Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

El pH tiene una **influencia crítica sobre el equilibrio ecológico** de cualquier ecosistema, especialmente en **suelos y cuerpos de agua, afecta** la **biodisponibilidad de nutrientes**, la **actividad biológica**, y la **estructura de las comunidades biológicas**.

1. Efecto del pH en el suelo

a) Disponibilidad de nutrientes

- **A pH muy ácido (< 5.5),** nutrientes como **P, Ca, Mg, Mo** disminuyen su disponibilidad, ya que aumenta la solubilidad de **aluminio (Al^{3+})** y **hierro (Fe^{3+})**, que compiten o reaccionan con los nutrientes:
  - **Fijación del fósforo (P) por Al^{3+} y Fe^{3+} → Formación de fosfatos insolubles**

    En suelos ácidos, el fósforo (disponible como $H2PO4^-$ $HPO4^{-2}$) reacciona con cationes metálicos como el **aluminio** o el **hierro**, formando **fosfatos insolubles**:

    $Al3+ + H2PO4^- \rightarrow AlPO4\downarrow + H^+$ o $Fe^{3+} + H2PO4^- \rightarrow FePO4\downarrow + H$

    El fósforo queda **precipitado como fosfato de Al o Fe**, no asimilable por las plantas.

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

- **Desplazamiento y lixiviación de Ca^{2+} y Mg^{2+}**

  En suelos muy ácidos, hay exceso de **H^+** y **Al^{3+}** en la solución del suelo, que **desplazan** a los cationes **Ca^{2+}** y **Mg^{2+}** de los sitios de intercambio catiónico, provocando **lixiviación**:

  Ca^{2+}–coloide $+2H^+ \rightarrow H^+$–coloide + Ca^{2+} (liberado y arrastrado por el agua)

  Cationes como Ca y Mg son liberados, pero fácilmente **lavados por el agua**, lo que **reduce su concentración en el suelo.**

- Cuando el **pH del suelo o del agua es alcalino (> 8),** **micronutrientes esenciales como el hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn)** tienden a **precipitarse** en formas **insolubles**, como **hidróxidos y carbonatos** volviéndose **no disponibles para las plantas**.

$$Mn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Mn(OH)2\downarrow$$

Estos compuestos **precipitan en el suelo o solución acuosa**, reduciendo la concentración de iones libres disponibles para las raíces de las plantas.

$$Zn^{2+} + CO3^{2-} \rightarrow ZnCO3\downarrow$$

b) Toxicidad de metales

- En **medios ácidos** (pH < 5.5), muchos metales como **Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd y Pb** se **solubilizan** más fácilmente y se liberan:

$$Al(OH)3 + 3H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3H2O$$

Esto afecta directamente las raíces de las plantas.

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

- En **medios neutros o alcalinos**, estos metales suelen formar **hidróxidos y carbonatos insolubles**, y por tanto, **menos disponibles biológicamente**.

$$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3\downarrow$$

c) Fertilidad y estructura del suelo

Suelos **ácidos** tienden a **perder su capacidad de** intercambio catiónico **(CIC)**, de **cationes (nutrientes con carga positiva)** como: **Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, NH_4^+, Na^+.** Estos cationes están **adheridos a las partículas del suelo** (arcillas y materia orgánica), lo que impide que se pierdan por lixiviación. Luego, las raíces los absorben desde esa reserva.

- **En suelos muy ácidos pH < 5.5. Aumenta la concentración de H^+ (protones)** y de metales tóxicos como **Al^{3+},** Estos **desplazan** a los nutrientes de las partículas del suelo y **ocupan sus lugares de retención**, los nutrientes esenciales **se liberan al agua del suelo y se lixivian** (arrastran hacia capas profundas). **Ejemplo químico simplificado:**
  - **Arcilla-K^+ + H^+ → Arcilla-H^+ + K^+ (libre en solución)**

Este K^+ queda libre, pero si no es absorbido rápidamente por las raíces, **se pierde por el agua de infiltración**.

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

2. Efecto del pH en el agua.-

El pH regula la química del agua dulce y salobre**, afectando:**

a) Equilibrio del amoníaco (NH_3/NH_4^+).- El pH determina la forma predominante del nitrógeno:

- **En medio alcalino (pH > 8.5)**: aumenta el **amoniaco libre (NH_3)**, tóxico para peces.

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O.$$

- **En medio ácido (pH bajo):** Aquí el H^+ disponible **captura el NH_3** y lo convierte en amonio, **forma menos tóxica**, pero se inhibe la **nitrificación.**

$$NH3\ (g) + H+\ (ac) \rightarrow NH4+\ (ac)$$

b) Solubilidad del dióxido de carbono y del carbonato

En aguas y procesos naturales del CO2:

El **CO_2 atmosférico** entra en contacto con el agua (de ríos, lagos, océanos o lluvia) y se **disuelve** para formar **ácido carbónico (H_2CO_3)**, un ácido débil, (reacción reversible)

$$CO2 + H2O \rightleftharpoons H2CO3$$

Este ácido carbónico, al ser débil, **se disocia parcialmente** en dos pasos:

1ra. Disoc. $H2CO3 \rightleftharpoons HCO3^- + H^+$ 2da. Disoc: $HCO3^- \rightleftharpoons CO3^{2-} + H^+$

Resumen del sistema equilibrado completo:

$$CO2 + H2O \rightleftharpoons H2CO3 \rightleftharpoons HCO3^- + H^+ \rightleftharpoons CO3^{2-} + 2H^+$$

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

Aquí tenemos un sistema ***buffer o tampón*** **natural que** es un conjunto de reacciones que **resiste cambios bruscos de pH**. Buffer: Ácido: H_2CO_3 (cede H^+) Base conjugada: HCO_3^-, ayudando a **mantener el pH del agua entre 6.5 y 8.5**, ideal para la vida acuática.

- **Si se añade ácido (H^+)** al agua, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda (más H_2CO_3 y CO_2), **neutralizando el exceso de protones**.

$$H^+ + HCO3^- \rightarrow H2CO3$$

El exceso de ácido es neutralizado → el pH **no baja bruscamente**

- **Si se añade una base (OH^-),** el H^+ reacciona con OH^- formando H_2O, y el equilibrio se desplaza hacia la derecha, **generando más H^+ para compensar**.

$$OH^- + H^+ \rightarrow H2O$$

Para **reponer los H^+ perdidos**, el bicarbonato se disocia:

$$HCO3^- \rightarrow H+ + CO3^{2-}$$

Se genera H^+ para compensar → el pH **no sube bruscamente**

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

Qué ocurre con el exceso de CO2 (efecto invernadero)

El equilibrio se desplaza hacia más H^+:

$$CO2(g) + H2O \rightleftharpoons H2CO3$$

Más CO_2 disuelto = más ácido carbónico (H_2CO_3)

Disociación del ácido carbónico:

$$H2CO3 \rightleftharpoons H^+ + HCO3^-$$

Se **liberan protones (H^+) → el pH disminuye → el agua se acidifica**

Disociación adicional del bicarbonato:

$$HCO^{3-} \rightleftharpoons H^+ + CO3^{2-}$$

Pero al aumentar el H^+, este equilibrio se **desplaza hacia la izquierda**, es decir, **disminuye la concentración de carbonato (CO_3^{2-})** (principio de LechaTelier); afectando a organismos que dependen de él para formar estructuras calcáreas (corales, bivalvos, etc.).

$$\uparrow CO2 \Rightarrow \uparrow H2CO3 \Rightarrow \uparrow H^+ \Rightarrow \downarrow pH \text{ (más ácido)} \Rightarrow \downarrow CO3^{2-}$$

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

3. Efectos del pH sobre la actividad microbiana y descomposición

La **actividad microbiana** se refiere al funcionamiento de microorganismos del suelo y del agua (bacterias, hongos, actinomicetos, arqueas) que:

Descomponen la materia orgánica (hojarasca, raíces muertas, restos animales)

Reciclan nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre y carbono

Participan en procesos esenciales como:

- **Mineralización** (materia orgánica → compuestos inorgánicos)
- **Nitrificación y desnitrificación**
- **Fijación de nitrógeno**
- **Humificación** (formación de humus)

Los microorganismos del suelo y del agua tienen un **rango óptimo de pH** (generalmente entre **6 y 8**).

Cambios fuera de ese rango:

Reducen la actividad enzimática

Disminuyen la descomposición de materia orgánica

Alteran los ciclos del nitrógeno y del carbono

Influencia del pH en el equilibrio de los ecosistemas.

4. En la Biodiversidad y resiliencia

- Cada especie tiene un **rango óptimo de pH** para sobrevivir y reproducirse.
- Cambios extremos o sostenidos en el pH pueden:
  - Eliminar especies sensibles (por toxicidad o falta de nutrientes)
  - Favorecer especies resistentes → **pérdida de biodiversidad**
  - Afectar la **resiliencia del ecosistema**

Entonces, ¿cuál es el pH ecológicamente ideal?

El pH ecológicamente ideal es típicamente entre 6.5 y 8.0, dependiendo del ecosistema, porque en ese rango:

- Hay **equilibrio en los ciclos biogeoquímicos** (N, P, C).
- La mayoría de las **plantas y organismos acuáticos prosperan**.
- El **sistema buffer natural (CO_2–HCO_3^-–CO_3^{2-})** funciona eficazmente

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

Las **temperaturas extremas actúan como perturbaciones intensas** que pueden **romper el equilibrio ecológico rápidamente**, alterando poblaciones, ciclos biogeoquímicos y hábitats.

1. **Actividad metabólica de los organismos. -** es el conjunto de **reacciones químicas** que ocurren dentro de los seres vivos para:
   - Obtener energía (respiración celular)
   - Sintetizar proteínas, ADN, hormonas, etc.
   - Reparar tejidos
   - Reproducirse
   - Moverse o crecer

Estas reacciones son realizadas por **enzimas**, que son proteínas sensibles a la temperatura.

En general:

Temperatura óptima → alta eficiencia metabólica

Temperatura baja → metabolismo lento (letargo o inactividad)
Temperatura alta → riesgo de desnaturalización (pierden su forma) de proteínas y estrés térmico.

Ejemplo: ranas o reptiles se vuelven inactivos en invierno (ectotermos).

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

2. Tasa de descomposición de materia orgánica.- La **materia orgánica** está formada por restos de:

- Hojas, raíces, ramas (plantas)
- Cadáveres, excrementos (animales)

La **descomposición** es el proceso por el cual esta materia se **descompone en compuestos más simples**, liberando nutrientes como **nitrógeno (N), fósforo (P), carbono (C)**, etc. Por **Microorganismos**: (bacterias, hongos, actinomicetos), e **Invertebrados**: (lombrices, insectos, ácaros) (fragmentadores)

Tasa de descomposición. **- Es la velocidad con que se descompone la materia orgánica. Se mide en:**

- **Gramos de materia orgánica descompuesta por día o por año**
- **Liberación de CO_2 o nutrientes al medio**

Una **tasa alta** significa que los nutrientes **se reciclan rápidamente**.Una **tasa baja** implica **acumulación de residuos** y **poca fertilidad**.

– **Temperatura moderada a cálida (~20–35 °C):**

- Aumenta la actividad microbiana y enzimática
- Se acelera la descomposición
- Se liberan más nutrientes → favorece el crecimiento vegetal

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

- **Temperatura baja (< 10 °C):**
  - Metabolismo microbiano disminuye
  - Las enzimas funcionan lento
  - **Se acumula la materia orgánica**

Ejemplo: en los bosques fríos o suelos de tundra, las hojas se acumulan año tras año.

- **Temperatura muy alta (> 40 °C):**
  - Puede dañar o matar a los microorganismos
  - Se seca el suelo (evotranspiración) → hay menos agua para las reacciones
  - La descomposición **se reduce** por falta de humedad o calor excesivo

3. En el ciclo del oxígeno acuático

a) **El oxígeno es menos soluble en agua caliente. - La capacidad del agua para** disolver oxígeno (O_2) disminuye conforme sube la temperatura**, ocasionando que Las** moléculas de agua se agitan más **(mayor energía cinética), esto** rompe los enlaces débiles **que retienen los gases disueltos.**

Ejemplo: A 0 °C, el agua puede contener hasta **14.6 mg/L** de oxígeno. A 30 °C, sólo **7.6 mg/L** (casi la mitad)

Esto significa que en aguas cálidas **hay menos oxígeno disponible para los organismos.**

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

a) Aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La **DBO** es una **medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos aerobios necesitan** para:

Descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua,

Durante un tiempo determinado (normalmente **5 días** a **20 °C**).

Es un indicador de contaminación orgánica:

- **Alta DBO** = mucha materia orgánica en descomposición = **más oxígeno consumido** = riesgo de hipoxia.
- **Baja DBO** = agua limpia con poca materia orgánica = menor consumo de oxígeno.

¿Cómo influye la temperatura en la DBO?

A mayor temperatura:

I) Aumenta la actividad de los microorganismos aerobios

- Las bacterias y hongos que descomponen la materia orgánica **respiran más rápido**.
- Su metabolismo se acelera porque las **enzimas** que usan funcionan más eficientemente con calor (hasta un punto óptimo).

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

II) Se incrementa la tasa de descomposición

- La **materia orgánica (hojas, excrementos, restos animales)** se degrada más rápidamente.

III) Se consume más oxígeno

- Esta descomposición activa **consume grandes cantidades de O_2 disuelto** en el agua.
- Pero, al mismo tiempo, **el oxígeno es menos soluble en agua caliente**.

"A temperaturas altas, hay **más consumo de oxígeno (↑ DBO)** y **menos oxígeno disponible (↓ OD)** → se genera un **desequilibrio** en el ecosistema acuático."

- **La DBO representa la "presión" de oxígeno que ejercen los descomponedores del ecosistema**.
- Cuando **la temperatura sube**, esta presión **aumenta rápidamente**, y si el oxígeno no se repone (por difusión o fotosíntesis), se pone en **riesgo el equilibrio ecológico** del cuerpo de agua.

4. Influencia de la temperatura y distribución / supervivencia de especies

4.1 Migraciones o extinciones locales

Cuando la temperatura sube o baja fuera del rango tolerado, las especies tienen dos opciones:

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

a) Migrar (si es posible)

- Buscan **nuevas áreas** con condiciones climáticas adecuadas.

Ejemplo: **peces marinos** o **aves migratorias** que se desplazan hacia zonas más frías.

b**) Desaparecer localmente**

- Si no pueden moverse (especies sedentarias, endémicas o de alta montaña), pueden sufrir una **extinción local**.

Ejemplo*:* anfibios de montaña que desaparecen cuando las temperaturas superan su umbral fisiológico.

4.2 Alteración de la fenología.- La **fenología** es el estudio de los **ciclos biológicos estacionales**, como:

- Floración de las plantas
- Migración de aves
- Reproducción de anfibios

Cuando la temperatura se adelanta o retrasa respecto a lo esperado:

- Las plantas pueden **florecer antes**, pero los polinizadores aún no han llegado.
- Algunos animales pueden **nacer fuera de temporada**, sin suficiente alimento.
- Se rompe la sincronía ecológica entre especies **interdependientes**.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

Ejemplo: Desfase entre floración de manzanos y aparición de abejas

Contexto:

- En ecosistemas templados, los **manzanos (Malus domestica)** florecen en primavera.
- Su polinización depende principalmente de **abejas silvestres** (como *Osmia cornuta* o *Apis mellifera*).
- Ambos eventos (floración y actividad de abejas) están **sincronizados** por las temperaturas del final del invierno.

¿Qué ocurre con el cambio climático?

- Debido a **invierno más cálido**, los **manzanos florecen antes** de lo habitual (marzo en lugar de abril).
- Las **abejas silvestres aún no han emergido** de su hibernación porque su desarrollo está regulado por la duración del frío.

4.3 Invasión de especies exóticas

Cuando la temperatura cambia (a valores más cálidos), algunas **especies no nativas (exóticas)**:

- Encuentran **nuevas áreas favorables** donde antes no sobrevivían.
- Se establecen y se **multiplican rápidamente**, al no tener depredadores naturales.
- **Compiten** con especies nativas por recursos (agua, luz, espacio) → las desplazan.

Ejemplo 1: **Tilapia** en lagos tropicales o templados → desplaza peces nativos.

Ejemplo 2 Plantas invasoras: Lechuga de agua, **ecosistemas afectados**: Lagos tropicales, estuarios**. Impactos ecológicos**: Interfiere con fotosíntesis acuática, impide el paso de fauna.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

Cambio climático → aumento de temperatura promedio

- Esto modifica la distribución térmica de los ecosistemas
- Las especies sensibles se retiran o mueren
- Especies más resistentes (o exóticas) ocupan esos nichos

Resultado: **pérdida de biodiversidad**, **homogeneización biológica** y **desequilibrio ecológico.**

Es grave por que afecta a:

- Las **relaciones tróficas** (quién se come a quién)
- El **ciclo de nutrientes** (quién los produce o descompone)
- El **servicio ecosistémico** (polinización, pesca, control biológico)
- La **resiliencia del ecosistema** frente a futuras perturbaciones

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

4.4 Efectos de la temperatura en interacciones ecológicas

La **temperatura regula el ritmo de vida de los organismos**: su desarrollo, reproducción, migración, metabolismo, y aparición estacional (fenología). Cuando cambia, **se puede perder la sincronía entre especies que dependen unas de otras**, alterando **relaciones claves** como:

- Depredador–presa
- Planta–polinizador
- Planta–dispersor de semillas
- Hongo–planta (micorrizas)
- Coral–alga simbiótica

5. Eventos extremos y perturbaciones

Cuando la temperatura supera los rangos normales o naturales **de un ecosistema durante** períodos prolongados o de forma abrupta**, puede desencadenar** eventos extremos **que funcionan como** perturbaciones agudas**. Estas alteran la estructura y funcionamiento del ecosistema.**

Olas de calor, incendios forestales, derretimiento de glaciares o **blanqueamiento de corales** son efectos de temperaturas extremas. Estos eventos alteran **rápidamente** el equilibrio ecológico, muchas veces de forma irreversible.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL EQUILIBRIO DE LOS ECOSISTEMAS.

6.1 Derretimiento de glaciares y nieve perpetua

- El aumento de la temperatura global hace que los glaciares pierden masa.

Efectos ecológicos:

- **Reducción de disponibilidad de agua dulce** para ríos, lagunas y acuíferos.
- **Alteración de flujos hidrológicos** → menor caudal, cambios en la estacionalidad. El deshielo de glaciares aumenta el caudal temporalmente, pero a largo plazo, al reducirse el volumen glaciar, se pierde una fuente de agua constante. Esto altera los **flujos hidrológicos naturales**, afecta la **estacionalidad** y genera **escasez en épocas críticas**, afectando tanto al equilibrio ecológico como al humano.
- **Pérdida de ecosistemas frágiles** de alta montaña y especies endémicas adaptadas al frío.
- **Ejemplo:** Ecosistemas glaciales de los Andes, Himalaya o Alpes pierden especies como líquenes, musgos, aves o insectos de altura.