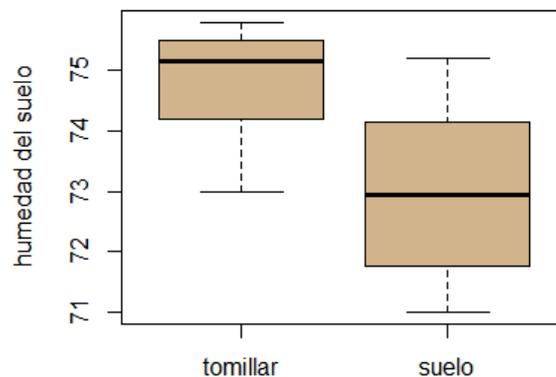


Figura IV.3. Valores medios y desviaciones de la variable dependiente “humedad del suelo” en cada categoría de la variable independiente: tomillar y suelo desnudo.

3.4. Cálculo de la t de Student para muestras pareadas

Los test de comparación de medias pareadas son necesarios cuando las muestras tomadas no son igualmente independientes entre sí. Por ejemplo, se quiere comparar la variable “riqueza de especies” entre dos situaciones: lugares invadidos por una especie invasora (+I) y lugares no invadidos (-I). El muestreo se realiza a lo largo de un universo de muestreo muy heterogéneo (por ej. con distintos tipos de sustrato, o distinta altitud sobre el nivel del mar). Por tanto, cabe esperar que dos muestras lejanas en zonas invadidas sean más diferentes entre sí que dos muestras cercanas, una en +I y otra en -I. Para evitar que el efecto de la heterogeneidad ambiental diluya el efecto que la invasión tiene sobre la riqueza de especies, diseñamos un muestreo pareado, de forma que cada muestra en +I se compara con un control próximo en -I (Fig. IV.3). A continuación se estimará la diferencia de riqueza entre cada muestra y su control y se realizará una t de Student para ver si la media de las diferencias difiere o no de cero.

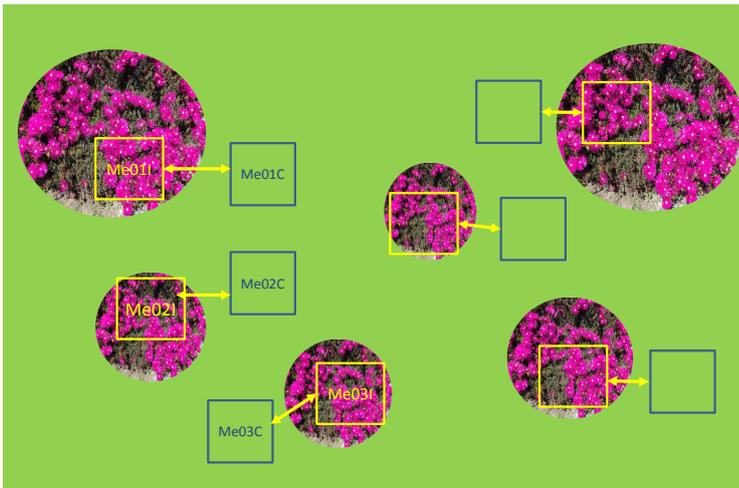


Figura IV.4. Representación de un universo de muestreo en el que una comunidad ha sido invadida por una especie invasora (manchas de flores rosas). Para evitar la interferencia de factores ambientales no deseados, se ha diseñado un muestreo pareado, donde cada muestra en un lugar invadido (cuadros amarillos) será comparada con una muestra control en un lugar no invadido (cuadros azules).

Cuadro IV.3: Ejemplo de cálculo de la t de Student con medias pareadas

Queremos saber si un tratamiento realizado durante un año en una población de pinos afectada por procesionaria ha tenido un impacto en la cantidad de cobertura arbórea. Por ello la cobertura arbórea se ha medido dos veces: antes y después del tratamiento en 10 sitios distintos. Esto nos proporciona 10 valores antes del tratamiento y 10 valores después del tratamiento, midiendo dos veces la cobertura arbórea del mismo sitio. Por ello, aquí debe usarse una t de Student de medias pareadas para comparar la media antes y después del tratamiento (las muestras correspondientes al mismo sitio están más relacionadas entre sí que muestras de sitios distintos).

VARIABLES:

- Cobertura arbórea (cuantitativa, dependiente).
- Tratamiento (cualitativa, independiente con dos categorías: antes/después).

HIPÓTESIS

- H_{eco} : la cobertura arbórea es mayor después del tratamiento que antes del tratamiento: $cobertura_{después} > cobertura_{antes}$ (una cola).
- H_0 : $cobertura_{después} \leq cobertura_{antes}$.

Tabla de datos:

Tratamiento	Cobertura arbórea (%)	n	Media	s^2
Antes	61.98777 63.72664 59.74309 62.70319 61.67165	10	61.5	1.54
	61.40515 60.56058 61.16024 60.47696 61.69815			
Después	96.94371 95.31954 99.16069 96.24361 96.30076	10	95.9	1.20
	96.52271 97.83126 95.60667 94.57118 97.35336			

Cálculos:

$$t = \frac{m}{s \times \sqrt{n}}$$

Donde, m es la media de las diferencias entre cada par de muestras, s es la desviación estándar de las diferencias y n es el tamaño de las diferencias.

$$t = \frac{-35.0720}{2.1099 \times \sqrt{10}} = -49.04632$$

$t_{cal} = -52.56 > t_{crít} (\alpha=0.05, 9 \text{ gl, una cola})$

Interpretación:

Se rechaza la H_0 , y se acepta la H_{eco} , es decir, se concluye que existen diferencias significativas en la cobertura arbórea antes y después de aplicar el tratamiento, siendo mayor después de aplicar el tratamiento.

Comparación de dos medias pareadas (t de Student) en R

```

#Creamos dos vectores con datos para cada una de las dos situaciones que queremos
#comparar
antes<-c(61.98777,63.72664,59.74309,62.70319,61.67165,
         61.40515,60.56058,61.16024,60.47696,61.69815)
despues<-c(96.94371,95.31954,99.16069,96.24361,96.30076,
          96.52271,97.83126,95.60667,94.57118,97.35336)

#Representamos gráficamente los valores medios y las desviaciones
boxplot(antes, despues, ylab="Cobertura de árboles", col= "tan",
        names=c("antes", "después")) #La figura resultante es la Fig. IV.5

#Comprobamos que se cumplen los requisitos de normalidad y homoscedasticidad (ver
sección 1.1).
#Test de comparación de medias pareado
t.test(antes, despues, paired = TRUE)
data: antes and despues
t = -52.564, df = 9, p-value = 1.64e-12
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval: -36.58138 -33.56263
sample estimates: mean of the differences -35.07201

```

La figura IV.5 sugiere que hay una gran diferencia de cobertura arbórea antes y después del tratamiento. Cuando hemos realizado el test paramétrico t de Student de medias pareadas se puede concluir que las medias muestran unas diferencias altamente significativas ($p \ll 0.001$).

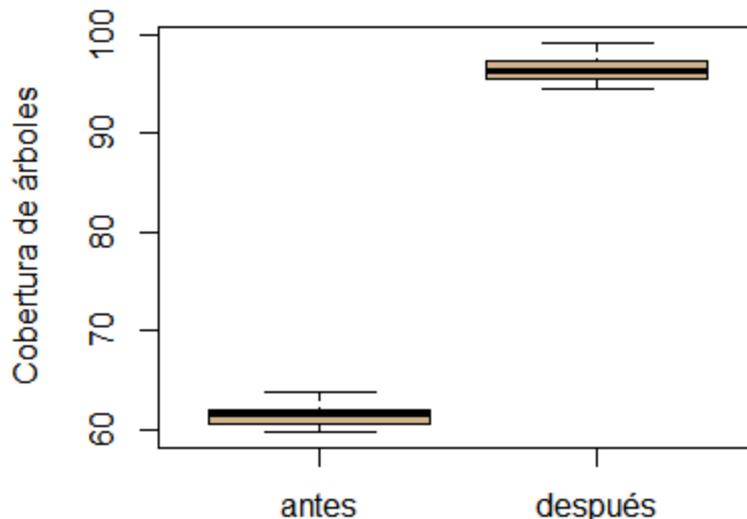


Figura IV.5. Valores medios y desviación de cobertura arbórea antes y después del tratamiento aplicado para controlar la procesionaria del pino.

3.5. Comparación no paramétrica para muestras independientes

Si nuestros datos no cumplen los requisitos necesarios para aplicar una t-Student, podemos aplicar una U de Mann-Whitney, que compara las diferencias entre dos medianas (en lugar de las medias). Este test se basa en rangos (número de orden de los datos en función de su magnitud) en lugar de en los parámetros de la muestra (media, varianza), por ello se dice que es un test no paramétrico.

Los pasos a seguir para calcular la U de Mann-Whitney son:

1. Asignación de rangos a cada dato: se ordenan todos los valores (juntando los dos grupos) de menor a mayor. El rango de cada dato será el número de orden que le corresponde a cada dato. Cuando se repita el mismo valor numérico, el rango que se asigna a esos datos es la media aritmética de los rangos que les corresponderían en función del número de orden que ocupan.
2. Se suman los rangos de cada uno de los grupos que se comparan y se calcula la suma de los rangos de los datos de cada uno de los grupos (R_1 y R_2)
3. Se calculan los estadísticos U_1 y U_2 a partir de las siguientes fórmulas:

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 \qquad U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

Se obtiene el estadístico U_{cal} escogiendo el valor más grande entre U_1 y U_2 .

4. Se comprueba la significación estadística del estadístico U_{cal} comparando este valor con el valor de un estadístico $U_{crít}$ obtenido a partir de las tablas correspondientes.
5. Si $U_{cal} \geq U_{crít}$ ($\alpha=0.05$ o inferior) \Rightarrow se rechaza H_0 y se acepta H_{ecol} (las medianas son diferentes)
6. Si $U_{cal} < U_{crít}$ ($\alpha=0.05$) \Rightarrow se acepta H_0 y se rechaza H_{ecol} (las medianas son iguales)

Cuadro IV.4: Ejemplo de cálculo de la U de Mann-Whitney

Se quiere estudiar si el número de especies de ácaros edáficos se ve influido por un incendio de baja intensidad. Para ello se simuló un incendio de baja intensidad en una parcela de un territorio homogéneo y se tomaron 6 muestras al azar de la zona incendiada y 7 muestras también al azar de la zona no incendiada, contándose el número de especies de ácaros edáficos en cada muestra.

Variables:

- Variable dependiente: número de especies de ácaros edáficos (cuantitativa)
- Variable independiente: ocurrencia de un incendio (cualitativa)

Hipótesis:

- H_{ecol} = La mediana del número de especies de ácaros edáficos varía dependiendo de que se haya producido un incendio: $M_{quemada} \neq M_{no\ quemada}$. (dos colas).
- H_0 = La mediana del número de especies de ácaros edáficos es igual en la parcela quemada que en la no quemada: $M_{quemada} = M_{no\ quemada}$

Tabla de datos:

Parcela	Número de especies de ácaros edáficos						n	
quemada	6	9	12	12	15	16	6	
no quemada	10	13	16	16	17	19	20	7

Asignación de rangos a cada dato:

dato *	6	9	10	12	12	13	15	16	16	16	17	19	20
rango	1	2	3	4.5	4.5	6	7	9	9	9	11	12	13

* en negrita los valores correspondientes al inventario de la parcela quemada

Cálculo de U_{cal}

- Se suman los rangos de cada grupo: $R_1=28$ $R_2=63$
- $U_1=6x7+[(7x8)/2]-63=7$
- $U_2=6x7+[(6x7)/2]-28=35 \rightarrow U_{cal}$
- $U_{cal} = 35 < U_{cít} (\alpha=0.05) = 36$

Interpretación:

No se rechaza la H_0 , concluimos que el número de especies de ácaros edáficos no se ve influido significativamente por la ocurrencia de un incendio de baja intensidad.

Si queremos realizar el test en RStudio, podemos aplicar el test de Wilcoxon

Realización en R del test no paramétrico de comparación de dos muestras independientes

```
#Creamos dos vectores con datos para cada una de las dos situaciones que queremos
#comparar
quemada<-c(0,0,12,12,15,15)
noquemada<-c(10,13,16,16,17,19,20)

#Antes de nada, conviene representar gráficamente los datos para ver qué tendencias
# muestran
boxplot(quemada, noquemada, ylab="riqueza de ácaros", names=c("quemada", "no quemada"))

#Test de normalidad
#Podemos comprobar visualmente la normalidad con histogramas y gráficos qq (sección 1.2
#y figura IV.6)
#También podemos aplicar el test de normalidad de Shapiro
shapiro.test(quemada)
Shapiro-Wilk normality test
data: quemada
W = 0.76178, p-value = 0.02591
shapiro.test(noquemada)
Shapiro-Wilk normality test
data: noquemada
W = 0.94671, p-value = 0.6997
#El resultado sugiere que la variable no es normal en la categoría "quemada"

#Test de comparación de medias
wilcox.test(quemada, noquemada)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: quemada and noquemada
W = 6, p-value = 0.03726
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

El número de especies de ácaros parece ser mayor en la madera no quemada (Figura IV.5). Dado que la variable sigue una distribución no normal en la categoría "quemada" aplicamos el test de Wilcoxon. El resultado indica que las diferencias que muestra la figura sí son significativas ($P > 0.05$).

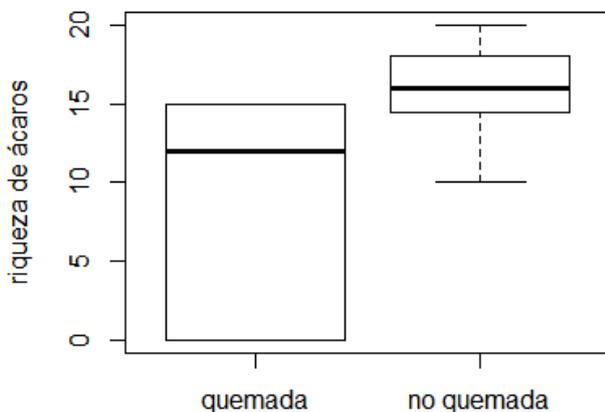


Figura IV.6. Valores medios y desviación de la riqueza de ácaros encontrada en la zona quemada y no quemada.

3.6. Comparación no paramétrica para muestras pareadas

Vamos a suponer ahora que en el ejemplo anterior queremos comparar la riqueza de ácaros en los mismos puntos de muestreo antes y después de un incendio. En este caso las muestras están pareadas, es decir, quiero comparar cada valor de riqueza en el mismo sitio antes y después del incendio.

Realización en R del test no paramétrico de comparación entre dos muestras pareadas

```
#Creamos dos vectores con datos para cada una de las dos situaciones que queremos
#comparar
antes<-c(10,10,16,19,20,20,24)
despues<-c(0,1,9,12,15,15,15)
#Represento la media y la dispersión de los datos para ver qué tendencia siguen
boxplot(antes, despues, ylab="riqueza de ácaros", names=c("antes", "despues"))
#La figura resultante es la IV.7
#Test de normalidad
#Podemos comprobar visualmente la normalidad con histogramas y gráficos qq (sección 1.2
#y figura IV.5)
#También podemos aplicar el test de normalidad de Shapiro
shapiro.test(antes)
Shapiro-Wilk normality test
data: antes
W = 0.89258, p-value = 0.2884
shapiro.test(despues)
Shapiro-Wilk normality test
data: despues
W = 0.80237, p-value = 0.04324
#El resultado sugiere que la variable no es normal en la categoría "despues"

#Test de comparación de medias
wilcox.test(antes, despues, paired= TRUE)
Wilcoxon signed rank test with continuity correction
data: antes and despues
V = 28, p-value = 0.02178
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Los resultados indican que la riqueza de ácaros en los mismos puntos disminuyó tras el incendio (figura IV.6), y que la diferencia es significativa, ya que el resultado del test estadístico no da una $p=0.02178$, que se menor de 0.05.

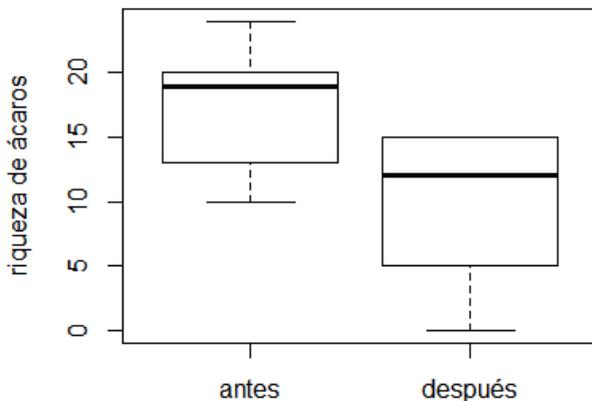


Figura IV. 7. Mediana y desviación de la riqueza de ácaros en varios puntos de muestras antes y después de un incendio.

4. TESTS DE COMPARACIÓN DE MÁS DE DOS MEDIAS

Sirven para comparar las medidas de tendencia central (media o mediana) entre más de dos grupos de datos para determinar si existen o no diferencias entre ellos. Por tanto relacionan una variable cualitativa de más de dos estados (variable independiente) con otra cuantitativa (variable dependiente). Por ejemplo, habría que aplicar este test para determinar si existen diferencias significativas en la densidad de escarabajos (variable dependiente, cuantitativa) que encontramos en cuatro tipos de suelo (variable independiente, cualitativa con cuatro estados).

4.1. Selección del test

Al igual que en la comparación de dos medias, para elegir el test hay que comprobar si los datos siguen una distribución normal dentro de cada grupo, y si las varianzas entre grupos son homogéneas (ver sección 1.1). Si ambos requisitos se cumplen se utilizará el test paramétrico: **ANOVA**. En cualquier otro caso se realizará el test no paramétrico: **Kruskal-Wallis**

4.2. Hipótesis

La hipótesis ecológica establece que existen diferencias entre las medias (o medianas, en el caso del test no paramétrico) de los grupos considerados, es decir, que **al menos** dos de las medias serán distintas. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias.

H_{ecol} : No todas las medias/medianas son iguales

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$

Si rechazamos la hipótesis nula, significa que al menos dos de los grupos difieren entre sí. Sin embargo, este test no indica qué grupos difieren o son iguales de qué grupos. Si quisiéramos conocer las diferencias entre todos los pares de grupos posibles, tendríamos que aplicar algún test "post-hoc", que no vemos en este manual. En cualquier caso, es incorrecto aplicar varios test de Student con este fin.

4.3. Procedimiento de cálculo del ANOVA

La valoración de las diferencias entre las medias de los distintos grupos se basa en la descomposición de la variabilidad total del conjunto de datos en dos términos: variabilidad debida a las diferencias entre los grupos (variabilidad entre grupos), y variabilidad debida al azar (variabilidad dentro de grupos).

$$\text{Variabilidad}_{total} = \text{Variabilidad}_{entre\ grupos} + \text{Variabilidad}_{dentro\ grupos}$$

La variabilidad entre datos se puede estimar con la varianza (s^2), y con Suma de Cuadrados (SS), que es el cociente entre la varianza y los grados de libertad (g-1). Por tanto:

$$SS_{total} = SS_{entre\ grupos} + SS_{dentro\ grupos}$$

Las sumas de cuadrados se obtienen a partir de las siguientes fórmulas:

$$SS_{total} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}$$

$$SS_{entre\ grupos} = \left[\frac{(\sum x_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum x_2)^2}{n_2} + \dots + \frac{(\sum x_k)^2}{n_k} \right] - \frac{(\sum x)^2}{N}$$

Donde

k = número de grupos

N = número total de datos

n_1, n_2, \dots, n_k = número de datos en cada grupo.

x = cada uno de los datos de cada grupo

El cálculo de la suma de cuadrados se obtiene despejando de la ecuación:

$$SS_{dentro\ grupos} = SS_{total} - SS_{entre\ grupos}$$

- Cálculo de los grados de libertad de las sumas de cuadrados:

$$g.l. SS_{total} = N - 1 \qquad g.l. SS_{entre\ grupos} = k - 1 \qquad g.l. SS_{dentro\ grupos} = N - k$$

- Conversión de las sumas de cuadrados (SS) en varianzas:

$$s_{entre\ grupos}^2 = \frac{SS_{entre\ grupos}}{g.l._{entre\ grupos}} = \frac{SS_{entre\ grupos}}{k - 1} \qquad s_{dentro\ grupos}^2 = \frac{SS_{dentro\ grupos}}{g.l._{dentro\ grupos}} = \frac{SS_{dentro\ grupos}}{N - k}$$

- Cálculo del estadístico F:

$$F = \frac{s_{entre\ grupos}^2}{s_{dentro\ grupos}^2}$$

Si en la población de la que proceden las muestras no hay diferencias reales entre los grupos definidos por la variable cualitativa, la varianza entre grupos será similar a la varianza dentro de grupos (por tanto, el cociente entre ambas estará cerca de 1). En el caso de que existan diferencias reales entre los grupos (lo que presupone la hipótesis ecológica) la varianza entre grupos será mayor que la varianza dentro de los grupos (el cociente entre ambas será mayor de 1). El estadístico que nos dice si las desviaciones respecto a ese valor de 1 son significativas es F .

El contraste de hipótesis se realiza comparando el valor de la F_{cal} con el valor $F_{crít}$ obtenido a partir de la tabla para el valor de α previamente establecido (normalmente $\alpha=0.05$ o inferior). La búsqueda de dicha $F_{crít}$ requiere del número de grados de libertad del numerador y del denominador. La forma habitual de notación que se usa en las tablas lleva el valor de α entre paréntesis, y los grados de libertad del numerador y del denominador a continuación, en orden consecutivo y separados por comas. Por ejemplo, $F_{crít (0.05) 3, 22}$ significa el valor del estadístico F de las tablas para un $\alpha=0.05$, con 3 grados de libertad en el numerador y 22 en el denominador.

- Si $F_{cal} \geq F_{crít} \Rightarrow$ se rechaza H_0 y se acepta H_{ecol} (alguna de las medias es diferente)

- Si $F_{cal} < F_{crít} \Rightarrow$ se acepta H_0 y se rechaza H_{ecol} (las medias son iguales)

Cuadro IV.5: Ejemplo de cálculo de ANOVA

Se quiere saber si el tipo de cobertura de suelo (suelo desnudo, piedras, hojarasca y pastizal) influye sobre la densidad de hormigueros. Para ello se ha realizado un muestreo en el que se ha medido el número de hormigueros en diez muestras distribuidas al azar dentro de cada una de las zonas con diferente cobertura.

Variabes:

- cobertura de suelo (cualitativa, independiente)
- densidad de hormigueros (cuantitativa, dependiente)

Hipótesis:

- H_{ecol} : Alguna de las medias es diferente (la cobertura de suelo influye sobre la densidad de hormigueros)
- H_0 : $\mu_{\text{suelo desnudo}} = \mu_{\text{piedras}} = \mu_{\text{hojarasca}} = \mu_{\text{pastizal}}$

Tabla de datos:

Cobertura	Densidad de hormigueros	n	Media	Σx	$(\Sigma x)^2$	Σx^2
suelo desnudo	78 88 87 88 83 82 81 80 80 89	10	83.6	836	698896	70036
piedras	78 78 83 81 78 81 81 82 76 76	10	79.4	794	630436	63100
hojarasca	79 73 79 75 77 78 80 78 83 84	10	78.6	786	617796	61878
pastizal	77 69 75 70 74 83 80 75 76 75	10	75.4	754	568516	57006
Total		40		3170		252020

Cálculo de la suma de cuadrados total:

$$SS_T = 252020 - (3170)^2/40 = 797.5$$

Cálculo de la variabilidad entre grupos ($SS_{\text{entre grupos}}$):

$$SS_{\text{entre}} = 698896/10 + 630436/10 + 617796/10 + 568516/10 - 3170^2/40 = 341.9$$

Cálculo de la variabilidad dentro de los grupos ($SS_{\text{dentro grupos}}$):

$$SS_T = SS_{\text{entre}} + SS_{\text{dentro}} \Rightarrow SS_{\text{dentro}} = SS_{\text{total}} - SS_{\text{entre}} = 797.5 - 341.9 = 455.6$$

Determinar los grados de libertad de cada una de las sumas de cuadrados estimadas:

$$SS_T = N - 1 = 40 - 1 = 39 \quad SS_{\text{entre grupos}} = k - 1 = 4 - 1 = 3 \quad SS_{\text{dentro grupos}} = N - k = 40 - 4 = 36$$

Estimación de las varianzas dividiendo las SS por los grados de libertad:

$$s^2_{\text{entre grupos}} = 341.9/3 = 113.97 \quad s^2_{\text{dentro grupos}} = 455.6/36 = 12.66$$

Cálculo del estadístico F_{cal} y comparación con el estadístico F_{crit} :

$$F_{\text{cal}} = s^2_{\text{entre grupos}} / s^2_{\text{dentro grupos}} = 113.97/12.66 = 9.002$$

$$F_{\text{crit}}(0.05)_{3, 36} < 2.92$$

Interpretación: $F_{\text{cal}} > F_{\text{crit}} \Rightarrow$ Rechazamos H_0 , La abundancia de hormigueros no es la misma en todas las zonas

Realización en R del test ANOVA

```
#Creamos la matriz con los datos con dos columnas, en una tenemos la variable dependiente "densidad" y en otra las categorías de la variable independiente "cobertura"
```

```
cobertura<-c("desnudo","piedras","hojarasca","pastizal")
```

```
cobertura<-rep(cobertura,each=10)
```

```
hormigueros<-data.frame(cobertura,
```

```
"densidad"=c(78,88,87,88,83,82,81,80,80,89,78,78,83,81,78,81,81,82,76,76,79,73,79,75,77,78,80,78,83,84,77,69,75,70,74,83,80,75,76,75))
```

```
#Analizamos la estructura de los datos
```

```
str(hormigueros)
```

```
'data.frame':      40 obs. of  2 variables:
```

```

$ cobertura: Factor w/ 4 levels "desnudo","hojarasca",...: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
$ densidad : num  78 88 87 88 83 82 81 80 80 89 ...

#Representamos gráficamente los valores medios de densidad de hormigueros en cada tipo
de cobertura de suelo (Fig. IV.8)
boxplot(densidad ~ cobertura, data=hormigueros, col="tan", cex.axis=0.7, las = 2,
ylab="Densidad de hormigueros", cex.lab=0.75)
#Añadimos al boxplots los datos individuales para ver cómo se distribuyen
stripchart(densidad ~ cobertura, data=hormigueros, col="red",
           vertical = TRUE, method = "jitter", cex=0.5,
           add=TRUE, pch=19)

#ANOVA
modelo <- lm(densidad ~ cobertura, data=hormigueros)
anovaModelo <- anova(modelo)
anovaModelo
Analysis of Variance Table
Response: densidad
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
cobertura  3   341.9  113.967   9.0053 0.000139 ***
Residuals 36   455.6   12.656
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#Comprobamos las asunciones del ANOVA:
# 1. Normalidad de la variable dependiente en cada categoría de la variable
independiente. Puedo hacerlo visualmente con histogramas o gráficos qq.
(ver sección 1.1).
También puedo aplicar el test de normalidad de Shapiro-Wilk a los residuos del
modelo
shapiro.test(modelo$residuals)
Shapiro-Wilk normality test
data:  modelo$residuals
W = 0.97657, p-value = 0.5641
# Aceptamos H0: los residuos siguen una distribución normal.

#2. Homocedasticidad (varianzas iguales entre las categorías de la variable indep.)
bartlett.test(densidad ~ cobertura, data=hormigueros)
Bartlett test of homogeneity of variances
data:  densidad by cobertura
Bartlett's K-squared = 2.5279, df = 3, p-value = 0.4703
# Aceptamos H0: las varianzas son iguales entre categorías de cobertura.

```

La fig. IV.8 sugiere que la densidad de hormigueros difiere entre sitios con distinta cobertura de suelo, y que es mayor en suelo desnudo y mínima en pastizal. Los datos cumplen con los presupuestos de la ANOVA (normalidad de los residuos – test de Shapiro-Wilk; y homocedasticidad – Test de Bartlett), y como tal se puede aplicar un modelo de ANOVA. El modelo de ANOVA confirma que las diferencias que sugiere la figura son significativas ($p < 0.001$).

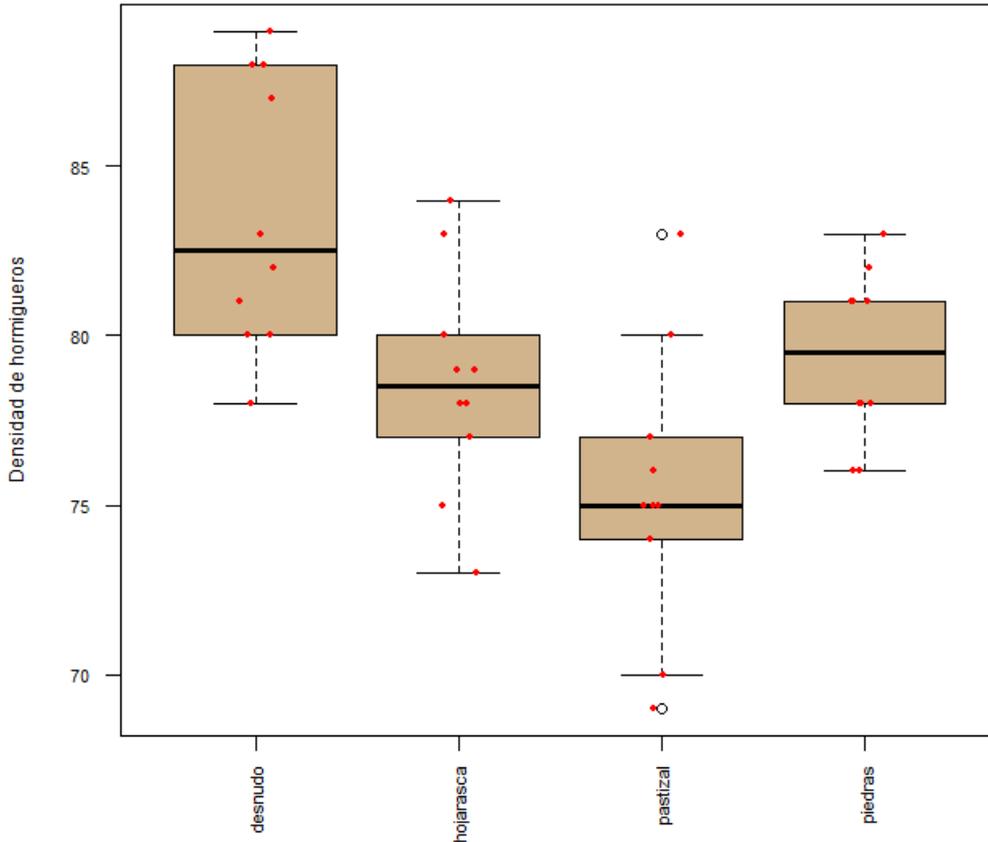


Figura IV.8. Medias y desviaciones de la densidad de hormigueros en los distintos tipos de cobertura de suelo. Los puntos rojos representan los valores de los datos individuales.

4.4. Procedimiento de cálculo del test no paramétrico: *Kruskal-Wallis*

Se emplea cuando los datos no siguen la distribución normal y/o tienen varianzas distintas, en sustitución del ANOVA paramétrico. Al igual que la U de Mann-Whitney se basa en rangos en lugar de los parámetros de la muestra (media, varianza) y compara medianas en lugar de medias.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Asignación de rangos: se realiza exactamente igual que para la U de Mann-Whitney.
- Cálculo del estadístico H :

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

k = número de grupos

N = número total de datos

n_i = número de datos en el grupo i

Cuando existen rangos ligados (dos o más números con el mismo rango) se aplica un factor de corrección, siendo H_c el estadístico que se utiliza en lugar de H , calculado según la siguiente expresión:

$$H_c = \frac{H}{C} \quad C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (t_i^3 - t_i)}{N^3 - N}$$

t_i = número de rangos ligados en cada grupo

m = número de grupos de rangos ligados

El valor crítico del estadístico calculado (H o H_c) se consulta en la tabla de la χ^2 si $N \geq 15$, o si $k > 5$, para $(k-1)$ grados de libertad. Si $N < 15$ y $k < 5$ se consulta en la tabla específica para H .

- Si $H_{cal} \geq H_{crít} (\chi^2_{crít}) \Rightarrow$ se rechaza H_0 y se acepta H_{ecol} (medianas diferentes)

Si $H_{cal} < H_{crít} (\chi^2_{crít}) \Rightarrow$ se acepta H_0 y se rechaza H_{ecol} (medianas son iguales)

Cuadro IV.6: ejemplo de cálculo de Kruskal-Wallis

Se quiere estudiar si el pH de cuatro charcas situadas sobre sustratos diferentes es distinto. Para ello se obtuvieron 8 muestras de agua procedentes de cada una de las charcas, midiéndose el pH en cada una de ellas. Los datos de pH se ordenaron de forma ascendente para cada charca. (Una muestra de agua de la charca n° 3 se perdió, de forma que $n_3=7$; pero el test no requiere igualdad en el número de datos de cada grupo). Los rangos se muestran entre paréntesis.

VARIABLES:

- Variable dependiente: pH (cuantitativa)
- Variable independiente: tipo de sustrato sobre el que cada charca (cualitativa)

HIPÓTESIS:

- H_{ecol} = el pH no es el mismo en las cuatro charcas
- H_0 = el pH es el mismo en las cuatro charcas

Tabla de datos:

Charca 1	Charca 2	Charca 3	Charca 4
7.68 (1)	7.71 (6*)	7.74 (13.5*)	7.71 (6*)
7.69 (2)	7.73 (10*)	7.75 (16)	7.71 (6*)
7.70 (3.5*)	7.74 (13.5*)	7.77 (18)	7.74 (13.5*)
7.70 (3.5*)	7.74 (13.5*)	7.78 (20*)	7.79 (22)
7.72 (8)	7.78 (20*)	7.80 (23.5*)	7.81 (26*)
7.73 (10*)	7.78 (20*)	7.81 (26*)	7.85 (29)
7.73 (10*)	7.80 (23.5*)	7.84 (28)	7.87 (30)
7.76 (17)	7.81 (26*)		7.91 (31)
$n_1=8$	$n_2=8$	$n_3=7$	$n_4=8$
$R_1=55$	$R_2=132.5$	$R_3=145$	$R_4=163.5$

* Rangos ligados

$$N = 8 + 8 + 7 + 8 = 31$$

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) = \frac{12}{31(32)} \left[\frac{55^2}{8} + \frac{132.5^2}{8} + \frac{145^2}{7} + \frac{163.5^2}{8} \right] - 3(32) = 11.876$$

Número de grupos de rangos ligados = $m = 7$

$$\sum_{i=1}^m (t_i^3 - t_i) = (2^3 - 2) + (3^3 - 3) + (3^3 - 3) + (4^3 - 4) + (3^3 - 3) + (2^3 - 2) + (3^3 - 3) = 168$$

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (t_i^3 - t_i)}{N^3 - N} = 1 - \frac{168}{31^3 - 31} = 1 - \frac{168}{29760} = 0.9944$$

$$H_c = \frac{H}{C} = \frac{11.876}{0.9944} = 11.943 \quad \nu = k - 1 = 3 \quad \chi_{0.05, 3}^2 = 7.815$$

$H_{cal} > \chi_{crít}^2 \Rightarrow$ Se rechaza H_0
El pH no es el mismo en todas las charcas

Realización en R del test Kruskal-Wallis

```

## introducimos los datos
charca1 = c(7.68,7.69,7.70,7.70,7.72,7.73,7.73,7.76)
charca2 = c(7.71,7.73,7.74,7.74,7.78,7.78,7.80,7.81)
charca3 = c(7.74,7.75,7.77,7.78,7.80,7.81,7.84)
charca4 = c(7.71,7.71,7.74,7.79,7.81,7.85,7.87,7.91)
charcaID = c(rep("charca1",8),rep("charca2",8),
             rep("charca3",7),rep("charca4",8))
charcanum = c(rep(1,8),rep(2,8),
             rep(3,7),rep(4,8))
charcas = data.frame(charca = charcaID,
                    pH = c(charca1,charca2,charca3,charca4),
                    charca.num = charcanum)

charcas
  charca  pH charca.num
1 charca1 7.68         1
2 charca1 7.69         1
3 charca1 7.70         1
4 charca1 7.70         1
5 charca1 7.72         1
6 charca1 7.73         1
7 charca1 7.73         1
8 charca1 7.76         1
9 charca2 7.71         2
10 charca2 7.73         2
11 charca2 7.74         2
12 charca2 7.74         2
13 charca2 7.78         2
14 charca2 7.78         2
15 charca2 7.80         2
16 charca2 7.81         2
17 charca3 7.74         3...

#Examinamos la distribución de los datos, realizando un histograma para cada charca
par(mfrow=c(2,2)) # Esta instrucción es para que dibuje las cuatro figuras en
                  dos filas y dos columnas.

hist(charca1)
hist(charca1)
hist(charca1)
hist(charca1)

```

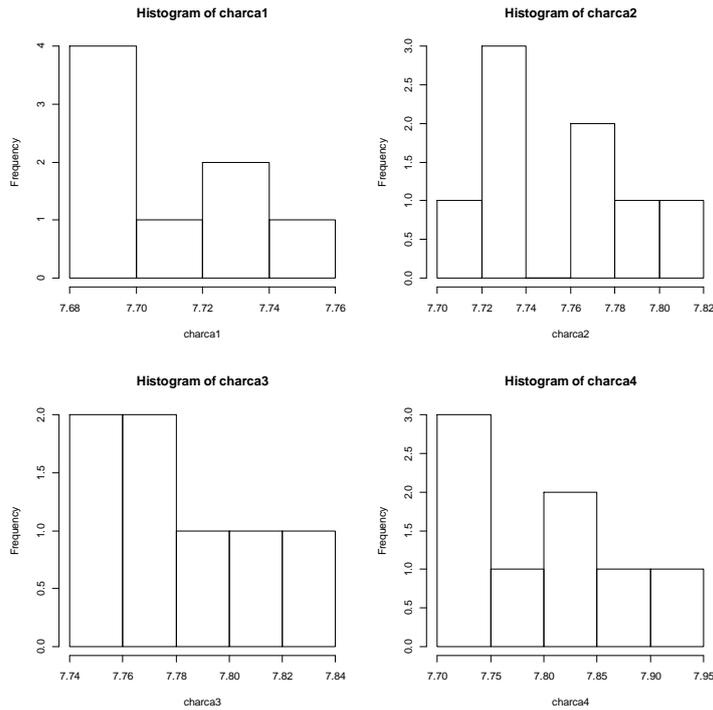


Figura IV.9. Histogramas mostrando la distribución de frecuencias del pH de cada una de las cuatro charcas del ejemplo.

```
# examinamos la distribución del pH en cada charca con boxplot
dev.off()# Cierra la ventana del gráfico anterior y anula los parámetros gráficos
previos
boxplot(pH ~ charca, data=charcas, col="tan", cex.axis=0.7, las = 2,
        ylab="pH de las charcas", cex.lab=0.75)
stripchart(pH ~ charca, data=charcas, col="red",
           vertical = TRUE, method = "jitter", cex=0.5,
           add=TRUE, pch=19)
```

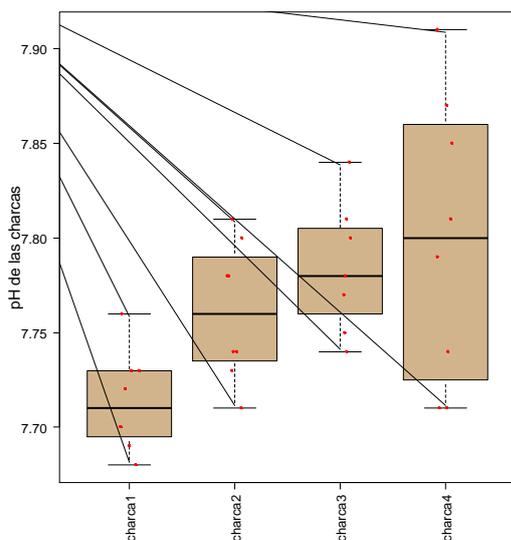


Figura IV.10. Diagrama de cajas y bigotes comparando las distribuciones de las medidas de pH en cada una de las cuatro charcas del ejemplo. Los puntos rojos muestran los valores correspondientes a cada observación.

```

#Test de homocedasticidad (varianzas iguales)
# H0: las varianzas no difieren entre charcas. Test de Bartlett
bartlett.test(pH ~ charca, data=charcas)
Bartlett test of homogeneity of variances
data: pH by charca
Bartlett's K-squared = 8.8272, df = 3, p-value = 0.03168
# las varianzas no son iguales, es decir, no se cumple la H0 de homocedasticidad ya que
p-value < 0.05, por tanto no podemos usar ANOVA, y procedemos a comparar las medias con
el test de Kruskal-Wallis

# Aplicamos el test Kruskal-Wallis
kruskal.charcas = kruskal.test(pH ~ charca.num, data = charcas)
kruskal.charcas
Kruskal-wallis rank sum test
data: pH by charca.num
Kruskal-wallis chi-squared = 11.944, df = 3, p-value = 0.007579
# El valor de p-value < 0.05 nos informa de que no se cumple la H0 de que las medias de
pH de cada charca sean iguales.

```

La figura IV.10 sugiere que hay diferencias de pH entre las cuatro charcas comparadas, pero también indica que la dispersión de valores (medida con la varianza) es mayor en la charca 4. El test de Barlett confirma que las varianzas son heterogéneas. El resultado del Kruskal-Wallis confirma que las diferencias que muestra la figura son significativas.

5. ASOCIACIÓN ENTRE VARIABLES CUANTITATIVAS: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

El coeficiente de correlación cuantifica el grado de asociación entre dos variables cuantitativas. Se utiliza cuando no se asume que una variable es causa y la otra consecuencia. Por ejemplo, si queremos saber si el peso y con la longitud del pico covarían dentro de una población de aves (no se asume una relación de causalidad).

ρ es el coeficiente de correlación real que existe entre dos variables en el conjunto de la población.

r y r_s son los coeficientes medidos sobre la muestra.

Los coeficientes de correlación varían entre -1 y 1 del siguiente modo (Fig. IV.3):

- $1 \geq \rho > 0$: correlación positiva.
- $-1 \leq \rho < 0$: correlación negativa.
- $\rho \approx 0$: no hay correlación, los valores de x e y varían de forma independiente.

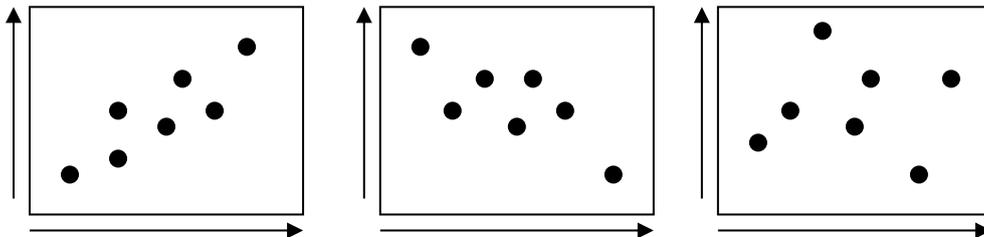


Figura IV.11. Tres posibles tipos de asociación entre variables: positiva (izqda.) negativa (centro) y ausencia de asociación (derecha)

Cuanto más cerca esté el coeficiente de 1 ó -1, más fuerte es la correlación

5.1. Hipótesis de una cola y de dos colas

Cuando la hipótesis ecológica indica que existe correlación (sin precisar el signo) se trata de una hipótesis de dos colas, ya que implica dos posibilidades (que la relación sea positiva o negativa). La hipótesis nula solo implica una posibilidad: que no exista correlación entre las variables.

$$H_{ec}: \rho \neq 0 \quad (\rho < 0 \text{ ó } \rho > 0)$$

$$H_0: \rho = 0$$

Por el contrario, si la hipótesis ecológica precisa el signo de la correlación, entonces se trata de una hipótesis de una cola. La hipótesis nula implica dos posibilidades: que no haya correlación o que ésta sea del signo contrario al esperado en la hipótesis ecológica.

$$H_{ecol}: \rho > 0 \Rightarrow H_0: \rho \leq 0$$

$$H_{ecol}: \rho < 0 \Rightarrow H_0: \rho \geq 0$$

Es importante saber de cuántas colas es la hipótesis a la hora de evaluar la significación del test.

5.2. Correlación paramétrica: *r* de Pearson

Para poder aplicar este test las dos variables (dependiente e independiente) deben seguir una distribución normal.

El cálculo del índice de correlación de Pearson se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^{n-1} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n-1} x_i \times \sum_{i=1}^{n-1} y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_i \right)^2 \right) \times \left(n \sum_{i=1}^{n-1} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i \right)^2 \right)}}$$

n- nº de pares de muestras
x_i- valores de la variable *x*
y_i- valores de la variable *y*

A continuación, se comprueba la significación del índice de correlación calculado comparándolo con el valor de un estadístico r_{crit} obtenido a partir de la tabla correspondiente, para una $\alpha = 0.05$ o inferior y las colas que establezca la hipótesis.

Si $|r_{cal}| \geq r_{crit}$ ($\alpha=0.05$ o inferior) \rightarrow Se rechaza la hipótesis nula. \rightarrow Existe correlación.

Cuadro IV.7: Ejemplo de cálculo de *r* de Pearson

Un ornitólogo está interesado en conocer la longitud del pico de una población de aves que estudia. Sin embargo, esa medida resulta más costosa de tomar que el peso corporal. Por ello quiere saber si ambas variables se correlacionan para estimar la primera a partir de la segunda.

Variabes (Ambas son cuantitativas y normales):

- *x*: longitud del pico.
- *y*: peso corporal.

Hipótesis:

- $H_{\text{ecol}}: \rho \neq 0$ ($\rho < 0$ ó $\rho > 0$) (dos colas)
- $H_0: \rho = 0$

Tabla de datos:

Obs.	Longitud del pico (mm)	Peso corporal (g)	x^2	y^2	xy
1	33.5	51	1122	2601	1708
2	38.0	59	1444	3481	2242
3	32.0	49	1024	2401	1568
4	37.5	54	1406	2916	2025
5	31.5	50	992	2500	1575
6	33.0	55	1089	3025	1815
7	31.0	48	961	2304	1488
8	36.5	53	1332	2809	1935
9	34.0	52	1156	2704	1768
10	35.0	57	1225	2349	1995
SUMA	342	528	11752	27990	18119

Cálculos

$n = 10$; $r = 0.779$, $r_{\text{cal}} = 0.779 > r_{\text{crit}(0.01) n=10} = 0.765$. Se rechaza H_0 y se acepta H_{ecol}

Interpretación:

Se puede concluir que existe una correlación positiva entre el peso corporal y la longitud del pico de esa población de aves. Esto significa que los cambios en peso corporal de esas aves son un fiel reflejo de los cambios en la longitud del pico.

Realización en R de la correlación de Pearson

```
## Generamos una tabla de datos con los datos del ejemplo
```

```
datos.pico <- data.frame(
  Obs. = seq(1,10,1),
  longitud.pico = c(33.5,38.0,32.0,37.5,31.5,33.0,31.0,36.5,34.0,35.0),
  peso.corporal = c(51,59,49,54,50,55,48,53,52,57)
)
```

```
Obs. longitud.pico peso.corporal
1      1          33.5          51
2      2          38.0          59
3      3          32.0          49
4      4          37.5          54
5      5          31.5          50
6      6          33.0          55
7      7          31.0          48
8      8          36.5          53
9      9          34.0          52
10    10          35.0          57
```

```
#Represento las variables gráficamente para ver si hay relación aparente entre ellas
plot(longitud.pico ~ peso.corporal, data=datos.pico, pch=16)
abline(lm(longitud.pico ~ peso.corporal,
          data=datos.pico), col="red")
```

```
#Compruebo que ambas variables cumplen el requisito de normalidad (sección 1.1).
```

```
#Test de correlación para comprobar la hipótesis nula ( $H_0$ ) de  $\rho = 0$ 
```

```
cor.test(~ longitud.pico + peso.corporal, data=datos.pico,
        method = "pearson", continuity = FALSE,
        conf.level = 0.95)
```

```

Pearson's product-moment correlation
data: longitud.pico and peso.corporal
t = 3.5194, df = 8, p-value = 0.007853
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.2942560 0.9452104
sample estimates:
      cor
0.7794691

```

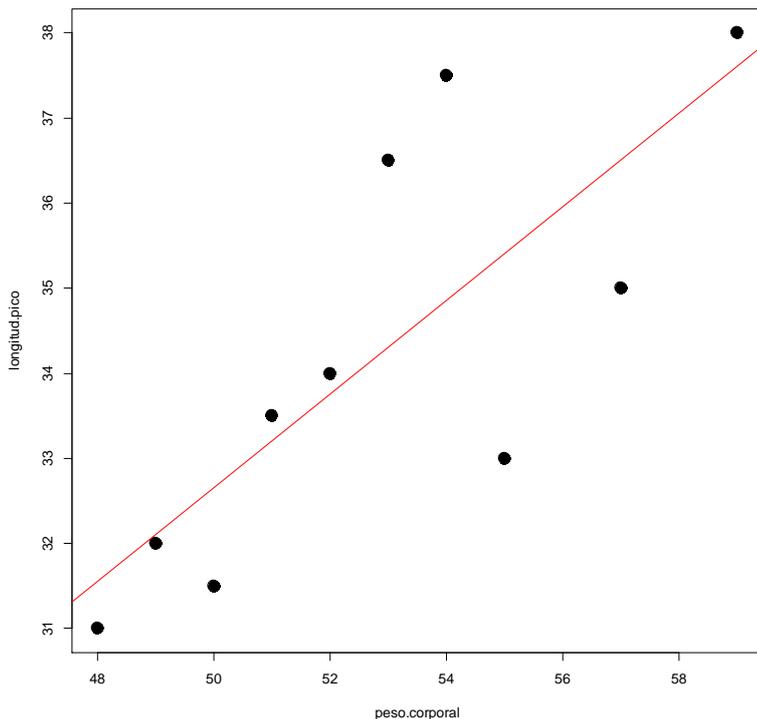


Figura IV.12. Gráfico de dispersión entre la longitud del pico y el peso corporal y ajuste del modelo lineal (ver línea roja).

La figura IV.12 sugiere que existe una relación entre ambas variables y el resultado del test confirma que esa relación es significativa.

5.3. Correlación no paramétrica: r de Spearman

Se aplica este test cuando una o ninguna de las dos variables implicadas sigue una distribución normal. Para calcular la r de Spearman hay que realizar los siguientes pasos:

- Ordenar los pares de datos en función del valor de x y asignar rangos a x .
- Repetir la ordenación en función de y y asignar rangos a y .
- Calcular el coeficiente:

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} d_i^2}{n^3 - n}$$

$n = n^\circ$ de pares de datos

d_i = diferencia de rangos en las variables del par i

Para comprobar la significación estadística del índice de correlación se consulta en la tabla correspondiente el valor crítico de r_s para n pares de datos, para $p=0.05$ o inferior y para el número de colas acorde con la hipótesis. Si $r_{s\text{ cal}} \geq r_{s\text{ crít}}$, se rechaza H_0 .

Cuadro IV.8: Ejemplo de cálculo de r de Spearman

Se sospecha que la abundancia de la especie de gramínea *Poa bulbosa* en los pastizales mediterráneos depende en gran medida de la humedad que hay en el suelo. Para comprobar la hipótesis se realiza un muestreo con una cuadrícula de 20 cm de lado, que se dispone 12 veces al azar sobre la comunidad de pasto. En cada cuadrícula se mide la cobertura de la especie y la humedad del suelo mediante un TDR.

Variabes: Ambas son cuantitativas y no siguen una distribución normal

- Cobertura de la especie
- Humedad del suelo.

Hipótesis

- H_{ec} : existe una correlación positiva entre la cobertura de *Poa* y la humedad $\rho > 0$ (de una cola)
- H_0 : $\rho \leq 0$

Tabla de datos:

Obs.	Cobertura	Humedad	Rango cob.	Rango hum.	d	d ²
1	82	42	2	3	-1	1
2	98	46	6	4	2	4
3	87	39	5	2	3	9
4	40	37	1	1	0	0
5	116	65	10	8	2	4
6	113	88	9	11	-2	4
7	111	86	8	10	-2	4
8	83	56	3	6	-3	9
9	85	62	4	7	-3	9
10	126	92	12	12	0	0
11	106	54	7	5	2	4
12	117	81	11	9	2	4
					Suma	52

Cálculos

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 52}{12^3 - 12} = 0.82 > r_{s\text{ crit}}(0.05) = 0.503$$

Interpretación:

Se rechaza H_0 , hay correlación positiva entre la cobertura de *Poa bulbosa* y la humedad del suelo. Es importante destacar que este muestreo no es una demostración de una relación causa-efecto entre las variables, es decir, que con este muestreo no podemos concluir que la mayor humedad de suelo es la causa de la mayor abundancia de *Poa bulbosa*. Para determinar relaciones de causa-efecto se necesita realizar experimentos controlados y otros tests estadísticos que verifiquen ese tipo de relación.

Cálculo en R de la correlación de Spearman

```
#Genero una matriz con los datos que quiero analizar)
datos <- data.frame("cobertura" = c(82,98,87,40,116,113,111,83,85,126,106,117),
                   "humedad" = c(42,46,39,37,65,88,86,56,62,92,54,81))
str(datos)
```

```
#Dibujó el gráfico de dispersión para ver la relación entre las variables (Fig. IV.13)
plot(cobertura ~ humedad, data=datos, pch=16)

#Correlación entre los datos

#Compruebo si ambas variables cumplen el requisito de normalidad (sección 1.1).
#Como no es así, aplico el test de correlación de Spearman. Puedo hacerlo de dos formas

cor.test( ~ cobertura + humedad,
          data=datos,
          method = "spearman",
          continuity = FALSE,
          conf.level = 0.95)

Spearman's rank correlation rho
data: cobertura and humedad
S = 52, p-value = 0.002027
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates: rho = 0.8181818
```

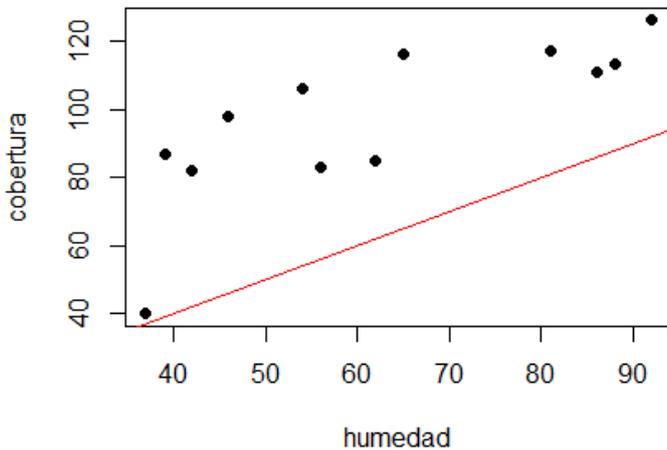


Figura IV.13. Gráfico de dispersión entre la cobertura y la humedad mostrando una línea 1:1 en rojo.

La Fig. IV.13 sugiere que hay relación entre las variables, ya que a medida que aumenta la humedad también lo hace la cobertura. El resultado del test da un valor de $p < 0.05$, que confirma que efectivamente ambas variables están correlacionadas significativamente.

6. REGRESIÓN

La regresión se aplica cuando tenemos dos variables y asumimos (en nuestra hipótesis) que una depende de la otra. Por ejemplo, la dosis de fertilizante que se aplica a una serie de plantas cultivadas en macetas esperamos que cause diferencias en la altura de las plantas. La variable independiente es la dosis de fertilizante y la dependiente la altura.

Para poder aplicar este test, los residuos del modelo deben seguir una distribución normal.

El parámetro que se calcula en regresión es el coeficiente de regresión o R^2 , que equivale al cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson y se interpreta como el porcentaje de la varianza de la variable dependiente que explica la variable independiente. La significación de este coeficiente se calcula igual que el de la r de Pearson.

Cuadro IV.9: Ejemplo de cálculo de regresión

Esperamos que la salinidad del suelo afecte negativamente al crecimiento de plantas de una especie herbácea (*Onobrychis sativa*). Para comprobarlo hemos preparado una serie de disoluciones con potencial osmótico decreciente (desde agua destilada donde el potencial osmótico es igual a 0 MPa) hasta la solución más concentrada de potencial osmótico = -0.328 MPa). Tras una semana, hemos medido la longitud media de las plántulas emergidas en cada placa.

VARIABLES (Ambas son cuantitativas y normales):

- x: potencial osmótico (varía entre - y 0, MPa).
- y: Longitud (cm).

Hipótesis

- H_{ecol} : A mayor potencial osmótico (menos negativo) esperamos una mayor longitud de plántula.

Tabla de datos:

Longitud (cm)	Potencial osmótico (MPa)
0.2	0
0.17	-0.043
0.15	-0.127
0.1	-0.193
0.05	-0.263
0.02	-0.32
0.2	0
0.17	-0.043
0.15	-0.127
0.1	-0.193
0.05	-0.263
0.02	-0.328
0.2	0
0.17	-0.043
0.15	-0.127
0.1	-0.193
0.05	-0.263
0.02	-0.328

Hacemos una recta de regresión del tipo:

$$\text{Longitud} = a + b \times \text{Potencial osmótico}$$

Donde a y b son parámetros de la recta de regresión y obtenemos:

$$\text{Longitud} = 0.2028 + 0.5522 \times \text{Potencial osmótico}$$

Interpretación:

El parámetro b relacionado con la pendiente de la curva tiene un valor positivo que no cruza el cero, por lo que podemos aceptar nuestra hipótesis de un efecto positivo del potencial osmótico en la longitud de la plántula.

Cálculo en R de una regresión

```
# Introducimos los datos y creamos las dos variables a correlacionar.
```

```
Longitud=c(0.2,0.17,0.15,0.1,0.05,0.02,0.2,0.17,0.15,0.1,
0.05,0.02,0.2,0.17,0.15,0.1,0.05,0.02)
```

```

PotOsm=c(0,-0.043,-0.127,-0.193,-0.263,-0.328,
0,-0.043,-0.127,-0.193,-0.263,-0.328,0,
-0.043,-0.127,-0.193,-0.263,-0.328)

# Creamos el modelo de regresión lineal
modeloL = lm(Longitud ~ PotOsm)

# Coeficientes de la recta
modeloL$coefficients
(Intercept)      PotOsm
 0.2028031      0.5522206

#Representamos gráficamente la nube de puntos: Figura IV.14
plot(PotOsm,Longitud, col = "darkgray",
      xlab="potencial osmotico (MPa)", ylab="Longitud (mm)",
      pch = 21, cex = .8)

#Añadimos la recta de regresión
abline(modeloL, col = "red", lwd = 3)

# COMPRUEBA SI SE CUMPLEN LOS REQUISITOS DE LA REGRESIÓN
# H0: los residuos son normales.
shapiro.test(modeloL$residuals)
Shapiro-Wilk normality test
data: modeloL$residuals
W = 0.82134, p-value = 0.00309

```

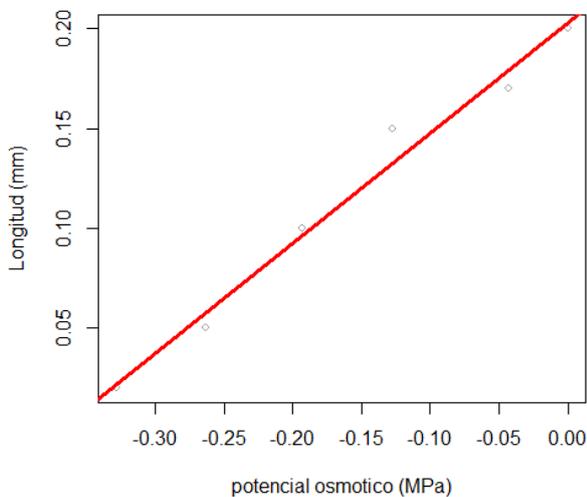
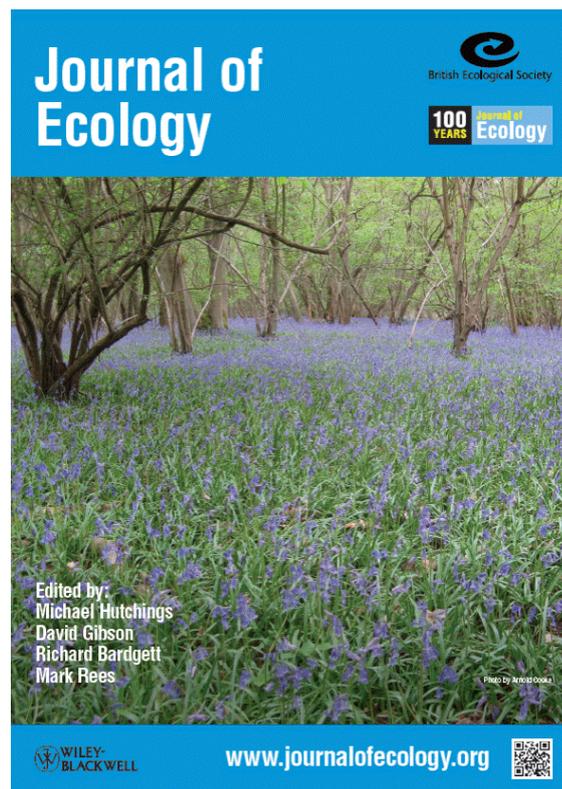


Figura IV.14. Gráfico de dispersión entre la longitud de la plántula y el potencial osmótico y ajuste del modelo lineal (línea roja)

Se puede observar como el potencial osmótico tiene un efecto positivo en la longitud. El intercepto de la regresión tiene un valor de 0.20 y la pendiente de 0.55 (ver Figura IV.14). Sin embargo, al comprobar la asunción del modelo de normalidad de los residuos podemos afirmar que nuestros residuos no se distribuyen normalmente ya que el p-valor es menor de 0.05 ($p = 0.003$). Además, se observan gráficamente desviaciones de la normalidad (ver Figura IV.15). Por tanto, estrictamente no podríamos aplicar una regresión lineal y deberíamos adoptar alguna otra solución, por ej. aplicar una correlación de Spearman.

V. ELABORACIÓN DE UN TRABAJO CIENTÍFICO EN ECOLOGÍA



Un trabajo científico se escribe para comunicar unas ideas que resultan de un proceso de investigación desarrollado mediante el método científico. A continuación se muestran los apartados que debe tener un trabajo científico estándar, así como algunas indicaciones sobre cómo elaborar cada uno de ellos. Os recomendamos leer algún artículo contrastando lo que leéis con esta estructura. Podéis descargar artículos en castellano de algunas revistas on-line, como *Ecosistemas* (<http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas>), *Pirineos* (<http://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos>) o *Revista Chilena de Historia Natural* (<https://revchilhistnat.biomedcentral.com/>)

El estilo de un artículo científico es muy distinto del que sigue un artículo periodístico o un texto literario. Se recomienda seguir las siguientes indicaciones.

- El lenguaje ha de ser sencillo, claro y conciso. Para ello es muy útil utilizar frases cortas.
- Se escribe en forma impersonal, (por ej. no se dice "realicé un muestreo", sino "se realizó un muestreo").
- Hay que evitar imprecisiones del lenguaje. Las frases han de contener un mensaje claro. Antes de escribir cada frase, hay que tener clara la idea que se quiere reflejar (si la idea no está clara, la frase difícilmente lo estará).
- Los resultados se escriben en pasado.
- El vocabulario ha de ser adecuado al contexto, no se pueden utilizar expresiones coloquiales y evitar palabras de significado impreciso. No hacerlo da una impresión de descuido que el lector no puede aceptar. Por supuesto, no se admiten las faltas de ortografía.
- Los nombres científicos se escriben en itálica. El nombre del género va en mayúsculas y el de la especie en minúsculas (por ej. *Quercus robur*). Además los nombres científicos no se acentúan, porque están en latín y este idioma no tiene acentos.
- El número de cifras decimales ha de ser homogéneo y razonable (por ej. 2-3 decimales para los valores de p).
- El texto debe ser coherente y no es aceptable el copiar párrafos de distintas fuentes y ponerlos juntos, incluso sin ajustar el tipo de letra o el interlineado. Para conseguirlo, es necesario que **todos los autores leáis el texto** en su versión final varias veces. Considerad que se trata de un **trabajo cooperativo**, y que todos sois igualmente responsables de todo lo que se dice en el trabajo.
- Hay que hacer un buen uso de la puntuación. Los puntos y aparte deben separar apartados con distinto contenido.

1. TÍTULO

Ha de ser breve, pero informativo. Ha de proporcionar al lector una idea del contenido del real del trabajo. Ejemplos de títulos:

- *Impacto de la introducción de la abeja doméstica (Apis mellifera, Apidae) en el Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias)*
- *Nitrificación en suelos tropicales, asunto de competencia microbiana: un modelo basado en la teoría de Lotka-Volterra*
- *La ecología reproductiva de las plantas: estrategias reproductivas, fuerzas ecológicas y evolutivas*
- *Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas*

2. RESUMEN

Ha de contener una síntesis de cada una de las partes del trabajo (problema, objetivos, metodología, resultados y discusión). Ha de ser muy conciso (no más de 200 palabras). En el resumen no hay bibliografía. Ejemplo de un resumen, tomado de la revista *Ecosistemas*:

Cuadro V.1: Ejemplo de un resumen, tomado de Castro, A., Espinosa, C.I. 2016. *Dinámica estacional de invertebrados en un matorral seco tropical a lo largo de un gradiente altitudinal. Ecosistemas 25(2): 35-45. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.05*

Determinar la dinámica estacional de los seres vivos y su relación con variables climáticas a lo largo de gradientes ambientales resulta necesario para entender los posibles efectos del cambio climático y contribuir a conservar los ecosistemas tropicales estacionalmente secos. En un matorral seco tropical se completó un ciclo anual de muestreo con trampas de interceptación en seis parcelas localizadas a distintas altitudes para comprobar la existencia de: 1) relaciones de variaciones estacionales entre humedad y oscilaciones diarias de temperatura y humedad con el número y abundancia de taxa, 2) concordancia entre los patrones de distribución temporal de las comunidades a distintas altitudes, 3) diferentes amplitudes en los periodos de abundancia de las comunidades según la altitud y 4) influencia de la altitud en las relaciones expuestas en el objetivo 1). De manera consistente en todas las altitudes, el número de taxa se correlacionó negativamente con la humedad relativa y positivamente con las diferencias termohigrométricas diarias. La abundancia se correlacionó negativamente con la humedad en dos parcelas. Las correlaciones de abundancia de taxa con la humedad fueron negativas, salvo para Diptera. Las correlaciones con las fluctuaciones termohigrométricas diarias fueron de diferente signo. Salvo para Scorpiones, Pseudoscorpiones, Acariformes y Psocoptera, estas relaciones fueron consistentes en todas las altitudes. La amplitud de los periodos de abundancia no varió con la altitud pero la distribución temporal de las abundancias no fue concordante entre todas las parcelas. Por consiguiente, las diferencias en las dinámicas estacionales no fueron debidas a variaciones climáticas ligadas a la altitud.

3. PALABRAS CLAVE

Al final del resumen se ponen 5 palabras que permitan al lector tener una idea muy general de los temas que se van a tratar. Normalmente estas palabras se utilizan para hacer búsquedas bibliográficas automatizadas, de manera que uno puede buscar todos los trabajos publicados que contengan una determinada palabra clave.

Las palabras-clave del artículo anterior son:

artrópodos; Ecuador; estacionalidad; humedad; temperatura

4. INTRODUCCIÓN

La Introducción debe tener una estructura de pirámide invertida, empezando con una aproximación más general al tema, estrechando progresivamente el tema de trabajo hasta terminar planteando la pregunta concreta. Debe contener la siguiente información

- Antecedentes sobre el tema. ¿Qué se sabe sobre el tema? ¿Cuál va a ser nuestra aportación?
- Objetivo. ¿Cuál es la pregunta que se intenta responder en el trabajo? Justificar la importancia o interés de dicha pregunta, basándose en los antecedentes planteados.
- Hipótesis. ¿Qué resultado esperamos obtener y por qué? Es fundamental hacer una buena justificación razonada de la hipótesis citando la bibliografía en que se basa.

A lo largo de la introducción se debe citar la bibliografía consultada que nos haya ayudado a plantear las hipótesis. Estas citas deben aparecer al final del trabajo, en el apartado de “Bibliografía”.

Cuadro V.2: Primer párrafo de la introducción de Castro, A., Espinosa, C.I. 2016. *Dinámica estacional de invertebrados en un matorral seco tropical a lo largo de un gradiente altitudinal. Ecosistemas 25(2): 35-45. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.05*

Las respuestas de los organismos a variables climáticas a lo largo de gradientes ambientales se ha utilizado para predecir las posibles consecuencias del cambio climático y de las actividades humanas en los ecosistemas naturales (Crimmins et al. 2011; Denny et al. 2014). Uno de los organismos que responden más rápidamente a cambios ambientales son los invertebrados, por lo que se han empleado frecuentemente como indicadores (Prather et al. 2013). En el Trópico se prevé que las modificaciones climáticas ocurran antes que en otras regiones del planeta (Mora et al. 2013), siendo prioritario entender las posibles consecuencias sobre la dinámica estacional de grupos de los invertebrados. Además, el rápido calentamiento del planeta ha sido argumentado como uno de los principales motores de la acelerada extinción de especies (Thomas et al. 2004; Stork, 2010).

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Debe contener la siguiente información:

- Descripción del área de estudio si es un estudio de campo (situación geográfica, clima, suelo, vegetación...) o descripción del experimento (unidad experimental, réplicas, etc.)
- Variables implicadas. En un experimento controlado, condiciones en que se realiza.
- Método de muestreo (sectorizado, al azar o en gradiente, número de réplicas, fechas de muestreo, etc).
- Material utilizado (solo si se trata de aparatos especializados, es decir, no es necesario mencionar materiales como regla, sobres, bolsas, lápiz, papel, etc).
- Método de análisis elegido en función del tipo de variables (no hay que explicar cómo se hace el análisis). Programa estadístico utilizado.

Se recomienda pedir a algún colega que desconozca el tema que se lea el apartado de Material y Métodos, para comprobar si con la información proporcionada sería capaz de repetir ese mismo estudio (pues es la prueba de una buena redacción del apartado).

6. RESULTADOS

Debe contener la siguiente información:

- Este apartado debe aportar una descripción escueta y sencilla (pero bien redactada) de los resultados obtenidos, sin interpretarlos (eso se hace en la discusión). En primer lugar se presentan los resultados de la estadística descriptiva (por ej. "el crecimiento medio alcanzado por las plantas en el tratamiento de alta temperatura fue casi el doble que el obtenido con baja temperatura") y en segundo lugar los resultados de la estadística inferencial (test de contraste de hipótesis). Por ejemplo: "Las diferencias entre ambos tratamientos fueron altamente significativas". Es fundamental tener en cuenta que los resultados estadísticos no aportan ninguna información útil si no se acompañan de la estadística descriptiva.
- El texto debe reforzarse con Tablas y/o Figuras que faciliten la visualización de los resultados. Estos han de llevar una leyenda que los haga autoexplicativos, precedida de su número de referencia (Tabla 2: Figura 1, etc). Desde el texto se debe hacer referencia a todas las tablas y/figuras que aparecen (por ej. "en la Figura 1 se puede observar el tamaño medio de las plantas en cada tratamiento").
- Las tablas y/o figuras que se presentan en los resultados deben contener resultados de la estadística descriptiva (por ej. media aritmética de una medida en cada tratamiento \pm desviación típica o desviación estándar o intervalos de confianza), así como los resultados de la estadística inferencial (parámetro estadístico del test y valor de p).
- No debe haber redundancia entre tablas y figuras. Por ej. no se puede mostrar la misma información en forma de tabla y de figura (o lo uno o lo otro)
- Las salidas estadísticas que ofrecen los programas, como StatGraphics, suelen contener mucha más información de la que es necesaria para interpretar el resultado. Por tanto no es válido copiar y pegar directamente las tablas que se obtienen del programa estadístico, sino que hay que elaborarlas.
- Nunca se deben poner las tablas de datos brutos recogidos por el investigador (estadillo). Para poder interpretarlas el lector necesitará coger la calculadora y empezar a hacer cálculos. Esa labor ya la ha hecho el investigador, por tanto se la debe dar hecha al lector.
- Las tablas y figuras deben indicar los nombres de las variables que aparecen, así como las unidades de las magnitudes que recogen. Por ej. "Peso (g)", "Altura (cm)".
- El número de decimales con los que aparecen los valores de las tablas y figuras debe ser homogéneo dentro de una misma variable (por ej. un valor no puede tener un decimal y el siguiente 3 decimales). Además debe ser acorde con la precisión del instrumento de medida. Por ej. si medimos espesores foliares con un calibre que da una precisión de centésimas de mm, los resultados deben darse en mm con dos decimales (no con cinco).

Cuadro V.3. Ejemplo de elaboración de resultados a partir de la salida estadística de StatGraphics

La salida de Estadística Descriptiva que ofrece el programa StatGraphics para la variable “Peso del adulto de pingüino barbijo (g)”

Frecuencia = 31
 Media = 3854,84
 Varianza = 109892,0
 Desviación típica = 331,5
 Mínimo = 3200,0
 Máximo = 4550,0
 Rango = 1350,0
 Asimetría tipificada = 0.506387
 Curtosis tipificada = -0.608689

Esta información se puede resumir en la siguiente frase: “El peso medio de los individuos fue de $3854,54 \pm 331,50$ (N=31)”. En este caso no es necesario realizar ninguna tabla ni figura.

Cuadro V.4: Ejemplo de figura. Tomado de Castro, A., Espinosa, C.I. 2016. Dinámica estacional de invertebrados en un matorral seco tropical a lo largo de un gradiente altitudinal. Ecosistemas 25(2): 35-45. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.05

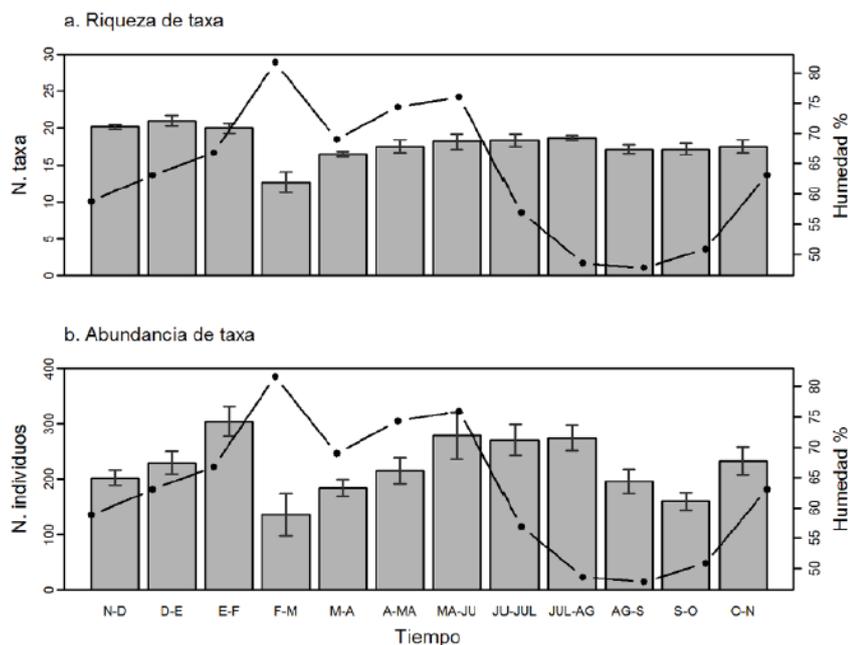


Figura 2. Variación temporal de la riqueza de taxa (a) y de la abundancia de invertebrados (b). Las barras muestran la media de riqueza y abundancia de invertebrados entre las 6 parcelas. Las marcas muestran el error estándar de estas dos medidas. La línea negra muestra la media del porcentaje de humedad en cada periodo de muestreo. Diferencias en la riqueza taxonómica (Kruskal-Wallis $X^2 = 34.886$, g.l. = 11, $p < 0.001$) se observaron entre F-M con N-D ($p = 0.005$), D-E ($p = 0.001$) y E-F ($p = 0.016$) y entre D-E y M-A ($p = 0.044$). La abundancia mostró diferencias significativas (Kruskal-Wallis $X^2 = 27.262$, g.l. = 11, $p = 0.004$) entre F-M y JUL-AG ($p = 0.014$)

Cuadro V.5: Ejemplo de tabla tomada de Castro, A., Espinosa, C.I. 2016. Dinámica estacional de invertebrados en un matorral seco tropical a lo largo de un gradiente altitudinal. *Ecosistemas* 25(2): 35-45. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.05

Tabla 3. Valores mínimos y máximos (Min-Max) de los promedios de las variables climáticas para cada fecha de muestreo y cocientes (R) entre los rangos de valores intraparcelares e interparcelares. Abreviaturas como en la **Tabla 1**.

Table 3. Minimum and maximum values (Min-Max) of the averages of climatic variables for each sampling date, and quotient (R) between intra- and inter-plot ranges of values. Abbreviations as **Table 1**.

	T		HR		DTE		DHE	
	Min-Max (°C)	R	Min-Max (%)	R	Min-Max (°C)	R	Min-Max (%)	R
Parcela 1	24.9 - 26.4	0.2	43.8 - 79.8	4.5	17.6 - 23.6	0.7	36.2 - 55.9	2.5
Parcela 2	23.0 - 24.6	0.2	47.1 - 80.7	4.2	14.5 - 22.0	0.9	31.8 - 54.3	2.8
Parcela 3	21.3 - 24.4	0.4	48.7 - 82.0	4.2	11.3 - 23.7	1.6	27.4 - 54.5	3.4
Parcela 4	21.3 - 23.5	0.3	48.2 - 83.9	4.5	12.6 - 20.6	1.0	30.8 - 54.9	3.0
Parcela 5	20.9 - 23.3	0.3	49.1 - 82.0	4.1	13.3 - 21.8	1.1	31.6 - 54.8	2.9
Parcela 6	20.8 - 23.5	0.3	49.4 - 81.8	4.1	14.9 - 24.1	1.2	36.9 - 58.3	2.7

7. DISCUSIÓN

Debe contener la siguiente información

- Interpretación racional de los resultados: ¿por qué obtenemos tales resultados? ¿Se ajustan a nuestras expectativas? En caso positivo explicar por qué esperábamos esos resultados. En caso negativo buscar explicaciones alternativas. Hay que mantener una actitud abierta a la posibilidad de rechazar nuestra hipótesis inicial.
- Contraste de nuestros resultados con los obtenidos por otros autores en experiencias similares.
- La discusión ha de basarse en los resultados, en la bibliografía y en razonamientos bien fundados.
- Es fácil caer en una repetición de los resultados. Aunque puede haber una cierta repetición ésta debe ser mínima. La sección Resultados “describe” los mismos, y la sección Discusión los “interpreta”, por tanto deben ser cosas diferentes

Cuadro V.6: Primer párrafo de la discusión tomado de: Castro, A., Espinosa, C.I. 2016. Dinámica estacional de invertebrados en un matorral seco tropical a lo largo de un gradiente altitudinal. *Ecosistemas* 25(2): 35-45. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.05

Relaciones entre dinámicas de invertebrados y variables meteorológicas

En el matorral seco de Alamala se evidenció la importancia de los factores meteorológicos sobre las dinámicas estacionales de la comunidad de invertebrados. Así, tanto la riqueza taxonómica como la mayoría de taxa más abundantes se relacionaron con alguna variable meteorológica. Además, se añaden evidencias a la hipótesis de que las fluctuaciones termohigrométricas muestran también relación con las dinámicas estacionales de la diversidad (Checa et al. 2014). Sin embargo hubo resultados inesperados que se tratan a continuación.

8. BIBLIOGRAFÍA

CITACIÓN EN EL TEXTO

La introducción (en antecedentes), la discusión y, a veces, material y métodos, deben llevar referencias a los trabajos de los que procede la información aportada (ver ejemplos de citas en los cuadros anteriores). La forma de citar esos trabajos es la siguiente:

- Si el trabajo tiene solo un autor, se cita el apellido de ese autor (nunca el nombre!!) seguido del año de publicación, por ejemplo: "La temperatura favorece la germinación de las semillas de *Pinus sylvestris* (Smith, 1987)".
- Si tiene dos autores, se mencionan los dos, seguidos del año de publicación. Por ejemplo: "La velocidad de carrera de las lagartijas está influida por la temperatura (García & Ibáñez 2008)".
- Si hay más de dos autores, se indica el apellido del primero seguido de "et al." y el año de publicación, por ejemplo: "El tamaño de las hojas tiende a ser mayor en las regiones del planeta con precipitación más elevada (Mooney et al. 1978)".

La referencia bibliográfica completa debe aparecer al final del artículo, en la sección "bibliografía".

BIBLIOGRAFÍA

Al final del trabajo se expone una lista de las referencias bibliográficas **que han sido citadas a lo largo del texto** con un formato que incluya la siguiente información: Autor/es (apellido e inicial del nombre), año de publicación, título del artículo o capítulo de libro, título de la revista o del libro en que se publica (en itálica, negrita o subrayado). Si es una revista, ha de ir seguida del volumen y las páginas en que aparece el artículo. Si es un libro, detrás del título se pone el nombre de los editores del libro, la ciudad donde se ha publicado, la editorial y las páginas en que se encuentra el capítulo. Ejemplos:

- Mooney, H. A., P. J. Ferrar, and Slatyer, R. O. (1978). Photosynthetic capacity and carbon allocation patterns in diverse growth forms of *Eucalyptus*. *Oecologia* 36: 103-111. (Ejemplo de cita de un artículo de una revista).
- Givnish TJ (1995). Plant stems: biomechanical adaptation for energy capture and influence on species distributions. *Plant stems: Physiology and functional morphology*. Gartner BL. San Diego, Academic Press: 3-49. (Ejemplo de cita de un capítulo de libro).

Las referencias bibliográficas se ordenan alfabéticamente por el apellido del primer autor.

Nunca debe aparecer en la bibliografía un trabajo que no ha sido citado en el texto. En otras palabras, debe haber una correspondencia plena entre los trabajos citados en el texto y los que aparecen en la bibliografía.

Cuadro V.7: Ejemplo de bibliografía tomado de: Castro, A., Espinosa, C.I. 2016. Dinámica estacional de invertebrados en un matorral seco tropical a lo largo de un gradiente altitudinal. *Ecosistemas* 25(2): 35-45. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.05

Referencias

- Aristophanous, M. 2010. Do your preservative preserve? A comparison of the efficacy of some pitfall traps solutions in preserving the internal reproductive organs of dung beetles. *ZooKeys* 34: 1-16. doi: 10.3897/zookeys.34.215
- Barry, R.G. 2008. *Mountain Weather and Climate*. Cambridge University Press, New York, Estados Unidos.
- Boinski, S., Fowler, N.L. 1989. Seasonal patterns in a tropical lowland forest. *Biotropica* 21: 223-233.
- Castro, A., Espinosa, C.I. 2015. Seasonal diversity of butterflies and its relationship with woody-plant resources availability in an Ecuadorian tropical dry forest. *Tropical Conservation Science* 8 (2): 333-351. Disponible en: www.tropicalconservationscience.org
- Checa, M.F., Rodríguez, J., Wilmott, K.R., Liger, B. 2014. Microclimate variability significantly affects the composition, abundance and phenology of butterfly communities in a highly threatened neotropical dry forest. *Florida Entomologist* 97 (1): 1-13.
- Crimmins, T., Crimmins, M., Bertelsen, C.D. 2011. Onset of summer flowering in a 'Sky Island' is driven by monsoon moisture. *New Phytologist* 191: 468-479. doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03705.x
- Denny, E.G., Gerst, K.L., Miller-Rushing, A.J., Tieme, G.L., Crimmins, T.M., Enquist, C.A.F. et al. 2014. Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *International Journal of Biometeorology*. Doi: 10.1007/s00484-014-0789-5

9. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

HARVEY, J. A. 2009. Preparing a paper for publication: an action plan for rapid composition and completion. *Ann. Zool. Fennici*, 46:158-164.

VI. GUIONES DE LAS PRÁCTICAS



MÓDULO I. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO EXPERIMENTAL

Duración: una sesión presenciales de prácticas (3 h) más 3-4 h de trabajo personal no presencial para repasar los conceptos, repasar los problemas y realizar otros nuevos.

Material necesario:

- Manual de prácticas (sección III. Métodos de investigación en ecología).
- Vuestro cerebro.

A. Introducción

Un aspecto clave en cualquier ciencia experimental, como es la Ecología, es la capacidad para generar nuevos conocimientos. La forma de generar conocimiento en ciencia sigue un método consensuado a lo largo de la historia, el denominado “**método científico**”. Durante la primera parte de la práctica haremos un repaso a los principales conceptos asociados al método científico, aprenderemos a formular hipótesis y veremos algunas pautas generales y ejemplos para el diseño de experimentos que nos permitan testar nuestras hipótesis.

En la segunda parte de la práctica analizaremos varios problemas cuya resolución requiere la realización de un experimento. Trabajando en equipos de tres personas, diseñaremos experimentos adecuados a cada problema y los resolveremos mediante una puesta en común. Los problemas que no hayamos resuelto en clase os servirán para seguir practicando y evaluar si habéis adquirido la capacidad de resolverlos (**recordad que en la sesión 4 haremos un examen** consistente en un problema similar a los planteados en esta sesión).

En la tercera parte de la práctica plantearemos un nuevo problema, que es el que abordaremos en el Módulo II de prácticas. En este caso **debéis elaborar en casa un diseño experimental adecuado para este problema de forma individual, que entregaréis en la práctica siguiente.**

B. Objetivos

CAPACIDADES

- Conocer en qué consiste el método científico y qué fases implica.
- Aprender a formular hipótesis refutables basadas en conocimientos previos y razonamientos.
- Aprender a decidir si las predicciones deben comprobarse mediante un estudio observacional o mediante un estudio experimental
- Conocer los conceptos básicos implicados en los diseños de experimentos (unidad experimental, tratamientos experimentales, réplica).
- Aprender a diseñar un experimento para comprobar las hipótesis planteadas.
- Aprender a elaborar estadillos para una recolección de datos limpia y ordenada

C. Aplicaciones

Conocer y manejar el método científico os permitirá buscar soluciones a preguntas científicas que os podéis hacer a lo largo de vuestra carrera (académica y profesional) de una forma rigurosa y fiable.

D. Desarrollo de la práctica

1. Formación de **equipos de trabajo de tres personas**.
2. Explicación sobre el método científico y el diseño de estudios en ecología. Como material de apoyo tenéis la sección III de este manual (30 minutos).
3. Análisis por equipos de los problemas que aparecen en el Apéndice VI.1; propuesta de diseño experimental; puesta en común (2 horas).
4. Planteamiento del problema del siguiente módulo de prácticas (30 minutos).

Tarea individual para realizar en casa antes de la siguiente práctica

Partiendo del problema que abordaremos en la siguiente práctica (factores ambientales que afectan a la germinación de semillas) y con lo que habéis aprendido en esta sesión, realizaréis una propuesta de diseño experimental para resolver el problema planteado. Para ello debéis leer el guion de la práctica y rellenar el APÉNDICE VI.2, que traeréis en la práctica siguiente.

Para agilizar el trabajo de la siguiente práctica, debéis ver el siguiente **vídeo tutorial**, donde se explica cómo pipetear: https://www.youtube.com/watch?v=-WOYBsg-ixQ&list=PLbhnXHYPeX-MbtXrsHyGFtG6sYH6WJlQ_&index=3. También os recomendamos que echéis un vistazo a los otros vídeos de esta lista, en particular los que se refieren a manejo de Excel (6.1 y 6.2) y de análisis estadístico con R (7 a 12).

Qué tengo que aprender en ésta práctica

- Conocer los pasos que implica el método científico.
- Plantear hipótesis que se puedan comprobar.
- Identificar cuándo una hipótesis se debe comprobar con un experimento o con un estudio observacional y por qué.
- Retener los conceptos de “unidad experimental”, “réplica”, “pseudo-réplica”.
- Identificar las variables posibles para comprobar las hipótesis

Bibliografía de consulta

1. Ayala, F.J. (1994). *La naturaleza inacabada*. Ensayos en torno a la evolución. Salvat Ciencia. Barcelona.
2. Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc. (chap. 8). Capítulos descargables en pdf en: <http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/books.html>.
3. Underwood, A.J. 1997. *Experiments in ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.

APÉNDICE VI.1: Problemas

CUESTIONES A RESOLVER EN CADA PROBLEMA:

1. Hipótesis y justificación (puedes formularla gráficamente).
2. Variables dependiente, independiente y su naturaleza.
3. Explica cómo diseñarías el experimento, en qué consiste la unidad experimental y cuántas veces la replicarías. Puedes ayudarte de un dibujo.
4. Esquema del estadillo para la toma de datos del experimento
5. Test estadístico a utilizar en los análisis

PROBLEMA 1: Queremos saber si las hojas de encina (*Quercus ilex*, árbol perennifolio) se descomponen más deprisa o más despacio que las de su congénere caducifolio *Quercus faginea*. Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

PROBLEMA 2: Queremos saber el efecto de la competencia intraespecífica (densidad de población) sobre la tasa de mortalidad en poblaciones experimentales de mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*). Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

PROBLEMA 3: Queremos saber si la hojarasca del árbol exótico *Ailanthus altissima* libera sustancias que inhibe la germinación de plantas herbáceas nativas. Diseña un estudio experimental que le permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

PROBLEMA 4: Queremos estudiar la relación entre el tamaño de la bellota y el tamaño que planta de encina alcanza un mes después de la germinación de esa bellota. Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

PROBLEMA 5: Queremos estudiar la relación entre la temperatura ambiental y la velocidad de crecimiento de alevines de trucha. Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

PROBLEMA 6: Queremos saber si la germinación de bellotes de encina (*Quercus ilex*) se ve favorecida por la presencia de retama (*Retama sphaerocarpa*). Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba

PROBLEMA 7: Queremos saber la densidad a la que debe cultivar tulipanes en un invernadero para obtener flores más grandes. Ten en cuenta que cada tulipán nace de un bulbo. Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba

PROBLEMA 8: Queremos estudiar la relación entre la temperatura ambiental y la descomposición de excremento por parte de escarabajos coprófagos (que se alimentan de este recurso, que se deshidrata con el calor). Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba

PROBLEMA 9: Queremos saber su la supervivencia de una especie de coleóptero se ve reducida por las bajas temperaturas nocturnas. Diseña un estudio experimental que te permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

PROBLEMA 10: Un agricultor quiere saber cuál de los tres tipos de fertilizante que se ofrecen en el comercio genera una mayor producción de avena con la misma dosis. Diseña un estudio experimental que le permita sacar alguna conclusión, contestando las cuestiones que se plantean arriba.

MÓDULO II

EFECTOS DE DIVERSOS FACTORES AMBIENTALES EN LA GERMINACIÓN Y EL DESARROLLO DE PLANTAS

Duración: dos sesiones presenciales de prácticas (3 + 3 h) más 4-6 h de trabajo personal no presencial para estudiar los conceptos aprendidos, leer bibliografía recomendada, elaborar resultados.

Temas de teoría relacionados: Respuesta de los organismos a los factores ambientales abióticos

Material necesario

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Semillas de dos especies de leguminosas:
<i>Onobrychis sativa</i> y <i>Melilotus officinalis</i> | 6. Papel secante |
| 2. Acículas de pino | 7. Balanzas |
| 3. Placas de Petri | 8. Tijeras |
| 4. Agua destilada | 9. Pipetas graduadas de 10 ml |
| 5. Disolución madre de polietilén glicol 6.000 (PEG;
0,156 g/ml) | 10. Propipetas |
| | 11. Reglas |

A. Fundamento teórico

Las semillas están constituidas por un embrión y por compuestos de reserva rodeados ambos por las cubiertas seminales. No obstante, esta estructura general varía entre las diferentes especies, principalmente en relación con los compuestos de reserva y a las características de las cubiertas seminales. Las semillas permanecen en un estado de “reposo” hasta que se dan las condiciones favorables para su germinación. Este estado puede venir determinado por la existencia de condiciones ambientales desfavorables (quiescencia) o por la existencia de factores que actúan desde la propia semilla no permitiendo su germinación (dormancia). Dado que las semillas de herbáceas raramente tienen dormancias internas, su germinación solo va a depender de factores externos y, por tanto, son ideales para el estudio de los factores condicionantes a la germinación.

La germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula y la emergencia de la planta (emergencia).

La primera etapa de la germinación, **la imbibición**, se inicia con la entrada de agua en la semilla desde el medio exterior (imbibición- hidratación de los tejidos). La disponibilidad de agua en el suelo se mide mediante su **potencial hídrico**, cuyos valores varían entre 0 y $-\infty$, y se mide en megapascals (MPa), que es una medida de presión. Cuanto más negativo es el potencial hídrico del suelo menos agua libre (aquella que se mueve libremente y puede ser absorbida por las plantas) contiene el mismo. Por el contrario, cuanto más se acerca al cero (valor máximo), mayor será la cantidad de agua libre. El flujo de agua entre el suelo y la planta dependerá pues de la diferencia de potencial hídrico entre ambos. El potencial hídrico del suelo depende, entre otras cosas, de la salinidad que condiciona el potencial osmótico. El **Potencial osmótico** (Ψ_o) mide la disponibilidad de moléculas de agua que no se han adherido a los solutos (sales) disueltos en el agua del suelo. Sus valores varían entre 0 y $-\infty$ y sus unidades son el MPa. Indica la tendencia del agua a pasar de una solución menos concentrada (con menos solutos, y por tanto, con un potencial osmótico alto o menos negativo) a otra más concentrada (con más solutos, y por tanto, con potencial osmótico más bajo o más negativo) para igualar los potenciales. Si la disolución del suelo tiene una concentración de solutos más alta que la semilla, entonces $\psi_o \text{ semilla} > \psi_o \text{ suelo}$, y la semilla no solo no podrá absorber agua, sino que podría perderla. Por tanto, la presencia de sales en elevada concentración en el suelo (suelos salinos), dificultaría la germinación. Sin embargo, la capacidad de las semillas de absorber agua de suelos salinos varía entre especies. No obstante, la velocidad de germinación suele ser menor cuando la semilla está sometida a déficit hídrico.

La luz también condiciona la capacidad de germinación, aunque de forma distinta en distintas especies. Algunas no germinan en ausencia de luz (fotosensibilidad positiva), otras no

germinan en presencia de luz (fotosensibilidad negativa) y otras germinan indistintamente de la presencia/ausencia de luz (semillas no fotosensibles). Por ejemplo, algunas especies de rápida propagación (herbáceas ruderales) las semillas solo germinan si se sitúan cerca de la superficie del suelo, ya sea por causas naturales o por el laboreo para la preparación del terreno. Otros factores que afectan a la luz que llega a las semillas son la cobertura de la vegetación, o el espesor de la capa de hojarasca. Esta última, también puede actuar como barrera física, dificultando la germinación.

Una vez la semilla se ha activado, se produce el crecimiento y la aparición de la radícula a través de las cubiertas seminales y posteriormente el desarrollo de la plántula (emergencia). En esta fase es crucial la movilización de las reservas que permite la supervivencia de la semilla hasta que la plántula se desarrolla lo suficiente como para poder realizar la fotosíntesis. Semillas de distintas especies tienen distinto tamaño y por tanto distinto volumen de reservas para movilizar, lo cual finalmente condicionará el éxito de la germinación y la velocidad de emergencia.

En condiciones de laboratorio, la rotura de las cubiertas seminales por la radícula se considera el momento en el que la germinación ha tenido lugar (criterio fisiológico). En esta fase la semilla es muy sensible y muchos factores pueden producir su mortandad, que la semilla haya sido capaz de germinar y emitir una radícula no significa que sea capaz de emerger y formar una plántula. Por ello, en otros casos no se considera que la germinación ha finalizado hasta que se produce la emergencia y desarrollo de una plántula normal (criterio agronómico).

B. Objetivos

En esta práctica vamos a realizar un experimento para evaluar el papel del potencial osmótico y de la presencia/ausencia de una capa de acículas de pino sobre la capacidad de germinación de dos especies de tamaño de semilla contrastado.

CAPACIDADES

- Aprender a formular hipótesis basadas en conocimientos previos y razonamientos.
- Aprender a diseñar un experimento para comprobar las hipótesis planteadas.
- Aprender a elaborar estadillos para una recolección de datos limpia y ordenada
- Ensayar métodos de análisis estadístico para comprobar hipótesis.
- Aprender a presentar los resultados de un experimento usando un formato científico.

OBJETIVOS CIENTÍFICOS

- Conocer el efecto que tienen diferentes niveles de salinidad en el sustrato (por tanto, diferentes potenciales osmóticos) sobre la germinación y el desarrollo de dos especies vegetales.
- Conocer el efecto de una capa de acículas (barrera mecánica, barrera lumínica) sobre la germinación y el desarrollo de dos especies vegetales.
- Conocer la variabilidad que existe entre especies en la respuesta germinativa a distintos factores ambientales.

C. Aplicaciones

Conocer y manejar el método científico os permitirá buscar soluciones a preguntas científicas que os podéis hacer a lo largo de vuestra carrera (académica y profesional) de una forma rigurosa y fiable.

Conocer cómo responde la germinación a la salinidad puede aplicarse a la restauración de un área con suelos salinos, para la que se escogerían aquellas especies que mejor responden (germinan y se

desarrollan) a los bajos potenciales osmóticos. Los resultados asociados a la respuesta a la presencia de hojarasca están relacionados con las interacciones bióticas y pueden aplicarse a estudios de diversidad del sotobosque y selección de especies compatibles en un proyecto de revegetación.

D. Desarrollo de la práctica

PRIMER DÍA

5. La práctica comienza con una breve explicación sobre los aspectos que condicionan la germinación de las semillas.
6. Cada alumno debe traer su propuesta de diseño experimental y sus hipótesis justificadas. En dicha propuesta se deben detallar **qué posibles parámetros relacionados con la germinación y el desarrollo de las plantas pueden verse afectados por el potencial osmótico** (es decir, por la disponibilidad de agua en el suelo) **y por la presencia/ausencia de acículas de pino**.
7. Los alumnos formaréis equipos de trabajo de tres personas.
8. Durante 10 minutos cada equipo discutirá las propuestas aportadas por cada uno, y elaborará una propuesta de consenso. Debéis considerar el material de que disponemos (ver recuadro superior) y el tiempo disponible (dos días de prácticas separados por una semana). Entre los parámetros propuestos, seleccionad los que consideréis factibles y decidid cómo se miden.
9. Durante 10 minutos haremos una puesta en común, decidiremos entre todos cuál es el diseño más adecuado. Asimismo, decidiremos cómo repartir las tareas a realizar entre los distintos equipos de trabajo (el experimento completo se realizará entre todos los equipos presentes en el laboratorio).
10. Elaboración de **estadillos** para la recogida de los datos.
11. **Puesta en marcha del experimento.**

Cada equipo de trabajo deberá disponer de un portátil en la segunda práctica.

SEGUNDO DÍA

12. Cada equipo debe tomar las medidas correspondientes para cuantificar la germinación y el crecimiento.
13. Puesta en común de todas las medidas tomadas para completar la tabla de datos.
14. Análisis estadísticos. Para decidir qué análisis y cómo hacerlo, debéis consultar el apartado IV de este manual. Una vez que tengáis claro el análisis también podéis consultar los vídeos tutoriales de nuestro canal de YouTube dedicados a cómo hacer análisis en R (https://www.youtube.com/watch?v=v7DF84KrCbs&list=PLbhnXHYPEX-MbtXrsHyGFtG6sYH6WJIQ_), vídeos 7-12
15. Una vez analizados los datos, cada equipo de trabajo discutirá cómo debe presentar los resultados y elaborar las tablas y/o figuras que considere más adecuado³, con sus correspondientes leyendas, así como el texto que debe acompañar a estos resultados (Consultar el apartado "V-Elaboración de un trabajo científico" de este manual). Aunque esta cuestión la analizaremos en el siguiente módulo de prácticas, conviene ir adelantando el trabajo.

F. Evaluación del módulo

- vuestras aportaciones individuales y en equipo al diseño del muestro serán objeto de evaluación individualizada por parte del profesor.

³ Para ver cómo elaborar gráficas en Excel podéis consultar el siguiente vídeo tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=ovMwCOZ4lqI>

- Con los resultados de esta práctica elaboraréis un trabajo científico después de haber realizado el módulo III (dedicado a aprender cómo se escribe un artículo científico). El trabajo contendrá introducción, material y métodos, resultados y breves conclusiones, siguiendo las directrices del apartado “V-Elaboración de un trabajo científico” de este manual (tened en cuenta que en este primer trabajo no se os pide una discusión). Al principio del documento debe aparecer el nombre de los componentes del grupo, el grupo de prácticas y el título de la práctica. Este trabajo ha de tener una **extensión máxima de tres páginas**, con texto Times New Roman 12 (o equivalente) y espaciado sencillo. El archivo se guardará en formato **pdf** con el nombre Gr-X-apellido1_apellido2_apellido3, donde X es el número de vuestro grupo (1 a 4) y los apellidos el primero de cada miembro del equipo. El archivo se enviará a través de la herramienta "Actividades" de Blackboard.

Tareas para realizar en casa

Leer la bibliografía recomendada en esta práctica (disponible en Aula Virtual), que os ayudará a organizar el trabajo que tenéis que entregar. Elaborar un trabajo científico con los resultados obtenidos en la práctica.

Qué tengo que aprender en ésta práctica

- Conocer los pasos que implica el método científico.
- Plantear hipótesis que se puedan comprobar.
- Retener los conceptos de “unidad experimental”, “réplica”, “pseudo-réplica”.
- Qué variables de las plantas pueden verse afectadas por el potencial osmótico
- Cómo se diseña el experimento para comprobar las hipótesis
- Qué análisis estadístico hay que aplicar para comprobar las hipótesis.
- Cómo se interpreta el resultado del análisis estadístico.
- Cómo presentar los resultados de un experimento, con la ayuda de gráficos o tablas.

Bibliografía obligatoria

1. Carrasco R., Marañón, T. y Arroyo J., 1992. Salinidad y germinación de ecotipos de *Melilotus segetalis*. *Pastos* 22: 53-59.
2. Pearson THR, Burslem DFRP, Mullins CE y Dalling JW. 2002. Germination ecology of neotropical pioneers: interacting effects of environmental conditions and seed size. *Ecology* 83(10), 2798-2807
3. Valera-Burgos J, Díaz-Barradas MC, y Zunzunegui M. 2012. Effects of *Pinus pinea* litter on seed germination and seedling performance of three Mediterranean shrub species. *Plant Growth Regul.* 66:285-292

Bibliografía complementaria

4. Dodd, G.L. y Donovan, L. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany* 86: 1146-1153.
5. Maldonado, C., Pujado, E. y Squeo, F.A., 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y cloruro sódico. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 651-660.

6. Ruano I, Bravo F y Pando V. 2009. Influencia de la intensidad de luz y la disponibilidad hídrica en la germinación y supervivencia de los primeros meses del pino negral (*Pinus pinaster* Ait.). 5º Congreso forestal español. Montes y sociedad: saber que hacer. SECF - Junta de Castilla y León. Pp1-12
7. Tobe, K.; Li, X. y Omasa, K. 2000. Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Annals of Botany* 85: 391-396.

APENDICE VI.2**FICHA A RELLENAR EN LA PRÁCTICA POR EL GRUPO**

Grupo de prácticas: 1, 2, 3,4

Componentes del grupo

	Apellidos	Nombre
1		
2		
3		

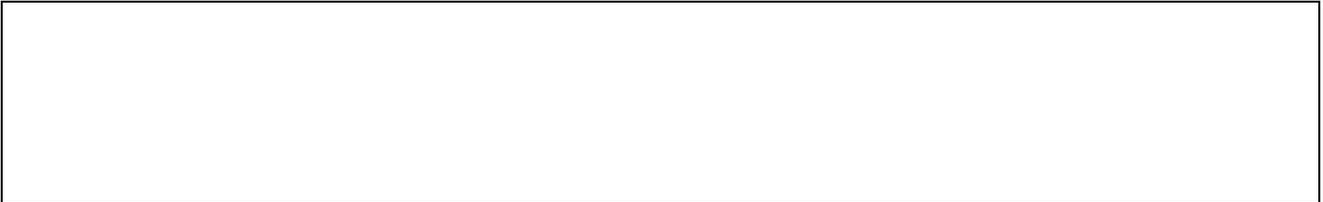
1. Enuncia las hipótesis de partida y su justificación.

2. Identifica las variables implicadas (dependientes e independientes) y su naturaleza (cualitativa o cuantitativa)

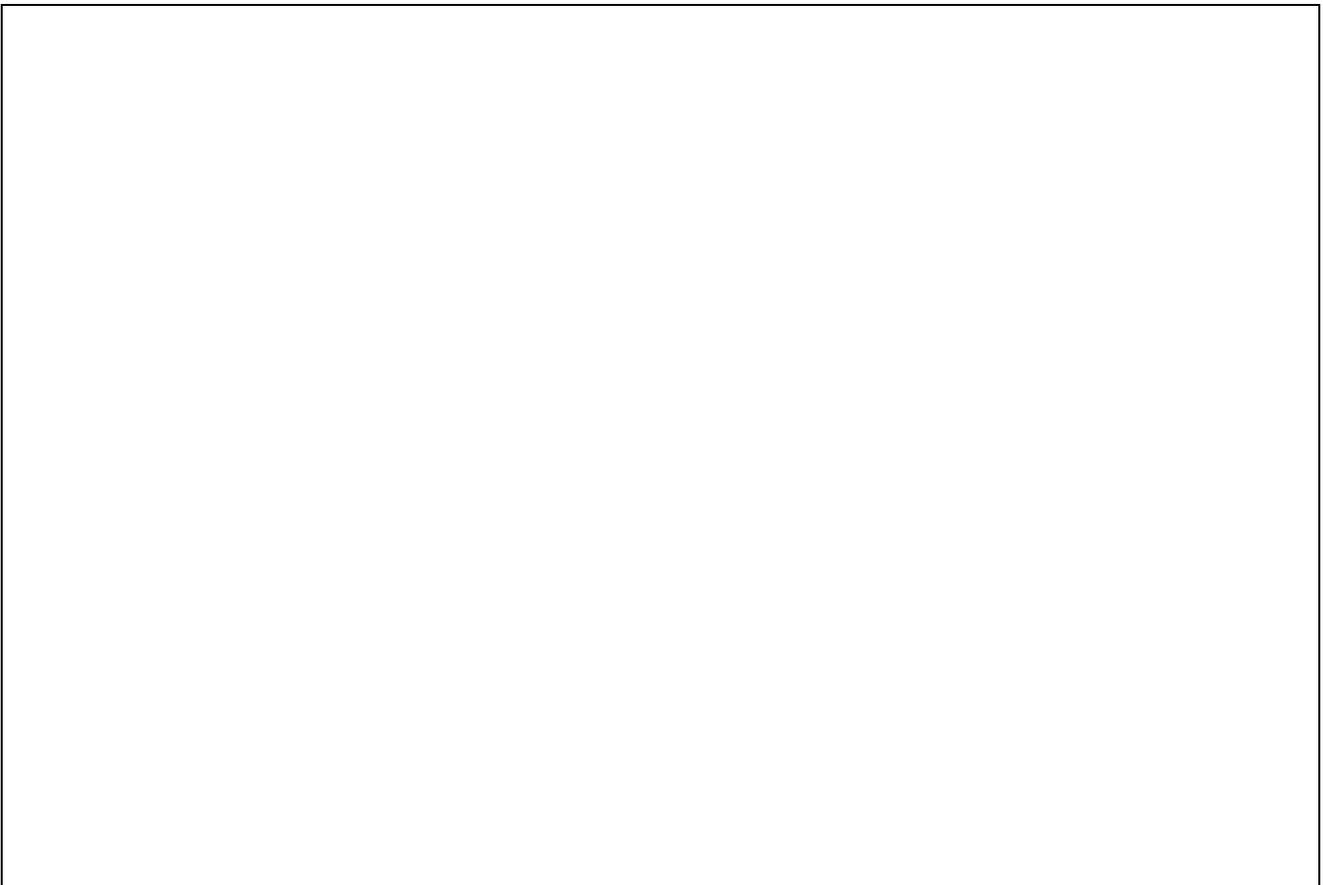
3. ¿En qué consiste la unidad experimental? Dibújala de forma esquemática. Indica cuántas veces la replicarías.



4. Indica qué análisis estadísticos hay que aplicar a qué variables y por qué.



8. Esquema del estadillo/s para la recogida de datos



APENDICE VI.3

ACLARACIONES SOBRE EL DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Preparación de las soluciones

La correspondencia entre la concentración de PEG y el potencial osmótico se expresa con la siguiente ecuación:

$$1.29 \text{ PEG}^2 T - 140 \text{ PEG}^2 - 4 \text{ PEG} = \Psi_0 \text{ (bares)} \quad (10\text{bar}=1\text{MPa})$$

Donde T =temperatura (se asume que es de 20°C); y PEG= concentración de PEG (en g/ml de agua).

A partir de una disolución madre, con una concentración de 156 g/L de PEG, cada grupo preparará 10 ml de las disoluciones que se indican en la Tabla 1. Para ello tiene que tomar con una pipeta un volumen de agua destilada y otro volumen de la disolución madre, tal y como se indica en la tabla 1. Ambos volúmenes se vierten sobre la placa de Petri y se agita suavemente para que se mezclen. Se pipetea primero el agua destilada en todas las placas y a continuación la solución madre (nunca al revés, porque se contaminaría el agua destilada con PEG).

Instrucciones para pipetear:

Para aprender a utilizar la pipeta y propipeta, necesarias para preparar las disoluciones, debéis ver el siguiente vídeo tutorial:

https://www.youtube.com/watch?v=-WOYBsg-ixQ&list=PLbhnXHYPeX-MbtXrsHyGFtG6sYH6WJlQ_&index=3

- Pipetear **antes** el volumen de agua destilada y después el de la solución madre, para o contaminar el agua con PEG.
- La pipeta se llena por encima del enrase utilizando la propipeta. No se pipetea con la boca.
- Comprobar que no hay burbujas en el líquido ni espuma en la superficie.
- Secar el líquido adherido a la pared exterior de la pipeta y apoyar la punta en un recipiente para dejar escurrir y detener el descenso del menisco cuando alcance la posición tangente al enrase.
- Colocar la punta sobre la placa de Petri y dejar descender el menisco hasta la nueva posición. Por ejemplo, si hay que verter 1.6 ml de agua, se deja descender la columna del líquido desde la raya de 10 ml hasta la de 8.4ml. cuando el líquido ha terminado de caer, dejar la punta en contacto con el recipiente unos 20s y retirar cuidadosamente la pipeta, cuidando que no quede ninguna gota adherida a la misma.
- La pipeta se debe enjuagar bien con agua destilada inmediatamente después de su uso.

Tabla 1. Volúmenes de agua y de la disolución madre de PEG (156 g/L) necesarios para calcular cada una de las disoluciones. Se indica además para cada una su concentración y su potencial osmótico (Ψ_0).

Disolución	Solución madre PEG (ml)	H ₂ O (ml)	Concentración PEG de la disolución final (g/L)	Ψ_0 de la disolución final (MPa)
Control	0	10	0	0
1	3.8	6.2	59	-0.06
2	6.8	3.2	106	-0.17
3	8.5	1.5	133	-0.25
4	10	0	156	-0.34

2. Preparación de las placas de germinación

- Se les añade la solución preparada que corresponda.

- Se recortan círculos de papel secante **triple** y se colocan en la placa Petri que contiene los 10 ml de agua o de la disolución que corresponda. Ajustar bien el papel al fondo, evitando que queden ondulaciones.
- Se agitan las placas ligeramente para que todo el papel quede humedecido.
- Se colocan 20 semillas en cada placa, distribuidas por filas para facilitar el conteo. Hay que evitar utilizar semillas con malformaciones, que sean demasiado pequeñas o semillas de otras especies (a veces aparecen impurezas en un lote de semillas).
- Se tapan y se anota el grupo, la especie de la semilla y la disolución que contienen en la tapa.
- Las placas se colocan al fondo del laboratorio en un lugar con iluminación homogénea.

3. Preparación de las placas de germinación con las acículas

- Se recortan círculos de papel secante **triple** y se colocan en la placa Petri que contiene los 10 ml de la disolución. Ajustar bien el papel al fondo, evitando que queden ondulaciones.
- Se colocan 20 semillas en cada placa, distribuidas por filas para facilitar el conteo. Hay que evitar utilizar semillas con malformaciones, que sean demasiado pequeñas o semillas de otras especies (a veces aparecen impurezas en un lote de semillas).
- Se añaden 10 ml de agua con la pipeta.
- Las acículas se cortan a la mitad para poder introducir las en la placa. Se añaden en una capa suficiente para no ver el papel secante pero no demasiado gruesa como para no poder tapar la placa Petri. Esta capa debe ser homogénea en todas las placas.
- Se tapan y se anota el grupo, la especie de la semilla que contienen en la tapa.
- Las placas se colocan al fondo del laboratorio en un lugar con iluminación homogénea.

MÓDULO III.

INTRODUCCIÓN A LA ESCRITURA DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Duración: 1 sesiones de 3 horas presencial más 6-8 horas para revisar lo aprendido, fijar conceptos, leer otros artículos y elaborar el artículo con el que se evaluarán los módulos II y III.

Material necesario:

- ✓ Apartado V. *Elaboración de un trabajo científico en Ecología* de este manual. Este documento resume cuáles son las partes de las que consta un artículo científico, los contenidos que debe tener, el estilo y cuestiones de formato. Recomendamos la lectura detenida de este documento para el aprovechamiento de esta práctica.
- ✓ Artículos científicos para comentar en clase.

A. Fundamento de la práctica

Los científicos tienen la responsabilidad de comunicar a la comunidad científica los resultados de una investigación realizada usando el método científico. Un trabajo científico es un texto que se escribe siguiendo unas normas y, generalmente, describe los resultados de una investigación que no se han publicado previamente en ningún sitio (es decir, son resultados originales). Este aspecto es importante: un artículo científico debe incluir resultados que se publican por primera vez -salvo excepciones, como serían las revisiones-, porque si no, estaríamos incurriendo en el delito de plagio. Estas publicaciones ayudan a construir un cuerpo de conocimiento de una disciplina (no solo de Ecología). Es importante escribir textos de manera que el lector se sienta atraído por la investigación y pueda seguirlo de manera fácil (es decir, que le interese seguir leyéndolo porque está bien estructurado y bien escrito). Reconocer artículos bien escritos (o mal escritos) nos permitirá escribir buenos trabajos y también nos permitirá avanzar en el campo científico (por ejemplo, conseguir o participar en proyectos de investigación, conseguir una plaza o una promoción en una institución, colaborar con otras entidades, etc.).

B. Objetivos de la práctica

CAPACIDADES

1. Desarrollar un sentido crítico para leer artículos científicos comentando artículos publicados en revistas científicas.
2. Conocer la terminología relacionada con el proceso de publicación (factor de impacto, índice H).
3. Ser capaces de escribir un artículo científico de calidad.

C. Desarrollo de la Práctica

1. Los estudiantes deberán leer los artículos antes de ir a clase.
2. Formación de **equipos de trabajo de tres personas**.
3. Breve introducción al proceso de publicación y características de los trabajos científicos (30 minutos).
4. Dentro de cada equipo, intercambio de las características de cada apartado de los artículos leídos (60 minutos).
5. Puesta en común de todos los equipos de trabajo (90 minutos).

D. Evaluación del módulo

Debéis elaborar un trabajo científico que exponga el trabajo realizado en el módulo II, siguiendo las directrices que se han aprendido en esta práctica y que se resumen en la sección V de este manual. Aunque no os pedimos una revisión bibliográfica propiamente dicha (esto lo haréis en el trabajo final), sí que **debéis leer los tres artículos citados en el módulo II**, y que tenéis disponibles en Blackboard (el 3º es un trabajo metodológico, solo es necesario consultar cómo se miden las variables que habéis seleccionado). Estos trabajos se deben citar en vuestro trabajo y deben aparecer en el apartado de bibliografía (leer páginas 69-70 del manual para ver las normas de citación).

Formato: Este trabajo ha de tener una **extensión máxima de cinco páginas**, con letra Times New Roman 12 (o equivalente) y espaciado sencillo. El archivo se guardará en formato **pdf** y se enviará a través de la herramienta "Actividades" de Blackboard. Los criterios de valoración están recogidos en la rúbrica que aparece en el apartado II de este manual.

Qué tengo que saber al final de esta práctica

- Conocer el proceso de publicación en una revista científica.
- Conocer los tipos de artículos científicos que generalmente se publican en las revistas científicas.
- Ser capaz de leer un trabajo científico y conocer sus partes.
- Entender los conceptos "factor de impacto", "índice H".
- Ser capaz de reconocer un artículo científico de calidad.

Bibliografía recomendada

HARVEY, J. A. 2009. Preparing a paper for publication: an action plan for rapid composition and completion. Ann. Zool. Fennici, 46:158-164.

MÓDULO IV.

DISEÑO DE MUESTREOS DE CAMPO EN ECOLOGÍA

Duración: 1 sesión de 3 horas presencial más 3-4 horas para revisar los contenidos, fijar conceptos y resolver problemas adicionales.

Material necesario:

- ✓ Apartado III. *Métodos de Investigación en Ecología* de este manual. Este documento resume el método científico, así como los métodos de comprobación de hipótesis, detallando cuáles son los principales tipos de muestreos y de diseños de experimentos. Asimismo cuenta con un apartado donde se resumen los diversos métodos que se utilizan en Ecología para cuantificar la abundancia de poblaciones, animales y vegetales. Recomendamos la lectura detenida de este documento para el aprovechamiento de esta práctica.
- ✓ Planteamiento de problemas. En este guión se proponen una serie de problemas ecológicos, para los cuales se deberán desarrollar protocolos de muestreo.
- ✓ Pósters con representaciones abstractas de comunidades. Hay uno (o varios) para cada uno de los problemas planteados. Permiten realizar el muestreo diseñado, obteniendo datos que permitirán valorar las hipótesis.

A. *Fundamento de la práctica*

Una buena parte del conocimiento ecológico se fundamenta en las observaciones de campo. Éstas son las que hacen que los científicos se planteen preguntas sobre el funcionamiento de la naturaleza, e inspiran las hipótesis, o posibles explicaciones de los fenómenos observados. Con frecuencia, el primer paso para comprobar la validez de una hipótesis ecológica es la realización de un *estudio observacional*, es decir, un estudio de campo en el que el científico no tiene capacidad de controlar las variables del sistema. Este tipo de estudios implica la toma de datos en el campo (el *muestreo*). Este muestreo ha de ser cuidadosamente diseñado, teniendo en mente que los datos que se van a tomar han de permitir la *comprobación estadística de la hipótesis*. Por ello han de adecuarse a una serie de requerimientos, que vamos a ver a lo largo de esta práctica. Es frecuente que un científico sin experiencia se lance a realizar un muestreo de campo sin haber realizado previamente un diseño de su *protocolo de muestreo*, y sin haber preparado un *estadillo* que facilite la toma ordenada de datos. La consecuencia suele ser la recopilación de datos inservibles, con la consiguiente pérdida de tiempo y dinero.

B. *Objetivos de la práctica*

Al final de esta práctica los alumnos han de ser capaces de lo siguiente:

1. Diseñar protocolos de muestreo para comprobar hipótesis ecológicas previamente planteadas.
2. Diseñar estadillos (tablas o fichas para la toma de datos) que permitan guiar el proceso de muestreo en el campo.
3. Desarrollar la capacidad de trabajar en grupo, discutir e intercambiar opiniones de forma constructiva

C. Desarrollo de la Práctica

1. Formación de **equipos de trabajo de tres personas**.
2. Introducción al diseño de muestreos (30 minutos). Como material de apoyo se recomienda leer detenidamente en casa los apartados 2, 3 y 4 de la sección III. *Métodos de Investigación en Ecología* de este *Manual de Prácticas y Seminarios de Ecología*.
3. Análisis por equipos de los casos de estudio que aparecen en este guión. Propuesta de diseño experimental: Redactar con palabras propias el objetivo y la hipótesis del problema (en la ficha para guiar el protocolo de muestreo). Puesta en común y solución del caso.
4. Se recomienda diseñar protocolos de muestreo para los casos que no dé tiempo a analizar en clase.

Tarea para casa

Cada equipo debe elaborar una propuesta de diseño del muestreo para el trabajo que habéis seleccionado en el seminario 1 y que llevaréis a cabo en la sesión de campo. Para ello debéis rellenar el apéndice VI.4 de forma individual y llevarlo a la práctica 8, donde haréis una propuesta consensuada, una corrección cruzada de propuestas y una exposición de la vuestra.

Qué tengo que saber al final de ésta práctica

- Entender los conceptos de “universo de muestreo”, “muestreo”, “unidad de muestreo”, “réplica”, “pseudo-réplica”.
- Diseñar un protocolo de muestreo.
- Diseñar un estadillo de muestreo.
- Identificar variables (dependientes e independientes).
- Tomar datos sobre las variables seleccionadas de forma sistemática y ordenada.
- Saber seleccionar las herramientas estadísticas adecuadas

E. Casos de Estudio

- 1) Los incendios repetidos en los bosques generan claros que se van regenerando progresivamente, hasta que llega un nuevo incendio. En un bosque se realiza un seguimiento de la dinámica de los claros (sucesión) durante 17 años. Esperamos que con el transcurso del tiempo aumente la riqueza de especies leñosas (nº de especies) de los claros, así como la abundancia de una especie de ave, vinculada a ambientes forestales cerrados. Para comprobar si esto es cierto, contamos con cuatro “fotogramas” de la comunidad, tomados 3, 4, 15 y 20 años después del último incendio. Desarrollar el protocolo de muestreo, teniendo en cuenta que la abundancia del ave se estima a partir del número de nidos.
- 2) La creciente precariedad en la que se encuentran las poblaciones de oso pardo (*Ursus arctos*) en la Península Ibérica ha hecho que se realicen censos de una manera sistemática y precisa. Estos seguimientos sugieren que la presencia de vallas cinegéticas contribuye al declive de las poblaciones. Estas vallas delimitan fincas o cotos de caza para evitar la migración de las especies cinegéticas, pero fragmenta las áreas de distribución de las poblaciones de osos y limita la movilidad de los individuos. La zona de estudio incluye parte de un bosque perteneciente al Estado (zona 1), y parte de dos fincas en las que la valla cinegética se colocó en diferentes momentos (zona 2, hace 20 años, y zona 3, hace 8 años). Nuestra hipótesis es que la

limitación de la movilidad hace que las subpoblaciones de oso tengan distinta probabilidad de supervivencia (y por tanto distinta abundancia), debido a que esta especie necesita de un área bastante amplia para encontrar los recursos necesarios para su subsistencia. Teniendo en cuenta la que la abundancia de osos se estimará a partir de la densidad de huellas, desarrollar el protocolo de muestreo adecuado para evaluar la hipótesis.

- 3) Las observaciones de campo parecen mostrar una coincidencia entre la distribución de majuelo (*Crataegus monogyna*) y la de zorzal común (*Turdus philomelos*). Esto sugiere la hipótesis de que el zorzal es un eficaz dispersor de las semillas de majuelo, de manera que la presencia del primero favorece la propagación del segundo. Para comprobar si esto es cierto se han localizado tres zonas que difieren en la abundancia de aves: 1) Zona de influencia de una fábrica (baja abundancia), 2) zona de influencia de una carretera (abundancia media) y 3) bosque no alterado (abundancia alta). Partiendo de la información que se ofrece, desarrollar el protocolo de muestreo adecuado para resolver la hipótesis.
- 4) La encina (*Quercus ilex*) y el alcornoque (*Q. suber*), son dos especies similares, pero que difieren en su tolerancia a la aridez y al frío. Por tanto, cabe esperar que la distribución de ambas especies a lo largo de un territorio con heterogeneidad altitudinal y climática, no sea homogénea. Para ver si esto es cierto, contamos con el mapa de distribución de ambas especies en Cataluña. Asimismo, podemos dividir esta comunidad en cuatro áreas con diferente precipitación y temperatura medias anuales. Esta clasificación se basa en el mapa biogeoclimático de España (Elena Roselló, 1997).

- Area 1: Tm > 16°C; Pm anual 300-400 mm
- Area 2: Tm entre 13 y 16°C; Pm anual 400-650 mm
- Area 3: Tm entre 9 y 12°C; Pm anual 600-1000 mm
- Area 4: Tm < 9°C; Pm anual 1100-1200 mm

Establecer el protocolo de muestreo para comprobar la hipótesis de partida.

- 5) Un camión que transportaba ácido sulfúrico volcó a su paso por un bosque, esparciendo su carga a lo largo de un área determinada de ladera, donde había una fuerte pendiente. El vertido arrasó toda la vegetación de ladera y se acumuló al pie de la misma, infiltrándose poco a poco en el terreno. Cinco años después se quiere estudiar el proceso de recolonización de la zona afectada. Cabe esperar una heterogeneidad en la recuperación de la zona, de forma que cuanto más lejos estemos de la zona de vertido, mayor riqueza de especies vegetales encontraremos. Establecer el protocolo de muestreo para comprobar esta hipótesis.
- 6) En un ecosistema sabanoide podemos encontrar árboles y arbustos dispersos sobre una matriz de pastizal. Dado que se trata de un paisaje abierto, las plantas leñosas proporcionan refugio a los herbívoros, que en campo abierto serán fácilmente descubiertos por los depredadores. Pero no todas las plantas leñosas son refugios igualmente eficaces, sino que ello dependerá de la arquitectura de la planta (grado de ramificación, densidad del follaje, etc). En nuestro ecosistema existen dos especies leñosas, *Quercus virginiana* -con un único tronco recto y una copa redondeada- y *Acacia farnesiana* -con múltiples troncos que salen directamente del suelo y una copa más alargada-. Por tanto, la segunda especie aparentemente proporcionará mejor refugio que la primera. Como indicador del tiempo que pasan los herbívoros en distintas zonas, podemos cuantificar la abundancia de *Lathyrus delicata*, que es una herbácea muy apreciada por los herbívoros. En definitiva, la comparación de la abundancia de esta especie entre áreas sin árboles, área bajo *Q. virginiana*, y área bajo *A. farnesiana* permitirá comprobar la veracidad de la hipótesis. Desarrollar el protocolo de muestreo adecuado.

- 7) En un sistema sabanoide al norte de Texas se ha observado una coincidencia entre comunidades de pradera abiertas y la presencia de perritos de las praderas (*Cynomys ludovicianus*). Un análisis más detallado revela que en las praderas habitadas por esta especie, sí existen especies leñosas (*Quercus havardii*, *Prosopis glandulosa*), pero representadas por individuos enanos, de altura no superior a los 30 cm. Esta observación sugiere que el ramoneo y mordisqueo ejercido por los perritos de las praderas dificulta el asentamiento de estos árboles en las praderas. Para comprobar esta hipótesis, identificamos tres zonas en el ecosistema con distinta intensidad de uso por parte de los perritos de las praderas: 1) núcleos de las colonias (alta intensidad de uso), 2) alrededores de las colonias (intensidad de uso media), 3) zonas en las que casi nunca se han observado (intensidad de uso baja/nula). Establecer el tipo de muestreo, la localización y el número de muestras para comprobar la hipótesis propuesta.
- 8) Se ha observado que la abundancia de renacuajos de la especie *Buffo calamita* (sapo corredor) cambia de unas charcas a otras dentro de una dehesa. Estas charcas pueden clasificarse en función de la duración del agua entre: 1) permanentes (tienen agua todo el año), 2) estacionales (se secan al llegar el verano), y 3) efímeras (tienen agua sólo durante las lluvias). Se quiere comprobar si las variaciones de abundancia en la población de renacuajos depende de la duración del agua en las charcas. Establecer el tipo de muestreo, la localización y el número de muestras para comprobar esta hipótesis.
- 9) Las truchas, barbos y carpas son tres especies de peces de agua dulce que difieren, entre otros factores, en la demanda de oxígeno disuelto en el agua. Este factor ecológico varía a lo largo de la cuenca de drenaje, entre otras cosas, en función de la pendiente, ya que las corrientes más rápidas se oxigenan más que las aguas que se mueven a poca velocidad. Este hecho sugiere que para estas tres especies su máximo de abundancia será distinto en función de la zona en la que nos encontremos dentro de la cuenca. Para comprobar si esto es cierto, se ha dividido el cauce fluvial en tres tramos en función de la pendiente: tramo alto, medio y bajo. Establecer el tipo de muestreo, la localización y el número de muestras para analizar la distribución de las tres especies de peces en la cuenca de drenaje.
- 10) En un río se observa que las especies de macrófitas (plantas total o parcialmente sumergidas) que viven en el centro del cauce tienen formas de crecimiento diferentes de aquéllas que habitan en las orillas. El hecho de que la velocidad de la corriente disminuye desde el centro a los bordes del cauce - debido al rozamiento- sugiere que es la velocidad de la corriente el factor responsable de este relevo de formas. Para comprobar esta hipótesis se ha medido la velocidad de la corriente a lo largo de transectos transversales a un río, y los resultados se han plasmado en un mapa, donde se distinguen cuatro zonas con las siguientes velocidades de corriente:
1. 0-15 cm/s
 2. 15-30 cm/s
 3. 30-50 cm/s
 4. >50 cm/s

Se considerarán dos especies con formas de crecimiento extremas: *Cladophora sp.*, un alga filamentosa, y *Phragmites australis* (carrizo), una monocotiledónea de grandes hojas cuyas raíces se encuentran ancladas en el substrato y que una gran proporción de sus tallos se disponen por encima de la capa de agua. Establecer el tipo de muestreo, la localización y el número de muestras para comprobar la hipótesis de que la abundancia de cada una de estas dos especies es diferente en función de la velocidad de corriente.

Bibliografía recomendada

- Jongman, R.H.G., ter Braak, C.J.F. y van Tongeren, O.F.R. 1997. Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc, Wageningen.
- Krebs, C.J. 1999. Ecological Methodology, 2nd ed. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc. Capítulos descargables en pdf en: <http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/books.html>.

Apéndice VI.4-HOJA PARA DISEÑAR UN MUESTREO

Grupo de prácticas:

Componentes del grupo (Apellidos, nombre):

1. Planteamiento del problema ecológico.

2. Planteamiento de hipótesis y su justificación

3. Diseño del protocolo de muestreo

- *Variables* (en variables cualitativas, especificar las categorías que se incluyen)

Independiente(s)	Cualitativa o cuantitativa	Dependiente(s)	Cualitativa o cuantitativa

- Describe y/o dibuja con precisión en qué consiste la *unidad de muestreo*

- Describe y dibuja *cómo se distribuyen las unidades de muestreo* en el universo de muestreo. Indica el número de *réplicas* (y en su caso de *pseudo-réplicas*) total y/o en cada estrato (en caso de muestreos estratificados).

- *Método estadístico* que se debe utilizar (justifica tu respuesta):

4. Dibujar el **estadillo** apropiado para la toma de datos.

5. Listado de material necesario

MÓDULO V. ESTRUCTURA DE COMUNIDADES

Duración:

Dos sesiones presenciales de prácticas (3 h) más 6-8 h de trabajo no presencial para estudiar y asimilar los conceptos aprendidos, así como elaborar el trabajo solicitado

Temas de teoría relacionados: Estructura de comunidades.

Material necesario

- Inventarios de vegetación
- Matriz de especies x caracteres funcionales
- Excel y R Studio
- Vídeos tutoriales sobre manejo de excel:
<https://www.youtube.com/watch?v=C-eZ33FVCdQ>,
<https://www.youtube.com/watch?v=ovMwCOZ4lqI>
- Vídeos tutoriales sobre muestreos en comunidades vegetales:
<https://www.youtube.com/watch?v=Ho540WSmxB0>,
<https://www.youtube.com/watch?v=3PekSkafNps>

**A. Fundamento teórico**

Las comunidades son agrupaciones de poblaciones de diversas especies que coexisten y mantienen relaciones entre ellas. La estructura de las comunidades ha sido objeto de análisis de numerosos ecólogos, ya sea para tratar de explicar patrones de riqueza o diversidad, patrones de coexistencia, o más recientemente, para entender cómo se ven afectadas por diversas perturbaciones humanas (fragmentación de hábitat, invasión por especies exóticas o cambio climático).

La forma tradicional de caracterizar la estructura de las comunidades se basa en un enfoque taxonómico, es decir, analiza qué especies hay, qué abundancias tienen, cuántas especies hay, o calcula índices de diversidad basados en la composición de especies. Sin embargo, desde inicios del siglo XXI, está ganando fuerza un nuevo enfoque basado en analizar qué caracteres funcionales (y no qué especies) están presentes en la comunidad (Cadotte, 2011). Entendemos por “carácter funcional” cualquier rasgo morfológico, fisiológico o fenológico que afecta al desempeño de los individuos a través del impacto en el crecimiento, reproducción y supervivencia de los mismos (Díaz & Cabido 2000). Asimismo, ciertos caracteres funcionales condicionan el funcionamiento del ecosistema (por ej., una comunidad dominada por plantas de crecimiento rápido, tendrá ciclos de nutrientes mucho más rápidos que una comunidad dominada por plantas de crecimiento lento; o una comunidad dominada por especies pirófilas, tendrá una frecuencia de incendios mayor que una comunidad que carece de esas especies). Por tanto, conocer cómo es la estructura funcional de una comunidad, o cómo ésta se ve alterada por una perturbación, permite entender el funcionamiento del ecosistema o cómo éste se ve alterado.

Para caracterizar la estructura funcional de una comunidad, podemos utilizar los índices de diversidad tradicionales, aplicados a grupos funcionales (es decir, grupos de especies que comparten caracteres funcionales), en lugar de a especies (Hejda & DeBello 2013). Así, la riqueza funcional de una comunidad sería el número de grupos funcionales de una comunidad. También

podemos calcular el valor promedio de un carácter funcional en la comunidad (por ej. altura de las plantas), como la media de los valores que presentan las especies presentes en la comunidad, ponderada por la abundancia de cada una (*community weighted means* o CWM).

CASO DE ESTUDIO

En esta práctica vamos a analizar cómo afecta la invasión de una especie exótica invasora (*Carpobrotus edulis*, o “uña de gato”) a la estructura de la comunidad vegetal que se desarrolla en dunas costeras de la isla de Menorca. La uña de gato es una planta rastrera de hoja carnosa y flor grande y vistosa de color rosa, que se introdujo en Europa con fines ornamentales desde su área de origen en Sudáfrica. Esta especie ha demostrado un gran potencial de invasión en dunas costeras, suponiendo una amenaza para la comunidad nativa.

Trabajaremos con parte de los inventarios publicados en Castro-Díez et al. (2016). En este estudio se realizaron inventarios de 2 x 2 m a lo largo de la costa de Menorca, en lugares invadidos por *Carpobrotus*, y en lugares control donde no estaba la especie invasora. Para evitar interferencias con otros factores ambientales, para cada inventario invadido se seleccionó un control próximo para asegurar condiciones similares. Por tanto se trata de un *diseño pareado*¹. En cada inventario se anotaron todas las especies presentes, además de su frecuencia en el cuadrado de muestreo². Por otro lado, para cada una de las especies presentes en los inventarios se buscó el valor de cuatro caracteres funcionales cualitativos o semi-cuantitativos:

- Altura máxima, con las siguientes categorías: 1: <0.5 m; 2: 0.5–1.0 m; 3: 1.0–3.0 m; 4: 3.0–5.0 m; 5: >5.0 m.
- Leñosidad: variable binaria con dos categorías (sí/no).
- Capacidad para fijar N atmosférico: variable binaria con dos categorías (sí/no)
- Perennifolia: variable binaria con dos categorías (1- las hojas u órganos fotosintéticos duran al menos un año, 0- los órganos duran menos de un año).

Con las matrices de especies x inventarios y de especies x caracteres funcionales, debéis calcular para cada inventario:

- Riqueza de especies
- Índice de diversidad de Shannon
- CWM para cada uno de los caracteres funcionales.

Posteriormente compararéis estos valores entre los inventarios invadidos y control con el test estadístico necesario. Analizaremos las implicaciones de los resultados para el funcionamiento de los ecosistemas.

B. Objetivos de la práctica

CAPACIDADES

1. Aprender a manejar inventarios de comunidades.

¹ Para más información sobre diseños de muestreo pareados, os recomendamos el siguiente vídeo tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=Ho540WSmxB0>.

² Para saber cómo se cuantifica la abundancia de especies en comunidades vegetales podéis ver el siguiente vídeo tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=3PekSkafNps>

2. Aprender a calcular e interpretar índices que cuantifican la estructura taxonómica y funcional de las comunidades.
3. Presentar resultados en formato de artículo científico.

OBJETIVOS CIENTÍFICOS

1. Conocer qué son los caracteres funcionales y qué implicaciones tienen.
2. Determinar cómo afecta una especie invasora a la estructura taxonómica y funcional de las comunidades invadidas.
3. Conocer el perfil funcional de las especies nativas que se ven más perjudicadas por la invasión de *Carpobrotus*.

C. Aplicaciones

A la hora de establecer planes de gestión de especies exóticas invasoras, es fundamental conocer el impacto que éstas tienen sobre los ecosistemas nativos. Ello permite, por ejemplo, priorizar los esfuerzos sobre las especies más impactantes. Además, también permite decidir qué medidas se pueden tomar para compensar o minimizar los cambios en el ecosistema, así como identificar qué especies nativas son más vulnerables a estos cambios y adoptar medidas protectoras oportunas.

D. Desarrollo de la práctica

PRIMER DÍA

1. Breve introducción sobre la comunidad objeto de estudio. Planteamiento de hipótesis.
2. Abrimos los archivos con los datos con excel (están en formato “csv”):
 - a. *abun_rel.csv*: contiene las especies en filas y los inventarios en columnas. Cada inventario está identificado con un código (los inventarios con el mismo número –por ej. me02I, me02C- corresponden al mismo par, donde I indica el inventario invadido por *Carpobrotus* y C el inventario control). Los valores numéricos que aparecen bajo los nombres de los inventarios indican la abundancia relativa de cada especie en los inventarios (siendo 0 ausencia y 1 la abundancia relativa máxima).
 - b. *pres.csv*: contiene lo mismo que el archivo anterior, pero únicamente con datos de presencia (1) o ausencia (0) de las especies.
 - c. *trait.csv*: contiene en filas las mismas especies que los archivos anteriores, y en columnas cuatro caracteres funcionales:
 - i. Altura de planta (**ph**): con las siguientes categorías: 1: <0.5 m; 2: 0.5–1.0 m; 3: 1.0–3.0 m; 4: 3.0–5.0 m; 5: >5.0 m.
 - ii. Leñosa (**wood**): 1-sí, 0-no
 - iii. Fijadora de N (**Nfix**): 1-sí, 0-no
 - iv. Perennifolia (**everg**): 1-sí, 0-no
 Ten en cuenta que *Carpobrotus* tiene una altura de la clase 1, es leñosa, perennifolia y no fija N.
3. Usando los archivos anteriores, calcula para cada inventario la riqueza de especies (S) y el índice de diversidad de Shannon (H'), y anótalos debajo de la última fila. Utiliza las

herramientas para hacer operaciones de excel¹. La fórmula del índice de diversidad de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

Donde,

- p_i – abundancia relativa de la especie i
- s – número de especies en el inventario

4. Si os sobra tiempo, pasad al punto siguiente.

SEGUNDO DÍA

Abre la ficha disponible en la Actividad de Aula Virtual correspondiente a esta práctica y rellena los apartados tras realizar las tareas que se indican a continuación.

5. Cálculo de medias ponderadas de los caracteres funcionales en cada inventario (CWMs). Para realizar este cálculo, debemos multiplicar la matriz de abundancias relativas de las especies en los inventarios por cada uno de los vectores que contienen los valores de los caracteres funcionales de las especies. En cada matriz resultante de esta multiplicación calcularemos el sumatorio de valores de cada columna (con la función “suma” de excel). Los valores obtenidos serán los CWMs de cada inventario, que guardaremos en una tabla para su posterior análisis.
6. Preparación de la tabla de resultados: será una matriz donde cada fila es un par de inventarios y las columnas son las variables calculadas por duplicado (han de estar seguidas de I y C, para los inventarios invadidos y no invadidos). Esta estructura es necesaria para calcular las diferencias entre cada par de inventarios. Guardar en formato csv para abrir en excel (recuerda usar nombres breves, pero identificativos, para las variables).
7. Representación gráfica de las variables respuesta (S y H' y CWMs) en inventarios invadidos y control. Podéis usar la función “boxplot” de R Studio, o hacerlos en excel. Comparar las figuras con las hipótesis planteadas.
8. Comparación estadística de las variables entre pares de inventarios invadidos y no invadidos con R Studio: exploración gráfica y análisis estadístico. Para seleccionar el test estadístico adecuado podéis consultar el apartado IV de este Manual.
9. Interpretación de los resultados.
10. Elaboración de tablas/figuras para presentar en el trabajo.

F. Evaluación del módulo

Al final de la segunda sesión entregaréis la ficha rellena disponible en Aula Virtual que incluya:

- Datos y script de R utilizados.
- Figuras o tablas de los resultados obtenidos, con su correspondiente leyenda, incluyendo los resultados estadísticos.

Evaluaremos la veracidad de los cálculos, el grado de consecución de los objetivos y la calidad de las figuras/tablas elaboradas, así como la calidad del script utilizado.

¹ Para más información sobre operaciones en excel, os recomendamos el siguiente vídeo tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=C-eZ33FVCdQ&t=8s>.

Qué tengo que saber al final de ésta práctica

- Entender el significado de cada uno de los índices de estructura de comunidad calculados.
- Calcular índices de estructura de comunidad.
- Interpretar las implicaciones de los índices sobre el funcionamiento de las comunidades.
- Seleccionar las herramientas estadísticas adecuadas y aplicarlas
- Presentar tus descubrimientos en formato de artículo científico.

Bibliografía:

- Cadotte M. W. (2011). The new diversity: management gains through insights into the functional diversity of communities. *Journal of Applied Ecology*, 48, 1067-1069.
- Castro-Díez P., Pauchard, A., Traveset, A. & Vilá, M. (2016). Linking the impacts of plant invasion on community functional structure and ecosystem properties. *Journal of Vegetation Science*, 27, 1233-1242.
- Díaz S. & Cabido, M. (2001). Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 646-655.
- Hejda M. & de Bello, F. (2013). Impact of plant invasions on functional diversity in the vegetation of Central Europe. *Journal of Vegetation Science*, 24, 890-897.

MÓDULO VI.

TRABAJO CIENTÍFICO DE ECOLOGÍA

Duración: tres sesiones presenciales de gabinete (3 + 3 +3 h) más una sesión de campo (5 h) más 6-8 h de trabajo no presencial para elaborar el trabajo científico.

Temas de teoría relacionados: Al tratarse de diversos casos de estudio, no está vinculado a un único tema.

Material disponible

1. Cuadrats de muestreo
2. Cuerdas
3. Brújulas
4. Binoculares
5. Prismáticos
6. Clinómetros
7. Azadillas
8. Bandejas

A. Fundamento teórico

A lo largo de las distintas sesiones de prácticas y seminarios de la asignatura hemos ido aprendiendo estrategias y manejando herramientas relacionadas con el método científico. Ahora que ya estamos familiarizados con este método, lo pondremos en práctica para resolver una pregunta ecológica que habéis elegido en el primer seminario, y sobre la cuál ya habéis realizado una búsqueda bibliográfica de antecedentes.

B. Objetivos de la práctica

CAPACIDADES

1. Aprender a formular hipótesis basadas en conocimientos previos y razonamientos.
2. Aprender a diseñar un experimento para comprobar las hipótesis planteadas.
3. Aprender a elaborar estadillos para una recolección de datos limpia y ordenada
4. Ensayar métodos de análisis estadístico para comprobar hipótesis
5. Aprender a presentar los resultados de un experimento usando un formato científico.
6. Ser capaces de resolver una pregunta científica mediante un muestreo de campo de forma autónoma.

C. Desarrollo de la práctica

PRIMER DÍA (gabinete)

1. Los alumnos trabajaréis en **equipos de trabajo de tres personas** (los mismos que habéis constituido en los seminarios).
2. Cada miembro del equipo traerá una propuesta de diseño de muestreo para su caso de estudio. Durante 30 minutos consensuaréis esa propuesta y rellenaréis en una ficha (Apéndice VI.5) la propuesta consensuada. Vuestro diseño se debe enfocar concretamente a comprobar las hipótesis que habéis planteado.
3. Durante las dos horas siguientes, cada equipo dispondrá de 5-10 minutos para explicar su propuesta (con ayuda de la pizarra) y otros 5 minutos para recibir comentarios constructivos de

los compañeros y del profesor. Con estos comentarios debéis elaborar vuestra propuesta definitiva.

Tutoría grupal obligatoria

Entre esta sesión y la salida de campo, cada equipo debe pasar por una tutoría con el profesor para resolver las últimas dudas que puedan quedar y decidir el material necesario.

Trabajo en casa

Una vez claro el diseño del muestreo, podéis ir redactando la sección “Material y Métodos” de vuestro trabajo, donde se explica de forma clara y concisa el método de muestreo (ver sección V de este manual - *Elaboración de un trabajo científico en Ecología*).

SEGUNDO DÍA (campo 5 h)

4. A las 9:00 se repartirá el material solicitado a cada equipo de trabajo en el aula de prácticas.
5. A continuación saldréis a vuestra zona de estudio a realizar el muestreo (hasta las 14 h). Los profesores pasarán a visitaros para supervisar vuestro trabajo y resolver las dudas que os puedan surgir. Ningún equipo puede irse sin que el profesor le haya dado el visto bueno a su muestreo y sin devolver el material de prácticas.
6. Los equipos que no les haya dado tiempo a terminar, pueden disponer de la tarde o de los días que quedan hasta la siguiente práctica para completar su muestreo.

TERCER DÍA (aula de informática)

7. Debéis traer los estadillos con los datos tomados en el campo, introducirlos en una base de datos (Excel) en la estructura adecuada para facilitar su análisis estadístico (para ello tenéis que tener claro qué análisis tenéis que aplicar). Deberéis comenzar por representar gráficamente vuestros resultados (estadística descriptiva) y solo después de esta primera fase debéis comenzar a realizar los análisis estadísticos pertinentes.

CUARTO DÍA (aula de informática)

8. Dedicaremos la primera hora a realizar un **examen individual de análisis de datos**. Os daremos un problema con unos datos, que debéis introducir en excel con la estructura adecuada y analizar en R. Debéis presentar en un word: la tabla de datos copiada de excel, el script utilizado para el análisis, las figuras que hayáis creado para mostrar los resultados, con los análisis estadísticos pertinentes, y una breve descripción de esos resultados.
9. El resto del tiempo lo dedicaréis a terminar los análisis y a redactar el trabajo o preparar el power point.
10. Es recomendable leer el artículo de Harvey (2009) donde explica con mucha claridad cómo se debe proceder para escribir un artículo científico.
11. El trabajo final escrito se finalizará en casa y se presentará de forma oral y escrita en el seminario 4.

F. Evaluación del módulo

- Se recogerá la ficha individual preparada en casa por cada miembro del equipo.

- Se valorará la consistencia del diseño de muestreo del equipo, así como el diseño del estadillo.
- Durante la sesión de campo los profesores valoraremos la corrección de vuestra toma de datos (limpieza del estadillo, rigor en la toma de datos, etc.)
- Después de finalizar el módulo, los alumnos tendrán un **plazo de dos semanas (hasta el seminario 4)** para finalizar el trabajo escrito siguiendo las indicaciones y estructura indicada en el apartado “V-Elaboración de un trabajo científico” de este manual. Debéis consultar la rúbrica (Tabla II.3), así como las correcciones realizadas al trabajo anterior, para revisar vuestro trabajo antes de entregarlo.

Este trabajo ha de tener una **extensión máxima de seis páginas**, con texto Times New Roman 12 (o equivalente) y espaciado sencillo. El archivo se guardará en formato **pdf** y se enviará a través de la herramienta "Actividades" de Blackboard.

Qué tengo que aprender en ésta práctica

- Ser capaz de diseñar y organizar un muestreo de campo.
- Ser capaz de elaborar los datos tomados en campo y presentarlos de forma clara y comprensible.
- Ser capaz de elegir y aplicar análisis estadísticos adecuados a la pregunta y al tipo de datos.
- Presentar los resultados del experimento: elaboración de gráficos o tablas que den más información en menos espacio, con sus correspondientes leyendas, y redactando un texto sintético que explique esos resultados.
- Ser capaz de escribir un trabajo científico completo ajustándote a unas instrucciones.

Bibliografía:

HARVEY, J. A. 2009. Preparing a paper for publication: an action plan for rapid composition and completion. Ann. Zool. Fennici, 46:158-164.

Apéndice VI.5-HOJA PARA DISEÑAR UN MUESTREO

Grupo de prácticas:

Componentes del grupo (Apellidos, nombre):

1. Planteamiento del **problema ecológico**.

--

2. Planteamiento de **hipótesis y su justificación**

--

3. Diseño del **protocolo de muestreo**

- *Variables* (en variables cualitativas, especificar las categorías que se incluyen)

Independiente(s)	Cualitativa o cuantitativa	Dependiente(s)	Cualitativa o cuantitativa

- Describe y/o dibuja con precisión en qué consiste la *unidad de muestreo*

- Describe y dibuja en un croquis *cómo se distribuyen las unidades de muestreo* en el universo de muestreo. Indica el número de *réplicas* (y en su caso de *pseudo-réplicas*) total y/o en cada estrato (en caso de muestreos estratificados).

4. Método estadístico que se debe utilizar, tanto en caso de datos con distribución normal como no normal (justifica tu respuesta):

5. Listado del material necesario para realizar el muestreo (es importante que el profesor os confirme la disponibilidad de ese material).

6. Dibujar el **estadillo** apropiado para la toma de datos.

VII. GUIONES DE LOS SEMINARIOS



PRESENTACIÓN

Dentro del método científico (que habéis visto en la Práctica 1), la revisión del conocimiento previo sobre la pregunta que afrontamos es una fase fundamental, ya que nos puede ahorrar mucho tiempo descartando falsas creencias o hipótesis ya exploradas. De hecho la construcción del conocimiento científico es un proceso secuencial, en el que cada generación aporta algo más a lo que se conocía anteriormente. Imaginad los disgustos que se hubiera ahorrado Cristóbal Colón de haber llegado a sus manos los cálculos que hizo Eratóstenes en el año 230 aC –mucho más precisos que los suyos- sobre la circunferencia de la Tierra (Fig. VII.1).

A pesar de que ésto parece obvio, muchos estudiantes ante un problema científico se lanzan a experimentar o muestrear sin haber revisado lo que otros, antes que ellos, han averiguado sobre el mismo problema.

La cuestión es cómo y dónde buscamos información fiable sobre cualquier pregunta científica que queramos abordar. En el pasado, la información científica se adquiría en las universidades mediante lecciones magistrales, y en libros y revistas publicados en papel. El principal reto consistía en alcanzar esas fuentes donde se almacenaba el conocimiento científico. Hoy en día la situación es muy diferente: en cada instante se generan ingentes cantidades de información, buena parte de la cual está fácilmente accesible a través de internet. Esto supone una enorme ventaja frente a los científicos de otras épocas. Pero al mismo tiempo nos plantea un nuevo reto que antes no existía: entre toda la información accesible, **¿cómo discernir lo que es relevante y fiable de lo que no lo es?**

Para desenvolveros con éxito en el mundo universitario y posteriormente profesional ya no es tan importante como antes memorizar conocimientos, sino saber buscar la información que nos interesa, ser capaces de leerla, asimilarla y encontrar respuestas a las preguntas que buscamos. Asimismo, es fundamental ser capaces de elaborar esa información, adecuándola al contexto en que la queremos utilizar, y transmitirla a los demás, tanto por escrito como de forma oral.

El sistema universitario tradicional (clases teóricas y prácticas, donde aprendemos cosas que luego memorizamos de cara a responder las preguntas de un examen), apenas desarrolla este tipo de habilidades, tan necesarias para poder desempeñar cualquier labor profesional en el ámbito de las Ciencias Ambientales. Por ello, **el objetivo de esta serie de cuatro seminarios es que aprendáis a buscar, leer, asimilar y transmitir información.** Estas capacidades os ayudarán a resolver una pregunta ecológica sobre la que tendréis que buscar el conocimiento previo, plantear hipótesis y luego comprobarlas mediante un estudio de campo y posterior análisis de resultados (prácticas 8-9 y salida de campo).

A lo largo de esta serie de seminarios-prácticas-campo trabajaréis en **grupos de tres personas** (para hacer grupos con otro número de componentes hace falta el permiso expreso de los profesores) que se establecerán en el primer seminario y se mantendrán a lo largo de este trabajo (es decir, los cuatro seminarios, las prácticas 8 y 9 así como la salida de campo).

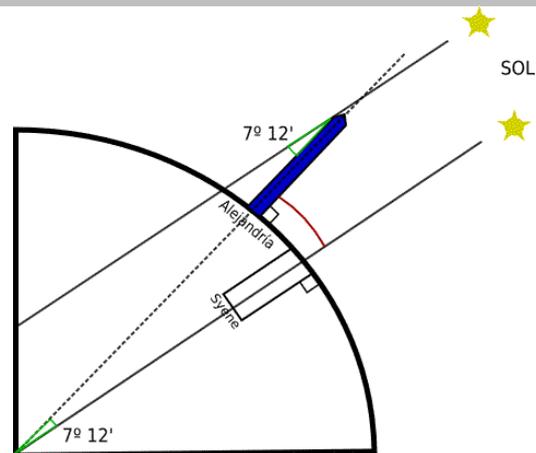


Figura. VII.1. Cálculo del radio de la Tierra realizado por Eratóstenes en el año 230 aC basado en el ángulo entre un poste vertical y los rayos solares, medido en dos puntos de la Tierra de forma simultánea.

SEMINARIO 1

CASOS DE ESTUDIO

Lo primero que haremos será constituir los equipos de trabajo de tres personas que se mantendrán hasta el final del curso.

A continuación os proponemos una serie de posibles casos de estudio sobre cuestiones ecológicas, que se pueden desarrollar con un muestreo sencillo en el campus de la universidad. Una vez leídos los casos y visitadas las posibles zonas de estudio, cada grupo debe seleccionar un caso sobre el que va a trabajar. También podéis plantear otras cuestiones al profesor, siempre que sean viables en el tiempo y espacio de que disponemos, según el criterio del profesor.

Para cada caso de estudio, además de una breve explicación, os proporcionamos una bibliografía inicial que os puede servir como punto de partida.

TAREA PARA CASA: Antes de la siguiente sesión cada miembro del equipo debe leer al menos una de las lecturas aportadas para vuestro caso, anotando ideas útiles para perfilar vuestro trabajo (qué variables se pueden medir, qué hipótesis se pueden plantear). En la siguiente sesión haréis una puesta en común con vuestros compañeros de equipo para intercambiar la información útil encontrada. Tras esta reunión tendréis que contestar un cuestionario de forma individual (evaluable)

I. ZONA DE ESTUDIO

La mayor parte de los terrenos del Campus Externo de la Universidad de Alcalá están colonizados por vegetación herbácea, resultado del abandono de los cultivos que hasta hace unos cuarenta años ocuparon ese espacio, y que reemplazaron a la vegetación original del mismo (posiblemente un encinar) hace siglos. Es una zona interesante ya que su ubicación en un área de transición entre el mundo urbano y rural (con edificaciones alternado con áreas ajardinadas y con otras sin uso actual, sometida a perturbaciones diversas) hace que exista una diversidad de ambientes, de vegetación y de hábitats para la fauna, que lo hacen adecuado para el estudio de diversas cuestiones ecológicas. Dentro del Campus podemos distinguir a *grosso modo* zonas donde la vegetación natural está sometida a distinto tipo e intensidad de perturbación (Fig. VII.2):

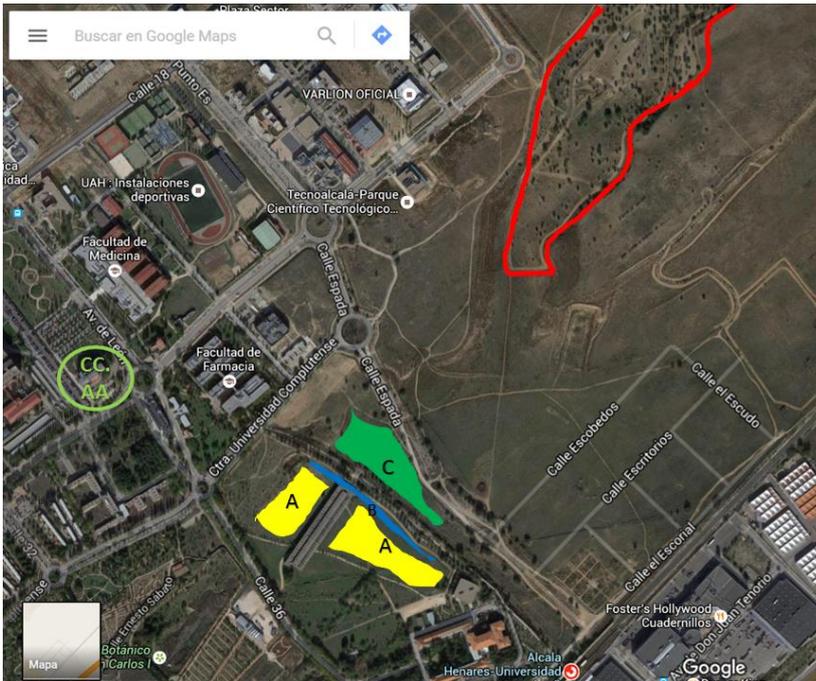


Figura. VII.2. Detalle del mapa del campus de la Universidad de Alcalá, indicando la posición de las tres zonas descritas en el texto, de la finca de “El Carmen” (área delimitada por la línea roja) y la Facultad de Ciencias Ambientales (CCA).

- **Finca de El Carmen** (33 has., NE del Campus, rodeada por una línea roja en la Fig. VII.2): En el año 1995, el Jardín Botánico de la UAH realizó en ella una reforestación con un total de 12.000 individuos de encina (*Quercus ilex*), quejigo (*Q. faginea*) y coscoja (*Q. coccifera*), aunque ningún ejemplar de esta última especie ha sobrevivido. Además podemos encontrar otras especies de árboles como almendros (*Prunus dulcis*) y nogales (*Juglans regia*). También hay algún rodal de especies exóticas, como el olmo siberiano (*Ulmus pumila*) o la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*), esta última capaz de fijar nitrógeno atmosférico (Fig. VII.3). Algunos individuos de todas estas especies tienen un tamaño bastante grande y su aporte de hojarasca al suelo es considerable. La finca se encuentra actualmente rodeada por una valla metálica que condiciona de forma significativa la entrada y salida de animales herbívoros al interior de la misma (de hecho hay una gran densidad de conejos en su interior).
- **Zona A-** (entorno de los hangares): herbazal que cada año es segado al final de cada primavera (se corta la parte aérea de las plantas, lo que normalmente no supone la muerte de las plantas, que son capaces de volver a crecer en la siguiente estación). La cobertura herbácea es elevada y por tanto la competencia también lo es.
- **Zona B-** (cortafuegos que bordea la zona anterior): cada año pasa un arado que elimina la vegetación de raíz y remueve la capa superficial del suelo. La cobertura herbácea es baja, hay baja competencia por los recursos y las condiciones del suelo (más esponjoso y oxigenado) son favorables.
- **Zona C-** (herbazal abandonado). Esta zona no recibe ningún tipo de manejo (ni arado ni siega). La cobertura vegetal es elevada y con ello la competencia por los recursos. En ella se puede apreciar la actividad intensa de los conejos (galerías, sendas, letrinas, etc.) aunque su densidad no es tan elevada como en la finca de El Carmen.



A-*Robinia pseudoacacia*



C-*Quercus ilex* subsp. *ballota*



B- *Prunus dulcis*



D- *Quercus faginea*

Figura VII.3. Algunas de las especies arbóreas que se pueden encontrar en la Finca de El Carmen

II. CASOS DE ESTUDIO

CASO 1: ¿Qué caracteres funcionales de las plantas pueden determinar el éxito de establecimiento en zonas con distinta perturbación?

(Preparado por Pilar Castro)

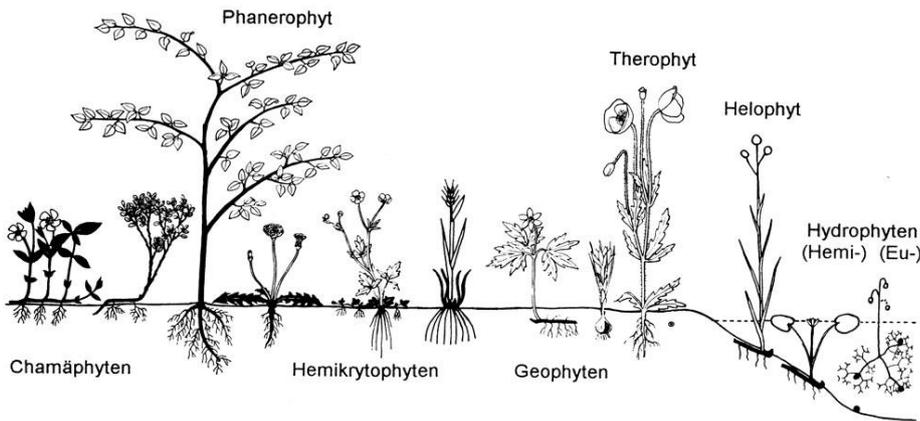


Figura VII.4. Grupos funcionales definidos por Raunkiaer, en función de la altura que alcanza la parte de la planta que persiste todo el año (en negro): Caméfitos, fanerófitos, hemicriptófitos, geófitos, terófitos, helófitos e hidrófitos.

Las limitaciones del ambiente actúan como fuerzas de selección natural, determinando qué especies tienen más éxito y por tanto más posibilidades de aumentar su presencia en la comunidad. Se ha propuesto que las principales limitaciones que han de afrontar las plantas para desarrollarse se pueden agrupar en tres categorías: 1) **estrés**, es decir, escasez de cualquier recurso necesario para el crecimiento (agua, luz, nutrientes); 2) **perturbaciones**, es decir, cualquier agresión que supone la pérdida total o parcial de biomasa de la planta (herbivoría, incendios, siega, etc.). 3) En ausencia de estrés y perturbación, surge otra limitación al crecimiento vegetal que es la **competencia** (Grime 1993).

Las plantas poseen "caracteres o rasgos funcionales" (*functional traits*) que son los que determinan cómo estas responden a las limitaciones ambientales (cómo adquieren los recursos, cómo se defienden de herbívoros, cuál es su capacidad para competir con otras especies, etc.). Cabe esperar que la frecuencia con que aparece un determinado carácter funcional refleje la utilidad de ese carácter en ese medio. Así, en ambientes secos, cabe esperar encontrar una mayor representación de plantas con raíces profundas, hojas pequeñas, etc.). O en lugares con una fuerte presión de herbívoros cabe esperar un predominio de especies con algún tipo de defensa (pinchos, espinas, tejidos poco digestivos, etc.).

Zona de muestreo:

Alrededores de los hangares (zonas A, B, C de la Fig. VII.2).

Preguntas:

1. ¿Qué caracteres funcionales de las plantas pueden determinar el éxito de establecimiento en los lugares descritos?
2. ¿Cómo varía la frecuencia de los valores de esos caracteres funcionales entre los tres sitios?

Para responder la primera pregunta es necesario plantear hipótesis y realizar una revisión bibliográfica. Las hipótesis se comprobarán mediante un estudio de campo que diseñaréis y ejecutaréis en las sesiones de prácticas. A continuación se indican dos ejemplos de caracteres funcionales, las razones por las que pueden ser relevantes y la hipótesis:

1- Leñosidad

- Tipo de variable cuantitativa binaria: si/no.
- Justificación: las plantas leñosas son plantas perennes que producen tallos con lignina capaces de perdurar año tras año, cumpliendo una función de soporte (árboles, arbustos, caméfitos). Por el contrario, los tallos herbáceos mueren cada año y son producidos de nuevo a partir de yemas que están en el suelo (hem criptófitos), enterradas (geófitos) o a partir de semillas (terófitos) (Fig. VII.4). El tallo leñoso proporciona resistencia física y facilita que las plantas alcancen mayor tamaño, acumulando el crecimiento año tras año. Ello proporciona mayor capacidad de competencia por la luz y posiblemente también por agua y nutrientes.
- Hipótesis: La frecuencia de plantas leñosas será mínima en la zona B, donde la intensidad y frecuencia de la perturbación no permite que se desarrollen plantas longevas. Por el contrario, será máxima en la zona C, donde no hay perturbación y cabe esperar que la competencia sea máxima y por tanto las plantas con más éxito sean las de mayor tamaño.

2- Altura de la planta (desde el suelo hasta la hoja más alta, excluyendo escapos de flores/inflorescencias)

- Tipo de variable: cuantitativa
- Justificación: la altura de las plantas determina en gran medida su capacidad para competir por la luz. Por otro lado, la altura que puede alcanzar una planta está condicionada por otros caracteres de la planta, también sujetos a selección natural, como longevidad o leñosidad (ver punto anterior).
- Hipótesis: se espera que en ambientes donde la competencia es más intensa haya una selección positiva de plantas más alta (Zona C). Por el contrario, en la zona B, con escasa cobertura herbácea y escasa limitación por luz cabe esperar que las plantas tengan una altura mínima.

Los artículos recomendados os pueden dar más idea de qué caracteres funcionales se miden en plantas y cómo éstos se relacionan con factores ambientales. Podéis empezar leyendo el capítulo de Molles (2006), antes de pasar a artículos más específicos. A continuación os recomendamos De la Riva et al. (2014), que aunque trata de caracteres funcionales en árboles, está en español, tiene una buena introducción al tema y os puede aportar bibliografía adicional. Por último, para una ayuda metodológica, podéis ver este vídeo tutorial sobre cómo cuantificar variables en comunidades herbáceas: <https://www.youtube.com/watch?v=3PekSkafNps>

Bibliografía recomendada

- De la Riva E.G., Pérez-Ramos I.M. Navarro-Fernández C.M., Olmo M., Marañón T., Villar R. (2014). Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. *Ecosistemas* 23(2): 82-89.
- Diaz S., Cabido M., Casanoves F. (1998). Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science* 9:113-122.
- Grime J.P. (1993). Vegetation functional classification system as approaches to predicting and quantifying global vegetation change. En: Solomon A., Shugart A. (eds.) *Vegetation dynamics and global change*. New York, Chapman and Hall, pp 293-305.
- McIntyre S., Lavorel S., Tremont R.M. (1995). Plant life-history attributes – their relationship to disturbance responses in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology* 83:31-44.
- Molles M.C. (2006) Ecología: conceptos y aplicaciones (3ª edición). Historias vitales en plantas (pp 330-331). McGraw-Hill-Interamericana.
- Westoby M. (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant & Soil* 199:213-227.

CASO 2: ¿Cómo afecta la hojarasca de los árboles a la comunidad de macroinvertebrados edáficos?

(Preparado por Álvaro Alonso)

Los macroinvertebrados edáficos son aquellos invertebrados del suelo que miden más de 1 cm de longitud y/o que tienen una anchura-diámetro corporal de más de 2 mm (Fig. VII.5) (Bignell et al. 2012). Este grupo desempeña un importante papel, siendo muchos de ellos auténticos ingenieros del suelo. Estos animales influyen en las propiedades físicas y químicas del suelo, creando macroporos, y contribuyendo a la fragmentación de la materia orgánica gruesa y a su redistribución. Por tanto su labor es fundamental para la descomposición de la materia orgánica (Temas 2 y 3). Dentro de esta comunidad también existen otros grupos funcionales como pueden ser los macropredadores o los herbívoros, siendo una comunidad muy diversa con numerosos grupos (hormigas, termitas, lombrices, babosas, caracoles, milpiés, ciempiés, opiliones, tijeretas, orugas, cochinillas, etc.). Los macroinvertebrados edáficos (o macrofauna edáfica) forman una comunidad que es una buena indicadora de la calidad biológica del suelo, siendo muy sensible a los cambios en los usos del suelo (Moreira et al. 2012).

Los árboles aportan materia orgánica a los suelos -principalmente a través de la hojarasca (Fig. VII.6) - que al ser descompuesta en el suelo contribuye al aporte de nutrientes inorgánicos para los productores primarios y por tanto al ciclo de nutrientes. No obstante, la hojarasca no se encuentra homogéneamente distribuida en el ecosistema. Este factor podría afectar a la comunidad de macroinvertebrados edáficos, haciendo que su estructura cambie espacialmente.



Figura VII.5. Ejemplo de macrofauna del suelo, lombrices de tierra (Fuente: <http://climaticocambio.com>)



Figura VII.6. Ejemplo de hojarasca presente en la superficie del suelo

Zona de muestreo:

Cualquier zona del campus donde haya árboles de una misma especie y zonas adyacentes de iguales características pero sin árboles (por ej. entre los hangares y la Facultad de Ciencias,

Pregunta:

1. ¿Cómo afecta la hojarasca aportada por los árboles a la comunidad de macroinvertebrados edáficos?

Para poder responder a esta pregunta es necesario plantear una hipótesis y realizar una revisión bibliográfica. Una vez planteada la hipótesis habrá que diseñar y elaborar un muestreo de campo que permita aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

Recomendamos en primer lugar la lectura de las obras divulgativas indicadas (Johnson y Catley 2005; Zerbino y Altier) y a continuación la lectura detallada del capítulo 1, 2 y 3 de Moreira et al. (2012). Después de esto se deben leer el resto de artículos indicados junto con la información recopilada por los alumnos. La lectura de estas obras os ayudará con las palabras clave a utilizar en la búsqueda.

Bibliografía recomendada

- Brown GG, Fragosos C, Barois I, Rojas P, Patrón JC, Bueno J, Moreno AG, Lavelle P, Ordaz V, Rodríguez C (2001) Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zool Mex* 1: 79-110
- Johnson EA, Catley KM (2005) La vida en la hojarasca. American Museum of Natural History (http://www.amnh.org/content/download/35189/518929/file/LifeInTheLeafLitter_esp.pdf) (divulgativo)
- Loranger-Merciris G, Imbert D, Bernhard-Reversat F, Ponge J-F, Lavelle P (2007) Soil fauna abundance and diversity in a secondary semi-evergreen forest in Guadeloupe (Lesser Antilles): influence of soil type and dominant tree species. *Biol Fertil Soils* 44:269–276
- Moreira F, Huisin EJ, Bignell DE (2012). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, 337 pp., México.
- Rendón Pareja S, Artunduaga Lemus F, Ramírez Pisco R, Quiroz Gamboa JA, Leiva Rojas EI (2011) Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Rev Fac Nal Agr Medellín* 64:5793-5802
- Zerbino S, Altier N. La biodiversidad del suelo: su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay (INIA) (<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807164750.pdf>) (divulgativo)

CASO 3: ¿Cuál es el impacto de distintos tipos de hojarasca sobre la comunidad de macroinvertebrados edáficos?

(Preparado por Álvaro Alonso)

Los macroinvertebrados edáficos son aquellos invertebrados del suelo que miden más de 1 cm de longitud y/o que tienen una anchura-diámetro corporal de más de 2 mm (Figs. VII.5 y 7) (Bignell et al. 2012). Este grupo desempeña un importante papel en el funcionamiento del suelo, siendo muchos de ellos auténticos ingenieros del suelo. Estos animales influyen en las propiedades físicas y químicas del suelo, creando macro-poros, y contribuyendo a la fragmentación de la materia orgánica gruesa y a su redistribución. Su labor es fundamental para la descomposición de la materia orgánica y la formación del suelo (Tema 2). Dentro de esta comunidad también existen otros grupos funcionales como pueden ser los macro-predadores o los herbívoros, siendo una comunidad muy diversa con numerosos grupos (hormigas, termitas, lombrices, babosas, caracoles, milpiés, ciempiés, opiliones, tijeretas, orugas, etc.). Los macroinvertebrados edáficos (o macrofauna edáfica) forman una comunidad que es una buena indicadora de la calidad biológica del suelo, siendo muy sensible a los cambios en los usos del suelo (Moreira et al. 2012).

Los árboles aportan materia orgánica a los suelos -principalmente a través de la hojarasca (Figs. VII.6 y VII.8) - que al ser descompuesta en el suelo contribuye al aporte de nutrientes inorgánicos para los productores primarios y por tanto al ciclo de nutrientes. No obstante, la cantidad y calidad de la hojarasca depende de la especie de árbol, y además esta hojarasca no se encuentra homogéneamente distribuida en el ecosistema. Los árboles caducifolios (por ej. Fig. VII.3A, B y D) producen hojarasca que se descompone relativamente rápido, mientras que perennifolias (por ejemplo, pinos o encinas, Fig. VII.3C) aportan una hojarasca más dura que permanece mucho más tiempo en el suelo. Cabe esperar que la cantidad/calidad de hojarasca tenga distintos efectos sobre la comunidad edáfica.



Figura VII.7. Ejemplo de macrofauna del suelo, cochinillas del suelo (Fuente: <http://soilbugs.massey.ac.nz/isopoda.php>)



Figura VII.8. Ejemplo de hojarasca presente en la superficie del suelo. Fuente: <http://www.fotonatura.org/galerias/fotos/467888/>

Zona de muestreo:

Áreas arboladas adyacentes con especies que difieran en las propiedades de las hojas (por ej. pinos y robinias, junto al edificio de Genética, pinos y pumilas junto al aparcamiento de Ciencias).

Pregunta:

1. ¿Hay diferencias en la comunidad de macroinvertebrados edáficos recolectada de suelos bajo la copa de dos especies de árbol diferentes?

Para poder responder a esta pregunta es necesario pensar qué variables vais a utilizar para caracterizar la comunidad de macroinvertebrados, plantear hipótesis y realizar una revisión bibliográfica. Una vez planteada la hipótesis habrá que diseñar y elaborar un muestreo de campo que permita aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

Recomendamos en primer lugar la lectura de las obras divulgativas indicadas (Johnson y Catley 2005; Zerbino y Altier) y a continuación la lectura detallada del capítulo 1, 2 y 3 de Moreira et al. (2012), después de esto se deben leer el resto de artículos indicados junto con la información recopilada por los alumnos. La lectura de estas obras os ayudará con las palabras clave a utilizar en la búsqueda.

Bibliografía recomendada

- Gutiérrez-López M, Ranera E, Novo M, Fernández R, Trigo D (2014) Does the invasion of the exotic tree *Ailanthus altissima* affect the soil arthropod community? The case of a riparian forest of the Henares River (Madrid). *European Journal of Soil Biology* 62: 39-48
- Johnson EA, Catley KM (2005) La vida en la hojarasca. American Museum of Natural History (http://www.amnh.org/content/download/35189/518929/file/LifeInTheLeafLitter_esp.pdf) (divulgativo)
- Moreira F, Huisin EJ, Bignell DE (2012). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, 337 pp., México.
- Nataren-Velázquez J, Del Ángel-Perez AL, Adame-García J, Aridai Hernández C, Hernández-Osoriol M (2011) Estimación de macrofauna edáfica presentes en parcelas establecidas con árboles forestales, frutales y un acahual. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2: 319-322
- Zerbino S, Altier N. La biodiversidad del suelo: su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay (INIA) (<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807164750.pdf>) (divulgativo)

CASO 4: ¿Cómo afecta la densidad de conejos a las comunidades vegetales de herbáceas del Campus?

(Preparado por Tíscar Espigares y Pilar Castro)



El conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus* L.) es una de las especies más relevantes de los ecosistemas mediterráneos de la Península Ibérica ya que desempeña funciones clave en los mismos (Gálvez 2011). Los conejos excavan madrigueras (que se presentan en conjuntos llamados vivares), remueven tierra, generan acumulaciones de excrementos (letrinas); todo ello modifica las características físico-químicas del medio que colonizan las plantas. Asimismo los conejos son voraces consumidores de plantas, consumiendo más aquéllas más palatables o carentes de defensas físicas o químicas. Todos estos procesos actúan como factores de selección de las especies de plantas, pudiendo favorecer a unas especies y perjudicando a otras.

Zona de muestreo:

Buscar zonas donde esperamos distinta densidad de conejos (pero que no difieren en otros factores). Por ej. en las zonas próximas a viales cabe esperar menor densidad, mientras que hacia la finca de El Carmen la densidad podría aumentar (Fig. VII.2, área delimitada por línea roja). También se puede seleccionar una única áreas con letrinas, vivares u otros indicios y comparar la vegetación en áreas con indicios de actividad de conejos, y la de áreas con ausencia de tales indicios.

Pregunta:

1. ¿De qué manera afecta la presencia de conejos a la estructura y composición de las comunidades vegetales de herbáceas?

Para responder a esta pregunta es necesario decidir qué parámetros de las comunidades vegetales vais a medir, plantear hipótesis sobre cómo esos parámetros se verán afectados por los conejos, y realizar una revisión bibliográfica. Se recomienda a los alumnos la lectura de Soriguer (1983), que analizó el efecto de los conejos sobre la biomasa y la diversidad de pastizales mediterráneos en Doñana, y de Rueda (2006), que analizó el efecto de los conejos sobre diferentes parámetros de comunidades de pastizal semiárido del SO de Madrid. Se recomienda leer el Caso 1, donde se pueden encontrar algunos ejemplos de parámetros de la vegetación. También os recomendamos este vídeo tutorial que explica cómo medir algunas propiedades en comunidades herbáceas: <https://www.youtube.com/watch?v=3PekSkafNps>.

Una vez planteadas las hipótesis, estas se comprobarán mediante un estudio de campo cuyo diseño deberéis planificar.

Sugerencia: Aunque a priori podemos asumir que la densidad de conejos es mayor dentro que fuera de la finca de El Carmen, se aconseja a los alumnos que cuantifiquen alguna variable que informe de la abundancia de conejos en las diferentes parcelas de estudio. Estas variables pueden ser la presencia/abundancia de letrinas (Fig. VII.9), y de vivares (Fig. VII.10).



Figura VII.8. Aspecto de una letrina de conejo.
(Fuente: www.vivelanaturaleza.com)



Figura VII.9. Aspecto de la entrada de una madriguera de conejo.

Bibliografía recomendada

- Crawley, M.J. y J. Weiner 1991. Plant size variation and vertebrate herbivory - winter-wheat grazed by rabbits. *Journal of Applied Ecology*. 28:154-172.
- Eldridge, D.J. y R. Simpson 2002. Rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.) impacts on vegetation and soils, and implications for management of wooded rangelands. *Basic and Applied Ecology*. 3:19-29.
- Hanley, M.E., B.B. Lamont, M.M. Fairbanks y C.M. Rafferty 2007. Plant structural traits and their role in anti-herbivore defence. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*. 8:157-178.
- Orueta JF et al. (1993). Impacto de los herbívoros silvestres sobre la vegetación mediterránea. *Quercus* 91: 24-27
- Rueda M (2006). Respuesta aérea y subterránea de las plantas al pastoreo por herbívoros de diferente tamaño bajo diferentes condiciones de productividad en un pastizal mediterráneo. En: *Selección de hábitat por herbívoros de diferente tamaño y sus efectos sobre la vegetación: el papel del conejo europeo ("Oryctolagus cuniculus") en ecosistemas de dehesa*. Capítulo 5. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá. (Acceso libre a través de: <http://dspace.uah.es/dspace/handle/10017/479>).
- Soriguer RC (1983). Consideraciones sobre el efecto de los Conejos y los grandes herbívoros en los pastizales de la Vera de Doñana. *Doñana Acta Vertebrata* 10: 155-168.

CASO 5: ¿Qué factores condicionan la selección de hábitat de los conejos para construir vivares?

(Preparado por Pilar Castro)

Los conejos presentan una estructura social compleja, formando dominados por un macho y varias hembras reproductoras, junto con juveniles y machos subordinados. La calidad del hábitat y disponibilidad de recursos (alimento y refugio) influyen en la estructura social. Ambos sexos defienden el territorio, y mientras las hembras compiten por el uso del vivar, los machos compiten por el acceso a las hembras (Gálvez, 2011).

Las madrigueras son un elemento clave para la organización social del conejo. Los vivares son un conjunto de madrigueras construidas por el esfuerzo colectivo de varios conejos durante un periodo considerable de tiempo (Fig. VII.9). Su disponibilidad y distribución condicionan la estructura social y demografía de las poblaciones de conejo.



Zona de muestreo:

Cualquier zona del campus donde encontréis vivares de conejos (por ej. Zona C de la Fig. VII.2, área comprendida entre la zona C y la Finca de El Carmen (Fig. VII.2)).

Pregunta:

2. ¿Seleccionan los conejos áreas con propiedades particulares para construir vivares? ¿O los construyen en cualquier parte de forma aleatoria?

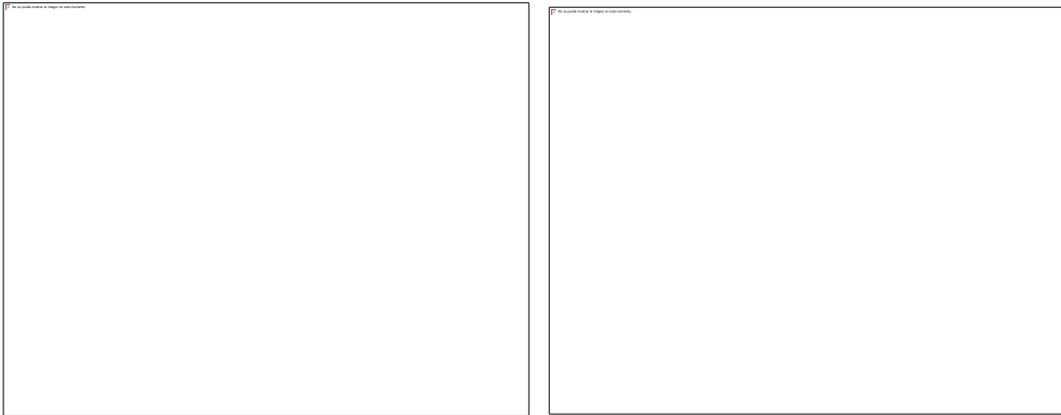
Para responder a esta pregunta es necesario pensar en qué propiedades del hábitat pueden determinar que sean seleccionados o rechazados para la construcción de vivares (pendiente, pedregosidad, presencia de sombra, tipo de suelo, etc). Debéis plantear hipótesis, y realizar una revisión bibliográfica.

Bibliografía recomendada

- Dellafiore CM, Fernandez JBG, Valles SM (2008) Habitat use for warren building by European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in relation to landscape structure in a sand dune system. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*. 33(3): 372-379
- Gálvez L (2011). Conejo -*Oryctolagus cuniculus*. En: Salvador A, Cassinello J (Eds.) *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- McMahon A., Rachlow, JL.; Shipley L.A. et ál. (2017). Habitat selection differs across hierarchical behaviors: selection of patches and intensity of patch use. *Ecosphere* 8 (11): e01993.
- Milling CR, Rachlow JL, Chappell MA et al. (2018). Seasonal temperature acclimatization in a semi-fossorial mammal and the role of burrows as thermal refuges. *PEERJ* 6: e4511.

CASO 6: Factores que influyen en la selección de las flores por parte de los insectos polinizadores

(Preparado por Josabel Belliure)



Entre las relaciones de mutualismo descritas en la naturaleza, la que se produce entre las plantas y sus polinizadores ha llamado particularmente la atención de los ecólogos (ver Tema 14). ¿Qué especies de plantas son más visitadas por los polinizadores? ¿Qué características de las flores influyen en la selección de la especie por los polinizadores? Se ha comprobado que las especies vegetales, así como distintas poblaciones dentro de cada especie, están sujetas a variaciones en la composición y abundancia del conjunto de visitantes florales con los que interactúan. Esta variación obedece tanto a características intrínsecas de la planta (tamaño poblacional, agregación, fenotipo, etc.) como extrínsecas a ella (abundancia local de polinizadores, plantas acompañantes, etc.). El conocimiento de la composición, abundancia y diversidad de los visitantes florales resulta crucial para comprender la coevolución mutualística de las plantas y sus polinizadores.

Zona de muestreo:

Alrededores de las facultades y hangares (Fig. VII.2). Ten en cuenta que para poder realizar este estudio con éxito, el muestreo se debe realizar un día soleado, sin viento y con temperaturas relativamente altas (ya que las condiciones contrarias reducen drásticamente la actividad de los insectos).

Preguntas:

1. ¿Prefieren los insectos unas especies de plantas sobre otras para realizar sus visitas florales?
2. ¿Existen diferencias de selección de flores entre grupos de insectos (por ej. a nivel de orden, entre himenópteros, lepidópteros, etc.)

Para responder a estas preguntas debes plantear hipótesis de trabajo y realizar una revisión bibliográfica que te ayude a encontrar ideas y a diseñar un estudio de campo para comprobarlas. Tendrás que decidir qué características de las flores te parece que pueden influir en las decisiones de los polinizadores, y qué variables serían adecuadas para detectar la existencia de selección y de posibles diferencias en el tiempo de permanencia durante las visitas a las flores.

Bibliografía recomendada

Herrera CM (1995). Microclimate and individual variation in pollinators: flowering plants are more than their flowers. *Ecology* 76: 1516-1524.

- Herrera CM (2005). Plant generalization on pollinators: species property or local phenomenon? *American Journal of the Botanical Society of America* 92: 13–20.
- Thomson JD (1988). Effects of variation in inflorescence size and floral rewards on the visitation rates of traplining pollinators of *Aralia hispida*. *Evolutionary Ecology* 2: 65–76.
- Thompson JD (2001). How do visitation patterns vary among pollinators in relation to floral display and floral design in a generalist pollination system? *Oecologia* 126: 386-394.
- Traveset A (1999). La importancia de los mutualismos para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas insulares. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 527-538.
- Valverde J, Calatayud J, Gómez JM, Perfectti F (2014). Variación intraestacional en los visitantes florales de *Erysimum medio hispanicum* en Sierra Nevada. *Ecosistemas* 23(3): 83-92.

CASO 7: ¿Cómo varía la estructura de la comunidad de aves entre hábitats diferentes?

(Preparado por Josabel Belliure, Asunción Saldaña y Pilar Castro)



Uno de los grandes objetivos de la ecología es entender los factores que determinan la distribución y la abundancia de las especies (ver Tema 15). El estudio de las características de los ecosistemas que influyen sobre los patrones de diversidad resulta muy útil para entender si los cambios ambientales inducidos por el hombre conllevan cambios importantes en la presencia de las especies (Martín y Ferrer 2015). Las aves constituyen un grupo faunístico muy utilizado como indicador de calidad del hábitat y como detector de elementos de perturbación en el medio (Bojorges 2006), ya que reaccionan de forma rápida y muy visible a cualquier alteración. Factores como el tipo y la estructura de la vegetación, presencia de infraestructuras humanas o el grado de trasiego de personas influyen en la abundancia y en la composición de las comunidades de aves, pudiendo facilitar o impedir la presencia de algunas de ellas al incidir en los recursos necesarios para la supervivencia y la reproducción.

En esta práctica puedes profundizar en alguno de estos aspectos aprovechando la presencia de aves del campus. Para ello, puedes ayudarte del *Cuaderno de Ecocampus sobre Avifauna* (Rebollo et al. 2005) para la identificación de las distintas especies de aves.

Zona de muestreo:

El campus ofrece distintas situaciones que permiten comparar las comunidades de aves (hábitats abiertos versus arboledas, áreas urbanizadas versus áreas más naturales, etc) (Fig. VII.2).

Preguntas:

1. ¿Cómo varía la estructura de la comunidad de aves entre hábitats contrastados presentes en el campus?
2. ¿Existen diferencias las características de las especies que dominan cada tipo de hábitat?

Para responder a estas preguntas debes pensar en qué variables de la comunidad de aves, de los individuos, y de los hábitats puedes estudiar. A continuación, plantea hipótesis de trabajo y realizar una revisión bibliográfica que te ayude a diseñar un estudio de campo para comprobarlas. Tendrás que decidir qué método utilizar para medir la riqueza y la abundancia de las distintas especies observadas, y qué variables serían adecuadas para detectar posibles diferencias en el uso del hábitat que realizan atendiendo a la zona del Campus en que se encuentren.

Una variante de este caso de estudio consiste en centrarse en una o dos especies de ave (que sea frecuente y fácil de detectar) para determinar qué tipo de hábitat seleccionan para diversas actividades (alimentarse, para buscar pareja, para construir su nido, etc.). Esta pregunta sería similar a la planteada en el caso 5, pero con otra especie.

Bibliografía recomendada

Bojorges JC (2006). Riqueza de especies de aves: propuestas metodológicas para su evaluación y estimación. *Ciencia y Mar* 11(30): 59-64.

Cárdenas G, Harvey CA, Ibrahim M, Finegan B (2003). Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10: 78-85.

Martin B, Ferrer M (2015). Temporally variable environments maintain more beta-diversity in Mediterranean landscapes. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 68: 1-10.

Rebollo S, Díaz-Aranda LM, Grupo Ornitológico Alcedo (2005). *Avifauna de la Universidad de Alcalá*. Serie Cuadernos del Campus Naturaleza y Ambiente nº 2. Vicerrectorado de Campus y Calidad Ambiental y Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.

Tellería JL (1986). *Manual para el censo de los vertebrados terrestres*. Raíces, Madrid (versión reducida).

CASO 8: ¿Qué tipo de relaciones (positivas, negativas, neutras) se establecen entre especies de plantas que coexisten en una comunidad?

(Preparado por Pilar Castro)



Las especies vegetales que coexisten en una comunidad pueden establecer entre sí relaciones negativas (competencia) y positivas (facilitación) (ver Temas 12-14). El tipo de relaciones determinará la distribución espacial de las especies dentro de la comunidad. Por ejemplo, si la especie A se ve seriamente perjudicada por la presencia de B (por ejemplo, porque B es más competitiva, o porque produce sustancias químicas que perjudican a A,) tendremos más probabilidades de encontrar a A lejos de B. Por el contrario, si A se ve facilitada por B (por ejemplo, porque B produce sombra, aporta materia orgánica al sustrato o tiene espinas que alejan a los herbívoros), encontraremos con más frecuencia a A cerca de B. Por último, si entre ambas especies no predominan relaciones positivas ni negativas, tendremos las mismas probabilidades de encontrar a A cerca o lejos de B. En definitiva, el análisis de los patrones de agregación o dispersión entre especies de una comunidad nos puede informar sobre el tipo de relaciones que se dan entre esas especies.

Zona de muestreo:

Alrededores de los hangares (zonas A, B, C de la Fig. VII.2) y área comprendida entre la zona C y la Finca de El Carmen.

Pregunta

1. ¿Qué tipo de efectos (positivos, negativos o neutros) tienen las “especies diana” seleccionadas sobre la vegetación herbácea circundante?

Para este estudio, debéis seleccionar dos o tres “especies diana”, que sean frecuentes en el campus, que tengan un tamaño mayor que la media de la vegetación (para que sus efectos sean más fáciles de detectar), y de las que sospechemos que tienen un efecto positivo o negativo sobre la vegetación circundante. Por ejemplo, los arbustos de la familia Fabaceae pueden tener un efecto positivo debido a que fijan nitrógeno atmosférico y enriquecen el suelo con este elemento. Por el contrario, otras especies producen sustancias alelopáticas, es decir, sustancias químicas que dificultan o impiden el crecimiento de otras especies bajo su dosel (por ej. como la jara –*Cistus ladanifer*-). Muchas veces estas sustancias alelopáticas se reconocen por un olor intenso (como ocurre con la jara). Posteriormente seleccionaréis variables respuesta que permitan detectar si esas especies tienen efectos positivos o negativos sobre otras plantas. Por ej., cerca y lejos de las especies diana, podéis medir la frecuencia o abundancia de especies concretas, o parámetros de la comunidad⁷.



Figura VII.11. Imagen de *Dittrichia viscosa* (Fuente <http://ichn.iec.cat/bages/planes/Imatges%20grans/colivarda.htm>)

Entre la bibliografía recomendada podéis comenzar con la lectura del trabajo de Pugnaire et al. (2001) donde se hace una revisión del conocimiento de las interacciones entre plantas. El artículo de Zamora et al. (2001) muestra ejemplos de arbustos que facilitan a especies de árboles y explica los mecanismos de facilitación. El artículo de Madrigal-González et al. (2013) analiza patrones de coexistencia espacial entre una especie endémica y una invasora en el desierto de Atacama y puede ser de gran ayuda para desarrollar la metodología de vuestro estudio. Por último, el software utilizado para analizar los datos en este artículo es de libre acceso y está disponible en la referencia de Gotelli & Ellison (2013). Este programa tiene un buen tutorial que os explica cómo se estima si dos o más especies tienden a coexistir o no. Si esto os resulta muy complejo, también hay otras estrategias de análisis más sencillas.

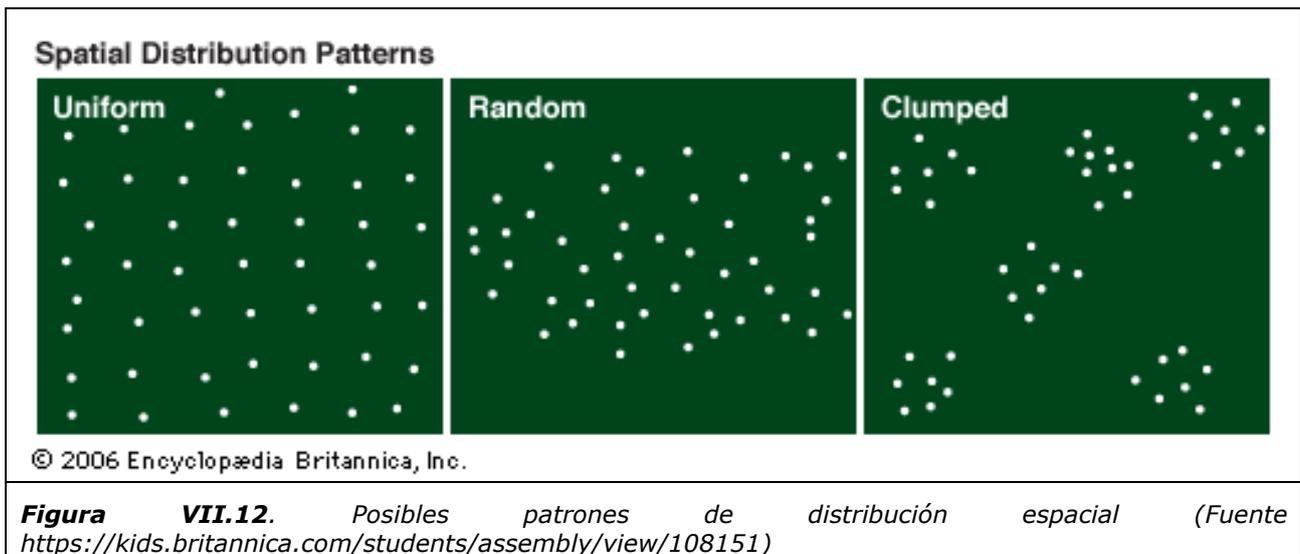
Bibliografía recomendada

- Gotelli NJ, Ellison AM (2013). EcoSimR 1.00. <http://www.uvm.edu/~ngotelli/EcoSim/EcoSim.html>. Módulo “Co-occurrence”
- Madrigal-González J, Cea AP, Sánchez-Fernández LA, Martínez-Tillería KP, Calderón JE, Gutiérrez JR (2013). Facilitation of the non-native annual plant *Mesembryanthemum crystallinum* (Aizoaceae) by the endemic cactus *Eulychnia acida* (Cactaceae) in the Atacama Desert. *Biological Invasions* 15:1439-1447.
- Pugnaire FI, Armas C, Tirado R (2001). Balance de las interacciones entre plantas en ambientes mediterráneos. En Zamora R, Pugnaire FI (Eds.) *Ecosistemas Mediterráneos. Análisis funcional*. Granada, CSIC-AEET, pp: 213-235
- Zamora R, Castro J, Gómez JM, García D, Hódar JA, Gómez L, Baraza E (2001). El papel de los matorrales en la regeneración forestal. *Quercus* 187: 41-47.

⁷ Para ayudaros a seleccionar variables y a diseñar este muestreo, os recomendamos los siguientes vídeos tutoriales: <https://www.youtube.com/watch?v=Ho540WSmxB0> (cómo diseñar el muestreo); <https://www.youtube.com/watch?v=3PekSkafNps> (cómo medir variables de la comunidad herbácea).

CASO 9: ¿Cuál es patrón de distribución espacial de una población?

(Preparado por Pilar Castro)



Generalmente los individuos no se distribuyen al azar en el territorio. Por ejemplo, los individuos tienden a agregarse en torno a fuentes de recursos, o tienden a alejarse de individuos competidores. El balance entre las fuerzas de agregación y de dispersión da lugar a un patrón de distribución determinado, que puede aproximarse a uno de los tres tipos de la Fig. VII.12 (ver tema 9).

En el campus de la Universidad podemos explorar el patrón de distribución espacial de estructuras visibles asociadas a la presencia de ciertas especies. Por ejemplo, vivares o letrinas de conejos (ver caso 5), hormigueros, toperas, nidos de aves, etc. También podemos explorar la distribución de especies sésiles (por ej. plántulas de determinada especie de árbol). Así que, para desarrollar este caso de estudio lo primero que hay que hacer es decidir de qué especie o estructura vamos a analizar el patrón espacial. Para ello, conviene previamente dar una vuelta por el campus para hacernos una idea de qué podemos estudiar y dónde (por ejemplo, las toperas no siempre son visibles en áreas transitadas del campus).

Zona de muestreo:

Cualquier área del campus donde hayamos detectado una cierta abundancia de la especie o estructura que queremos analizar.

Pregunta

1. ¿Qué tipo de distribución tiene la estructura o especie seleccionada?

Para responder a esta pregunta lo primero que debemos hacer es decidir el método de muestreo que vamos a emplear. Un método sencillo es el del "vecino más próximo", basado en medir para cada individuo de la población la distancia al vecino más próximo, y comparar su media con la distancia que cabría esperar si la distribución de los individuos fuera totalmente regular. Para este y otros métodos podéis consultar el cap. 6 de Krebs (1999).

Ya en el campo, debemos delimitar el área de estudio que abarque una densidad razonable de individuos/estructuras objeto del estudio. A continuación, se puede hacer un mapa que recoja la distribución de esos individuos/estructuras (Fig. VII.13), o se pueden hacer las medidas directamente en el campo.

REDWOOD SEEDLINGS

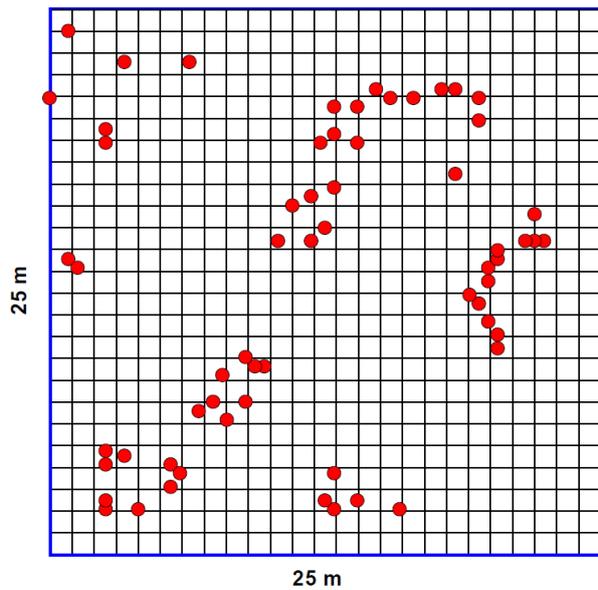


Figura VII.13. Mapa de distribución espacial de 62 plántulas de secuoya (*Sequoia sempervirens*) en un cuadrat de 25 X 25 m en California. (Data from Strauss, 1975). Tomado de Krebs (1999).

Bibliografía

- Krebs C.J. 1999. *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc. (Chap. 6). Disponible en el siguiente enlace: <http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/books.html>.
- Li J., Seal D.R., Leibe G.L., & Liburd O.E. (2012). Seasonal abundance and spatial distribution of the leafminer, *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae), and its parasitoid, *Opius dissitus* (Hymenoptera: Braconidae), on bean in Southern Florida. *The Florida Entomologist*, 95(1), 128-135.
- Rojas-Robles R., Correa A., Serna-Sánchez E. (2008). Seed shadows, seedling survival and spatial distribution of the palm *Oenocarpus bataua*, in a forest of the Colombian Andes. *Actulidades Biológicas* 30(89): 135-150. (en español).

SEMINARIO 2

BASES DE DATOS PARA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

I. PUESTA EN COMÚN SOBRE LAS LECTURAS. (45 minutos)

Durante 10-15 minutos debéis intercambiar con vuestros compañeros de grupo las ideas que cada uno ha obtenido de los trabajos leídos, haciendo especial énfasis en cuáles pueden ser las variables de vuestro estudio y las posibles hipótesis. Tomad las notas necesarias. Posteriormente dispondréis de 20-30 minutos para rellenar un cuestionario que os entregará el profesor (de forma individual) sobre la información obtenida

II. LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA

Una fase fundamental de la investigación científica es la búsqueda de antecedentes publicados sobre el tema que estamos investigando, ya que la experiencia ajena ayuda a plantear hipótesis y a descartar ideas que otros han demostrado que son falsas.

Poseer la capacidad para buscar, manejar y elaborar la información sobre cualquier tema os resultará enormemente útil, no solo a lo largo de la carrera universitaria, sino más adelante, en el ejercicio de cualquier actividad profesional. Adquirir esta habilidad no es fácil, requiere conocer las herramientas de búsqueda de información y, sobre todo, **mucho práctica**.

Cuando busquemos información científica encontraremos distintos tipos de documentos. Es importante saber qué nos puede ofrecer cada uno para adecuar nuestra búsqueda al objetivo. Los principales medios de publicación científica son:

1. **Libros científicos o académicos.** Recopilan el conocimiento sobre un tema, más o menos amplio. La elaboración de un libro implica la recopilación de información, síntesis, redacción y a veces traducción a otros idiomas, lo que hace que cuando el libro llega al lector la información no sea tan reciente como la que recogen otros medios más ágiles. Los lectores de libros científicos suelen pertenecer al mundo académico (estudiantes y profesores de universidad) y al mundo científico (investigadores). Ejemplos:
 - Van Andel & Aronson, eds. 2006. [Restoration Ecology](#). Blackwell Publishing.
 - Lambers et al. 2008. [Plant Physiological Ecology](#). Springer.
 - Begon et al. 2006. [Ecology](#). Blackwell Publishing

La biblioteca de la UAH contiene muchos libros (consultar [catálogo](#)). Además, casi todos los libros se pueden visualizar parcialmente con Google Books.

2. **Tesis Doctorales.** Se trata de investigaciones originales sobre un tema especializado, realizadas por un investigador novel bajo la supervisión de otro u otros con más experiencia. Suelen constar de una introducción, varios artículos (a menudo publicados en revistas científicas) que versan sobre el mismo tema y una discusión general y o conclusiones. La introducción de una Tesis Doctoral suele contener una buena revisión bibliográfica sobre el tema que trata, por lo que puede ser aconsejable como fuente de información. Las Tesis Doctorales suelen estar disponibles en formato digital en las bibliotecas de las universidades donde se han presentado. También existen buscadores de Tesis Doctorales, como <http://www.tesisenxarxa.net/>.
3. **Revistas científicas.** Publican artículos breves (7-12 páginas), generalmente sobre investigaciones muy concretas y recientes. Las revistas con más prestigio se dirigen a

un público internacional, y por tanto, publican en inglés. También hay revistas científicas de ámbito nacional, cuya difusión es más limitada. Los lectores de estas revistas son investigadores especializados, que quieren estar al día en su tema de investigación. Ejemplos de revistas científicas del ámbito de la Ecología (en español e inglés):

- [Revista Chilena de Historia Natural](#)
- [Limnetica](#)
- [Investigación Agraria. Sistemas y recursos Forestales](#)
- [Flora](#)
- [Open Ecology Journal](#)
- [Ecosistemas](#)

Algunas revistas permiten un acceso completo gratuito por internet a los artículos publicados (revistas de *open access*), pero otras solo permiten descargar los artículos previa suscripción. La UAH está suscrita a numerosas revistas, pero ese acceso solo se permite desde la red de la Universidad (ver "Acceso VPN" más abajo).

4. **Revistas de divulgación científica.** Su objetivo es hacer llegar la información científica a un público más amplio y menos especializado. En ellas no se prima tanto la novedad de conocimiento, sino el interés social y el lenguaje accesible. Ejemplos de revistas de divulgación científica relacionadas con Ecología:
 - Revista [Quercus](#). Se publica en papel, pero se pueden consultar sus contenidos en internet. Está disponible en la Biblioteca de Magisterio (Guadalajara).
 - [Investigación y Ciencia](#). Su página web da acceso a los resúmenes de los artículos, pero el acceso al artículo completo no es gratuito. Esta revista se puede consultar en papel en las Bibliotecas de Ciencias de la Salud y de Ciencias.
 - Revista [Ambienta](#). Se publica en internet y es de acceso libre, por lo que sus artículos se pueden descargar íntegramente en pdf.
5. **Congresos científicos.** Los congresos consisten en reuniones de científicos que trabajan en un tema común, en las que se exponen los resultados de las investigaciones más recientes y que aún no han sido publicados en revistas científicas. Estas exposiciones pueden ser orales o en forma de póster. Los congresos los organizan sociedades científicas. Todos los congresos publican unas "Actas" o "Proceedings" con los resúmenes de los trabajos que se han expuesto. El buscador "Isi Web of Knowledge" (ver más abajo) permite acceder a esas actas. Además, si conocemos el nombre del congreso, es posible que este cuente con una página web donde se publiquen esas actas. Algunos ejemplos:
 - Actas del Tercer Congreso Nacional sobre Especies exóticas invasoras.
 - IX Congreso Nacional de la Asociación de Ecología Terrestre (octubre 2009)

Para más información consultar la siguiente web:

<http://www3.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/index.html>

ACCESO DESDE CASA A LOS RECURSOS DE LA BIBLIOTECA

Como alumnos de la UAH podéis instalar en vuestro ordenador el "acceso VPN" que os permitirá acceder a la red de la UAH y a todos sus recursos (revistas, buscadores de bibliografía, etc.) desde vuestra casa. (Ir a <http://www.uah.es/biblioteca/biblioteca/vpn.html> y seguir las instrucciones).

III. OBJETIVO

En este seminario vas a realizar una búsqueda bibliográfica sobre el tema que habéis elegido, utilizando los recursos que ofrece la Biblioteca de la UAH. Los objetivos concretos son:

1. Aprender a elegir combinaciones de palabras-clave adecuadas a nuestro objetivo.
2. Saber seleccionar la/s base/s de datos más adecuadas para buscar información sobre un tema dado.
3. Aprender a manejar bases de datos de búsqueda de información científica.
4. Entre los artículos que devuelve la búsqueda, ser capaces de seleccionar los que realmente aportan información a nuestra pregunta (esto es lo más difícil y para ello ¡¡no hay recetas!!).

IV. LA FÓRMULA DE BÚSQUEDA

Elección de palabras-clave: Las palabras-clave son términos de búsqueda que usaremos para que el buscador nos devuelva todos los trabajos en cuyo título, resumen y/o palabras-clave estén presentes esas palabras. Discutid y anotad las palabras-clave más adecuadas para buscar información sobre vuestra pregunta y vuestras hipótesis. Conviene ordenar las palabras de más generales a más específicas. Así, comenzaremos la búsqueda con la primera palabra y veremos cuántos resultados obtenemos. Si el número es excesivo habrá que ir añadiendo más palabras para acotar la búsqueda. Hay que evitar palabras sin contenido científico (preposiciones, determinantes, etc) o palabras que restrinjan mucho la búsqueda (por ej. "Madrid"). Por ejemplo, si introducimos "diversidad de los ecosistemas", el buscador por defecto interpreta que hay cuatro palabras, de las cuales dos ("de" y "los") no aportan nada a la búsqueda, por tanto hay que evitarlas. Sin embargo, algunos buscadores dan la posibilidad de buscar frases completas entre comillas, en cuyo caso sí se pueden introducir preposiciones y/o determinantes.

La fórmula de búsqueda: las palabras-clave se pueden unir con distintos "conectores" para formar una fórmula de búsqueda. Supongamos que en un buscador introduzco tres palabras-clave: encina, incendio, germinación. ¿Qué devuelve el buscador? ¿Artículos que contengan las tres palabras a la vez? ¿O artículos que contengan al menos una de ellas? Las "búsquedas simples" suelen ajustarse a la primera opción. Las "búsquedas avanzadas" permiten especificar cuál de las dos opciones queremos. Si queremos artículos con las tres palabras, en muchos buscadores las conectaremos con Y o AND, y si queremos artículos con cualquiera de ellos las conectaremos con O u OR. Este conector permite resolver el problema de los sinónimos (cuando hay varias palabras con el mismo significado y nos da igual que aparezca cualquiera de ellas para seleccionar el trabajo). Un ejemplo de fórmula de búsqueda puede ser: "(encina OR Quercus ilex) AND (germinación OR semillas OR bellotas) AND (fuego OR incendio)". Las "búsquedas avanzadas" permiten muchas más opciones, pero cada buscador tiene sus propias normas. Por ello merece la pena explorar los tutoriales del buscador que utilicemos para sacarle el máximo partido.

Idioma de las palabras-clave. Por defecto conviene utilizar el inglés, ya que generalmente los artículos, aunque estén publicados en otro idioma, añaden una lista de palabras-clave en inglés. Podéis hacer búsquedas en español, pero habéis de ser conscientes de que el buscador rastreará un rango mucho más restringido de recursos que si lo hacéis en inglés (podéis probar a repetir la misma búsqueda en ambos idiomas y ver el número de resultado que obtenéis con cada uno).

TAREA 1: Tras haber discutido las palabras-clave y conectores, cada miembro del equipo debe tener una o más fórmulas de búsqueda con las que iniciará su búsqueda en el paso siguiente

V. BUSCADORES BIBLIOGRÁFICOS

En este ejercicio vamos a trabajar con los buscadores de información científica a los que está suscrita la UAH (accesibles desde cualquier ordenador conectado a la red de la UAH, incluido vuestro ordenador desde casa pero conectado por VPN). Los buscadores bibliográficos son herramientas diseñadas para rastrear bases de datos de información científica (revistas científicas, colecciones de libros de bibliotecas universitarias, tesis doctorales, actas de congresos científicos, etc.) mediante palabras-clave y conectores.

Existen diversos tipos de buscadores, que difieren en el tipo de bases de datos que rastrean. Por ejemplo los hay específicos de áreas de conocimiento, los hay que buscan información científica publicada en español, o que solo buscan recursos de acceso público y gratuito. Por otro lado, los hay más genéricos, que buscan en cualquier fuente de información científica.

Podéis ampliar información sobre este tema en la siguiente web de la biblioteca:

<http://www3.uah.es/bibliotecaformacion/BECO/BUSQUEDADEFORMACION/index.html>

TAREA 2: Abre la página web de la biblioteca de la UAH (<http://biblioteca.uah.es/>) y selecciona la pestaña "Recursos de Información". En el desplegable aparece "recursos-e". Selecciónalo y después elige el área de conocimiento "Ecología y Medio Ambiente". Ahí verás diversos recursos de búsqueda de información científica. Para saber más del tipo de información que rastrean, pica la "i" (a la derecha) y luego selecciona "Registro completo". En "Descripción" verás un breve resumen que te indica el tipo de información que puedes encontrar con ese recurso. Lee la información sobre cada uno y discute con tus compañeros cuál puede ser más adecuado para vuestra búsqueda.

Además de estos recursos, la biblioteca de la UAH cuenta con una herramienta propia, llamada "Buscador". Es una herramienta que te permite consultar, desde un solo punto, la mayoría de las colecciones de la Biblioteca de la Universidad de Alcalá, tanto electrónicas como en papel. Busca en una gran colección de artículos científicos, capítulos de libros, comunicaciones a congresos, tesis doctorales, etc., incluidos en los recursos electrónicos suscritos por la Biblioteca de la UAH, así como en el catálogo de la Biblioteca, en el repositorio institucional e-Buah y en una selección de recursos de acceso abierto. Encontrarás esta herramienta en "Recursos de Información" / "recursos-e"

SOBRE GOOGLE Y GOOGLE ACADÉMICO

Probablemente todos estéis familiarizados con **Google**, y tal vez también con **Google Académico**. La gran ventaja de estos buscadores es que son gratuitos, rápidos y fáciles de usar. Pero para hacer búsquedas de información científica tienen grandes inconvenientes:

- **Google u otro buscador no específico** buscan cualquier entrada en la red que se ajuste a nuestra fórmula de búsqueda. En la red cualquiera puede colgar información (verdadera o falsa, con buena o mala calidad) en un blog, en una página personal, etc. Google suele devolver miles de páginas sobre un tema, lo que obliga a seleccionar entre ellas una a una (algo a veces inviable).
- **Google Académico** busca en fuentes que considera "académicas". Pero puede devolvernos, tanto un artículo publicado en una revista de prestigio internacional, como un trabajo de un estudiante de cualquier universidad, cuya calidad puede ser dudosa. Por tanto este medio también exige un gran esfuerzo de filtro de los resultados por vuestra parte.

Si utilizáis cualquiera de estas dos fuentes, antes de dar por buena la información, debéis preguntaros 1) quién lo escribe y si acredita formación para saber sobre el tema, y 2) quién lo publica, si es una fuente fiable. Por ej. si el autor es un profesor universitario experto en un tema podemos dar más credibilidad a la información que si es una persona anónima. Si está publicado en una revista científica (donde hay un comité de expertos que seleccionan lo que se publica) tendrá mucho más valor que si está en un blog de una persona anónima, o simplemente no sabemos quién lo publica.

En definitiva, si trabajamos en ciencia, la mejor forma de ahorrarnos el esfuerzo de discernir qué resultados de una búsqueda son fiables o no, es elegir un buscador que solo busque en medios de difusión científica (revistas científicas principalmente). Publicar en una revista científica supone un proceso de evaluación y filtrado, que garantiza la calidad de la información. La UAH ofrece una buena gama de buscadores de información científica, desde la página de la biblioteca.

VI. REALIZACIÓN DE BÚSQUEDAS BIBLIOGRÁFICAS

Cada miembro del equipo realizará una o más búsquedas, usando la fórmula/s de búsqueda que haya elegido en al menos los siguientes recursos:

- "Buscador" de la UAH
- "Web of Science"

Dedicad un rato, antes de empezar, a distribuir la tarea entre los miembros del equipo para evitar duplicar el trabajo. Se recomienda hacer uso de los videos tutoriales para facilitar la búsqueda en cada recurso.

Ejemplo de búsqueda en los recursos "Web of Science" o "Biosis"

- Web of Science y Biosis son dos recursos de búsqueda que comparten el mismo formulario de búsqueda.
- Este formulario de búsqueda permite buscar por autores, años, revistas, etc., modificando el campo de selección los cuadros de la derecha (si la búsqueda es por palabras-clave, hay que seleccionar "tema" en esos cuadros).
- Podéis añadir al final tantos campos de búsqueda como necesitéis (picando en "añadir otro campo").
- Podéis **refinar la búsqueda** en el recuadro que encontráis a la izquierda "Refinar Resultados", donde podéis elegir la categoría científica de los artículos que queréis analizar (por ej. "Ecology" o "Forestry").
- Si tenéis una serie de palabras-clave que comparten la misma raíz pero con distinta terminación, podéis introducir la raíz seguida de "*" para que devuelva todos los trabajos que contienen esa raíz. Por ejemplo "invas*" incluye "invasive", "invasiveness", "invasibility", "invasivity", etc.
- Para seleccionar una serie de resultados y poder revisarlos más tarde, podéis picar el recuadro que hay a la izquierda de los títulos y luego picar sobre el icono del "tick" (add selected records to your marked list). Para visualizar la lista de trabajos seleccionados, picad en la barra superior "Marked list". Ojo: Si cerráis la sesión se perderán los trabajos seleccionados.
- Si picáis sobre el título podréis **acceder al resumen**. Si hay un enlace llamado "**texto completo**" os permite descargar el artículo completo. Si no, podéis tratar de descargarlo en el **enlace "Buscador"**.
- En el siguiente vídeo tutorial podrás ver cómo hacer búsquedas en Web of Science: <https://www.youtube.com/watch?v=v7DF84KrCbs>

Una vez obtenidos los resultados de una búsqueda, hay que seleccionar aquéllos que puedan ser útiles. Para ello debéis leer los títulos y decidir si se ajustan a lo que buscáis (si el título no os dice mucho, picad sobre él y -normalmente- podréis acceder al resumen). En caso positivo podéis intentar descargar el artículo completo en pdf. Este a veces está directamente disponible desde un link. Otras veces se puede buscar picando el icono de "Buscador" que aparece junto al título. Este enlace os mandará a una página que indica si el trabajo es accesible o no por vía electrónica. Cuando no está disponible os da la posibilidad de buscarlo a través de Google Scholar, que a veces da acceso al artículo completo.

Solución de algunos problemas frecuentes

Si la **búsqueda os devuelve un número muy grande de resultados**, podéis acotar la búsqueda añadiendo más palabras-clave. Además, muchos buscadores permiten filtrar los resultados en función de la disciplina científica, del año de publicación, del tipo de documento, etc. También podéis probar a realizar búsquedas avanzadas, usando conectores u otras opciones que os ofrezca el buscador (ver tutoriales).

¿Y si no encontramos nada, o los resultados obtenidos no se ajustan a lo que buscamos?

Esto se puede deber a varias razones: 1) No estáis usando el idioma adecuado (por ej. estáis introduciendo palabras en español en un buscador que busca recursos publicados en inglés). 2) No estáis utilizando el buscador adecuado (por ej. estáis usando uno que rastrea principalmente publicaciones de humanidades). 3) No estáis usando las palabras-clave adecuadas. Revisad estos tres puntos y repetid la búsqueda.

Debéis guardar los artículos descargados en un pen-drive o enviároslos a vuestro correo electrónico para poder leerlos en casa.

VII. CÓMO ESCRIBIR LAS REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para citar la bibliografía debéis consultar el apartado "Apoyo al aprendizaje" y después "Citar" la página web de la biblioteca (<http://biblioteca.uah.es/aprendizaje/apoyo-aprendizaje.asp?capa=citar>). También podéis ver ejemplos en la pag. 69 de este manual.

El formato más utilizado en Ciencias es el [estilo Harvard](#). Ahí podréis descargar manuales completos de cómo escribir cualquier referencia bibliográfica.

Referencia de un artículo científico:

Apellido del autor, inicial del nombre. (año de publicación de la revista). Título del artículo. *Título de la revista en cursivas*. Volumen de la revista (número de la revista (opcional)): rango de páginas.

Ejemplo:

Abrams, M.D. (1994). Genotypic and phenotypic variation as stress adaptations in temperate tree species: a review of several case studies. *Tree Physiology* 14 (2): 833-842.

TAREA 3: Cada miembro del grupo debe seleccionar un mínimo de cuatro referencias útiles para su trabajo (al menos dos en revistas internacionales en inglés) y anotarlas en la ficha que se entrega al final del seminario. Las referencias deben ponerse con formato "Harvard", que es el que sigue la bibliografía de cualquier artículo científico.

Apéndice VII.1-FICHA SEMINARIO 2 (entregar en Blackboard)

El documento debe tener formato pdf. El nombre del documento debe incluir el número de vuestro grupo de prácticas y el primer apellido de cada miembro del grupo, por orden alfabético (por ej: GR1_Alonso_García_Fernández)

Grupo de seminario	1	2	3	4
--------------------	---	---	---	---

Título del trabajo:

Participante (Apellidos, Nombre)	Fórmula de búsqueda usada	Buscadores utilizados	Referencias seleccionadas (estilo Harvard)
1.			
2.			
3.			

TRABAJO EN CASA

LECTURA DE TRABAJOS Y ELABORACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE VUESTRO ARTÍCULO

Antes del seminario 3 tenéis que **leer los artículos que habéis seleccionado** y que aportan información a vuestro problema. Si alguno de ellos no aporta información de interés o no lo entendéis, debéis sustituirlo por otro haciendo nuevas búsquedas.

I. TRABAJO INDIVIDUAL EN CASA

- Cada miembro del equipo deber revisar los artículos que ha seleccionado, con especial atención a la introducción.
- Empezad leyendo el **resumen**, para ver si realmente aporta la información que estáis buscando. En caso negativo, sustituidlo por otro artículo.
- **Leed la introducción atentamente**, tomando notas sobre la información que aporta a vuestro caso. Identificad las ideas útiles para vuestro problema (qué se sabe y qué no se sabe, qué hipótesis plantea el trabajo, qué variables pretende medir). Podéis tomar nota de otros trabajos que mencione por si necesitáis completar vuestra búsqueda.
- No es necesario leer el material y métodos con detalle (aunque más adelante os interese hacerlo de cara a diseñar vuestro muestreo de campo), solo lo necesario para entender los resultados. Centraos en los resultados, y **sobre todo, la discusión**, donde podréis encontrar la aportación que hace el trabajo a vuestra pregunta (anotad qué demuestra, qué pruebas aporta, si esa información apoya o desmiente alguna de vuestras hipótesis, o propone una explicación alternativa).
- De cada artículo leído **anotad** en vuestro cuaderno **la referencia bibliográfica** del artículo (recordad las instrucciones del estilo Harvard) y debajo **las ideas que aporta respecto a la pregunta planteada** (si sugiere, demuestra o descarta alguna hipótesis, si aporta alguna respuesta).
- **Pedid ayuda a los profesores** para resolver dudas referentes a la lectura (palabras que no entendéis, cuestiones idiomáticas, metodológicas o conceptos). Leer un artículo científico por primera vez no es tarea fácil, así que no debéis desmotivaros si no lo entendéis de manera inmediata.

II. TRABAJO EN EQUIPO

- Cuando terminéis la lectura individual y tengáis vuestras notas, debéis juntaros para realizar **una puesta en común de la información obtenida por cada uno**. Es fundamental que compartáis esa información, explicándosela a vuestros compañeros. No se trata de que cada uno escriba un trozo independiente del trabajo, sino de hacer un trabajo en común (se nota cuando lo hacéis así y cuando no).
- Leed atentamente el apartado **“III-Cómo escribir un artículo científico”** del **este manual de prácticas y seminarios**. Con el apoyo de toda la información que habéis leído (en la bibliografía aportada por los profesores y la que habéis buscado vosotros)

tenéis que elaborar la **INTRODUCCIÓN** de lo que será vuestro trabajo científico. En ella debéis citar la bibliografía consultada (no se puede citar lo que no se ha consultado, porque lo cite un trabajo que hayáis leído) y añadir al final un apartado de referencias bibliográficas, ambas siguiendo el estilo "Harvard".

- Elaborad entre todos un esquema consensuado de la introducción de vuestro trabajo.
- A continuación debéis escribir los contenidos de cada punto de vuestro esquema. Aunque cada miembro se encargue de desarrollar un punto, todos debéis revisar el texto final y darle hilo conductor y homogeneidad de estilo y formato.
- Tendréis oportunidad de mejorar vuestra primera versión de la introducción, porque en el 3er seminario cada alumno leerá varios trabajos de otros compañeros y anotará las deficiencias que detecte.
- De cara a la corrección cruzada pretendemos mantener el anonimato tanto de los autores como de los revisores de los trabajos. Por ello **no pondréis vuestros nombres en el trabajo, sino un número asignado por los profesores.**

Os recomendamos leer el siguiente trabajo, que es una estupenda guía de cómo se debe planificar y elaborar un trabajo científico, disponible en Blackboard, carpeta "Seminarios"

Harvey, J.A. 2009. Preparing a paper for publication: an action plan for rapid composition and completion. *Ann. Zool. Fennici* 46: 158-164.

TAREA 4: Enviar a través de Blackboard el borrador de la introducción de vuestro trabajo con el siguiente esquema:

- Título
- Autores (anotad únicamente los números asignados a cada alumno por el profesor, de cara a mantener el anonimato).
- Palabras-clave
- Introducción.
- Bibliografía citada (formato Harvard)

Extensión máxima: 2 páginas de papel DINA-A-4. Letra *Times New Roman* tamaño 12, espaciado sencillo, con todos los **márgenes** de 2,5 cm.

El documento debe tener **formato pdf**. El **nombre del documento** debe incluir el número de vuestro grupo de prácticas y el primer apellido de cada miembro del grupo, por orden alfabético (por ej: **GR1_Alonso_García_Fernández**)

SEMINARIO 3

CORRECCIÓN CRUZADA DE TRABAJOS Y CÓMO HACER PRESENTACIONES ORALES

I. CORRECCIÓN CRUZADA

Cualquier trabajo enviado a una revista es revisado por varios autores que analizan el contenido y certifican la calidad de dicho trabajo. El objetivo de este ejercicio es que cada alumno aporte comentarios a los trabajos de otros compañeros (es decir, que haga la función de revisor de un trabajo científico) que ayuden a mejorar (y sacar buena nota) la versión inicial. Se preservará el anonimato tanto de los autores como de los revisores. Los comentarios deben ser constructivos (pensad que estamos ayudando al compañero, como queremos que otro nos ayude a nosotros). Utilizaremos como guía el cuestionario de la página siguiente.

(Cada equipo también debería autoevaluar su trabajo con el mismo cuestionario).

II. CONGRESO DE ECOLOGÍA DE LA SESIÓN 4

En la siguiente sesión realizaremos una especie de "Congreso de Ecología", donde presentaréis de forma oral vuestro trabajo completo (incluyendo la introducción que habéis elaborado en los seminarios, la metodología, resultados y discusión que habréis elaborado en las sesiones prácticas). Tal y como vimos en el Seminario 2, los congresos científicos consisten en reuniones donde los científicos exponen a sus colegas los resultados de investigaciones recientes, que aún no están publicadas en la bibliografía.

Cada equipo dispone de **10 minutos para realizar su presentación oral** más 10 minutos para debate. Todos los miembros del equipo deben participar de forma equitativa, y **el orden de presentación será indicado por el profesor** al inicio de la presentación (es decir, todos los miembros del equipo deben tener preparada la presentación completa). La exposición, la defensa y la participación en el debate serán objeto de evaluación individual.

El debate posterior a cada presentación está dirigido por un **moderador**, cuyas funciones son:

- Controlar el tiempo de cada exposición (por ej. avisando cuando queden 3 minutos, y quitando la palabra a los ponentes si exceden el tiempo).
- Organizar el turno de palabra, procurando que todos los asistentes tengan oportunidad de intervenir.
- Plantea preguntas para animar el debate si nadie pregunta nada.
- Dar paso a la siguiente presentación cuando se agote el tiempo del debate.

En nuestro particular Congreso necesitamos **dos moderadores voluntarios** (cada uno moderará la mitad de la sesión).

III. CÓMO (NO) HACER UNA PRESENTACIÓN ORAL CON POWER POINT

Con el fin de aprender a hacer una buena presentación oral, el profesor realizará una exposición en 10 minutos, equivalente a lo que vosotros tenéis que presentar en la próxima sesión. Esta presentación tendrá aspectos positivos y negativos. Tras la presentación los miembros de cada equipo discutiréis qué os ha gustado y qué no os ha gustado de esta presentación durante 5-10 minutos (para ello contaréis con un cuestionario que habéis de rellenar). A continuación haremos una puesta en común de todos vuestros comentarios y con ellos elaboraremos un documento consensuado que colgaremos en Blackboard. Este documento lo podéis utilizar como guía para hacer vuestra presentación.

ENTREGA DE LOS TRABAJOS FINALES ESCRITOS

El trabajo final escrito se entregará por Blackboard la misma semana en que se realiza la presentación oral. Este trabajo supone el 40% de la nota de prácticas. El documento debe tener formato pdf. El nombre del documento debe incluir el número de vuestro grupo de prácticas y el primer apellido de cada miembro del grupo, por orden alfabético (por ej: GR1_Alonso_García_Fernández).

Apéndice VII.2-Cuestionario para la evaluación de la introducción de un trabajo científico⁸

Grupo de seminario:	
Número del evaluador:	
Título del trabajo leído	
Números del grupo evaluado (por orden):	

TÍTULO

	Si	No
Informa adecuadamente sobre el contenido del trabajo		

INTRODUCCIÓN

	Si	No
Aparece la pregunta ecológica que se tiene que responder		
La formulación del objetivo es correcta y está clara		
Queda claro qué aportan otros autores a la cuestión que se plantea		
Hay un hilo conductor claro		
Hay hipótesis formuladas por los autores del trabajo		
Las hipótesis son claras		
Las hipótesis se justifican con argumentos convincentes		

Otros comentarios para mejorar la introducción (no debe quedar en blanco).

BIBLIOGRAFÍA

	Si	No
¿Se citan trabajos en el texto?		
¿Se citan correctamente? Por ej. (Rodríguez y Roselló 2004), (Smith et al. 2008)*		
¿Aparecen en la lista bibliográfica todos los trabajos citados a lo largo del texto?		
Las citas de la lista bibliográfica están completas y correctamente escritas (autores, año, revista/libro, volumen, páginas)*		
¿Está la bibliografía ordenada según el apellido del primer autor?		
¿Todos los trabajos de la bibliografía tienen que ver con la pregunta planteada?*		

* Si has contestado que no en alguna de estas preguntas, explica aquí los problemas detectados

⁸ Recuerda que la lectura exhaustiva del trabajo que tienes entre manos y tus comentarios ayudarán a tus compañeros a mejorarlo.

ESTILO

	Si	No
La redacción te ha parecido fluida y fácil de entender		
¿Existe coherencia entre párrafos (no da la impresión de que cada párrafo ha sido escrito por una persona distinta, con un estilo distinto o es el resultado de “cortar y pegar”)?		
¿Está el texto bien enfocado a la pregunta planteada?		
¿Los nombres científicos están escritos de modo adecuado?		

Si has contestado negativamente alguna pregunta explica aquí los problemas detectados

FORMATO

	Si	No
Se ha respetado la longitud del trabajo		
Tiene un formato uniforme		
Está bien presentado		
Está bien puntuado		
La ortografía es correcta		

Si has contestado negativamente alguna pregunta explica aquí los problemas detectados

Apéndice VII.3-CUESTIONARIO PARA LA EVALUACIÓN DE LA PRESENTACIÓN ORAL

Qué me ha gustado

Qué no me ha gustado

SOBRE EL POWER POINT

SOBRE LOS CONTENIDOS

SOBRE LA EXPRESIÓN ORAL

SOBRE LA EXPRESIÓN CORPORAL

SOBRE EL CONTACTO CON LA AUDIENCIA

OTROS ASPECTOS

SEMINARIO 4

CONGRESO DE ECOLOGÍA

I. DESARROLLO DEL SEMINARIO

En esta sesión vamos a disfrutar de lo que nos van a contar nuestros compañeros sobre los temas que han trabajado. Cuando escuchéis a vuestros compañeros debéis adoptar una actitud crítica (constructiva) sobre lo que os están contando. Si algo no os convence o no lo entendéis, debéis comentarlo al final de la exposición en el turno del debate. Asimismo, deberéis rellenar un cuestionario donde valoraréis cada una de las presentaciones.

En esta sesión se evaluará individualmente tanto las intervenciones en el turno de debate, como la evaluación que realicéis de vuestros compañeros en el cuestionario que os entregaremos. (En el caso del moderador se evaluará su actuación como tal).

Apéndice VII.4-Cuestionario sobre las presentaciones orales

Nombre del evaluador:

Grupo de seminarios:

Puntúa cada uno de las preguntas con una nota entre 1 (muy mal) y 5 (muy bien). Añade además los comentarios que consideres adecuados. Rellena una casilla para cada presentación, indicando arriba el número de orden.

Presentación Power Point.

(Valora la estructura, orden, balance entre texto y figuras, cantidad de información de cada diapositiva, cantidad de diapositivas para el tiempo disponible).

Nº										
Nota										
Comentarios										

Contenidos

(Valora si han quedado claros los objetivos e hipótesis, si se aporta información suficiente para responder las preguntas, si hay unas conclusiones convincentes, si deja un mensaje claro).

Nº										
Nota										
Comentarios										

Expresión oral

(Valora si los ponentes hablan con soltura, a velocidad y volumen adecuados, si entonan bien, si es fácil de seguir).

Nº										
Nota										
Comentarios										

Expresión corporal

(Valora si los oradores hablan de cara a la audiencia, si los gestos ayudan a seguir la presentación, etc.).

Nº										
Nota										
Comentarios										