

Guía de la asignatura

Limnología

Grado en Recursos Hídricos



Universidad
Rey Juan Carlos

©2023 Javier Sánchez Hernández

Algunos derechos reservados

Este documento se distribuye bajo la licencia

“Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional” de Creative Commons,
disponible en <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

1. Presentación

La asignatura proporciona los contenidos básicos y generales, así como conceptos específicos y aplicados, de la limnología. El principal objetivo que se persigue con esta asignatura es que el alumno sea capaz de familiarizarse con la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de las aguas continentales. Todo ello permite al alumno entender la interrelación entre el ambiente y los distintos niveles de organización de estos ecosistemas acuáticos. Así, los alumnos al finalizar la asignatura deberán ser capaces de conocer, comprender y aplicar principios limnológicos básicos para identificar los principales procesos responsables del cambio en los ecosistemas acuáticos epicontinentales.

2. Guía docente

Puedes descargar la guía docente actualizada de la asignatura en el siguiente enlace: <https://gestion3.urjc.es/guiasdocentes/>

3. Temario

UNIDAD 1: Introducción al objeto de estudio: la ecología de las aguas continentales

- Tema I. Definiciones y antecedentes históricos
- Tema II. El componente abiótico y biótico
- Tema III. Estructura y funcionamiento

UNIDAD 2: El ambiente acuático

- Tema IV. Tipologías de los ambientes acuáticos
- Tema V. La biota de los sistemas acuáticos
- Tema VI. Técnicas de muestreo
- Tema VII. Adaptaciones a la vida en el ambiente acuático

UNIDAD 3: Ecología de poblaciones en aguas continentales

- Tema VIII. Ecología de poblaciones
- Tema IX. Casos de estudio en ecología de poblaciones

UNIDAD 4: Ecología de comunidades en aguas continentales

- Tema X. Ecología de comunidades
- Tema XI. Casos de estudio en ecología de comunidades

UNIDAD 5: Flujos de energía

- Tema XII. Redes tróficas
- Tema XIII. Movilización de energía
- Tema XIV. Casos de estudio de redes tróficas

UNIDAD 6: Recirculación de materiales

- Tema XV. Recirculación de materiales en sistemas lénticos
- Tema XVI. Recirculación de materiales en sistemas lóticos

4. Evaluación

Convocatoria ordinaria:

- Prueba escrita tipo test y/o preguntas cortas - 60% nota (reevaluable, nota mínima: 5).
- Entrega guiones de las actividades prácticas y casos prácticos - 20% nota (reevaluable, nota mínima: 5). Véase las indicaciones más adelante sobre la asistencia a las actividades prácticas y salidas de campo.
- Memoria y exposición del trabajo en clase (seminarios)- 20% nota (reevaluable, nota mínima: 5). Véase las indicaciones más adelante sobre la asistencia a los seminarios.

Convocatoria extraordinaria:

- Los estudiantes que no consigan superar la evaluación ordinaria, o no se hayan presentado, serán objeto de la realización de una evaluación extraordinaria para verificar la adquisición de las competencias establecidas en la guía, únicamente de las actividades de evaluación reevaluables.

5. Cronograma detallado

Mes	Semana	Tema	Descripción	Materiales	Trabajo personal
Enero	1	Presentación	Introducción a la asignatura: objetivo, contenidos, desarrollo y sistema de evaluación	Diapositivas	i) Familiarización con el listado de materiales disponibles en el Aula Virtual ii) Creación de grupos para los trabajos
	2	Temas I y II	i) Limnología: definiciones y antecedentes históricos ii) Conceptos básicos sobre el componente abiótico y biótico	i) Diapositivas ii) Artículos (Marcus, 1959; Sánchez-Hernández, 2021)	i) Lecturas complementarias ii) Asimilar conceptos presentados
Febrero	3	Tema III	Conceptos básicos sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos	i) Diapositivas ii) Artículo (García de Leaniz, 2022) iii) Exposición de casos (contaminación) iv) Gamificación (trivial)	i) Lecturas complementarias ii) Compartir opiniones con el resto de los compañeros iii) Repasar conceptos de los temas de la unidad I (temas I-III)
	4	Tema IV	Características principales de las diferentes tipologías de las masas de agua epicontinental	Diapositivas	Asimilar conceptos presentados
	5	Tema V	Características de los principales grupos taxonómicos acuáticos	i) Diapositivas ii) Ejercicios dirigidos iii) Guía de campo (Giménez, 2009)	i) Lecturas complementarias ii) Resolución de ejercicios iii) Realización de trabajo
	6	Temas VI y VII	Principales técnicas de muestreo y adaptaciones a la vida en los ecosistemas acuáticos	i) Diapositivas ii) Libro (Elosegi & Sabater, 2009) iii) Gamificación (trivial) iv) Videos de muestreos	i) Lecturas complementarias ii) Repasar conceptos de los temas de la unidad II (temas IX-VII) iii) Realización de trabajo

Mes	Semana	Tema	Descripción	Materiales	Trabajo personal
Marzo	7	Tema VIII	Introducción a la ecología de poblaciones acuáticas	Diapositivas	i) Asimilar conceptos presentados ii) Realización de trabajo
	8	Tema IX y seminario	Casos de estudio de ecología de poblaciones	i) Diapositivas ii) Exposición de casos (contaminación) iii) Gamificación (trivial)	i) Ejercicios dirigidos ii) Compartir opiniones con el resto de los compañeros iii) Repasar conceptos de los temas de la unidad III (temas VIII-IX) iv) Realización de trabajo
	9	Tema X	Introducción a la ecología de comunidades acuáticas	i) Diapositivas ii) Ejercicios dirigidos iii) Video de cascada trófica	i) Asimilar conceptos presentados ii) Resolución de ejercicios iii) Realización de trabajo
	10	Tema X, seminario y sesiones prácticas	Ecología de comunidades acuáticas, familiarización con la identificación de los macroinvertebrados y principales presiones antrópicas	i) Diapositivas ii) Claves dicotómicas (Tachet et al. 2002; Oscoz et al. 2011) iii) Contenidos prácticos (guiones de prácticas...)	i) Asimilar conceptos presentados ii) Realización memorias de actividades prácticas iii) Realización de trabajo
Abril	11	Sesiones prácticas y Temas XI y XII	Casos de estudio de ecología de poblaciones e introducción a la estructura y funcionamiento de las redes tróficas	i) Diapositivas ii) Exposición de casos iii) Contenidos prácticos (guiones de prácticas...) iv) Gamificación (trivial)	i) Realización memorias de actividades prácticas ii) Compartir opiniones con el resto de los compañeros iii) Repasar conceptos de los temas de la unidad IV (temas X-XI) iv) Realización de trabajo
	12	Temas XIII y XIV	Movilización de la energía y casos de estudio de redes tróficas fluviales y lacustres	i) Diapositivas ii) Exposición de casos iii) Gamificación (trivial)	ii) Compartir opiniones con el resto de los compañeros ii) Repasar conceptos de los temas de la unidad V (temas XII-XIV) iii) Realización de trabajo
	13	Temas XV y XVI Salida de campo	Salida de campo y conceptos básicos sobre la recirculación de materiales en sistemas fluviales y lacustres	i) Diapositivas ii) Gamificación (trivial) iii) Estadillos de campo	i) Repasar conceptos de los temas de la unidad VI (temas XV-XVI) ii) Realización de trabajo
Mayo	14	Seminarios	Seminarios y exposición de trabajos	i) Diapositivas	i) Exposición de trabajos

6. Programa docente detallado

UNIDAD 1. INTRODUCCIÓN AL OBJETO DE ESTUDIO: LA ECOLOGÍA DE LAS AGUAS CONTINENTALES

Tema I. Definiciones y antecedentes históricos

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: Durante la primera clase del curso se realiza una primera sesión de presentación y explicación de la guía docente de la asignatura, en la que se definen los objetivos de aprendizaje, y se describe la organización temporal de las distintas actividades, los métodos de evaluación de competencias, horarios de tutorías, etc. En la segunda hora se hace una introducción a la Limnología, definiéndola, explicando el contexto histórico en el que surge y visibilizando el papel de las mujeres en su desarrollo. Se aprovecha el registro histórico con ejemplos para introducir los conceptos básicos que el alumno debe ir incorporando y asociando a la asignatura. Al final de la clase se recomienda que lean como literatura de apoyo los trabajos de Marcus (1959) y Sánchez-Hernández (2021).

Tema II. El componente abiótico y biótico

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: En este tema se contextualiza el medio físico en el que los seres vivos realiza las funciones vitales, pero de una forma introductoria ya que los contenidos se desarrollan con mayor profundidad en la unidad 2. Se comienza la clase introduciendo los principales factores abióticos (temperatura, luz, naturaleza geológica, etc.) que determinan las tipologías de las masas de agua, así como las comunidades de seres vivos. Una vez terminado con el componente abiótico, se pasa a identificar los principales taxones (perifiton, macrófitos, zoobentos, nesuton y vertebrados) que habitan los ecosistemas acuáticos epicontinentales (se ven en profundidad en el tema VI).

Tema III. Estructura y funcionamiento

- Metodología docente: Método expositivo, método del caso y gamificación.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: Este tema tiene como objetivo generar inquietudes a los futuros egresados de cómo se estructuran los ecosistemas acuáticos y de su funcionamiento. Se inicia definiendo los conceptos de estructura y funcionamiento, para luego dar paso a los límites de escala de trabajo a los que los limnólogos se enfrentan ya que los enfoques pueden variar en la escala espacial (desde microhábitat hasta red hidrográfica) y temporal. También se desarrolla en concepto de servicios ecosistémicos y de su importancia antes de dar paso a las principales fuentes de amenaza de los ecosistemas acuáticos. En este sentido, no se profundiza con mucho detalle en la degradación de las masas de agua ya que hay una asignatura dedicada a ello en el 3^{er} curso. Se recomienda la lectura de un artículo sobre la fragmentación de los ríos de Carlos García de Leániz para estimular el trabajo autónomo del alumno (García de Leaniz 2022). Se finaliza el tema exponiendo un caso sobre la contaminación, una de las principales problemáticas de los ecosistemas acuáticos, basado en la historia real y relacionada con la presencia de sustancias químicas (cromo) en el agua de consumo. Se invita a los alumnos a que vean la película de Erin Brockovich para abrir al día siguiente un debate. Finalmente, se desarrolla una partida de trivial con preguntas orientadas a repasar los principales conceptos teóricos de la primera unidad. El juego se hace por grupos mediante la aplicación Kahoot.

UNIDAD 2. EL AMBIENTE ACUÁTICO

Tema IV. Tipologías de los ambientes acuáticos

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 4 horas.
- Descripción del contenido docente: Este tema se imparte en dos clases consecutivas de 2 horas. Durante la primera clase se explica a los estudiantes las principales características (ambiente físico, ambiente químico, características geológicas y seres vivos) de los ambientes acuáticos. Se presta especial atención a la zonación de los sistemas lóticos desde una perspectiva longitudinal (Huet 1954; Illies y Botosaneanu 1963; Vannote et al. 1980), así como a los compartimentos (litoral, pelágico y profundo) y la tipología de los lagos según su

morfología, temperatura y estratificación. El objetivo de la segunda clase es que los estudiantes se familiaricen con los ambientes especiales (medio intersticial, ambientes higropétricos, lagunas hipersalinas, etc.) y la complejidad de los ecosistemas acuáticos.

Tema V. La biota de los sistemas acuáticos

- Metodología docente: Método expositivo, ejercicios dirigidos y aprendizaje colaborativo.
- Duración: 4 horas.
- Descripción del contenido docente: Este tema se imparte en dos clases consecutivas de 2 horas. Existen multitud de seres vivos que habitan en los ecosistemas acuáticos entre los que destacan, el perifiton, los macrófitos, el plancton, el macrozoobentos y los peces, por su importancia en el funcionamiento de los mismos. El objetivo de estas dos sesiones consiste explicar a los alumnos las principales diferencias entre los grupos taxonómicos más frecuentes. Los alumnos realizan una actividad (ejercicio) dirigido a consolidar las principales características morfológicas que permiten distinguir entre los diversos tipos de taxones, mediante la proyección de imágenes en el aula. Esta actividad primeramente se hace individual y luego se pone en común para abrir un debate que permita las interacciones entre los alumnos y los argumentos usados en cada caso. Finalmente, se recomienda la lectura de una guía de macrófitos (Giménez, 2009).

Tema VI. Técnicas de muestreo

- Metodología docente: Método expositivo y aprendizaje colaborativo.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: El tema se inicia con una tormenta de ideas o "brainstorming" a nivel grupal (3-5 alumnos) sobre las posibles consecuencias de los agentes contaminantes para los seres vivos que habitan en los ecosistemas acuáticos. A continuación, cada grupo selecciona un portador para poner en común las consecuencias que se apuntan en la pizarra y se abre un debate para establecer el rango de importancia. Una vez finalizado el debate, se introducen las principales técnicas de muestreo que se utilizan en el diseño experimental de estudios limnológicos relacionados con el medio físico (caudales, granulometría, etc.), flora (perifitón, plancton, etc.) y fauna

(macroinvertebrados, peces, etc.). Se abre posteriormente un debate con los alumnos sobre las ventajas e inconvenientes de algunas de las técnicas de muestreo como por ejemplo las utilizadas para los macroinvertebrados (red de Surber y kick-net).

Tema VII. Adaptaciones a la vida en el ambiente acuático

- Metodología docente: Método expositivo y gamificación.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: Se inicia la clase preguntando a los estudiantes si conocen alguna adaptación de los seres vivos para vivir en los ecosistemas acuáticos y se van escribiendo las respuestas en la pizarra. Esto lleva a identificar algunas de las principales adaptaciones a la vida en el ambiente acuático. Se utiliza este punto de partida para desarrollar las principales adaptaciones que presentan los macroinvertebrados (adaptaciones morfológicas, comportamentales, respiratorias y alimentarias) y los peces (por ejemplo, osmorregulación, respiración branquial y coloración). Finalmente, se desarrolla una partida de trivial con preguntas orientadas a repasar los principales conceptos teóricos de la segunda unidad. El juego se hace por grupos mediante la aplicación *Kahoot*.

UNIDAD 3. ECOLOGÍA DE POBLACIONES EN AGUAS CONTINENTALES

Tema VIII. Ecología de poblaciones

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 4 horas.
- Descripción del contenido docente: Este tema se imparte normalmente en dos clases consecutivas de 2 horas cada una. El tema se inicia definiendo el concepto de población. También se repasan algunos conceptos relacionados con la ecología de poblaciones (competencia intraespecífica, capacidad de carga, emigración, inmigración, etc.) que son claves para comprender la variabilidad poblacional. La última parte de la clase se dedica a que los estudiantes entiendan las consecuencias de la competencia intraespecífica para la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los individuos que componen la población. La segunda sesión se dedica a la dinámica poblacional, profundizando en los mecanismos denso-dependientes (endógenos) y los factores (bióticos y abióticos) responsables de la variabilidad poblacional.

Tema IX. Casos de estudio en ecología de poblaciones

- Metodología docente: Método expositivo, método del caso y gamificación.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: Se trata de un tema, que en su mayoría es práctico, basado en la contextualización y análisis de casos sobre: i) la estructura de tamaños, ii) estructura de sexos (sex-ratio), iii) la alimentación, iv) la dinámica poblacional, v) la toxicidad y estrés ambiental y vi) el cambio climático. Finalmente, se desarrolla una partida de trivia con preguntas orientadas a repasar los principales conceptos teóricos de la tercera unidad. El juego se hace por grupos mediante la aplicación *Kahoot*.

UNIDAD 4. ECOLOGÍA DE COMUNIDADES EN AGUAS CONTINENTALES

Tema X. Ecología de comunidades

- Metodología docente: Método expositivo, ejercicios dirigidos y aprendizaje colaborativo.
- Duración: 6 horas.
- Descripción del contenido docente: Este tema tiene como finalidad que los alumnos comprendan los mecanismos que regulan las comunidades en la naturaleza y comprende varias sesiones. La primera de ellas se inicia definiendo el concepto de comunidad, para pasar a continuación a explicar las principales comunidades vegetales, en línea con los modos de vida de las comunidades vegetales (helófitos, anfítos, etc.) según la clasificación de Sculthorpe (1967) y Cook (1990), y las comunidades animales que se pueden encontrar en los ecosistemas acuáticos. La segunda sesión se inicia con la sucesión ecológica y los tipos de interacción (simbiosis, depredación, etc.). A continuación, los alumnos realizan una actividad (ejercicio) dirigido a consolidar los diferentes tipos de interacción, mediante la proyección de imágenes en el aula. Esta actividad primeramente se hace individual y luego se pone en común para abrir un debate que permita las interacciones entre los alumnos y los argumentos usados en cada caso. En la parte final del tema se define el concepto de nicho ecológico, término acuñado por George Evelyn Hutchinson (Hutchinson 1957a) y la competencia interespecífica, antes de dar paso a los mecanismos de control de comunidades mediado por los recursos o por los depredadores (*bottom-up* y *top-down*, respectivamente). Finalmente, se visualiza un video sobre los efectos

en cascada *top-down* de la reintroducción del lobo en Parque Nacional de Yellowstone y sus consecuencias finales en los ríos.

Tema XI. Casos de estudio en ecología de comunidades

- Metodología docente: Método expositivo, método del caso y gamificación.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: Se trata de un tema, que en su mayoría es práctico, basado en la contextualización y análisis de casos sobre: i) las asociaciones de biocenosis ibéricas, ii) la alimentación (reparto del alimento), iii) las especies invasoras, iv) la contaminación y v) el cambio climático. Finalmente, se desarrolla una partida de trivial con preguntas orientadas a repasar los principales conceptos teóricos de la cuarta unidad. El juego se hace por grupos mediante la aplicación *Kahoot*.

UNIDAD 5. FLUJOS DE ENERGÍA

Tema XII. Redes tróficas

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: El estudio y comprensión de la estructura de las redes tróficas es indispensable para saber cómo se produce la movilización de energía (tema XIII) en los ecosistemas acuáticos. En este tema se define el concepto de red trófica y los principales parámetros que permiten diferenciar su complejidad (por ejemplo, conectancia y longitud de las cadenas tróficas). A continuación, se definen los términos de nivel y posición trófica. El tema se finaliza explicando la eficiencia trófica, el clásico trabajo sobre el flujo de energía de Lindeman (Lindeman 1942) y las variaciones en la eficiencia energética en la naturaleza.

Tema XIII. Movilización de energía

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: A lo largo de este tema se explican los principales canales de movilización de energía de redes tróficas en sistemas

lóticos y lénticos. En los sistemas lóticos se contextualiza que la movilización de energía tiene lugar a lo largo de diversas dimensiones: longitudinal (espiral de nutrientes), vertical (entre niveles tróficos) y horizontal (interconexión acuático-terrestre). En lo que respecta al acoplamiento entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, se hace un especial énfasis a los trabajos de Shigeru Nakano (por ejemplo, Nakano et al. 1999; Kawaguchi y Nakano, 2001; Nakano y Murakami, 2001) y se recomienda su lectura complementaria para fomentar el trabajo autónomo. En los sistemas lénticos, la movilización de energía discurre a través de los tres compartimentos (zona litoral, pelágica y profunda). Así, se da una perspectiva a los alumnos sobre los posibles escenarios de la movilización de la energía en las redes tróficas lacustres y que incluye: i) movilización de la energía litoral, ii) movilización de la energía pelágica, iii) el acoplamiento pelágico-litoral y iv) el eje vertical (profundo/bentónico-pelágico). Finalmente, se plantea a los alumnos como los futuros escenarios climáticos más cálidos y productivos pueden proporcionar cambios en la movilización de energía tomando como base trabajos de investigación recientes (por ejemplo, Hayden et al. 2019; Sánchez-Hernández et al. 2021).

Tema XIV. Casos de estudio de redes tróficas

- Metodología docente: Método expositivo, método del caso y gamificación.
- Duración: 1 hora.
- Descripción del contenido docente: Se comienza la clase preguntando a los estudiantes cómo los aportes de artrópodos del bosque de ribera pueden alterar las redes tróficas acuáticas. Con las ideas que emanan de la discusión, se hace una síntesis de los beneficios ecosistémicos que conlleva la interconexión acuático-terrestre. A continuación, se contextualizan y analiza algunos casos sobre la estructura de las redes tróficas en: i) en sistemas ibéricos fluviales y ii) en sistemas ibéricos lacustres. Finalmente, se desarrolla una partida de trivial con preguntas orientadas a repasar los principales conceptos teóricos de la quinta unidad. El juego se hace por grupos mediante la aplicación *Kahoot*.

UNIDAD 6. RECIRCULACIÓN DE MATERIALES

Tema XV. Recirculación de materiales en sistemas lénticos

- Metodología docente: Método expositivo.
- Duración: 1 hora.
- Descripción del contenido docente: Los fenómenos de recirculación de materiales tienen lugar en los sistemas lénticos asociados a los fenómenos de mezcla de aguas (rotura de la estratificación). En este tema se explica los fenómenos de estratificación y mezcla de la masa de agua entre el epilimnion e hipolimnion de sistemas lénticos, así las implicaciones que desencadenan la recirculación de materiales y como los periodos de mezcla de aguas varían geográficamente: Para ello, se utilizan los clásicos trabajos de George Evelyn Hutchinson (por ejemplo, Hutchinson y Löffler, 1956; Hutchinson, 1957b), ampliamente utilizados en la actualidad y que permiten clasificar los lagos en función de los patrones de estratificación y circulación (amícticos, monomícticos, dimícticos, oligomícticos y polimícticos).

Tema XVI. Recirculación de materiales en sistemas lóuticos

- Metodología docente: Método expositivo y gamificación.
- Duración: 2 horas.
- Descripción del contenido docente: Esta clase está dirigida a contextualizar como se produce la recirculación de materiales en sistemas lóuticos en condiciones naturales profundizando un poco más en el concepto de la “espiral de nutrientes” introducido en el tema XIII y desarrollando la mezcla en ambientes de estuario. Además, se explica el fenómeno de la deriva y las crecidas naturales que son cruciales para que los alumnos tengan una perspectiva longitudinal en los fenómenos de recirculación de materiales y en línea con la clásica teoría del continuo fluvial (Vannote et al. 1980). Por otro lado, se explica las alteraciones en la recirculación de materiales debido a la construcción de presas. Finalmente, se desarrolla una partida de trivial con preguntas orientadas a repasar los principales conceptos teóricos de la sexta unidad. El juego se hace por grupos mediante la aplicación *Kahoot*.

Contenidos prácticos

2.1. PRÁCTICAS EN LABORATORIOS

La asignatura tiene asignadas 10 horas de prácticas en laboratorios tecnológicos. Esto supone un total de 5 prácticas de 2 horas en las que el grupo de alumnos se divide en dos grupos y son desarrolladas por dos profesores. El objetivo de estas prácticas consiste en reforzar los conceptos de teoría y que los alumnos tengan una visión más aplicada de la Limnología.

Práctica 1. Macroinvertebrados (sistemas lénticos)

- Metodología docente: Aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Identificar los macroinvertebrados acuáticos de sistemas lénticos y ii) familiarizarse con las principales características diagnóstico que permiten reconocer los diferentes grupos taxonómicos.
- Descripción del contenido docente: Esta primera sesión práctica está dedicada a la identificación de los invertebrados de sistemas lénticos y trata de profundizar los contenidos del tema VI de teoría donde se exponen la biota de los sistemas acuáticos. El alumno recoge el material con el que va a trabajar en el laboratorio en la charca del CAT y recibe información sobre los principales rasgos morfológicos que permiten identificar a los diferentes grupos taxonómicos. Además, los alumnos cuentan con claves dicotómicas (Tachet et al. 2002; Oscoz et al. 2011) para el correcto reconocimiento e identificación de los invertebrados acuáticos.

Practica 2. Macroinvertebrados (sistemas lóticos)

- Metodología docente: Aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Identificar los macroinvertebrados acuáticos de sistemas lóticos, ii) familiarizarse con las principales características diagnóstico que permiten reconocer los diferentes grupos taxonómicos y iii) reconocer las diferencias morfológicas de los insectos heterometábolos respecto de los holometábolos.
- Descripción del contenido docente: Esta segunda sesión práctica está dedicada a la identificación de los invertebrados de sistemas lóticos y trata de profundizar los contenidos del tema VI de teoría donde se exponen la biota de los sistemas

acuáticos. Dentro del contexto general de los macroinvertebrados, los insectos acuáticos han suscitado siempre un especial interés por varios motivos: su enorme importancia en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y los aspectos concernientes a su distribución biogeográfica y diversidad. Así, los macroinvertebrados tienen una elevada importancia ecológica ya que forman parte de la base de las cadenas tróficas en los ecosistemas fluviales. El alumno recibe información sobre los principales rasgos morfológicos que permiten identificar a los diferentes grupos taxonómicos. Además, los alumnos cuentan con claves dicotómicas (Tachet et al. 2002; Oscoz et al. 2011) para el correcto reconocimiento e identificación de los invertebrados acuáticos.

Practica 3. Adaptaciones morfológicas de los macroinvertebrados

- Metodología docente: Aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Identificar las principales tipologías morfológicas de los macroinvertebrados y ii) reconocer las diferencias morfológicas de las comunidades de invertebrados entre sistemas lénticos y lóticos.
- Descripción del contenido docente: Por regla general, los macroinvertebrados que habitan sistemas fluviales presentan adaptaciones morfológicas encaminadas a utilizar la capa límite y evitar ser arrastrados por la corriente, entre estas adaptaciones se pueden destacar el aplanamiento corporal dorsoventral, las ventosas o el lastrado, por ejemplo. Es por ello que diferencias en las condiciones hidromorfológicas entre estaciones de muestreo dentro de un mismo ecosistema o entre diferentes ecosistemas (por ejemplo, lacustres y fluviales) pueden determinar cambios en los morfotipos mayoritarios en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. De esta forma, comunidades de macroinvertebrados que habitan en tramos con un elevado hidrodinamismo (hábitats expuestos a elevadas velocidades de corriente) estarán compuestos mayoritariamente por invertebrados con tipos morfológicos adaptados a estos ambientes. Así, por ejemplo, Edwards y Moore (2017) han observado que las ninfas de plecópteros (*Acroneturia lycorias*) en ríos con caudales elevados y constantes tienen morfologías alargadas e hidrodinámicas en comparación con ríos más someros (morfologías más cortas y anchas). Esta sesión práctica está dedicada a la identificación de los principales morfotipos de los invertebrados identificados en las prácticas 1 y 2, las diferencias entre sistemas (lóticos *versus*

lénticos) y trata de profundizar los contenidos del tema VII de teoría donde se exponen las principales adaptaciones a la vida en el ambiente acuático.

Práctica 4. Alimentación y flujos de energía

- Metodología docente: Aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Reconocer los mecanismos de alimentación de los macroinvertebrados en función de los diferentes aparatos bucales e ii) identificar los flujos de energía a través de los diferentes niveles tróficos.
- Descripción del contenido docente: El conocimiento de los hábitos alimentarios es fundamental para comprender el papel ecológico de cada una de las especies o grupos taxonómicos en el contexto del funcionamiento de los ecosistemas. La comprensión del papel específico de cada una de las especies en los flujos de energía es especialmente importante para comprender la dinámica de las cadenas y redes tróficas a través de las interacciones depredador-presa. Como se expone en clase de teoría (tema VII), los macroinvertebrados se pueden clasificar en cuatro grupos tróficos o funcionales en función de los diferentes mecanismos de alimentación: i) desmenuzadores (tritadores), ii) colectores (de depósito y filtradores), iii) raspadores (ramoneadores) y iv) depredadores. La práctica se basa en la asignación de los grupos tróficos de los invertebrados identificados en las prácticas 1 y 2.

Práctica 5. Depredación

- Metodología docente: Aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Ejecutar un experimento e interpretar sus resultados, ii) evaluar la influencia de las características de las presas (abundancia y coloración) para la probabilidad de supervivencia de los depredadores y iii) evaluar los efectos de la adquisición de la imagen de búsqueda en las dinámicas depredador-presa.
- Descripción del contenido docente: La capacidad de aprendizaje de los depredadores se manifiesta en la adquisición de la imagen de búsqueda para incrementar la eficiencia en la búsqueda de alimento. Consiste en que el depredador, tras repetidas exposiciones a presas potenciales, aprende a interpretar determinados estímulos (formas, colores, sonidos, olores, etc.) como señales de presencia de organismos de los que pueden alimentarse. De hecho,

según la teoría del forrajeo óptimo, los depredadores adquieren la estrategia depredadora más rentable posible desde el punto de vista energético para maximizar la ganancia de energía. La dificultad con la que se detecta el alimento puede depender de la estructura del hábitat, la abundancia de las presas y su disposición en el espacio (agregadas o dispersas), el grado de camuflaje (cripsis) de las presas respecto a su entorno, el nivel de especialización del depredador y la capacidad de aprendizaje del depredador. En esta práctica se realizan dos experimentos (A y B) con dos tipos de presas (macarrones o espirales de colores), uno más visible que el otro (color verde o amarillo) en los jardines del campus simulando la búsqueda de presas durante el verano (duración arbitraria de 18 días) en el que no hay renovación de presas, de manera que se pueda estudiar la evolución temporal del tiempo de búsqueda de alimento y la supervivencia de los depredadores y las presas.

- En el experimento A, la mitad de los componentes del grupo utiliza presas de color verde y la otra mitad de color amarillo. De esta forma, cada mitad del grupo habrá adquirido la imagen de búsqueda de un tipo diferente de presas.
- En el experimento B, todos los componentes del grupo tienen que sobrevivir explotando una población de presas compuesta al 50% por cada uno de los tipos de presas. Se evalúa si sus experiencias previas influyen sobre la supervivencia de los depredadores.

2.2. CLASES PRÁCTICAS

La asignatura tiene asignadas 8 horas para clases prácticas de resolución de problemas, casos, etc.

Sesión 1. Presas y embalses: ¿ángeles o demonios para un graduado en recursos hídricos?

- Metodología docente: Método del caso y aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivo: Identificar las principales consecuencias la construcción de presas y embalses para los seres vivos que habitan en los ecosistemas acuáticos.
- Descripción del contenido docente: Se expone un caso contextualizado en la fragmentación de los ríos europeos (Belletti et al. 2020). Tomando como base este escenario se va dirigiendo a los alumnos para que identifiquen los

principales beneficios que las presas y embalses proporcionan a las poblaciones humanas (abastecimiento humano y de regadío, electricidad, etc.). A continuación, los alumnos trabajan a nivel grupal (3-5 alumnos) para llegar a un consenso sobre las posibles consecuencias de la construcción de presas y embalses para los seres vivos que habitan en los ecosistemas acuáticos. Finalmente, cada grupo selecciona un portador para poner en común las consecuencias que se apuntan en la pizarra y se abre un debate para establecer el rango de importancia.

Sesión 2. Estado ecológico

- Metodología docente: Método del caso y aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Utilizar los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, ii) aplicar índices bióticos (IBMWP y ASPT) para determinar el estado ecológico de masas de agua y iii) reconocer variaciones espaciotemporales en el estado ecológico de las masas de agua.
- Descripción del contenido docente: Los macroinvertebrados tienen una elevada importancia ecológica ya que forman parte de la base de las cadenas tróficas en los ecosistemas acuáticos. Debido a que la duración de la fase acuática de los macroinvertebrados es relativamente duradera, y que la composición faunística de la comunidad del macroinvertebrados cambia en respuesta a los cambios ambientales naturales (ej. gradiente longitudinal) o antrópicos (ej. contaminación), se utilizan con frecuencia como indicadores de la calidad ecológica de los medios acuáticos epicontinentales. Así, los macroinvertebrados son considerados como una herramienta fundamental para la tipificación y el análisis del estado ecológico de los cursos de agua dulce y han sido incluidos en la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea o el Plan Hidrológico Nacional. En este caso práctico los alumnos trabajan con una matriz de datos de macroinvertebrados de la cuenca del río Ebro que es accesible en repositorios públicos (MZNA, 2017; Escribano et al., 2018). Por simplicidad, los alumnos trabajan con cuatro estaciones de muestreo del río Arga en las que hay que determinar su estado ecológico desde una perspectiva temporal y espacial.

Sesión 3. Interacciones entre especies

- Metodología docente: Aprendizaje inverso.
- Duración: 2 horas.
- Objetivos: i) Familiarizarse con el modelo de Lotka-Volterra (ecuaciones depredador-presa) que permiten describir dinámicas entre dos especies que interactúan en sistemas biológicos y ii) evaluar la importancia de la competencia en las dinámicas poblacionales.
- Descripción del contenido docente: Las distintas especies interactúan unas con otras de múltiples maneras. Por ejemplo, la interacción entre un pez depredador y sus presas supone un beneficio para el primero y un perjuicio los segundos. En algunos casos, puede ser de interés conocer el grado de estabilidad que tienen estas interacciones, de manera que se pueda dilucidar en qué condiciones se pueden mantener a largo plazo y en cuáles no. Para ello se han de utilizar simulaciones o modelos que contemplen las distintas interacciones entre las especies. Entre los más básicos se encuentran los diseñados por Lotka y Volterra para la competencia y la depredación, en la que se circunscribe esta clase práctica. Los alumnos tienen disponible un videotutorial en el Aula Virtual sobre el programa "Populus", su funcionamiento y el modelo de competencia de Lotka-Volterra. Así, el tiempo presencial se utiliza para desarrollar actividades de aprendizaje significativo y personalizado en un aula de informática.

Sesión 4. Introducción de especies alóctonas: ¿perdida o incremento de diversidad biológica?

- Metodología docente: Método del caso y aprendizaje cooperativo.
- Duración: 2 horas.
- Objetivo: Reconocer las principales consecuencias de la introducción de las especies alóctonas.
- Descripción del contenido docente: Se proporcionará a los alumnos a través del aula virtual el caso (presencia y dispersión de varias especies alóctonas en los ríos ibéricos), así como documentación de apoyo (en este caso artículos científicos con una estrecha relación sobre el tema abordado) para que realicen una exploración individual de las preguntas del mismo. A continuación, los alumnos trabajan a nivel grupal (3-5 alumnos) para llegar a un consenso sobre las posibles consecuencias de la presencia y dispersión de especies invasoras. Finalmente, cada grupo selecciona un portador para poner en común las

consecuencias que se apuntan en la pizarra y se abre un debate para establecer el rango de importancia.

3. Actividades relacionadas

3.1. Seminarios

- Duración: 6 horas.
- Objetivo: Salidas profesionales y complementación de la formación.
- Descripción del contenido docente: Con el fin que los alumnos obtengan visiones diferentes de la Limnología, se incorpora a la asignatura tres seminarios en cada curso académico que amplían temáticas vistas en clase con el fin de complementar su formación. Al menos uno de los seminarios se destina a la exposición de los trabajos que los alumnos realizan para el proceso de evaluación. El resto de los seminarios se invita a ponentes para que los alumnos amplíen conocimientos en temáticas relevantes como los efectos del cambio climático, los trabajos que se realizan en consultoría ambiental y la realización de trabajos académicos.

3.2. Salida de campo

- Duración: 8 horas.
- Objetivo: Familiarización con las principales técnicas de muestreo.
- Descripción del contenido docente: La asignatura contempla una salida de campo que se realiza en la zona de Aldea del Fresno para visitar un sistema lótico (río Alberche) y un sistema léntico (embalse de Picadas). Los alumnos ven *in-situ* como se trabaja en el campo para la recolección de muestras biológicas y reciben una formación práctica en técnicas de muestreo ampliando los contenidos teóricos vistos en el tema VI (técnicas de muestreo) y que pueden ser de utilidad para su futura inserción en el mundo laboral en trabajos de consultoría medioambiental.

7. Bibliografía

- Belletti, B., Garcia de Leaniz, C., Jones, J. *et al.* (2020). More than one million barriers fragment Europe's rivers. *Nature*, **588**: 436–441.
- Cook, D.K. (1990). Aquatic plant book. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
- Edwards, D.D. & Moore, P.A. (2017). Body-shape variation of *Acroneuria lycorias* (Plecoptera: Perlidae) nymphs across magnitude and frequency stream flows. *Freshwater Science*, **36**: 571–584.
- Elosegi, A. & Sabater, S. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA, Bilbao.
- Escribano, N., Oscoz, J., Galicia, D., Cancellario, T., Durán, C., Navarro, P. & Ariño A. H. (2018). Freshwater macroinvertebrate samples from a water quality monitoring network in the Iberian Peninsula. *Scientific Data*, **5**:180108.
- García de Leániz, C. (2022). La fragmentación de los ríos. *Investigación y Ciencia*, **549**: 48–57.
- Giménez P.T. (2009). Guía visual de campo. Macrófitos de la cuenca del Ebro. Confederación hidrográfica del Ebro.
- Hayden, B., Harrod, C., Thomas, S.M. *et al.* (2019). From clear lakes to murky waters: tracing the functional response of high latitude lake communities to concurrent 'greening' and 'browning'. *Ecology Letters*, **22**: 807–816.
- Huet, M. (1954). Biologic, profils en long et en travers des eaux courantes. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **175**: 41–53.
- Hutchinson, G.E. & Löffler, H. (1956). The thermal classification of lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **42**: 84–86.
- Hutchinson, GE. (1957a). Concluding remarks. In Special issue: Population studies: Animal ecology and demography.
- Hutchinson, GE. (1957b). A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics, and Chemistry. John Wiley & Sons, Hoboken, Nueva Jersey: 1015 pp.
- Illes, J. & Botosaneanu, L. (1963). Problèmes et methodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes considerées surtout du point de vue faunistique. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **12**: 1–57.

- Kawaguchi, Y. & Nakano, S. (2001). Contribution of terrestrial invertebrates to the annual resource budget for salmonids in forest and grassland reaches of a headwater stream. *Freshwater Biology*, **46**: 303–316.
- Lindeman, R.L. (1942). The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology*, **23**: 399–417.
- Marcus M.G. (1959). Limnology: Its Growth and Evolution. *Annals of the Association of American Geographers*, **49**: 466–470.
- MZNA (2017). Freshwater samples in MZNA-INV-FRW: Macroinvertebrates samples from the water quality monitoring network from the Ebro Basin. v1.2. University of Navarra, Museum of Zoology. Dataset/Samplingevent. <http://doi.org/10.15470/gkiznu>
- Nakano, S. & Murakami, M. (2001). Reciprocal subsidies: dynamic interdependence between terrestrial and aquatic food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **98**: 166–170.
- Nakano, S., Miyasaka, H. & Kuhara, N. (1999). Terrestrial-aquatic linkages: riparian arthropod inputs alter trophic cascades in a stream food web. *Ecology*, **80**: 2435–2441.
- Oscoz, J., Galicia, D. & Miranda, R. (2011). Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain; Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Sánchez-Hernández, J. (2021). El legado de George Evelyn Hutchinson en la ecología y limnología moderna. *Real Sociedad Española de Historia Natural*, **115**: 175–185.
- Sánchez-Hernández, J., Hayden, B., Harrod, C. & Kahilainen, K.K. (2021). Population niche breadth and individual trophic specialisation of fish along a climate-productivity gradient. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **31**: 1025–1043
- Sculthorpe, C.D. (1967). The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold Publishers, London, UK.
- Tachet, H., Richoux, P.; Bournaud M. & Usseglio-Polatera, P. (2002). Invertébrés d'eau douce. CNRS Éditions. Paris, 587 pp.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**: 130–137.