



Facultad de Ingeniería, Comisión Académica de Posgrado

CURSO: Estructura y funcionamiento de ecosistemas

Responsables

Dra. Lorena Rodríguez - CURE-UDELAR

Dra. Irene Machado - CURE-UDELAR

Dra. Valentina Amaral - CURE-UDELAR

Invitados

Dr. Rafael Bernardi - CURE-UDELAR

Dr. Guillermo Chalar - F. de Ciencias-UDELAR

Dr. Gastón Martínez - CURE-UDELAR

Dra. Grisel Longo - CURE-UDELAR



CURSO: Estructura y funcionamiento de ecosistemas

Programa

Clase 1. Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat. Ma 9/5 – L. Rodríguez

Clase 2. Estructura de ecosistemas, factores abióticos y bióticos. Teoría de sistemas aplicada a ecosistemas. Estabilidad y resiliencia y su relación con la biodiversidad y calidad ambiental. J 11/5 – L. Rodríguez

Clase 3. Funcionamiento de ecosistemas, flujo de energía y materia. Ciclos biogeoquímicos. Producción primaria y secundaria, tramas tróficas, controles ascendentes y descendentes. Ma 16/5 – I. Machado y V. Amaral

Clase 4. Ecosistemas de Uruguay, distribución. Estado de conservación y causas de la degradación. Vulnerabilidad al Cambio Climático. Concepto de Servicios Ecosistémicos y sustentabilidad. J 18/5 – L. Rodríguez

Clase 5. Ecosistemas acuáticos continentales. Tipos, grupos biológicos principales y funcionamiento. Ecología fluvial. Ecología de lagos, lagunas y embalses. Ma 23/5 – I. Machado y G. Chalar

Clase 6. Ecosistema marinos. Tipos, grupos biológicos principales y funcionamiento. Tipos de ambientes marinos, estructura y funcionamiento. J 25/5 – I. Machado y V. Amaral

Clase 7. Ecosistemas terrestres. Tipos, grupos biológicos principales, suelo y funcionamiento. Ecología de bosques. Ecología de pastizales. Agroecosistemas: forestación, agricultura y ganadería. Conceptos de agroecología y producción sustentable. Ma 30/5 – R. Bernardi

Clase 8. Ecosistemas de transición. Ecología de humedales. Ecología de playas. J 1/6 – L. Rodríguez y G. Martínez

Clase 9. Sistemas socioecológicos, participación social y conocimiento ecológico local. Ma 6/6 – L. Rodríguez

Clase 10. Medidas basadas en naturaleza. Restauración. Impactos ambientales, impacto neto cero y contribuciones ambientales positivas. Hacia una ingeniería de la sustentabilidad. J 8/6 – L. Rodríguez

Clase 8. Ecosistemas de transición. Ecología de humedales. Ecología de playas.

Ecotono: límite entre dos comunidades, son regiones de rápido reemplazo de especies en una distancia corta y son muy claros cuando los gradientes ambientales son fuertes (gradiente de inundación)

Cuando la zona de ecotono es muy grande se discute si son una transición entre dos ecosistemas o si son ecosistemas en sí mismos.

La zona riparia o litoral de ríos y arroyos, humedales o la zona litoral activa (playas) – son ecotonos o son ecosistemas? Existen procesos y mecanismos propios y una biodiversidad propia de estos sistemas? O es sólo una cuestión de escala?

En sistemas costeros se consideran a la desembocadura de ríos y lagunas costeras, caletas, marismas como aguas transicionales, que son un ecotono entre sistemas de agua dulce y marinos, pero son ecosistemas en sí mismos con un funcionamiento propio.

Los **ecotonos o ecosistemas de transición**, cuando se ubican en zonas de alto intercambio de energía y materia, son altamente dinámicos y se caracterizan por gradientes ambientales muy fuertes y dinámicos.



Por ser sistemas de transición su definición puede ser precisa, pero su delimitación en el terreno suele ser muy operacional. Además suelen ser incluidos también entre las clases de los otros ecosistemas. Se debe considerar como un concepto difuso (lógica difusa).

Ejemplo: bosque fluvial vs humedal dominado por especies arbóreas hidrófilas.



Los sistemas riparios y de transición son de los más complejos y dinámicos del mundo

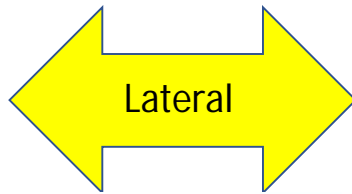
La distribución y abundancia refleja la heterogeneidad espacial y temporal

Refleja las interacciones biológicas y con el ambiente y el régimen e historia de los disturbios

Suelen tener alta productividad



Zonificación



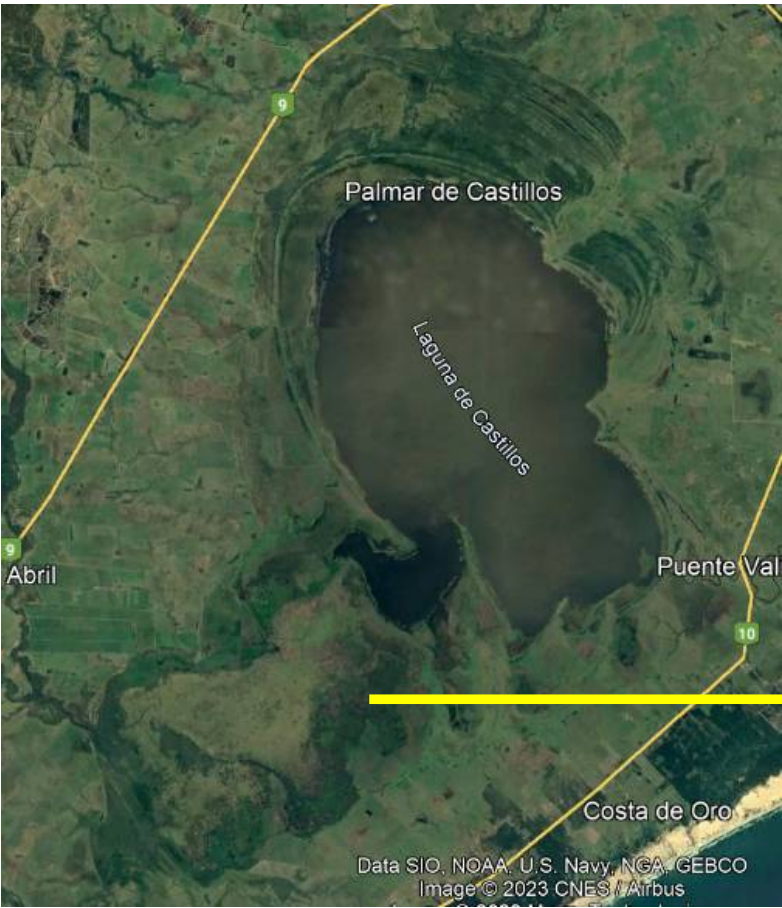
Árboles: zonas bien drenadas
Arbustos: zonas mal drenadas

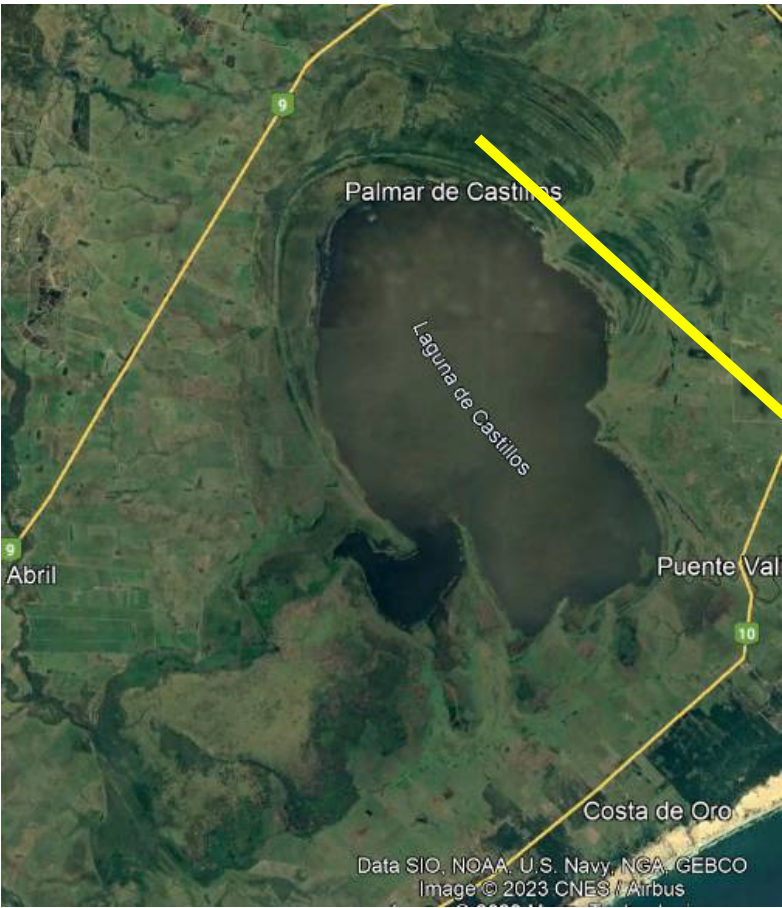


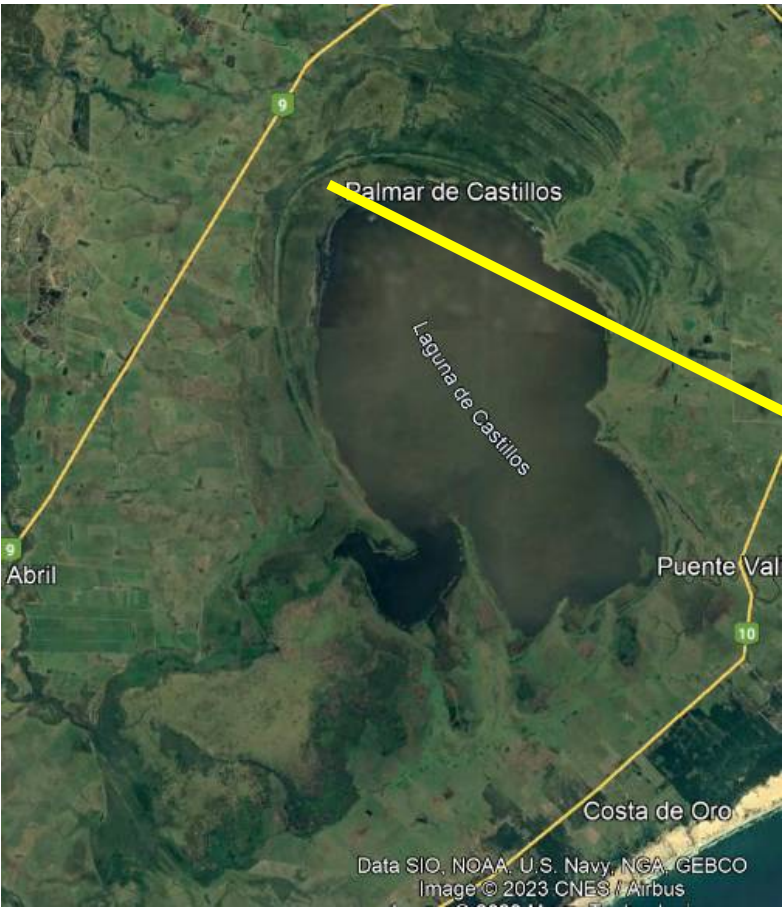
Los distintos tipos de vegetación aprovechan distintas formas geomorfológicas y sus características de velocidad, oxígeno, profundidad, granulometría, sombra, etc.

Puede existir gran superposición espacial de tipos de vegetación y especies que uno esperaría estuvieran más lejos o cerca del agua







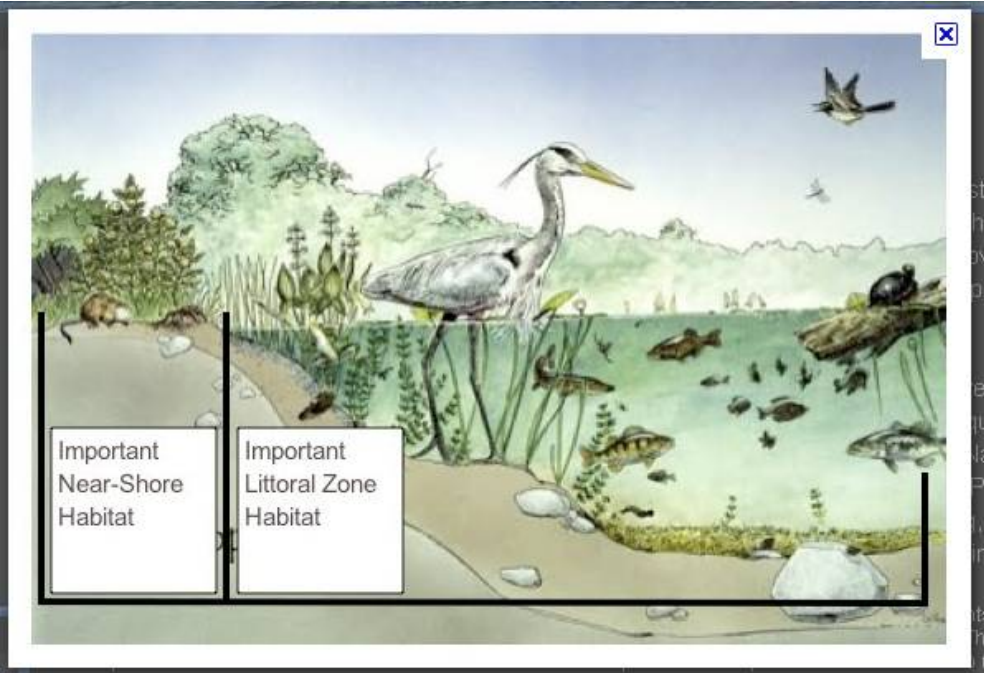


Clase 8. Ecosistemas de transición. Ecología de humedales. Ecología de playas.

Humedales: áreas que están inundadas o saturadas en agua (superficial o subterránea) de forma permanente o temporal, estáticas o corrientes, que son habitadas por plantas con adaptaciones especiales a la vida acuática o de saturación de agua, y pueden ser salinos, salobres o de agua dulce. Incluyen zonas costeras hasta no más de 6 m de profundidad.

Convención Ramsar, US Fish and Wildlife Service, US Army Corps of Engineers

Factor determinante: la hidrología.



Cronk & Fennessy 2001

Clase 8. Ecosistemas de transición. Ecología de humedales. Ecología de playas.

Tres aspectos que determinan el funcionamiento:

1- Hidrología:

Sitios de movimiento bidireccional del agua subterránea. Son zonas de surgencia subterránea, pero también de recarga de acuíferos, dependiendo del nivel del agua.

Controlan las inundaciones porque retienen el agua excedente, disminuyen su velocidad, la evapotranspiran, la infiltran y la sueltan más despacio, previniendo inundaciones más severas aguas abajo.

Protegen las costas de la erosión y entrapan sedimentos reduciendo la colmatación.

2- Ciclos biogeoquímicos:

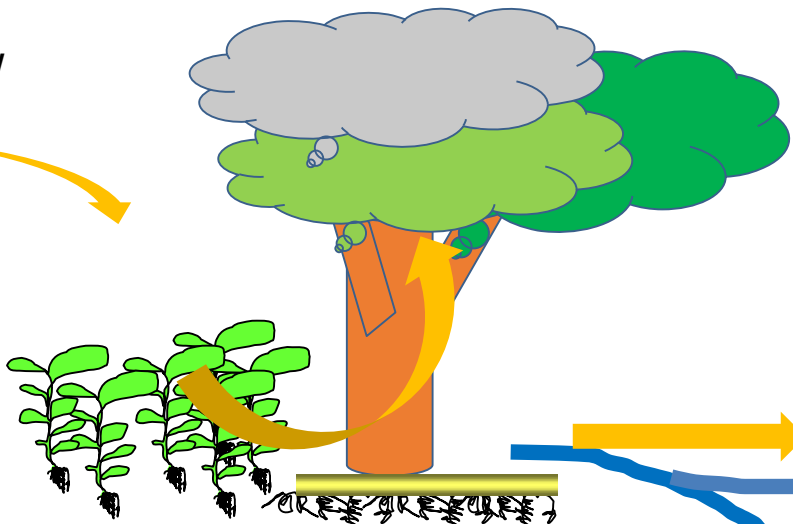
Son sitios de alta intensidad de estos ciclos, tanto del agua, del C, de nutrientes y otros elementos. Alta interacción agua/sedimento, rizósfera, intercambio de gases, anoxia/oxigenación, alta producción primaria y acumulación de biomasa muerta y por tanto degradación. Son grandes digestores, transformadores y filtradores. Alta denitrificación, reguladores climáticos por la producción de metano y acumulan C. Grandes depuradores del agua.

3-Hábitat para peces y aves, altamente biodiversos

Por su alta productividad albergan poblaciones de peces que sustentan pesquerías. La diversidad de flora es muy elevada debido a la heterogeneidad del hábitat y esto promueve alta diversidad de aves y otros vertebrados. Tienen la productividad primaria más elevada.

Brindan SSEE muy relevantes- zonas buffer, protección contra tormentas

Aporte de nitrógeno y fósforo



Producción agropecuaria

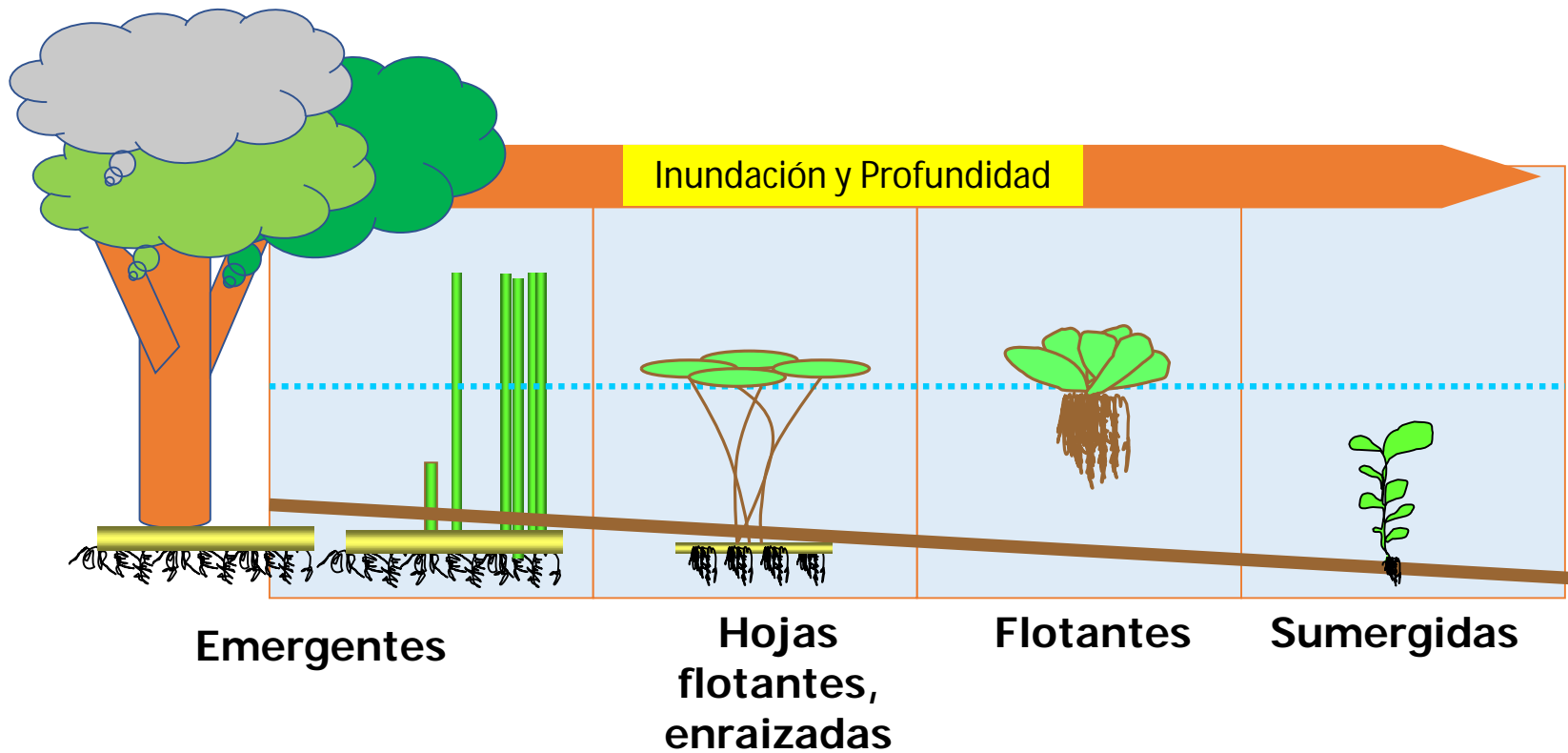
Vegetación riparia

Nitrógeno
Fósforo
Materia orgánica



Hidrófitas o plantas de humedal

Plantas que crecen en el agua o en sustratos saturados de agua durante algún período de tiempo o que presentan déficit de oxígeno en algunos momentos (Cowardin et al 1979, Weaver & Clements 1938)



Clasificación funcional por formas de vida

Emergentes

enraizadas en el suelo, pero con las hojas, tallos y troncos que sobresalen del agua

Gran porte



pequeño porte



arbóreas



Sumergidas

Enraizadas, toda su vida bajo agua



Hojas flotantes

enraizadas, hojas tendidas en superficie del agua



Flotantes libres

flotando en superficie



Anfibias

Enraizadas, hojas sumergidas y emergentes



Para habitar los humedales las plantas deben tener adaptaciones a tolerar las condiciones específicas de esos humedales (aguas lénticas o lólicas, salinidad, etc.)

Alta velocidad del agua →

Falta de oxígeno

Seca y/o inundación

Enterramiento

Tienen ramas muy flexibles
Crecen paralelos a la corriente
Crecen sobre rocas
Rebrotan desde tallos o raíces

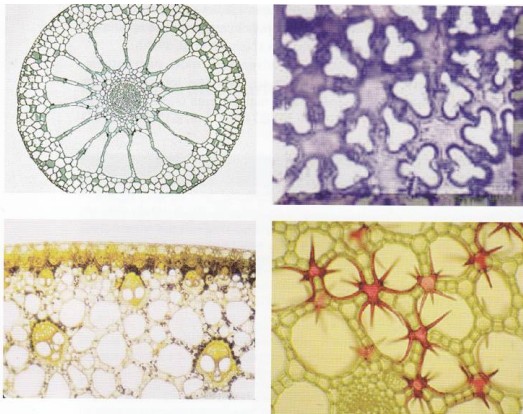


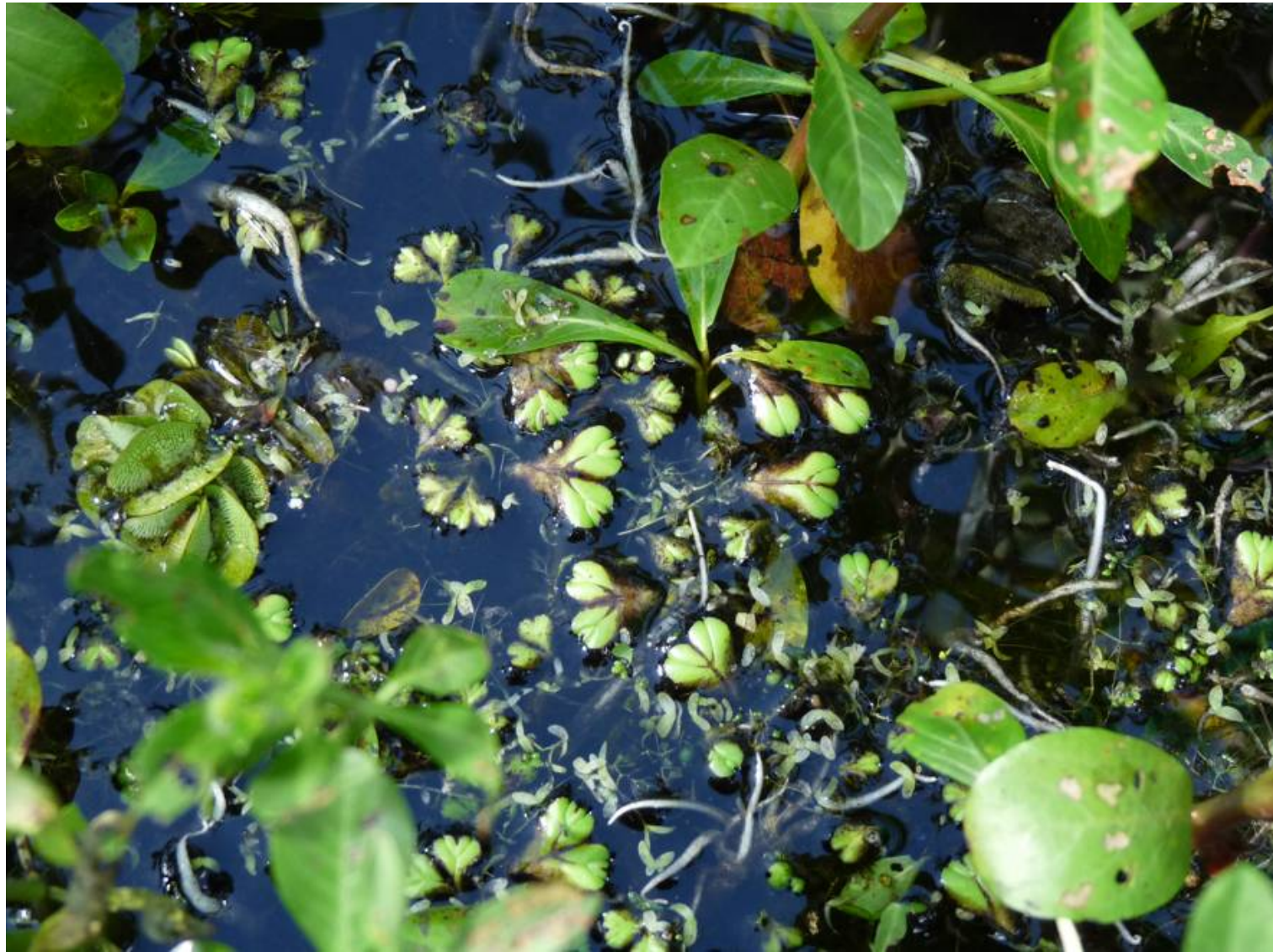
Para habitar los humedales las plantas deben tener adaptaciones a tolerar las condiciones específicas de esos humedales (aguas lénticas o lólicas, salinidad, etc.)

Alta velocidad del agua
Falta de oxígeno
Seca y/o inundación
Enterramiento



Aumentan el aerénquima
Ramificación de raíces en superficie
Neumatóforos o raíces adventicias
Oxigenación de la rizósfera
Proceso enzimático del etileno





Para habitar los humedales las plantas deben tener adaptaciones a tolerar las condiciones específicas de esos humedales (aguas lénticas o lóxicas, salinidad, etc.)

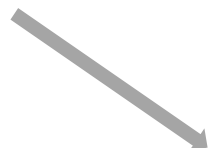
Alta velocidad del agua

Falta de oxígeno

Seca y/o inundación →

Enterramiento y/o arrastre

Sobreviven vegetativamente
Pueden perder las hojas
Rebrotan



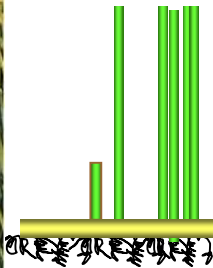
Rápida germinación
Semillas y propágulos de larga vida
Semillas grandes, flotantes



¿Cómo determina la hidrología a las comunidades acuáticas y al funcionamiento ecológico de los sistemas lénticos?

Adaptaciones de los organismos acuáticos

Emergentes



~~Hojas flotantes, enraizadas~~



~~Flotantes~~



~~Sumergidas~~



Sistemas de clasificación de humedales

Se requiere para mapear, inventariar, proteger legalmente y para manejarlos

Hay diferentes sistemas de clasificación, que combinan diferentes características físicas (tipos de suelo), geográficas (ubicación en el paisaje), hidrológicas (velocidad del agua, tiempo de residencia), origen geológico, factores químicos (salinidad), vegetación o que se centran en alguno de estos aspectos.

Cowardin et al. 1979 organiza en grandes clases por su origen: marinos, estuarinos, lacustres, palustres y fluviales y luego los subdivide.

Uruguay no tiene un sistema oficial de clasificación. Sosa et al. 2019 proponen un sistema en base a un acuerdo UdelaR – DINAMA. Se basaron en el sistema de clasificación propuesto por la Convención Ramsar

Sistema de clasificación de humedales en Uruguay – Sosa et al. 2019

Figura. 2. Metodología utilizada para la identificación y tipificación de humedales



Cuadro 2. Tipificación de humedales definidos para Uruguay en concordancia con los criterios Ramsar

| Sistema | Categoría | |
|------------|-----------|---|
| Fluvial | Xf | Humedales boscosos de agua dulce |
| | M | Ríos y arroyos permanentes |
| | L | Deltas interiores |
| Palustre | Ts/Tp | Pantanos, esteros, charcas estacionales o permanentes de agua dulce |
| | Sp/Ss | Pantanos, esteros, charcas permanentes o estacionales salinas, salobres o alcalinos |
| | U | Turberas no arboladas |
| Artificial | 6 | Áreas de almacenamiento de agua (más de 8ha) |
| | 2 | Estanques artificiales (menos de 8ha) |
| | 4 | Modificado |
| Lacustre | J | Lagunas costeras salobres o saladas |
| | O | Lagos permanentes de agua dulce |
| Otros | E | Playas oceánicas |
| | E2 | Playas continentales y del Río de la Plata |
| | Hur | Humedales urbanos |
| | Can | Canteras |

No considera la hidrología, la vegetación y pierde diversidad por una limitante de escala, que no abarca humedales de pequeño tamaño que en algunas zonas alberga biodiversidad endémica y amenazada

La superficie de humedales para el territorio continental del país identificado fue de 2.626.305 ha, lo que representa el 13,6% de la superficie del territorio nacional. En consecuencia, los humedales constituyen el segundo ecosistema más representativo del país (cabe recordar que en esta tipología se incluyen por ejemplo bosques ribereños, cursos de aguas, lagunas, embalses y playas (Tabla 1).

Y pastizales

Tabla 1. Representatividad esperable de los principales ecosistemas del país

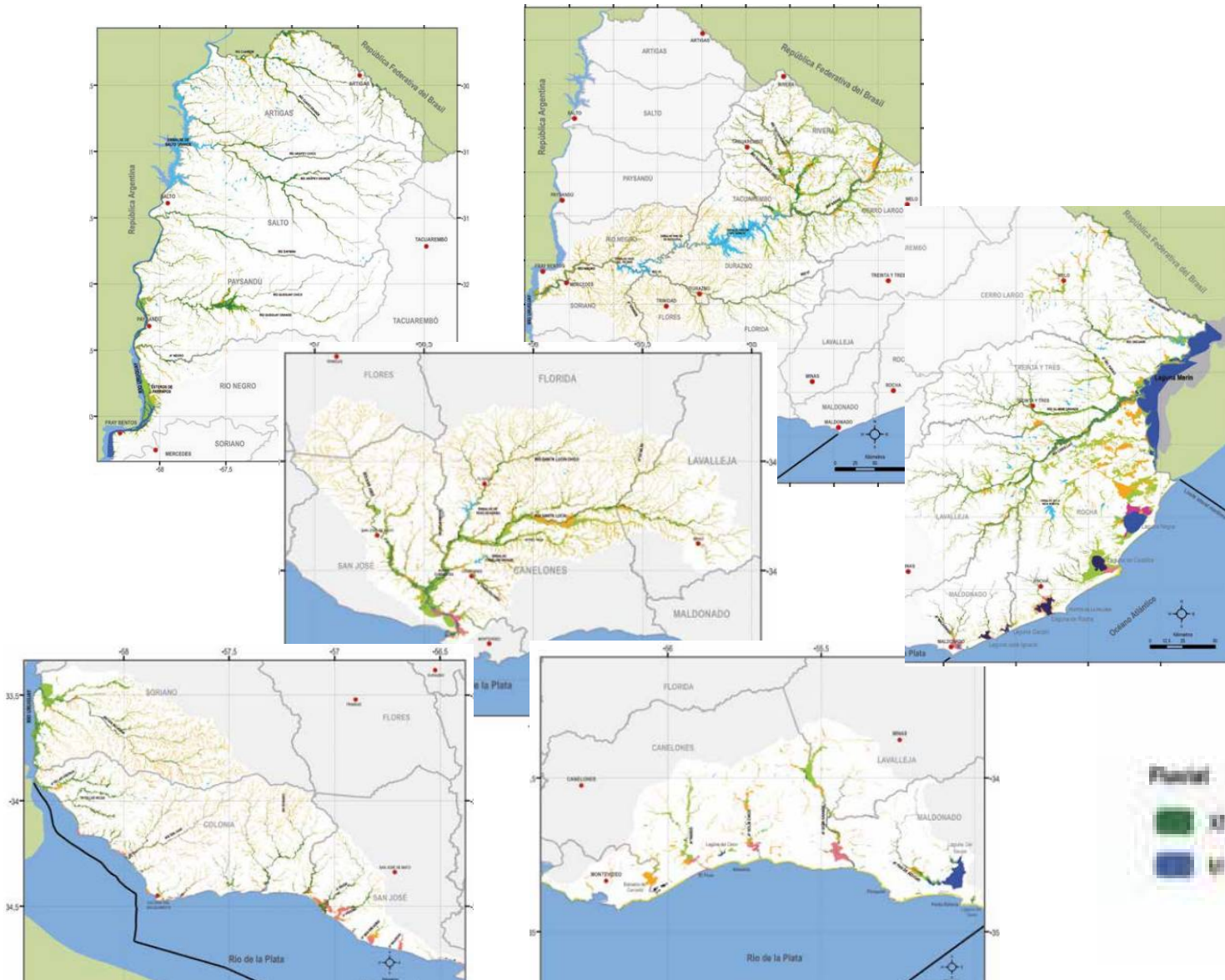
| Ecosistema | Superficie | Porcentaje |
|--------------------|---------------|------------|
| Pastizales | 11.563.259,80 | 59,7 |
| Humedales | 2.626.305,00 | 13,6 |
| Bosque parque | 2.307.648,50 | 11,9 |
| Bosque serrano | 2.037.420,30 | 10,5 |
| Bosque de quebrada | 102.972,90 | 0,5 |
| Bosque psamófilo | 84.173,70 | 0,4 |

Fuente: Panario *et al.* (2015)

La cuenca en la que se registró la mayor superficie de humedales fue la del Río Negro, que comprende casi la mitad de la superficie de humedales del país (Tabla 2); la cuenca de la Laguna Merín y costa atlántica constituye la segunda unidad territorial en relación con la superficie de humedales (Tabla 2), y la del Río de la Plata presentó la menor superficie de humedales, fundamentalmente en su sector este (Tabla 2).

Tabla 2. Superficie de humedales en cada una de las cuencas analizadas

| Humedales por cuenca | Superficie (ha) | Porcentaje de humedales en la cuenca |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Río Negro | 1.220.490 | 46,47 |
| Laguna Merín y costa atlántica | 642.040 | 24,45 |
| Río Uruguay | 412.214 | 15,70 |
| Río Santa Lucía | 196.917 | 7,50 |
| Río de la Plata (sector oeste) | 122.179 | 4,65 |
| Río de la Plata (sector este) | 32.465 | 1,24 |
| Superficie nacional | 2.626.305 | |



Sosa et al. 2019

Paradigma del flujo natural en ríos (Poff 1997): el flujo natural de un río tiene 5 componentes, la variabilidad, magnitud, frecuencia, duración, período, tasa de cambio lo cual sustenta el funcionamiento ecosistémico

Caudales ecológicos: régimen hidrológico y calidad del agua de ecosistemas acuáticos sustentables a largo plazo de la estructura y funcionalidad del ecosistema que sustentan los servicios ecosistémicos en la cuenca

“El punto es si una sociedad cualquiera puede permitirse el lujo de no establecer caudales ambientales y por cuánto tiempo” (UICN 2003)

Originalmente la preocupación fue *“cuanta agua podemos sacar de un río”*, luego se ocupó de no afectar ciertas especies de peces

Hoy considera la calidad del agua

- la planicie de inundación

- la biodiversidad

- el funcionamiento ecosistémico

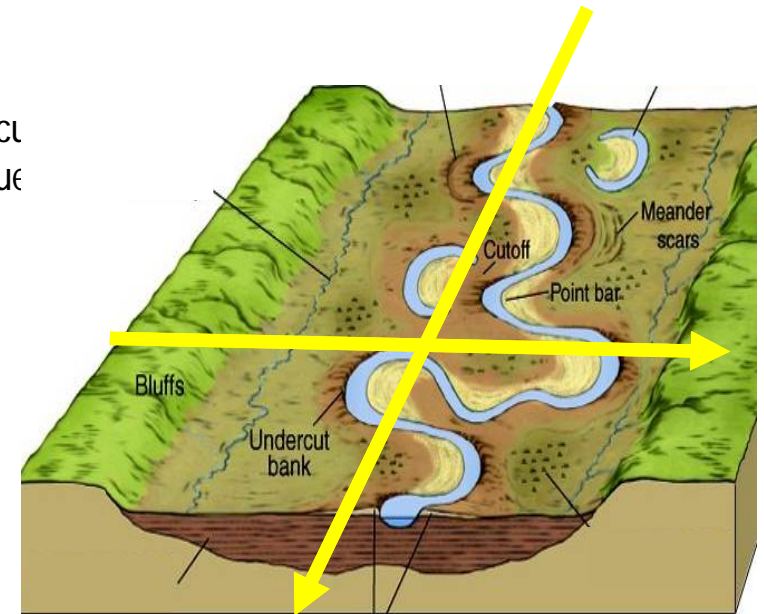
- el régimen hidrológico completo

- las necesidades sociales

- los usos de consumo de agua potable

- los usos productivos y energéticos

- se aplica a otros ecosistemas como estuarios, humedales, lagos, etc.

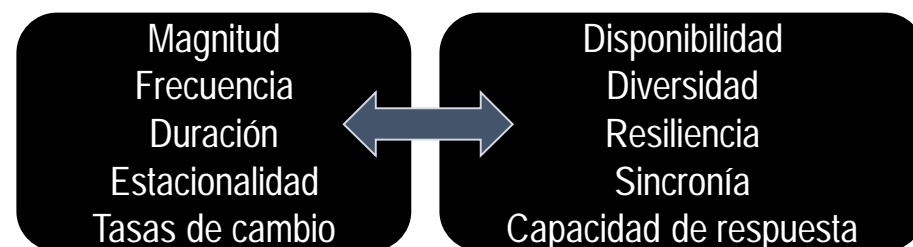


Sabaj et al. 2016, caudales ambientales para Uruguay

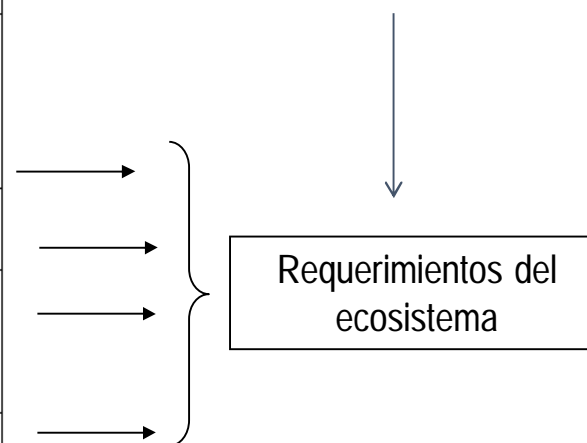
Métodos Hidrológicos para definir caudales ambientales

3. Un régimen completo de caudales ecológicos (Richter 1996)

Cinco componentes del régimen de caudales – son determinantes de la biodiversidad e integridad ecológica de los ecosistemas fluviales



| | |
|---|---|
| Grupo 1: Magnitud de los caudales mensuales | Caudal medio diario de cada mes del año |
| Grupo 2: Magnitud y duración de los caudales extremos anuales | Mínimo y máximo anual del caudal medio de 1 día Mínimo y máximo anual del caudal medio de 3 días Mínimo y máximo anual del caudal medio de 7 días Mínimo y máximo anual del caudal medio de 30 días Mínimo y máximo anual del caudal medio de 90 días |
| Grupo 3: Momento de ocurrencia de los caudales extremos anuales | Fecha del máximo caudal de cada año Fecha del mínimo caudal de cada año |
| Grupo 4: Frecuencia y duración de los pulsos de caudales altos y bajos | Número de pulsos altos de cada año Número de pulsos bajos de cada año Duración media de los pulsos altos de cada año Duración media de los pulsos bajos de cada año |
| Grupo 5: Tasa y frecuencia de los cambios de caudal | Promedio de las tasas de cambio de caudal ascendentes de días consecutivos de cada año Promedio de las tasas de cambio de caudal descendentes de días consecutivos de cada año Cantidad de tasas de cambio positivas de cada año Cantidad de tasas de cambio negativas de cada año |



Sabaj et al. 2016, caudales ambientales para Uruguay

Algunos conceptos y modelos de funcionamiento de humedales

La sucesión ecológica, reemplazo de especies y respuesta disturbios

En humedales, al menos en muchos, los disturbios son la norma y la sucesión ecológica es permanentemente reiniciada

En la concepción de que los ecosistemas maduran y llegan a un estado clímax, los humedales no encajan, porque su estado de maduración está determinado por pulsos permanente de disturbio (régimen hidrológico) y tienen características de sistemas maduros y en desarrollo.

El régimen de disturbios mantiene al sistema en un estado estable a largo plazo

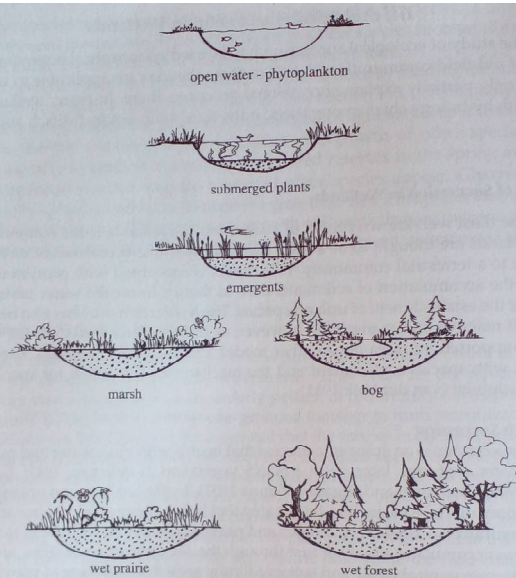


FIGURE 7.1
A classical view of hydrarch succession in which a lake slowly fills with detritus from the decomposition of algae, then from decomposed submerged plants, and later decomposed emergent plants and moss. The community eventually becomes drier. In theory, an upland forest is the climax state. However, this set of events rarely occurs in nature, and if filling does occur, the most likely ultimate stage is a wet prairie or wet forest rather than an upland community. (From Weller, M.W. 1994. *Freshwater Marshes Ecology and Wildlife Management*, p. 154. Minneapolis. University of Minnesota Press. Redrawn with permission by B. Zalotkar.)

Modelo tradicional: los lagos y humedales tienden a desaparecer porque se van colmatando, hasta convertirse en un sistema terrestre maduro

Cronk & Fennessy 2001

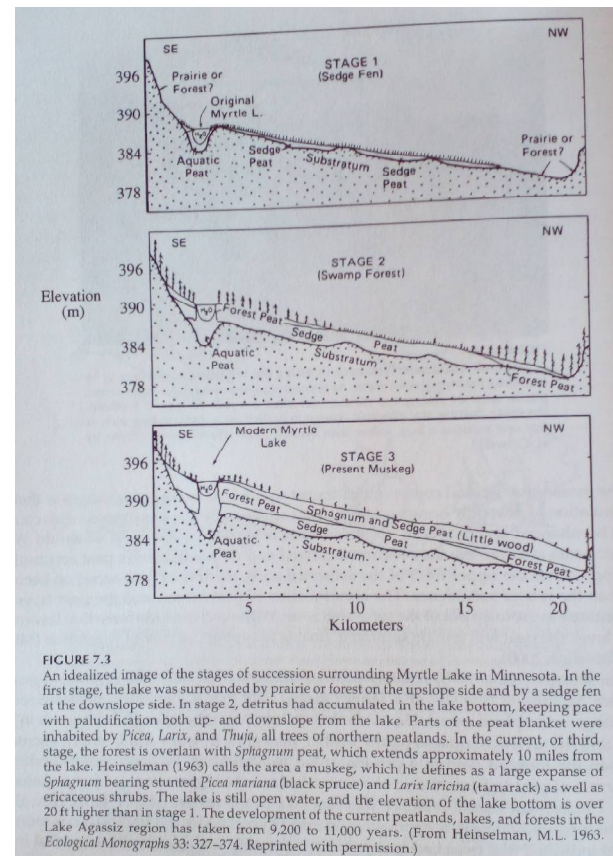


FIGURE 7.3
An idealized image of the stages of succession surrounding Myrtle Lake in Minnesota. In the first stage, the lake was surrounded by prairie or forest on the upslope side and by a sedge fen at the downslope side. In stage 2, detritus had accumulated in the lake bottom, keeping pace with paludification both up- and downslope from the lake. Parts of the peat blanket were inhabited by *Picea*, *Larix*, and *Thuja*, all trees of northern peatlands. In the current, or third, stage, the forest is overlain with *Sphagnum* peat, which extends approximately 10 miles from the lake. Heinselman (1963) calls the area a muskeg, which he defines as a large expanse of *Sphagnum* bearing stunted *Picea mariana* (black spruce) and *Larix laricina* (tamarack) as well as ericaceous shrubs. The lake is still open water, and the elevation of the lake bottom is over 20 ft higher than in stage 1. The development of the current peatlands, lakes, and forests in the Lake Agassiz region has taken from 9,200 to 11,000 years. (From Heinselman, M.L. 1963. *Ecological Monographs* 33: 327-374. Reprinted with permission.)

Modelo actual: los lagos y humedales seguirán siendo lagos y humedales mientras exista el factor que los origina que es el régimen hidrológico

El sistema cambia y se adapta pero mantiene su funcionamiento mientras no cambie el régimen hidrológico (caudal, estacionalidad, etc.)

Hay humedales que tienen miles de años y han migrado en el espacio, cambiaron sus especies, pero siguen siendo humedales

Algunos conceptos y modelos de funcionamiento de humedales

El modelo del tamiz

La presencia o ausencia de agua o suelo saturado es un filtro de la vegetación en el humedal. El grado de inundación determina cuáles especies pueden establecerse en un momento dado. En cada momento del régimen de inundación se determina cuáles especies se extirpan y cuáles se establecen, y luego cambia el nivel de inundación y cambian de nuevo estas condiciones para las especies.

Las especies que puedan establecerse serán las que tengan atributos de su historia de vida que les permita adaptarse a algunas de esas condiciones: poder crecer de un **banco de semillas**, tener capacidad de dispersarse o resistir, competir bien, etc.

Los disturbios que alteren esta dinámica determinan la velocidad de recuperación del humedal, por ejemplo si se remueve sedimento y se pierde el banco de semillas, o si el entorno fue totalmente modificado y no hay capacidad de dispersión

