



Estuche de juegos para el aula en la enseñanza de la evolución biológica a nivel licenciatura



Formatos digitales disponibles para su impresión



GUÍAS DE PROFESOR Y CUADERNOS DE TRABAJO
Eds. Marisol De la Mora Curiel y Maried Ochoa Zavala



“Estuche de juegos para el aula en la enseñanza de la evolución biológica a nivel licenciatura”, De la Mora Curiel M. y Ochoa Zavala M., D. R., ©, 2024, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

Todas las imágenes a excepción de que así lo indique, fueron generadas mediante Canva Pro (https://www.canva.com/es_mx/pro/)

Agradecemos a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) que a través del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) y bajo la clave del proyecto PE200923 nos apoyó en la compra de equipo y materiales para la elaboración de este recurso docente.



2024 Universidad Nacional Autónoma de México.

Autores

Editores

Dra. Marisol De la Mora Curiel
Responsable del proyecto
Conceptualización, elaboración de contenido y obtención de financiamiento.
Profesora de carrera de Tiempo Completo
ENES Juriquilla

Dra. Maried Ochoa Zavala
Co-responsable del proyecto
Elaboración de contenido, edición y revisor del documento final.
Investigadora Asociada de Tiempo completo
ENES Morelia

Participantes

Dr. Jesús Alejandro Franco
Supervisor del proceso de impresión 3D y revisor del documento final.
Profesor de carrera de Tiempo Completo
ENES Juriquilla

Fernanda Guzmán Rodríguez
Elaboración de contenido (juego de adaptación).
Alumna de la Licenciatura en Tecnología, ENES Juriquilla

Jared Sánchez Perea
Encargado de la impresión 3D de todas las piezas de los juegos
Alumno de la Licenciatura en Energías Renovables, ENES Juriquilla

ESTUCHE DE JUEGOS PARA EL AULA EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA A NIVEL LICENCIATURA

TEMAS

ESTUCHE 1

Selección natural y adaptación

- 1.1 Tipos de variación
- 1.2 ¿Cómo funciona la selección natural?
- 1.3 La adaptación

ESTUCHE 2

Genética de poblaciones

- 2.1 Marcadores genéticos
- 2.2 Estructura poblacional
- 2.3 Los cinco factores evolutivos

ESTUCHE 3

Especies y filogenia

- 3.1 ¿Qué son las especies?
- 3.2 Modelos de especiación
- 3.3 Reloj molecular y relaciones evolutivas

ESTUCHE 4

Evolución y desarrollo

- 4.1 Genes Hox
- 4.2 Mecanismos evolutivos en el desarrollo
- 4.3 De moléculas a órganos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) que bajo la clave de proyecto PE20093 nos apoyó en la compra de equipo para la escritura y edición de este documento, además de la compra de equipo y material para la impresión 3D.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

La presente obra está compuesta de doce estuches de juegos independientes entre sí. Cada juego contiene las hojas “Guía de profesor” con instrucciones para quien aplique el juego, “Cuaderno de trabajo” para los alumnos con instrucciones para los jugadores, y piezas de juego en 3D que se utilizarán para la actividad.

GUÍAS DE PROFESOR

Son las hojas imprimibles que integran el título del juego, una breve introducción de la actividad, objetivos de aprendizaje, instrucciones de cómo llevar a cabo la actividad y cómo usar el material en el aula; incluye también respuestas al cuaderno de trabajo de los alumnos y forma sugerida de evaluar la actividad.

CUADERNOS DE TRABAJO

Los cuadernos de trabajo indicarán a los alumnos el procedimiento a seguir dependiendo de la actividad. Estos poseen algunas secciones de llenado de información, análisis de resultados y bibliografía complementaria (que los alumnos pueden consultar para profundizar en el tema). Se recomienda que cada alumno imprima las hojas de trabajo correspondientes, independientemente de que trabajen en equipo o de manera individual según lo indique la actividad.

ESTUCHE DE JUEGOS PARA EL AULA EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA A NIVEL LICENCIATURA

TEMARIO

	Página
ESTUCHE 1 Selección Natural y Adaptación	7
1.1 Tipos de variación Guía de profesor Cuaderno de trabajo	
1.2 ¿Cómo funciona la selección natural? Guía de profesor Cuaderno de trabajo	
1.3 La Adaptación Guía de profesor Cuaderno de trabajo	
ESTUCHE 2 Genética de poblaciones	88
2.1 Marcadores genéticos Guía de profesor Cuaderno de trabajo	
2.2 Estructura poblacional Guía de profesor Cuaderno de trabajo	
2.3 Los cinco factores evolutivos Guía de profesor Cuaderno de trabajo	

ESTUCHE DE JUEGOS PARA EL AULA EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN
BIOLÓGICA A NIVEL LICENCIATURA

TEMARIO

Página

ESTUCHE 3

Especies y filogenia

135

3.1 ¿Qué son las especies?

Guía de profesor

Cuaderno de trabajo

3.2 Modelos de especiación

Guía de profesor

Cuaderno de trabajo

3.3 Reloj molecular y relaciones evolutivas

Guía de profesor

Cuaderno de trabajo

ESTUCHE 4

Evolución y desarrollo

174

4.1 Genes Hox

Guía de profesor

Cuaderno de trabajo

4.2 Mecanismos evolutivos en el desarrollo

Guía de profesor

Cuaderno de trabajo

4.3 De moléculas a órganos

Guía de profesor

Cuaderno de trabajo

Selección natural y adaptación

1. Tipos de variación

Variación biológica en distintos ambientes

Introducción

La dinámica plantea que los alumnos puedan recuperar la variación biológica en distintas características de historia de vida. Manejarán y reforzarán conceptos como variación, características, *aptitud biológica* y *adaptación*.

Objetivos de aprendizaje

Que los alumnos puedan reconocer la variación en los seres vivos.

Que los alumnos aprendan a registrar la variación biológica.

Que los alumnos hagan un ejercicio de interpretación de esta variación.

Material

20 flores de plástico (a manera de muñecas rusas, cada una con 5 flores más en su interior)

En caso de no contar con las de plástico. Se anexan las tarjetas de las 20 flores con los datos que deben recabar los alumnos. Recortarlas antes del ejercicio y entregarlas a los alumnos.

Pista para el profesor.

Flores 1-10 adaptados al ambiente de sombra.

Flores 11-20 adaptados al ambiente de soleado.

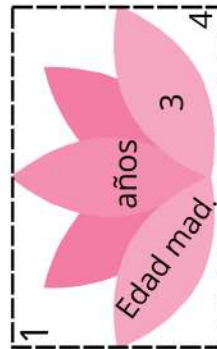
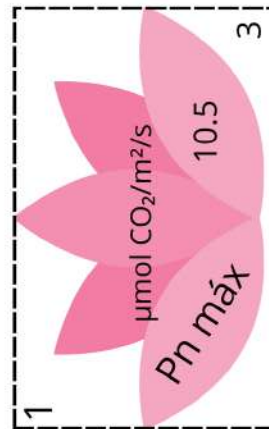
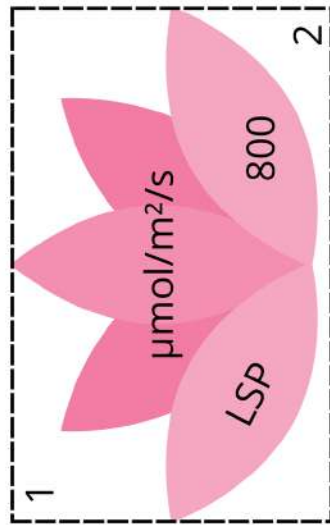
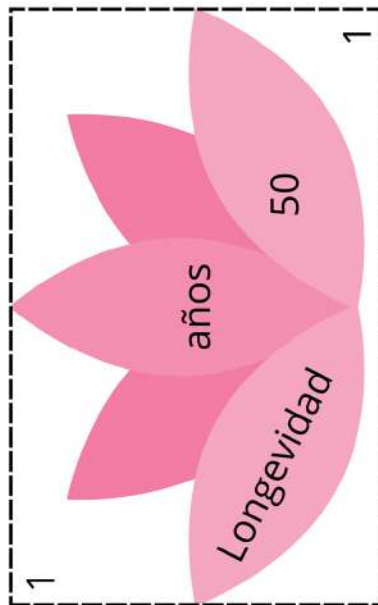
Cuaderno de trabajo de los estudiantes:

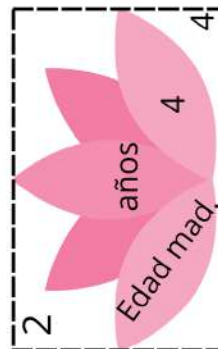
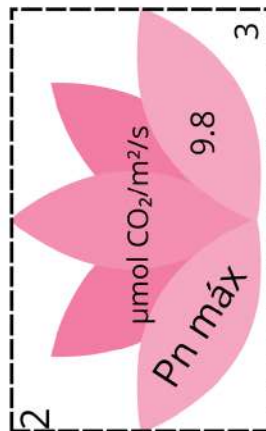
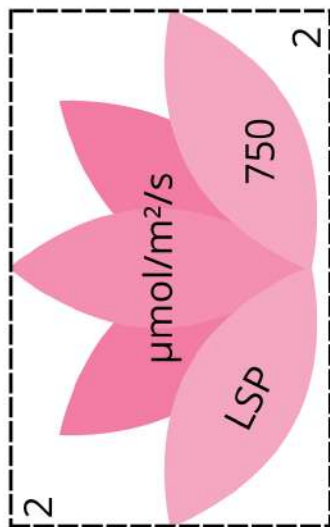
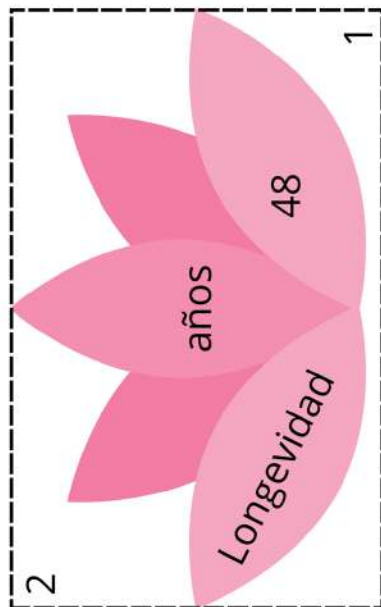
“Variación biológica en distintos ambientes”.

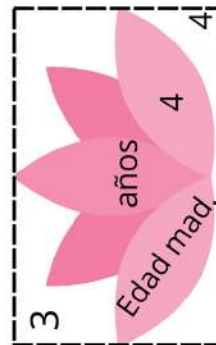
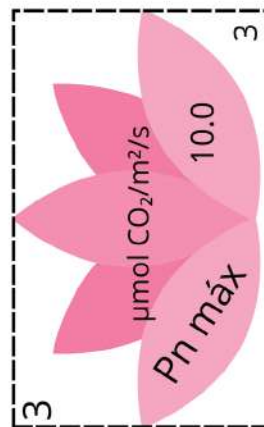
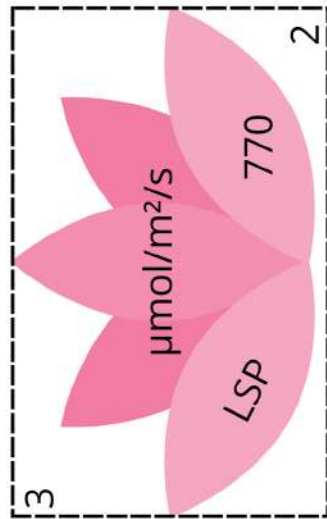
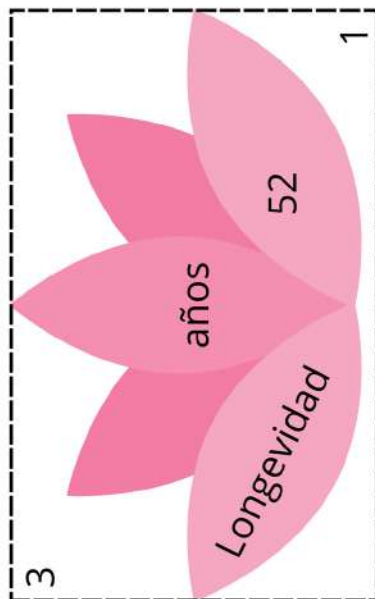
Tiempo estimado

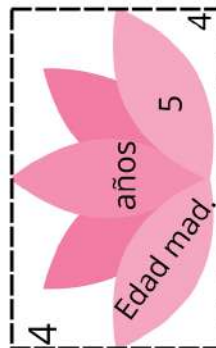
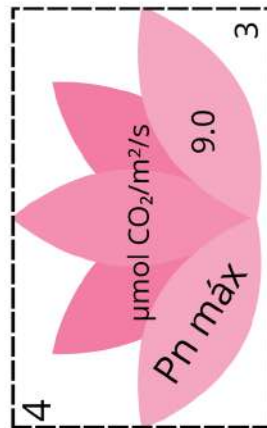
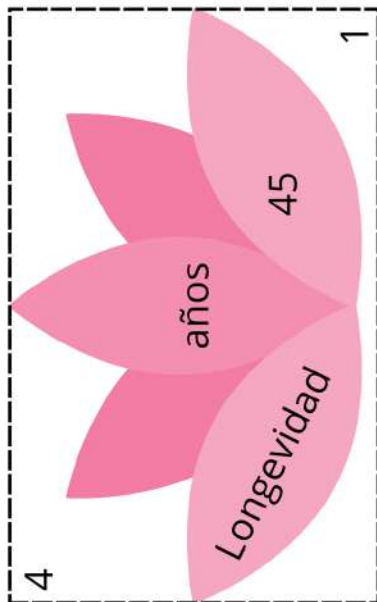
30-40 minutos

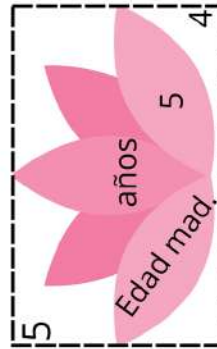
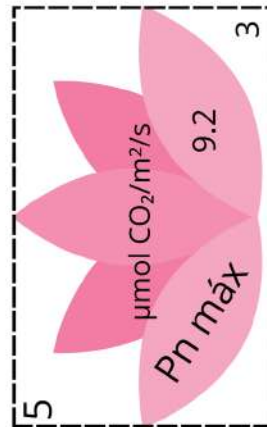
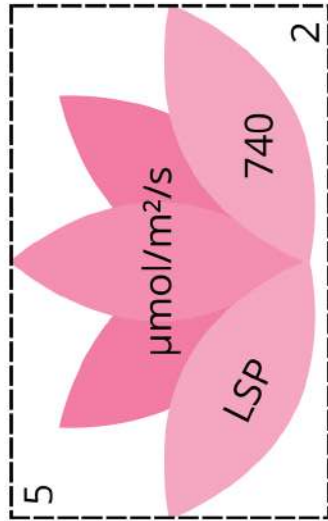
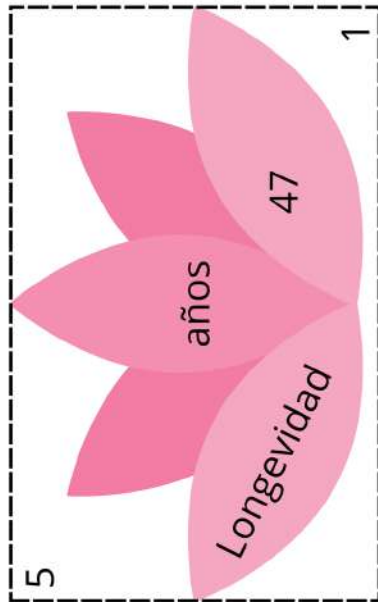


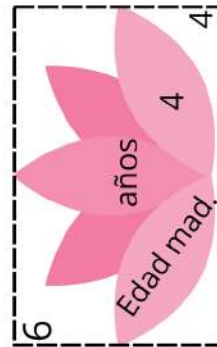
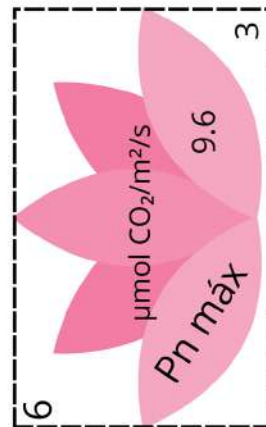
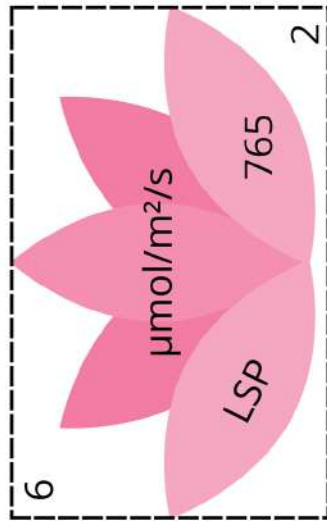
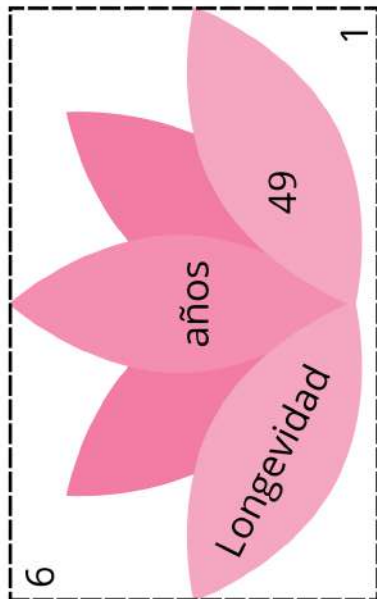


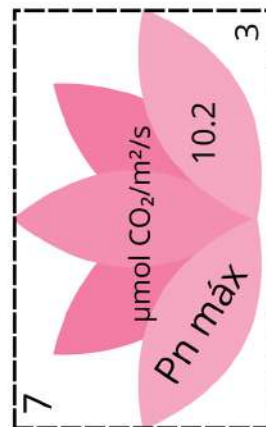
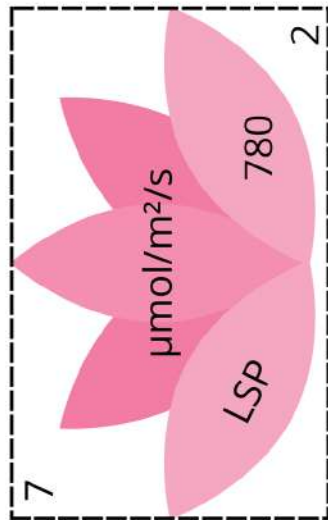
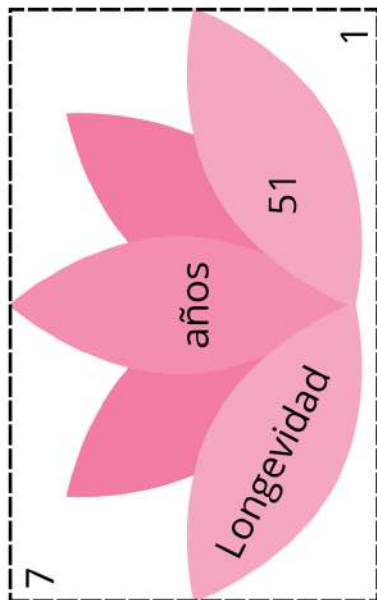


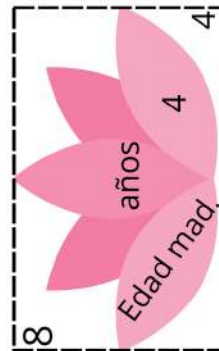
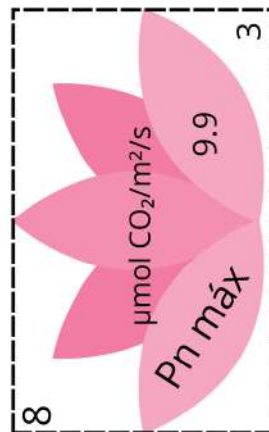
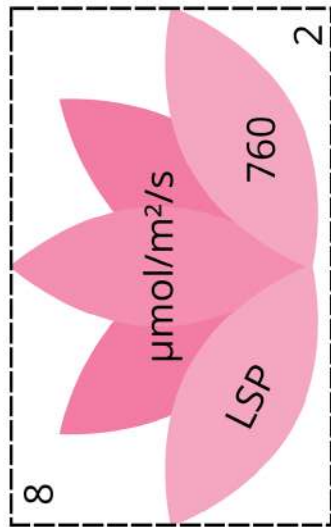
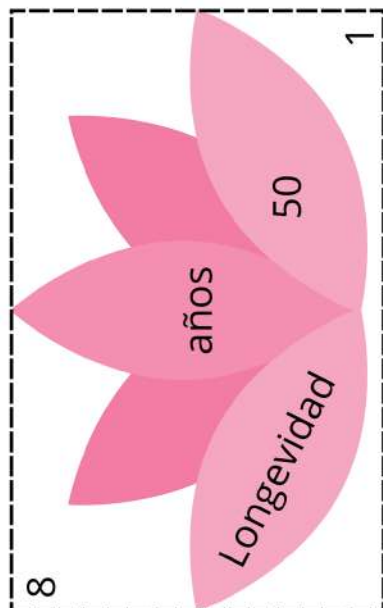


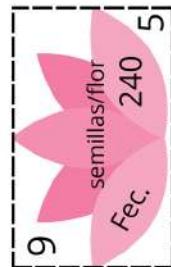
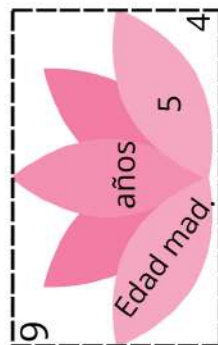
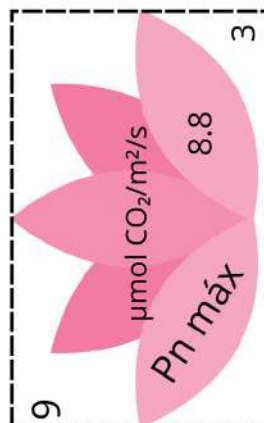
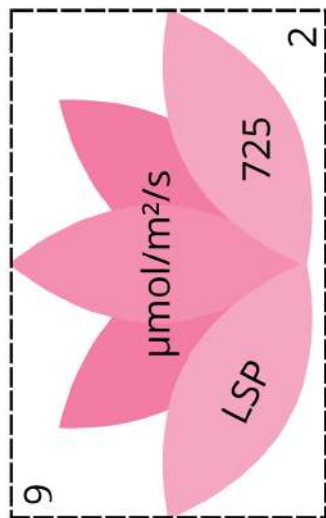
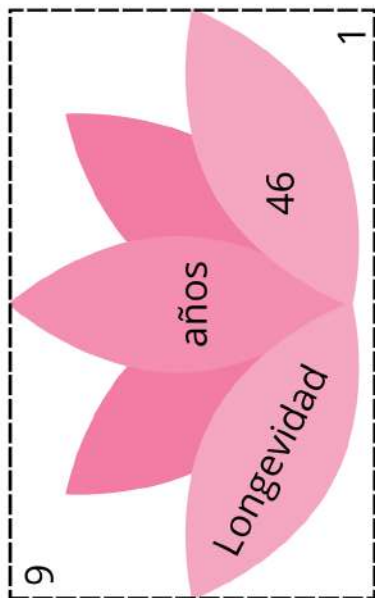


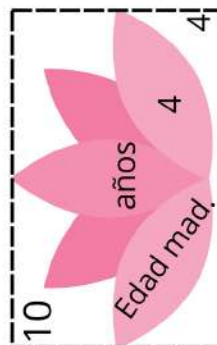
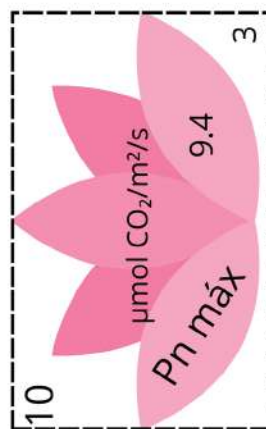
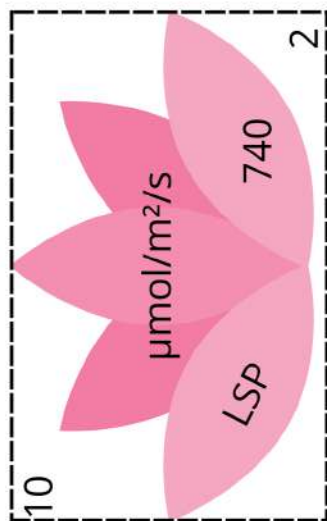
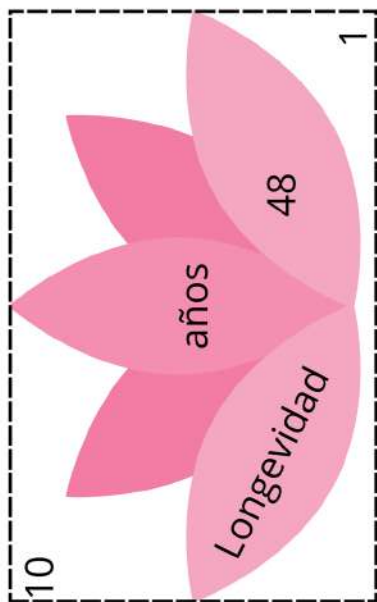


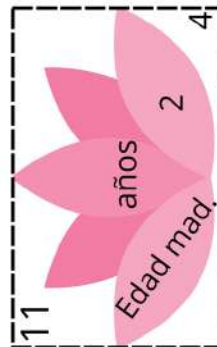
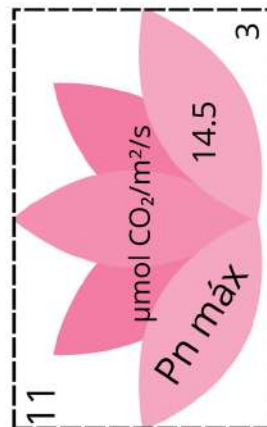
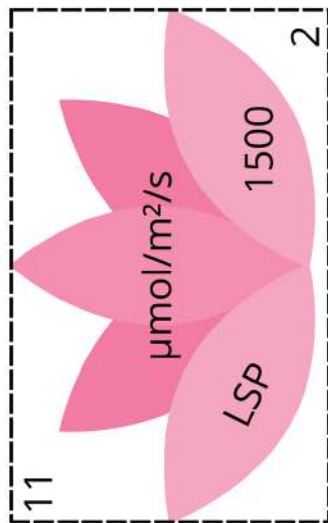
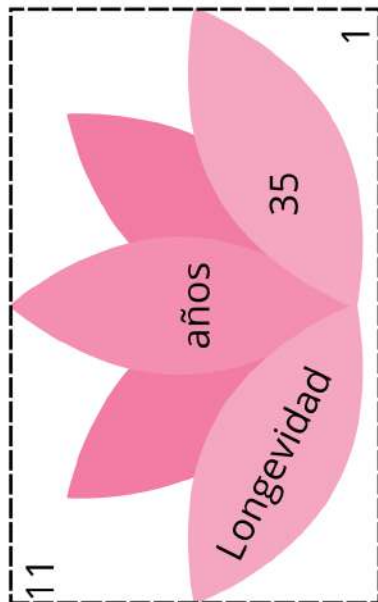


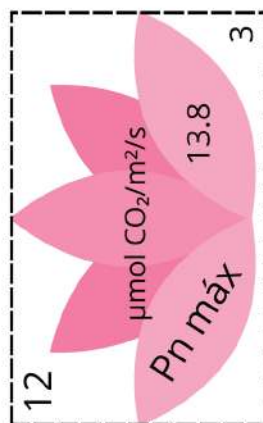
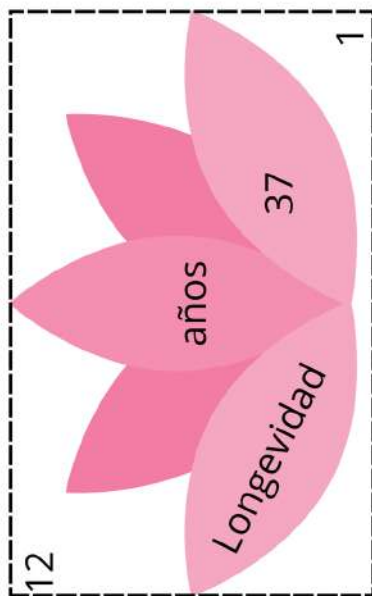


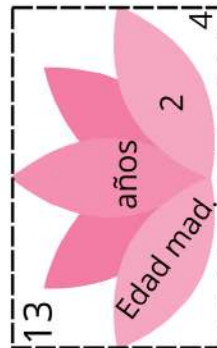
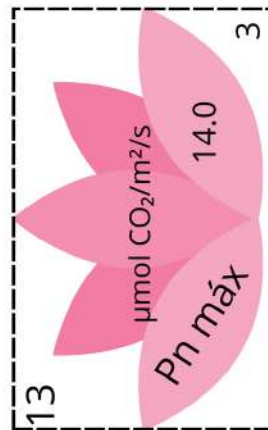
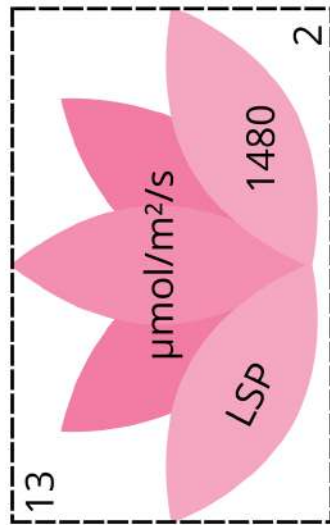
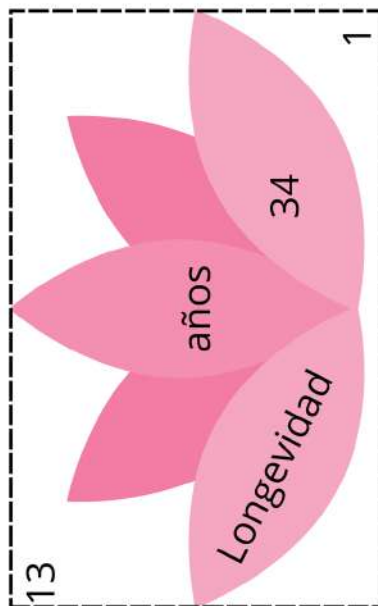


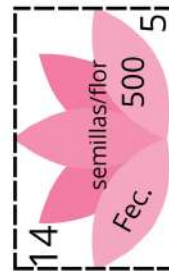
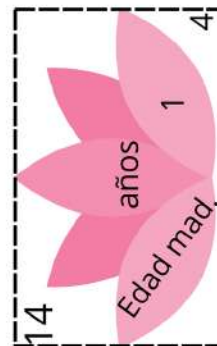
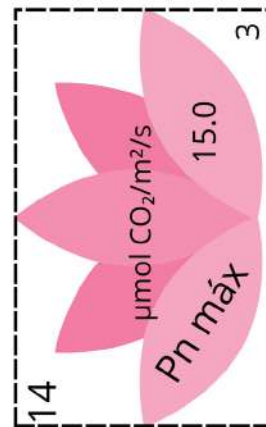
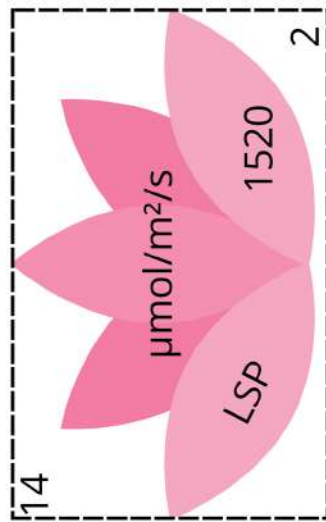
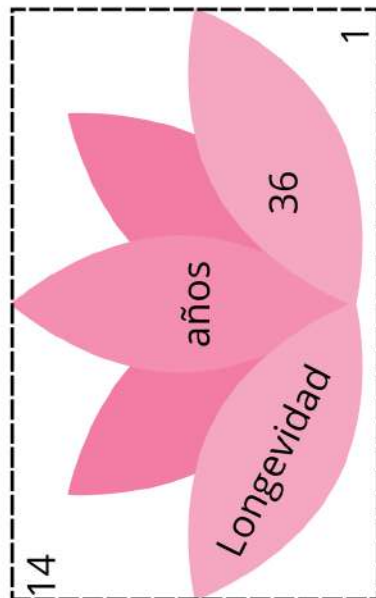


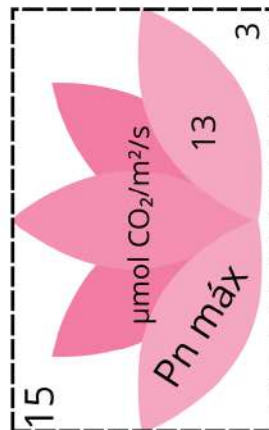
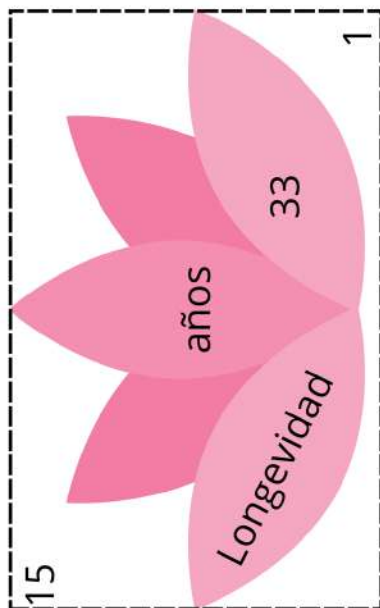


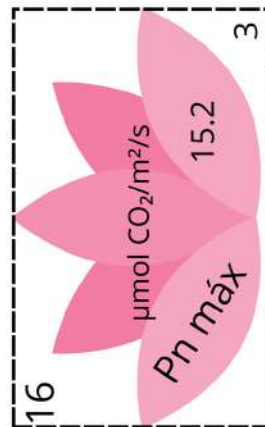
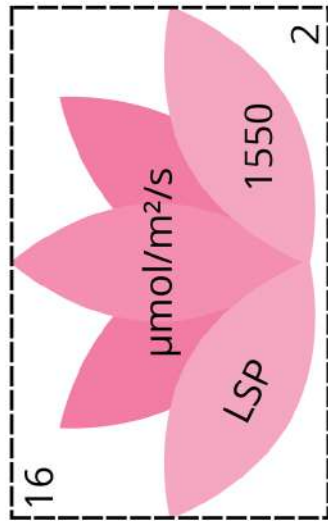
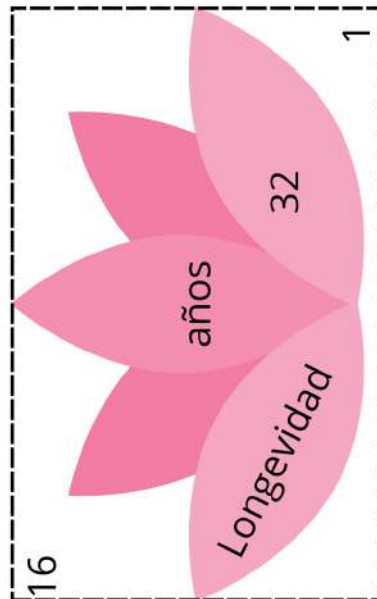


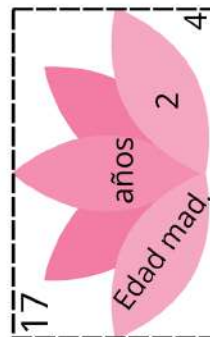
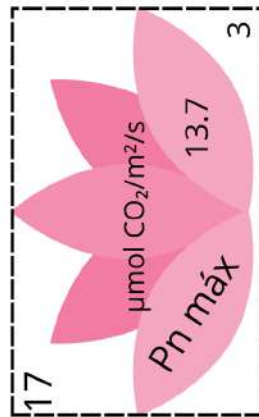
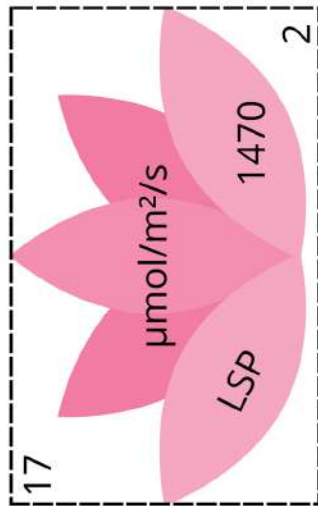
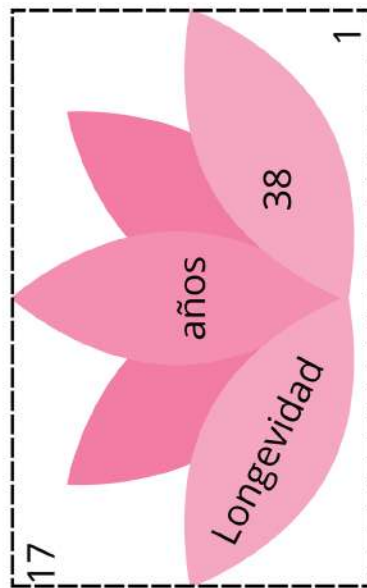


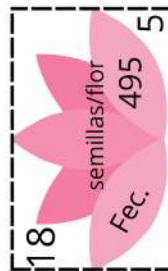
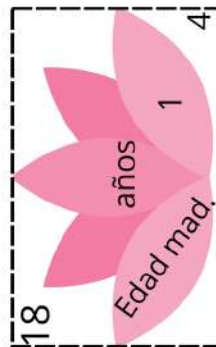
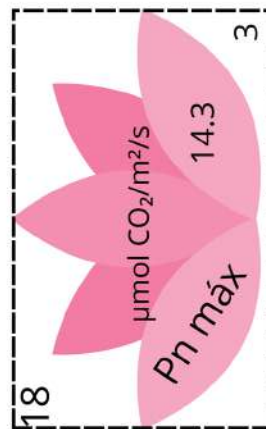
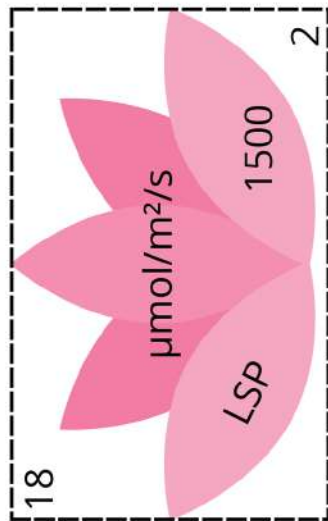
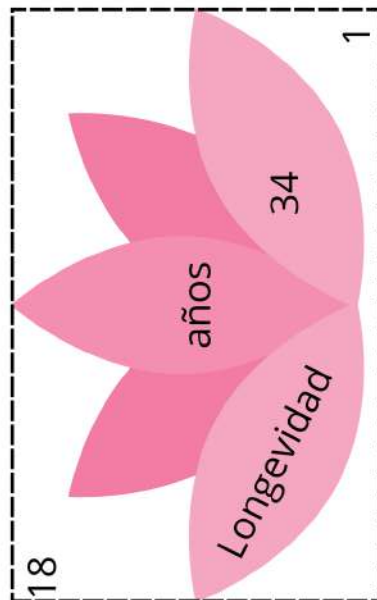


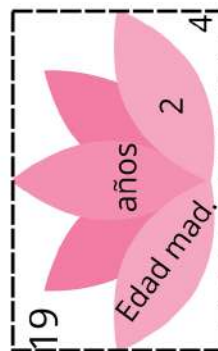
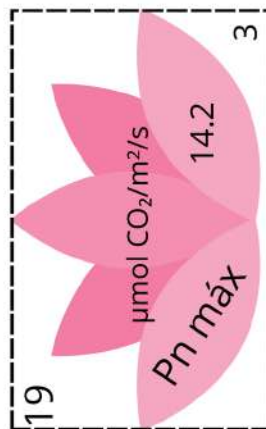
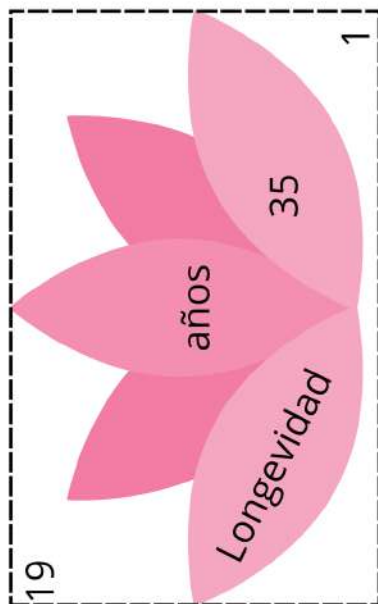


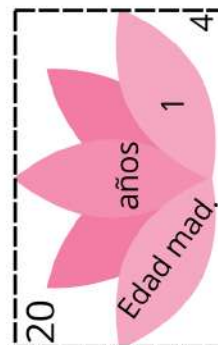
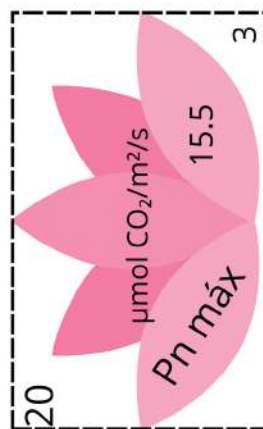
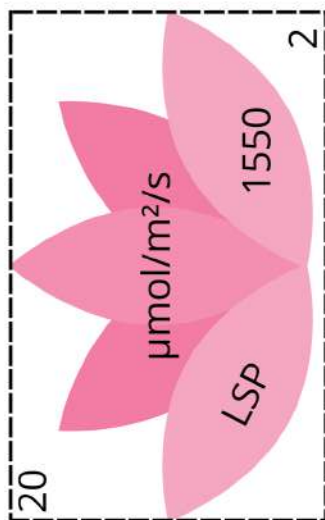
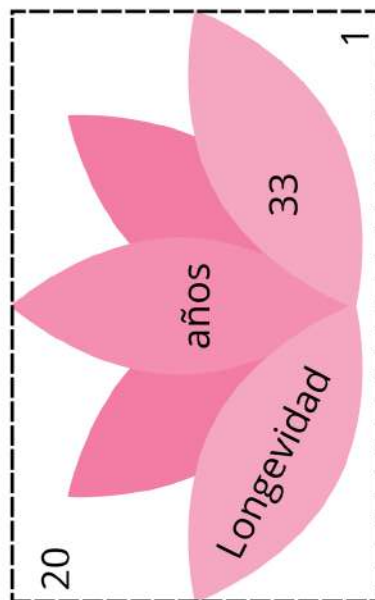












Instrucciones

- 1.- Divida al grupo en cuatro equipos; asignar dos equipos al ambiente sombreado y dos al ambiente soleado.
- 2.- Distribuya una copia del cuaderno de trabajo “Variación biológica en distintos ambientes” a cada equipo.
- 3.- Entregar a cada equipo 5 flores.
- 4.- Leer las instrucciones de la hoja de trabajo.
- 5.- Los alumnos deben registrar la variación de las 6 características.
- 6.- Favorecer que los alumnos compartan sus resultados.
- 7.- Discutir cuál de las poblaciones es la más variable y en determinado caso, qué poblaciones convendría conservar considerando su viabilidad en el tiempo evolutivo.
- 8.- El registro de la variación deberán realizarlo en la tabla disponible en el cuaderno de trabajo de esta actividad.

Forma de evaluación

Calificar la tabla, las preguntas y evaluar la argumentación de la discusión, considerando los siguientes puntos:

- 1.- Construcción de argumentos con base en la evidencia registrada en las tablas de registro.
- 2.- Calificar el cuestionario del cuaderno de trabajo.

Literatura citada

No se citó literatura.

Nombre: _____
Equipo _____ -

Selección natural y adaptación

1. Tipos de variación

Variación biológica en distintos ambientes

Introducción

La variación en las características de los organismos es la materia prima de la evolución. Estas características pueden ser codificadas genéticamente y en cierta medida podrían ser influenciadas por el ambiente. Es importante reconocer la variación biológica y poder registrarla para diversos fines, como conservación y uso de los recursos naturales.

Las historias de vida dependen en parte de características asociadas a la aptitud biológica. En términos generales, la aptitud biológica se define como la supervivencia y reproducción de las especies. Dentro de estas características que componen la aptitud biológica están: la fecundidad, supervivencia y algunos aspectos de su reproducción, como la edad de maduración, la inversión reproductiva, el periodo reproductivo y el envejecimiento. Estas características han evolucionado con el tiempo como posibles adaptaciones a los distintos ambientes en que se distribuyen los organismos (Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

Es de esperar que estas características varíen entre poblaciones de una misma especie que se distribuye en distintos hábitats. En la flor de loto, *Nelumbo nucifera*, se ha registrado que la eficiencia fotosintética, punto de saturación de luz y tasa de respiración en la oscuridad varían entre poblaciones que se encuentran en distintos hábitats; Una diferencia clave entre distintas poblaciones de esta flor es la cantidad de sombra, ya que la flor puede distribuirse en hábitats soleados o sombreados (Lin et al. 2019).



Nombre: _____
Equipo _____

Este ejercicio consiste en registrar la variación en seis características de la historia de vida de *Nelumbo nucifera*, una especie de flor de loto, cuyas poblaciones se encuentran distribuidas en ambientes expuestos al sol o en la sombra, para describir cómo difieren estas características e identificar qué características reflejan una adaptación a esos hábitats. Las características están definidas como: longevidad (edad máxima reportada en la población en años), punto de saturación a la luz (LSP), máxima tasa fotosintética (Pn max), edad de maduración (años), número medio de semillas por flor (fecundidad) y número de flores por planta (Nf).

Procedimiento

- 1.- Formen equipos y reciban las flores de plástico.
- 2.- Registra la variación para cada característica de tu población de flores en la tabla de abajo.
- 3.- Grafica tus resultados por hábitat (soleado o sombreado).
- 4.- Comparte y compara tus resultados con el resto de los equipos, analiza tus resultados y discútelos con tus compañeros.
- 5.- Responde las preguntas de la página siguiente.

Hábitat	Característica					
flor	Longevidad	LSP	Pn máx	Edad de maduración	Fecundidad	Nf
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Nombre: _____
Equipo _____

Análisis de resultados

1.- *¿Qué carácter es el más variable en tu población?*

2.- *¿Qué características parecen estar asociadas a cierto tipo de hábitat y por qué?*

3.- *Comparando los resultados de tus compañeros ¿qué población es la más variable?*

3.- *¿De qué forma las características pueden representar ventajas en el ambiente soleado o sombreado?*

Bibliografía citada

Futuyma D.J. and M. Kirkpatrick (2017) *Evolution*. 4ed Sinauer Associates Inc. USA

Lin, Z., Zhang, C., Cao, D., Damaris, R. N., & Yang, P. (2019). The latest studies on lotus (*Nelumbo nucifera*)-an emerging horticultural model plant. *International journal of molecular sciences*, 20(15), 3680.

Selección Natural y Adaptación

2. ¿Cómo funciona la selección natural?

Crisis y camuflaje para evitar la depredación

Introducción

Por medio del juego los alumnos aprenderán que la selección natural es el único proceso evolutivo que da lugar a las adaptaciones.

Objetivos de aprendizaje

Los alumnos comprobarán que la evolución por selección natural es un proceso determinista que da lugar a las adaptaciones.

Observar el impacto en el fitness de los organismos que portan las adaptaciones.

Material

80 camaleones con distintos patrones de camuflaje (4 tipos diferentes), 4 tableros donde se esconden los camaleones. Los camaleones tendrán un determinado número de huevos que determinan el fitness de cada individuo. 4 pinzas para depredar camaleones. 1 reloj o cronómetro (**no incluido**).

Los camaleones se encuentran en la siguiente hoja, recortarlos y pegar atrás un huevo.

El huevo indica el número de huevos que porta el camaleón. En seguida se encuentran los cuatro tableros.

Cuadernos de trabajo de los estudiantes “Crisis y camuflaje para evitar la depredación”.

Tiempo estimado

30-40 minutos

Instrucciones

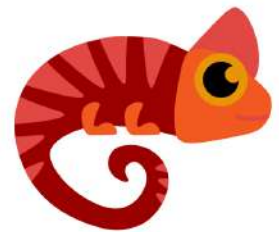
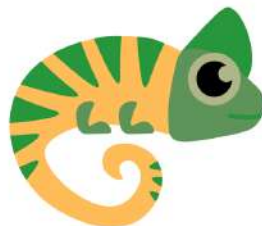
- 1.- Indique la formación de cuatro grupos.
- 2.- Indicar que uno de ellos asumirá el rol de depredador de camaleones y portará las pinzas para depredar.
- 3.- Repartir un tablero y 20 camaleones por equipo (5 de cada tipo).
- 4.- Colocar los camaleones en el tablero y algunos se camuflarán, el depredador tiene 3 segundos para comer los que más pueda con las pinzas.
- 5.- Al final de cada ronda se cuantificarán el número de huevos por camaleón sobreviviente.
- 6.- Alternar el rol de depredador entre los alumnos y registrar los sobrevivientes y el número de huevos que portan. Repetir los pasos del 1 al 5 hasta que cada alumno haya jugado el rol de depredador.
- 7.- Analicen los datos y los grafiquen en el cuadernillo de respuestas.

Forma de evaluación

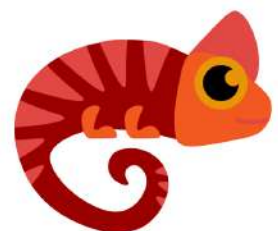
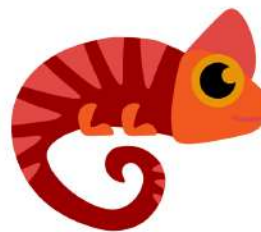
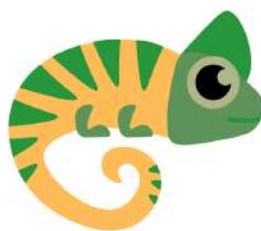
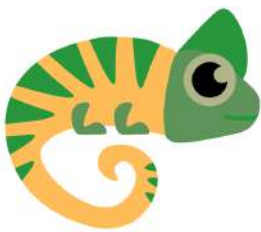
Calificar las gráficas de fitness de los alumnos y la discusión del mecanismo de la selección natural.

Literatura citada

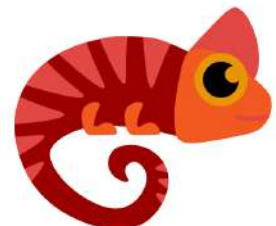
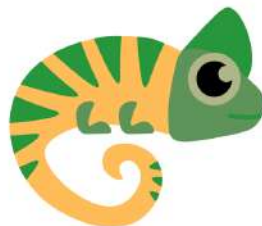
No se citó literatura.



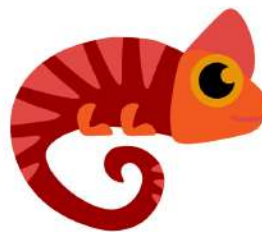
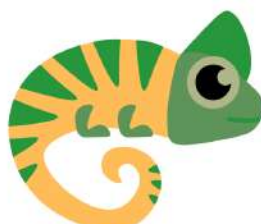
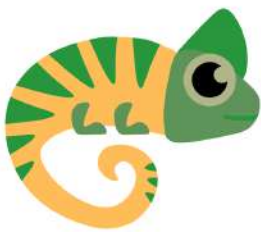
2 3 4 5 6 7 8 9



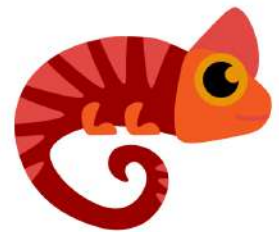
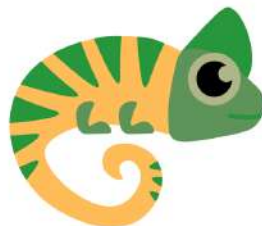
2 3 4 5 6 7 8 9



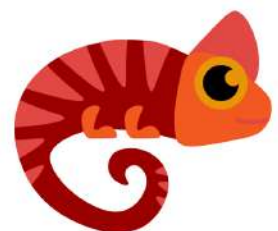
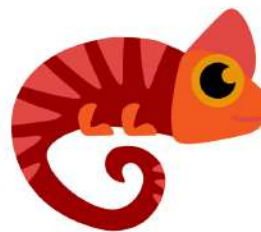
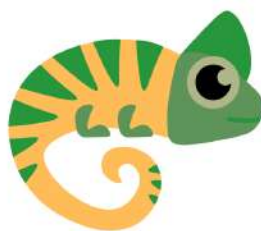
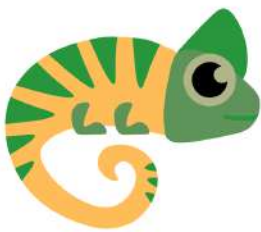
2 3 4 5 6 7 8 9



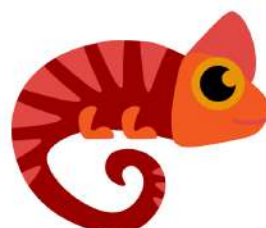
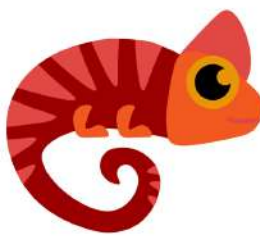
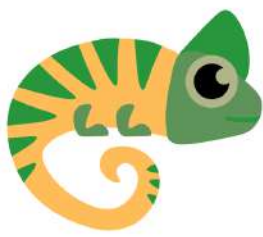
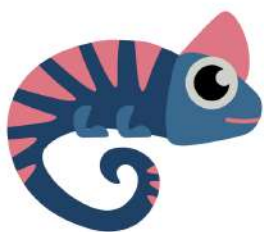
2 3 4 5 6 7 8 9



2 3 4 5 6 7 8 9



2 3 4 5 6 7 8 9



2

3

4

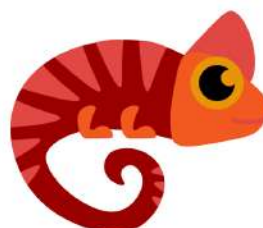
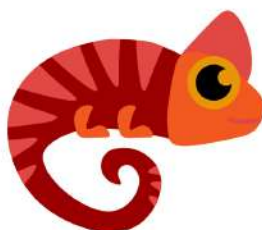
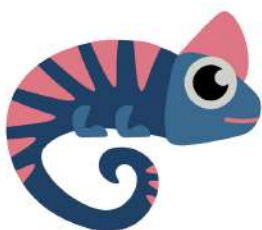
5

6

7

8

9



2

3

4

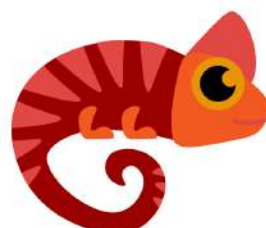
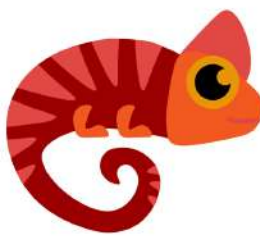
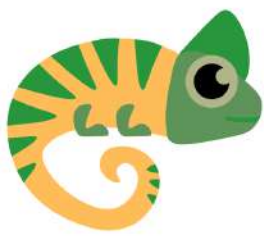
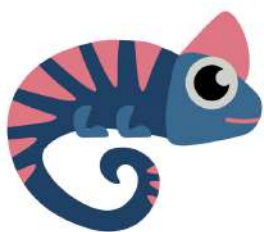
5

6

7

8

9



2

3

4

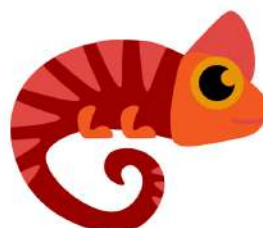
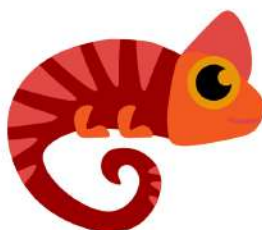
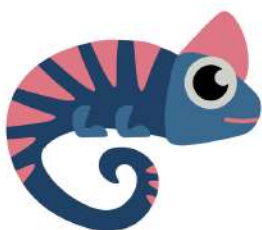
5

6

7

8

9



2

3

4

5

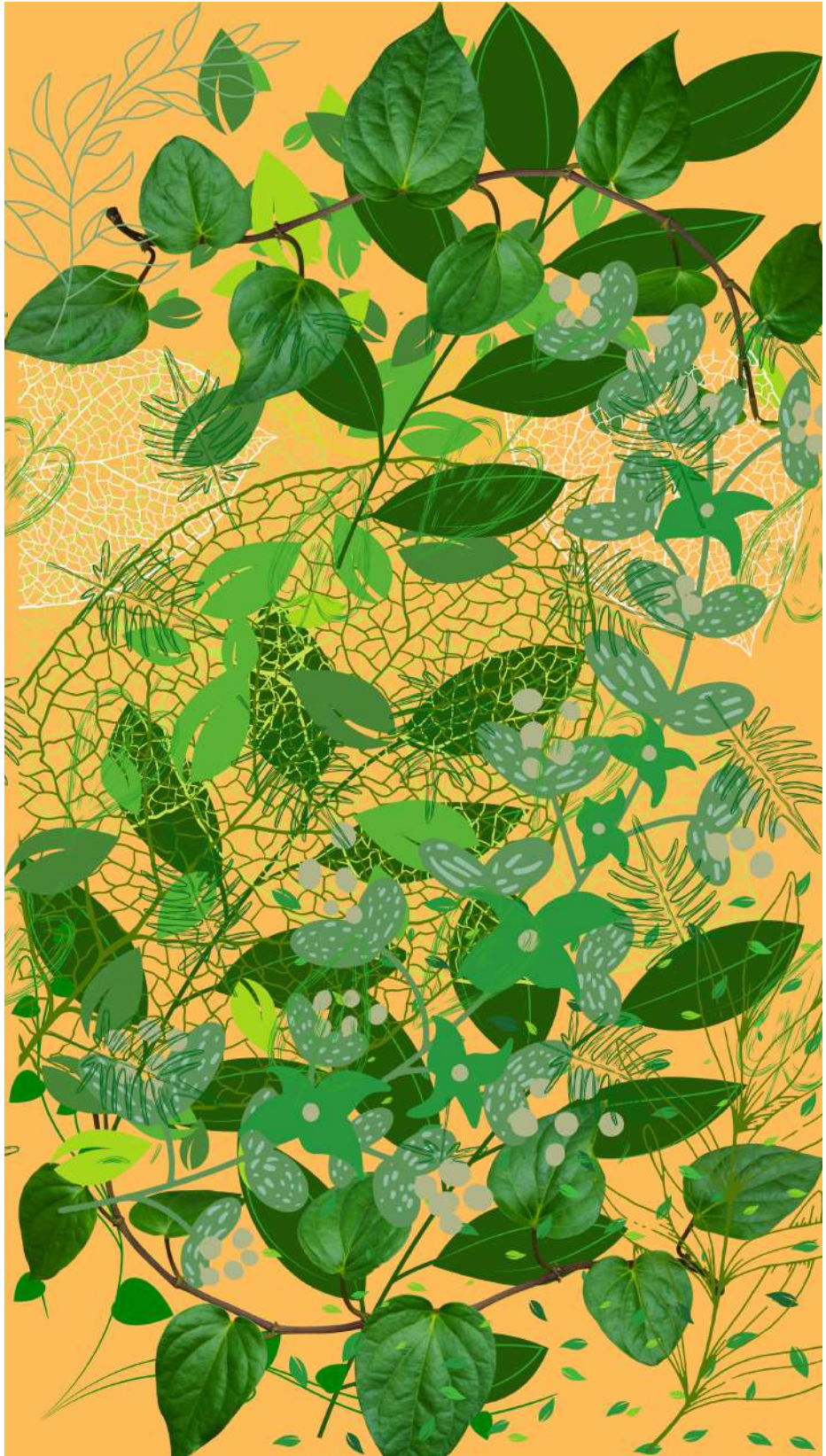
6

7

8

9







Tablero 4 Frutos



Nombre: _____
Equipo: _____

Selección Natural y Adaptación

2. ¿Cómo funciona la selección natural?

Cripsis y camuflaje para evitar la depredación.

Introducción

La aptitud biológica tiene muchos componentes. En términos simplificados se mide el éxito reproductivo como número de descendientes que deja cada individuo para la siguiente generación. Los individuos mejor adaptados sobreviven más y, por lo tanto, dejan más descendencia respecto a otros individuos menos adaptados (Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

La depredación es considerada una fuerza selectiva muy importante. Por ello, diversas estrategias han evolucionado para poder evadirla. Una de estas estrategias es la cripsis, en la cual, el patrón de coloración de la presa se asemeja a una muestra aleatoria de su hábitat, o a algo que usualmente no es considerado una presa (Ruxton et al., 2019).

Los camaleones se caracterizan por poder cambiar de color asemejándose al entorno en el que se encuentran, esto hace que puedan hacer uso de la cripsis para evadir la depredación. Es un mecanismo evolutivo muy importante que constantemente está sujeto a selección porque aquellos camaleones que no puedan camuflarse en el ambiente pueden tener un alto riesgo de depredación (Stuart-Fox & Moussalli, 2008).



Nombre: _____
Equipo _____

Este ejercicio consiste en cuantificar la aptitud biológica (fitness) de los camaleones que presentan distintos patrones de coloración en determinados hábitats.

Procedimiento

- 1.- Elijan a un integrante del equipo para que juegue el rol de depredador, este rol se alternará por cada alumno.
 - 2.- Coloquen el tablero en el centro de los jugadores.
 - 3.- Pongan un cronometro a 3 segundos y enciéndanlo
 - 4.- Los 20 camaleones estarán repartidos entre los otros alumnos del equipo y los colocarán en el tablero al mismo tiempo.
 5. El depredador tiene que tomar con las pinzas todos los camaleones que pueda en los 3 segundos.
 - 6.- Registrar el número de camaleones sobrevivientes y su descendencia usando la tabla de la página siguiente.
- Repetir los pasos del 1 al 6 por cada alumno.
- 7.- Reúnan todos los resultados de los tableros y cuantifiquen la aptitud biológica contando los sobrevivientes por tipo de camaleón y el número de huevos dentro de cada tablero.
 - 8.- Registrar en un gráfico de barras los resultados obtenidos.

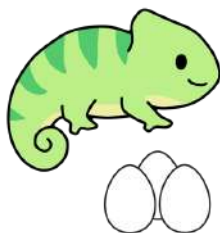
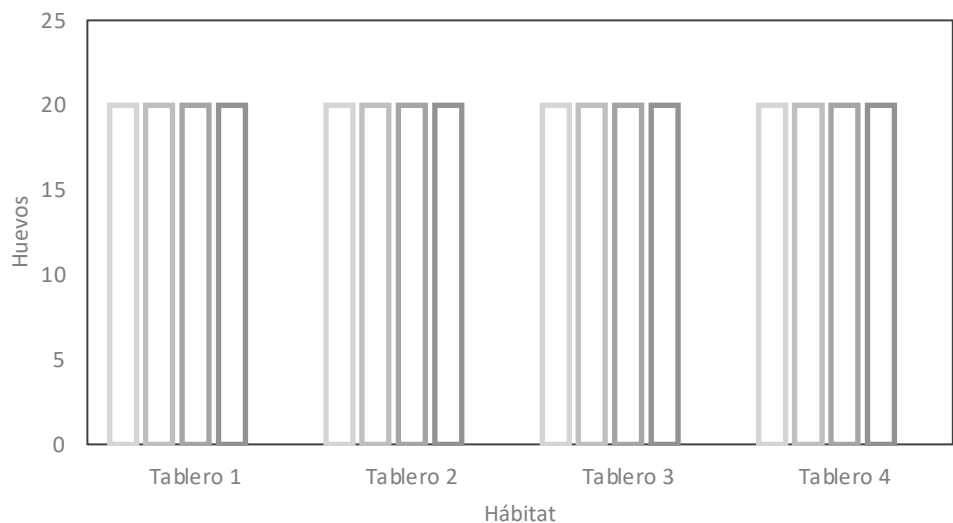


Nombre: _____
 Equipo _____

Tablero : _____

	Tipo de camaleón			
Total	1	2	3	4
Sobrevivientes				
Huevos				

Fitness x hábitat x tipo de camaleón



Cuaderno de trabajo
Selección natural y adaptación
2. ¿Cómo funciona la selección natural?

Nombre: _____
Equipo _____ -

Análisis de resultados

1.-¿Es el color una característica adaptativa para los camaleones?

2.-¿Qué camaleón tuvo un fitness mayor al finalizar todas las rondas de selección?

3.- ¿Podrías estimar un coeficiente de selección por color?

Bibliografía citada

Futuyma D.J. and M. Kirkpatrick (2017) *Evolution*. 4ed Sinauer Associates Inc. USA

Ruxton, G. D., Allen, W. L., Sherratt, T. N., & Speed, M. P. (2019). *Avoiding attack: the evolutionary ecology of crypsis, aposematism, and mimicry*. Oxford university press.

Stuart-Fox, D., & Moussalli, A. (2008). Selection for social signalling drives the evolution of chameleon colour change. *PLoS biology*, 6(1), e25

Selección Natural y Adaptación

3. La adaptación

¿Por qué las aves poseen diferentes tipos de picos?

Introducción

El objetivo de esta actividad es que los alumnos comprendan que las condiciones ambientales no se mantienen estables a lo largo del tiempo y, por lo tanto, éstas pueden resultar en la aparición o desaparición de poblaciones y especies. Sin embargo, para que una población sobreviva a los cambios en el ambiente debe existir variación genética, misma que se hereda de generación en generación, y sobre la cual los mecanismos evolutivos actúan. Un buen ejemplo son las islas del archipiélago de las Galápagos, un conjunto de islas geológicamente nuevas formado hace 14 millones de años. En el archipiélago habitan 14 especies de pinzones, cada una con un pico diferente, lo que implica diferentes hábitos alimenticios. Todos los pinzones comparten un ancestro común, divergiendo genéticamente debido al aislamiento geográfico. Los pinzones se adaptaron a diferentes hábitats y nichos, exhibiendo diferencias en el pico, color de su plumaje, el tamaño de sus alas, sus órganos, el comportamiento y canto.

Es recomendable que los estudiantes estén familiarizados con temas básicos de selección natural, evolución, nicho, hábitat, adaptación y genética.

Objetivos de aprendizaje

El alumno comprenderá los conceptos de selección natural, adaptación, variación y evolución.

El alumno hará uso de estos conceptos y los aplicará para el diseño de un pinzón adaptado a un hábitat particular.

Al final de esta actividad el alumno deberá ser capaz de explicar la especiación alopátrica.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Duración de la actividad: 45 minutos.

El juego consta de dos etapas de aprendizaje:

1. Asimilación: Durante esta etapa los alumnos analizan y estudian la información obtenida durante la actividad.
2. Resolución: Los alumnos deciden cuáles son sus mejores opciones para diseñar su pinzón.

Material

El juego incluye material para cuatro equipos. Cada equipo debe contener lo siguiente:

- 1 mapa
- 1 tablero de pinzón
- 22 tarjetas descriptivas del hábitat y las adaptaciones
- 16 piezas de rompecabezas para armar un pinzón

Cada mapa representa a una isla del archipiélago de las Galápagos, brindando al alumno un apoyo visual sobre el ecosistema de la isla.

Las 22 tarjetas contienen información específica sobre las características de la isla (clima, flora, fauna, etc.) y las adaptaciones del cuerpo del pinzón.

En el tablero de juego con forma de pinzón es donde los alumnos deben diseñar su propio modelo de pinzón según las características del entorno de su isla. Son 16 piezas en total, cada una representa diferentes partes del cuerpo del ave.

Instrucciones

- 1.- Dividir a los alumnos en 4 equipos.
- 2.- Entregar a cada equipo su material de juego.
- 3.- Las tarjetas están numeradas (imprimirlas y recortarlas, página 7 al 30 de esta guía de profesor), deben asegurarse de al inicio y al final del juego se encuentran acomodadas en numeración ascendente. Solo las tarjetas amarillas no están numeradas y únicamente deben leerse cuando se comience a diseñar el pinzón, por lo que es recomendable apartarlas.
- 4.- Para iniciar el juego cada participante debe sacar una carta y leerla en voz alta para los demás miembros de su equipo. Este proceso debe repetirse con todas las tarjetas del kit.
- 5.- Una vez finalizada la lectura de las tarjetas pueden proceder al diseño del ave, haciendo uso del tablero con forma de pinzón (material 3D). Para ello deben recurrir a las tarjetas amarillas, las cuales contienen información sobre las diferentes partes del cuerpo del pinzón.
- 6.-En la hoja de pinzones respuesta viene la combinación de partes que forman un pinzón que habita en la isla. Para determinar al ganador, el docente debe recurrir a estas combinaciones para determinar que la especie de pinzón sea el correcto.

Forma de evaluación

- 7.- Gana el equipo que arme el pinzón con más piezas correctas.

Reglas

Debe establecerse un tiempo límite para que los alumnos diseñen su pinzón. No debe ser mayor a 15 minutos.

Una vez finalizado el tiempo para diseñar el pinzón ningún equipo puede modificar su ave.

Pinzones respuesta



Pinzón Vegetariano

Dieta : Frutas, hojas, flores, néctar y brotes de plantas.

Hábitat: Isla Isabela.

Piezas: A4, B2, C1, D2.

Crédito: “Platyspiza crassirostris hembra alimentándose” de MeegsC , 11 de Julio de 2011. Wikimedia Commons. Bajo CC BY-SA 3.0



Pinzón Cactero de Española

Dieta: Se alimenta de los frutos del cactus opuntia (semillas y flores), semillas grandes y duras.

Piezas: A1, B4, C3, D3.

Hábitat: Isla Española.

Crédito: “ML131186601” de David Marqués, 30 de julio de 2018. Obtenida de : The CornellLab of Ornithology Macaulay Library. David Marqués/Macaulay Library at the Cornell Lab of Ornithology (ML131186601)



Pinzón pequeño terrestre

Dieta: Semillas, frutas y algunos invertebrados pequeños.

Piezas: A3, B1, C4, D4

Hábitat: Isla San Cristóbal.

Crédito: “Pinzón de Darwin Fuliginoso” de Jay McGowan, 5 de agosto de 2019. Obtenida de: The Cornell Lab of Ornithology Macaulay Library. Jay McGowan/Macaulay Library at the Cornell Lab of Ornithology (ML186717481)



Pinzón trinador

Dieta: Insectos y artrópodos.

Piezas: A2, B3, C2, D1.

Hábitat: Isla Santa Cruz.

Crédito: “Certhidea olivacea” de Ruben Heleno, 2010. Obtenida de: Fundación Charles Darwin. Crédito: “Certhidea olivacea” de Ruben Heleno, 2010. Obtenida de: Fundación Charles Darwin. Bajo CC-BY-NC 4.0

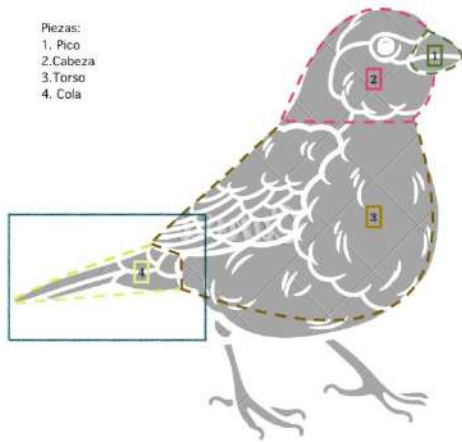
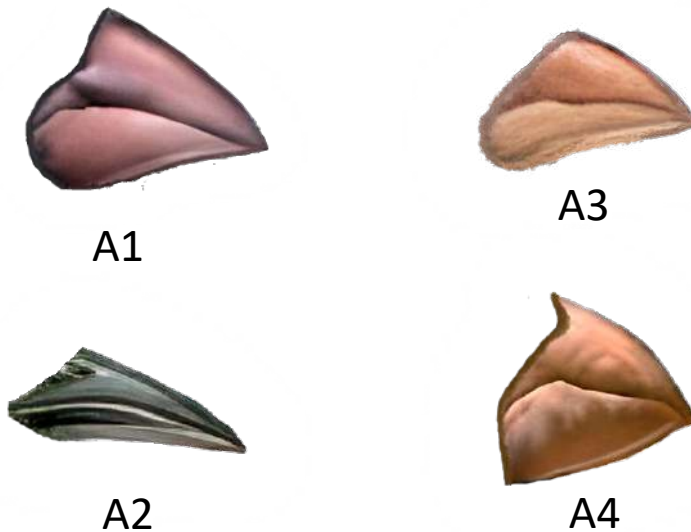


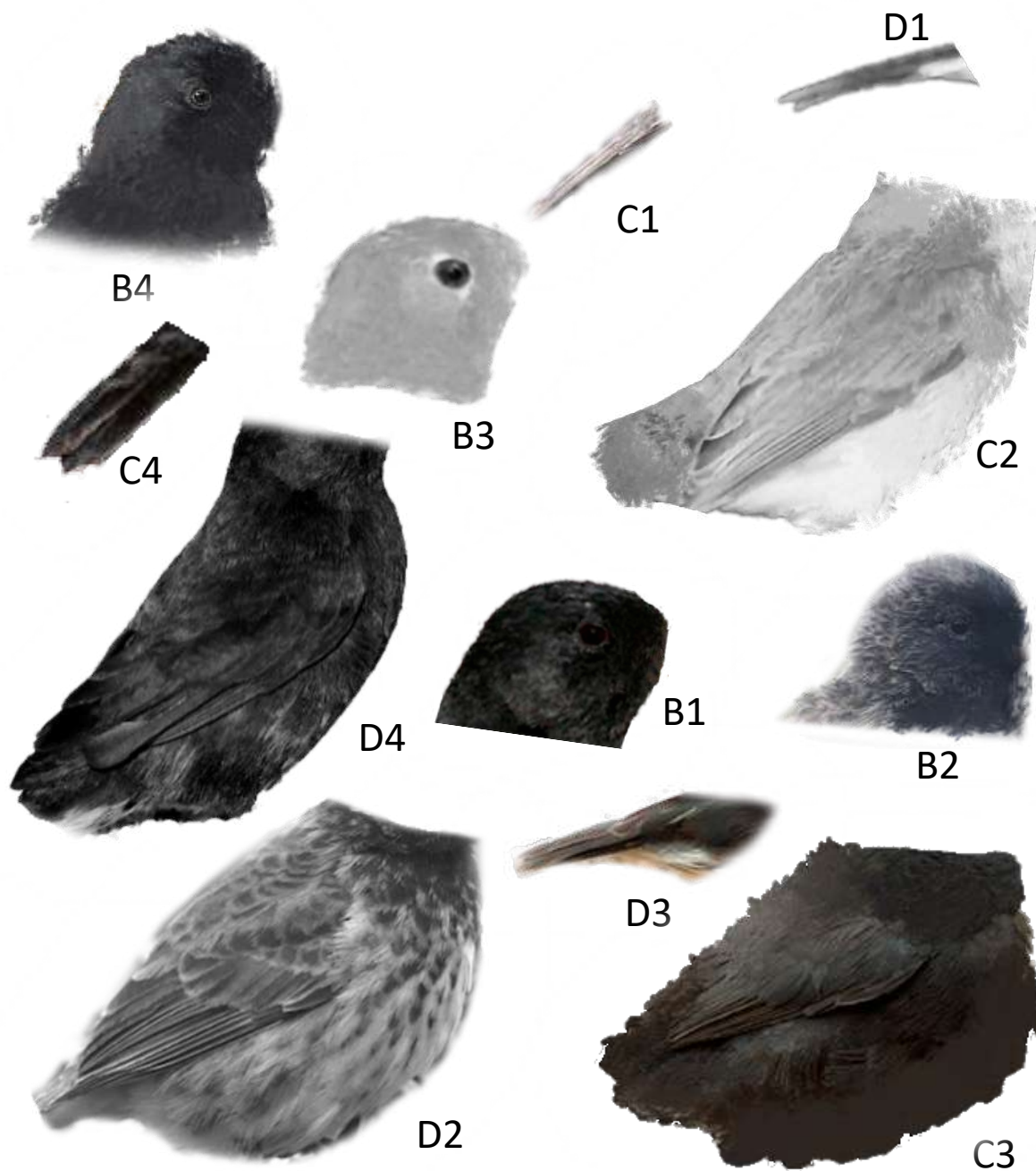
Figura de pinzón. Se pueden ver las piezas que lo componen, el código y los puntos.

Piezas imprimibles (1 juego por equipo):



Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Piezas imprimibles (un juego por equipo):



Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Tarjetas dobles cara: De un lado el nombre de la isla a la que corresponde la tarjeta.



En la parte de atrás el texto informativo.

Isabela

1

Las islas Galápagos constituyen un archipiélago conformado por 13 islas mayores, 6 islas menores y más de 100 islotes. Se ubican en el océano Pacífico a 972 km de la costa de Ecuador.

El archipiélago se formó debido a procesos volcánicos y se encuentran dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Varias islas tienen volcanes activos, por lo que es considerado como una zona de alta actividad volcánica, tal es el caso de la isla Fernandina e Isabela.

Isabela

2

Toponimia

El nombre oficial de las islas es Archipiélago de Colón, aunque son mayormente conocidas como islas Galápagos. El origen del nombre varía, algunas pistas se lo atribuyen al obispo español Tomás de Berlanga, otros al cartógrafo Abraham Ortelius; según esto al llegar a la isla se toparon con tortugas gigantes (*Chelonoidis niger*) y la forma de sus caparazones se asemeja a las sillas de montar femeninas conocidas en castellano como galápagos.

Isabela

3

Clima

Concretamente solo hay dos estaciones climáticas en el archipiélago. Una lluviosa que tiene lugar durante los meses de enero-abril y otra seca con presencia de leves lloviznas en los meses de mayo-diciembre (Base de Datos Climatológicos, 2009).

La isla Isabela se considera tiene un clima seco, con temperaturas que oscilan entre los 25 °C y los 28 °C.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isabela

4

Vegetación

En el archipiélago de las Galápagos la vegetación se clasifica según seis biomas, que difieren según las precipitaciones y altitud. En la isla Isabela se identifican al menos tres zonas de vegetación: litoral, árida y de transición (Gibson, 2016; Wiggins & Porter, 1971).

La zona litoral es la primera y se encuentra en las costas, pero principalmente en el sur. La vegetación que crece es escasa debido a su cercanía con el mar. Sólo crecen arbustos, árboles pequeños y plantas herbáceas tolerantes a un entorno salino. Hay humedales y manglares (Mejía, 2017).

Isabela

5

Vegetación

Al norte se localiza el volcán Wolf, donde se ubica la zona árida. Crece una vegetación semidesértica y se pueden observar campos de lava.

Al sur de la isla se localiza la zona de transición. Crecen densos bosques con árboles y arbustos tropicales.

Isabela

6

Vegetación

En la parte sur de la isla, la zona de transición crece sotobosque, especies vegetales de hoja perenne y plantas xerófilas. También es común encontrar plantas epífitas, líquenes y briófitos que crecen en árboles y arbustos. Algunas especies vegetales que crecen en esta zona incluyen el árbol "Pega Pega" (*Pisonia floribunda*), uña de gato (*Zanthoxylum fagara*), mayuyo (*Tournefortia rufo-sericea*), orquídeas (*Epidendrum spicatum* y *Lonopsis utricularioides*) y lantana (*Lantana peduncularis*) (Aldaz, 2008; Wiggins & Porter, 1971).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isabela

7

Vegetación

Entre las plantas restringidas al archipiélago que crecen en Isabela está una variedad de chile (*Capsicum galapagoense*), tomate (*Solanum cheesmaniae*) y el famoso algodón de Darwin (*Gossypium darwinii*) (Aldaz, 2008).

Isabela

8

Vegetación

Al norte existe una gran variedad de cactáceas del género de *Opuntia* y otras especies como el cactus candelabro (*Browningia candelaris*), especie endémica que crece únicamente en la isla Isabela y Fernandina, el cactus lava (*Brachycereus nesioticus*), nopales, líquenes y arbustos espinosos (Wiggins & Porter, 1971). En las laderas del volcán Wolf crece un herbazal seco.

Isabela

9

Reptiles

Entre los reptiles que habitan en la isla Isabela destaca la famosa tortuga gigante del volcán Wolf (*Chelonoidis becki*), iguanas marinas (*Amblyrhynchus cristatus*), la iguana terrestre rosada (*Conolophus marthae*), la lagartija de lava (*Microlophus albemarlensis*) y al menos dos variedades de geckos (*Phyllodactylus andysabini* y *Phyllodactylus simpsoni*) endémicos del archipiélago (Moity Nicolas & Delgado, 2019).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isabela

10

Aves

Las aves endémicas más populares de la isla son el pingüino de galápagos (*Spheniscus mendiculus*) y la gaviota de lava (*Larus fuliginosus*) ambas habitan en los humedales de la zona sur de Isabela. También se puede encontrar al piquero de patas azules (*Sula nebouxi*), el pájaro brujo (*Pyrocephalus nanus*), la gaviota de cola bifurcada (*Creagrus furcatus*) y el halcón de Galápagos (*Buteo galapagoensis*) el ave rapaz más grande y temida del archipiélago (Jaramillo Díaz et al., 2019).

Isabela

11

Insectos

En la isla Isabela pueden encontrarse hormigas, polillas, saltamontes, grillos, escarabajos, libélulas, orugas, moscas, cucarachas y la popular abeja carpintera (*Xylocopa darwin*) la única especie de abeja endémica del archipiélago (Klassen, 2017).

Isabela

12

Geología

La isla está formada por seis volcanes escudo que se fusionaron hace millones de años formando la isla. Varios de ellos continúan activos como es el caso del volcán Cerro Azul, Sierra Negra, Alcedo, Darwin y Wolf, este último es el volcán de mayor altura con 1710 msnm, se ubica al norte de la isla. Solo el volcán Ecuador permanece inactivo. Al oeste del volcán Wolf se encuentra el lago Darwin, una laguna de agua salobre en un cráter.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isabela

13

Geografía

La isla Isabela tiene una extensión territorial de 4,586 km² lo que la vuelve la isla más grande del archipiélago. Es la única isla situada a ambos lados del ecuador.

Isabela

14

En la isla Isabela crecen una de las dos variedades de tomate endémico de las islas Galápagos (*Solanum cheesmaniae*). Crece en zonas áridas y de transición. Es resistente a sequías y ambientes salinos. Esta frondosa planta da pequeños frutos amarillos-rojos del tamaño de una uva. Sirve de alimento para aves y reptiles (Wiggins & Porter, 1971).

Isabela

15

“Pega Pega” (*Pisonia floribunda*) es un árbol endémico del archipiélago de las Galápagos. Sus frutos son pequeños, alargados y pegajosos, se adhieren fácilmente a cualquier superficie. Sirven como alimento para las aves. Esta especie vegetal está presente en las zonas de transición de al menos 8 islas del archipiélago (Aldaz, 2008).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isabela

16

La tuna es una fruta procedente de algunas variedades de cactáceas del género *Opuntia*. El fruto y la flor sirven como alimento de tortugas, iguanas y aves pequeñas.

Gossypium darwinii es el nombre científico del algodón de Darwin, una planta algodonera exclusiva del archipiélago de las Galápagos. Crece abundantemente en las islas Isabela, Santa Cruz, San Cristóbal y Floreana. Los pinzones usan el algodón blanco producido por la planta para construir sus nidos (Aldaz, 2008).

Santa Cruz

1

Las Islas Galápagos constituyen un archipiélago conformado por 13 islas mayores, 6 islas menores y más de 100 islotes. Se ubican en el océano Pacífico a 972 km de la costa de Ecuador.

El archipiélago se formó debido a procesos volcánicos y se encuentran dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Varias islas tienen volcanes activos, por lo que es considerado como una zona de alta actividad volcánica, tal es el caso de la isla Fernandina e Isabela.

Santa Cruz

2

Toponimia

El nombre oficial de las islas es Archipiélago de Colón, aunque son mayormente conocidas como islas Galápagos. El origen del nombre varía, algunas pistas se lo atribuyen al obispo español Tomás de Berlanga, otros al cartógrafo Abraham Ortelius; según esto al llegar a la isla se toparon con tortugas gigantes (*Chelonoidis niger*) y la forma de sus caparazones se asemeja a las sillas de montar femeninas conocidas en castellano como galápagos.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Santa Cruz

3

Geografía

Santa Cruz es la segunda isla más grande del archipiélago (después de la isla Isabela) con una extensión territorial de 986 km².

Santa Cruz

4

Geología

La isla es un volcán durmiente que se estima tuvo su última erupción hace 1.5 millones de años. Producto del colapso de una cámara magmática se formaron dos enormes cráteres llamados "Los Gemelos", ubicados en el centro de la isla, con una altitud de 600 msnm.

Santa Cruz

5

Clima

Concretamente solo hay dos estaciones climáticas en el archipiélago. Una lluviosa que tiene lugar durante los meses de enero-abril y otra seca con presencia de leves lloviznas en los meses de mayo-diciembre (Base de Datos Climatológicos, 2009). En Santa Cruz durante la estación húmeda y cálida las temperaturas rondan los 24 °C y 32 °C entre los meses de enero y mayo. El resto del año, durante junio y diciembre es más seco y fresco, con temperaturas entre los 18 °C y 20 °C.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Santa Cruz

6

Vegetación

En el archipiélago la vegetación se clasifica según las precipitaciones y altitud. La isla Santa Cruz es una de las más grandes y se distinguen cinco zonas. *Zona litoral*: es la zona de transición entre el océano y la tierra. La vegetación que crece es escasa debido a su cercanía con el mar. Sólo crecen arbustos, árboles pequeños y plantas herbáceas tolerantes a la salinidad. Hay manglares y humedales. Crece mangle negro (*Avicennia germinans*), rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*) y botoncillo o jeli (*Conocarpus erectus*), y el bejuco de mar una enredadera que da bellas flores rosas/moradas (Wiggins & Porter, 1971).

Santa Cruz

7

Vegetación

Zona árida: Se ubica pasada la zona litoral, con una altitud de 80 a 120 m. Predomina una vegetación semidesértica. Crecen cactáceas, arbustos y árboles pequeños. En Santa Cruz crecen dos variedades de cactáceas del género *Opuntia* (*Opuntia echios* var *echios* y *Opuntia echios* var *gigantea*), y algunas variedades de plantas Scalesia, mayuyo (*Tournefortia rufo-sericea*) y tomate de Galápagos (*Solanum cheesmaniae*) (Aldaz, 2008; Wiggins & Porter, 1971).

Santa Cruz

8

Vegetación

Zona de transición: Comienza a 120 a 200 msnm. En esta zona crece sotobosque, especies vegetales de hoja perenne y plantas xerófilas. También es común encontrar plantas epífitas, líquenes y briofitas que crecen en árboles y arbustos. Algunas especies vegetales que crecen en esta zona incluyen el árbol "Pega Pega" (*Pisonia floribunda*), uña de gato, (*Zanthoxylum fagara*), matazarno (*Piscidia carthagenensis*) y tomate de Galápagos (*Solanum cheesmaniae*) (Aldaz, 2008; Wiggins & Porter, 1971).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Santa Cruz

9

Vegetación

Zona de Scalesia: Comienza a 400 - 700 msnm y como su nombre lo indica en esta zona crecen densos bosques de *Scalesia*, un género de árboles y arbustos tropicales endémicos del archipiélago de las Galápagos. Dependiendo de la isla pueden encontrarse diferentes variedades de esta especie, además de hongos saprófitos, hepáticas, y líquenes (Wiggins & Porter, 1971).

Santa Cruz

10

Vegetación

Zona de Miconia: Se encuentra a 600 - 750 msnm. Zona húmeda en la que predominan densos bosques de Miconia (*Miconia robinsoniana*) un arbusto de hojas verdes con flores color violeta, sus frutos son color violeta con forma de cereza, puede llegar a crecer hasta los 4 metros de altura. Sólo se encuentra en las islas Santa Cruz y San Cristóbal. Crecen una gran variedad de helechos, líquenes, musgos y plantas hepáticas y epífitas (Wiggins & Porter, 1971).

Santa Cruz

11

Reptiles

Entre las especies de reptiles que habitan la isla Santa Cruz se encuentran la iguana marina (*Amblyrhynchus cristatus*), iguanas terrestres (*Conolophus subcristatus*), tortuga gigante (*Chelonoidis porter*), esta última habita únicamente en Santa Cruz, lagartija de lava (*Microlophus indefatigabilis*) y varias especies de geckos (Carrere, 2019).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Santa Cruz

12

Aves

En la isla se pueden observar pelícanos (*Pelecanus occidentalis*), gaviotas cola de golondrina (*Creagrurus furcatus*) y flamingos. Entre las especies endémicas del archipiélago que podemos encontrar en la isla Santa Cruz se encuentra el zarapito (*Numenius phaeopus*), el pájaro brujo (*Pyrocephalus nanus*) (Kleindorfer et al., 2022), fragatas reales (*Fregata magnificens*) y el halcón de Galápagos (*Buteo galapagoensis*), el ave rapaz más grande y temida del archipiélago

Santa Cruz

13

Insectos

La diversidad de insectos en la isla Santa Cruz es amplia, más que en otras islas. Se pueden encontrar ciempiés (*Scolopendra galapagoensis*) (Fundación Charles Darwin, 2024b); una variedad de abeja endémica (*Xylocopa darwini*) (Vargas et al., 2015); está documentado siete especies de mariposas, de las cuales, dos se consideran endémicas de la isla (*Agraulis vanillae galapagensis* y *Urbanus dorantes galapagensis*). Hay polillas (*Cosmopterix galapagosensis Landry*), mantis religiosa (*Galapagia solitaria Scudder*), hormigas, escarabajos (*Calymmaderus galapagoensis*), mosquitos, moscas, cucarachas, grillos, gusanos (*Hygronemobius speculi*) (Bolaños et al., 2021) y garrapatas.

Santa Cruz

14

Arácnidos

En la isla Santa Cruz se pueden encontrar dos tipos de escorpiones (*Centruroides exsul* y *Hadrurides galapagoensis*) (Brito & Borges, 2015), varias especies de arañas del género *Metagonia* que habitan en los túneles de lava de la isla (Arellano, 2022) ; una variedad de viuda negra (*Latrodectus apicalis*) (Fundación Charles Darwin, n.d.) , habita en arbustos y árboles en casi todas las zonas de vegetación de Santa Cruz.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Santa Cruz

15

Las garrapatas suelen ser pequeños insectos que se alimentan de la sangre de sus huéspedes. Es común que las iguanas marinas (*Amblyrhynchus cristatus*) de las islas estén infectadas con garrapatas, pero en la vida silvestre estos parásitos no representan un problema para las iguanas ya que muchos tipos de aves se alimentan de estos insectos adheridos a la piel de las iguanas.

Isla Española

1

Aves

En la isla Española se ubica la colonia de albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*) más grande del archipiélago, piqueros de patas azules (*Sula nebouxi*), gaviotas de cola bifurcada (*Creagrus furcatus*), palomas de Galápagos (*Zenaida galapagoensis*) y tres tipos de pinzones de Darwin (Kleindorfer et al., 2022).

Isla Española

2

Insectos

En la isla habita la famosa abeja carpintera de Galápagos (*Xylocopa darwin*) (Vargas et al., 2015), mantis (*Galapagia solitaria*), polillas, hormigas y una amplia variedad de moscas. No se tiene un registro preciso sobre la variedad y distribución de insectos que habitan en la isla Española. Se sabe de algunos insectos que viven en las raíces de las plantas, árboles y arbustos, muchas se camuflan con el entorno, pero la información es escasa (Carvajal, 2022).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla Española

3

Vegetación

En el archipiélago de Galápagos la vegetación se clasifica según las precipitaciones y altitud. En la isla Española se identifican tres zonas: litoral, árida y de transición (Wiggins & Porter, 1971).

Zona litoral: Se encuentra en las costas. La vegetación que crece en esta zona es escasa debido a su cercanía con el mar; la sal limita el crecimiento de vegetación. Sólo crecen arbustos, árboles pequeños y plantas herbáceas tolerantes a la sal (Wiggins & Porter, 1971).

Isla Española

4

Vegetación

Zona árida: Se ubica pasada la zona litoral, con una altitud de 80 a 200 msnm. Predomina una vegetación semidesértica. Crecen cactáceas, arbustos y árboles pequeños (Wiggins & Porter, 1971).

Zona de transición: Comienza de 200 a 300 msnm. En esta zona crece sotobosque, especies vegetales de hoja perenne y plantas xerófilas. Algunas especies vegetales que crecen en esta zona incluyen el árbol "Pega Pega" (*Pisonia floribunda*), uña de gato, (*Zanthoxylum fagara*), matazarno (*Piscidia carthagenensis*) y tomate de Galápagos (*Solanum cheesmaniae*) (Aldaz, 2008; Wiggins & Porter, 1971).

Isla Española

5

Reptiles

La isla Española es el hogar de varias especies endémicas como la lagartija de lava Española (*Microlophus delanonis*), iguana terrestre de Ricord (*Cyclura ricordi*) y la tortuga gigante de la isla Española (*Chelonoidis hoodensis*) (Negoita, 2020). También se pueden observar iguanas marinas de las Galápagos (*Amblyrhynchus cristatus*) y al menos dos tipos de geckos (*Aristelliger lar* y *Phyllodactylus gorii*) (Arteaga et al., 2024).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla Española

6

Clima

Concretamente solo hay dos estaciones climáticas en el archipiélago. Una lluviosa que tiene lugar durante los meses de enero-abril y otra seca con presencia de leves lloviznas en los meses de mayo-diciembre (Base de Datos Climatológicos, 2009).

La isla Española se caracteriza por un clima semiárido-cálido. La temperatura máxima es de 31 °C y la mínima de 24 °C.

Isla Española

7

Geología

Las islas Galápagos probablemente se formaron debido a un punto caliente bajo la placa de Nazca. La isla Española es un volcán de tipo escudo extinto. Esto se explica debido al desplazamiento de las placas, la isla se fue alejando del punto caliente que la formó. Se estima que las islas más antiguas tienen entre 3 y 4 millones de años, lo que coincide con la formación de las islas San Cristóbal, Española y Santa Fe. La isla Española está compuesta por rocas basálticas y actualmente no tiene actividad volcánica.

Isla Española

8

Las islas Galápagos son un archipiélago conformado por 13 islas mayores, 6 islas menores y más de 100 islotes. Se ubican en el océano Pacífico a 972 km de la costa de Ecuador.

El archipiélago se formó debido a procesos volcánicos y se encuentran dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Varias islas tienen volcanes activos, por lo que es considerado como una zona de alta actividad volcánica, tal es el caso de la isla Fernandina e Isabela.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla Española

9

Toponimia

El nombre oficial de las islas es Archipiélago de Colón, aunque son mayormente conocidas como islas Galápagos. El origen del nombre varía, algunas pistas se lo atribuyen al obispo español Tomás de Berlanga, otros al cartógrafo Abraham Ortelius; según esto al llegar a la isla se toparon con tortugas gigantes (*Chelonoidis niger*) y la forma de sus caparazones se asemeja a las sillas de montar femeninas conocidas en castellano como galápagos.

Isla Española

10

Geografía

La isla Española se ubica al sureste del archipiélago. Tiene una extensión territorial de 60 km² lo que la convierte en una de las islas más pequeñas de las Galápagos.

Isla Española

11

Geología

Se cree que las islas Galápagos se formaron debido a un punto caliente bajo la placa de Nazca. La isla Española es un volcán de tipo escudo extinto. Esto se explica debido al desplazamiento de las placas, la isla se fue alejando del punto caliente que la formó. Se cree que las islas más antiguas tienen entre 3 y 4 millones de años, lo que coincide con la formación de las islas San Cristóbal, Española y Santa Fe.

La isla Española está compuesta por rocas basálticas y actualmente no tiene actividad volcánica

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla Española

12

Las islas Galápagos son un archipiélago conformado por 13 islas mayores, 6 islas menores y más de 100 islotes. Se ubican en el océano pacífico, a 972 kilómetros de la costa de Ecuador.

El archipiélago se formó debido a procesos volcánicos y se encuentran dentro del Cinturón de Fuego del pacífico. Varias islas tienen volcanes activos, por lo que es considerado como una zona de alta actividad volcánica, tal es el caso de la isla Fernandina e Isabela.

Isla Española

13

Toponimia

El nombre oficial de las islas es Archipiélago de Colón, aunque son mayormente conocidas como islas Galápagos. El origen del nombre varía, algunas pistas se lo atribuyen al obispo español Tomás de Berlanga otros al cartógrafo Abraham Ortelius; según esto al llegar a la isla se toparon con tortugas gigantes (*Chelonoidis niger*) y la forma de sus caparazones se asemeja a las sillas de montar femeninas conocidas en castellano como galápagos.

Isla Española

14

Geografía

La isla Española se ubica al sureste del archipiélago. Tiene una extensión territorial de 60 km² lo que la convierte en una de las islas más pequeñas de las Galápagos.

Isla Española

15

La Española es una de las islas más áridas del archipiélago. Presenta bajas precipitaciones y en consecuencia sólo crecen plantas resistentes a la sequía. Se puede encontrar una gran variedad de cactáceas del género *Opuntia*, debido a que son plantas muy tolerantes a la sequía. Generan alimento y sombra a los animales de la isla (Carvajal, 2022; Negoita, 2020).

Isla Española

16

En la isla Española crece la *Opuntia megasperma var. orientalis*, un cactus de grandes ramas espinosas que puede llegar a medir hasta 6 metros de alto. Sus flores son color amarillo. Esta especie sirve de alimento para las tortugas gigantes, iguanas terrestres y aves que se alimentan de sus frutos y flores; sirve como estructura de anidación y refugio.

Isla Española

17

El algodoncillo de Darwin (*Gossypium darwini*) crece en zonas áridas y de transición. Los pinzones usan el algodón blanco producido por la planta para construir sus nidos.

Isla Española

18

La tuna es una fruta procedente de algunas variedades de cactáceas del género *Opuntia*. El fruto y la flor sirven como alimento de tortugas, iguanas y aves pequeñas.

Isla Española

19

El tomatillo de las Galápagos (*Solanum cheesmaniae*) es una especie de tomate silvestre. Sus frutos son pequeños, del tamaño de una uva y color naranja-rojo. Se puede encontrar en tres zonas: árida, transición y húmeda. Es resistente a las sequías, crece en sustratos rocosos y suelos ligeramente salinos. Sus frutos sirven como alimento para las aves (Aldaz, 2008).

Isla Española

20

El algodoncillo de Darwin (*Gossypium darwini*) crece en zonas áridas y de transición. Los pinzones usan el algodón blanco producido por la planta para construir sus nidos.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla San Cristóbal₁

Las islas Galápagos son un archipiélago conformado por 13 islas mayores, 6 islas menores y más de 100 islotes. Se ubican en el océano Pacífico a 972 km de la costa de Ecuador.

El archipiélago se formó debido a procesos volcánicos y se encuentran dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Varias islas tienen volcanes activos, por lo que es considerado como una zona de alta actividad volcánica, tal es el caso de la isla Fernandina e Isabela.

Isla San Cristóbal₂

Toponimia

El nombre oficial de las islas es Archipiélago de Colón, aunque son mayormente conocidas como islas Galápagos. El origen del nombre varía, algunas pistas se lo atribuyen al obispo español Tomás de Berlanga, otros al cartógrafo Abraham Ortelius; según esto al llegar a la isla se toparon con tortugas gigantes (*Chelonoidis niger*) y la forma de sus caparazones se asemeja a las sillas de montar femeninas conocidas en castellano como galápagos.

Isla San Cristóbal₃

Geografía

La isla de San Cristóbal se encuentra al este del archipiélago y es una de las islas más grandes. Tiene una superficie de 558 km², su punto más alto se encuentra a 735 msnm. Los suelos y el clima favorecen la agricultura, por lo que es una de las islas con mayor actividad agrícola. Se cultiva café, caña de azúcar, maíz, calabaza, lechuga, cacahuete, aguacate y tomate de galápagos (*Solanum galapagense*). Moderadamente se cultivan frutas como banana, pomelo, naranjas, limón, papaya y piña. Lo que más exportan es café y azúcar, lo demás se consume localmente.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla San Cristóbal

4

Geología

Al igual que el resto de las islas del archipiélago, la isla San Cristóbal tiene un origen volcánico, se formó por la fusión de cuatro volcanes extintos. Es la única isla en todo el archipiélago que cuenta con una laguna de agua dulce que se aloja en el cráter de un volcán extinto. El reservorio de agua dulce recibe el nombre de "El junco".

Isla San Cristóbal

5

Clima

Concretamente solo hay dos estaciones climáticas en el archipiélago. Una lluviosa que tiene lugar durante los meses de enero-abril y otra seca con presencia de leves lloviznas en los meses de mayo-diciembre (Base de Datos Climatológicos, 2009).

Es considerada una de las islas más cálidas del archipiélago. Las temperaturas rondan los 16 °C y los 32 °C.

Isla San Cristóbal

6

Vegetación

En el archipiélago de las Galápagos la vegetación se clasifica según las precipitaciones y altitud. En San Cristóbal se encuentran tres zonas (Wiggins & Porter, 1971) :

Al norte de la isla se encuentran campos de lava, formaciones rocosas y terrenos áridos.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla San Cristóbal₇

Vegetación

Zona árida: Se ubica a una altitud de 80 a 120 m. Predomina una vegetación semidesértica. Crecen algunas pocas cactáceas, arbustos y árboles pequeños (Wiggins & Porter, 1971). En las pendientes rocosas crece calandria (*Calandrinia galapagosa*) un arbusto pequeño de hermosas flores rosa-blanco, esta planta solo crece en la isla San Cristóbal (Fundación Charles Darwin, 2010).

Isla San Cristóbal₈

Vegetación

El sur de la isla es más húmedo y crecen densos bosques. Zona de transición: Comienza a 180 a 320 msnm. En esta zona crece sotobosque, especies vegetales de hoja perenne y plantas xerófilas. También es común encontrar plantas epífitas, líquenes y briofitas que crecen en árboles y arbustos. Algunas especies vegetales incluyen el árbol "Pega Pega" (*Pisonia floribunda*), uña de gato, (*Zanthoxylum fagara*), matazarno (*Piscidia carthagenensis*) y tomate de las Galápagos (*Solanum cheesmaniae*) (Aldaz, 2008; Jaramillo Díaz et al., 2021). Las semillas y frutos de estos árboles sirven para alimentar aves pequeñas.

Isla San Cristóbal₉

Vegetación

Zona de Miconia: Se encuentra a 600 - 750 msnm. Zona húmeda en la que predominan densos bosques de Miconia (*Miconia robinsoniana*) un arbusto de hojas verdes con flores color violeta, sus frutos tienen forma de cereza, puede llegar a crecer hasta los 4 metros de altura. Sólo se encuentra en las islas Santa Cruz y San Cristóbal. Crecen una gran variedad de helechos, líquenes, musgos y plantas hepáticas y epífitas.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla San Cristóbal

10

Reptiles

Algunas de las especies de reptiles que habitan la isla son iguanas marinas y lagartijas lava (Ecuador Galápagos Info, 2023). Hay dos especies de reptiles endémicos de la isla: la tortuga gigante (*Chelonoidis chathamensis*) y la iguana marina de San Cristóbal (*Amblyrhynchus cristatus godzilla*) es la subespecie de la iguana marina de las Galápagos más grande de todas (Fundación Charles Darwin, 2017) (por ello la llamaron Godzilla).

Isla San Cristóbal

11

Aves

La isla San Cristóbal alberga una gran variedad de aves endémicas como es el caso del albatros de las Galápagos (*Phoebastria irrorata*), el piquero de patas azules (*Sula nebouxii*) y rojas (*Sula sula*), la gaviota de lava (*Leucophaeus fuliginosus*), la polluela (*Laterallus spilonota*) y el halcón (*Buteo galapagoensis*) de las Galápagos, el ave rapaz más grande y temida del archipiélago.

Isla San Cristóbal

12

Insectos

En San Cristóbal no hay un registro completo de la variedad y distribución de insectos en toda la isla. Algunos insectos de los que se tiene registro se deben a sus implicaciones agropecuarias. Hay varios tipos de moscas, la vaquita (*Cycloneda sanguinea*), avispas (*Polistes versicolor*), hormigas (*Solenopsis geminata*), polillas y una única variedad de abeja endémica (*Xylocopa darwini*) (Aldaz, 2008; Vargas et al., 2015).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla San Cristóbal₁₃

Arácnidos

En la isla se pueden encontrar varios tipos de araña, algunas endémicas como es el caso de *Theridiosoma sancristobalensis* (Fundación Charles Darwin, 2013), y garrapatas que parasitan iguanas .

Isla San Cristóbal₁₄

Crece en abundancia el famoso algodón de las Galápagos (*Gossypium darwini*), los pinzones usan el algodón blanco producido por la planta para construir sus nidos. También hay varios tipos de margaritas (Margarita de Darwin y *Lecocarpus darwini*).

Isla San Cristóbal₁₅

De la gran variedad de plantas, árboles y arbustos que crecen en la Isla, brota un sin número de semillas que no son comestibles, comercializables o son tóxicas para el ser humano pero que son clave en la dinámica de conservación del ecosistema. Las aves y reptiles de las Galápagos se alimentan y dispersan muchas de estas semillas.

San Cristóbal es una de las islas con mayor diversidad de semillas tanto de origen nativo, endémico e introducidas (Jaramillo Díaz et al., 2021).

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Isla San Cristóbal₁₆

"Pega Pega" (*Pisonia floribunda*) es un árbol endémico del archipiélago de las Galápagos. Sus frutos son pequeños, alargados y pegajosos, se adhieren fácilmente a cualquier superficie. Sirven como alimento para las aves. Esta especie vegetal está presente en las zonas de transición de al menos 8 islas del archipiélago.

Gran parte de los árboles que se encuentran en los diferentes biomas dan semillas y frutos que sirven de alimento para la fauna de la isla (Jaramillo Díaz et al., 2021).

1



Un torso robusto se relaciona con una molleja (estómago muscular) más desarrollada y grande, un intestino largo y un corazón más pequeño. Las aves granívoras tienen mollejas robustas que les permiten triturar y ablandar sus alimentos (Lindhe Norberg & Norberg, 2023).

2



Una cola y alas largas permiten al ave mantener el equilibrio al posarse y si vuela en terrenos abiertos le favorece al guiarse y balancearse (Lindhe Norberg & Norberg, 2023).

Una cola y alas cortas y pequeñas permiten una mayor agilidad y maniobrabilidad al volar entre la vegetación (Lindhe Norberg & Norberg, 2023).

Guía de profesor

Selección natural y adaptación

3. La adaptación

3



Pieza: A4

Este pico es grande, grueso pero corto. La mandíbula superior es muy curvada, mientras que en la mandíbula inferior la curvatura es más suave. El ápice de la mandíbula superior sobresale al de la inferior.

Facilita manipular alimentos blandos como semillas suaves, flores, frutos pequeños, hojas, botones y raíces. Posibilita sacar cámbium y el floema de las plantas.

4



Pieza: A2

Es un pico delgado y estrecho. Los bordes de la mandíbula inferior y superior son rectos y bien definidos. Este pico tan fino y puntiagudo sirve como pajita, ya que permite horadar la corteza de los árboles y sacar insectos.

Un pico tan pequeño y delgado no está adaptado para alimentarse de frutos o semillas, por su forma es ideal para forrajear en arbustos y árboles en busca de insectos, artrópodos, también permite cazar insectos incluso mientras el ave vuela.

5



Pieza: A1

Este pico es largo, grueso, fuerte, puntiagudo y afilado. Tan profundo como largo. La mandíbula superior e inferior son muy curvadas.

Permite explorar dentro de las flores de una planta y extraer el néctar y los brotes. Es grande y profundo, permite triturar semillas grandes y duras. Este afilado pico facilita perforar y extraer las semillas de frutos con cáscaras gruesas para obtener la pulpa y semillas.

Guía de profesor Selección natural y adaptación 3. La adaptación

6



Pieza: A3

Este es un pico pequeño, delgado y poco profundo. El borde de la mandíbula superior está ligeramente curvado mientras que el borde de la mandíbula inferior la curvatura es más suave.

Este pico le permite alimentarse de semillas tiernas, algunos insectos y artrópodos pequeños.

Literatura citada en las tarjetas

Aldaz, I. (2008). Manual de especies nativas y endémicas de Galápagos para la restauración ecológica en la zona agropecuaria. In Fundación para el desarrollo alternativo responsable para Galápagos. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54629.pdf>

Arellano, A. (2022, July 22). Las habitantes de cuevas: tres especies de arañas son descubiertas en islas Galápagos. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2022/08/tres-especies-de-aranas-son-descubiertas-en-islas-galapagos-ecuador/?fbclid=IwAR1-JVEG1o6FzOetz9faPF9NRHIMGjEK2iS7mP9GnQXwBbTcBlInquSOqQc>

Arteaga, A., Aguiar, G., & Guayasamin, J. M. (2024). Española Leaf-toed Gecko (*Phyllodactylus gori*). In *Reptiles of Ecuador: life in the middle of the world*. Khamai Foundation. <https://doi.org/10.47051/LKNW8543>

Base de datos climatológicos. (2009). Fundación Charles Darwin. <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/clima>

Bolaños, J., Rodríguez, J., Torres, A., & Jager, H. (2021). Guía de campo: Insectos de importancia agrícola. In Fundación Charles Darwin. <https://www.darwinfoundation.org/es/publicaciones/guias-de-identificacion/file/166-guia-de-campo-insectos-de-importancia-agricola>

Brito, G., & Borges, A. (2015). A checklist of the scorpions of Ecuador (Arachnida: Scorpiones), with notes on the distribution and medical significance of some species. *The Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 21, 23. <https://doi.org/10.1186/s40409-015-0023-x>

Carre, M. (2019, December 6). Se publica primera guía sobre los reptiles de Galápagos. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2019/12/ecuador-nuevas-especies-en-galapagos/?fbclid=IwAR2QSB5txsBdj6YD44Z17pgKXHy4WniCFe631GXHvk3e5z5BSRdeoZlGnPg>

Carvajal, A. (2022, November 7). Expedición a Española: Un mundo de preguntas sobre insectos y plantas endémicas de Galápagos. Fundación Charles Darwin. <https://www.darwinfoundation.org/en/blog-articles/861-expedition-espanola-plants>

Fundación Charles Darwin. (2017, May 15). Cinco nuevas sub-especies de iguanas marinas en Galápagos. Fundación Charles Darwin. <https://www.darwinfoundation.org/es/noticias/todas-las-noticias/cinco-nuevas-sub-especies-de-la-iguana-marina-en-galapagos/>

Ecuador Galápagos Info. (2023). Reptiles de Galápagos. Ecuador Galápagos Info. <https://ecuadorgalapagosinfo.com/flora-fauna-galapagos/animales/reptiles/>

Literatura citada en las tarjetas

Fundación Charles Darwin. (n.d.). *Latrodectus apicalis* Butler, 1877. Fundación Charles Darwin. Retrieved March 15, 2024, from *Latrodectus apicalis* Butler, 1877

Fundación Charles Darwin. (2010). *Calandrinia galapagosa* H. St. John. Fundación Charles Darwin. <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=686>

Fundación Charles Darwin. (2013). *Theridiosoma sancristobalensis* Baert. Fundación Charles Darwin. <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=18476>

Fundación Charles Darwin. (2024a). *Creagrus furcatus* (Nébox, 1846). Fundación Charles Darwin . <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=5072>

Fundación Charles Darwin. (2024b). *Scolopendra galapagoensis* Bollman, 1889. Fundación Charles Darwin. <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=6899>

Gibson, J. (2016). *Biogeografía y las Islas Galápagos* . Geoscience Research Institute, 1. <https://www.grisda.org/espanol/biogeografia-y-las-islas-galapagos>

Jaramillo Díaz, P., Shepherd, J., & Heleno, R. (2021). *Guía de Semillas y Propágulos de Galápagos*. Fundación Charles Darwin . <https://www.darwinfoundation.org/es/publicaciones/guias-de-identificacion/guia-de-semillas-y-propagulos-de-galapagos>

Jaramillo Díaz, P., Tapia, W., Negoita, L., Plunkett, E., Guerrero, M., Mayorga, P., & Gibbs, J. (2019). *El proyecto Galápagos Verde 2050* (Vol. 1). Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos. <https://www.darwinfoundation.org/es/publicaciones/galapagos-verde-2050>

Klassen, C. (2017, January 26). BZZZ: EN BUSCA DE INSECTOS EN GALÁPAGOS. Metropolitan Touring. <https://www.metropolitan-touring.com/es/blog/naturaleza/galapagos-insectos/>

Kleindorfer, S., Fessler, B., Peters, K., & Anchundia, D. (2022). *Guía de campo: Aves terrestres residentes de Galápagos versión actualizada en 2022*. In Fundación Charles Darwin. Fundación Charles Darwin. <https://www.darwinfoundation.org/es/publicaciones/guias-de-identificacion/guia-de-campo-aves-terrestres-residentes-de-galapagos>

Lindhe Norberg, U. M., & Norberg, R. Å. (2023). Evolutionary divergence of body size and wing and leg structure in relation to foraging mode in Darwin's Galapagos finches. *Biological Journal of the Linnean Society*, 140(2), 240–260. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blad053>

Mejía, D. (2017, October 26). *Humedales del Sur de Isabela: Esenciales para mantener la biodiversidad de Galápagos*. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2017/10/humedales-del-sur-isabela-esenciales-mantener-la-biodiversidad-galapagos/>

Moity Nicolas AND Delgado, B. A. N. D. S.-L. P. (2019). Mangroves in the Galapagos islands: Distribution and dynamics. *PLOS ONE*, 14(1), 1–35. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209313>

Negoita, L. (2020, August 20). *Las tortugas no son las únicas que regresan a la isla Española (Galapagos Verde 2050)*. Fundación Charles Darwin. <https://www.darwinfoundation.org/es/articulos-blog/630-las-tortugas-no-son-las-unicas-que-regresan-a-la-isla-espanola-galapagos-verde-2050>

Vargas, P., Rumeu, B., Heleno, R. H., Traveset, A., & Nogales, M. (2015). Historical Isolation of the Galápagos Carpenter Bee (*Xylocopa darwini*) despite Strong Flight Capability and Ecological Amplitude. *PLOS ONE*, 10(3), e0120597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120597>

Wiggins, I. L., & Porter, D. M. (1971). *Flora of the Galápagos Islands* . Stanford University Press . <https://www.sup.org/books/extra/?id=3&isbn=0804707324&gvp=1>

Nombre: _____
Equipo _____

Selección Natural y Adaptación

3. La adaptación

¿Por qué las aves poseen diferentes tipos de picos?

Introducción

La selección natural es un proceso mediante el cual los individuos mejor adaptados a su entorno aumentan la probabilidad de sobrevivencia. Este mecanismo evolutivo manifiesta variaciones genéticas que pasan de generación en generación. El área de la biología encargada de estudiar el cambio de una especie a lo largo del tiempo es la biología evolutiva. En el origen de las especies (1859), la célebre obra del naturalista británico Charles Darwin, argumenta que a partir de un ancestro en común se forman linajes diferentes dentro de una misma población, este proceso se define como especiación (Safran & Nosil, 2023).

La especiación es un proceso mediante el cual una población se divide en dos o más grupos, y de estos surgen nuevas poblaciones con características diferentes de la población original. La prevalencia de un nuevo linaje dependerá de su capacidad de adaptación a su entorno. El proceso de especiación involucra cambios genéticos a través de varias generaciones, en un largo periodo de tiempo. En el origen de las especies Darwin afirma que las variaciones entre poblaciones se manifiestan por medio de cambios como en el tamaño, el tipo de alimento, la cantidad, el grosor de la piel y del pelaje o el color, por dar un ejemplo (Darwin, 1859).

La especiación alopátrica ocurre cuando una especie se divide y aísla a causa de una barrera geográfica, ya sean ríos (cambio de cauces), cordilleras, montañas, volcanes, desiertos, e incluso la distancia. Las diferencias entre poblaciones serán tanto genéticas como físicas, por lo que las especies que se formen ya no podrán reproducirse entre ellas [3]

Nombre: _____
Equipo _____

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Este es uno de los principales indicadores de que la especiación ha ocurrido.

Uno de los mejores ejemplos sobre la especiación alopátrica es el caso de la formación del Gran Cañón y las ardillas:

Antes de que se formara el Gran Cañón del Colorado, hace millones de años una misma especie de ardilla habitaba el territorio. Conforme el río Colorado subía y erosionaba las rocas sedimentarias del Gran Cañón, este se fue haciendo cada vez más profundo, hasta que las ardillas ya no pudieron cruzarlo. Esto dividió a las ardillas en dos poblaciones geográficamente aisladas, una que habitaba en el norte, conocida como ardilla Kaibab (*Sciurus aberti kaibabensis*), y otra en el borde sur, la *Sciurus aberti*. La especiación es evidente en este caso, ya que las ardillas del lado norte del cañón tienen el vientre negro, cola blanca, en la cabeza el pelaje es castaño y orejas con copete, mientras que las del lado sur tienen el vientre blanco, largos mechones de pelo en las orejas y una banda rojiza en la espalda (ver Figura 1) (Especies y Especiación, 2017).



Figura 1. a) Ardilla Kaibab (*Sciurus aberti kaibabensis*). Crédito: “Ardilla Kaibab” por Azhikerdude, 2009. Licenciado bajo CC BY-SA 3.0. **b)** Ardilla de Abert (*Sciurus aberti*). Crédito: “Aberts6” por Sally King. Licenciado bajo CC0 1.0.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Nombre: _____
Equipo _____

De manera similar, los pinzones de las islas Galápagos descienden de un ancestro común, los cuales divergieron genéticamente debido a las diferentes exigencias del entorno en donde se encontraban. Las islas del archipiélago de las Galápagos se formaron por actividad volcánica en el océano y no estuvieron en contacto con el continente. Toda forma de vida que había en la isla en sus inicios llegó a allí por dispersión a larga distancia.

Las 14 especies de pinzones de Darwin se consideran un claro ejemplo de especiación alopátrica o aislamiento geográfico.

Descripción del juego

El juego incluye 4 kits, uno para cada equipo. Cada kit contiene lo siguiente:

- Kit de juego
- 1 mapa
- 1 tablero de pinzón
- 22 tarjetas descriptivas del hábitat y las adaptaciones
- 16 piezas de rompecabezas para armar un pinzón

Cada tablero pop-up representa a una isla del archipiélago de las Galápagos. Brindando apoyo visual sobre el ecosistema de la isla.

Las tarjetas contienen información específica sobre las características de la isla (clima, flora, fauna, etc).

En el tablero de juego con forma de pinzón es donde los alumnos deben diseñar su propio modelo de ave según las características del entorno de su isla. Son 16 piezas en total, cada una representa diferentes partes del cuerpo del pinzón.

Objetivos de aprendizaje

Identificar las adaptaciones de los pinzones.

Identificar los factores de selección natural en las islas Galápagos.

Integrar características o rasgos benéficos para cada isla en el diseño de un pinzón.

Guía de profesor
Selección natural y adaptación
3. La adaptación

Nombre: _____
Equipo _____ -

Procedimiento

¿Alguna vez te has preguntado por qué las aves tienen diferentes tipos de picos? para poder dar respuesta a esta pregunta es necesario comprender la evolución por selección natural. El objetivo del juego es armar un pinzón capaz de sobrevivir a las condiciones que caracterizan a la isla que se te asignó.

- 1.- Una vez establecidos los equipos observen el kit que se le otorgó a tu equipo.
- 2.- En estas hojas de estudiante están los mapas con la forma de una isla del archipiélago de las Galápagos. En ella podrás observar el ecosistema de la isla.
- 3.- Para iniciar el juego cada participante debe sacar una carta y leerla en voz alta para los demás miembros de su equipo. Este proceso debe repetirse con todas las tarjetas del kit. Las tarjetas están numeradas, deben asegurarse de que al inicio y al final del juego se encuentran acomodadas en numeración ascendente. Solo las tarjetas amarillas no están numeradas y únicamente deben leerse cuando se comience a diseñar el pinzón, por lo que es recomendable apartarlas.
- 4.- Una vez finalizada la lectura de las tarjetas deberán comenzar con el diseño de su ave, para ello deberán usar el tablero en forma de pinzón. Este tablero contiene 16 piezas las cuales ustedes son libres de escoger para armar un ave que tenga mayor probabilidad de sobrevivir en la isla que se les asignó.
- 5.- Las tarjetas amarillas contienen información sobre la anatomía del pinzón. Gana el equipo que logre armar el pinzón mejor adaptado a las condiciones de la isla que les fue asignada.

Reglas

Una vez finalizado el tiempo para diseñar el pinzón ningún equipo puede modificar su ave.

Eres libre de diseñar tu pinzón con las piezas que consideres más adecuadas.

Nombre: _____
Equipo: _____

Referencias

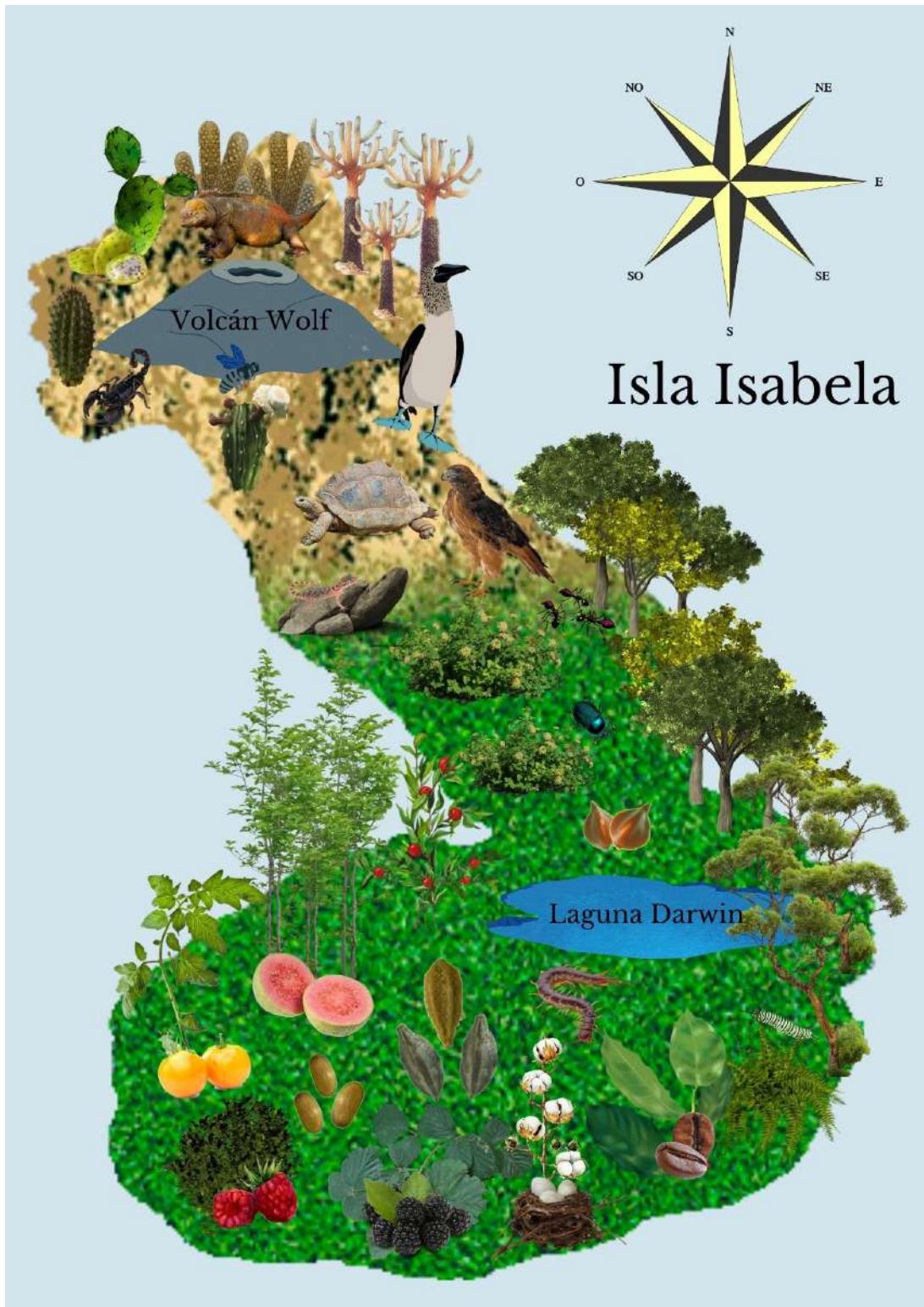
Darwin, C. (1859). El origen de las especies. Independently published.

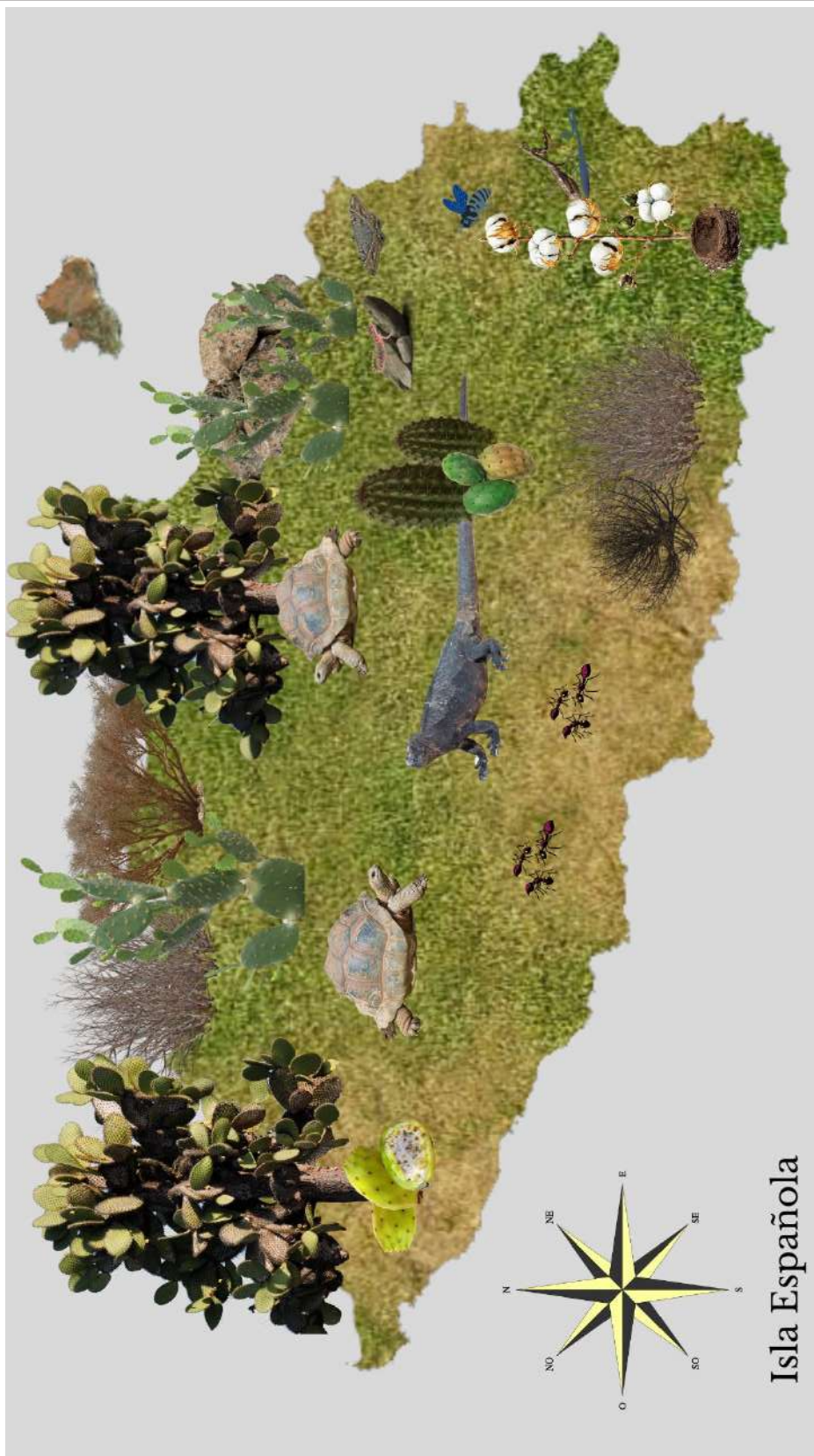
“Especies y especiación,” Khan Academy. Accessed: Dec. 12, 2023.
[Online]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/speciation/a/species-speciation>

Safran R. J. and P. Nosil, “Especiación: el origen de nuevas especies,” Conocimiento de educación sobre la naturaleza . Accessed: Dec. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/speciation-the-origin-of-new-species-26230527/>

Sobel, J. M., G. F. Chen, L. R. Watt, and D. W. Schemske, 2010. The biology of speciation. *Evolution*. vol. 64, no. 2, pp. 295–315. doi: 10.1111/j.1558-5646.2009.00877.x.







Isla Española

Estuche 1 Tema 3
Alumno página 9-9



Isla Santa
Cruz

Genética de poblaciones

1. Marcadores genéticos

¿Papá, eres tú?

Introducción

En esta actividad los alumnos se familiarizarán con los marcadores genéticos y podrán utilizarlos para poder hacer inferencias en una de sus aplicaciones, el análisis de paternidad.

Objetivos de aprendizaje

Que los alumnos se familiaricen con el concepto de marcador genético.

Que los alumnos puedan utilizar un marcador genético para hacer inferencias.

Que los alumnos interpreten resultados relacionados a los análisis de paternidad.

Material

Tabla de genotipos en la población de aves.

Tarjetas de familias enumeradas del 1 al 30 con padres e hijos y sus respectivos genotipos.

Hojas de trabajo de los estudiantes “¿Papá, eres tú?”.

Tiempo estimado

30-40 minutos



Guía de profesor
Genética de poblaciones
1. Marcadores genéticos

Tabla con los genotipos de cada integrante de la familia. Esta hoja es para el profesor, los alumnos elaborarán su tabla “genotipando” a sus pajaritos manualmente.

Familias	Mamá		Papá		Hijo 1		Hijo 2		Hijo 3	
1	ATATA	AAAAA	ATATA	ATATA	ATATA	ATATA	AAAAA	ATATA	AAAAA	ATATA
2	ATTAT	ATTAT	TATAT	TAATT	ATTAT	TAATT	ATTAT	TAATT	ATTAT	TAATT
3	AATAT	TTTAT	TTATA	TTATA	AATAT	TTATA	TTTAT	TTATA	TTTAT	TTATA
4	AAAAA	AAAAA	AAATT	TTATT	AAAAA	TTATT	AAAAA	AAATT	AAAAA	AAATT
5	TTTTT	ATATT	TTAAA	TATAT	TTTTT	TATAT	ATATT	TTAAA	ATATT	TTAAA
6	TATAT	TTATT	TATTT	TATAT	TATAT	TATAT	TTATT	TATTT	TATAT	TATTT
7	TTATA	TATTA	ATTTT	ATTTT	TTATA	ATTTT	TATTA	ATTTT	TTATA	ATTTT
8	AAATT	AAATT	ATATA	ATATA	AAATT	ATATA	AAATT	ATATA	AAATT	ATATA
9	TTAAA	ATATT	TTTTT	TTTTT	TTAAA	TTTTT	ATATT	TTTTT	TTAAA	TTTTT
10	TATTT	TATTT	TATAT	TATAT	TATTT	TATAT	TATTT	TATAT	TATTT	TATAT
11	ATTTT	TATTT	TTATA	TTTTT	ATTTT	TTATA	TATTT	TTTTT	ATTTT	TTATA
12	ATATA	ATATA	AAATT	TTAAA	ATATA	AAATT	ATATA	TTAAA	ATATA	AAATT
13	ATTAT	TATAT	TTAAA	TTAAA	TATAT	TTAAA	ATTAT	TTAAA	ATTAT	TTAAA
14	AATAT	ATATA	TATTT	TATTT	ATATA	TATTT	AATAT	TATTT	AATAT	TATTT
15	AAAAA	TATAT	ATTTT	TATAT	TATAT	ATTTT	AAAAA	TATAT	AAAAA	ATTTT
16	TTTTT	TTTTT	ATATA	TATAT	TTTTT	ATATA	TTTTT	TATAT	TTTTT	ATATA
17	TATAT	TTTTT	ATTAT	AAAAA	TTTTT	ATTAT	TATAT	AAAAA	TATAT	AAAAA
18	TTATA	TTTTT	AATAT	ATATT	TTTTT	AATAT	TTATA	ATATT	TTATA	ATATT
19	AAATT	ATATT	AAAAA	AAAAA	ATATT	AAAAA	AAATT	AAAAA	ATATT	AAAAA
20	TTAAA	TTAAA	TTTTT	TTAAT	TTAAA	TTTTT	TTAAA	TTAAT	TTAAA	TTAAT
21	TATTT	ATATT	TATAT	TATAT	ATATT	ATATA	TATTT	ATATA	ATATT	ATATA
22	ATTTT	ATATT	TTATA	TTAAT	ATATT	TAATT	ATTTT	TAATT	ATATT	TATAT
23	TTTTT	ATATT	AAATT	TTATA	ATATA	TTATA	ATTAT	TTATA	ATATT	TTATA
24	TATAT	AAATT	TTAAA	TATAT	ATTAT	TTATT	AATAT	TTATT	AAATT	AAATT
25	TTATA	TTAAA	TTAAA	TATAT	AATAT	TATAT	AAAAA	TATAT	TTAAA	TTAAA
26	AAATT	AAATT	TATTT	TTATT	AAAAA	TATAT	TTTTT	TATAT	AAATT	TATTT
27	TTAAA	TTAAA	ATTTT	ATTTT	TTTTT	ATTTT	TATAT	ATTTT	TTAAA	ATTTT
28	TATTT	TATTT	TTTTT	TTTTT	TATAT	ATATA	TTATA	ATATA	TATTT	ATATA
29	ATTTT	ATTTT	TTTTT	ATATT	TTATA	TTTTT	AAATT	TTTTT	ATTTT	TTTTT
30	TATTT	TATTT	TATAT	TATAT	TATTT	TATAT	TATTT	TATAT	TATTT	TATAT

Guía de profesor
Genética de poblaciones
1. Marcadores genéticos

Instrucciones

- 1.- Dividir al grupo en dos equipos.
- 2.- Entregar las tarjetas de familia con números pares a un equipo y los números nones al otro equipo.
- 3.- Indicar que deben leer el procedimiento indicado en sus hojas de trabajo tituladas “¿Papá eres tú?”.
- 4.- Dar tiempo para que los alumnos lean la hoja de instrucciones y anoten los genotipos de sus polluelos en las hojas de respuesta. Llenarán la tabla correspondiente a la tabla de respuesta y graficarán los resultados identificando familias monógamas, polígamas y donde ocurre parasitismo.

Monogamia, todos los alelos de los hijos son encontrados en los padres.

Poligamia, al menos uno de los alelos de cada hijo se encuentra en uno de los padres.

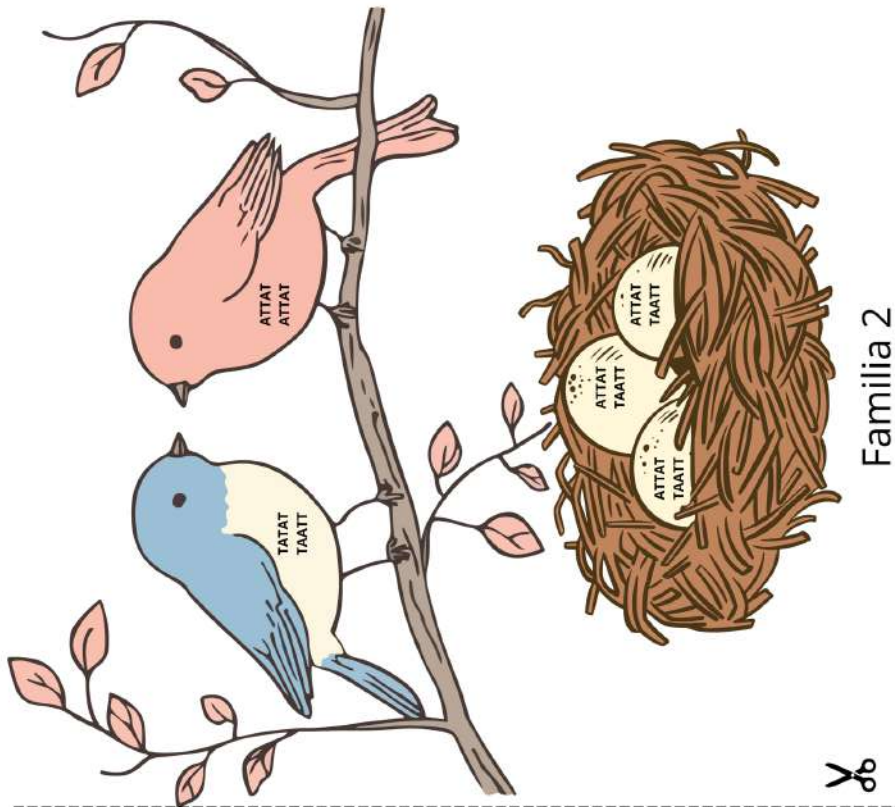
Parasitismo, ningún alelo de los hijos se encuentran en los padres.

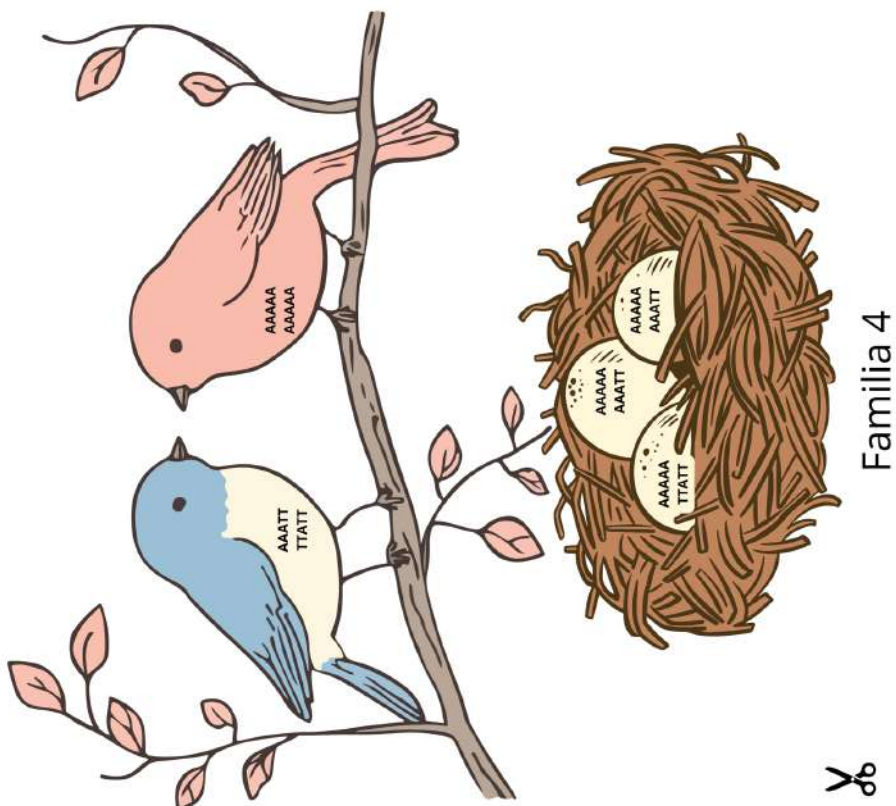
Forma de evaluación

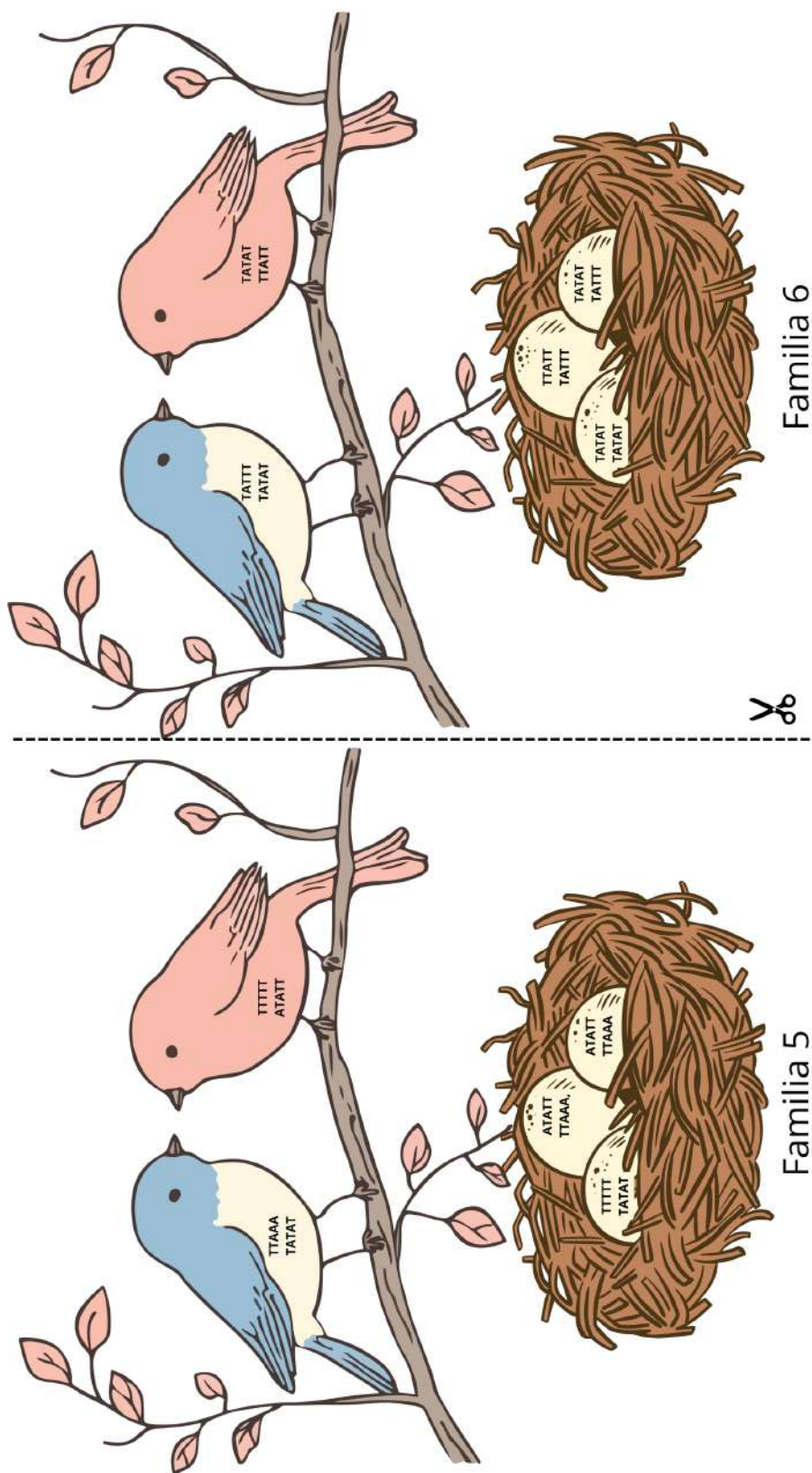
Calificar la tabla de genotipos, que este bien elaborada.

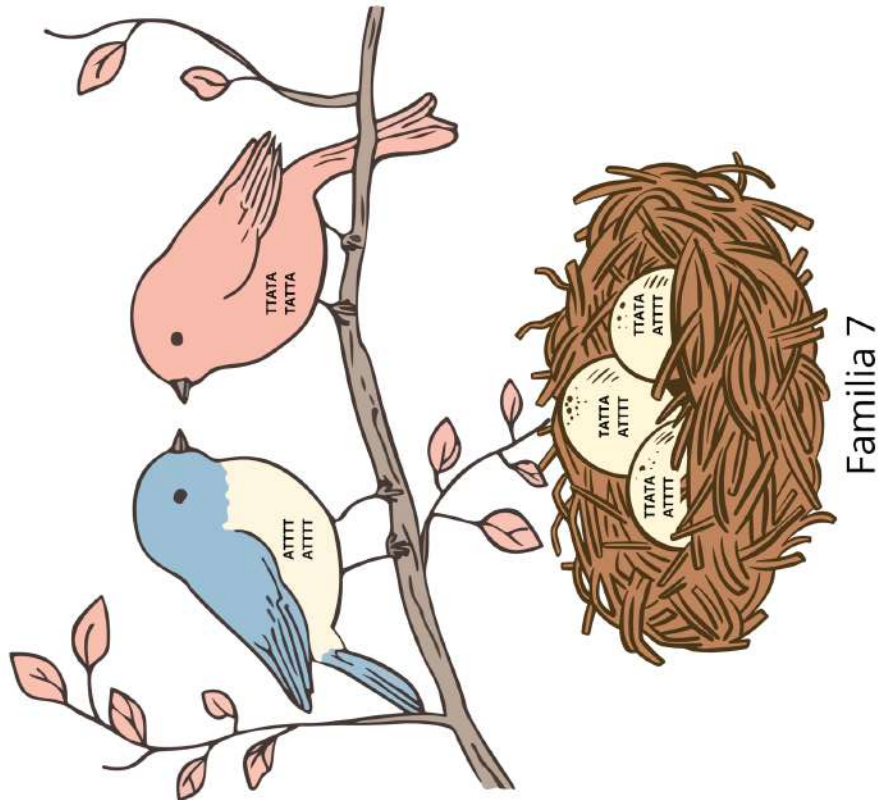
Calificar la gráfica de los resultados y las preguntas de la hoja de respuesta de los alumnos.

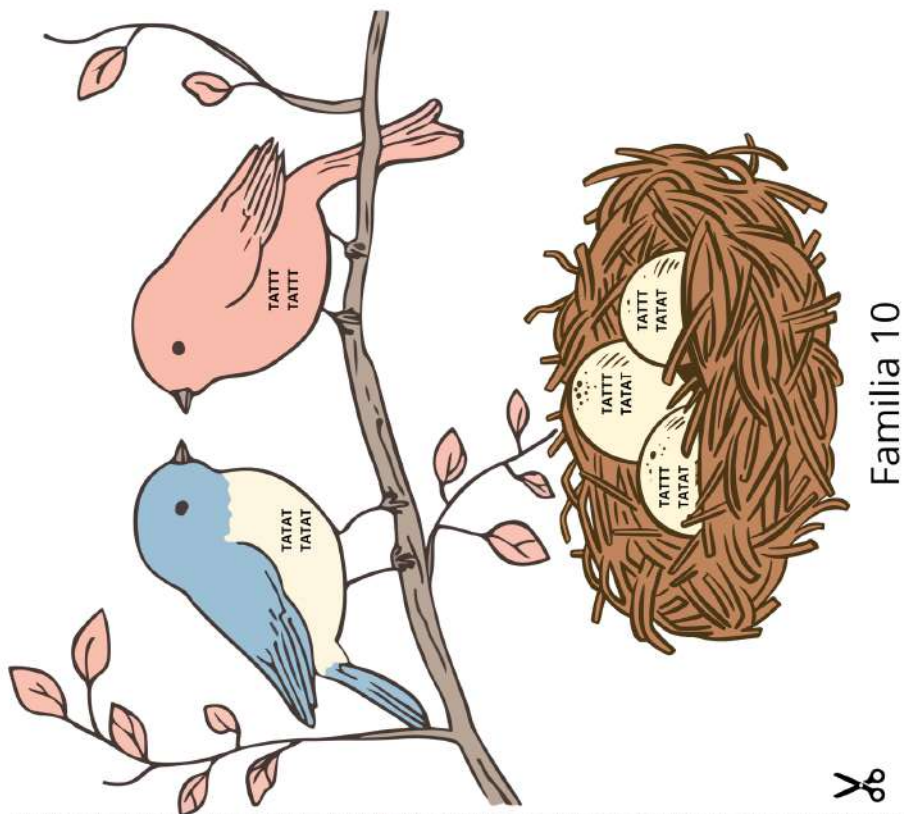
Tarjetas de familia con números pares (entregar a un equipo) y números nones (entregar al otro equipo) en la siguiente página.



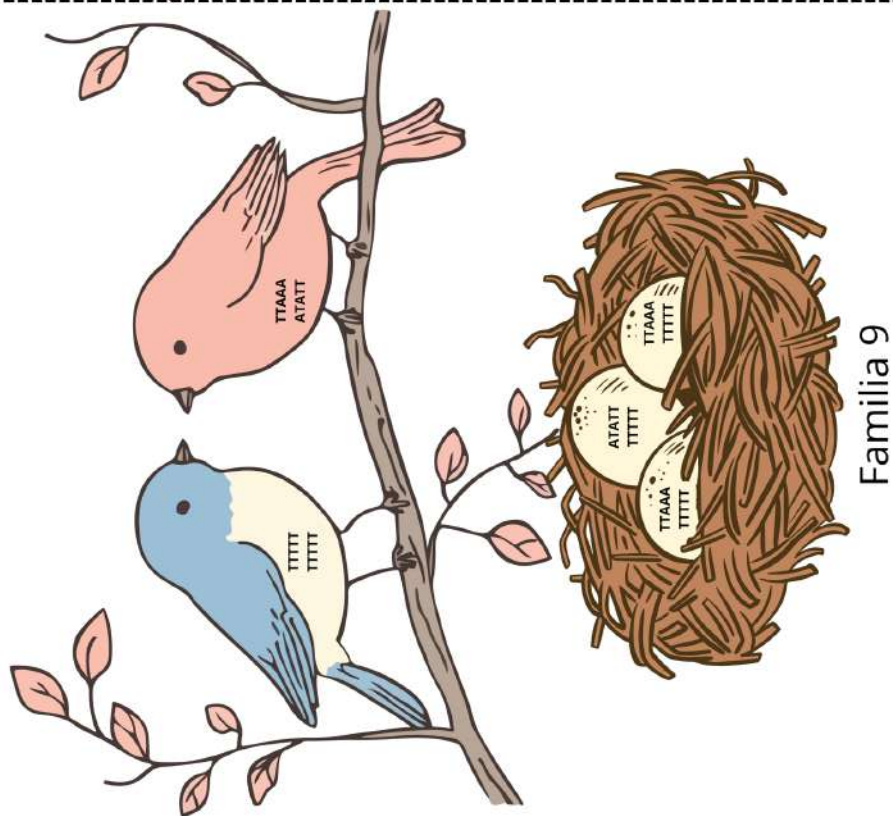




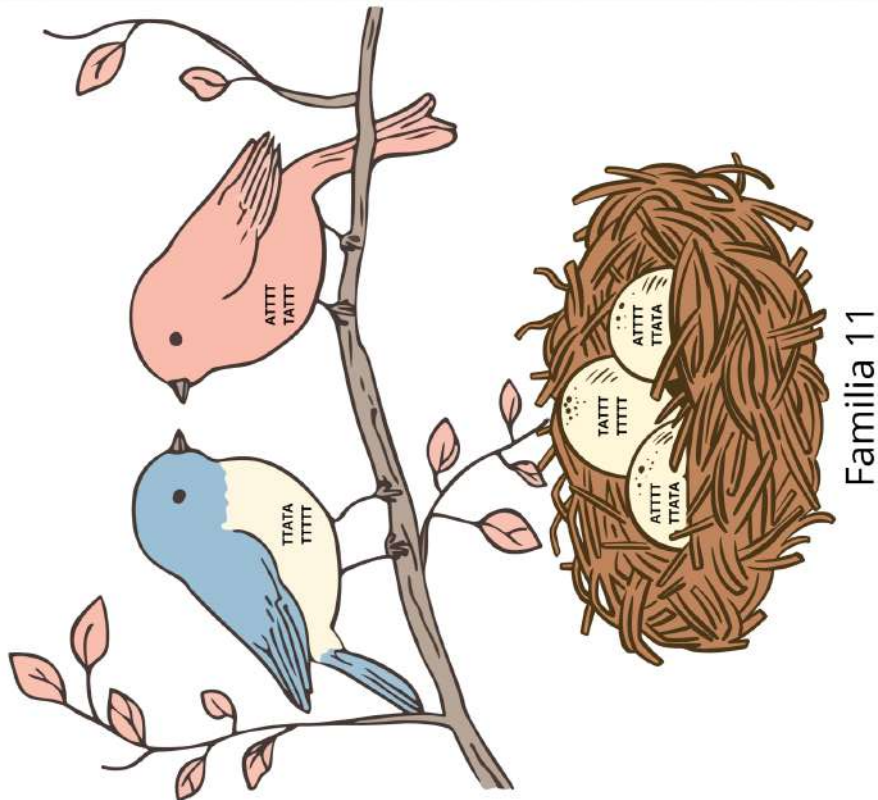


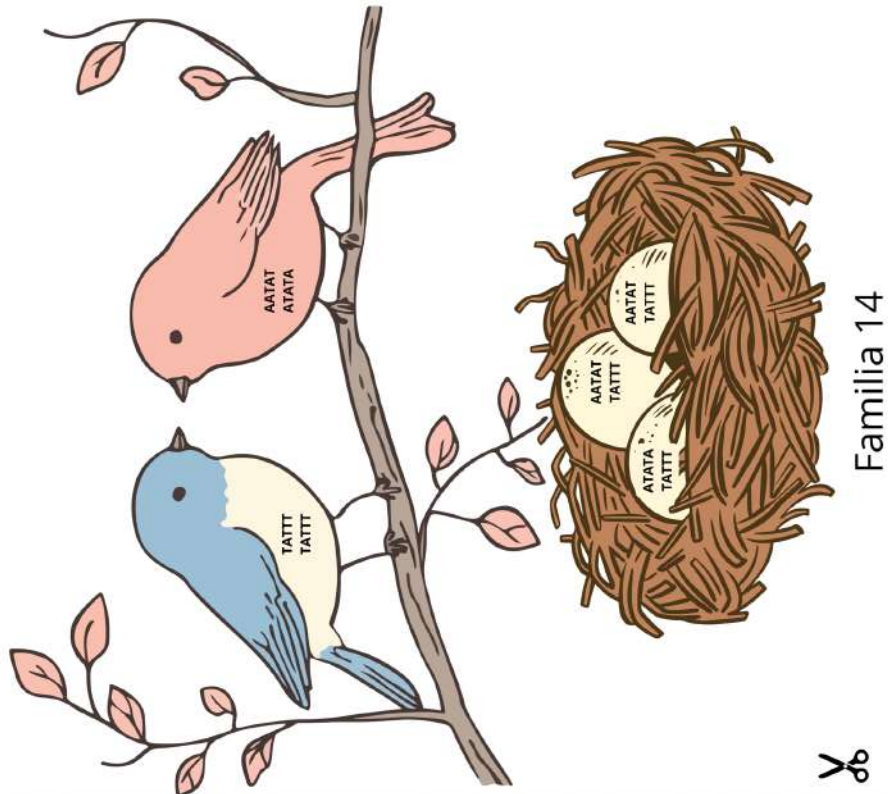


Familia 10



Familia 9

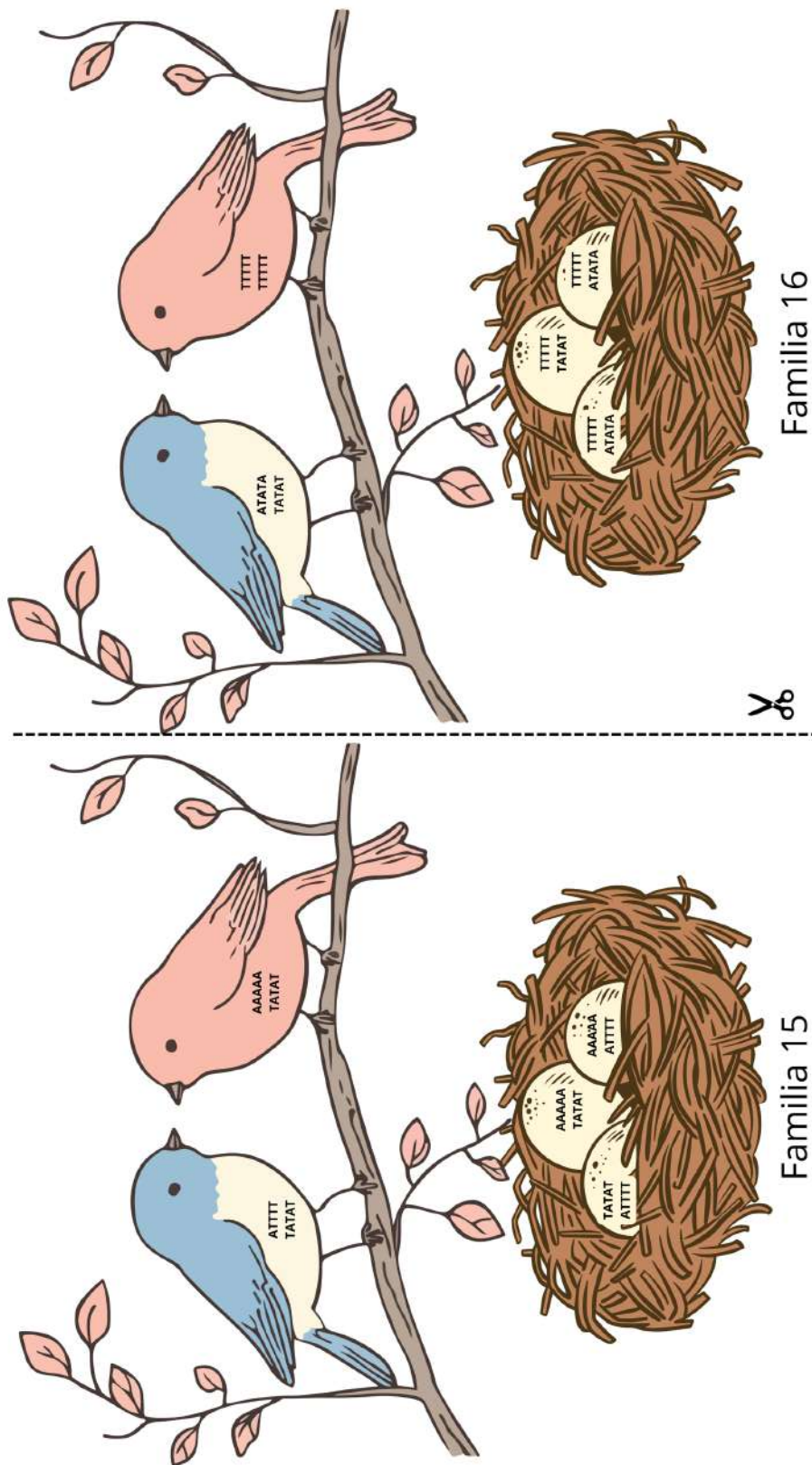




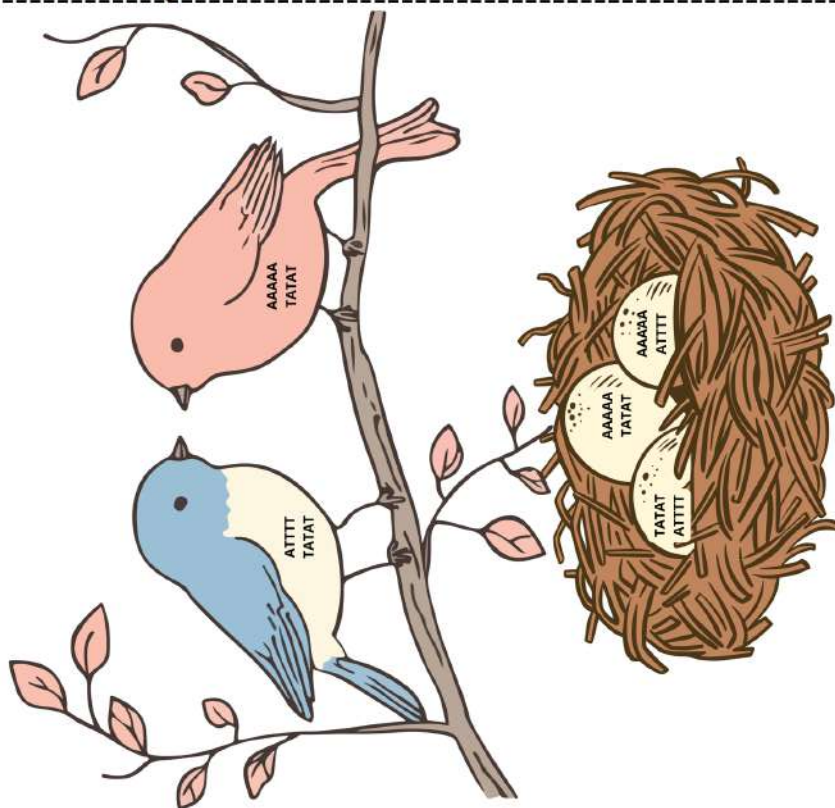
Familia 14



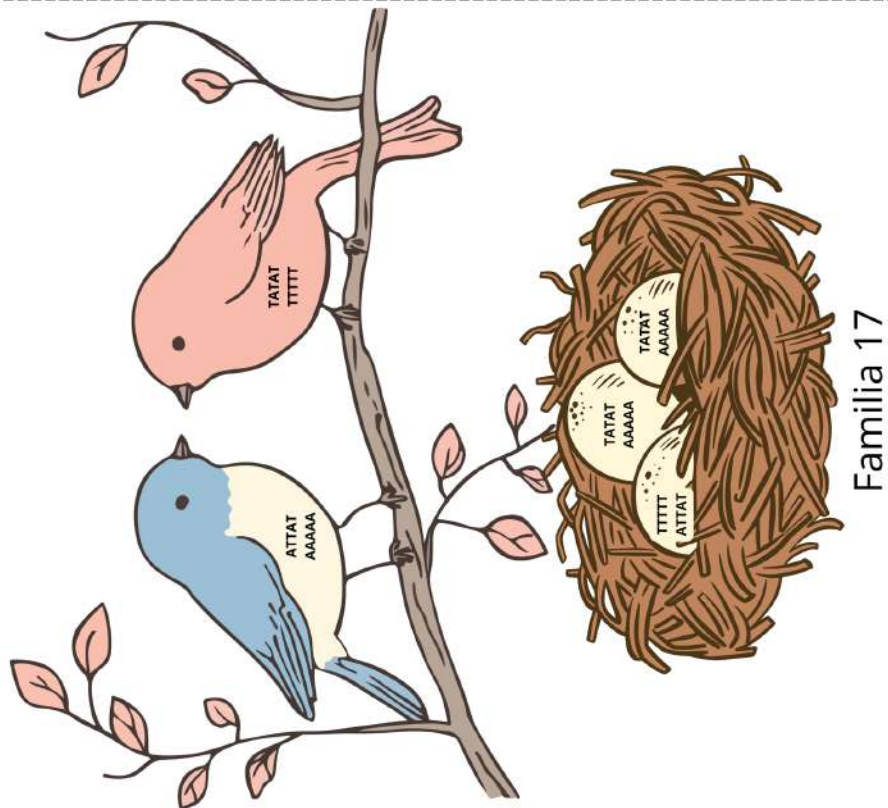
Familia 13

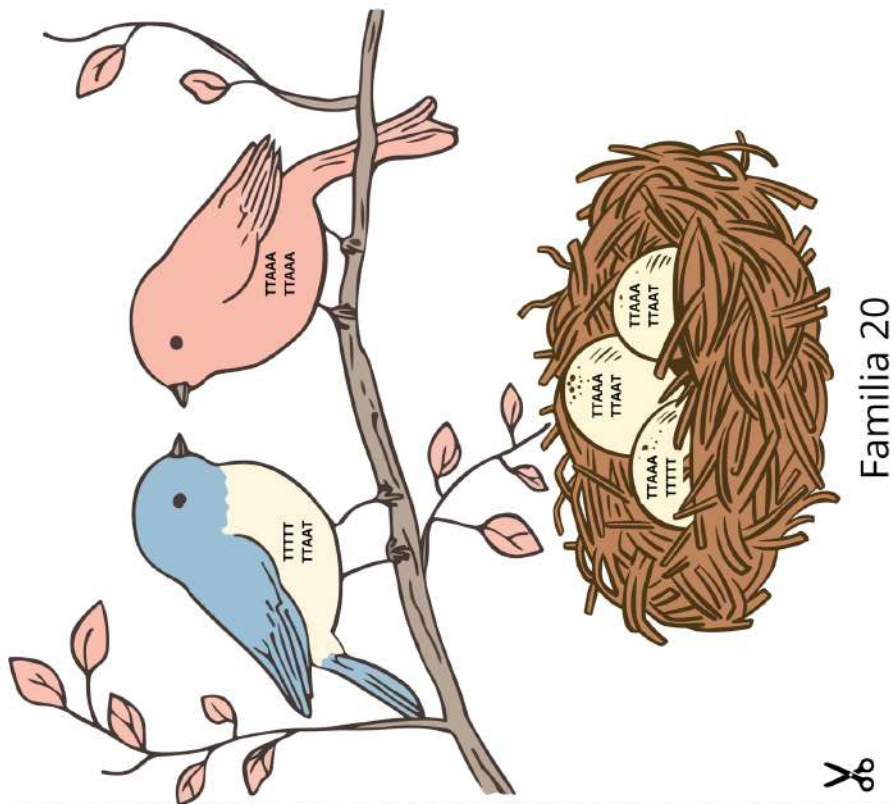


Familia 16



Familia 15

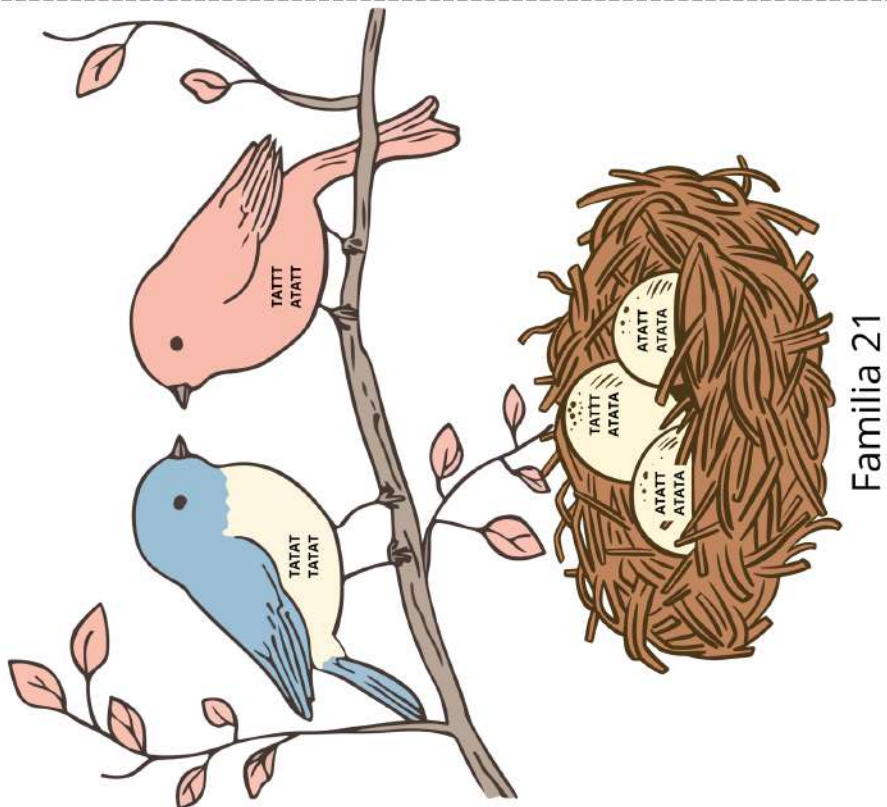




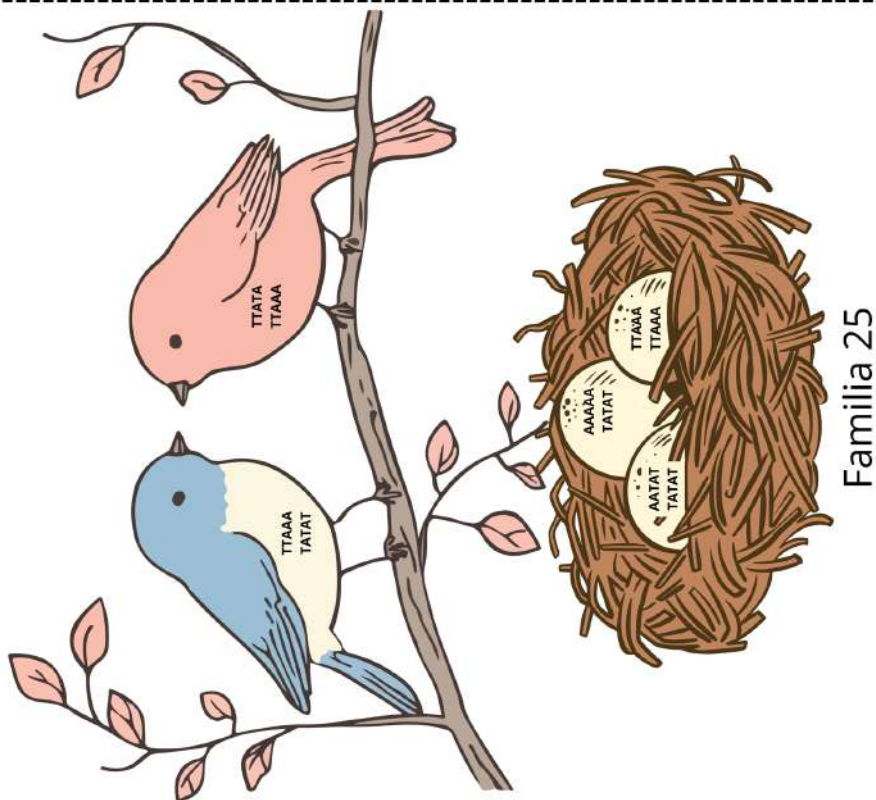
✂

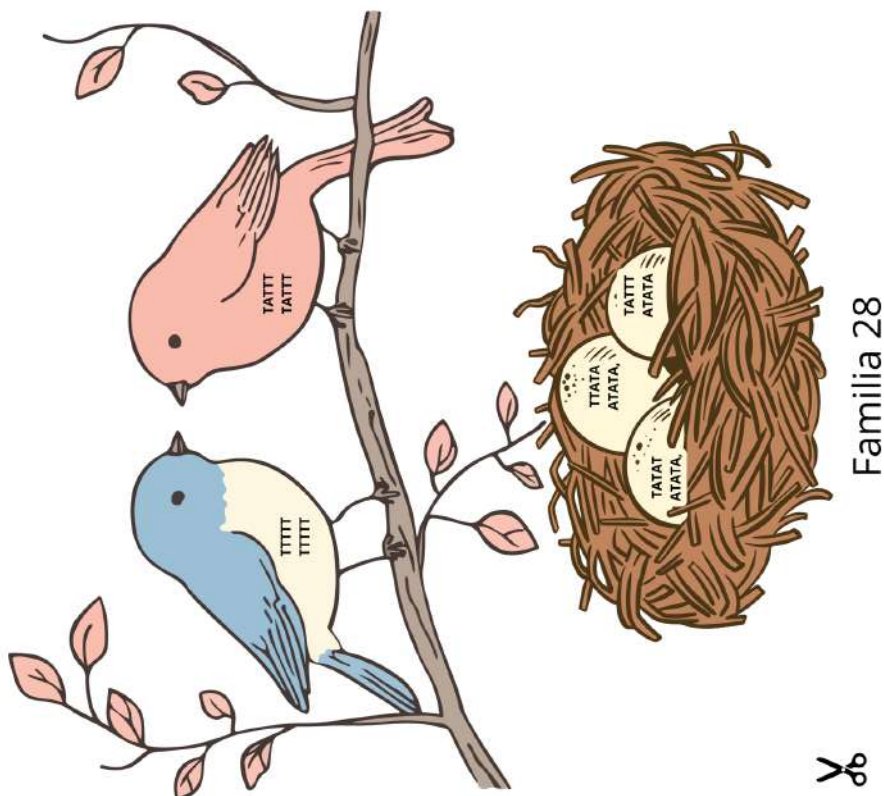


Familia 19

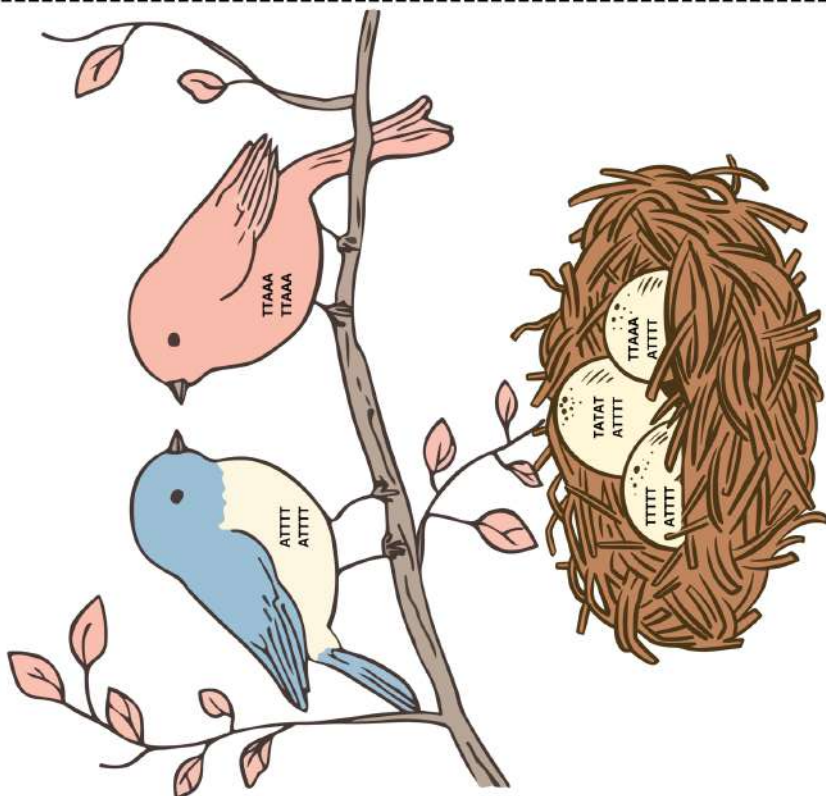




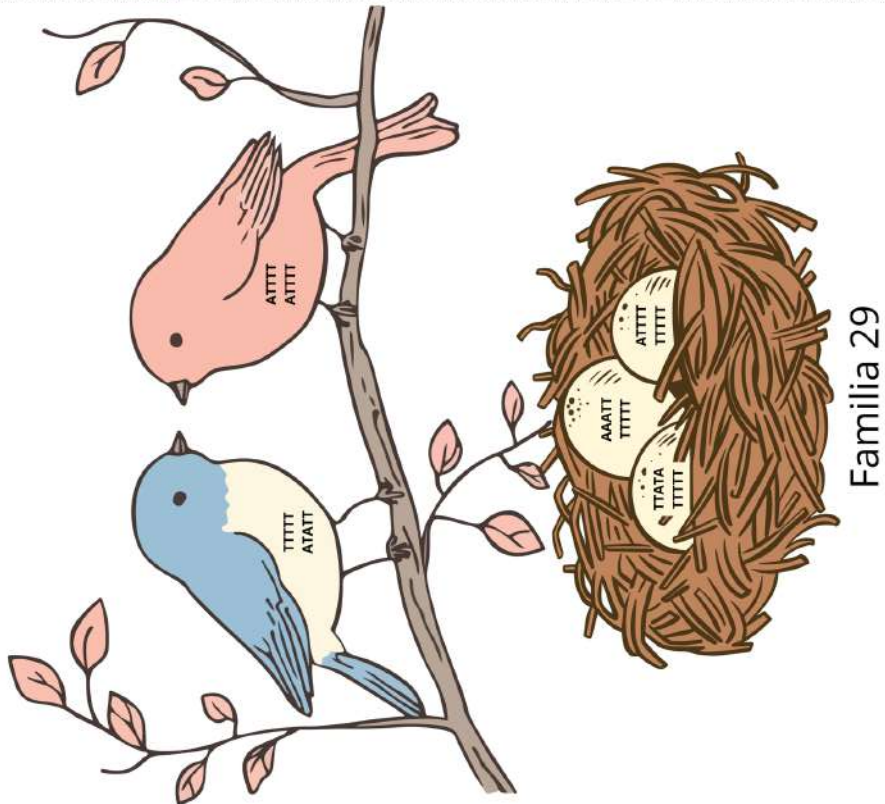




Familia 28



Familia 27



Nombre: _____
Equipo _____

Genética de poblaciones

1. Marcadores genéticos

¿Papa eres tú?

Introducción

Los marcadores genéticos son secuencias de ADN que nos permiten evaluar la variación genética dentro y entre poblaciones (Nielsen & Slatkin, 2013). Entre algunas de las aplicaciones se encuentra la genotipificación, la cual nos permite conocer el genotipo de los individuos, las variantes que se segregan en la población y conocer las relaciones evolutivas entre los organismos.

En conjunto, con una base de datos podemos identificar quiénes son portadores de ciertos polimorfismos, qué individuos pudieron estar involucrados en ciertas circunstancias (por ejemplo, escenas de un crimen) o identificar relaciones de parentesco (Goodwin, et al 2010).

En el caso de las aves, existen diversos sistemas de apareamiento, que hace referencia a cómo las aves consiguen pareja y proporcionan cuidado parental a sus polluelos (Liker, 1995). Estos sistemas son la monogamia y poligamia. La monogamia se define como la elección de una única pareja reproductiva que proporciona también cuidado parental a las crías.



Nombre: _____
Equipo _____

La poligamia por otro lado se refiere a que las aves tienen múltiples parejas reproductivas, pudiendo ser poliándricas (una hembra y varios machos) o poligínicas (un macho y varias hembras). En especies poligínicas se ha visto que los machos invierten menos cuidado parental a las crías dado que el esfuerzo está enfocado a tener el mayor número de parejas (Webster, 1991). Finalmente, en el parasitismo de puesta, las aves colocan sus huevos en otros nidos dejando el cuidado parental a otras aves que no son parientes, a veces ni son de su especie (Payne, 1977).

Muchas veces identificar el sistema de apareamiento de las especies no es sencillo, algunas especies que parecen ser monogámicas en realidad son poligámicas, es decir, forman parejas para la crianza pero la hembra o el macho tienen cópulas con otras parejas y, por consiguiente, los huevos del nido en común tienen más de dos padres. El poder identificar el sistema de apareamiento o si está ocurriendo parasitismo de puesta, requiere de un análisis genético de paternidad.

En este ejercicio lo que se desea es ver la utilidad de los marcadores genéticos en un caso de estudio como el análisis de paternidad. Por lo que se analizarán los genotipos de familias de aves para determinar porcentaje de monogamia, poligamia o parasitismo de puesta.

Procedimiento

1. Recibir las familias de aves.
2. Registren en la tabla de genotipado (siguiente hoja) los genotipos de padres e hijos.
3. Determinen que familias si son monogámicas y cuáles no.
4. Respondan las preguntas a continuación.



Nombre: _____
Equipo _____ -

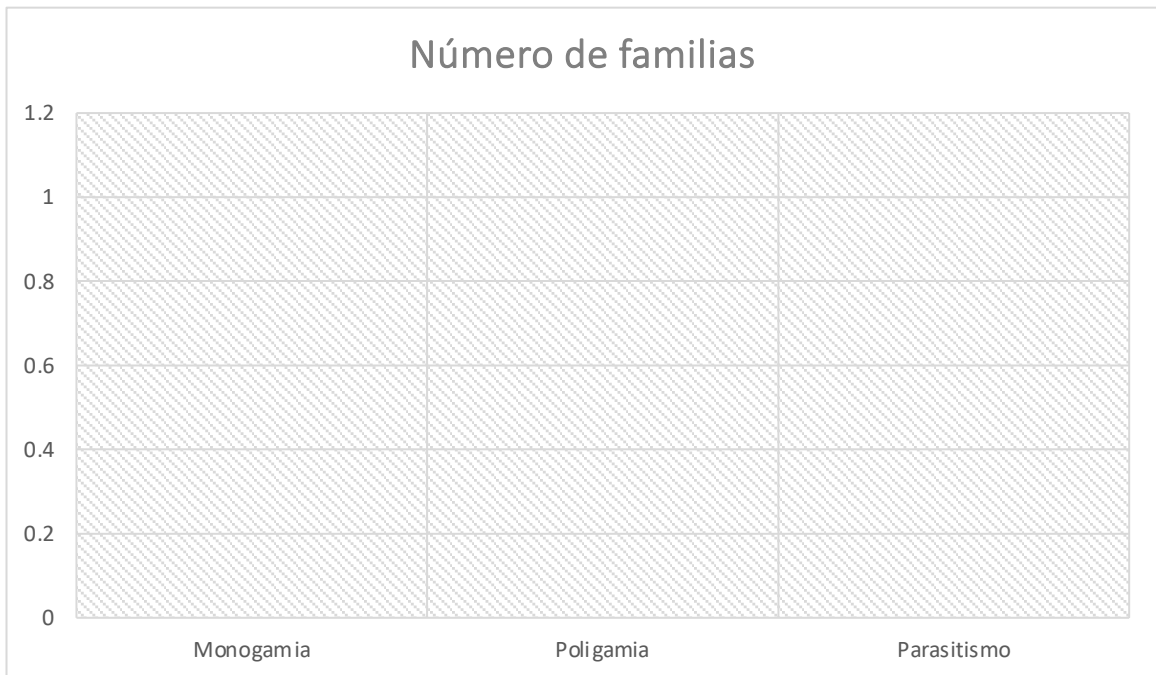
Análisis de resultados

Tabla de genotipado

Familias	Mamá		Papá		Hijo 1		Hijo 2		Hijo 3	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

Nombre: _____
Equipo: _____

Grafica tus resultados



1. ¿Cuántas parejas fueron realmente monogámicas?

2. ¿Cuántas parejas fueron poligámicas?

Nombre: _____
Equipo _____ -

3. ¿Puede haber parasitismo intraespecífico?

Bibliografía citada

Cepková, M., Melišková, M., & Rubáčová, L. (2022). Low Extra-Pair Paternity and Polygamy in the Common Kingfisher *Alcedo atthis*. *Ardeola*, 70(1), 41-58.

Liker, A. (1995). Monogamy in precocial birds: a review. *Ornis Hungarica*, 5, 1-14.

Nielsen R. and M. Slatkin (2013) An introduction to population genetics: Theory and applications. Sinauer Associates Is an Imprint of Oxford University Press

Payne, R. B. (1977). The ecology of brood parasitism in birds. *Annual review of ecology and systematics*, 8(1), 1-28.

Webster, M. S. (1991). Male parental care and polygyny in birds. *The American Naturalist*, 137(2), 274-280.

William Goodwin, Adrian Linacre, Sibte Hadi (2010) An Introduction to Forensic Genetics, 2nd Edition. Wiley

Genética de poblaciones

2. Estructura poblacional

Ranitas al borde de la extinción

Introducción

Este juego trata el tema de estructura poblacional y la ecuación de equilibrio de Hardy-Weinberg. Los alumnos estimarán las frecuencias alélicas y genotípicas (forma en la que se describe la estructura poblacional) de varias poblaciones de rana y luego aplicarán la ecuación Hardy-Weinberg para ver si se encuentran en equilibrio.

Objetivos de aprendizaje

Los alumnos entenderán qué es la estructura poblacional.

Los alumnos entenderán la utilidad del principio de Hardy-Weinberg en el estudio de la estructura poblacional.

Los alumnos podrán interpretar los resultados de las frecuencias alélicas.

Material

Tarjetas de 40 ranitas genotipadas.

Hoja de trabajo titulada “Ranitas al borde de la extinción”.

Tiempo estimado

30-40 minutos

Instrucciones

1.- Formar cuatro equipos.

Rana	Población 1	Población 2	Población 3	Población 4
1	AB	AA	AA	BB
2	AB	BB	AA	BB
3	AA	AB	AA	BB
4	AA	AB	AA	BB
5	AA	AB	AA	BB
6	AA	AB	AA	BB
7	BB	AB	AA	BB
8	BB	AB	AA	BB
9	BB	AB	AA	BB
10	BB	AB	AB	BB

3.- Pedir que lean las instrucciones de su hoja de trabajo “Ranitas al borde de la extinción”.

4.- Anotar en el pizarrón la ecuación de Hardy-Weinberg, las fórmulas para los genotipos observados y esperados, y la formula de Chi cuadrada. Fórmulas:

Fórmula de Hardy-Weinberg:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$p + q = 1$$

Frecuencias genotípicas observadas:

$$P = \frac{n_{pp}}{n_{pp+pq+qq}}$$

$$H = \frac{n_{pq}}{n_{pp+pq+qq}}$$

$$Q = \frac{n_{qq}}{n_{pp+pq+qq}}$$

Frecuencia alélica:

$$p = \frac{n_{pp} + 1/2 n_{pq}}{n_{pp+pq+qq}}$$

$$q = \frac{n_{qq} + 1/2 n_{pq}}{n_{pp+pq+qq}}$$

Frecuencias genotípicas esperadas:

$$p^2 = f(p) \times f(p)$$

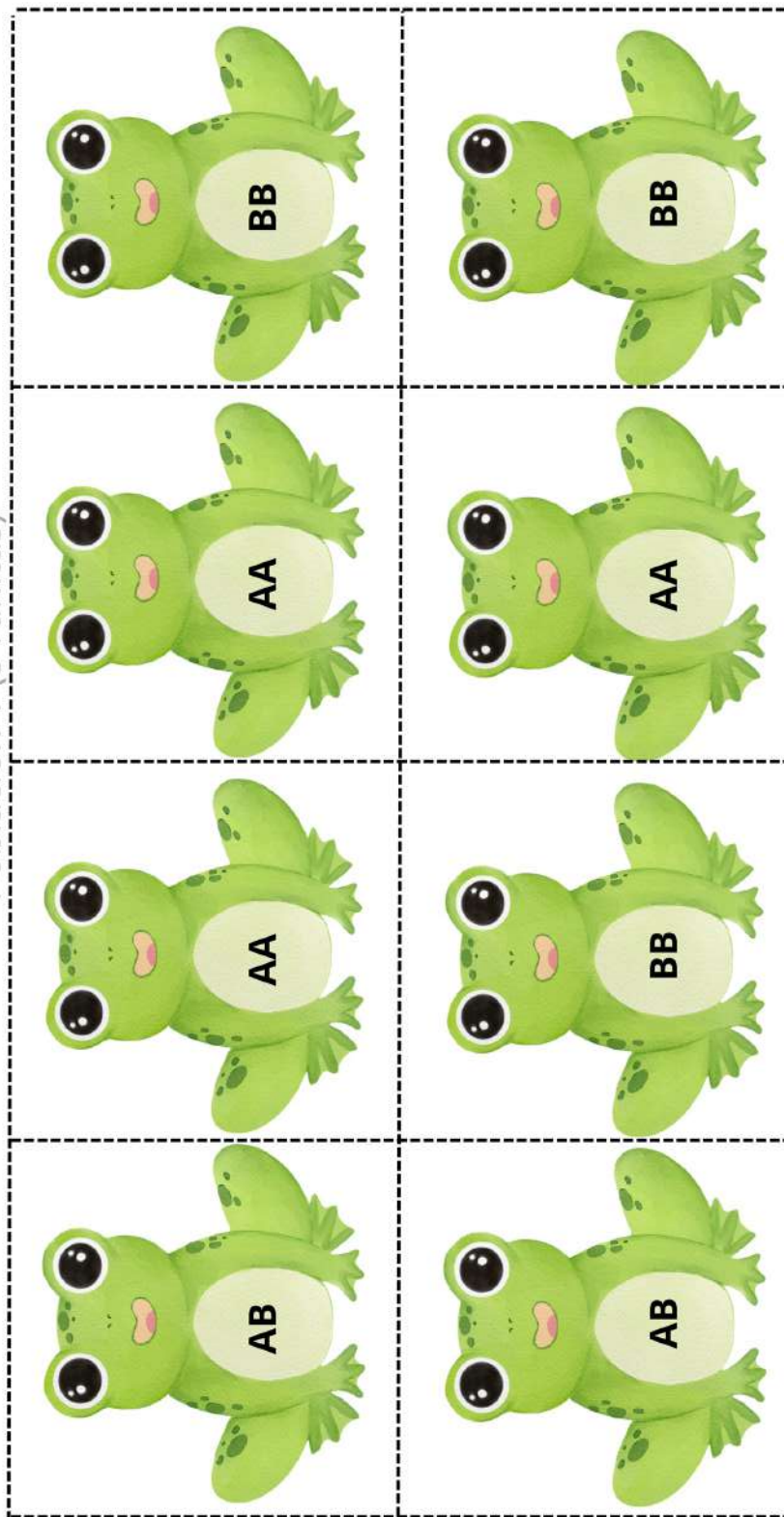
$$pq = 2 \times f(p) \times f(q)$$

$$q^2 = f(q) \times f(q)$$

Forma de evaluación

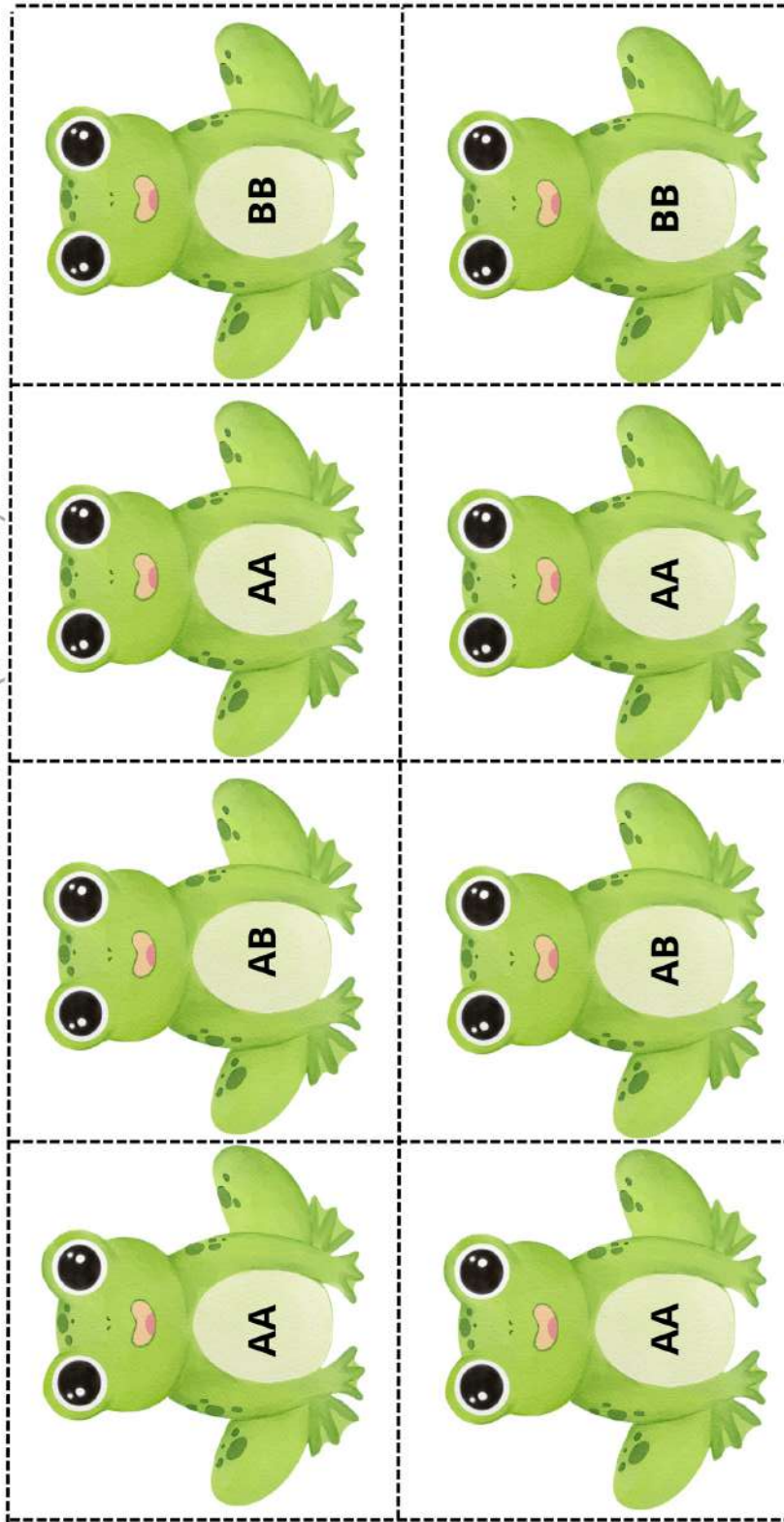
Calificar las hojas de trabajo de los alumnos.

Población 1 (5 ranitas)



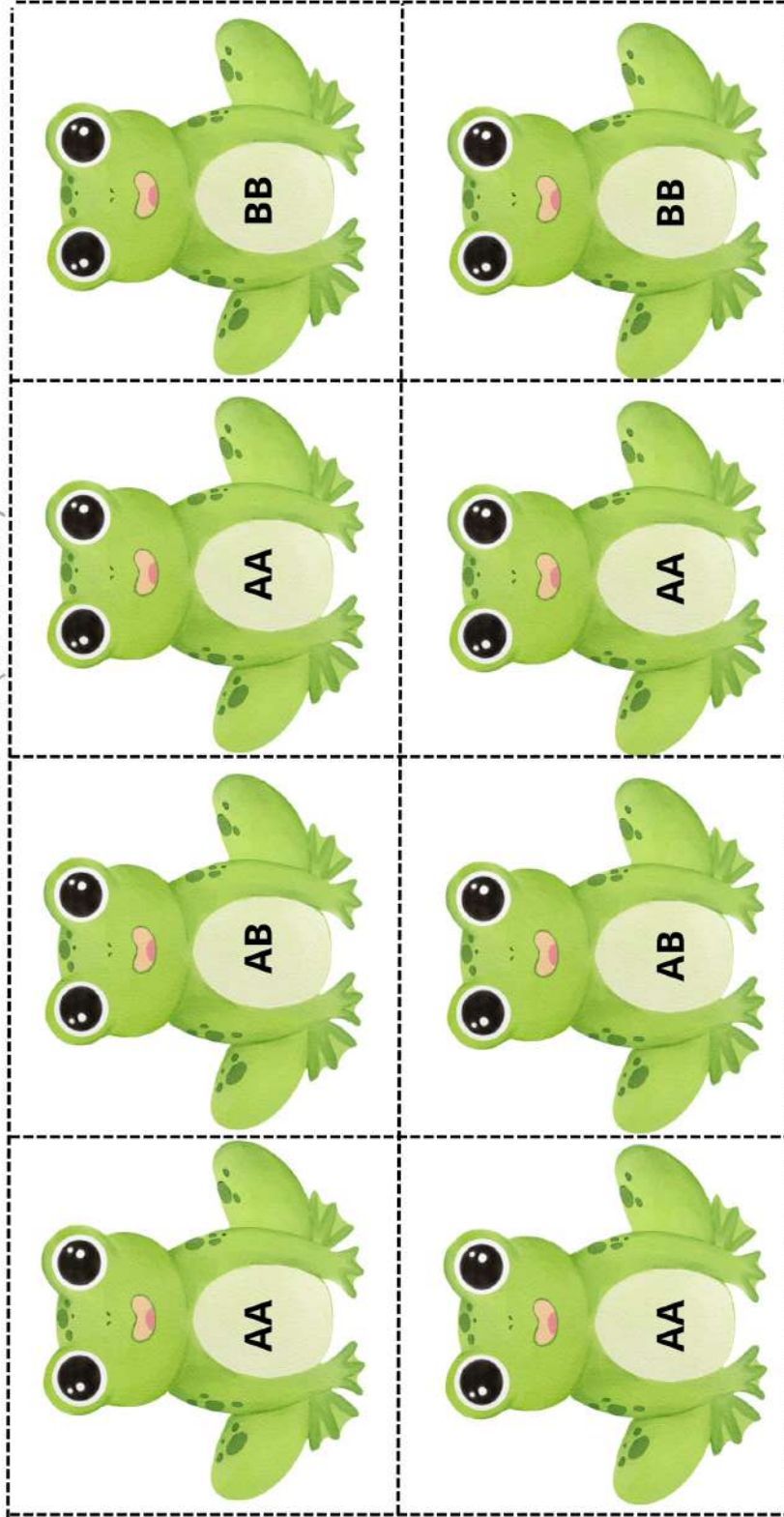
Población 2 (5 ranitas)

Población 3 (5 ranitas)

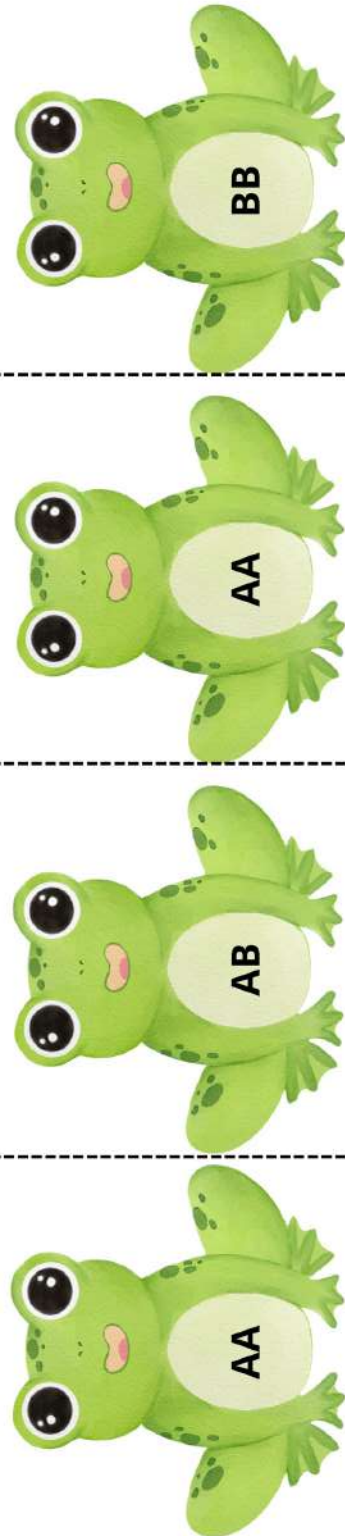


Población 4 (5 ranitas)

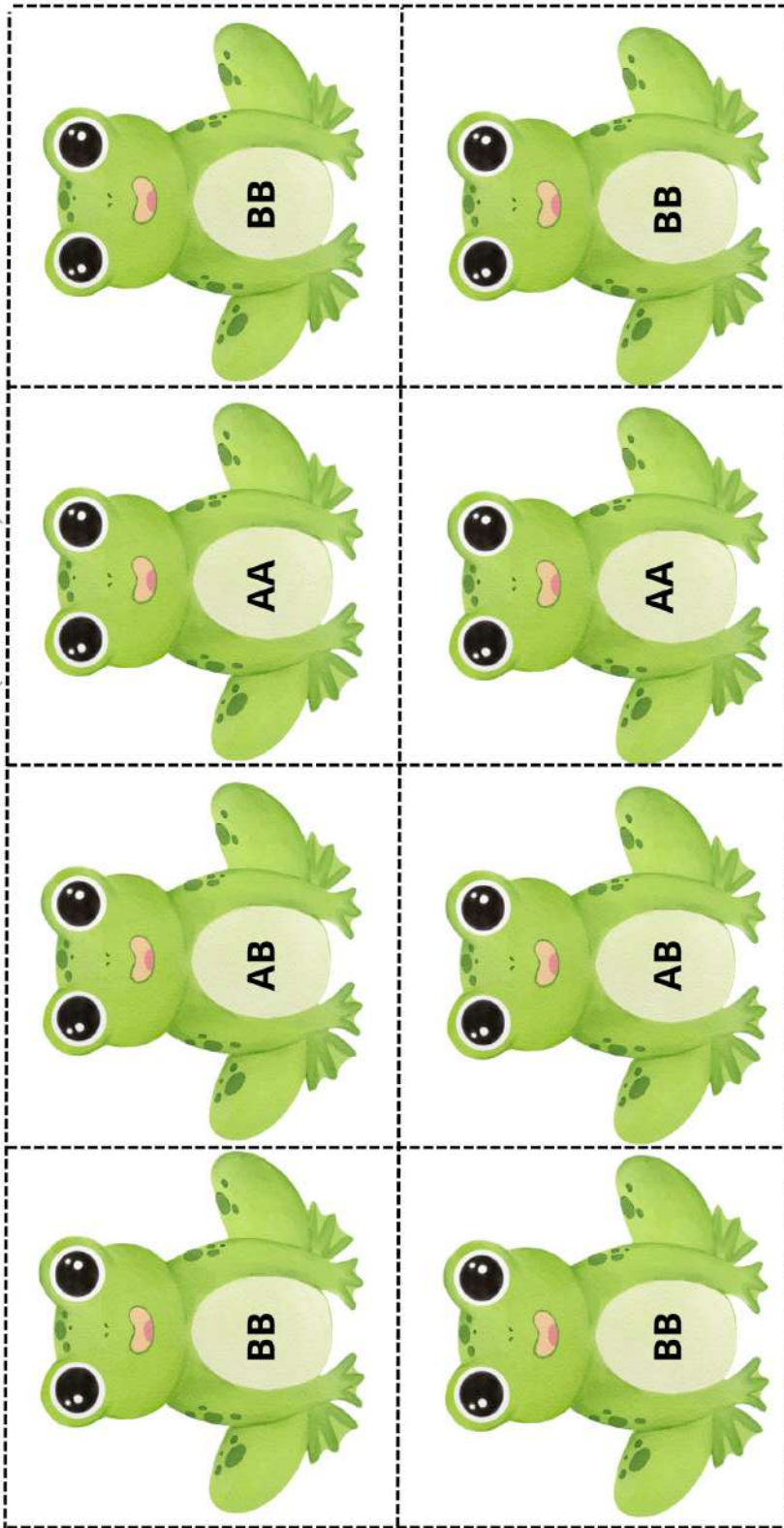
Población 5 (5 ranitas)



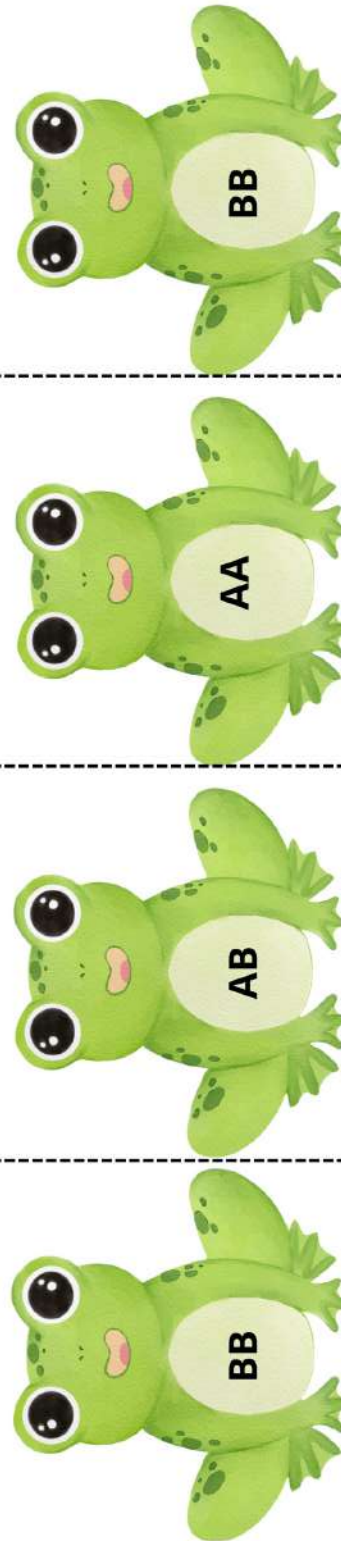
Población 6 (5 ranitas)



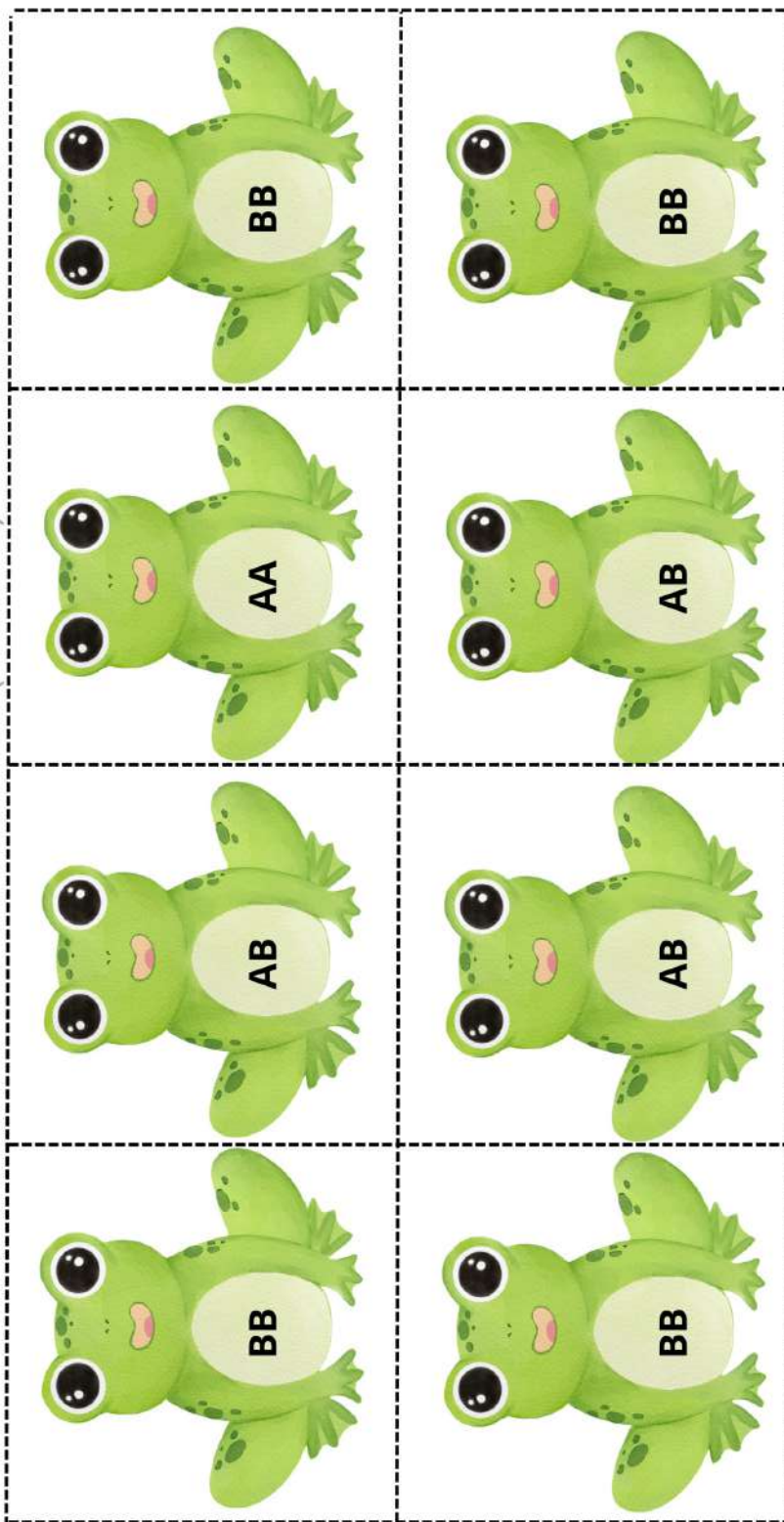
Población 7 (5 ranitas)



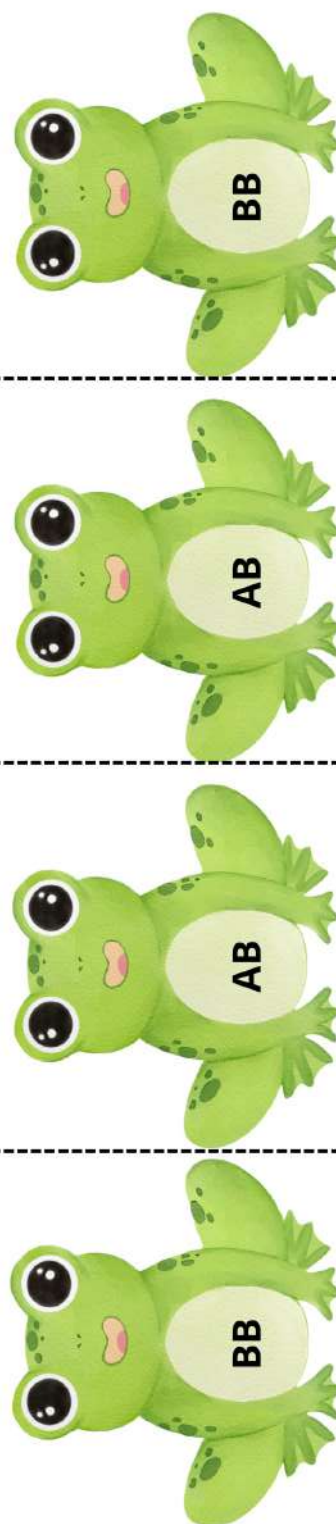
Población 8 (5 ranitas)



Población 9 (5 ranitas)



Población 10 (5 ranitas)



Nombre: _____
Equipo _____ -

Genética de poblaciones

2. Estructura poblacional

Ranitas al borde de la extinción

Introducción

La estructura poblacional se refiere a la distribución de las frecuencias alélicas en las poblaciones que componen una especie. Esta distribución está determinada y es mantenida en el tiempo, en parte, debido a la intervención de factores evolutivos (Hamilton, 2009).

Para poder entender y estudiar la estructura poblacional se utiliza el equilibrio Hardy-Weinberg es un principio que establece que la variación genética en una población permanecerá constante de una generación a la otra en ausencia de factores perturbadores (Hamilton 2009).

A manera de ejemplo contamos con poblaciones de ranitas que ya están genotipadas, es decir, ya conocemos las variantes alélicas que porta cada individuo en la población. Los anfibios son muy vulnerables debido a que requieren de habientes húmedos y charcos de agua dulce para su supervivencia.

Si contamos con 4 lagos que están a punto de secarse de acuerdo con la variación genética que presentan estas poblaciones, ¿convendría priorizar la conservación de una sobre otra?. Reflexiona esta pregunta a medida que describen la estructura poblacional con el siguiente procedimiento.



“Estanque de ranas verdes” Licencia: [CC0 Public Domain](#)

Nombre: _____
Equipo _____ -

Procedimiento

- 1.- Lee primero todas las instrucciones de esta hoja.
- 2.- El profesor formará los equipos y repartirá las ranitas.
- 3.- Calcula las frecuencias genotípicas observadas.

Fórmulas para estimar las frecuencias genotípicas observadas

$$P = \frac{n_{pp}}{n_{pp+pq+qq}} \quad H = \frac{n_{pq}}{n_{pp+pq+qq}} \quad Q = \frac{n_{qq}}{n_{pp+pq+qq}}$$

Número total de individuos= ____

Número de individuos homocigotos pp = ____

Número de individuos heterocigotos pq = ____

Número de individuos homocigotos qq = ____

Para cada genotipo = número de individuos con ese genotipo/ número total de individuos

Anota:

P = Frecuencia del homocigoto pp = ____

H = Frecuencia del heterocigoto pq = ____

Q = Frecuencia del homocigoto qq = ____

- 4.- Calcula las frecuencias alélicas.

Fórmulas para estimar la frecuencia alélica

$$p = \frac{n_{pp} + 1/2 n_{pq}}{n_{pp+pq+qq}} \quad q = \frac{n_{qq} + 1/2 n_{pq}}{n_{pp+pq+qq}}$$

Para cada alelo = número de individuos homocigotos con ese alelo + la mitad de los individuos heterocigotos con ese alelo / número total de individuos

Nombre: _____
Equipo _____

Anota:

Frecuencia del alelo p = ____
Frecuencia del alelo q = ____

5.- Calcula las frecuencias genotípicas esperadas

Fórmulas para estimar las frecuencias genotípicas esperadas

$$p^2 = f(p) \times f(p) \qquad pq = 2 \times f(p) \times f(q) \qquad q^2 = f(q) \times f(q)$$

p^2 = Frecuencia esperada del homocigoto pp =
(Frecuencia del alelo p) x (Frecuencia del alelo p) = ____

$2pq$ = Frecuencia esperada del heterocigoto pq =
 $2 \times$ (Frecuencia del alelo p) x (Frecuencia del alelo q) = ____

q^2 = Frecuencia esperada del homocigoto qq =
(Frecuencia del alelo q) x (Frecuencia del alelo q) = ____

6.- Calcula el valor de X^2 .

Usa el número de individuos para cada genotipo. Este se obtiene multiplicando la frecuencia genotípica por el número total de individuos en la población.



Nombre: _____
Equipo _____

Formula de Chi cuadrada:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observado} - \text{esperado})^2}{\text{esperado}}$$

$\chi^2 = ((\text{Homocigotos pp observados} - \text{Homocigotos pp esperados})^2 / \text{Homocigotos pp esperados}) +$
 $(\text{Heterocigotos pq observados} - \text{Heterocigotos pq esperados})^2 / \text{Heterocigotos pq esperados}) +$
 $(\text{Homocigotos qq observados} - \text{Homocigotos qq esperados})^2 / \text{Homocigotos qq esperados})$

$$\chi^2 = ((______ - ______)^2 / ______) + ((______ - ______)^2 / ______) + ((______ - ______)^2 / ______) =$$

7.- Determina si la población esta en equilibrio Hardy-Weinberg.
Hipótesis nula: las frecuencias están en equilibrio Hardy-Weinberg.

Valor de $\chi^2 =$ esto es $>$ o $<$ que 3.84

8.- Compara con tus compañeros y responde que población conviene salvar dado el criterio de mayor diversidad.



Nombre: _____
Equipo _____ -

Análisis de resultados

Responde las siguientes preguntas y compara tus resultados con los de tus compañeros.

1.- Tomando en cuenta los resultados del resto de tus compañeros ¿cómo describes con tus palabras la estructura poblacional de las poblaciones de estas ranitas?

2.- ¿Qué significa que haya valores genotípicos observados y esperados?

3.- ¿Tu población estuvo en equilibrio Hardy-Weinberg?

4.- ¿Qué crees que ocurriría con las frecuencias alélicas si hubiera selección solo para el alelo q?

Bibliografía recomendada

Hamilton, M. B. (2021). *Population genetics*. John Wiley & Sons

Genética de poblaciones

3. Los cinco factores evolutivos

La evolución de las poblaciones

Introducción

El ejercicio muestra a los alumnos como los factores evolutivos pueden modificar las frecuencias genéticas y alélicas de las poblaciones. Se revisarán los siguientes conceptos: endogamia, migración, selección, mutación y deriva génica.

Objetivos de aprendizaje

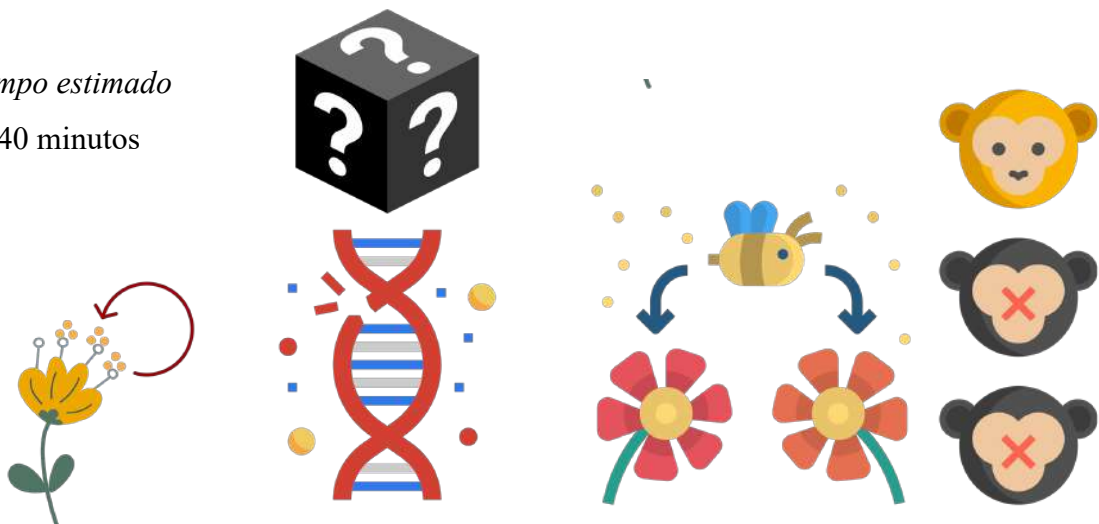
Los alumnos asociarán los efectos de los factores evolutivos sobre la estructura poblacional.

Material

Tarjetas imprimibles de los factores evolutivos y sus consecuencias en la estructura poblacional.

Tiempo estimado

30-40 minutos



Instrucciones

- 1.- Los alumnos deben de hacer equipos y cada equipo recibirá un juego de cartas.
- 2.- La hoja de factores se imprime tres veces y las hojas de los enunciados una vez.
- 3.- Colocar una mesa al centro de cada equipo y el juego de tarjetas debe de ser barajado y colocado boca abajo.
- 4.- Por turno los alumnos voltearán un par de tarjetas, si coincide la definición con el concepto, el alumno se queda con el par de cartas, si no, las voltea nuevamente. En ambos casos se sede el turno al siguiente jugador.

Forma de evaluación

Obtiene la calificación más alta el jugador de cada equipo que tiene un mayor número de pares.

*Se recomienda jugar tres veces para reforzar los conceptos.

Literatura citada

No hay literatura citada.

Respuestas correctas:

Flujo genético

- 1.- Se llama así al movimiento exitoso de alelos entre poblaciones a través del movimiento de individuos (migración) o el movimiento de gametos.
- 2.- Cuando éste es limitado por la distancia, se genera un fuerte aislamiento lo que conduce a la estructuración poblacional.
- 3.- Se espera que no ocurra o sea extremadamente limitado en linajes que divergieron hace mucho tiempo.

Endogamia

- 1.- Cada generación la frecuencia de los heterocigotos va a disminuir a la mitad, mientras que una cuarta parte del heterocigoto la frecuencia se agregara a las frecuencias de cada homocigoto.
- 2.- Cambia las frecuencias genotípicas, pero no las frecuencias alélicas porque la población perderá toda la heterocigosidad pero no los alelos.
- 3.- Las consecuencias fenotípicas de esta son el vigor híbrido y la depresión por endogamia.

Deriva genética

- 1.- La dirección de los cambios de la frecuencia alélica son aleatorios.
- 2.- Su efecto depende del tamaño de la población siendo más evidente en poblaciones pequeñas.
- 3.- Provoca la pérdida de diversidad genética ya sea fijando o perdiendo alelos.

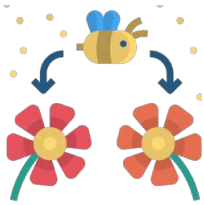
Mutación

- 1.- Crea polimorfismo en las poblaciones.
- 2.- De acuerdo a su ritmo y frecuencia es esperada la divergencia entre linajes.
- 3.- Puede tener tres destinos en las poblaciones: fijarse, perderse, acumularse.

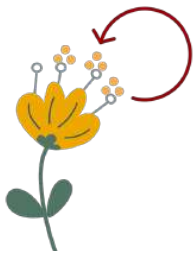
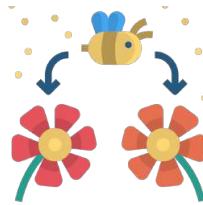
Selección

- 1.- Algunos tipos de selección mantienen la variación. Por ejemplo, el que sí favorece al heterocigoto.
- 2.- Algunos tipos de selección producen la pérdida de la variación. Por ejemplo, el que no favorece al heterocigoto.
- 3.- La frecuencia de alelos y genotipos en la población está asociada a su aptitud biológica (*fitness*).

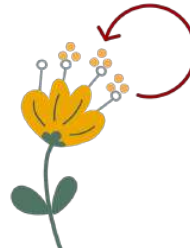
Instrucciones: Imprimir un juego de memorama por equipo.



Flujo genético



Endogamia



Deriva genética



Selección



Mutación

Nota: Imprimir estas tarjetas tres veces por equipo.

Nota: Imprimir estas tarjetas una vez por equipo.

Se llama así al movimiento exitoso de alelos en poblaciones a través del movimiento de individuos (migración) o el movimiento de gametos.

Cada generación la frecuencia de los heterocigotos va a disminuir a la mitad, mientras que una cuarta parte del heterocigoto la frecuencia se agregara a las frecuencias de cada homocigoto.

La dirección de los cambios de las frecuencias alélicas es aleatoria.

Algunos tipos de selección mantienen la variación. Por ejemplo, el que sí favorece al heterocigoto.

Crea polimorfismo en las poblaciones

Nota: Imprimir estas tarjetas una vez por equipo.

Cuando este es limitado por la distancia se genera un fuerte aislamiento lo que conduce a la estructuración poblacional.

Cambia las frecuencias genotípicas pero no las frecuencias alélicas porque la población perderá toda la heterocigosidad pero no los alelos.

Su efecto depende del tamaño de la población siendo más evidente en poblaciones pequeñas.

Algunos tipos de selección producen la pérdida de la variación. Por ejemplo el que no favorece al heterocigoto.

De acuerdo a su ritmo y frecuencia es esperada la divergencia entre linajes.

Nota: Imprimir estas tarjetas una vez por equipo.

Se espera que no ocurra o sea extremadamente limitado en linajes que divergieron hace mucho tiempo.

Las consecuencias fenotípicas de esta son el vigor híbrido y la depresión por endogamia.

Provoca la pérdida de diversidad genética, ya sea fijando o perdiendo alelos.

La frecuencia de alelos y genotipos en la población está asociada a su aptitud biológica (*fitness*).

Puede tener tres destinos en las poblaciones: fijarse, perderse, acumularse.

Nombre: _____
Equipo _____

Genética de poblaciones

Los cinco factores evolutivos

La evolución de las poblaciones

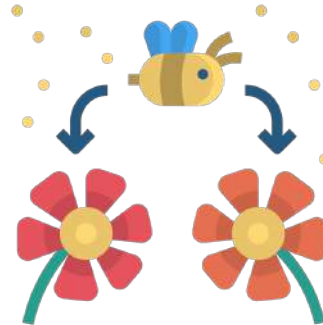
Introducción

La genética de poblaciones se encarga de entender cómo los genes y alelos están distribuidos y son mantenidos en las poblaciones debido a la acción de los factores evolutivos: mutación, flujo genético, sistema de apareamiento (implicaciones de la endogamia), deriva genética y selección natural (Hamilton, 2009). A continuación, se explicará brevemente qué es cada uno de estos factores y su efecto en la estructura de las poblaciones.

La mutación puede ocurrir durante la replicación, transcripción, y traducción del ADN introduciendo cambios en la secuencia de ADN original, creando polimorfismos nuevos a nivel ADN o proteínas. Las mutaciones se pueden clasificar de acuerdo con sus efectos respecto al *fitness* como: neutrales, deletéreas o benéficas (Hamilton, 2009).

Las poblaciones naturales de una especie típicamente están más o menos conectadas por flujo genético, es decir, por el movimiento exitoso de alelos entre poblaciones. Si este ocurre sin la intervención de otros factores, este tenderá a homogenizar las frecuencias alélicas entre subpoblaciones. Por el contrario, en ausencia de flujo genético las poblaciones tenderán a diferenciarse (Hamilton, 2009).

La deriva genética introduce cambios aleatorios (por azar) en las frecuencias alélicas de una generación a la siguiente debido al error de muestreo. Al fijar o perder alelos en una población, la deriva tiene importantes consecuencias ya que ambas condiciones conducen a la disminución de la diversidad genética. Sin embargo, la tasa de pérdida de diversidad genética depende del tamaño poblacional efectivo (i.e. el número de individuos que contribuyen a la siguiente generación). Por lo tanto, el efecto de la deriva genética es mayor y más rápido cuando la población es pequeña que cuando esta es grande (Hamilton, 2009; Gillespie 1998).



Nombre: _____

Equipo _____ -

La endogamia es la reproducción entre individuos emparentados. Cuando ésta ocurre, disminuye la diversidad genética, y aumenta la expresión de variables deletéreas. Tiene diversas consecuencias fenotípicas como la depresión por endogamia y el vigor híbrido. La depresión por endogamia se refiere a la disminución promedio de la aptitud biológica (*fitness* en inglés) de la población mientras que el vigor híbrido se refiere a que los híbridos de dos líneas homocigotas presentan características “superiores” o “mejores” en comparación de las características parentales (Hamilton, 2009; Gillespie, 1998).

La selección natural es el factor evolutivo que mantiene las variantes genéticas, ya sean alelos o genotipos según su aptitud biológica (*fitness*). Se han descrito varios tipos de selección según la variante que es favorecida y, de acuerdo con esto, podemos esperar que se pierda o se mantenga la variación genética en las poblaciones. Por ejemplo, tanto la selección direccional como la selección en contra del heterocigoto disminuyen la diversidad genética, aumentando la pérdida o fijación de alelos; mientras que otros tipos de selección como selección negativa dependiente de la frecuencia y ventaja del heterocigoto mantienen el polimorfismo. Lo que es importante mencionar es que la selección es el único factor evolutivo que genera adaptación (Hamilton, 2009; Gillespie, 1998).

Procedimiento

- 1.- Formen equipos.
- 2.- Cada equipo recibirá un juego de cartas.
- 3.- Cada factor evolutivo tiene tres respuestas correctas por lo que la tarjeta del factor se repite tres veces.
- 4.- Coloquen las tarjetas sobre la mesa, revuélvanlas.
- 5.- Asignen un turno de izquierda a derecha.
- 6.- Cada jugador por turno volteará dos tarjetas, si no son par las debe voltear de nuevo, si son par las toma. En ambos casos cede el turno al siguiente jugador.

Gana quien tenga más pares al terminarse todas las cartas.

*Se recomienda jugar tres veces para reforzar los conceptos.

Nombre: _____
Equipo _____ -

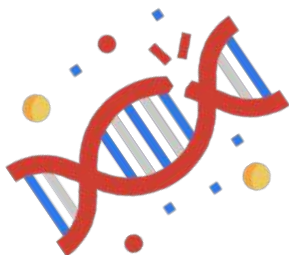
Análisis de resultados

Reúnete con tu equipo y responde lo siguiente:

1.- ¿Cuáles son los tres enunciados asociados a la mutación?

2.- ¿Cuáles son los tres enunciados asociados al flujo genético?

3.- ¿Cuáles son los tres enunciados asociados a la deriva genética?



Nombre: _____
Equipo _____ -

Análisis de resultados

4.- ¿Cuáles son los tres enunciados asociados a la endogamia?

5.- ¿Cuáles son los tres enunciados asociados a la selección?

Bibliografía complementaria

Gillespie John H. (1998) *Population genetics: A concise guide*. 2ed. The Johns Hopkins University Press. USA
Hamilton, M. B. (2009) *Population genetics*. 2ed. Wiley Blackwell. UK.

Especies y filogenia

1. ¿Qué son las especies?

Introducción

En este ejercicio los alumnos pondrán en práctica la argumentación científica para sustentar sus afirmaciones y poder ser partícipes del debate en la construcción del conocimiento.

Objetivos de aprendizaje

Desarrollar un pensamiento crítico para determinar si dos tipos de organismos son especies diferentes o no.

Ampliar su pensamiento y concepción de las unidades discretas en la naturaleza y las unidades evolutivas.

Familiarizarse con los conceptos de especie, complejos de especies, compilospecies, etc.

Material

Tarjetas de presentación de los organismos (con evidencia científica para la argumentación)

Tiempo estimado

30-40 minutos

Instrucciones

- 1.- Formar cuatro equipos.
- 2.- Entregar a cada equipo el cuaderno de trabajo y un juego de tarjetas que vienen en esta guía, páginas 4-8, 5-8, 6-8, 7-8 y 8-8.

Tarjetas

- 1.- *Triceratops - Torosaurus*
- 2.- *Cryptococcus neoformans haploide-diploide*
- 3.- *Coyote-perro-lobo*
- 4.- *Jirafa*
- 5.- *Burro-Caballo-Cebra*

- 3.- Pedir a los alumnos que lean las definiciones de especie que se encuentran en la introducción de su cuaderno de trabajo "¿Qué son las especies?".
- 4.- Indicar a los alumnos que discutan entre ellos que concepto aplicarían a los organismos que aparecen en las tarjetas y si consideran que los ejemplos son especies distintas.
- 5.- Que anoten las dificultades o información que les hace falta y les gustaría tener para decidir si son entidades evolutivas distintas o no, y cómo pueden resolver estas necesidades.

Forma de evaluación

Calificar el cuestionario del Cuaderno de trabajo del alumno.

Literatura citada

No hay literatura citada.

Literatura citada en las tarjetas

Brown, D. M., Brenneman, R. A., Koepfli, K. P., Pollinger, J. P., Milá, B., Georgiadis, N. J., ... & Wayne, R. K. (2007). Extensive population genetic structure in the giraffe. *BMC biology*, 5, 1-13.

Carbone, L., Nergadze, S. G., Magnani, E., Misceo, D., Cardone, M. F., Roberto, R., ... & Giulotto, E. (2006). Evolutionary movement of centromeres in horse, donkey, and zebra. *Genomics*, 87(6), 777-782

Dagg, A. I. (1962). The distribution of the giraffe in Africa. *Mammalia*, 26(4), 497-505.

Fennessy, J., Bidon, T., Reuss, F., Kumar, V., Elkan, P., Nilsson, M. A., ... & Janke, A. (2016). Multi-locus analyses reveal four giraffe species instead of one. *Current Biology*, 26(18), 2543-2549.

Librado, P., & Orlando, L. (2021). Genomics and the evolutionary history of equids. *Annual Review of Animal Biosciences*, 9, 81-101.

Lin, X., & Heitman, J. (2006). The biology of the *Cryptococcus neoformans* species complex. *Annu. Rev. Microbiol.*, 60, 69-105.

Pacheco, C., López-Bao, J. V., García, E. J., Lema, F. J., Llaneza, L., Palacios, V., & Godinho, R. (2017). Spatial assessment of wolf-dog hybridization in a single breeding period. *Scientific Reports*, 7(1), 42475.

Scannella, J. B., & Horner, J. R. (2010). *Torosaurus* Marsh, 1891, is *Triceratops* Marsh, 1889 (Ceratopsidae: Chasmosaurinae): synonymy through ontogeny. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(4), 1157-1168.

Sereno, P. C. (1999). The evolution of dinosaurs. *Science*, 284(5423), 2137-2147.

Vilà, C., & Leonard, J. A. (2012). Canid phylogeny and origin of the domestic dog. Ostrander EA, Ruvinsky A. the genetics of the dog. Oxfordshire: CABI, 1-9.

Wheeldon, T. J., & Patterson, B. R. (2012). Genetic and morphological differentiation of wolves (*Canis lupus*) and coyotes (*Canis latrans*) in northeastern Ontario. *Canadian Journal of zoology*, 90(10), 1221-1230.

Wheeldon, T. J., Rutledge, L. Y., Patterson, B. R., White, B. N., & Wilson, P. J. (2013). Y-chromosome evidence supports asymmetric dog introgression into eastern coyotes. *Ecology and evolution*, 3(9), 3005-3020.

Tarjetas

Triceratops - Torosaurus

Ambos forman parte de un grupo caracterizado por una plataforma ósea en el margen posterior del cráneo y conocen exclusivamente en los continentes del norte de América y Asia, existieron principalmente en el Cretácico superior (Serenio 1999). La morfología de la cabeza cambia radicalmente entre ellos, en *Torosaurus* el hueso parietal no es fenestrado, el escamoso es pequeño y amplio y no hay curvatura en los cuernos. En *Triceratops* el hueso parietal es fenestrado, el escamoso está alargado y los cuernos son curvos hacia el frente. Estudios histológicos de los huesos que los *Torosaurus* revelan que no son especies distintas sino que son individuos inmaduros de *Triceratops* (Scannella & Horner, 2010).



CC BY-SA 3.0 LA-Triceratops mount-2.jpg

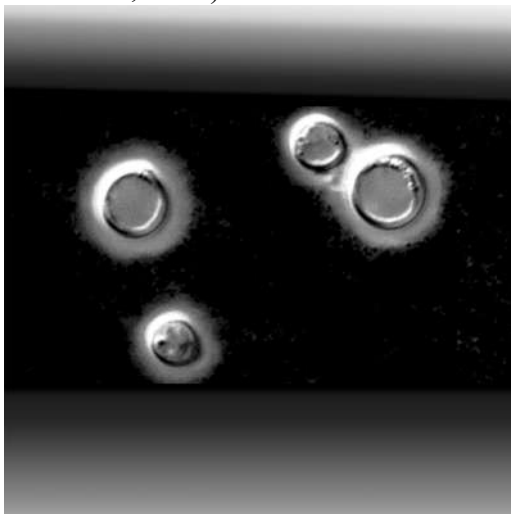


CC BY 2.0 Tiny the Torosaurus.jpg

Tarjetas

Cryptococcus neoformans

Cryptococcus es un hongo que causa meningoencefalitis en humanos. La infección ocurre a través de las vías respiratorias y la manifestación de la enfermedad depende del estado inmunológico del paciente. En los pacientes se han encontrado al menos tres especies: *C. neoformans* var. *neoformans*, *C. neoformans* var. *grubii* y *C. gatti*. Estas especies divergieron hace aproximadamente entre 37 y 18 millones de años. Tradicionalmente y de acuerdo a las reacciones de aglutinación de la cápside se reconocen cinco serotipos A, B, C, D y el híbrido AD. Cada uno con reproducción asexual pero capaces de reproducción sexual si se encuentra el mismo serotipo en el paciente. Los avances moleculares han permitido identificar nueve grupos genéticos: los tipos VNI, VNII y VNB pertenecen al serotipo A que a su vez forman la especie var. *grubii*. El tipo VNIII es el híbrido entre los serotipos AD. El tipo VNIV es el serotipo D, a su vez especie var. *neoformans*. Los tipos genéticos VGI, VGII y VGIII pertenecen al serotipo B y los tipos VGIII y VGIV al serotipo C. El serotipo B y C forman la especie *C. gatti*. (Lin & Heitman, 2006).



CC-BY-2.5 Cryptococcus neoformans.png
<https://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0040427>

Tarjetas

Coyote-perro-lobo

El perro domestico (*Canis lupus familiaris*) es más cercano evolutivamente al lobo gris (*Canis lupus*) que al coyote (*Canis latrans*), la filogenia construida con 15 000 pares de exones e intrones muestra que estos canidos divergieron hace menos de 10 millones de años (Vilà & Leonard, 2012). En general los lobos son más grandes y los coyotes más pequeños, poseen características de vida distintas, organización social diferente y un nicho ecológico distinto.

Sin embargo, se presenta hibridación entre estas especies, entre perros y lobos es tan común que existe la preocupación desde el punto de vista de conservar el acervo genético de los lobos (Pacheco et al., 2017).

Es común encontrar híbridos entre lobos y coyotes tanto así que en las áreas en donde se han establecido planes de conservación se consideran la misma especie por no poderlas distinguir visualmente (ej. Wheeldon & Patterson, 2012). Los coyotes y perros son capaces de hibridar y tener descendencia fértil, de hecho, los perros macho parecen haber hibridado con hembras de coyote varias veces en la historia evolutiva de estos linajes (Wheeldon et al. 2013).



CC-BY-2.0. Lobo americano (*Canis lupus*)
(52527881648).jpg



CC BY-SA 3.0 2009-Coyote-Yosemite.jpg

Tarjetas

Jirafa

De acuerdo a la forma de los cuernos y el patrón de manchas del cuerpo se han descrito 10 subespecies de jirafas. Sin embargo, existe la crítica de que esta información no es suficiente para la definición de los grupos, porque la forma de los cuernos varía en una misma población y porque la distribución no se considera (Dagg, 1962). Otros estudios que han trabajado muestras en todo su rango de distribución y con la información del ADN mitocondrial y microsatélites nucleares muestran la existencia de seis linajes con poco flujo genético entre ellos (Brown et al., 2007). Y recientemente, al incluir más información genética, tanto mitocondrial como nuclear, se estimó por análisis de coalescencia que solo son cuatro subespecies y que de acuerdo a la distancia genética entre ellas deberían ser consideradas especies distintas (Fennessy et al., 2016).



CC BY-SA 4.0 DEED Jirafa (Giraffa camelopardalis) en Zacango 10.jpg

Tarjetas

Burro-Caballo-Cebra

Los equinos son un grupo que incluyen siete especies existentes agrupadas en caballos (*Equus* subg. *Equus*), cebras (*Equus* subg. *Hippotrigris*) y burros (*Equus* subg. *Asinus*). La mayoría de las especies se diversificaron entre 0.5 y 2.5 millones de años; a partir de esa fecha han tenido trayectorias evolutivas distintas (Librado & Orlando, 2021). Los equinos tienen una apariencia morfológica muy parecida y conservan una capacidad todavía considerable de entrecruzamientos. Los híbridos adquieren nombres distintos según sea la cruce, entre caballo macho y burro hembra se produce una mula, entre una cebra y un asno un cebrazno, entre una cebra macho y un caballo hembra se produce un cebrallo. Sin embargo, estos híbridos son infértiles. Esta esterilidad se explica porque los cromosomas de las especies de equinos varían considerablemente en número y en posición del centrómero (Carbone et al. 2006).



CC0 Public Domain

Nombre: _____
Equipo _____

Cuaderno de trabajo y plantillas

Especies y filogenia

1. ¿Qué son las especies?

Introducción

La palabra especie viene del latín que significa “tipo”. En el diccionario de la Real Academia Española dice:

“Bot. y Zool. Cada uno de los grupos en que se dividen los géneros y que se componen de individuos que, además de los caracteres genéricos, tienen en común otros caracteres por los cuales se asemejan entre sí y se distinguen de los de las demás especies. La especie se subdivide a veces en variedades o razas.”

Esto suena muy fácil de entender y comprender, pero en la práctica no es tan sencillo identificarlas. Por lo que los biólogos utilizan muchos conceptos para definir las, estudiarlas y poder identificarlas.

Por eso existen varios conceptos de especie y definiciones para los que se considera que está por debajo del nivel taxonómico de especie (ej. subespecie, variedad, raza, etc.). En el siglo XVI se empezó a utilizar el término raza para distinguir a un grupo que posea características identificables, una vez nombradas las especies con la terminología propuesta por Carlos Linneo (1735) se usó el término variedad como una “desviación” del tipo (Mayr & Ashlock, 1991). Durante el siglo XIX se comenzaron a utilizar las subespecies para reemplazar a las variedades, usualmente para describir razas geográficas (en este contexto raza geográfica= subespecie), Mayr, 1942 (Mayr, 1999).

En realidad, las definiciones de especie comienzan con Platón y Aristóteles en el siglo III a.C. (Wilkins, J. S. (2003) y existen actualmente más de 30 conceptos (ej. Bousquets y Aguirre, 2000). Aquí mencionaremos solo algunos de ellos para darnos una idea de lo que son las especies. Concepto agámico de especie propuesto por Cain 1954, considera que una especie es un grupo de poblaciones con reproducción uniparental a las que no se les puede aplicar el concepto biológico de especie porque no tienen verdadera reproducción sexual. También Cain (1954) define el Concepto morfológico de especie como un conjunto de individuos similares morfológicamente, separados de otros conjuntos por discontinuidades morfológicas. Estos individuos están asociados entre sí por una distribución geográfica definida (Bousquets y Aguirre, 2000; De Queiroz, 2007).

Nombre: _____
Equipo _____

El Concepto paleontológico propuesto por Simpson (1961) menciona que una especie es una serie cronológica en un solo linaje cuyos límites, por definición, son arbitrarios. El Concepto biológico de especie propuesto por Mayr (1970) dice una especie son grupos de poblaciones naturales, genéticamente similares y con intercambio genético, interfértiles y aislados reproductivamente de otros grupos análogos. El Concepto filogenético, propuesto por Cracraft (1983), menciona que la especie es la agrupación más pequeña de organismos individuales diagnosticable, dentro de la cual hay un patrón parental de ancestro-descendencia. Y el Concepto evolutivo propuesto por Wiley (1978) señala que la especie es una secuencia ancestro-descendiente de poblaciones (linaje) que evolucionaron separadamente de otras secuencias y que poseen papeles y tendencias evolutivas propias, se refiere a linaje como uno o una serie de demos que comparten una historia común de descendencia no compartida por otros demos (poblaciones) (Bousquets y Aguirre, 2000). El Concepto de concordancia genealógica propuesto por Avise y Ball (1990) Considera que una especie es cualquier subdivisión de una población identificada concordantemente por múltiples atributos genéticos independientes (Avise & Ball 1990).

El Concepto ecológico propuesto por Van Valen (1976) dice una especie es un linaje o grupo de linajes cercanos que ocupa un nicho ecológico o zona adaptativa mínimamente diferente de otros linajes con los que coexiste y que evoluciona separadamente de otros linajes que se encuentran fuera de su área de distribución (De Queiroz, 2007; Bousquets & Aguirre, 2000).

Son muchos los conceptos, en biología la palabra especie se refiere a un concepto que requiere fuertes bases teóricas y grandes necesidades prácticas (Bousquets & Aguirre, 2000).



Nombre: _____
Equipo _____ -

Procedimiento

- 1.- Leer cuidadosamente los conceptos de especies mencionados en la introducción.
- 2.- Leer las tarjetas proporcionadas con ejemplos de organismos.
- 3.- Discute que concepto de especie aplicarías a los organismos de cada tarjeta.
4. Responde las preguntas a continuación.

Análisis de resultados

- 1.- ¿Qué criterios tomarían para definir una especie?

- 2.- ¿Que concepto de especie aplicarían a cada tarjeta y por qué?

1.-Triceratops - Torosaurus

2.- Cryptococcus neoformans haploide-diploide

Nombre: _____
Equipo _____

3.- *Coyote-perro-lobo*

4.- *Jirafa*

5.- *Burro-Caballo-Cebra*

3.- ¿Qué dificultades se presentaron en cada caso y como las resolverían?

1.- *Triceratops - Torosaurus*

2.- *Cryptococcus neoformans haploide-diploide*

Nombre: _____
Equipo _____

3.- *Coyote-perro-lobo*

4.- *Jirafa*

5.- *Burro-Caballo-Cebra*

4.- Propongan una definición propia de lo que es una especie.

Nombre: _____
Equipo _____

Bibliografía citada

Awise, J. C., and Ball, R. M., Jr. 1990. Principles of genealogical concordance in species concepts and biological taxonomy. In Oxford Surveys in Evolutionary Biology (D. Futuyma and J. Antonovics, Eds.), Vol. 7, pp. 45±67. Oxford Univ. Press, Oxford.

De Queiroz, K. (2007). Species concepts and species delimitation. *Systematic biology*, 56(6), 879-888.

Bousquets, J. L., & Aguirre, L. M. (2000). El concepto de especie y sus implicaciones para el desarrollo de inventarios y estimaciones en biodiversidad. Proyecto Iberoamericano de Biogeografía y Entomología Sistemática: PRIBES 2000: trabajos del 1er taller iberoamericano de entomología sistemática, 2000, ISBN 84-922495-1-X, págs. 87, 96, 87-96.

Mayr E& Ashlock P.D Principles of systematic biology. 1991 New York:McGraw-Hill.

Mayr, E. (1999). *Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist*. Harvard University Press.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.7 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [13 de marzo de 2024].

Wilkins, J. S. (2003). The origins of species concepts.

Especies y filogenia

2. Modelos de especiación

¿Cómo se hacen nuevas especies?

Introducción

En esta actividad los alumnos usarán su imaginación para dibujar los modelos de especiación.

Objetivos de aprendizaje

Que los alumnos apliquen los conceptos de especiación y puedan diferenciar unos de otros.

Material

Tarjetas con ejemplos de especiación y 1 tablero de juego. 10 fichas para los alumnos en el tablero (una figura por equipo) y un dado. Material no incluido: 1 cronómetro, 1 pizarrón y 1 marcador para pizarrón por equipo.

Tiempo estimado

30-40 minutos

Tarjetas con ejemplos de especiación

- 1.- En peces cíclidos los cambios en la coloración de los machos están asociados a la preferencia de las hembras y esto está provocando divergencia de las poblaciones en un gradiente de estados del carácter (coloración) (Seehausen et al. 2008).
- 2.- Los peces espinosos se diferencian de acuerdo con las presiones ecológicas, de tal manera que el tipo de alimento y hábitat (béntico y limnético) parecen ser los principales factores que están guiando la especiación (Berner, 2009).
- 3.- En los girasoles *Helianthus* el flujo génico y la geografía de la distribución de las especies tienen un papel menor en la divergencia de las especies comparado con las tasas de recombinación interespecífica (Renaut et al. 2013).
- 4.- Hace 60,000 años divergieron las poblaciones de pez corégono en los lagos de Norteamérica, y posteriormente entraron en contacto más recientemente hace 12,000 años. Ahora se observan paralelismos en la especiación porque en cada lago existe selección para la forma bentica y limnética, por lo que está ocurriendo especiación debida a múltiples factores (Gagnaire et al. 2013).
- 5.- Estudios de varias poblaciones del pez espinoso en lagos y ríos muestran que la mayor parte de la divergencia de su genoma en el proceso de especiación es debida a la reducción del flujo genético y al efecto de autostop (*genetic hitchhiking*) asociado a la selección positiva de variantes genéticas (Feulner, et al. 2015).
- 6.- Los pulgones europeos (*Acyrtosiphon*) forman razas asociadas a la planta de la que se alimentan. La cantidad de híbridos van disminuyendo dada la divergencia entre poblaciones adaptadas a la planta huésped (Peccoud et al. 2009).
- 7.- Las regiones de elevada diferenciación en el genoma de cuatro especies hermanas de atrapamoscas *Ficedula* se explican mejor por variaciones en la tasa de recombinación y selección que por disminución en el flujo genético entre especies (Burri et al. 2015).
- 8.- En el género de plantas *Spartina* es común encontrar tetraploides, hexaploides, dodecaploides, sin embargo, poblaciones aloploiploides de *S. anglica* se están extendiendo por el mundo (Ainouche et al. 2004).
- 9.- El ala de *Heliconius heurippa* muestra patrones de coloración intermedios entre otras especies de *Heliconius*. Experimentalmente se produjo el mismo patrón de coloración del ala en la F1 (primera generación de híbridos) a partir de cruces entre *H. cydno cordula* y *H. m. melpomene* (Mavárez et al. 2006).

10.- En el ascomiceto *Sordaria macrospora* y en el basidiomiceto *Coprinus cinereus*, el cruce sexual intraespecífico de cepas que albergan diferentes cariotipos dio lugar a una baja fertilidad en la progenie, lo que concuerda con la idea de que el reordenamiento cromosómico puede desempeñar un papel en el proceso de especiación (Giraud et al. 2008).

11.- Un ejemplo de aloploidos fúngicos se puede encontrar en *Cryptococcus neoformans*, un patógeno humano que causa meningoencefalitis. Se ha descubierto que los híbridos diploides entre dos serotipos diferentes son muy prevalentes en la naturaleza y muestran una mayor aptitud que la forma haploide parental (Giraud et al. 2008).

12.- La salamandra *Ensatina eschscholtzii* se distribuye en anillo alrededor del Valle de California mostrando variación genética que varía a lo largo del anillo. La extinción local de algunas poblaciones ha provocado que se incremente la divergencia y evolucione el aislamiento reproductivo asociado a su zona (Seeholzer, & Brumfield (2023).

13.- La especie *Ostryopsis intermedia* es un híbrido diploide que surgió de la hibridación de *O. nobilis* y *O. davidiana*. Quedó aislada reproductivamente de las especies parentales porque *O. nobilis* florece durante los primeros meses del año y *O. davidiana* florece a finales de año, mientras que *O. intermedia* florece entre estas dos épocas (Wu et al. 2021).

14.-Podría afirmarse que las dos especies del ave *Craniouca antisensis* alguna vez fueron la misma especie. Actualmente, una se distribuye al norte de California y la otra al Sur, los modelos de simulación soportan la extinción de las poblaciones intermedias que las mantenían como una sola especie (Seeholzer, & Brumfield (2023).

15.- Las especies de *Salix* distribuidas en las montañas muy altas que están aisladas por valles, muestran un fuerte aislamiento por distancia, lo que significa que los valles están actuando como una fuerte barrera al flujo genético (Wu et al. 2021).

16.-La planta buddeja *Buddleja alternifolia* (Scrophulariaceae) que se distribuye en el Himalaya, muestra variación intraespecífica en tres poblaciones bien delimitadas. Existen pocos casos de contacto secundario entre ellas desde que inició la divergencia por el aislamiento geográfico y, además, cada una de estas poblaciones poseen loci asociados a la adaptación local (Wu et al. 2015)

17.- Las poblaciones del sapo amazónico *Physalaemus petersi* presentan distintos tipos de llamada de los machos y preferencia de las hembras asociada a esta. Análisis moleculares mostraron que el flujo genético disminuye entre poblaciones con distinto tipo de llamadas, por lo que la divergencia poblacional indica una incipiente especiación (Boul et al. 2007).

18.- Dos especies de faisanes *Chrysolophus pictus* y *C. amherstiae* exhiben distribución geográfica contigua y existe una franja de híbridos entre ellos. Los análisis de coalescencia muestran que estas especies divergieron hace 2 Ma, sin embargo, los ciclos glaciales provocaron una expansión en sus respectivos rangos de distribución dando lugar al contacto secundario, teniendo entonces periodos de aislamiento y posterior admixia (Li et al. 2022).

19.- Las mariposas *Heliconius melpomene*, *H. cydno* y *H. timareta* comparten el rango de distribución geográfica. 40 % del genoma de estas especies se agrupa por área geográfica más que por especie. Sin embargo, en las áreas que están asociadas con el patrón de las alas se muestra poca señal de mezcla genética entre especies, lo que es consistente para una fuerte selección de mimetismo mülleriano (Martin et al. 2013).

20.- Cruzas entre las especies de planta de *Mimulus nasutus* y *M. guttatus* muestran que el 25 % de los machos híbridos F2 con citoplasma de *M. guttatus* muestran un fenotipo estéril. Esto indica que existen conflictos entre ADN mitocondrial y el ADN nuclear (Fishman & Willis, 2006).

21.- Los intectos palo del género *Timema* muestran selección interespecífica e intraespecífica a distintas plantas huésped. Además, la coloración del cuerpo favorece la supervivencia en uno u otro huésped, lo que sugiere que el proceso de divergencia está siendo guiado por la adaptación (Villoutreix et al. 2003).

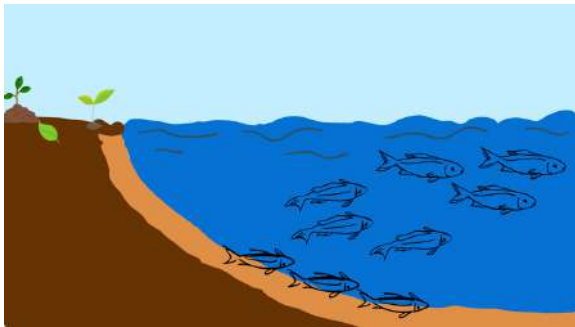
Referencias bibliográficas de las tarjetas con ejemplos de especiación

- Ainouche, M. L., Baumel, A., Salmon, A., & Yannic, G. (2004). Hybridization, polyploidy and speciation in *Spartina* (Poaceae). *New Phytologist*, 161(1), 165-172.
- Berner, D., Grandchamp, A. C. & Hendry, A. P. (2009). Variable progress toward ecological speciation in parapatry: stickleback across eight lake-stream transitions. *Evolution* 63, 1740–1753
- Boul, K. E., Chris Funk, W., Darst, C. R., Cannatella, D. C., & Ryan, M. J. (2007). Sexual selection drives speciation in an Amazonian frog. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 399-406.
- Burri, R., Nater, A., Kawakami, T., Mugal, C. F., Olason, P. I., Smeds, L., ... & Ellegren, H. (2015). Linked selection and recombination rate variation drive the evolution of the genomic landscape of differentiation across the speciation continuum of *Ficedula* flycatchers. *Genome research*, 25(11), 1656-1665.
- Feulner, P. G., Chain, F. J., Panchal, M., Huang, Y., Eizaguirre, C., Kalbe, M., ... & Milinski, M. (2015). Genomics of divergence along a continuum of parapatric population differentiation. *PLoS genetics*, 11(2), e1004966.
- Fishman, L., & Willis, J. H. (2006). Acytoneuclear incompatibility causes anther sterility in *Mimulus* hybrids. *Evolution*, 60, 1372–1381.
- Gagnaire, P. A., Pavey, S. A., Normandeau, E. & Bernatchez, L. (2013) The genetic architecture of reproductive isolation during speciation-with-gene-flow in lake whitefish species pairs assessed by rad sequencing. *Evolution*. 67, 2483–2497
- Giraud, T., Refrégier, G., Le Gac, M., de Vienne, D. M., & Hood, M. E. (2008). Speciation in fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 45(6), 791-802.
- Li, Z., Zhou, J., Gao, M., Liang, W., & Dong, L. (2022). Parapatric speciation with recurrent gene flow of two sexual dichromatic pheasants. *Avian Research*, 13, 100031.
- Mavárez, J., Salazar, C. A., Bermingham, E., Salcedo, C., Jiggins, C. D., & Linares, M. (2006). Speciation by hybridization in *Heliconius* butterflies. *Nature*, 441(7095), 868-871.
- Peccoud, J., Ollivier, A., Plantegenest, M. & Simon, J. C (2009) .. A continuum of genetic divergence from sympatric host races to species in the pea aphid complex. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, 7495–7500
- Renaut, S., Grassa, C. J., Yeaman, S., Moyers, B. T., Lai, Z., Kane, N. C., ... & Rieseberg, L. H. (2013). Genomic islands of divergence are not affected by geography of speciation in sunflowers. *Nature communications*, 4(1), 1827
- Seehausen, O., Terai, Y., Magalhaes, I. S., Carleton, K. L., Mrosso, H. D., Miyagi, R., ... & Okada, N. (2008). Speciation through sensory drive in cichlid fish. *Nature*, 455(7213), 620-626.
- Seeholzer, G. F., & Brumfield, R. T. (2023). Speciation-by-Extinction. *Systematic Biology*, syad049.
- Villoutreix, R., de Carvalho, C. F., Feder, J. L., Gompert, Z., & Nosil, P. (2023). Disruptive selection and the evolution of discrete color morphs in *Timema* stick insects. *Science Advances*, 9(13), eabm8157.
- Wu, S., Wang, Y., Wang, Z., Shrestha, N., & Liu, J. (2022). Species divergence with gene flow and hybrid speciation on the Qinghai–Tibet Plateau. *New phytologist*, 234(2), 392-404.

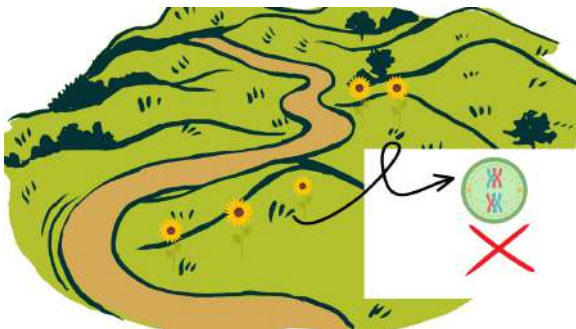
Guía de profesor
Especies y filogenia
2. Modelos de especiación



En peces cíclidos los cambios en la coloración de los machos están asociados a la preferencia de las hembras y esto está provocando divergencia de las poblaciones en un gradiente de estados del carácter (coloración) (Seehausen et al. 2008).



Los peces espinosos se diferencian de acuerdo con las presiones ecológicas; el tipo de alimento y hábitat (béntico y limnético) parecen ser los principios factores que están guiando la especiación (Berner et al. 2009).

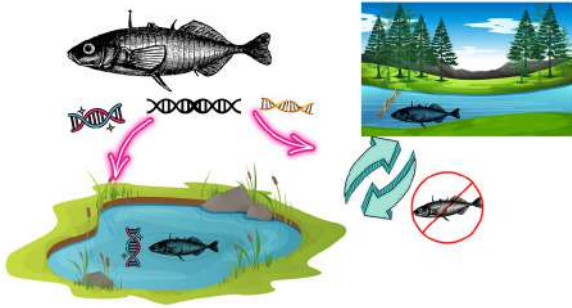


En los girasoles *Helianthus* el flujo génico y la geografía de la distribución de las especies tienen un papel menor en la divergencia de las especies comparado con las tasas de recombinación interespecífica (Renaut et al. 2013).

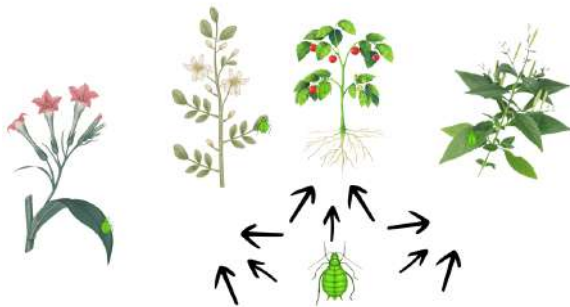
Guía de profesor Especies y filogenia 2. Modelos de especiación



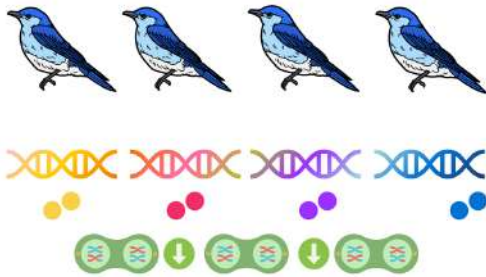
Hace 60,000 años de la divergencia de las poblaciones de pez corégono en los lagos de Norteamérica. Después, entraron en contacto hace 12,000 años. Ahora se observan paralelismos en la especiación porque en cada lago existe selección para la forma béntica y limnética, por lo que está ocurriendo especiación debido a múltiples factores (Gagnaire et al. 2013).



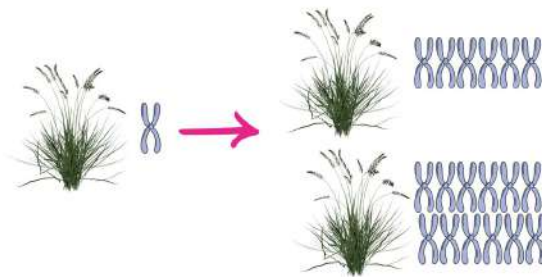
Estudios de varias poblaciones del pez espinoso en lagos y ríos muestran que la mayor parte de la divergencia de su genoma en el proceso de especiación es debido a la reducción del flujo genético y al efecto de autostop (*genetic hitchhiking*) asociado a la selección positiva de variantes genéticas (Feulner, et al. 2015).



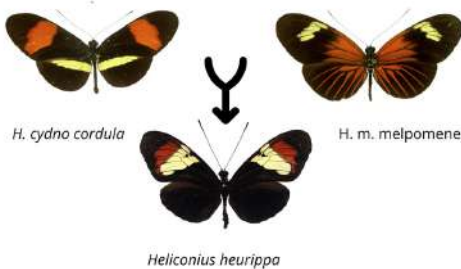
Los pulgones europeos (*Acyrtosiphon*) forman razas asociadas a la planta de la que se alimentan, los híbridos van disminuyendo dada la divergencia entre poblaciones adaptadas a la planta huésped (Peccoud et al. 2009).



Las regiones de elevada diferenciación en el genoma de cuatro especies hermanas de atrapamoscas *Ficedula* se explican mejor por variaciones en la tasa de recombinación y fuentes de selección que por disminución en el flujo genético entre especies (Burri et al. 2015).

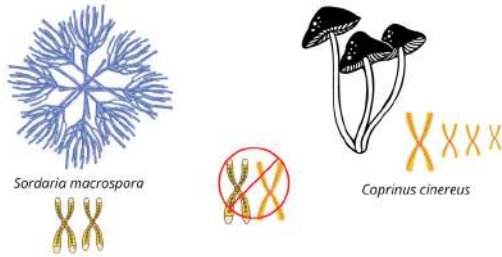


En el género de plantas *Spartina* es común encontrar tetraploides, hexaploides, dodecaploides, sin embargo, poblaciones de *S. anglica* aloploiploides se están extendiendo por el mundo (Ainouche et al. 2004).

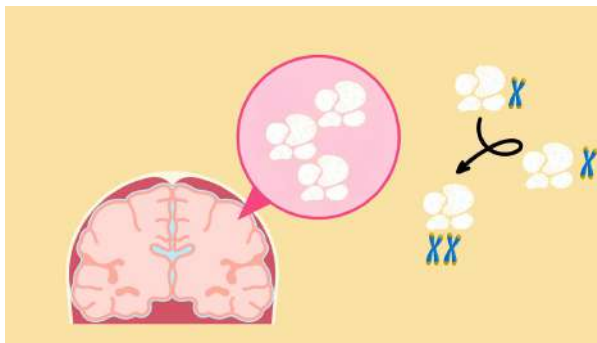


El ala de *Heliconius heurippa* muestra patrones de coloración intermedios entre otras especies de *Heliconius*. Experimentalmente se produjo el mismo patrón del ala en la F1 (primera generación de híbridos) de cruces entre *H. cydno cordula* y *H. m. melpomene* (Mavárez et al. 2006).

Guía de profesor
Especies y filogenia
2. Modelos de especiación



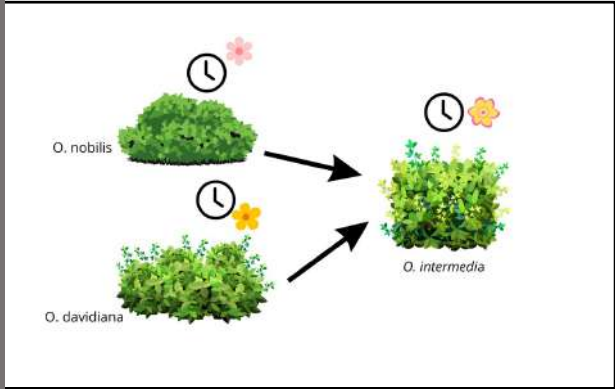
En el ascomiceto *Sordaria macrospora* y en el basidiomiceto *Coprinus cinereus*, el cruce sexual intraespecífico de cepas que albergan diferentes cariotipos dio lugar a una baja fertilidad en la progenie, lo que concuerda con la idea de que el reordenamiento cromosómico puede desempeñar un papel en el proceso de especiación (Giraud et al. 2008).



Un ejemplo de alopolidiploides fúngicos se puede encontrar en *Cryptococcus neoformans*, un patógeno humano que causa meningoencefalitis. Se ha descubierto que los híbridos diploides entre dos serotipos diferentes son muy prevalentes en la naturaleza y muestran una mayor aptitud que la forma haploide parental (Giraud et al. 2008).



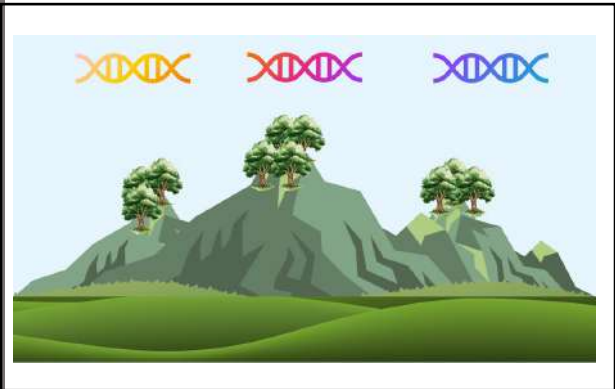
La salamandra *Ensatina eschscholtzii* se distribuye en anillo alrededor del Valle de California mostrando variación genética que varía a lo largo del anillo. La extinción local de algunas poblaciones ha provocado que se incremente la divergencia y evolucione el aislamiento reproductivo asociado a su zona (Seeholzer, & Brumfield (2023).



La especie *Ostryopsis intermedia* es un híbrido diploide que surgió de la hibridación de *O. nobilis* y *O. davidiana*. Esta quedó aislada reproductivamente de las especies parentales porque *O. nobilis* florece temprano en el año y *O. davidiana* florece tardía en el año, mientras que *O. intermedia* florece entre estas dos épocas (Wu et al. 2021).

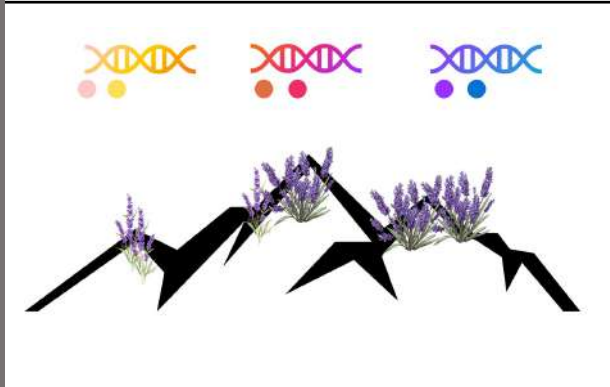


Podría afirmarse que las dos especies del ave *Cranioleuca antisimensis* alguna vez fueron la misma especie. Actualmente una se distribuye al norte de California y la otra al Sur, los modelos de simulación soportan la extinción de las poblaciones intermedias que las mantenían como una sola especie (Seeholzer, & Brumfield (2023).

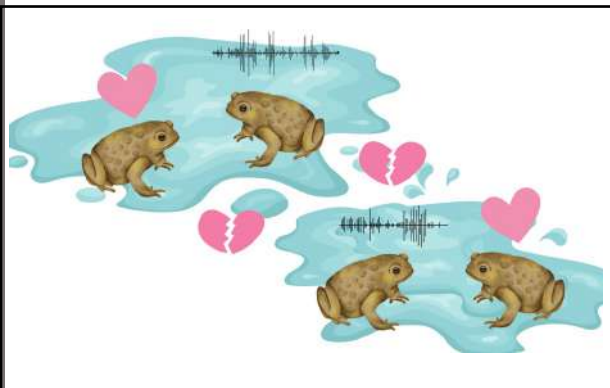


Las especies de *Salix* distribuidas en las altas montañas y están aisladas por valles muestran un fuerte aislamiento por distancia, lo que significa que los valles están actuando como una fuerte barrera al flujo genético (Wu et al. 2021).

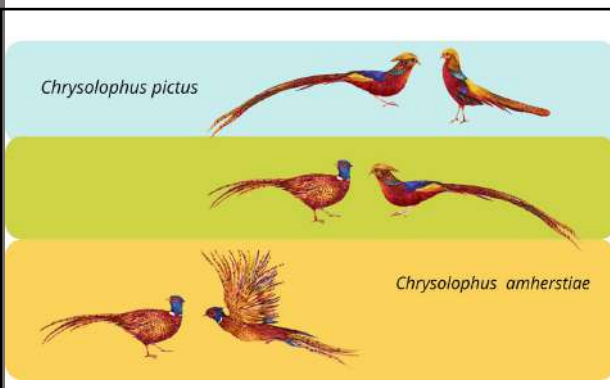
Guía de profesor
 Especies y filogenia
 2. Modelos de especiación



La planta buddeja *Buddleja alternifolia* (Scrophulariaceae) que se distribuye en el Himalaya, muestra variación intraespecífica en tres poblaciones bien delimitadas. Existen pocos casos de contacto secundario entre ellas desde que inició la divergencia por el aislamiento geográfico y, además, cada una de estas poblaciones poseen loci asociados a la adaptación local (Wu et. al. 2015)

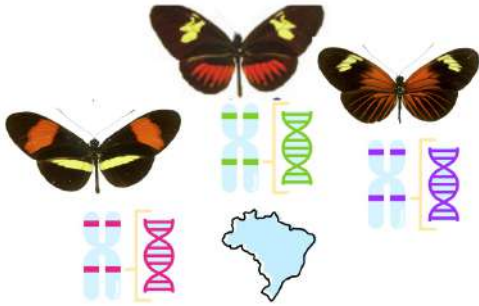


Las poblaciones del sapo amazonico *Physalaemus petersi* presentan distintos tipos de llamada de los machos y preferencia de las hembras asociada a esta. Análisis moleculares mostraron que el flujo genético disminuye entre poblaciones con distinto tipo de llamadas, por lo que la divergencia poblacional indica una incipiente especiación (Boul et al. 2007).

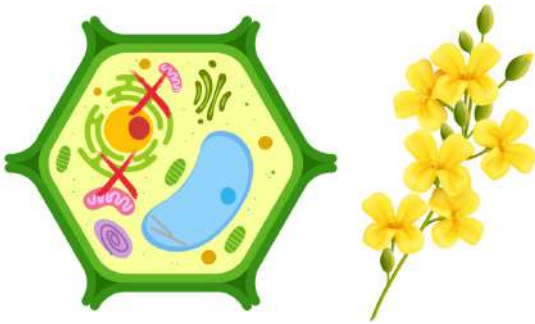


Dos especies de faisanes *Chrysolophus pictus* y *C. amherstiae* exhiben distribución geográfica contigua y existe una franja de híbridos entre ellos. Los análisis de coexistencia muestran que estas especies divergieron hace 2 Ma, sin embargo, los ciclos glaciales han hecho que se expanda su hábitat y se crucen entre ellos, teniendo periodos de aislamiento y contacto secundario (Li et al. 2022).

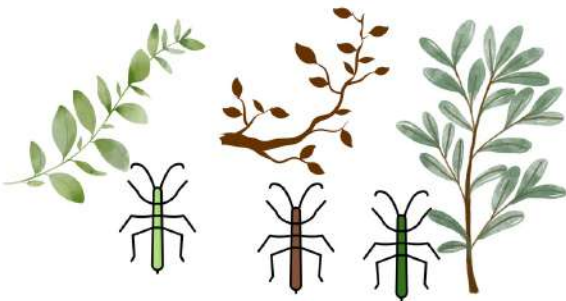
Guía de profesor
Especies y filogenia
2. Modelos de especiación



Entre las mariposas *Heliconius melpomene*, *H. cydno* y *H. timareta* que comparten distribución geográfica, el 40 % del genoma de las especies se agrupa por área geográfica más que por especie. Sin embargo, en las regiones asociadas con el patrón de las alas se muestra poca señal de mezcla genética entre especies, lo que es consistente con una fuerte selección de mimetismo mülleriano (Martin et al. 2013).

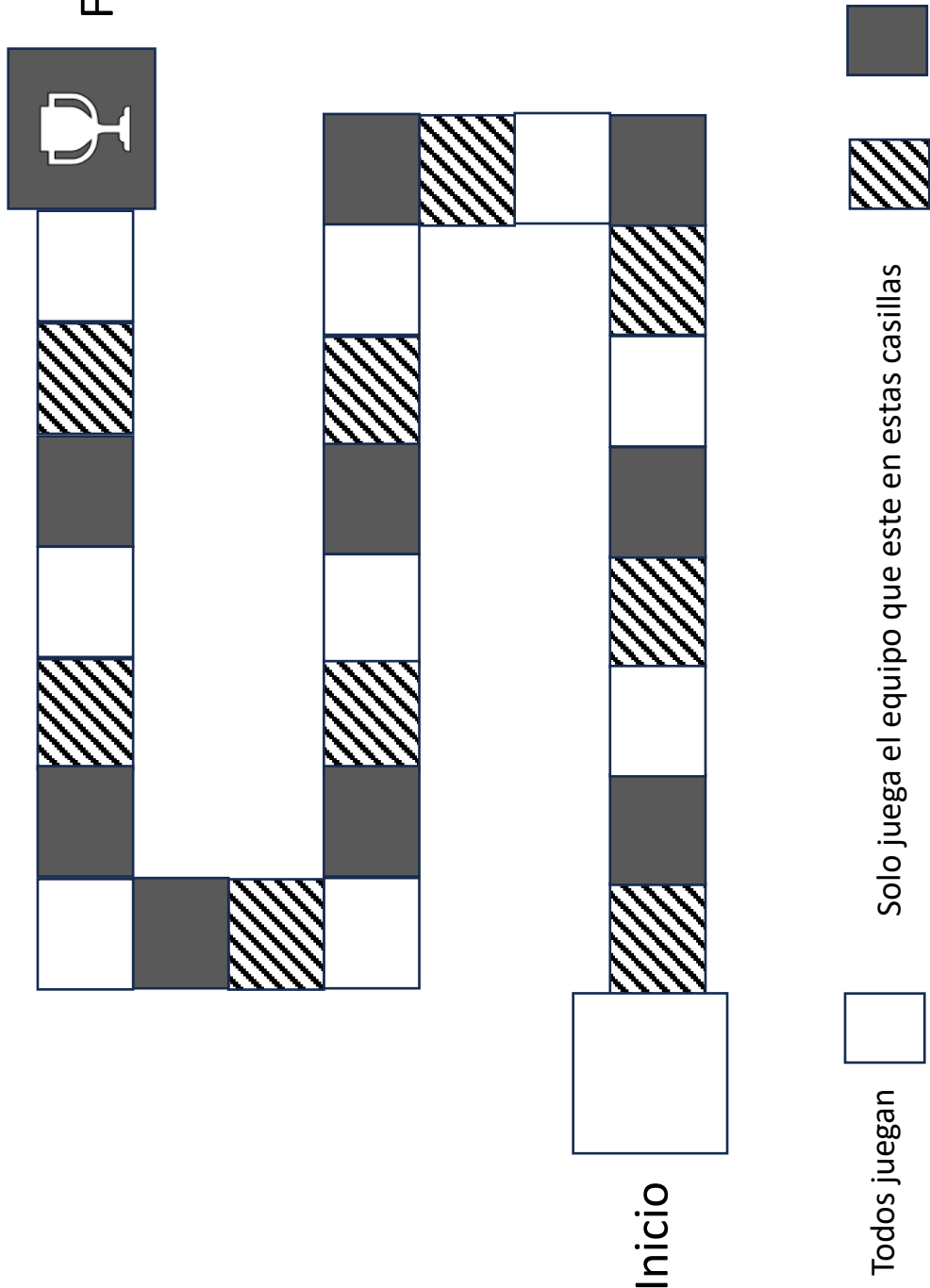


Cruzas entre las especies de planta de *Mimulus nasutus* y *M. guttatus* muestran que el 25 % de los machos híbridos F2 con citoplasma de *M. guttatus* muestran un fenotipo estéril. Esto indica que existen conflictos entre ADN mitocondrial y el ADN nuclear (Fishman & Willis, 2006).



Los insectos palo del género *Timema* muestran selección interespecífica e intraespecífica a distintas plantas huésped, además la coloración del cuerpo favorece la supervivencia en uno u otro huésped, lo que sugiere que el proceso de divergencia está siendo guiado por la adaptación (Villoutreix et al. 2003).

Final



Nombre: _____
Equipo _____ -

Especies y filogenia

2. Modelos de especiación

¿Qué hace nuevas especies?

Introducción

La especiación es el proceso por el cual se originan o multiplican las especies (Cook, O. 1905), al decir que es un proceso se hace referencia a que es generalmente una serie de pasos o eventos, no un evento concreto (Templeton, 1981). La dirección en la que avanza este proceso tiene que ver con la interrupción del flujo genético entre especies existentes o parentales (Nosil, 2002).

Los modelos de especiación son una representación de este proceso. Usualmente un modelo es una simplificación del proceso para poder entender las causas de la especiación. Esto implica que para un taxón determinado pueden estar influyendo varias causas en su especiación y, por lo tanto, aplicarían varios modelos en distintos grados.

Los modelos de especiación podemos clasificarlos según la causa atribuida de especiación. Así, tenemos modelos geográficos, modelos genéticos y modelos directamente asociados a los factores evolutivos. Los modelos geográficos fueron una de las primeras propuestas de cómo surgen las especies, y tiene que ver con la segregación geográfica y barreras al flujo genético. Los modelos genéticos y asociados a los factores evolutivos se desarrollaron poco después.

Dentro de los modelos geográficos existe la especiación simpátrica, parapátrica y alopátrica. La especiación simpátrica ocurre dentro de la misma área geográfica. La especiación parapátrica ocurre en áreas geográficas adyacentes y posiblemente en un gradiente de diferenciación entre las dos especies incipientes. Por último, la especiación alopátrica ocurre en distintas áreas geográficas e involucra la presencia de una barrera que impide el movimiento de los organismos (i.e., flujo genético) entre áreas, por ejemplo, montañas, ríos, etc.

Nombre: _____
Equipo _____ -

Dentro de los modelos genéticos podemos tener especiación por poliploidización, hibridación y por conflicto genético. La especiación provocada por poliploidía es aquella que conlleva un incremento del número de cromosomas. Este tipo de especiación es común en la naturaleza. Se ha observado en plantas, algas, hongos y animales. Se definen dos tipos: autopoliploide (donde los genomas provienen de la misma especie ancestral) y alopoliploide (cuando los genomas no vienen de la misma especie ancestral).

La especiación por hibridación surge cuando dos especies recombinan y dan lugar a un nuevo linaje que es fértil. Aquí el aislamiento reproductivo sucede rápido, pues la nueva especie no se reproduce con ninguna de las especies parentales. El destino de las especies que surgen de esta manera depende de la apertura ecológica, es decir, que la nueva especie pueda tener un espacio ecológico libre de competencia de las especies parentales. Cuando la hibridación ocurre entre poblaciones de distintas especies podemos esperar una de tres consecuencias: (1) que los híbridos no sobrevivan; (2) que los híbridos sobrevivan y se establezcan como una nueva especie; (3) que se fusionen las dos especies parentales y formen una nueva especie.

La especiación por conflicto genético ocurre cuando un alelo incrementa su transmisión en detrimento de otros alelos del mismo u otro loci. De manera general se conocen como elementos genéticos egoístas (SGEs, por sus siglas en inglés). Los SGEs pueden dar forma a características biológicas básicas, como la estructura del genoma y la regulación génica, la evolución de nuevos genes, el origen de nuevas especies y los mecanismos de determinación y desarrollo del sexo (Werren, 2011)

Los modelos que se asocian directamente con los factores evolutivos son aquellos en los que la principal causa es la selección y la deriva. La selección puede ser sexual o selección ecológica. En la especiación por selección sexual las barreras al flujo génico evolucionan entre poblaciones como resultado de la fijación de distintas estrategias o caracteres relacionados con la selección sexual. La especiación ecológica ocurre cuando en ambientes distintos se desarrollan barreras al flujo génico entre poblaciones como resultado de selección divergente.

Nombre: _____
Equipo _____ -

La especiación debida a la deriva génica es resultado de poblaciones con tamaño efectivo pequeño en la cual se van fijando loci o variantes genéticas distintas para distintas poblaciones. Así la deriva actúa a través del efecto fundador o “cuellos de botella”.

El proceso de especiación es un continuo camino a la divergencia genética, a veces ocurre flujo genético entre poblaciones que están divergiendo, sin embargo, se espera que surjan barreras reproductivas conllevando al aislamiento genético y finalmente a la consolidación de la especie.

Procedimiento

- 1.- Lean de forma individual la introducción de la actividad.
- 2.- Formen tríos.
- 3.- Acomoden el salón de forma que todos puedan ver el pizarrón y el tableo de juego.
- 3.- Designen una persona encargada de dibujar por ronda.
- 4.- Coloquen las fichas por equipo sobre el tablero.
- 5.- El profesor o profesora mostrara una tarjeta únicamente a los alumnos encargados de dibujar.
- 6.- El resto del equipo (las otras dos personas) tienen que dibujar el modelo de especiación que está dibujando su compañero.

Nombre: _____
Equipo _____ -

7.- Coloquen el cronómetro y tienen 1 minuto para adivinar.

8.- Pueden comunicarse entre todos y ver los dibujos de los otros equipos. Gana el equipo cuyo integrante mencione las palabras exactas de la tarjeta dentro del minuto de juego.

9.- Si nadie adivina juegan todos de nuevo, cambia la persona que dibuja.

10.- Si adivina un equipo, puede tirar el dado para avanzar en el tablero.

11.- Según el tablero hay casillas donde solo juega el equipo que cayó en ese lugar y casillas donde juegan todos los equipos de nuevo; ceder el turno al equipo ganador.

12.- Gana el equipo que llegue a la meta.

Análisis de resultados

En esta actividad no hay análisis como tal, gana el equipo que llegue a la meta.

Bibliografía complementaria

Coyne J. A. & H. A. Orr. (1994) *Speciation* Sinauer Associates Is an Imprint of Oxford University Press

Dobzhansky, T. (1982). *Genetics and the Origin of Species* (No. 11). Columbia university press.

Nosil, P. (2012). *Ecological speciation*. Oxford Ecology and Evolution.

Especies y filogenia

3. Reloj Molecular y relaciones evolutivas

Evolución de los caracoles

Introducción

Esta actividad permite a los alumnos conocer y aplicar el concepto de reloj molecular y resaltar su importancia en la estimación de las relaciones evolutivas entre organismos.

Objetivos de aprendizaje

Que los alumnos aprendan a estimar las relaciones evolutivas entre organismos por medio de secuencias de ADN.

Que los alumnos aprendan a interpretar el reloj molecular al observar la divergencia entre especies.

Material

24 caracoles con una secuencia de ADN enrollada en su interior (6 secuencias distintas).

Tiempo estimado

30-40 minutos

Instrucciones

Secuencias de ADN en las especies de caracol

A.Sec_1_Helix_ligata

ATTTGTTATGATTTTTTTTATAGTTATACCTATTATAATTGGTGG

B.Sec_2_Helix_pomatia

ATTTGTCATAATTTTTTTTATGGTAATACCTATTATAATTGGTGG

C.Sec_3_Helix_figulina

ATTTGTTATAATCTTTTTTATAGTTATACCTATTATGATTGGGGG

D.Sec_4_Helix_cincta

ATTTGTTATAATTTTTTTTATAGTTATACCTATTATAATTGGCGG

E.Sec_5_Helix_nucula

GTTTGTATAATTTTTTTTATGGTTATGCCTATTATAATTGGTGG

F.Sec_6_Helix_mileti

ATTTGTTATGATTTTTTTTATGGTTATGCCTATTATAATTGGCGG

Largo de la secuencia 45 nucleótidos.

Hacer una matriz de cambio evolutivo por especie y revisar los cálculos.

Forma de evaluación

Calificar la tabla, las preguntas y evaluar la argumentación de la discusión.

Considerando los siguientes puntos:

- Como aplican el concepto de reloj molecular.
- Qué tan críticos son a medir la divergencia en términos de distancia genética.
- Qué limitaciones ven en el modelo de divergencia de reloj molecular.

Literatura citada

No hay literatura citada.

Nombre: _____
Equipo _____

Especies y filogenia

Reloj molecular y relaciones evolutivas

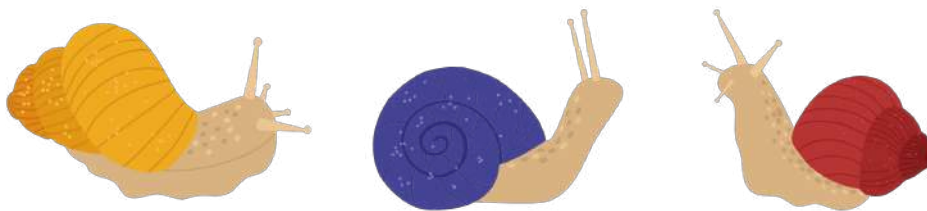
Evolución de los caracoles

Introducción

Las moléculas biológicas cambian relativamente constante con el tiempo y este cambio lo hemos utilizado como un reloj natural para estimar una escala de tiempo evolutivo, por ejemplo, el tiempo desde que dos taxones compartieron un ancestro común. A medida que divergen dos especies se van acumulando diferencias entre las moléculas que los componen, siendo esta diferencia genética proporcional al tiempo. La biología molecular usa como molécula de excelencia al ácido desoxirribonucleico (ADN), molécula portadora de la información genética.

Se han desarrollado modelos matemáticos para no subestimar estos cambios porque la molécula de ADN solo cuenta con cuatro posibilidades de cambio (las cuatro bases nitrogenadas: adenina, timina, guanina y citocina). Estos modelos están basados en la naturaleza de las bases y distribuciones estadísticas para la probabilidad de cambio.

Al determinar la secuencia de un gen ortólogo (copias del mismo ancestro en diferentes especies), por ejemplo, en distintas especies de caracoles, es posible estimar sus relaciones evolutivas a través del análisis de cambio en la secuencia de nucleótidos del gen.



Nombre: _____

Equipo _____

Existen varios métodos para la estimación de las relaciones evolutivas que se representan por medio de un árbol filogenético. Estos métodos se agrupan en métodos por distancia, por parsimonia, verosimilitud e inferencia bayesiana. Los métodos por distancia estiman las diferencias entre los nucleótidos presentes en la secuencia del gen analizado, la parsimonia busca el árbol que represente el menor número de cambios entre los nucleótidos, la verosimilitud busca el árbol que mejor explique nuestros datos y la inferencia bayesiana incorpora información previa para la búsqueda de la mejor hipótesis evolutiva empleando también la función de verosimilitud.

A medida que los métodos incorporan más parámetros se vuelven computacionalmente demandantes, por lo que en este ejercicio solo se revisará un ejemplo de estimación filogenética utilizando el método de *neighbor-joining*.

El método de *neighbor-joining* consiste en ir agrupando las secuencias más cercanas entre sí, corrigiendo cada vez las distancias en el árbol.

El siguiente ejercicio se basa en el método de clustering descrito en Lemey, et al (2009).
Páginas : 145-147 : Cluster Analysis of Sneath & Sokal 1973.

Procedimiento

1.- Estimación de las distancias evolutivas.

Calcula las diferencias entre pares de secuencias y colócalas en una tabla.

Ejemplo:

Secuencia 1

ATTTGTTATGA

Secuencia 2

ATCTGTTATGA

Largo de la secuencia: 11 nucleótidos. Número de diferencias entre secuencias: 3 nucleótidos.

Diferencia : $3/11 = 0.2727$

Nombre: _____
Equipo _____

Procedimiento

1.- (continuación) Estimación de las distancias evolutivas.

Esta diferencia: $3/11 = 0.2727$, se convierte en distancias evolutivas. Corrigiendo por un modelo de sustitución de múltiples eventos por sitio (existen varios modelos, 81 al menos y el usarlos depende de la disponibilidad de ellos en el programa de computo que usemos, la cantidad de parámetros que queramos incluir dependiendo de la información que tengamos de la secuencia (ej. si es una región codificante o no) y el tiempo computacional que vamos a invertir en el análisis). Llena la siguiente tabla:

Tabla de diferencias entre pares de secuencias.

	A	B	C	D	E	F
A						
B						
C						
D						
E						
F						

Aplica un modelo de sustitución nucleotídica. El modelo Jukes y Cantor (1969) es el mas simple, asume que la probabilidad de que un nucleótido modifique a los otros tres es la misma. Y para calcular la probabilidad de un evento de sustitución a lo largo de una rama del árbol filogenético se emplea la distribución de Poisson. Por lo que la formula es:

$$d_{AB} = -\frac{3}{4} \ln \left(1 - \frac{3}{4}x \right)$$

Donde:

x = la diferencia entre los pares de secuencias.

d_{AB} = la distancia evolutiva entre las secuencias.

Aplicalo en la siguiente tabla:

Nombre: _____
Equipo: _____ -

Tabla de distancias evolutivas entre pares de secuencias

	A	B	C	D	E	F
A						
B						
C						
D						
E						
F						

2.- Realiza el agrupamiento. Elige el par de secuencias que tengan la menor distancia evolutiva entre ellas y agrupalas. Ejemplo A y B. Estima entonces la nueva matriz de distancias evolutivas ahora del clúster (AB) a cada secuencia.

Formulas

$$d_{(AB)C} = (d_{AC} + d_{BC})/2$$

$$d_{(AB)D} = (d_{AD} + d_{BD})/2$$

$$d_{(AB)E} = (d_{AE} + d_{BE})/2$$

$$d_{(AB)F} = (d_{AF} + d_{BF})/2$$

Colócalas en la siguiente tabla:

	AB	C	D	E	F
AB					
C					
D					
E					
F					

3.- Realiza el siguiente agrupamiento hasta unir todos los grupos.
Fórmulas suponiendo que el siguiente grupo son D y E:

$$d_{(DE)(AB)} = (d_{D(AC)} + d_{E(BC)})/2$$

$$d_{(DE)C} = (d_{DC} + d_{EC})/2$$

$$d_{(DE)F} = (d_{DF} + d_{EF})/2$$

Nombre: _____
Equipo _____ -

Completa la tabla

	AB	C	DE	F
AB				
C				
DE				
F				

Fórmulas suponiendo que el siguiente grupo son AB y C:

$$d_{(ABC)(DE)} = (d_{AB(DE)} + d_{C(DE)})/2$$

$$d_{(ABC)F} = (d_{(AB)C} + d_{CF})/2$$

Completa la tabla

	ABC	DE	F
ABC			
DE			
F			

Fórmulas suponiendo que el siguiente grupo son AB y C:

$$d_{(ABC)(DE)} = (d_{AB(DE)} + d_{C(DE)})/2$$

Fórmula para estimar la distancia del taxon F al grupo ABCDE:

$$d_{(ABCDE)F} = (d_{(ABC)F} + d_{(DE)F})/2$$

	ABCDE	F
ABCDE		
F		

Nombre: _____
Equipo _____

Análisis de resultados

Construye el árbol filogenético con las distancias estimadas.

Bibliografía citada

Lemey, P., Salemi, M., & Vandamme, A. M. (Eds.). (2009). The phylogenetic handbook: a practical approach to phylogenetic analysis and hypothesis testing. Cambridge University Press.

Evolución y desarrollo

1. Genes Hox

La creatividad de la naturaleza

Introducción

En esta dinámica los alumnos usarán su creatividad y habilidades de investigación para proponer criaturas con forma de insecto con base a modificaciones en los genes Hox.

Objetivos de aprendizaje

Entender los conceptos de homología profunda y genes Hox.

Aplicar el concepto de modularidad y comprender su importancia en la evolución.

Aplicar el concepto de mecanismo molecular.

Material

Bauplan de cuerpo de insecto, y piezas para armarlo (alas, patas, antenas, trompas).

Instrucciones

- 1.- Pedir a los alumnos que lean la introducción de sus hojas de trabajo.
- 2.- Organizar a los alumnos en equipos.
- 3.- En un cuaderno anoten la justificación de los mecanismos que dieron lugar a su insecto.

Nombre: _____
Equipo _____ -

Evolución y desarrollo

1. Genes Hox

La creatividad de la naturaleza

Introducción

Todos los animales en el planeta comparten un ancestro común, lo que implica que comparten características por origen, es decir, homologas. La homología profunda se refiere a que hay genes y vías de señalización que son compartidas por los animales. Los genes compartidos en el desarrollo se conocen como genes Hox, se encuentran en todos los animales, realizando las mismas funciones.

El nombre de genes Hox u homeodominio hace referencia a segmentos en el ADN que tienen una función regulatoria, por lo tanto, los genes Hox codifican para proteínas que actúan como factores de transcripción (Ferrier, 2023).

Las funciones de estos genes están relacionadas con la organogénesis y la morfogénesis. El término homeodominio u homeobox (en inglés) refiere al concepto de homeosis en el que una parte del cuerpo se transforma en otra (Ferrier, 2023). Por ejemplo, la mutante antenapedia de *Drosophila* en la cual las antenas se transforman en patas.

En todo el reino animal existen copias ortólogas de estos genes. Y poseen dos tipos de colinearidad: espacial y temporal. La colinearidad espacial significa que el orden de los genes en el cromosoma corresponde al orden en que son expresados a lo largo del eje anteroposterior del cuerpo. La colinearidad temporal significa que los genes anteriores se expresan primero y continúan hasta los posteriores expresándose al último.

El mecanismo molecular de cómo funcionan estos genes está bajo investigación activa, lo que sabemos hasta ahora es que pueden estar actuando como reguladores modulares teniendo efectos pleiotrópicos en distintos módulos, pueden tener abundantes genes diana, todos los cuales pueden acumular múltiples cambios pequeños a lo largo de los vastos períodos de tiempo evolutivo para sumar cambios aparentemente saltacionales al comparar taxones existentes que divergieron hace muchos millones de años.

Los insectos derivan de un ancestro cuyo plan corporal plantea la existencia de módulos de expresión de los genes Hox en los segmentos del cuerpo como el tórax y el abdomen (Linz, et al. 2020). La reutilización y la reconfiguración de una red genética y tejido asociados hace posible la emergencia de características.

Nombre: _____
Equipo: _____

En varios insectos se ha mostrado el papel de los genes Hox en la morfogénesis, por ejemplo, en los cuernos de los escarabajos, en las castas de las termitas, etc. En la mosca *Drosophila* existen dos complejos de genes Hox: antenapedia y bitorax. La antenapedia consta de los genes *lab* y *Dfd*, los cuales especifican los segmentos de la cabeza, mientras que *Scr* y *Antp* contribuyen a los segmentos torácicos; la ausencia de *pb* conduce a la formación de patas en lugar de piezas bucales. El complejo bitorax consta de ultrabitorax (*ubx*) que se requiere para la identidad del tercer segmento torácico; abdominal A (*Abd-A*) y abdominal B (*Abd-B*) son los responsables de la identidad de los segmentos abdominales (Barresi & Gilbert 2020).

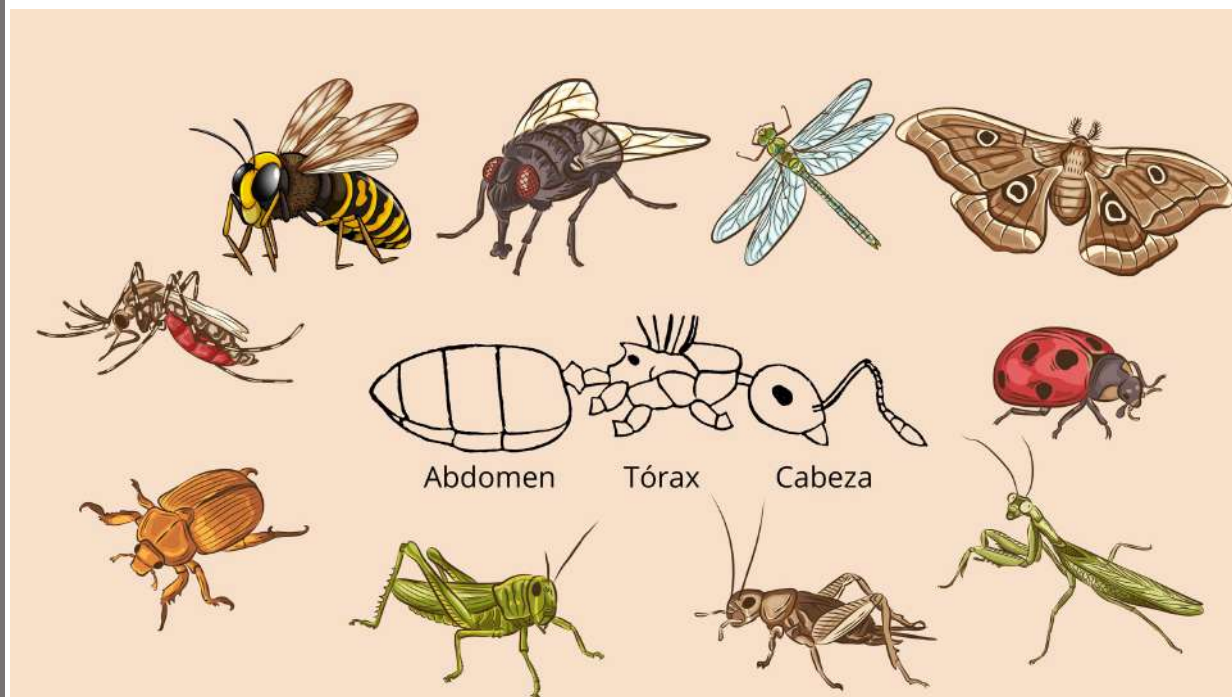


Figura 1. Regiones del cuerpo de los insectos y la diversidad morfológica que presentan.

Nombre: _____
Equipo _____

Procedimiento

1. Después de que se han organizado en equipos.
2. Reúnan las piezas de insectos.
3. Hagan tres insectos diferentes y propongan cuales son las modificaciones funcionales que están teniendo los genes Hox a partir del ejemplo propuesto.

Elementos a considerar

Lab y *Dfd* especifican los segmentos de la cabeza.

pb especifica la formación de piezas bucales.

scr y *antp* contribuyen a los segmentos torácicos.

ultrabitorax (*ubx*) que se requiere para la identidad del tercer segmento torácico, abdominal A (*AbdA*) y abdominal B (*AbdB*) son los responsables de la identidad de los segmentos abdominales.

Distintos genes diana con los que interactúa.

Distinta cantidad de expresión genética en el tiempo.

Distinta cantidad de expresión genética en el espacio.

Análisis de resultados

Expliquen sus resultados y describan cómo los genes Hox son los responsables de la morfogénesis en sus modelos de insecto.

Bibliografía complementaria

Barresi M.J.F. & Gilbert S. F. 2020. Developmental biology. Sinauer Associates. USA
Ferrier, D. E. (Ed.). (2023). *Hox Modules in Evolution and Development*. CRC Press.
Linz, D. M., Hu, Y., & Moczek, A. P. (2020). From descent with modification to the origins of novelty. *Zoology*, 143, 125836.
Oguchi, K., & Miura, T. (2023). Upregulation of Hox genes leading to caste-specific morphogenesis in a termite. *EvoDevo*, 14(1), 12.

Evolución y desarrollo

2. Mecanismos evolutivos en el desarrollo

El orden de los factores si altera el producto

Introducción

Objetivos de aprendizaje

Que los alumnos distingan cada uno de los mecanismos evolutivos del desarrollo.

Que puedan al menos conocer un ejemplo de cada uno de ellos.

Entiendan cómo a partir de estos mecanismos se genera la biodiversidad.

Material

Cuadernos de trabajo de los estudiantes.

Instrucciones

1.- Entregar a los alumnos las hojas del cuaderno de trabajo.

2.- Leer juntos la introducción de la actividad.

3.- Anotar en el pizarrón los componentes que estarán implicados en la construcción de las hipótesis para el desarrollo de las extremidades de los vertebrados.

Sugerencias :

- Módulos (Estilopodo, Zeugópodo y Autópodo)

Guía de profesor
Evolución y desarrollo
2. Mecanismos evolutivos en el desarrollo

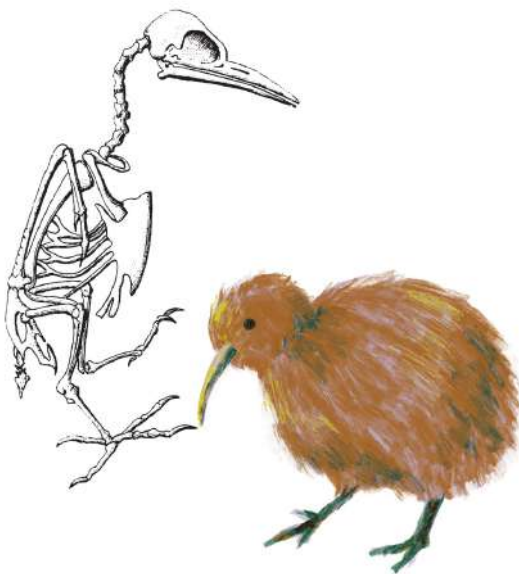
Sugerencias :

- Mecanismos evolutivos del desarrollo: Heterocronia, Heterometria, Heterotopia y Heterotipia.
- Genes Hox A B C D
- Copias de los genes Hox del 1 al 13.

Respuestas al material de los alumnos (cuadernos y plantillas)

Ejemplo de la construcción de una hipótesis. Evaluar según el criterio del profesor idealmente deben hacer el ejercicio de incluir todos los componentes mencionados, módulos, mecanismos y genes *Hox*.

Kiwi :



Existe un mecanismo de heterocronía en el desarrollo de las extremidades anteriores y posteriores del Kiwi, desarrollándose más rápido la extremidad posterior que la anterior. Posiblemente la expresión de los genes Hox A y D estén disminuidos en la extremidad anterior por lo que los huesos de los módulos Zeugopodo y Autopodo son muy pequeños y poco desarrollados. La extremidad posterior podría tener un tiempo prolongado de expresión de las copias 12 y 13 de los genes Hox porque los dedos son muy largos.

Cuaderno de trabajo
Evolución y desarrollo
2. Mecanismos evolutivos en el desarrollo

Nombre: _____
Equipo _____

Evolución y desarrollo

2. Mecanismos evolutivos en el desarrollo

El orden de los factores si altera el producto

Introducción

Se consideran cuatro los cambios evolutivos en el desarrollo de los organismos. Heterocronía, heterometría, heterotipio y heterotropía. Cada uno de estos consiste en un pequeño cambio que altera el resultado final en el desarrollo (Futuyma, 2017). Los tetrápodos se caracterizan por tener cuatro extremidades, estas extremidades surgieron en la vida marina formando las aletas de los peces y después las primeras patas de los anfibios (Futuyma, 2017). Las extremidades de los tetrápodos se pueden dividir de acuerdo con regiones próximo distal en su desarrollo embrionario, teniendo así un estilópodo proximal [S], un zeugópodo medio [Z] y un autópedo distal [A] (Figura 1A). Esta profunda homología organizacional refleja un programa de desarrollo subyacente conservado de formación del eje próximo-distal. También esta homología organizacional contrasta con la diversidad proporcional asociada con diferencias funcionales (Figura 1B).

El mecanismo evolutivo conocido como heterotipia está ligado a distintas identidades de los huesos de la mano, expresando distintas combinaciones de los genes Hox. Todos los grupos de genes Hox participan en el desarrollo de la extremidad, es decir, los genes Hox A, Hox B, Hox C, y Hox D. A medida que se va estableciendo el eje antero posterior y próximo distal de la extremidad, la colinearidad en la expresión de los genes Hox se muestra al expresarse primero los genes Hox A, y al final los genes Hox D. Experimentos con ratones muestran que estos primeros (Hox A) y últimos genes (Hox D) juegan un papel primordial dado que sin ellos no se desarrollan partes de las extremidades (Figura 2A).

Nombre: _____
Equipo _____

Los genes Hox además se expresan por módulos, prestando así heterotropía en las extremidades permitiendo darles una identidad diferente a los huesos expresados en el estilópodo proximal, el zeugópodo medio o el autópodo distal. En la Figura 2B se presentan los genes Hox del 9 al 13; las copias de los genes 9 y 10 se expresan para formar el estilópodo proximal; las copias 10 y 11 el zeugópodo medio; y las copias 12 y 13 para formar el autópodo distal (Young et al. 2010).

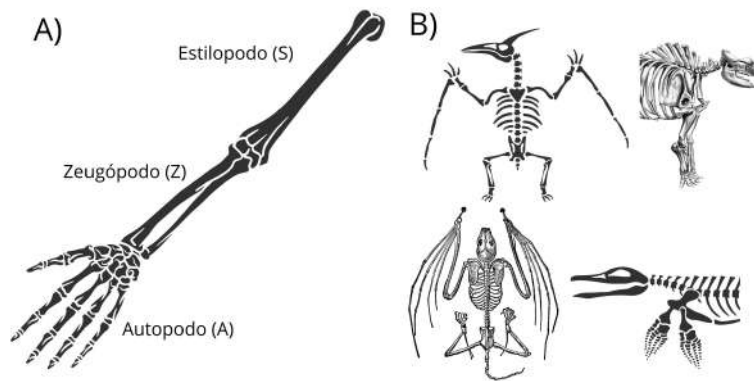


Figura 1. A) Módulos del desarrollo en la extremidad de los vertebrados y B) diversidad en las extremidades de los vertebrados.

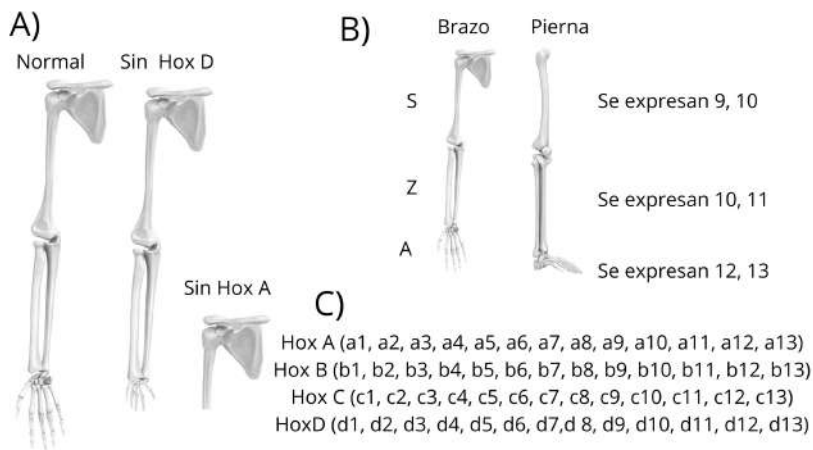


Figura 2. Expresión de los genes Hox en el desarrollo de la extremidad de los vertebrados (A) y el humano (B), genes Hox y sus copias, cabe recordar que en vertebrados existen cuatro juegos de copias Hox (no ilustradas).

Nombre: _____
Equipo _____

Procedimiento

- 1.- Lee cuidadosamente la introducción.
- 2.- Explora la posibilidad de los mecanismos evolutivos en el desarrollo de las extremidades e hipotetiza una interacción de los genes Hox para dar explicación a la diversidad de extremidades que se presentan a continuación.
- 3.- Responde las preguntas a continuación para la evaluación de la actividad.

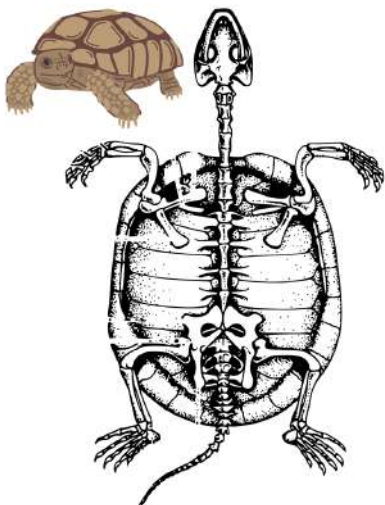
Diversidad de extremidades en vertebrados:



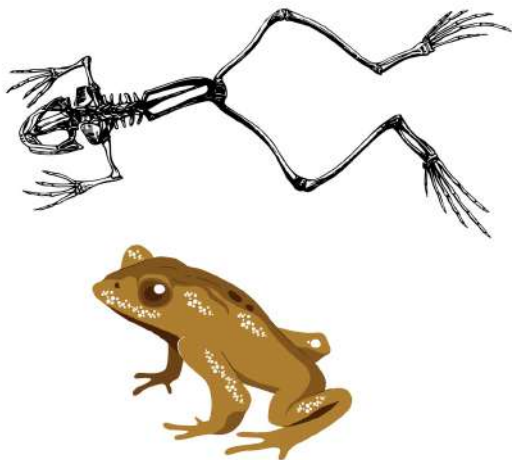
Pingüino:

Nombre: _____
Equipo _____

Diversidad de extremidades en vertebrados:



Tortuga:



Rana:

Nombre: _____
Equipo _____

Diversidad de extremidades en vertebrados:

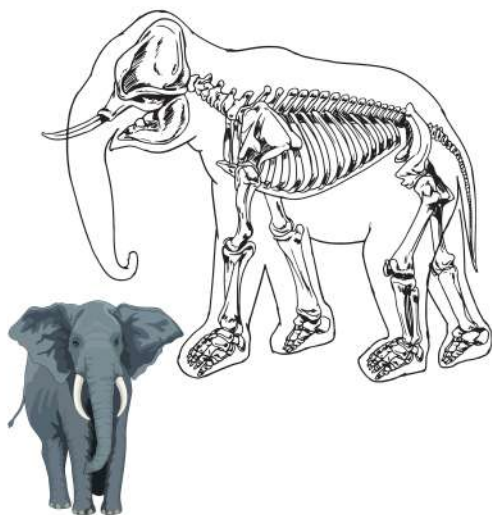


Murciélago:

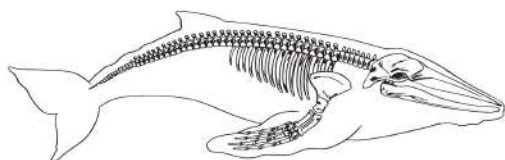
Mono:

Nombre: _____
Equipo _____

Diversidad de extremidades en vertebrados:



Elefante:



Ballena:



Nombre: _____
Equipo _____

Diversidad de extremidades en vertebrados:



T-Rex:



Gato:

Nombre: _____
Equipo _____ -

Análisis de resultados

1.- ¿Qué mecanismo evolutivo incluiste con mayor frecuencia en tus hipótesis para el desarrollo de las extremidades?

2.- ¿Cómo la modularidad ayuda a crear la diversidad en las extremidades de los vertebrados?

3.- ¿Qué presiones de selección pueden estar experimentando las extremidades para adquirir distintas conformaciones?

Bibliografía complementaria

Futuyma D. J. and M. Kirkpatrick (2017) *Evolution*. Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.

Young, N. M., Wagner, G. P., & Hallgrímsson, B. (2010). *Development and the evolvability of human limbs*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(8), 3400-3405.

Zakany, J., & Duboule, D. (2007). *The role of Hox genes during vertebrate limb development*. Current opinion in genetics & development, 17(4), 359-366.

Evolución y desarrollo
3. De moléculas a órganos

Evolución del cerebro en vertebrados

Introducción

Los alumnos usarán como ejemplo la evolución de un órgano tan complejo como el cerebro para entender como ha operado la selección y los mecanismos del desarrollo.

Objetivos de aprendizaje

Material

Cerebros de resina de los diferentes tipos de vertebrados.
Lápices de colores y tijeras (no incluidos).

Tiempo estimado

30-40 minutos

Instrucciones

- 1.- Indicar que los alumnos formen seis equipos.
- 2.- Entregar a cada equipo el cuaderno de trabajo "Evolución del cerebro" y un cerebro de resina.
- 3.- Los alumnos deben buscar información referente del cerebro que se les otorgó y llenar la tabla que viene en sus hojas de trabajo.
- 4.- Dar tiempo a los alumnos para que llenen la información con datos de internet (se recomienda unos 20min).

5.- Una vez que los alumnos terminen de llenar las tablas expondrán la información con sus compañeros.

6.- Los alumnos recortarán las tablas como se indica en sus cuadernos de trabajo.

7.- Pedir a los alumnos que expongan su quimera y discutan su viabilidad.
Respondiendo las preguntas de su cuaderno de trabajo.

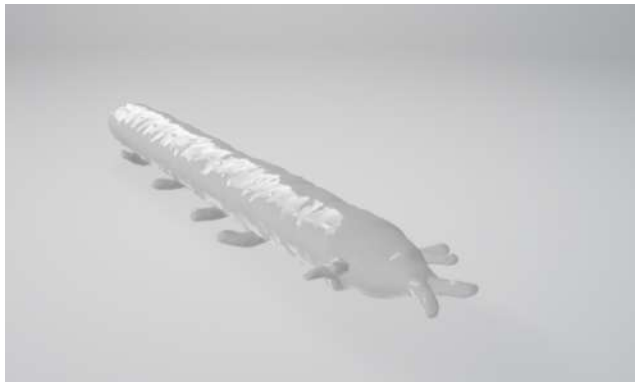
Forma de evaluación

1.- Calificar la información de las tablas que llenaron los alumnos con información de internet.

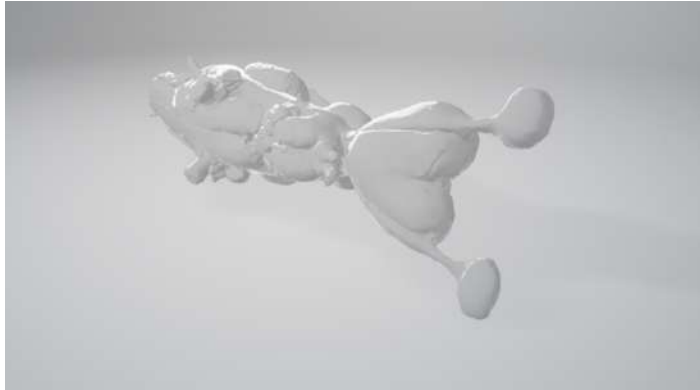
2.- Calificar la argumentación en torno a la supervivencia de su quimera.

Cerebros para asignar (material impreso en resina 3D):

1.- Cerebro de Amphioxo



2.- Cerebro de pez cartilaginoso (tiburón)



3.- Cerebro de pez óseo (trucha)



4.- Cerebro de rana



5.- Cerebro de reptil (dragón de Komodo)



6.- Cerebro de mamífero (mono Rhesus)



Nombre: _____
Equipo: _____

Evolución y desarrollo

3. De moléculas a órganos

Evolución del cerebro en vertebrados

Introducción

La variación en la complejidad y diversidad de tamaños en el cerebro de los vertebrados es un reflejo de la variedad de nichos y adaptaciones que ocupa este grupo tan diverso desde su aparición hace 500 millones de años. Para reconstruir la evolución del cerebro en los vertebrados se debe deducir la condición ancestral del cerebro. De esta manera, las características presentes a lo largo del grupo de vertebrados son aquellas que se creen estuvieron presentes en el cerebro ancestral (Butler 2009).

En 2009, Butler argumentaba que el sistema nervioso en el origen de los vertebrados habría tenido una región rostral del cerebro anterior que tenía probablemente componentes fotorreceptores e hipotalámicos del diencefalo. Y posteriormente, debieron aparecer características asociadas con los tejidos placodales neurogénicos y el tejido de la cresta neural del cuerpo y la cabeza, los cuales generaron las neuronas motoras del sistema nervioso autónomo, neuronas sensoriales de seis nervios craneales y las neuronas sensoriales de los nervios espinales.

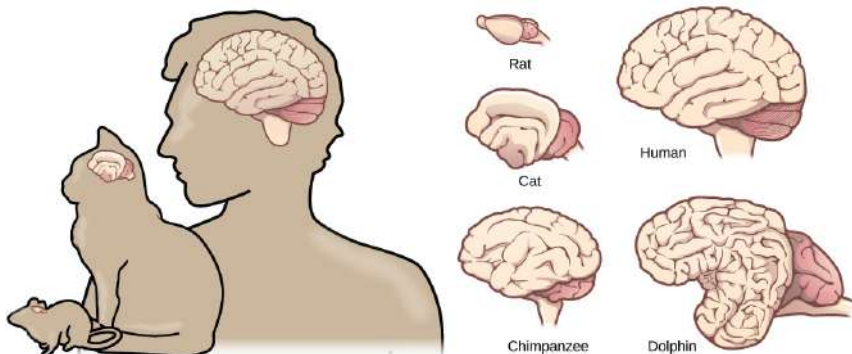


Figure 35 03 05.jpg
CC BY 4.0 DEED

Nombre: _____
Equipo _____

De acuerdo con la evidencia revisada por Pessoa et al. (2019) se considera que el cerebro de todos los vertebrados está organizado en un "plan de construcción común" también llamado Bauplan o morfoplan, donde se distinguen tres subdivisiones principales: prosencéfalo, mesencéfalo, y rombencéfalo. De estos, en general, se considera que el mesencéfalo y rombencéfalo han sido más conservados en el curso de la evolución; sin embargo, algunas estructuras como el cerebelo y el tectum del mesencéfalo muestran notables variaciones en el tamaño de las estructuras a lo largo de los linajes de vertebrados. Por ejemplo, el cerebelo es más grande en algunos peces, aves y mamíferos, pero no así para la mayoría de los reptiles y anfibios.

El prosencéfalo incluye el tálamo y una división rostral que incluye al hipotálamo y telencéfalo, que, a su vez, esta muestra dos divisiones básicas en todos los vertebrados: el palio y subpalio. El telencéfalo es relativamente pequeño en peces y anfibios, mayor en reptiles y muy prominentes en aves y mamíferos. Mientras que el subpalio es relativamente conservado, el palio muestra una notable divergencia en sus respectivas subdivisiones a lo largo del grupo de vertebrados. El incremento en el tamaño del prosencéfalo en los amniotas (aves, reptiles, y mamíferos) está grandemente asociado en el incremento del volumen y complejidad del palio, y su conexión con el tálamo.

El estudio de la evolución del cerebro ha recibido mucha atención y ha sido abordado desde distintas perspectivas y enfoques de estudio. A partir de los cuales se pueden citar tres conclusiones acerca de la evolución del cerebro en los vertebrados:

1. Todos los vertebrados con excepción de los agnatos (los no mandibulados como lampreas y mixinos) tienen el mismo plan de construcción;
2. El tamaño del cerebro ha incrementado de forma independiente en algunos grupos; y
3. el incremento en el tamaño del cerebro frecuentemente aumenta el número de centros y células neuronales y muy probablemente la complejidad conductual (Northcutt 2002).

Nombre: _____
Equipo: _____

De acuerdo con la evidencia revisada por Pessoa et al. (2019) se considera que el cerebro de todos los vertebrados está organizado en un "plan de construcción común" también llamado Bauplan o morfoplan, donde se distinguen tres subdivisiones principales: prosencéfalo, mesencéfalo, y rombencéfalo. De estos, en general, se considera que el mesencéfalo y rombencéfalo han sido más conservados en el curso de la evolución; sin embargo, algunas estructuras como el cerebelo y el tectum del mesencéfalo muestran notables variaciones en el tamaño de las estructuras a lo largo de los linajes de vertebrados. Por ejemplo, el cerebelo es más grande en algunos peces, aves y mamíferos, pero no así para la mayoría de los reptiles y anfibios.

El prosencéfalo incluye el tálamo y una división rostral que incluye al hipotálamo y telencéfalo, que, a su vez, esta muestra dos divisiones básicas en todos los vertebrados: el palio y subpalio. El telencéfalo es relativamente pequeño en peces y anfibios, mayor en reptiles y muy prominentes en aves y mamíferos. Mientras que el subpalio es relativamente conservado, el palio muestra una notable divergencia en sus respectivas subdivisiones a lo largo del grupo de vertebrados. El incremento en el tamaño del prosencéfalo en los amniotas (aves, reptiles, y mamíferos) está grandemente asociado en el incremento del volumen y complejidad del palio, y su conexión con el tálamo.

El estudio de la evolución del cerebro ha recibido mucha atención y ha sido abordado desde distintas perspectivas y enfoques de estudio. A partir de los cuales se pueden citar tres conclusiones acerca de la evolución del cerebro en los vertebrados:

1. Todos los vertebrados con excepción de los agnatos (los no mandibulados como lampreas y mixinos) tienen el mismo plan de construcción;
2. El tamaño del cerebro ha incrementado de forma independiente en algunos grupos; y
3. el incremento en el tamaño del cerebro frecuentemente aumenta el número de centros y células neuronales y muy probablemente la complejidad conductual (Northcutt 2002).

Nombre: _____
Equipo _____ -

- 1.- ¿Qué región tuvo más modificaciones entre los vertebrados?

- 2.- ¿Qué vertebrado tuvo mas órganos o regiones especializadas?

- 3.- ¿Todos los vertebrados adultos comparten las mismas estructuras?

- 4.- ¿La “quimera” que formaron puede existir? ¿Cuál sería la ecología de esta especie (dónde habitaría, qué comería, cómo se reproduciría, estructura social)?

Nombre: _____
Equipo _____

Bibliografía citada

Butler AB. 2009. *Evolution of vertebrate brains*. Encyclopedia of Neuroscience. 57-66 pp

Northcutt RG. 2009. Understanding vertebrate brain evolution. *Integrative and Comparative Biology*, 42: 743-756

Pessoa L, Medina L, Hof PR, Desfilis E. 2019. Neural architecture of the vertebrate brain: implications for the interaction between emotion and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 107: 296–312.

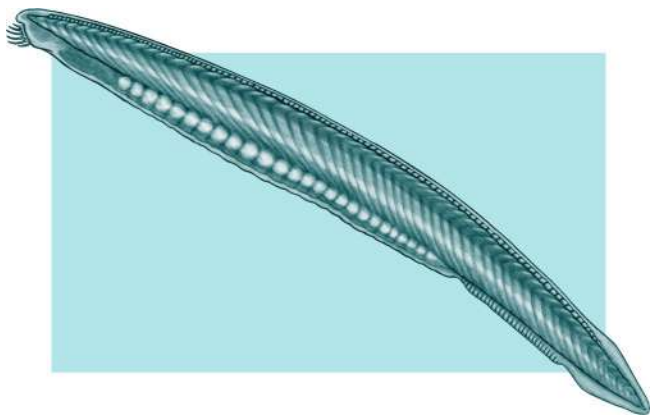
Nombre: _____
 Equipo _____

Tabla 1

Regiones	Cerebro de				
	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Organos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____

Tabla 2 Amfioxo

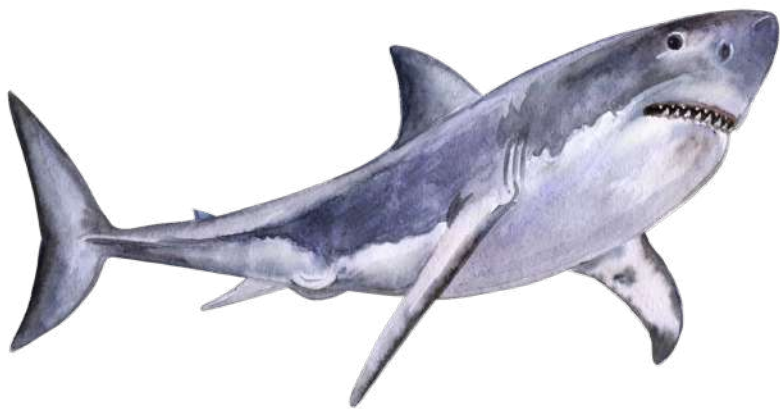


Amphioxus.png
CC BY-SA 3.0 DEED

Regiones	Cerebro de Amfioxo				
	Telencéfalo	Diencefalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____

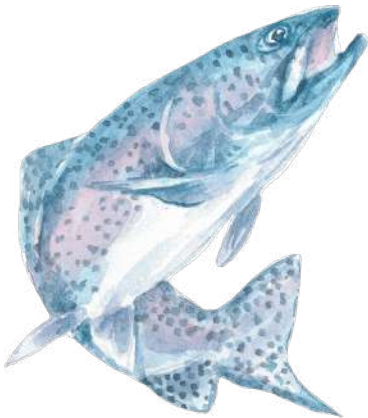
Tabla 3 Tiburón



Cerebro de pez cartilaginoso (tiburón)					
Regiones	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____

Tabla 4 Trucha



Cerebro de Pez oseo (trucha)					
Regiones	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____

Tabla 5 Rana



Cerebro de Anfibio (rana)					
Regiones	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____

Tablas 6 Dragón de Komodo



Cerebro de Reptil (dragón de komodo)					
Regiones	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____

Tabla 7 Mono Rhesus



Cerebro de Mamífero (mono Rhesus)					
Regiones	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					

Nombre: _____
Equipo _____ -

Quimera

Cerebro de quimera					
Regiones	Telencéfalo	Diencéfalo	Mesencéfalo	Metencéfalo	Rombencéfalo
Descripción					
Estructuras al que da lugar en el desarrollo del cerebro adulto					
Funciones					
Órganos o regiones especializadas					