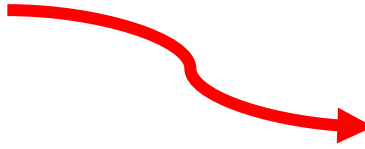


21.

BALANCE HÍDRICO E INTERCAMBIO DE GASES

En cualquier animal vivo

✓ Ocurrencia de reacciones celulares

 **Requieren de un medio acuoso (H_2O)**

 **+ O_2**

**Conversión en energía
el alimento ingerido**

 **Metabolismo**

**Reacciones químicas potencian químicamente la
digestión, absorción, remoción de desechos,
reparación y división celular y otras funciones**

Anfibios y reptiles:
necesario para sobrevivir

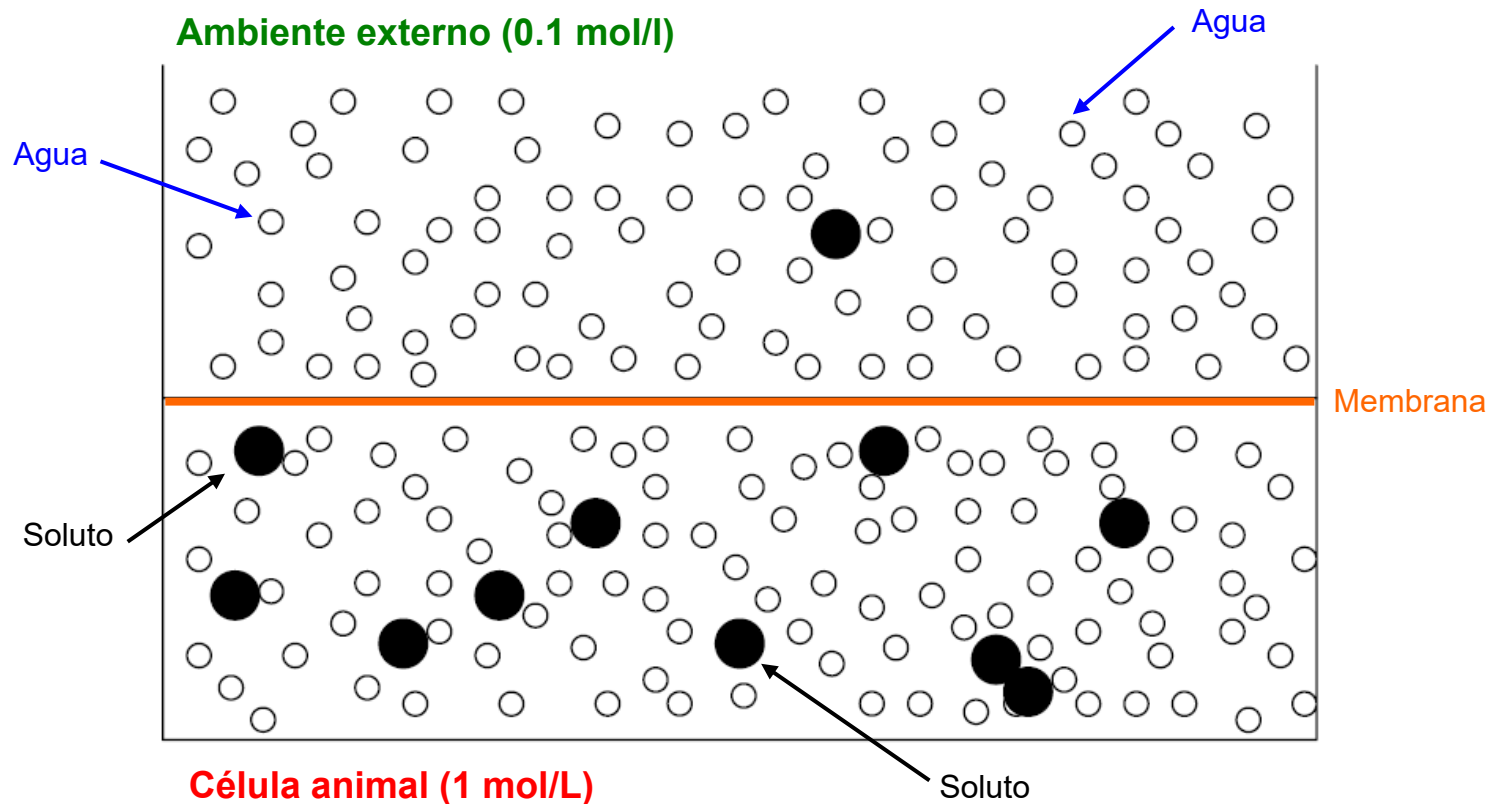


**Vital mantener los fluidos corporales en
equilibrio para la adecuada función celular**

Concentración de fluidos corporales en vertebrados

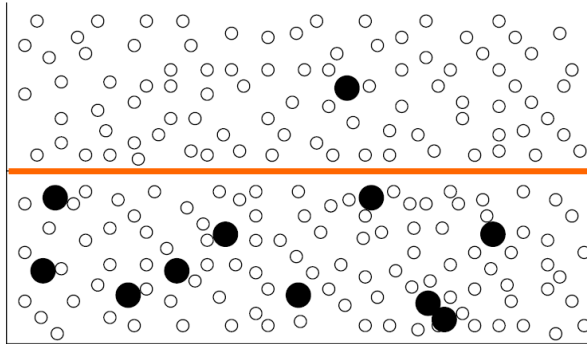
Excepto Myxinoidea (peces bruja), condriactios, *Latimeria*, y algunos anuros...

- Concentración de fluidos corporales difiere de la concentración en el medio externo



Tiempo 0

Ambiente externo (0.1 mol/l)

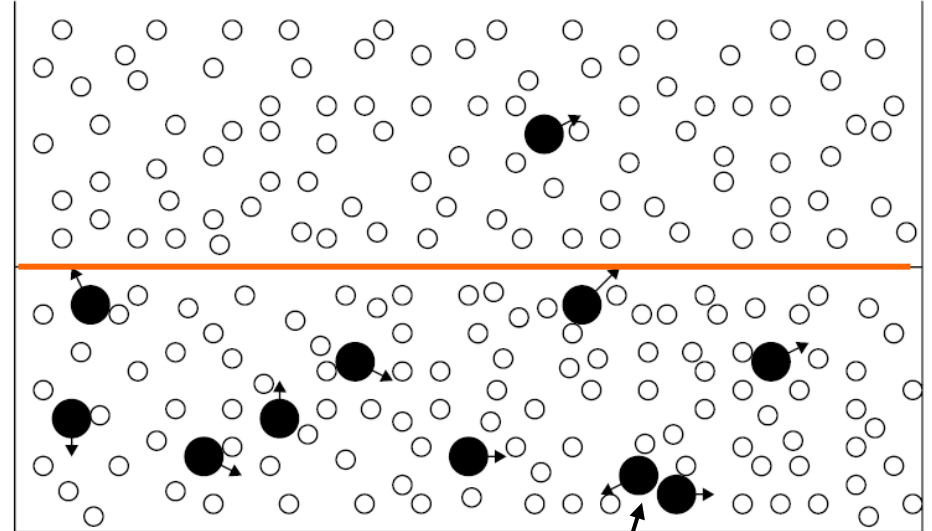


Célula animal (1 mol/L)

Membrana permeable

Tiempo 1

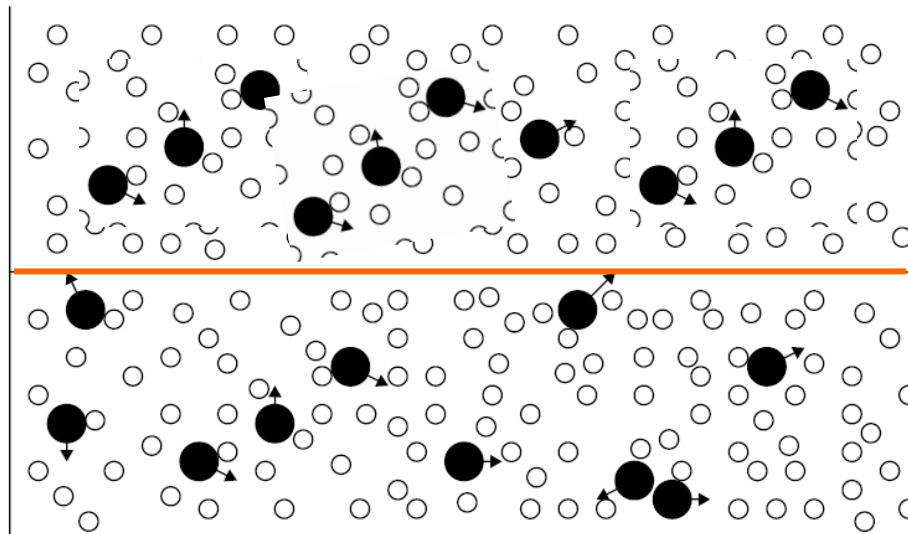
Ambiente externo (0.1 mol/l)

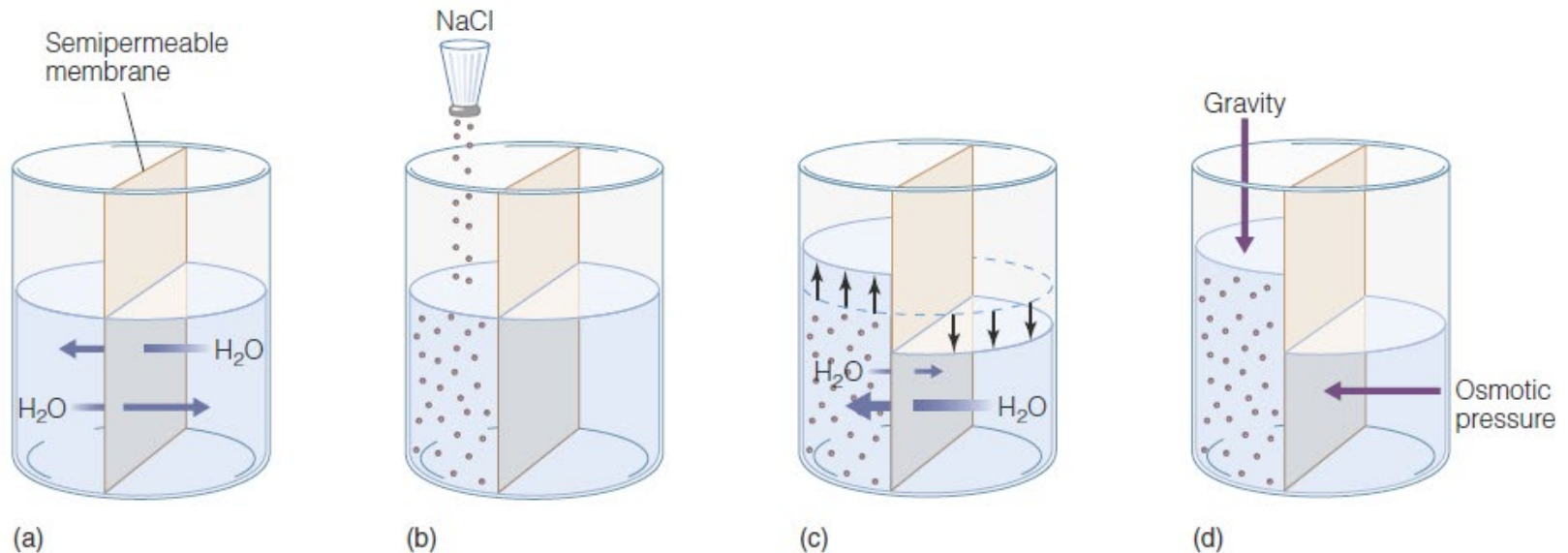
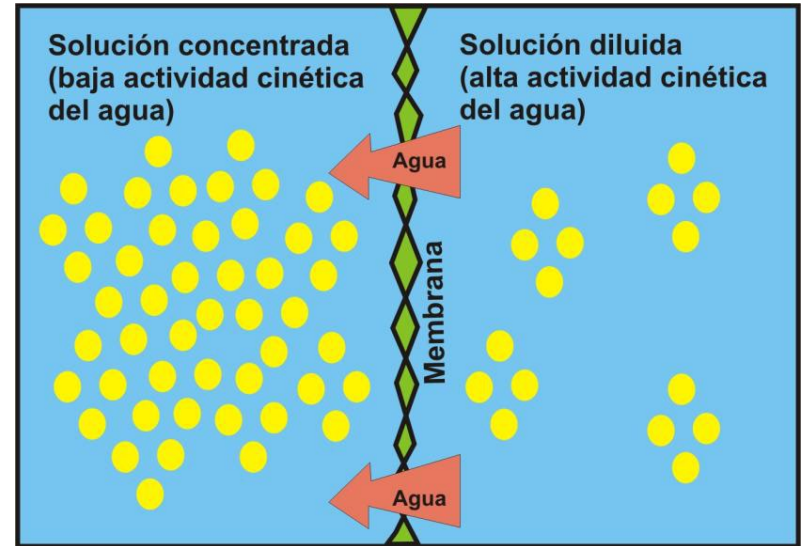
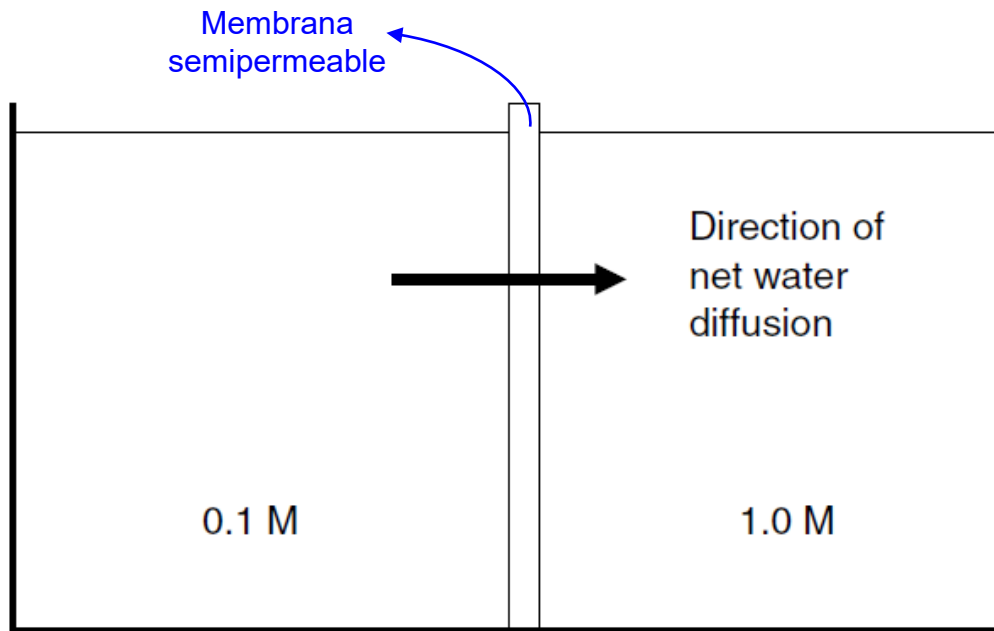


Célula animal (1 mol/L)

Soluto moviéndose (por energía cinética)

Tiempo 2

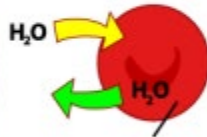




Isoosmótico

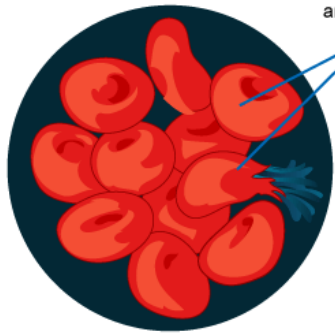


Amount of water transported into the cell equal to the amount of water transported out from the cell



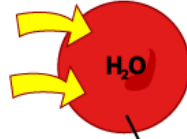
Solute concentration inside the cell is Equal to the solution outside the cell

Hipoosmótico



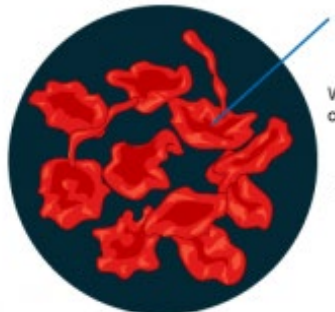
The cells inflate and eventually burst

Water is transported into the cell



Solute concentration inside the cell is HIGHER

Hiperosmótico



The cells shrink

Water is transported out from the cell



Solute concentration inside the cell is LOWER

Necesidad de mantener el balance de solutos (**regular cantidad de agua en el cuerpo**)

- Balancear **ganancias (G)** y **perdidas (P)**



G (agua líquida + agua preformada + agua metabólica) = **P** (evaporación + orina + heces + glándulas de sal)



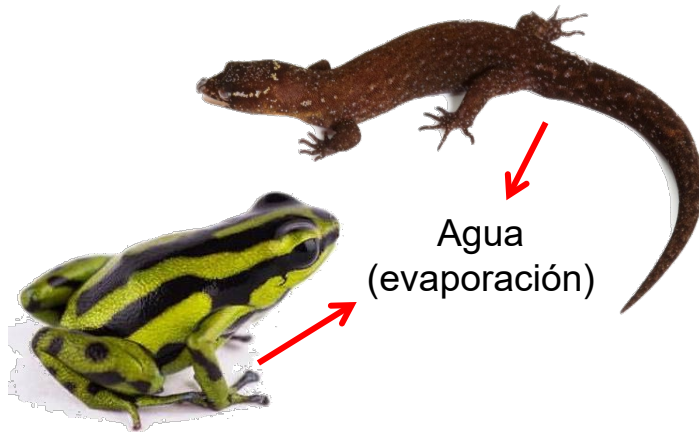
Mantener el balance de solutos es un continuo desafío para anfibios y reptiles

Balance de agua y solutos

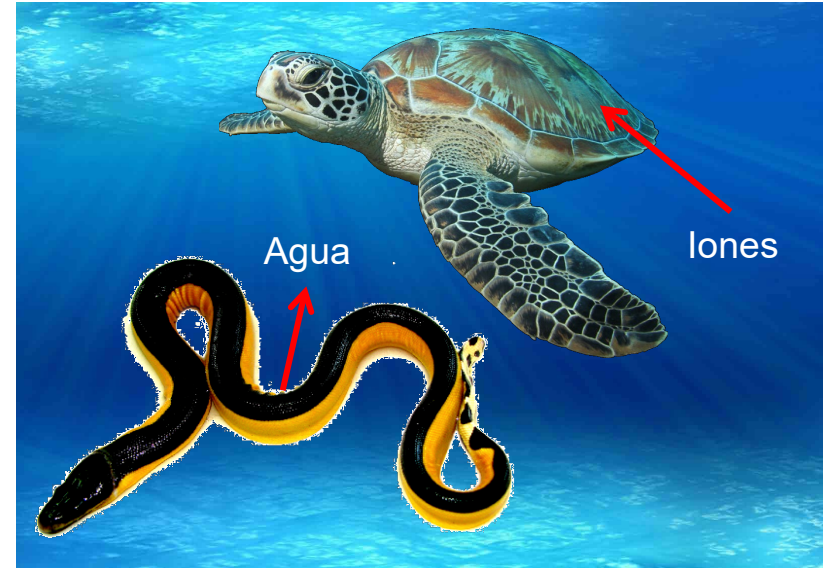
Osmorregulación: control del balance de agua y solutos

Desafío dependiendo del ambiente habitado

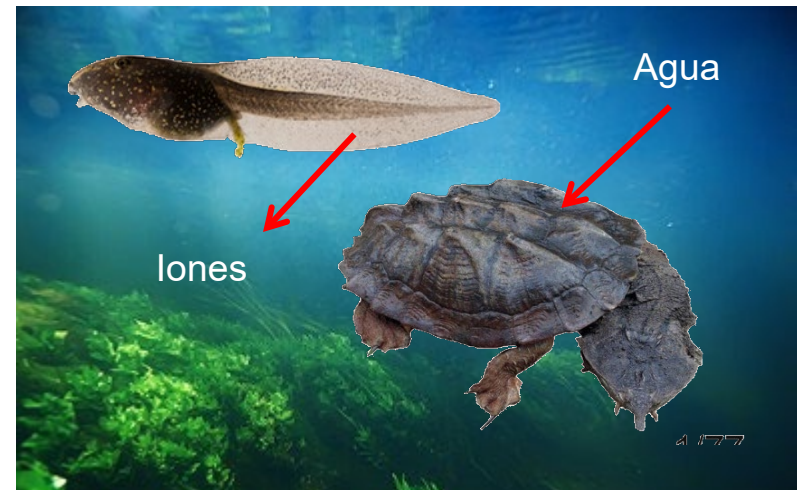
Organismos terrestres
[] iones: interna >> externa



Organismos marinos
[] iones: interna << externa



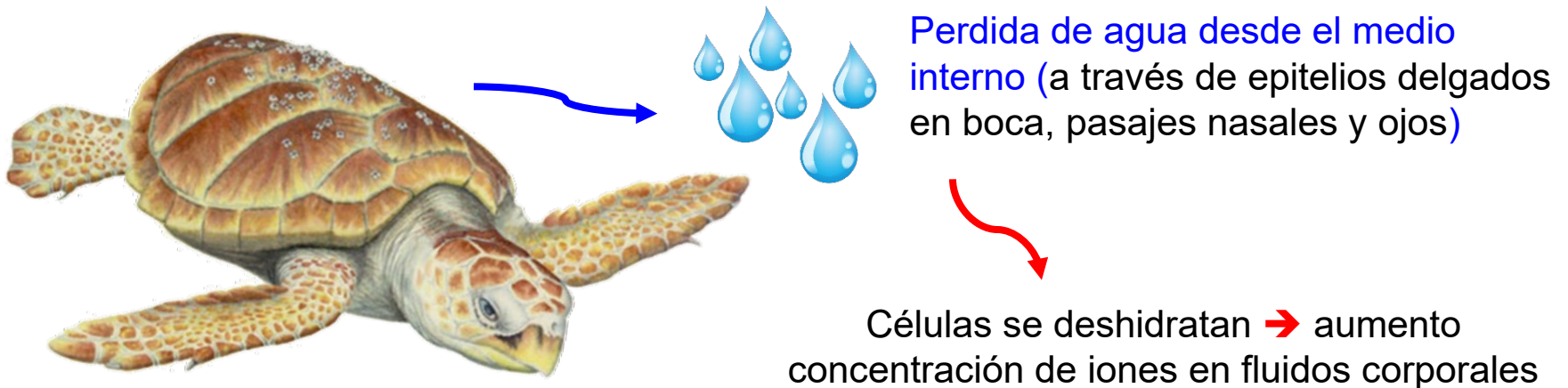
Organismos dulceacuícolas
[] iones: interna >> externa



Reptil marino/ambientes salobres (hipoosmóticos)

Organismos **hipoosmóticos**

[iones cuerpo] < [iones ambiente] ➡ **Hiporeguladores**

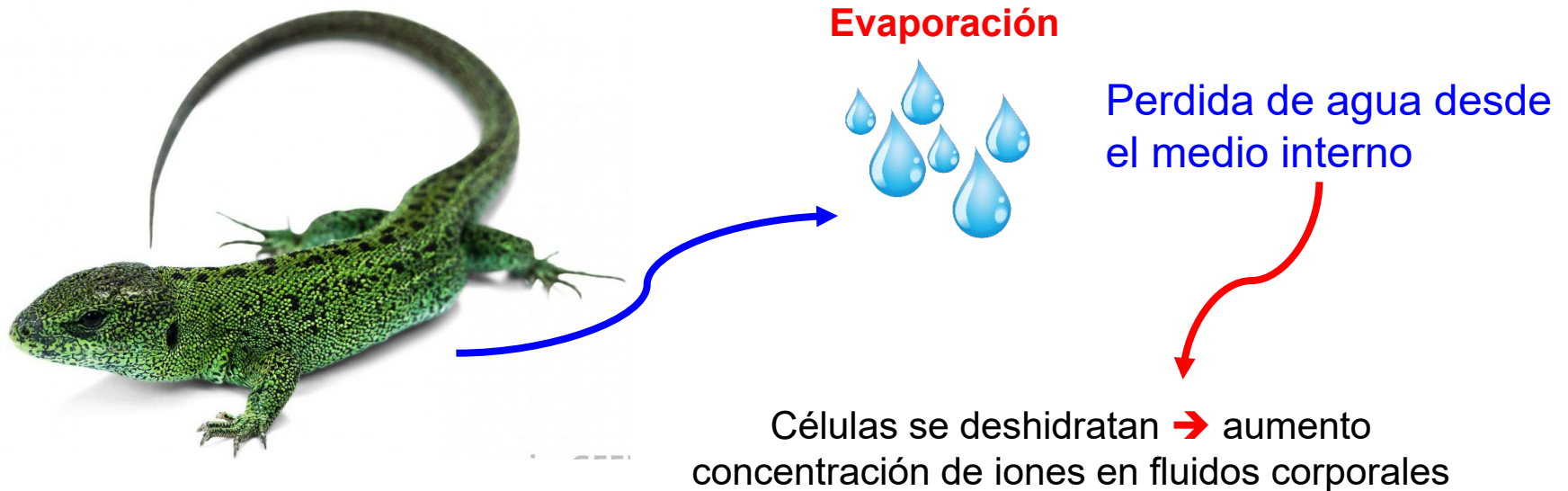


Mecanismos para evitar deshidratación

- Reducción permeabilidad piel (piel gruesa y escamas)
- Reducción de orina hipoosmótica (eliminando desechos nitrogenados)
- Eliminando fluidos hiperosmóticos (“salados”) a través de glándulas

Anfibio/reptil terrestre

Organismos con tendencia a deshidratación



Mecanismos para evitar deshidratación:

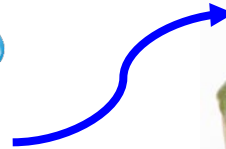
- Reducción permeabilidad piel
- Reducción de orina (eliminando desechos nitrogenados)

Anfibio/reptil dulceacuícola (hiperosmóticos)

Organismos **hiperosmóticos**

↳ **[iones cuerpo] > [iones ambiente]** ➡ **Hiperreguladores**

Ganancia de agua
desde el medio externo



Células se hinchan ➡ dilución de iones

Mecanismos para evitar sobre-hidratación

- Reducción permeabilidad piel
- Aumento de orina (conservando solutos)

Anfibios ambientes salobres (isoosmóticos)

Organismos **isoosmóticos** ➡ **[iones cuerpo] = [iones ambiente]**



Fejervarya crancrivora
(sureste asiático, región
malaya)



Bufo viridis (Europa, Asia,
norte de África)

- Regiones costeras
- Ambientes estuarinos
- manglares

Acumulan urea en la sangre (~
elasmobranquios)

- Isoosmóticos/hiperosmóticos al agua

Piel permeable

- Balance de agua evitando evaporación
- Absorbiendo agua Hipoosmótica (lluvia)



Mecanismos para evitar deshidratación

Regulación del volumen de agua y estables
concentraciones iónicas

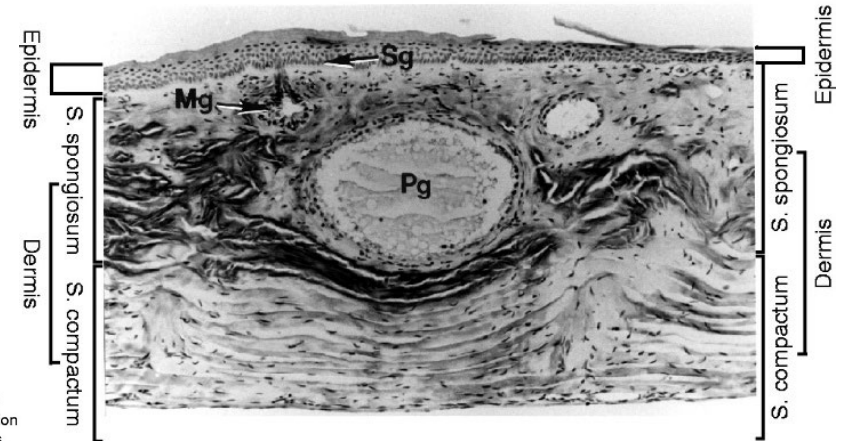
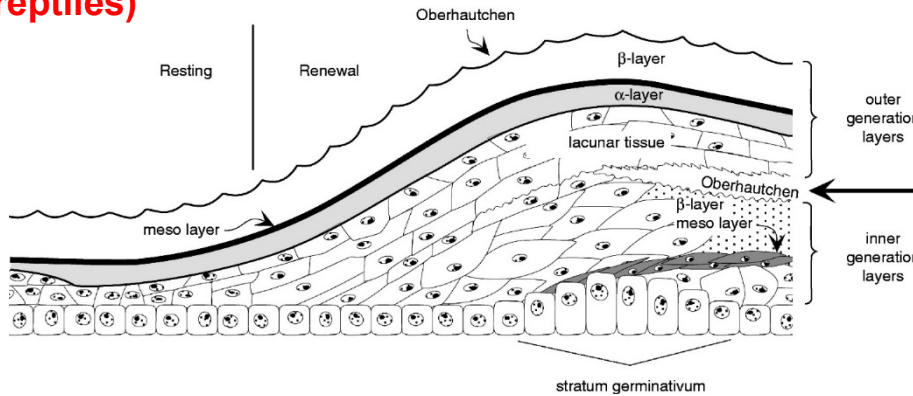
- Regulando tasa de retención o de
excreción de urea

Bradley, T.J. 2009. Animal osmoregulation.
Oxford University Press, New York, USA. 168 pp.

Rash, R. & Lillywhite, H.B. 2019. Drinking behaviors and
water balance in marine vertebrates. Mar. Biol. 166: 122

Órganos involucrados en la osmorregulación

Integumento (reptiles)

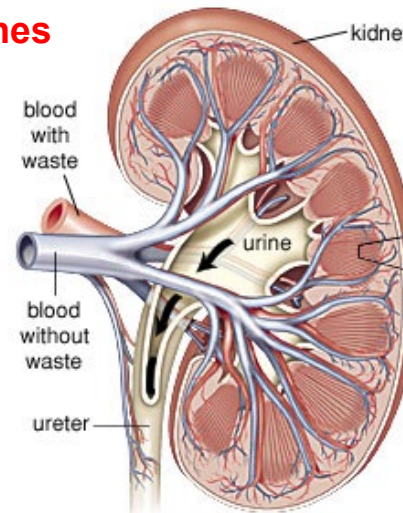


Integumento (anfibios)

Branquias



Riñones



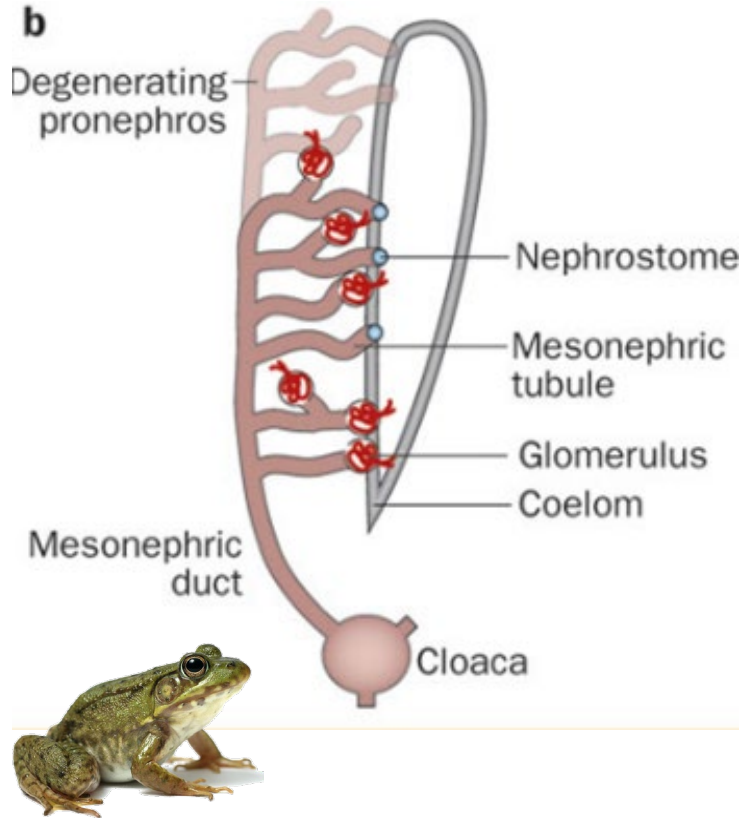
Tracto digestivo

Vejiga urinaria

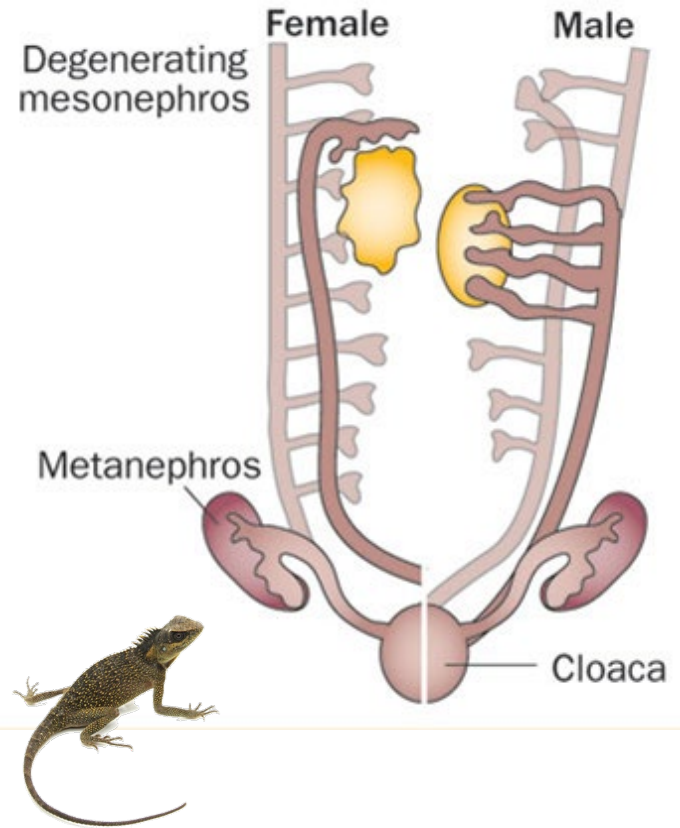
Cloaca

Función renal

Riñón vital en la osmorregulación



Mesonefros: filtra desechos desde la sangre (y el celoma) y los excreta fuera del cuerpo a través de los **ductos mesonéfricos** (“ductos Wolffianos”) por la cloaca

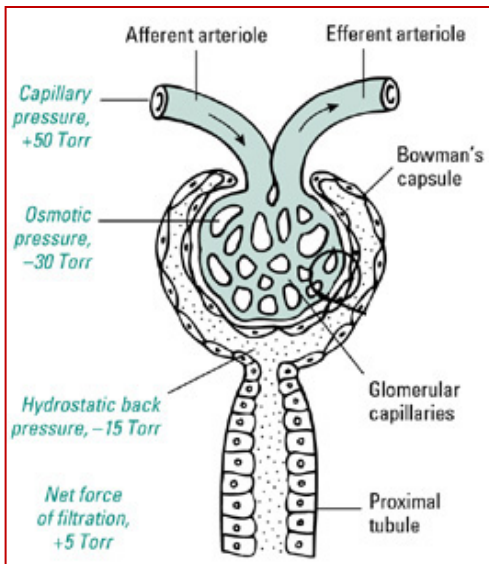
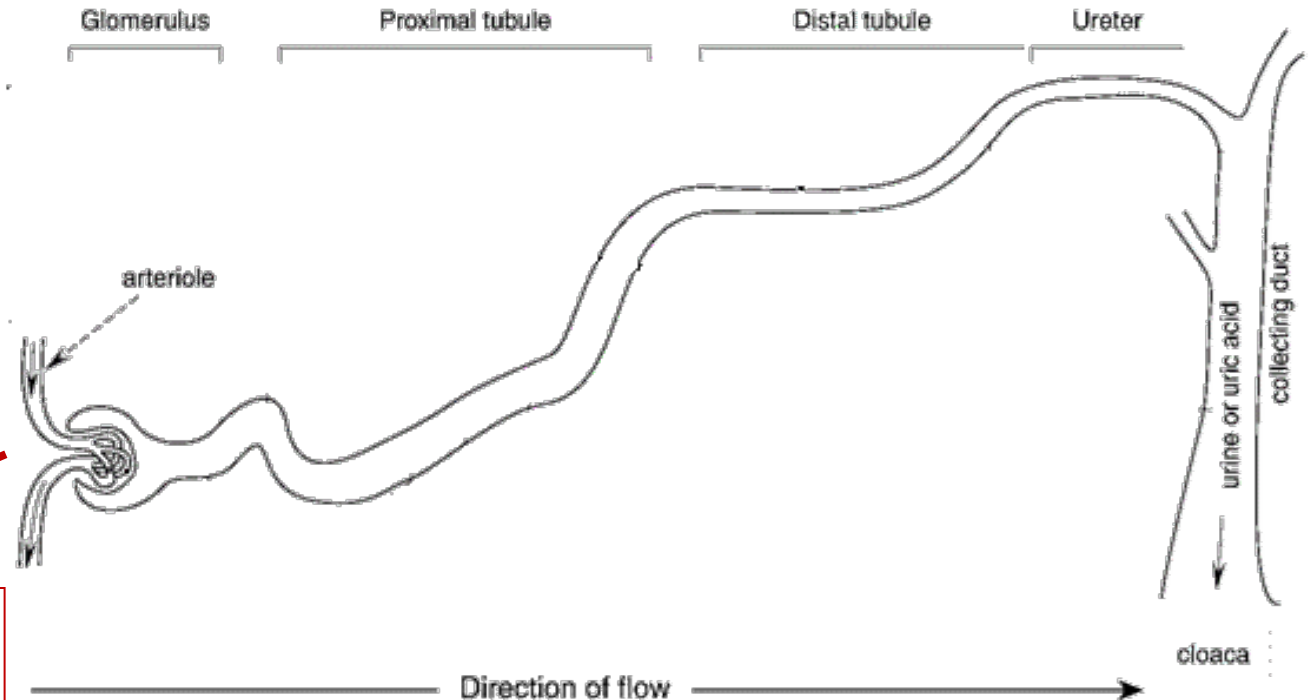


Metanefros: filtra desechos (en el riñón) desde la sangre y los excreta dentro del cuerpo (en la vejiga) a través de los **uréteres**; de ahí al exterior por la cloaca (o *uretra en Mammalia*)

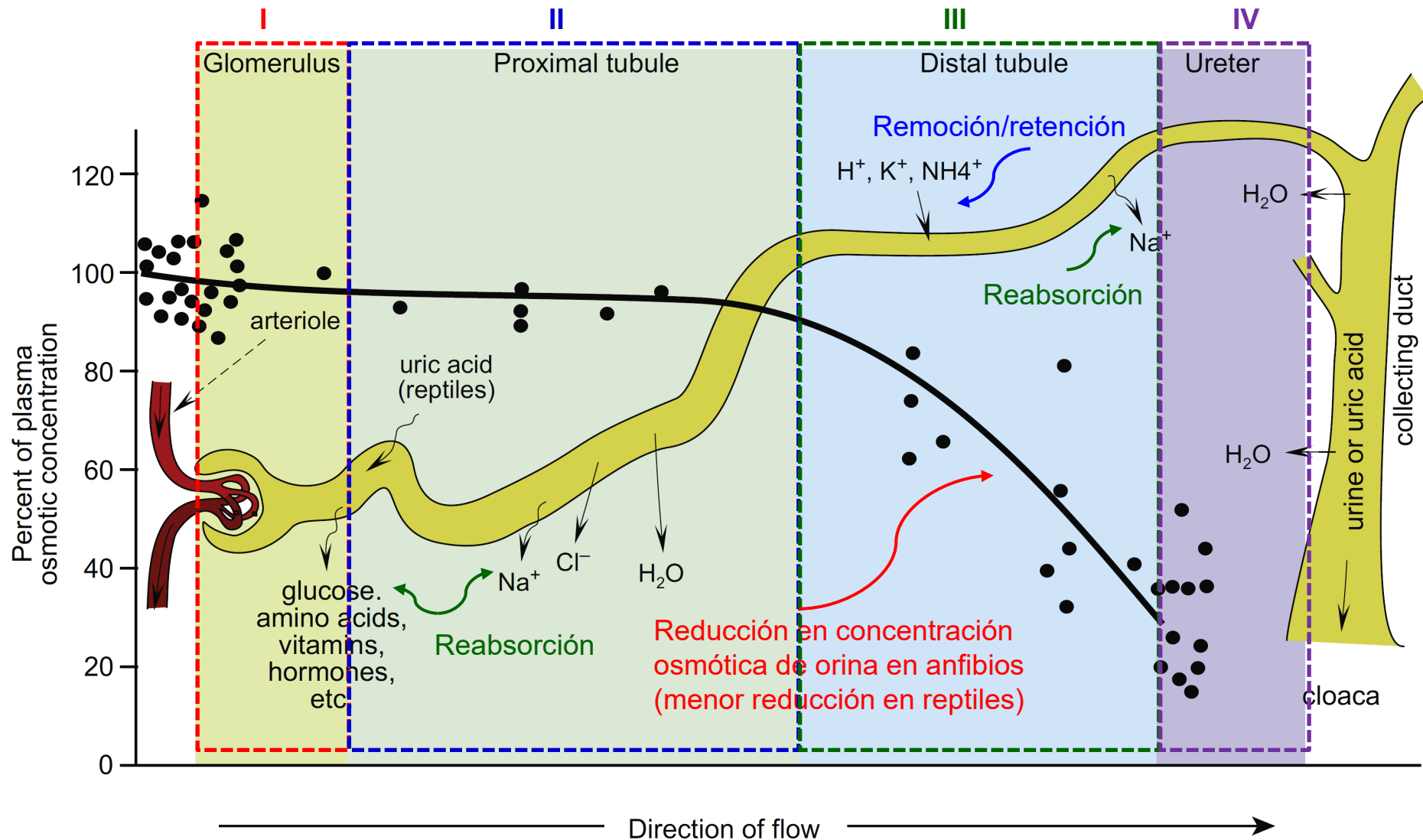
Función renal (nefronas)

Riñones relativamente similares en morfología y función en anfibios y reptiles

Representación
diagramática de la función
renal en anfibios y reptiles



Willmer, P., Stone, G. & Johnston, I. 2005. Environmental physiology of animals. Second edition. Blackwell Publishing, UK. 754 pp.



- **Anfibios:** alta tasa de filtración; 99% de iones filtrados reabsorbidos >> orina diluida (excepciones: *Hyperolius* (ureotélicos); *Phyllomedusa/Chiromantis* (uricotélicos))

- **Reptiles:** baja tasa de filtración. Reabsorción de solutos y agua (30-50% reabsorbida) mayor. Orina concentrada (menor pérdida de agua)

Ganancia y pérdida de agua

Anfibios/reptiles: cuerpo constituido por casi 70-80% de agua

Agua en la que se disuelven **iones*** necesarios para funciones fisiológicas

***Iones primordiales:** Sodio (Na), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Potasio (K), Cloruro (Cl)

Anfibios y reptiles:
presentes en diferentes
ambientes que varían en
niveles de agua y de sales

En cada ambiente
hay desafíos para el
mantenimiento del
balance osmótico

Función renal

- Mantener equilibrio osmótico de iones (en fluidos extra e intracelulares)
- Desechar subproductos nitrogenados (tóxicos)

Rutas de ganancia y pérdida de agua corporal

Gain		Loss
Food (preformed water)		Excretion
Drinking	} Agua líquida	Feces
Integument		Urine
Metabolism		Salt glands
		Respiration
		Integument

*Note: Some routes are specific to only amphibians or reptiles; see text.
Source: Adapted from Minnich, 1982.*

Balancear **ganancias (G)** y **perdidas (P)**

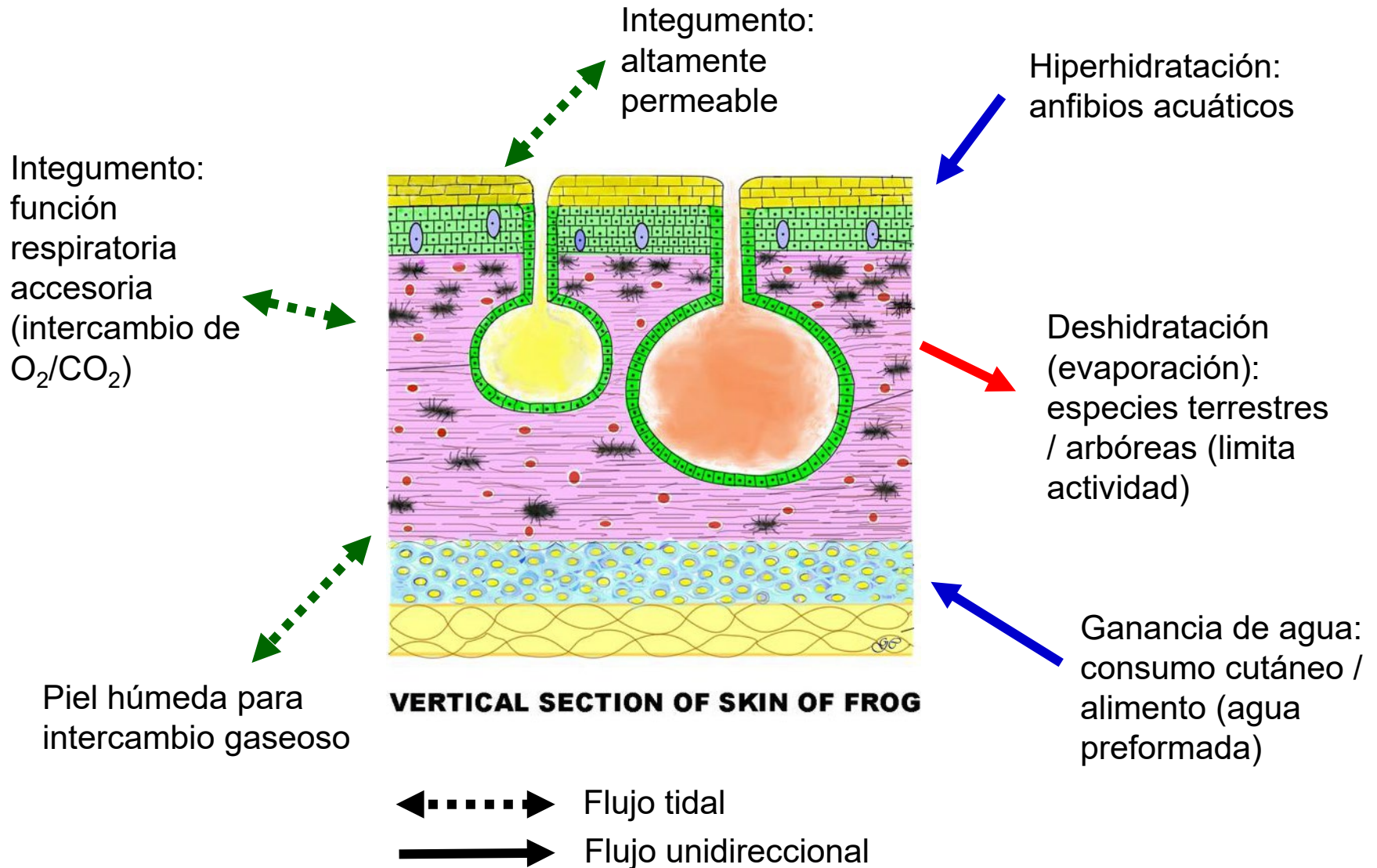
G (agua líquida + agua preformada + agua metabólica) = **P** (evaporación + orina + heces + glándulas de sal)

Evaporación

Diferencias entre anfibios y reptiles

- Estructura y permeabilidad del integumento
 - **Anfibios:** integumento más permeable que en reptiles (ausencia de derivados como plumas, escamas, pelo)
 - **Anfibios:** balance de agua es un tema más crítico

Balance de agua en anfibios



Anfibios acuáticos / semiacuáticos

- Agua continuamente absorbida vía integumento
- Balance osmótico: excreción de orina diluida / altas tasas de producción



Anfibios terrestres/arbóreos

- Agua continuamente perdida vía integumento
- Balance osmótico: excreción de orina concentrada / baja tasas de producción
- Vejiga como órgano de almacenamiento de agua



Hormonas: regulación de sales y regulación de iones y agua en anfibios

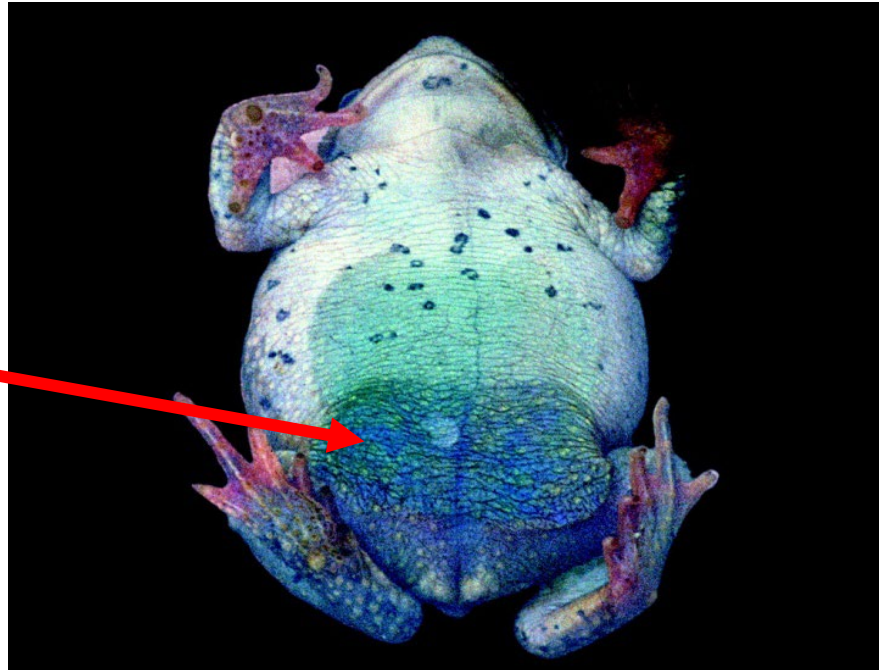
Hormone	Amphibians
Arginine vasotocin	Water retention: Absorption occurs in kidneys, skin, urinary bladder Glomerular filtration rate decreases
Angiotensin II	Water retention: Absorption occurs in kidneys Aldosterone increases
Natriuretic peptides	Water and salt secretion: Glomerular filtration rate increases Aldosterone decreases
Corticosteroid	Salt retention: Sodium absorption increases in skin, intestine, urinary bladder
Source: Adapted from McCormick and Bradshaw, 2006.	

McCormick, S.D. & Bradshaw, D. 2006. Hormonal control of salt and water balance in vertebrates. Gen. Comp. Endocrinol. 147: 3-8

Modificaciones morfológicas integumento: ayuda en ganancia de agua

- Regiones con diferente grado de permeabilidad
- **Textura piel vientre**: lisa (spp. acuáticas; semiterrestres o de bosques)
>>> muy granular (spp. terrestres; **muy vascularizada**)

“Parche pélvico”
en anuros: área
especializada de la
piel ventral



“**Parche pélvico**”:

- Absorción de agua vía cutánea presionando esa región contra superficies húmedas
- Respuesta de absorción de agua: mediada por la **hormona arginina vasotocina (AVT)**

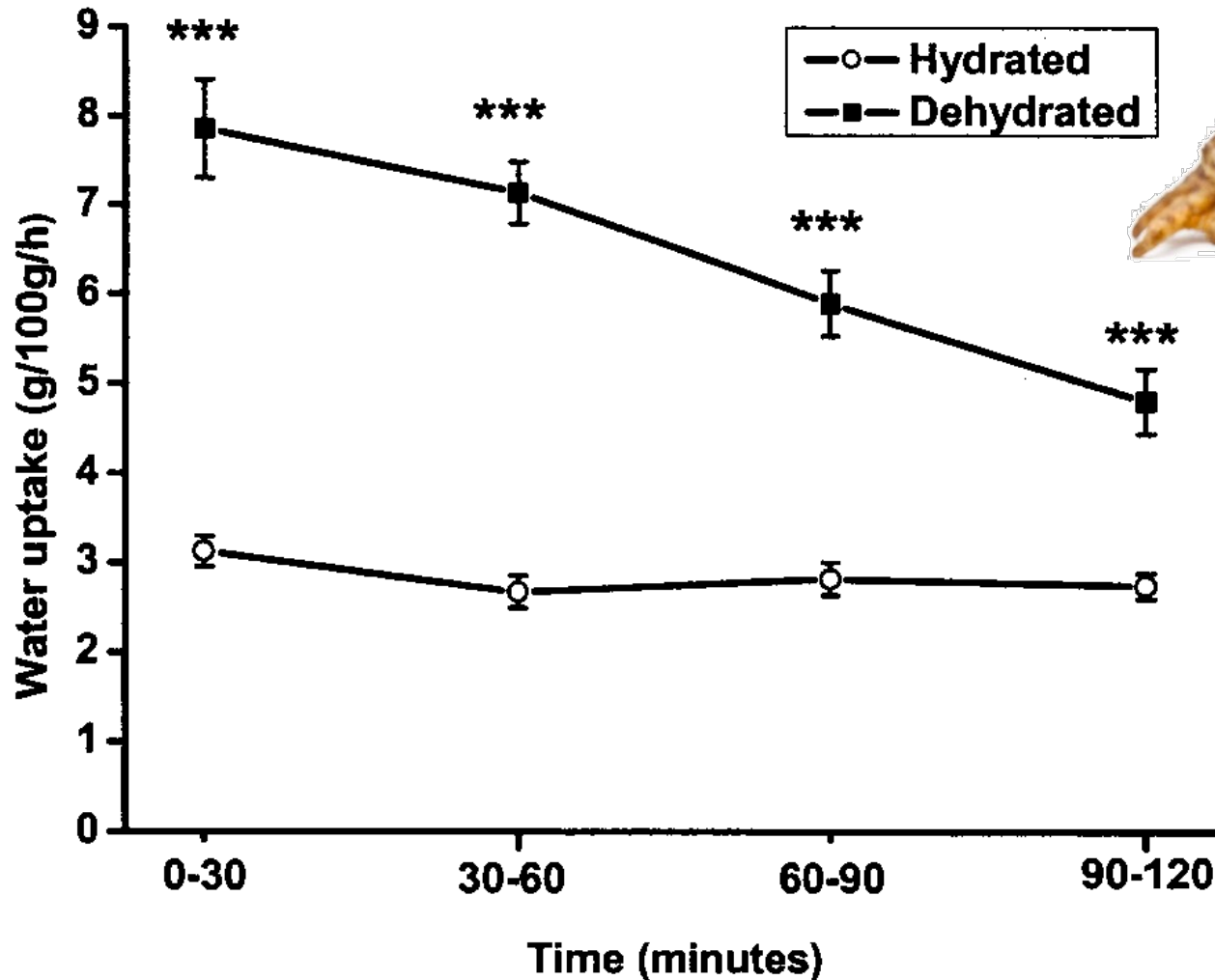
Role of circulation in maintaining Na^+ and K^+ concentration in pelvic patch in *Rana catesbeiana*

Osmotically Absorbed Water Preferentially Enters the Cutaneous Capillaries of the Pelvic Patch in the Toad *Bufo marinus*

Water Potential Receptors in the Skin Regulate Blood Perfusion in the Ventral Pelvic Patch of Toads

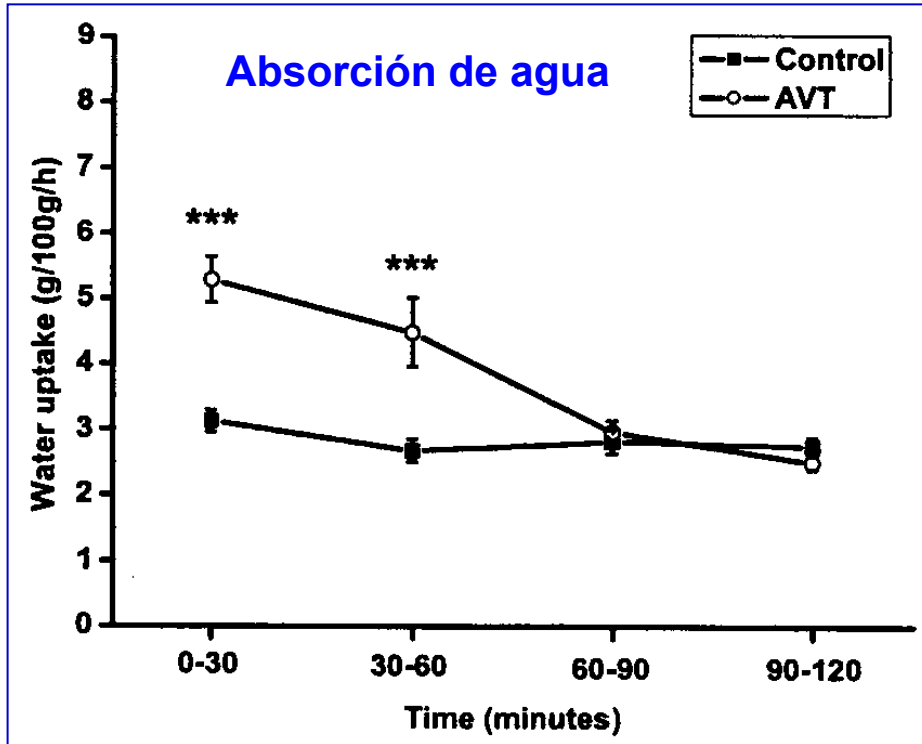
Efectividad del parche pélvico

Individuos de *Bufo bufo*



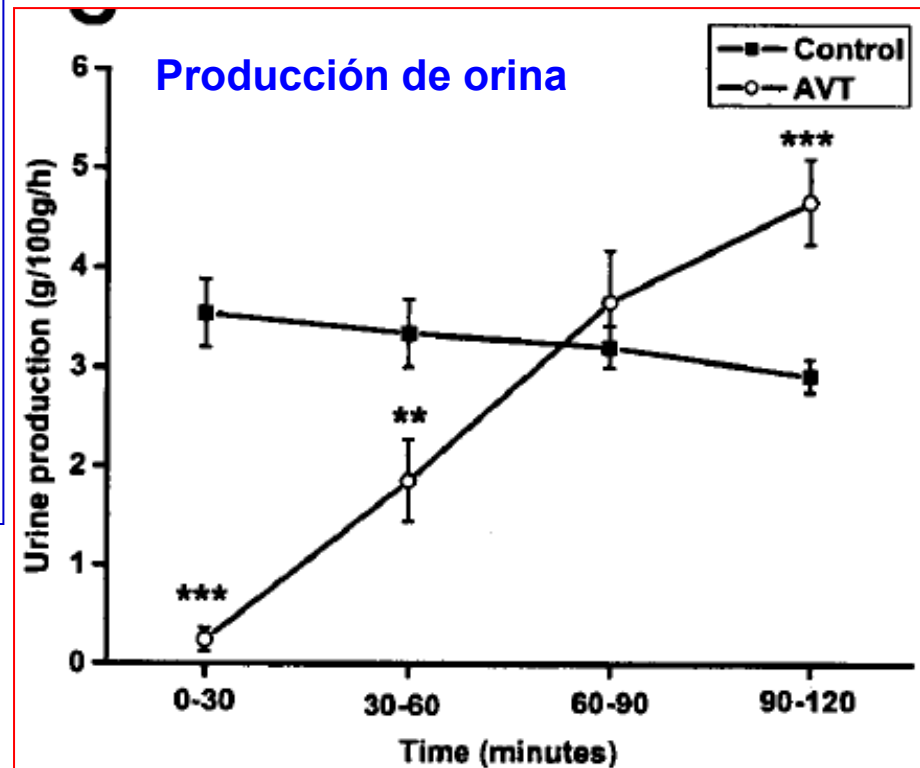
Viborg, A.L. & Rosenkilde, P. 2004. Water potential receptors in the skin regulate blood perfusion in the ventral pelvic patch of toads. *Physiol. Biochem. Zool.* 77: 39-49

Efecto de la hormona arginina vasotocina (AVT)



Individuos de *Bufo bufo*
inyectados con AVT

Hormone	Amphibians
Arginine vasotocin	Water retention: Absorption occurs in kidneys, skin, urinary bladder Glomerular filtration rate decreases



Viborg, A.L. & Rosenkilde, P. 2004. Water potential receptors in the skin regulate blood perfusion in the ventral pelvic patch of toads. *Physiol. Biochem. Zool.* 77: 39-49

Ajustes comportamentales para retención de agua

Mecanismos primordiales en anfibios terrestres

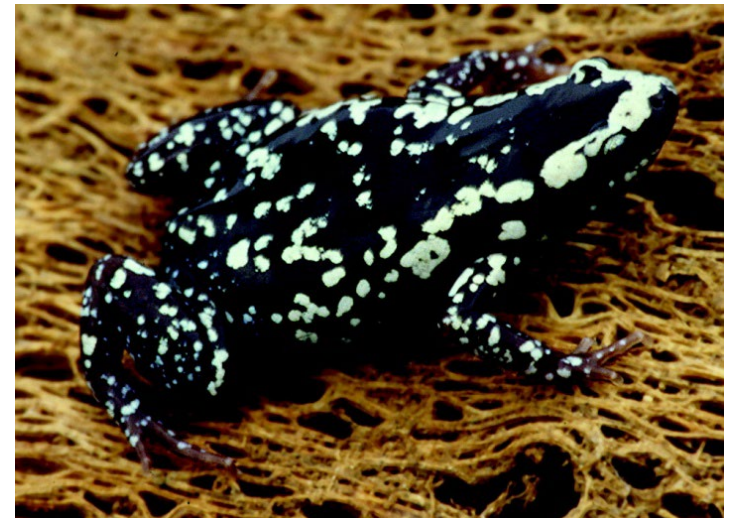
- Ajustes diarios y estacionales para minimizar perdidas de agua
- **Cuando inactivos:** búsqueda de sitios húmedos o encerrados (fisuras o escondrijos)



- Deshidratados o en descanso: adopción de posturas de conservación de agua

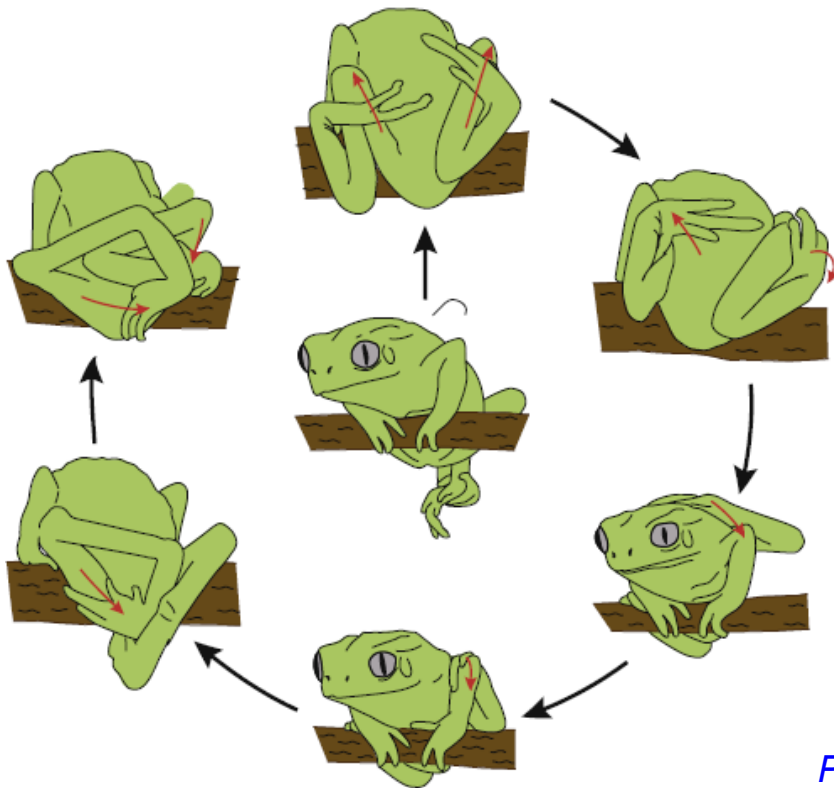


- **Inicio de actividad en la noche:** búsqueda de lugares húmedos para absorber agua
 - ✓ Exposición de mayor cantidad de superficie corporal con el substrato para maximizar ganancia de agua



Ranas arbóreas: uso de secreciones cutáneas a prueba de agua

- Ranas *Phyllomedusa* (Phyllomedusidae): secreción de lípidos con esteres cerosos
 - Esparce los lípidos con movimientos estereotipados de brazos y piernas



https://www.youtube.com/watch?v=_L-_Gst2NIk

Phyllomedusa sauvagii esparciendo los lípidos en la piel

Pithecopus hypochondrialis
(Phyllomedusidae)



Activa



Activa



Inactiva

Vitt & Caldwell 2014

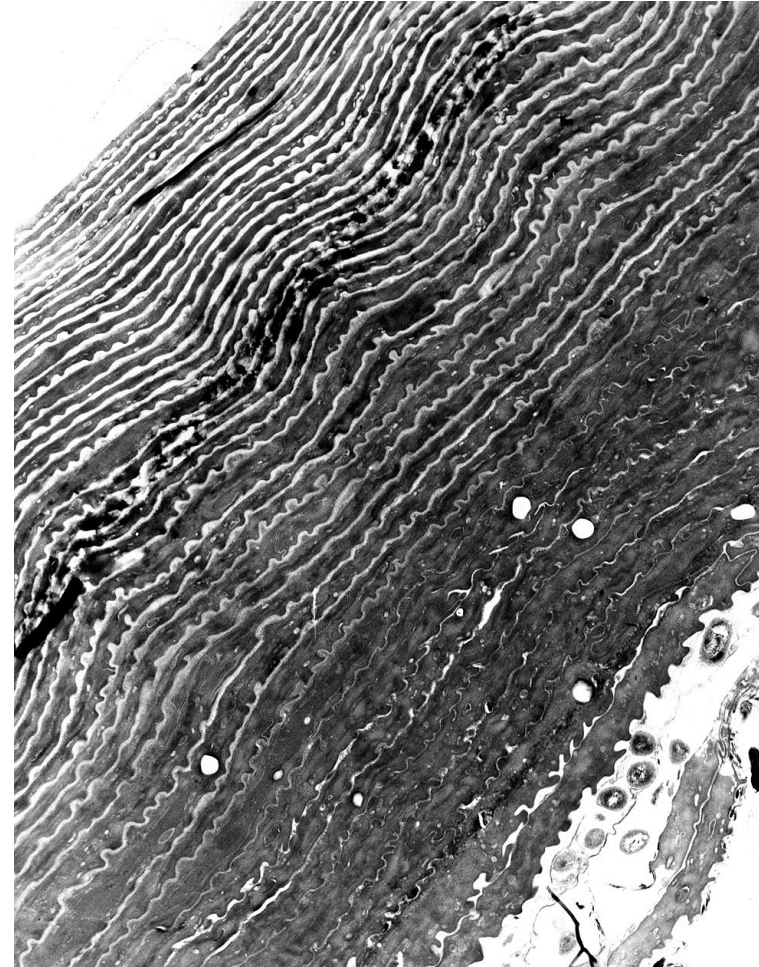
Producción de capullos: anfibios habitando sitios que experimentan largas temporadas de sequia



Litoria novaehollandiae
(Pelodyadidae).
Australia



Capullo formado por acumulación de múltiples capas de estrato corneo en la epidermis

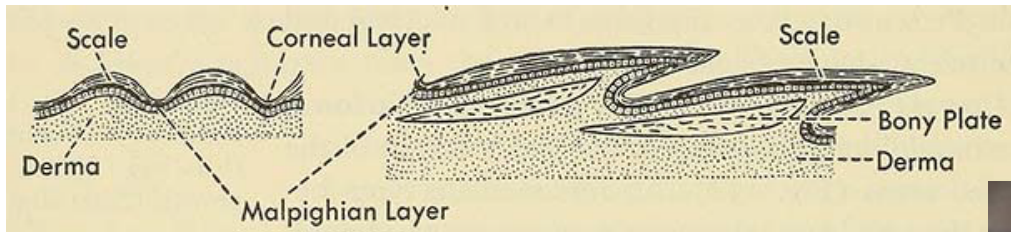


Microfotografía de 39 capas de estrato corneo en *Lepidobatrachus llanensis* (Ceratophryidae). Argentina, Bolivia, Paraguay

Balance de agua en reptiles

Casi que ausente perdida o ganancia de agua a través del integumento

- Muy resistente al movimiento de agua y iones



Sección longitudinal a través
del integumento de los reptiles



- El balance de agua a través de **otras muchas formas**

Beber (forrajeo) agua: importante fuente para ganar agua

- Lagartos de desierto (e.g. *Coleonyx variegatus*; *Xantusia vigilis*): beben agua condensada en la piel cuando entran a las guaridas más frescas



Xantusia vigilis



Coleonyx variegatus

▪ Forrajeo de agua en crótalos (Viperidae)

(A) Ambush posture



Head in striking position

Body rounded

(B) Rain-collecting posture

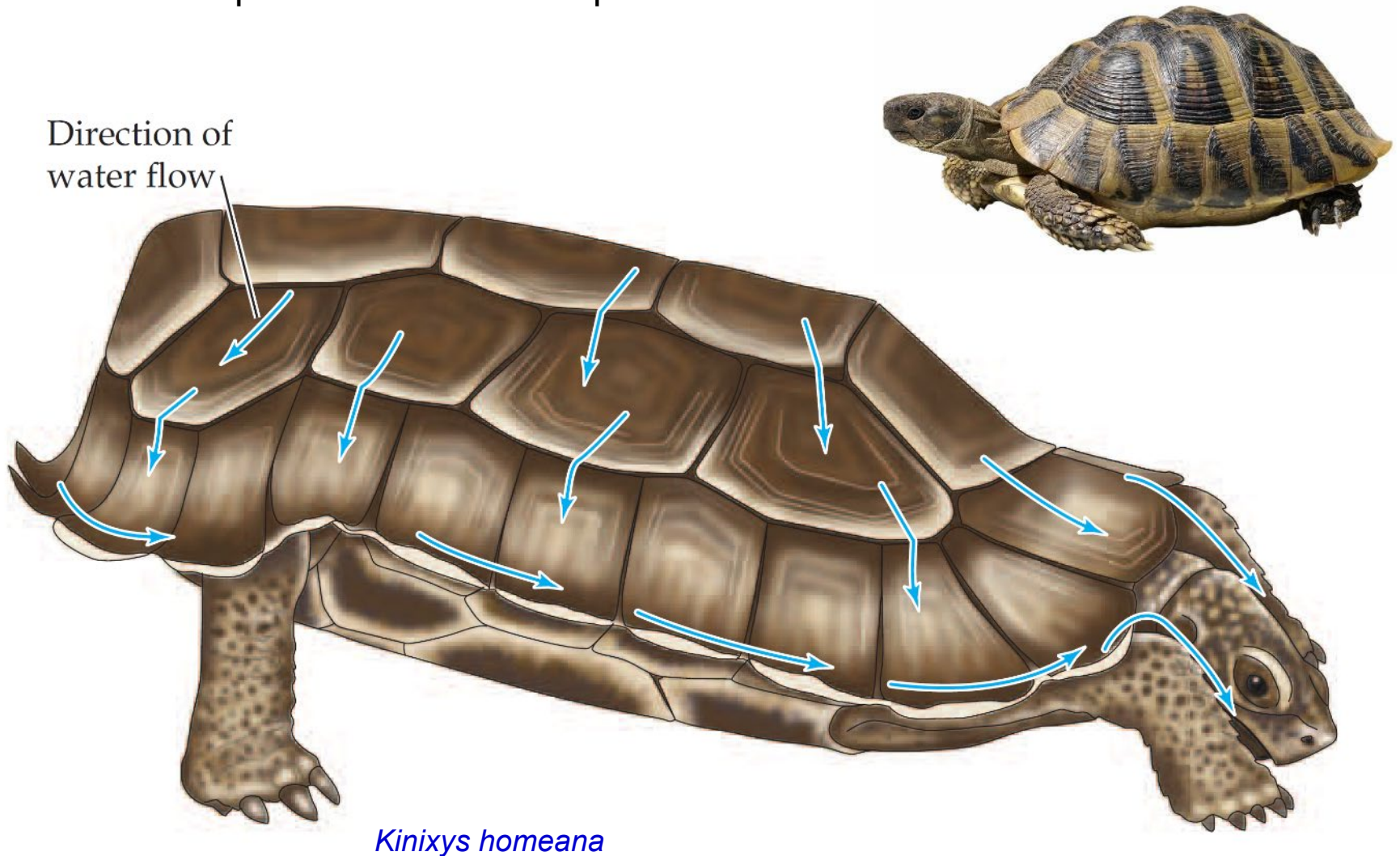


Head between coils (drinking position)

Body flattened, channeling water into valleys

Tortugas terrestres

Elevan la parte anterior del cuerpo para que corra agua desde atrás del cuerpo hacia la boca por las estrías del caparazón



Lagartos en ambientes xéricos (desiertos)

- Adquieren agua a partir del integumento
- Comportamientos estereotipados que resultan en transporte capilar de agua hacia la boca a través de canales entre las escamas



Moloch horridus (Agamidae; Australia)



Phrynosoma cornutum
(Phrynosomatidae; Norteamérica)

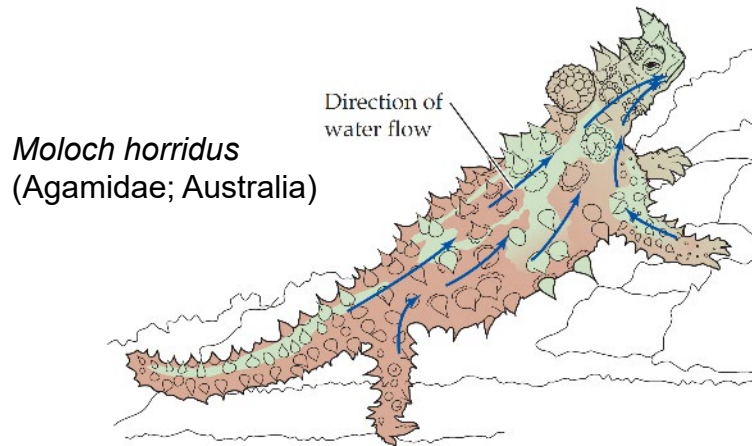


Phrynocephalus helioscopus (Agamidae; oriente medio, Turquía)

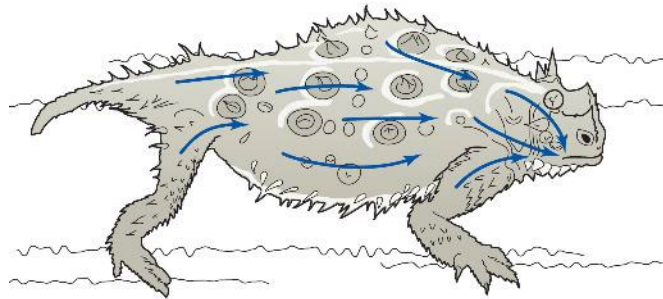
Resumen esquemático de los mecanismos de colecta, transporte y bebida de agua cutánea en *Moloch horridus* (A) y *Phrynosoma cornutum* (B) (flechas indican el movimiento direccional del agua)



Phrynosoma cornutum
(Phrynosomatidae;
Norteamérica)



Moloch horridus
(Agamidae; Australia)

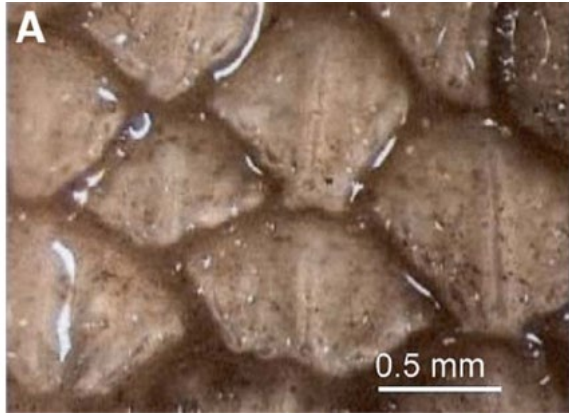


**Convergencia
ecológica**

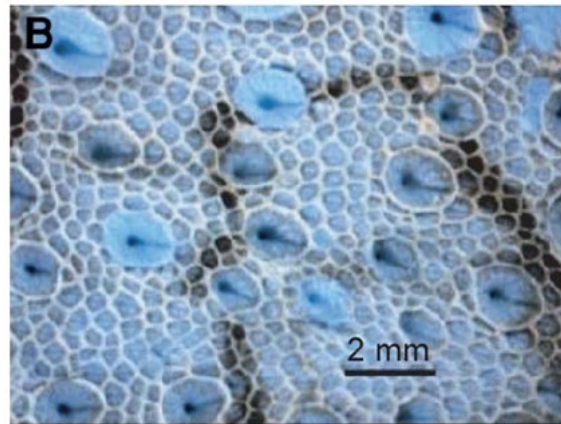
Diferentes familias (Agamidae/Phrynosomatidae),
continentes (Australia / Norteamérica), **pero
ambientes similares (desiertos)**

- Similitud en estructura y función

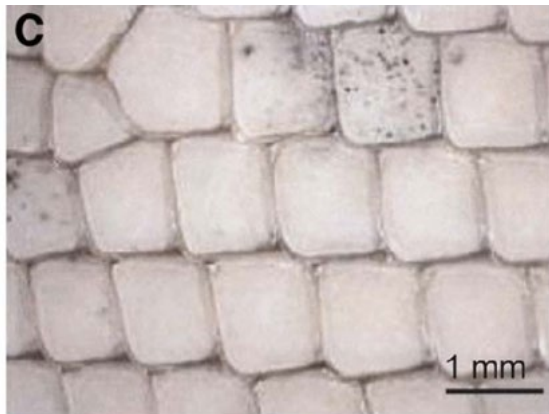
Escamas ventrales de *Moloch horridus* (Agamidae, A-B) y *Phrynosoma cornutum* (Phrynosomatidae, C-D)



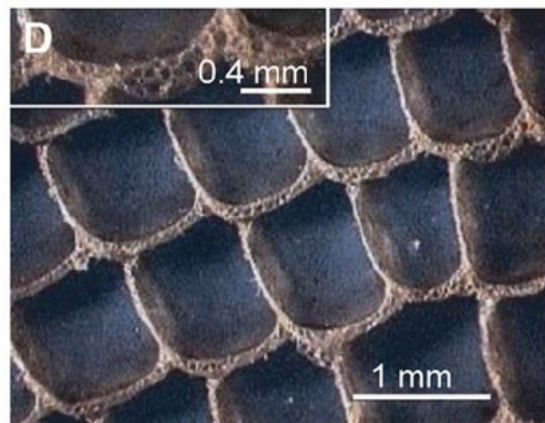
Bordes solapados de las escamas ventrales en *Moloch*



Superficie medial de la capa β -queratina de la epidermis de las escamas ventrales y espinas de *Moloch*, mostrando la red interconectada de bisagras (blanco) de las escamas



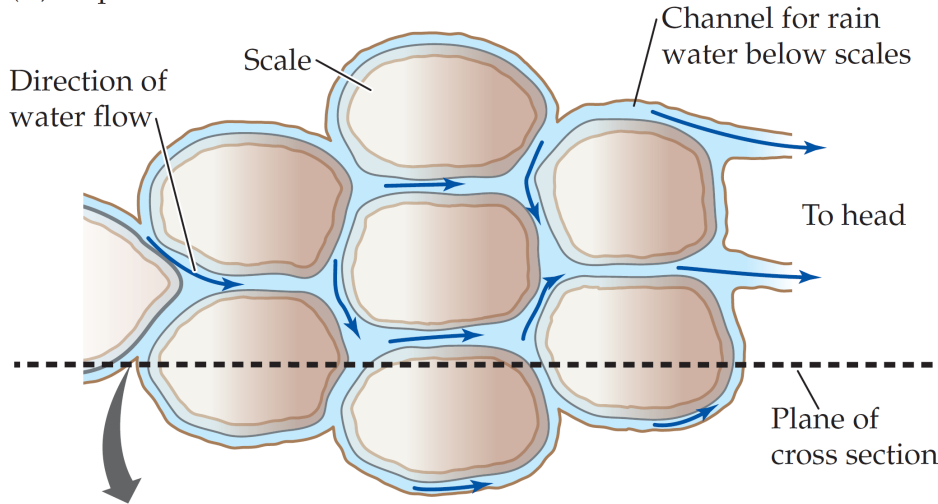
Solapamiento de escamas ventrales de *Phrynosoma*



Superficie medial de la capa β -queratina de la epidermis de las escamas ventrales, de *Phrynosoma* mostrando la red interconectada de bisagras de las escamas (blanco) y tejido vacuo (hoyuelos) de las bisagras

Modelos generalizados de la morfología del sistema de transporte de agua (flujo capilar) en *Moloch horridus* y *Phrynosoma cornutum*

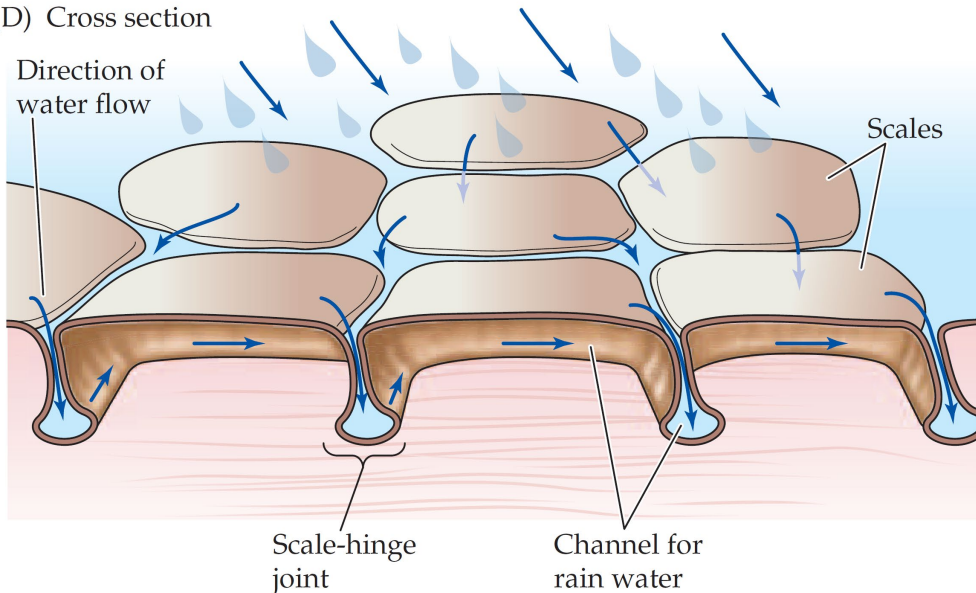
(C) Top view



Flujo capilar lleva el agua colectada a través de una red de canales formados por bisagras entre las escamas

- El agua de lluvia fluye entre las escamas hacia una red de canales en bisagra

(D) Cross section



El flujo capilar mueve el agua a través de los canales.

- Cada uno de los movimientos de la mandíbula empuja un poco de agua desde los canales hacia la boca y lleva el agua más lejos en el sistema de canales más cerca de la boca

Agua obtenida a partir del alimento (agua preformada)

- Aprovechamiento depende de la **concentración de electrolitos** en la comida
 - Afecta la selección de alimento o la tasa de alimentación

Lagartos de desierto: épocas de extrema sequía (baja cantidad de agua o periodos secos largos), única fuente de hidratación puede ser el agua libre o preformada presente en presas insecto



Variación en tasa de ingestión de alimento (~ agua) dependiendo de tasas de pérdida de agua vía ecología térmica

Desierto de Sonora (USA)



Urosaurus graciosus
(Phrynosomatidae)



Urosaurus ornatus
(Phrynosomatidae)



Mismo hábitat (Desierto de Sonora)

Urosaurus graciosus

- Forrajea en dosel de pequeños arboles y arbustos
- Forrajea en la mañana y atardecer
- En actividad: $T_c = 35 > 38^\circ\text{C}$

▪ **Perdidas de agua** = 38.5 ml/kg/día

▪ Fuente de agua: insectos

▪ **Tasa de consumo** = **11.5 presas/día**
(volumen estomacal = 0.129 cm^3)

Urosaurus ornatus

- Forrajea en dosel de grandes arboles adyacentes a ríos
- Forrajea en el día
- En actividad: $T_c = 36^\circ\text{C}$

▪ **Perdidas de agua** = 27.7 ml/kg/día

▪ Fuente de agua: insectos

▪ **Tasa de consumo** = **7.7 presas/día**
(volumen estomacal = 0.066 cm^3)

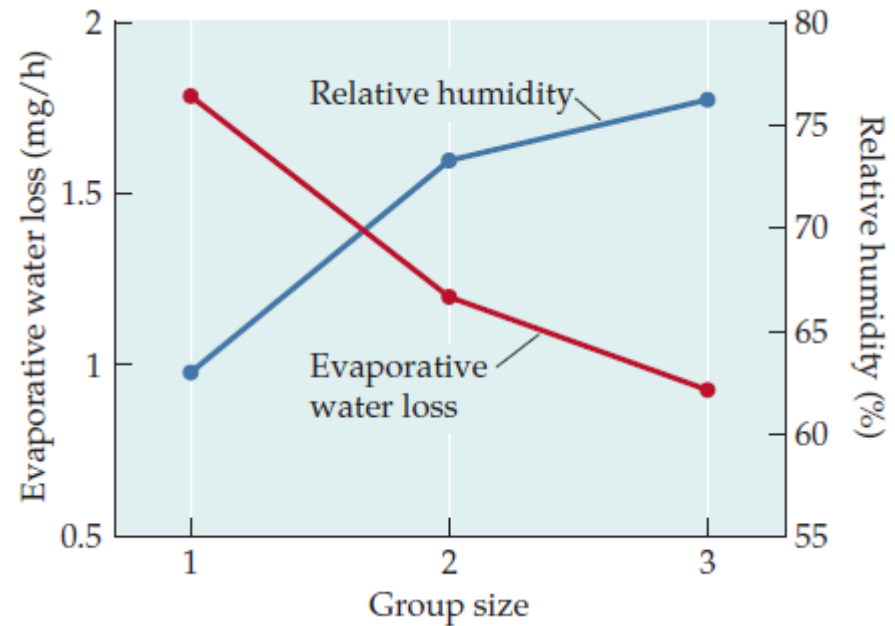
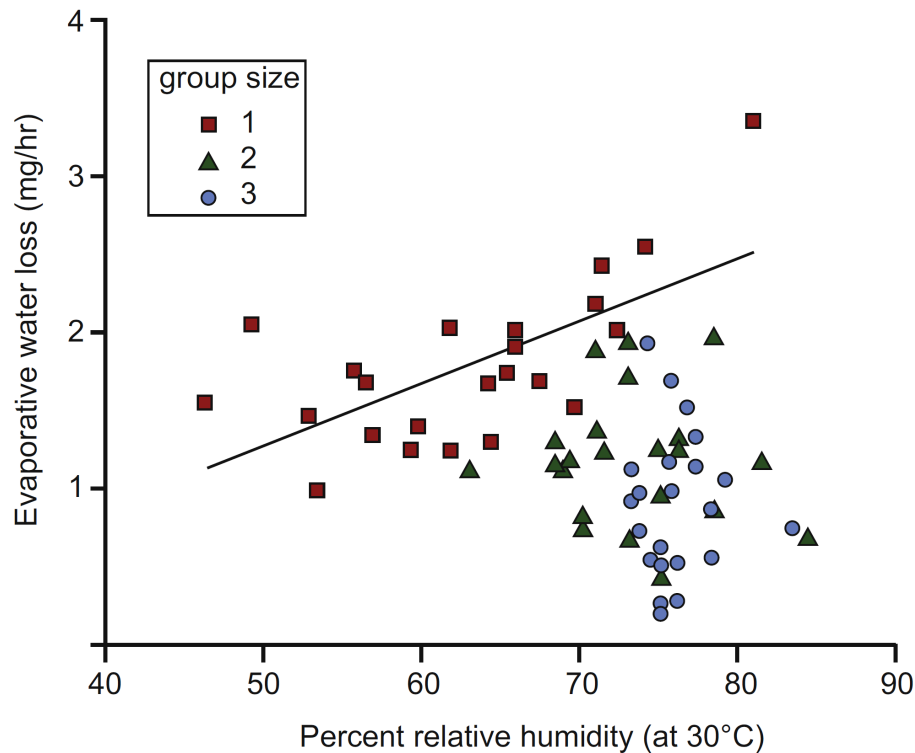
Reducción de pérdida de agua evaporativa vía comportamental



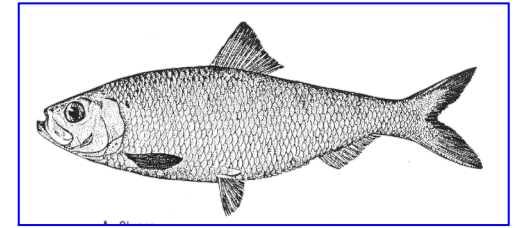
Coleonyx variegatus

Geko nocturno con pérdidas de agua evaporativa mayores que especies similares diurnas en los mismos hábitats

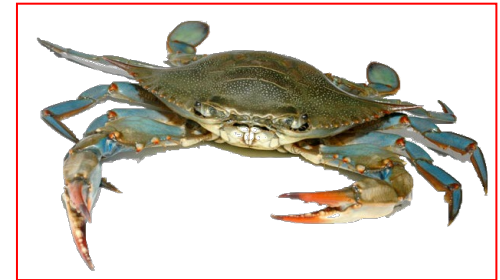
Agregaciones de individuos: mecanismo para evitar pérdida de agua. Aumento de humedad relativa en los sitios de descanso



Reptil marinos (hipoosmóticos)



Alimento isoosmótico +
agua salada



Alimento osmoconforme +
agua salada



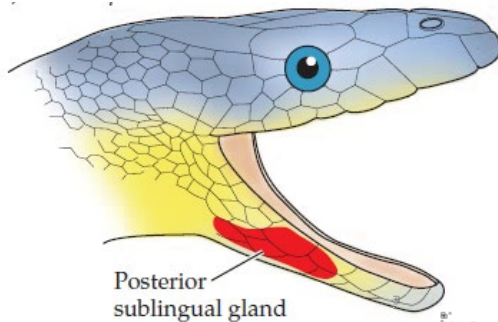
Reptil marinos (hipoosmóticos)

¿Cómo eliminar exceso de sal?

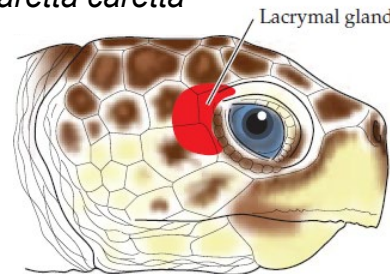
- **Riñón de reptiles:** incapaz de producir orina más concentrada que la sangre
 - ✓ Orina **hipoosmótica** (eliminando desechos nitrogenados)
 - ✓ Poca cantidad: no suficiente para balance osmótico

- ↳ ▪ Producción y excreción de **fluidos hiperosmóticos** (↑↑ NaCl) por glándulas
- ✓ **Glándulas de sal**

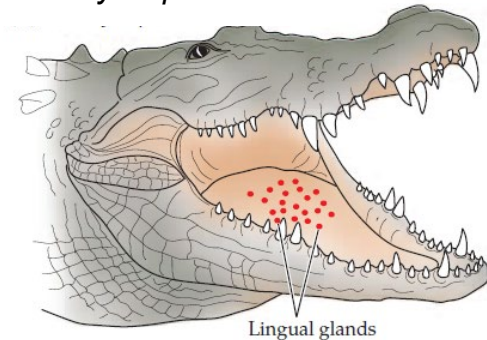
Hydrophis platurus



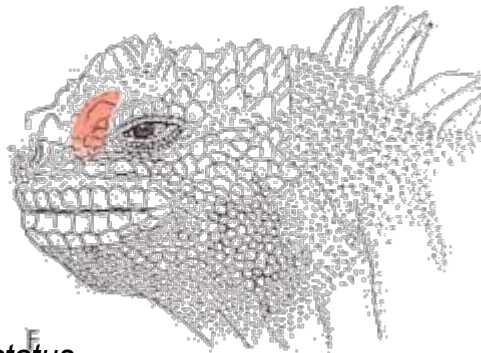
Caretta caretta



Crocodylus porosus



Amblyrhynchus cristatus



Hormonas: regulación de sales y regulación de iones y agua en reptiles

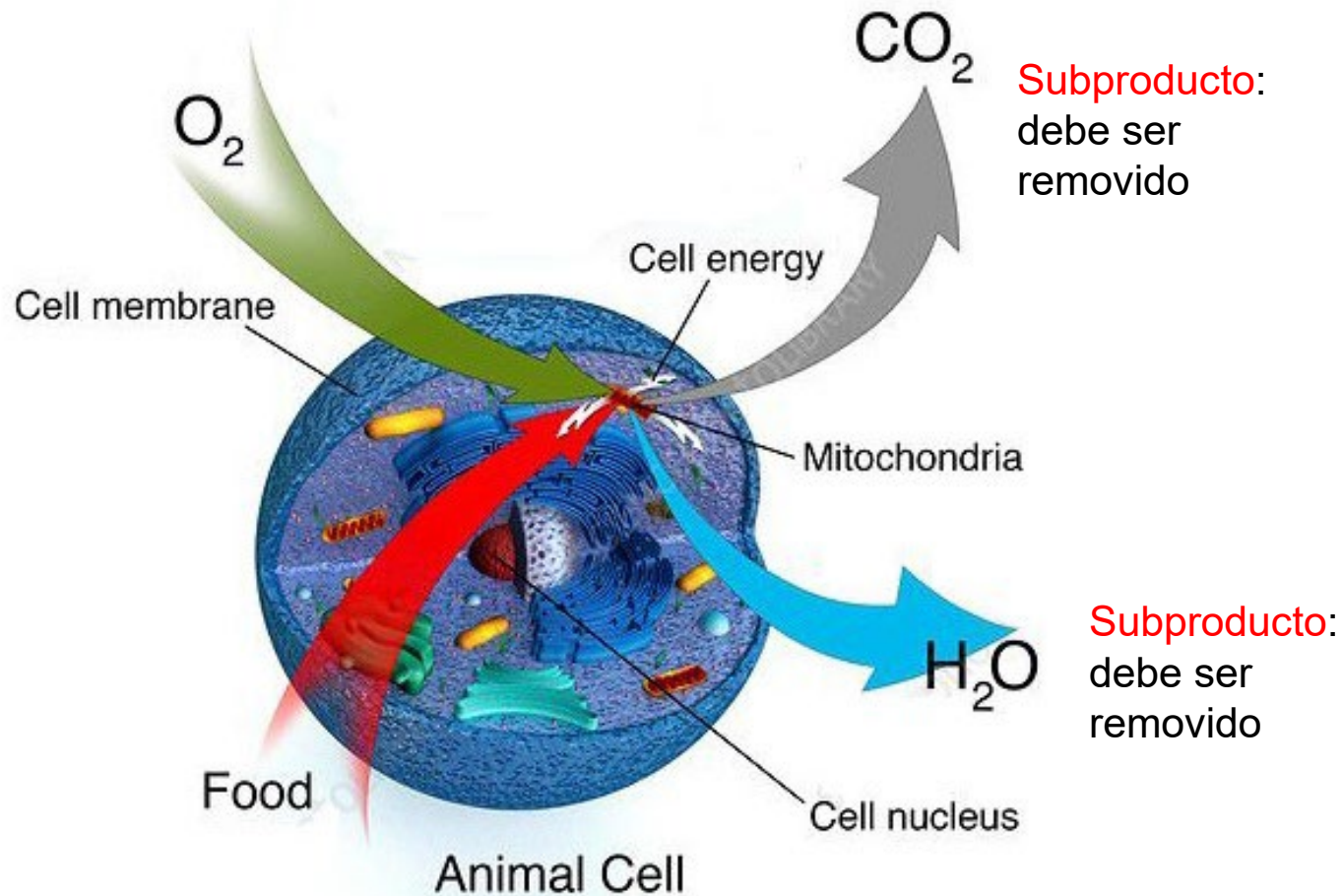
Hormone	Reptiles
Arginine vasotocin	Water retention: Tubular reabsorption occurs Glomerular filtration rate decreases
Angiotensin II	Water retention: Drinking increases Aldosterone and corticosterone increase
Natriuretic peptides	Function uncertain
Corticosteroid	Salt retention: Sodium reabsorption increases in kidneys, intestine, urinary bladder

Intercambio de gases

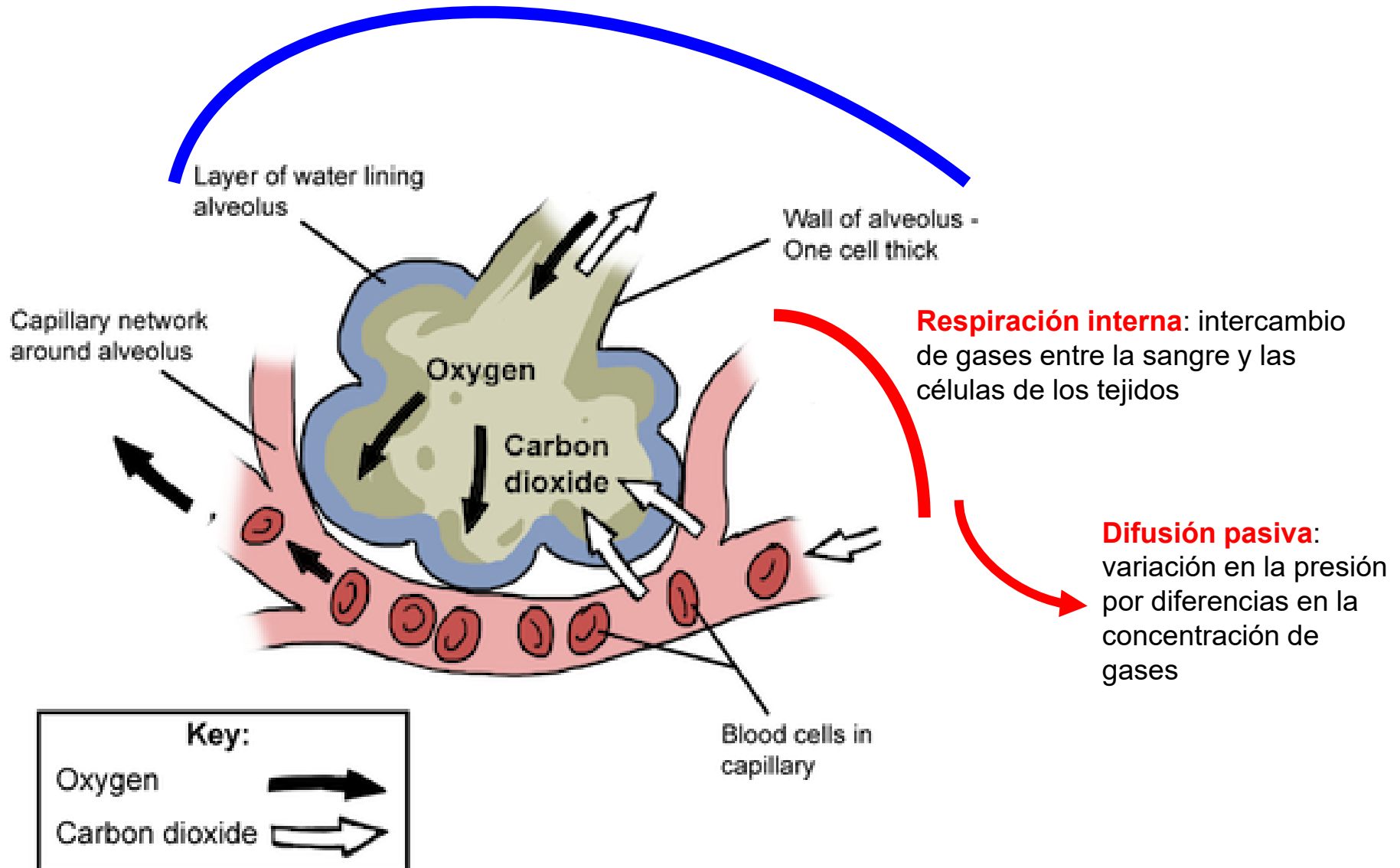
Respiración en animales:
proceso por el cual los
organismos adquieren oxígeno

Esencial para
metabolismo celular

Alimento convertido
a energía vía
procesos oxidativos



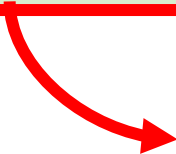
Respiración externa: transferencia de oxígeno desde el medio ambiente a través de la superficie del órgano respiratorio



Diferencias físicas entre agua y aire

Propiedades físicas del agua y del aire a 20°C (pueden variar con temperatura y presión atmosférica)

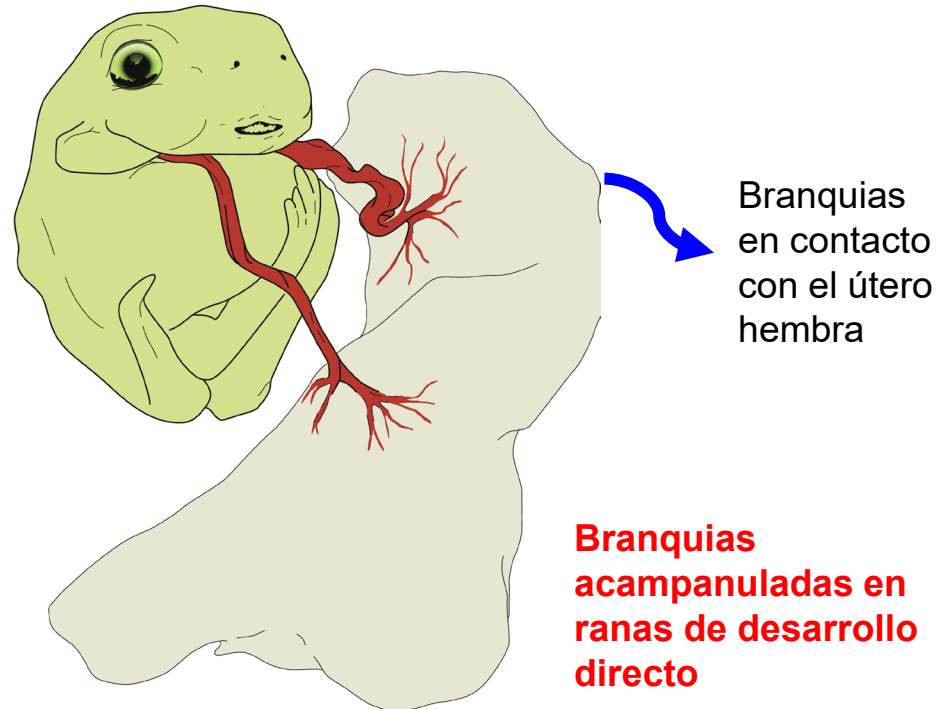
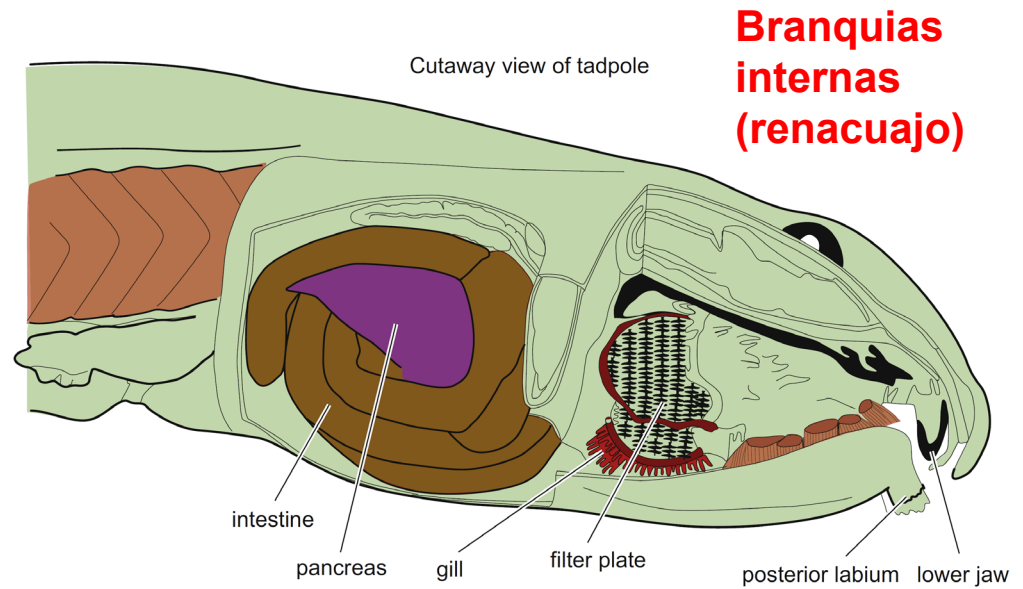
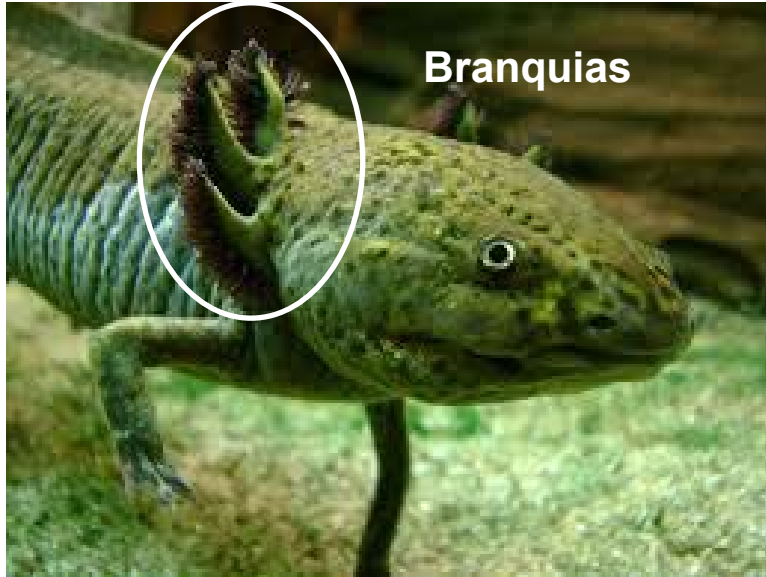
Propiedad	Agua dulce	Aire	Comparación
Densidad	1 kg / L	0.0012 kg / L	Agua 800 veces > que el aire
Contenido O ₂	6.8 ml / L	209 ml / L	En el agua apenas el 3-4% del oxigeno disuelto presente en el aire
Viscosidad	1 mPa / s	0.018 mPa / s	Agua 55 veces > que el aire



Mayor viscosidad del agua genera mayores costos energéticos comparado con el aire

Desventaja respiración aérea: pérdida de agua a partir de superficies respiratorias

Estructuras respiratorias



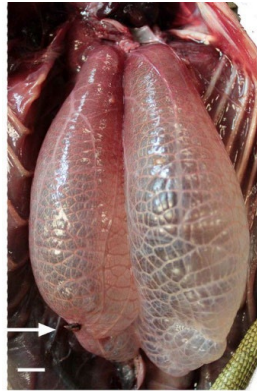
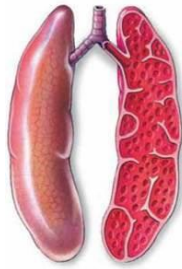
Estructuras respiratorias

Pulmones

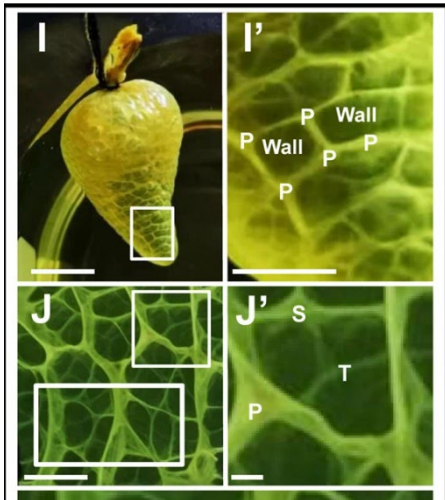
Anfibios



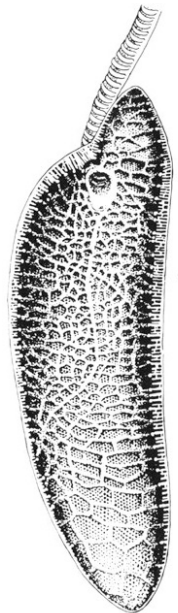
Reptiles



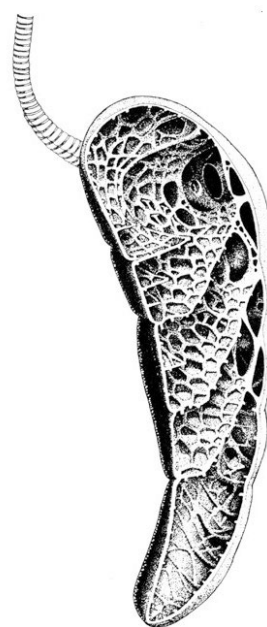
Iguana iguana



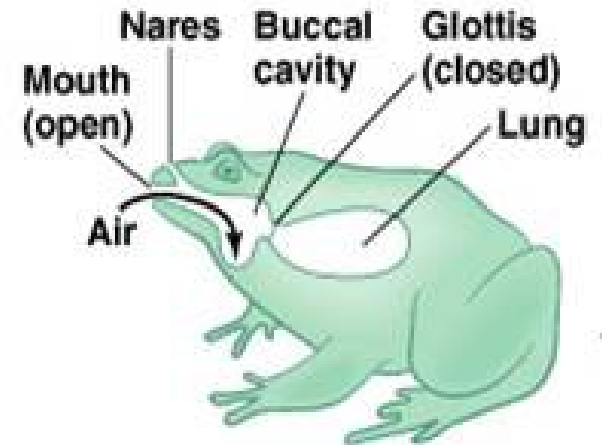
Bufo gargarizans



Tupinambis nigropunctatus



Trachemys scripta



Superficies bucofaríngeas
(bombeo bucofaríngeo)

Integumento

“Pulmón” accesorio

Pliegues dérmicos en *Telmatobius culeus*
(Telmatobiidae; Lago Titicaca)



Pliegues dérmicos en *Cryptobranchus alleganiensis*
(Cryptobranchidae)



Trichobatrachus robustus
(Arthroleptidae; macho - cuidado
de huevos acuáticos – Africa)



Integumento

Dependencia total

Salamandras Plethodontidae

Cecilia *Atretochoana*
(Typhlonectidae)



Bolitoglossa altamazonica



Bolitoglossa medemi

Ensatina

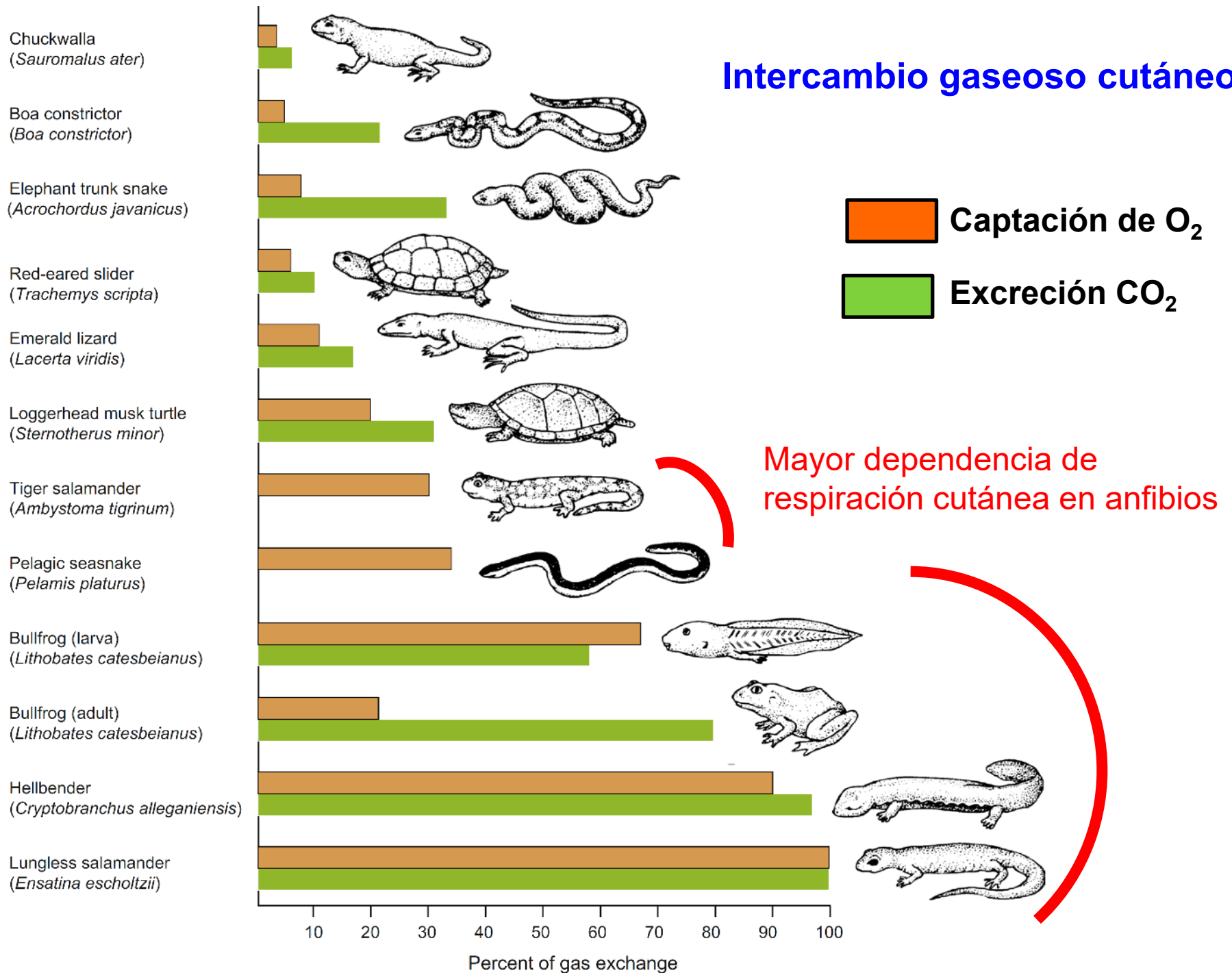


Atretochoana



© Chuck Brown

Intercambio gaseoso cutáneo

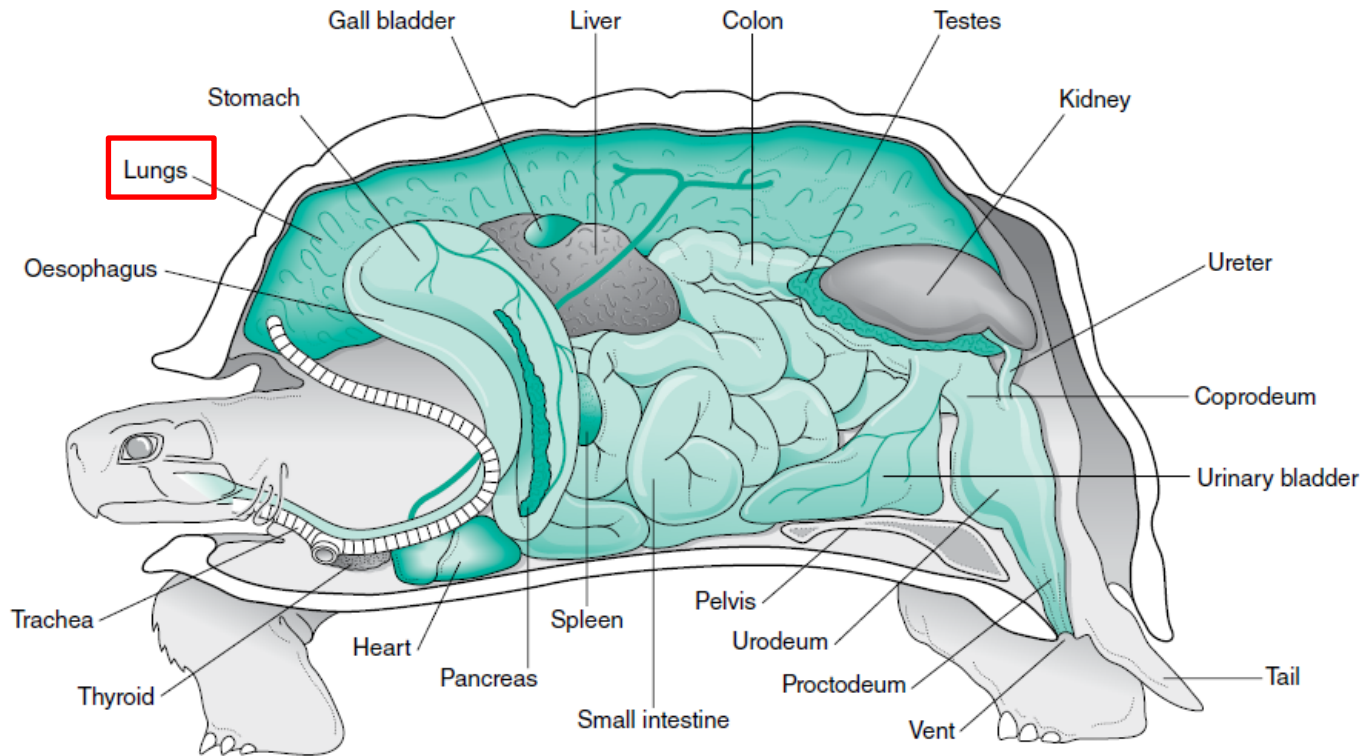


Respiración pulmonar en tortugas

Proceso complejo debido a la rigidez de la concha

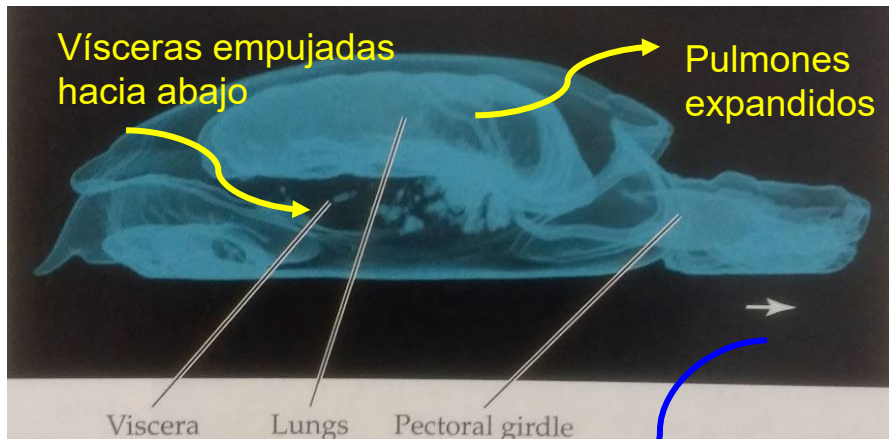
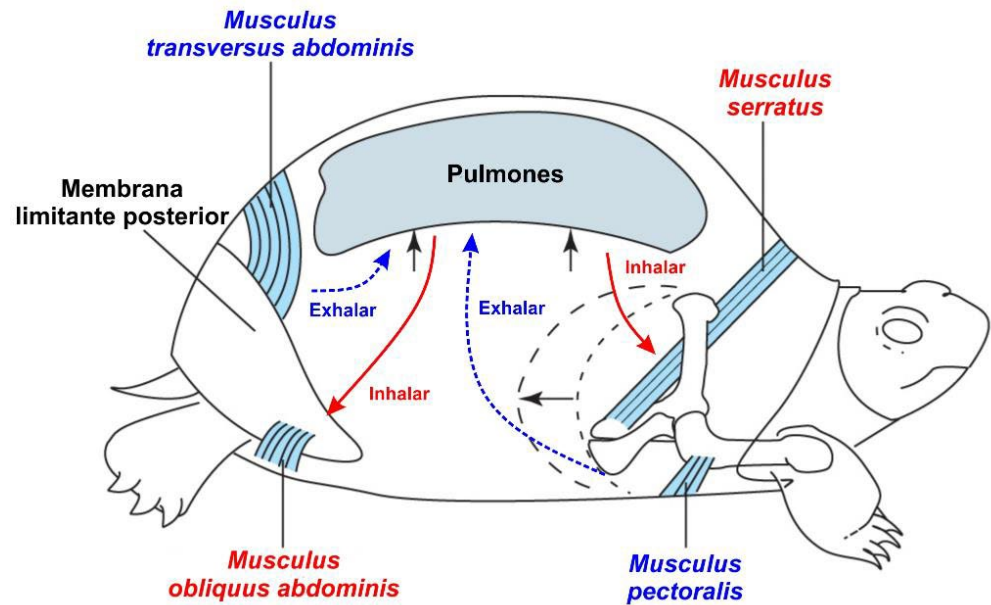
✓ Pulmones grandes

- Adheridos dorsalmente al caparazón
- Lateralmente/ventralmente a lamina de tejido conectivo (“diafragma”)



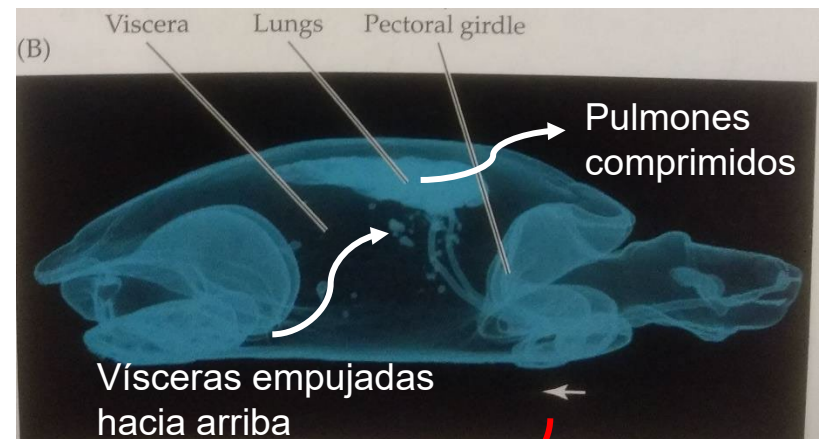
✓ Pulmones no son ventilados por movimiento de la caja torácica

- Ventilación por movimiento de la lamina diafrágica
- Movimiento hacia arriba y debajo de la lamina



Inhalación

Extensión extremidades anteriores hacia adelante



Exhalación

Extensión extremidades anteriores hacia atrás