



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**RESPUESTA DE *MIMOSA PUDICA* L. (FABACEAE) ANTE
DIFERENTES PROBABILIDADES CONDICIONALES P(E2/E1)**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Licenciada en Psicología

P R E S E N T A :

Agueda De La Vega Díaz

Director de Tesis:

Dr. Gustavo Bachá Méndez

Revisora:

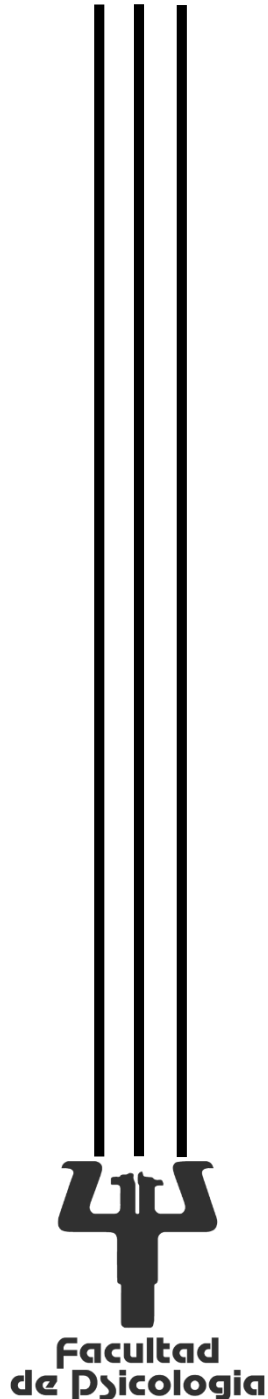
Dra. María del Rocío Cruz Ortega

Sinodales:

Dra. Adriana Ixel Alonso Orozco

Dr. Luis Rodolfo Bernal Gamboa

Dra. María Elena Ortiz Salinas



Cd. Mx.

Octubre, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Respuesta de *Mimosa pudica* L. (Fabaceae) ante diferentes
probabilidades condicionales $P(E2/E1)$

por

Agueda De la Vega Díaz

Tesis presentada para obtener el grado de

Licenciada en Psicología

en la

Facultad de Psicología

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México, Octubre de 2020

A mi madre, que afortunadamente sólo usa su “no, nena, no” cuando le quiero robar sus dulces, pero para las grandes decisiones de mi vida no ha hecho más que alentarme y cuidarme en las caídas. Si he ido y venido, hecho y deshecho es porque ella me lo ha inculcado toda la vida con un cariño que se demuestra sólo con la compañía.

Agradecimientos

Al Dr. Gustavo Bachá, por abrirme la puerta a la psicología experimental y dirigir este trabajo que empezó con un “Doc, ¿puedo condicionar una planta?”. Muchas gracias por ayudarme a darle forma a este camino y no permitir que se convirtiera en una selva sin veredas.

A la Dra. Rocío Cruz, porque estoy segura de que sin usted esto no habría sido posible y mi futuro sería otro. Estoy infinitamente agradecida por su ayuda, su guía, por tener una paciencia increíble e inducirme este gran amor a las plantas y a otro tipo de preguntas.

A la Dra. Ixel Alonso, quien me tuvo más de una vez sentada en el piso frente a su escritorio mientras me explicaba temas, procedimientos y conductas adecuadas para frenar mis impulsos. Muchas gracias por la revisión de esta tesis que comenzó al otro lado del océano.

Muchas gracias, Dra. María Elena Ortiz y Dr. Rodolfo Bernal por la revisión de esta tesis y sus muy útiles correcciones en tiempos pandémicos.

Al Instituto de Ecología de la UNAM, parte fundamental para la elaboración de esta investigación.

Muy especial agradecimiento a mis compañeros del Laboratorio de Adaptación Animal: Ana, Mario, Sam, Andy, Ere y Robert por sus muchas ayudas durante la carrera y hacer de la investigación algo menos solitario. Otro igual de grande y especial para mis compañeros del Laboratorio de Alelopatía: Vero, Joz, Mora, Adriana, Jonathan, Sarai y Coral por hacerme sentir parte en un área nueva y por múltiples ayudas y acompañamientos en este trabajo.

A mi abuelo Ricardo, mi abuela Valentina, Olin, Citla y con más cariño a mi hermano Rodrigo, porque cada uno me ayudó a sortear diferentes obstáculos en este largo camino. Los quiero mucho.

A mis (hadas) madrinas Ana Elena y Raquel, gracias por todo. Sobretudo por el cariño.

Para Ana, que me pidió un renglón para ella solita y la verdad es que no podría haber sido de otra manera. Muchas gracias por la luz en mi lugar oscuro y por una amistad casi salida de un Nápoles del siglo pasado.

A D. que, entendiendo que camino al ritmo de mis pensamientos, decidió estar conmigo aún en la distancia convirtiéndose en mi corazón durante este recorrido.

A Ger, Fat, Eve y Rous porque, aunque no me gusta el término, son mis mejores amigos y estoy segura de que si no hubieran estado conmigo, habría enloquecido.

A todas las personas que estuvieron, que me ayudaron en el proceso, que se fueron y a quién pidió leer esta tesis y no pude terminarla a tiempo.

A mi querida UNAM, siendo niña jugaba por sus jardines, mas tarde, como alumna, me dio profesores increíbles, valiosas oportunidades y ahora, después de más de 12 años, parece que nos decimos adiós.

Índice

Resumen	1
Introducción	2
Aprendizaje	5
Procedimientos para el estudio de aprendizaje	7
Aprendizaje en plantas	11
<i>Mimosa pudica</i> L. (Fabaceae)	14
Planteamiento del problema	16
Método	17
Sujetos	17
Material	17
Procedimiento	17
Resultados	20
Discusión	22
Referencias	31

Resumen

Adaptación es un proceso general para la optimización del fitness de los organismos, las características a nivel psicológico que permiten a los organismos adaptarse a cambios en el ambiente y sobrevivir a sus efectos son procesos básicos como la percepción, aprendizaje, memoria y comunicación; siendo la conducta el canal final de todos ellos; esto se ha estudiado con diversas metodologías y modelos animales, de ahí nace la pregunta de si estos procesos son compartidos análogamente con el reino Plantae. El presente estudio se centra en el proceso de aprendizaje como el cambio conductual producto de experiencias previas del individuo para adaptarse a las variaciones del ambiente; este tipo de investigaciones en plantas se han analizado como procesos análogos al de los animales dirigidos al fitness de los organismos, midiendo la plasticidad fenotípica o conductual de la planta. El estudio de este proceso se realizó mediante un procedimiento de Condicionamiento Alpha, con el cual se incrementa la sensibilidad (respuesta) de un organismo a un estímulo dada su relación con otro estímulo, siendo ambos estímulos incondicionales. El modelo utilizado fue *Mimosa pudica*, L. (Fabaceae) debido a su capacidad de replegar sus hojas en cuestión de segundos ante estímulos ambientales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el tiempo de reapertura foliar de *M. pudica* ante variaciones en la probabilidad condicional (P) entre la presencia de un estímulo 2 (E2: daño mecánico) dado un estímulo 1 (E1: obscuridad), esto es: $P(E2/E1)$. Examinando si, para una planta, un estímulo presentado de manera contingente antes de un daño mecánico puede funcionar como señal de un estímulo aversivo. Para esto, se utilizaron cinco grupos experimentales con una probabilidad condicional (P) para cada uno, siendo estas: 0, 0.3, 0.5, 0.7 y 1. Los resultados mostraron una respuesta diferencial entre grupos, demostrando que al utilizar un procedimiento de Condicionamiento Alpha las plantas son sensibles a la variación en la probabilidad condicional de estímulos ambientales. Lo observado se asemeja al condicionamiento del proceso de sensibilización en la planta. Las interpretaciones de esta investigación deben ser analizadas como procesos análogos a los estudiados en animales pues se trata de un organismo diferente en cuanto a fisiología y necesidades de nicho.

Introducción

Por evolución biológica entendemos aquellos rasgos de las especies que cambian a través del tiempo (Herron y Freeman, 2014), lo cual contempla dos aspectos: el primero se refiere a la modificación que sufre la estructura de una población cuando los individuos se adaptan al medio en el que viven. El segundo aspecto consiste en aquellos mecanismos que conducen a la formación de especies nuevas, diferentes a las anteriores (Piñero, 1987). Darwin consideró que la evolución es un fenómeno de adaptación al medio, es decir, una extensión del proceso de adaptación (Piñero, 1987); adaptación puede ser definida como el proceso de cambio de un organismo para ajustarse mejor a las condiciones variables del ambiente, donde el organismo adquiere características que involucran cambios en morfología, fisiología o conducta, que mejoran la supervivencia y éxito reproductivo (fitness) en un contexto específico (Biljsma y Loeschecke, 2005). El mecanismo principal de adaptación es la evolución darwiniana por selección natural (SN) a través de la influencia del ambiente en el desarrollo del organismo (Lande, 2009). Por lo tanto, la adaptación debe ser considerada dentro de un nicho específico, no puede ser entendida sin referirse al ambiente físico y biológico con el que interactúa el organismo (Knoll y Niklas, 1987). Adaptación engloba el conjunto de características que promueven la reproducción, heredando así los genes del organismo y aumentando su población, así como los rasgos o conjunto de rasgos determinados que incrementan la capacidad de sobrevivir y reproducirse (Herron y Freeman, 2014).

Por otro lado, las características a nivel psicológico que permiten a los organismos adaptarse a cambios en el ambiente y sobrevivir a sus efectos son procesos básicos

como la percepción, aprendizaje, memoria y comunicación; siendo la conducta el canal final de estos procesos y el mecanismo básico de adaptación.

Dichos procesos se han estudiado experimentalmente con diversas metodologías y como modelo de estudio a los animales (Healy et al., 2013; Hillman y Bilkey, 2010; Rochais et al., 2014), trabajos de los cuales se ha podido inferir que son procesos compartidos entre especies. Dado esto, nació la creciente curiosidad por saber si estos procesos son compartidos análogamente con otros reinos, especialmente el Plantae, esta pregunta ha desembocado en diversos estudios teóricos y experimentales donde se trata a las plantas como organismos capaces de interactuar con el ambiente que les rodea a través de estos procesos psicológicos (Gagliano et al., 2014; Gruntman et al., 2017; Thellier y Luttge, 2013).

Tanto en animales como en plantas, los procesos cognitivos son estudiados e inferidos a partir de respuestas conductuales, siendo la conducta la consecuencia observable y variante de un ser vivo en respuesta a un estímulo externo o interno (Cvrcková y Zárský, 2016).

Entre las propuestas para el análisis de los procesos psicológicos y la conducta resultante se encuentra la consideración de las causas aristotélicas y las etológicas, pues nos permiten centrarnos en las características que los modulan desde diversos enfoques. Dos de los exponentes de esta propuesta son Tinbergen (1963) quien plantea el análisis de la conducta desde causas etológicas y Peter Killeen (2001) quien lo hace desde las aristotélicas. Las causas etológicas descritas por Tinbergen (1963) para el estudio de la conducta tienen una perspectiva biológica y se dividen en: 1) *causalidad*, para referirse a que la conducta es controlada por el mundo externo, por lo cual, su análisis se centra en los eventos precedentes que contribuyen a la ocurrencia de la conducta. 2) La

segunda causa que menciona es el *valor de supervivencia* en donde la conducta, es considerada como un proceso más de la vida, juega un papel en la selección natural y, por lo tanto, no puede ser evaluada sin su valor en la supervivencia del organismo. 3) La causa referente a la *ontogenia*, apela a la existencia de dos métodos para la conducta: el genético, producto de la evolución, y la interacción ontogénica entre el individuo y su ambiente, la base de esta causa se centra en dicha interacción. Por último, 4) la *evolución*, en donde el estudio se centra en el papel que la evolución tiene en la conducta, ya sea desde la variación genética donde actúa la Selección Natural, o en el estudio de la influencia de ésta en la evolución de una conducta, es decir, el valor de sobrevivencia de características específicas de las especies

Por otro lado, para Aristóteles existen cuatro causas para entender un fenómeno. Para el análisis de procesos conductuales, Killeen (2001) definió estas causas como: 1) *material*, la cual se refiere al sistema físico en donde se genera la conducta; 2) *eficiente*, que explica aquello que provoca la conducta, o lo que en psicología se conoce como estímulo; 3) *causa final*, que remite a explicaciones funcionales, considerando la conducta como un medio para mejorar el *fitness* del sujeto, y que normalmente está sujeta a un aprendizaje para ajustarse a las nuevas contingencias del ambiente; y 4) la *causa formal*, que apela a modelos explicativos de la conducta, un ejemplo son los modelos de aprendizaje asociativo, esta causa puede ser abordada aún sin causa material.

Aunque ambos tipos de causas tienen perspectivas diferentes, también cuentan con convergencias que permiten un análisis desde las dos, es decir, al abordar un estudio ya sea desde las causas aristotélicas o etológicas es posible utilizar una interacción de ambas, y, esto dependerá del objetivo del trabajo y de las características de este. Por

ejemplo, al estudiar el comportamiento desde la *causa material* en los animales, es usual enfocarse en el Sistema Nervioso Central (SNC), puesto que estos organismos han evolucionado hacia un SNC regulador de su interacción con el ambiente, sin embargo, otros organismos, como las plantas, han evolucionado hacia un sistema no centralizado, con otros sistemas de recepción de estímulos, por lo cual es conveniente analizarlo desde otras perspectivas.

Dentro de la pregunta general de si los procesos psicológicos básicos pueden ser compartidos entre reinos se realizó una primera aproximación teniendo como sujeto de estudio la respuesta conductual de *Mimosa pudica* L. (Fabaceae) para evaluar la existencia de un proceso análogo al de aprendizaje estudiado en animales, la respuesta analizada fue el plegamiento foliar de la planta. Al realizar este tipo de evaluaciones existen problemáticas relacionadas a las características fisiológicas y necesidades de nicho de los organismos, sin embargo, ambos reinos comparten una necesidad general de adaptarse a su ambiente y modificar óptimamente sus respuestas ante los estímulos de este; por lo que para esta investigación se propone la convergencia de causas, desde la perspectiva aristotélica *eficiente* y *final* y desde la etológica del *valor de supervivencia*.

Aprendizaje

Dentro de los procesos básicos, el aprendizaje es definido como el cambio conductual producto de experiencias previas del individuo (Shelton y Martins, 2017), y es uno de los más estudiados en psicología ya que como menciona Álvarez, Loy y Prados (2017) citando a Baldwin (1896): el aprendizaje hace posible la adaptación de los organismos a nuevas condiciones, y los que mejor aprendan tendrán una ventaja para sobrevivir y reproducirse sobre los que no aprendan. Es decir, los sujetos se benefician

de la experiencia individual para adaptarse a su medio. Aprendizaje se estudia a partir de modificaciones en la conducta del organismo derivados de su experiencia (Shelton y Martins, 2017), es esta plasticidad conductual la que permite al organismo sobrevivir a contextos cambiantes. Una de las formas de estudiar este proceso es dividirlo en *asociativo* y *no asociativo*.

El aprendizaje no asociativo se refiere a la modificación de sistemas y tendencias conductuales preexistentes, lo llamado reflejo, que está constituido por un estímulo evocador y una respuesta específica correspondiente. Este tipo de modificaciones conductuales son procesos como la habituación y sensibilización (Domjan, 2010). Estos procesos fueron estudiados con el molusco gasterópodo del género *Aplysia*; Carew (1989) notó que al tocar a la *Aplysia* se produce una retracción de la branquia, pero al repetir la estimulación varias veces, el animal cesa esta conducta. El autor explicó este resultado como el proceso de habituación a la estimulación mecánica, y descubrió que la estimulación repetida de la neurona sensorial tenía como consecuencia que cada vez se liberaba menos neurotransmisor al espacio sináptico, lo cual se debía a la disminución en la actividad de los canales de calcio, provocando que no se llegara al potencial de acción que activaría las motoneuronas encargadas de la retracción de la branquia. Describiendo así las vías de comunicación neuronal que hacen posibles procesos de aprendizaje básico como habituación. El proceso básico de sensibilización fue estudiado por Pinsker et al. (1973) también en la *Aplysia*, vista esta como una forma elemental de aprendizaje donde un reforzador o castigo aumenta una respuesta preexistente a otro estímulo, por la similitud con el Condicionamiento Clásico, el autor sugiere que sensibilización es el mecanismo adaptativo básico donde evoluciona el aprendizaje asociativo. Refiriéndose el aprendizaje asociativo a que los organismos usan un estímulo

(E1) para predecir la aparición de otro biológicamente relevante (E2) (Alvarez et al., 2017), es una de las formas más básicas de aprendizaje y podemos estudiarlo en distintos organismos. A pesar de ser una forma básica del aprendizaje, su estudio es complejo, ya que involucra una serie de relaciones a través de eventos que proveen una representación mucho más rica del mundo que sólo una evocación de reflejos (Rescorla, 1988).

Procedimientos para el estudio de aprendizaje

Una vez entendido que el aprendizaje no asociativo se refiere a la alteración de conductas que preexisten dada su interacción con el ambiente; y que el aprendizaje asociativo es definido por el cambio en la conducta, dada la relación entre dos estímulos ambientales, es preciso mencionar algunos de los procedimientos utilizados para su estudio.

El estudio del aprendizaje asociativo puede hacerse mediante procedimientos de condicionamiento instrumental o pavloviano. Uno de los procedimientos utilizados en el aprendizaje asociativo es el Condicionamiento pavloviano que también es llamado Clásico (CC), empleado para estudiar aprendizaje a través de la asociación de estímulos del ambiente dada su relación espacial, temporal y de contingencia. Este procedimiento también ha sido utilizado como un modelo para el estudio de la modificación conductual dada la experiencia general (Rescorla, 1988).

El condicionamiento clásico requiere dos estímulos, un *estímulo neutro (EN)*, es decir, que no provoque una respuesta natural en el individuo, y el segundo es un *estímulo incondicional (EI)* que provoque una respuesta sin necesidad de un entrenamiento previo (*RI*), dicha respuesta será la conducta objetivo; después de la presentación ordenada y

repetida del EN antes del EI éste proporcionará información de la probable ocurrencia del EI con lo cual se presentará la respuesta que antes sólo era provocada por el EI, es decir, una *respuesta condicionada (RC)* convirtiendo el EN en un *estímulo condicionado (EC)*. Esto no se debe a un intercambio de respuesta de un estímulo a otro, sino, al aprendizaje de relaciones a través de eventos complejamente representados (Rescorla, 1988).

Las propuestas del estudio de CC se iniciaron con Pavlov en 1927, que al estudiar procesos digestivos en perros condicionó la salivación del animal antes de la entrega de alimento como un evento apetitoso, no obstante los procedimientos empleados para el estudio del aprendizaje asociativo con CC, también se han utilizado para procedimientos con estimulación aversiva, es decir, que producen alarma (Domjan, 2010), esto se ha realizado en condicionamiento de respuestas emocionales (Watson y Rayner, 1920) y en experimentos de aversión al sabor (Garcia et al., 1955).

Los estudios conductuales utilizando CC son principalmente realizados por psicólogos, pero el área se ha extendido a campos del conocimiento tales como neuropsicología, biología, modelamiento matemático, entre otras. Lo que ha llevado a generar múltiples teorías explicativas del proceso detrás del procedimiento. Entre las teorías más famosas de aprendizaje por CC se encuentra la de Rescorla y Wagner (1972), la cual modela la curva normal de aprendizaje después de un entrenamiento de asociación de estímulos, donde lo que se espera en cada sesión dependerá de qué se ha aprendido en sesiones pasadas. Si no se tiene experiencia con el EC, este no predecirá nada y no se esperará nada; si el EI ocurre, será un evento sorprendente que generará aprendizaje.

Para generar aprendizaje asociativo es necesaria la presencia de un o una serie de estímulos que predigan otro estímulo dada una relación de contingencia entre ambos, no de estímulos medioambientales que se presenten aleatoriamente (Papini y Bitterman, 1990).

Papini y Bitterman (1990) definen contingencia como la probabilidad relativa de ocurrencia de un EI en presencia de un EC, contrastado con la probabilidad en ausencia del EC. Dado esto podemos afirmar que la fuerza asociativa entre dos estímulos dependerá de la probabilidad de la presencia de uno antes del otro.

Lo anterior son los principios básicos que hay que tomar en cuenta cuando se realizan los procedimientos en ambientes controlados, sin embargo, como menciona Domjan (2005) el aprendizaje por Condicionamiento Clásico visto desde una perspectiva funcional es un rasgo adaptativo que ocurre bajo circunstancias naturales, en donde lo esencial para el organismo es interactuar efectivamente con el EI presente, pues tiene una gran significancia biológica para su supervivencia, y el objetivo del investigador es estudiar cómo cambian las respuestas a un EI dado el aprendizaje.

Para abordar esto, es importante considerar la relación del organismo con el ambiente (relación ecológica), en donde el EC y el EI tienen una interacción natural constante, por lo que en ambientes naturales es difícil encontrar estímulos condicionales que sean neutros para el organismo, por lo tanto, el aprendizaje debe ser EI-EI. Goddard (1999) define el aprendizaje EI-EI como aquel en donde un estímulo, normalmente considerado incondicional, señala la ocurrencia de otro igual o diferente.

El aprendizaje EI-EI resalta dos principios asociativos fundamentales del Condicionamiento Clásico: 1) El estímulo señalador es un evento intenso y distintivo, y 2) el evento señalador y el señalado pueden ser similares o incluso los mismos (Goddard,

1999). Este tipo de experimentos en donde dos EI son pareados, han sido utilizados para examinar asociaciones naturales y para abordar preguntas sobre estados motivacionales, ya que, si un estímulo puede señalar la próxima ocurrencia de otro, entonces puede provocar el mismo estado motivacional que el segundo (Schreurs y Alkoon, 1990).

Schreurs y Alkon (1990) hacen referencia al trabajo de Hull (1934) donde este utilizó por primera vez el término “respuesta alpha” para referirse a RI provocadas por un EC, es decir tras una asociación EI-EI y distinguirlas de respuestas provocadas por una función del pareamiento de EC-EI. Un ejemplo de respuesta alpha es el experimento de Crowell, 1974 (citado en Goddard, 1999), donde mostró que cuando las ratas recibían una descarga eléctrica débil pareada con una fuerte, las propiedades aversivas de la primera incrementaban. Este procedimiento de aprendizaje EI-EI se le conoce como *Condicionamiento Alpha* donde el EC no es neutro, es decir el EC provoca una respuesta que se asemeja a la respuesta condicionada (Abramson y Chicas-Mosier, 2016), en dicho procedimiento también se presenta el EC seguido de un EI; es decir, hay un EI1 que se convierte en señalador de la próxima ocurrencia del EI2.

Clásicamente en estudios de CC, la atención se fija en cómo el organismo responde al EC después de un condicionamiento pavloviano dada la relación EC-EI (Domjan, 2005), mientras que con un Condicionamiento Alpha se centra en cómo cambia la respuesta del organismo al EI1 dada la relación EI1-EI2; la respuesta provocada por esta asociación tiene claras similitudes con la respuesta obtenida tras un proceso de sensibilización. Mientras que la habituación se refiere al decremento de la magnitud de una respuesta dada a la estimulación repetida, la sensibilización se refiere a la facilitación de una respuesta dada la presentación de un estímulo fuerte (Carew, 1989), es decir, es

un incremento de una respuesta incondicional como resultado de un estímulo incondicionado (Abramson, 1994); lo cual se asemeja al Condicionamiento Alpha, pues éste lo que hace es condicionar la sensibilidad a un estímulo y podría caer en la categoría de Condicionamiento Instrumental entrando en el paradigma de EC-Respuesta instrumental, pues lo que se mide en el Condicionamiento Alpha es la influencia del EC en un conducta continua (Abramson, 1994).

Aprendizaje en plantas

Desde una perspectiva evolutiva los cambios en la conducta durante la vida del organismo pueden ser descritos como reacciones que evolucionan y están sujetas a selección natural (Shelton y Martins, 2017); estas modificaciones conductuales promueven la supervivencia del organismo, y por ello es preciso pensar que es una generalidad entre los seres vivos, ya que todos están bajo constantes cambios ambientales.

Dado que los cambios continuos a nivel fisiológico y conductual son motivados por la adaptación al medio, y esta es una necesidad general entre los seres vivos, suponemos que procesos psicológicos básicos, como el aprendizaje, también están implicados en la adaptación de las plantas. La pregunta es ¿qué tipo de aprendizaje es? Y en cualquier caso ¿podemos dividirlo como lo hacemos en el aprendizaje en animales?

Intentar formular una respuesta desde la causa material aristotélica resulta problemático, ya que los estudios fisiológicos que nos han permitido tener un modelo de la vía de señalización sináptica que sostiene el aprendizaje han sido realizados en organismos animales, tal es el ejemplo antes mencionado en el molusco *Aplysia*. Pareciera que esto sólo puede ser generalizable a organismos con un sistema nervioso,

ya que el resto de los seres vivos no cuentan con un sistema nervioso que regule e integre su interacción con el ambiente.

En el caso de los organismos pertenecientes al reino Plantae, su interacción con el ambiente se da por medio de proteínas que funcionan como receptores específicos que perciben y responden a un estímulo, lo cual induce una plasticidad fenotípica en el organismo, esto es, que un genotipo puede producir diferentes fenotipos en respuesta a condiciones ambientales variantes, producto de una señalización coordinada de célula a célula, que, al igual que en los animales, requiere un sofisticado sistema de almacenamiento y adquisición de información. Este transporte de información entre células se da por vías como el xilema¹ y el floema² cuando es a larga distancia, o bien, a través de los plasmodesmos³ que permiten la comunicación entre células a corta distancia (Sevilem et al., 2013), todo sin tener un órgano central de procesamiento de la información.

Esta señalización bioquímica se ve reflejada en respuestas observables de las plantas a los cambios en el ambiente y generalmente son considerados cambios en el crecimiento o fenotipo (Trewavas, 2016).

Para Trewavas (2016), así como en los animales, la conducta de la planta es la respuesta a estímulos del medio dado un proceso adaptativo general. Shelton y Martins (2017) dividen el estudio de la conducta en plasticidad del desarrollo contra flexibilidad conductual, definiendo la plasticidad del desarrollo como la capacidad de un mismo genotipo de producir más de un fenotipo, y la flexibilidad conductual como la facultad del

¹ Un tejido de planta vascular que conduce agua y sales minerales desde las raíces hasta las hojas.

² Tejidos de la corteza interna, caracterizados por la presencia de tubos cribosos, que transportan sustancias alimenticias elaboradas.

³ Puentes citoplasmáticos entre células vecinas en tejidos de plantas.

individuo de modificar su conducta en respuesta a nuevas necesidades. Organismos cómo los animales exhiben mayor flexibilidad conductual, mientras que las plantas presentan mayor plasticidad en su desarrollo como respuesta a estímulos, ya que la pared celular rígida de las plantas dificulta el movimiento general del individuo (Trewavas, 2016).

Esta flexibilidad de respuestas no es ilimitada y varias plantas pueden especializarse ya que están correlacionadas con sus rasgos ecológicos (Scheres y Van der Putten, 2017) y pueden ir mejorando después de la presentación repetida de una situación relevante para el organismo. Trewavas (2016), analiza esto como un proceso análogo al de aprendizaje y se refleja en la adaptación del organismo a su medio estando estrechamente ligado al fitness, esto se da gracias a que las plantas interactúan y responden a los estímulos bióticos y abióticos del medio y depende de las habilidades del organismo para adaptarse a su ambiente a lo largo de su vida.

La conducta que se estudia en animales para analizar procesos de aprendizaje es aquella que, a diferencia de las kinesis (movimientos azarosos), es dirigida a estímulos medioambientales y recibe el nombre de taxis (Brown y Herrnstein, 1965) dado que estos tienen la capacidad de desplazarse para escapar o acercarse a lo que los rodea; sin embargo, organismos como las plantas se mantienen sésiles y presentan pocos movimientos ante el ambiente, en general su mecanismo para interactuar con el medio es por un crecimiento direccional en respuesta a un estímulo, esto es, por tropismo (Gilroy, 2008), o por medio de nastias, que son modificaciones de la posición de un órgano de la planta (Moysett y Simon, 2013).

Las respuestas visibles en las plantas han sido estudiadas a nivel conductual desde Darwin (1882) en su libro "The power of movement in plants" y han tomado fuerza

actualmente con estudios de procesos como habituación (Amador-Vargas et al., 2014; Gagliano et al., 2014), e incluso de aprendizaje asociativo (Abramson y Garrido, 2002; Gagliano et al., 2016), sin embargo, al utilizar términos y procedimientos psicológicos diseñados para animales con un Sistema Nervioso, estos estudios están rodeados de controversia y de un gran análisis teórico y filosófico (Calvo y Baluska, 2015; Trewavas, 2017; Chamovitz, 2018).

***Mimosa pudica* L. (Fabaceae)**

Por ser las plantas organismos sésiles con tropismos generalmente lentos, ha sido necesario trabajar con plantas modelo por facilidades metodológicas. En estudios a nivel celular y molecular es común encontrar el uso de *Arabidopsis thaliana*, por el conocimiento que se tiene ya de su genoma y estructura celular, aunado a su rápido desarrollo. Pero para estudios a nivel conductual fue necesario encontrar plantas con respuestas rápidas y observables como las realizadas por *Dionaea muscipula* (Droseraceae) mejor conocida como Venus atrapa moscas, o bien, *Mimosa pudica* L. (Fabaceae) llamada comúnmente mimosa sensitiva.

Para el presente estudio se utilizó a *Mimosa pudica*, la cual es una planta herbácea anual, su tallo puede llegar a medir hasta un metro de altura y es nativa de las zonas tropicales y subtropicales de América (Sánchez, 2017), ha sido objeto de estudio por su capacidad poco común de replegar sus hojas en cuestión de segundos como medida defensiva ante herbívoros, y respuesta a estímulos abióticos como luz, temperatura, tacto o vibraciones (Amador-Vargas et al., 2014; Gagliano et al., 2014; Simon et al., 2016).

Los plegamientos foliares de *M. pudica* se caracterizan por un rápido descenso del pecíolo, mientras los folíolos se cierran. Son respuestas muy rápidas que se denominan nastias y pueden ser nictinastias inducidas por transiciones de luz-oscuridad, o seismonastias, que son respuestas al tacto, a eléctricas, entre otras (Moysett y Simon, 2013). Este plegamiento foliar se inicia cuando un estímulo provoca un flujo de potasio dentro de las células de la hoja, lo que crea una pérdida de presión hídrica dentro de la misma (turgencia), y origina que se cierren las hojas y hace que se caigan (Reed-Guy et al., 2017), después estas células recuperan su turgencia inicial y se da la reapertura foliar. Esta respuesta defensiva implica un gasto energético para la planta, pues impone costos de trifosfato de adenosina (ATP) requerido para reabrir los folíolos (Jansen et al., 2011), además de que la tasa fotosintética disminuye en un 60%, probablemente debido a la disminución de área foliar para recibir iluminación (Hodginott, 1977).

Mimosa pudica ha permitido el avance en estudios conductuales dentro del reino vegetal, donde se ha demostrado que la experiencia modifica la conducta de la planta (Cahill et al., 2012), pero estos estudios se han enfocado en procesos como el de habituación (Amador-Vargas et al., 2014; Gagliano et al., 2014). Sin embargo, Gagliano et al. (2016) realizó un experimento con un procedimiento de CC en plantas de chícharo, donde condicionó la respuesta fototrópica de la planta mediante la presentación ordenada y contigua de una fuente de aire seguida de una de luz, logrando que las plantas dirigieran su fototropismo a la fuente de aire aun sin la presencia de la luz, demostrando una respuesta condicionada en la mayoría de las plantas.

Planteamiento del problema

Salvo el experimento de Gagliano et al. (2016) se carece de estudios en plantas sobre asociación de estímulos informativos, donde se pueda comprobar la adquisición de información a partir de cambios conductuales observables que pudiesen sugerir un proceso análogo al de aprendizaje asociativo examinado en animales.

Para seguir investigando dicho proceso en plantas es necesario utilizar metodologías que tomen en cuenta las características fisiológicas y de nicho de estas. Un problema similar ocurrió al estudiar procesos de aprendizaje en animales invertebrados, pues procedimientos como Condicionamiento Clásico normalmente son realizados utilizando un estímulo neutro, es decir, un estímulo que no provoque una respuesta natural en el organismo, pero que pueda ser percibido y pareado con un estímulo incondicional; lo cual es difícil de encontrar en invertebrados, para resolver este problema metodológico se utilizó el Condicionamiento Alpha (Abramson, 1994).

El presente trabajo pretende extender el estudio del proceso de aprendizaje al reino Plantae desde el punto de vista psicológico y bajo la visión de adaptación. Con intención de probar si un estímulo presentado contingentemente antes de un daño mecánico puede funcionar como predictor del mismo para *M. pudica*, se seleccionó el Condicionamiento Alpha como la metodología adecuada para este estudio considerando que *M. pudica* es altamente receptiva a estímulos ambientales, y este procedimiento puede ser realizado con dos estímulos incondicionales.

Como se mencionó anteriormente, la fuerza asociativa entre dos estímulos depende, entre otros factores, de la probabilidad de ocurrencia de uno dado el otro; es

por ello que en este estudio se utilizaron diferentes valores de probabilidad condicional para observar el ajuste de la respuesta de la planta.

Con los antecedentes anteriormente mencionados, el objetivo del presente estudio fue evaluar el tiempo de reapertura foliar de *Mimosa pudica* ante variaciones en la probabilidad condicional (P) entre la presencia de un estímulo 2 (E2: daño mecánico) dado un estímulo 1 (E1: obscuridad), esto es: $P(E2/E1)$. Examinando si, para una planta, un estímulo presentado de manera contingente antes de un daño mecánico puede funcionar como señal de un estímulo aversivo.

Para esto, se utilizaron cinco grupos experimentales con una probabilidad condicional (P) para cada uno, siendo estas: 0, 0.3, 0.5, 0.7 y 1.

Método

Sujetos

Quince plantas de *Mimosa pudica* L. (Fabaceae) de dos meses de edad germinadas desde semillas, las cuales fueron obtenidas en Semillas las huertas, Xochimilco, CDMX. México.

Material

Se utilizó un invernadero agrícola, cámara ambiental (CONVIRON PGR15, Canadá), caja de obscuridad, tijeras metálicas, cuaderno de registro, marcador permanente, termómetro ambiental y luxómetro digital.

Procedimiento

Ochenta semillas de *M. pudica* fueron lavadas con hipoclorito de sodio comercial al 10%, enjuagadas con agua destilada y se dejaron reposar en agua caliente durante 15 minutos, después fueron secadas con papel filtro y divididas en cuatro cajas Petri con Agar al 1%, fueron selladas y depositadas en una cámara ambiental (CONVIRON PGR15, Canadá) con fotoperiodo de 12/12 h, 25/20 °C (día/noche) e intensidad luminosa

de 200-250 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; una vez que se presentaron los cotiledones se trasplantó una planta por maceta en macetas de 0.5L con un sustrato de agrolita y PetMoss (1:1) y fueron regadas con solución nutritiva Hoagland a 1/5 de fuerza iónica una vez por semana y tres veces con agua corriente. Se dejó a las plantas desarrollarse dentro de la cámara ambiental durante dos meses.

Se seleccionaron 15 plantas con crecimiento homogéneo de la cámara ambiental y fueron llevadas a un invernadero agrícola donde tuvieron un tiempo de aclamamiento de dos semanas, se marcó una hoja media y sana a la vista con plumón negro indeleble en cada planta para ser la hoja objetivo. Las plantas de *M. pudica* fueron regadas con solución Hoagland a 1/5 de fuerza iónica una vez a la semana durante dos semanas antes de comenzar el experimento para garantizar la salud de estas (nutrientes) y con agua potable diariamente durante los días que duró el experimento.

Las quince plantas se dividieron aleatoriamente en cinco grupos con tres plantas cada uno, cada grupo correspondió a una probabilidad de contingencia diferente, siendo estas: 0, .3, .5, .7 y 1, donde 0 funcionó como control al nunca presentarse el segundo estímulo.

Las sesiones experimentales se realizaron en un invernadero con luz y temperatura natural, durante diez sesiones ininterrumpidas. Cada sesión consistió en un ensayo por día, en el cual se mantuvo a las plantas en una condición de oscuridad (E1) durante una hora entre las 13:00 horas y las 14:00 horas; al retirar la condición de oscuridad las plantas presentaban cierre foliar general, con un cronómetro digital se midió la latencia de reapertura foliar de la hoja objetivo en cada planta. Inmediatamente al reabrir la *hoja objetivo* se realizó un corte (E2) de aproximadamente 2 milímetros con

tijeras en ella, provocando un plegamiento foliar en toda la planta, con eso terminaba la sesión.

La probabilidad de la presencia del segundo estímulo en cada planta se programó aleatoriamente respetando la probabilidad condicional del grupo al que pertenecía.

Para mayores detalles revisar la Tabla 1 en donde se presenta la correspondencia de presentación del segundo estímulo en cada uno de los grupos, y la Figura 1 que muestra el procedimiento experimental de una sesión.

Tabla 1

Probabilidad de presentación del E2 en cada grupo

Grupo	Probabilidad de presentación del E2/E1
0	0/10
0.3	3/10
0.5	5/10
0.7	7/10
1	10/10



Figura 1. *Procedimiento experimental*

Nota: Cada probabilidad corresponde a un grupo experimental. Después de presentar el Estímulo 1 se presenta un cierre foliar general donde se medirá la latencia de reapertura de la hoja objetivo, una vez abierta esta hoja, se presentará el Estímulo 2.

Resultados

Con el propósito de examinar el cambio a través de los días de la respuesta de *M. pudica* al Estímulo 1 respecto a su relación condicional con el Estímulo 2, se realizó un registro diario de la latencia de reapertura foliar en la hoja objetivo de cada planta experimental después de la presentación de una hora de obscuridad (Estímulo 1).

En la Figura 2 se muestran los cinco grupos experimentales, cada uno con tres plantas representadas por líneas punteadas grises y el promedio de latencia por grupo presentado con una línea de color en cada gráfica. La latencia de reapertura foliar es presentada en minutos (eje vertical) a lo largo de las diez sesiones que duró el experimento (eje horizontal). En todos los grupos se observa una respuesta estable a lo largo de las sesiones que a partir del día nueve tiene un aumento notable en la latencia de reapertura foliar que baja en la sesión diez, pero en ningún grupo regresa a niveles previos. Se advierte un aumento en la variabilidad de los grupos de mayor probabilidad condicional (0.7 y 1).

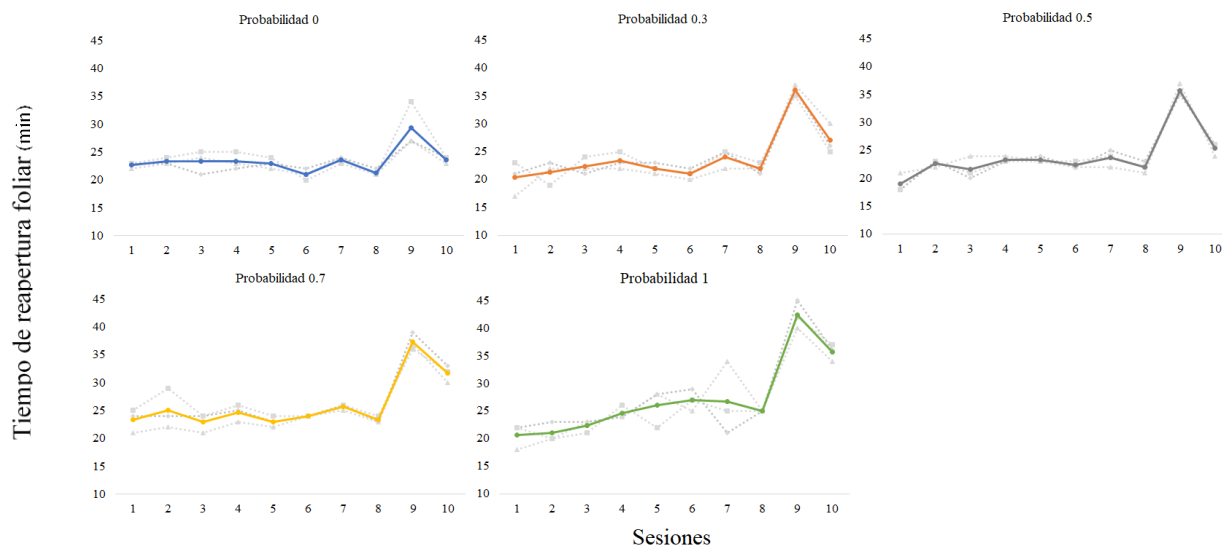


Figura 2. Tiempo de reapertura foliar de todos los grupos, con líneas punteadas se muestran las tres plantas que conforman cada grupo y con línea de color los promedios por grupo.

La Figura 3 muestra los promedios de tiempo en minutos de reapertura foliar (eje vertical) a través de los diez días de tratamiento (eje horizontal) de los cinco grupos experimentales. El grupo con la probabilidad condicional 1 comienza con una latencia menor a los demás grupos y a partir del día cuatro los supera, siendo a partir de la sesión ocho cuando su desviación estándar deja de cruzarse con los demás grupos. Los grupos con las P de 0.3, 0.5 y 0.7 se cruzan constantemente siendo hasta la sesión diez cuando la P 0.7 se separa de las otras dos. En el grupo con P 0 la latencia comienza a disminuir, con respecto a los demás grupos, desde la sesión cuatro.

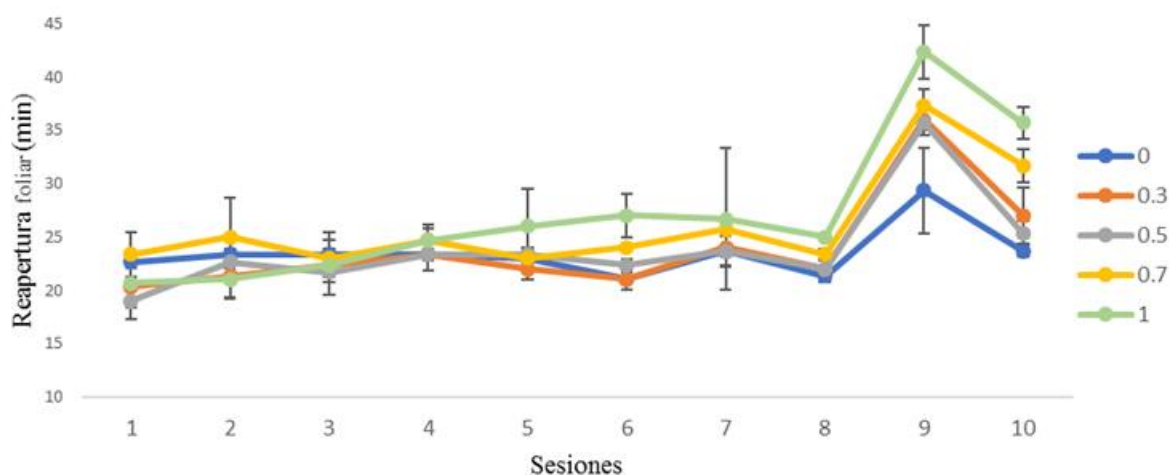


Figura 3. Promedios de tiempo de reapertura foliar en todos los grupos experimentales (n=3). Se presenta con la desviación estándar por sesión de cada grupo experimental. Cada grupo o probabilidad está representado con un color diferente.

En la Tabla 2 se muestran los promedios de tiempo de reapertura foliar por sesión en cada grupo. En el Grupo con la PC 0 la latencia de reapertura foliar comienza con 23 minutos y se mantiene estable a lo largo del experimento, aunque teniendo un pico en la sesión nueve, en la sesión diez regresa a 24 minutos por lo que termina de manera similar a como empezó. Al comparar los grupos 0.3 y 0.5 se puede ver que comienzan y

terminan con latencias similares mientras que la PC 0.7 aumenta nueve minutos en la última sesión respecto a la primera sesión teniendo también un pico máximo en la sesión nueve. Por último, el grupo experimental con la probabilidad 1 comenzó con una latencia similar a los demás grupos, pero a partir de la sesión cinco se vuelve mayor, presentando, al igual que los otros grupos, un pico en la sesión nueve que baja en el último día experimental quedando en la última sesión con 15 minutos más que en su comienzo.

Tabla 2.

Promedio de tiempo de reapertura foliar (min) por sesión en cada grupo (n=3)

Sesiones	Probabilidades				
	0	0.3	0.5	0.7	1
1	23	20	19	23	21
2	23	21	23	25	21
3	23	22	22	23	22
4	23	23	23	25	25
5	23	22	23	23	26
6	21	21	22	24	27
7	24	24	24	26	27
8	21	22	22	23	25
9	29	36	36	37	42
10	24	27	25	32	36

Discusión

Para analizar, en el caso específico de *Mimosa pudica*, si un estímulo presentado con diferentes probabilidades condicionales, antes de un daño mecánico, puede funcionar como predictor de este, se evaluó el tiempo de reapertura foliar de *M. pudica* ante variaciones en la probabilidad condicional (P), entre la presencia de un E2 aversivo dado un E1 señalador, esto es: $P(E2/E1)$. Para cumplir el objetivo se utilizaron cinco grupos, cada uno con un valor diferente de probabilidad condicional. La hipótesis

propuesta fue que *M. pudica* modifica su respuesta al E1 manteniendo un plegamiento foliar por más tiempo mientras mayor es la P de presencia del estímulo aversivo (E2).

Los resultados mostraron una respuesta diferencial entre grupos, el grupo con P igual a 1 tuvo la latencia más larga, siendo este y el grupo con P 0.7 los que mostraron una mayor latencia de reapertura foliar en comparación con los demás grupos. Por otra parte, los grupos con las P igual a 0.5 y 0.3 mostraron una latencia de reapertura similar a lo largo del experimento, aunque ambos con una latencia mayor al Grupo 0. Los cinco grupos siguieron un patrón semejante en las primeras sesiones y fue a partir del día ocho, cuando se obtuvo una respuesta diferencial y disminución de la variabilidad intra grupos mostrada en sesiones anteriores; en la sesión nueve tuvieron un aumento considerable (58% en promedio) en la latencia de reapertura foliar y posteriormente la disminuyeron en la sesión diez sin llegar a niveles previos.

Retomando a Papini y Bitterman (1990), la respuesta generada por la asociación de estímulos depende de la probabilidad de ocurrencia de un estímulo después de otro. Por lo cual, el grupo con P 0 puede considerarse como un control, ya que al nunca presentársele el E2 no se puede hablar de una respuesta condicional, lo cual lo convierte en la línea de comparación para los demás grupos a los cuales se les presentaron ambos estímulos, y por lo tanto, sí hubo un procedimiento de asociación de estímulos. En los grupos con P 0.3, 0.5, 0.7 y 1 presentaron una respuesta notablemente diferente al grupo con P 0, que sugiere que las plantas fueron sensibles al procedimiento de Condicionamiento Alpha. Estos resultados fueron más evidentes conforme pasaron los días de tratamiento; en un inicio los cinco grupos comenzaron de forma muy similar y a lo largo del experimento se separaron paulatinamente hasta mostrar una respuesta diferencial entre las probabilidades condicionales. La respuesta de los grupos fue lo

esperado, mientras mayor fue la probabilidad de presentación del daño mecánico, más prolongada fue la respuesta de plegamiento foliar; esto se asemeja a una respuesta de carácter evitativo ante un estímulo aversivo (Domjan, 2010). Es decir, el mantenimiento de la respuesta de plegamiento foliar de *M. pudica* provoca el retraso de la estimulación aversiva y mientras mayor fue la probabilidad de la presentación de ésta, mayor fue la latencia de reapertura foliar, lo cual se asemeja mucho a un proceso de sensibilización (Goddard, 1999).

La respuesta diferencial observada se debe a que, como se mencionó, es necesario que el primer estímulo funcione como predictor del segundo, y esto se da por una relación de contingencia entre ambos estímulos (Papini y Bitterman, 1990). Los resultados de este experimento ejemplifican la importancia de la fuerza de esta relación, pues mientras mayor fue la probabilidad condicional, mayor el ajuste realizado por el organismo; es importante notar que entre el grupo con P 0 y P 0.3 se observó una diferencia en la latencia de reapertura foliar, es decir, la planta fue sensible a tan sólo 0.3 de probabilidad condicional. Esto muestra la fina sensibilidad de las plantas ante el ambiente pues, aunque ambos estímulos (luz y daño foliar) son comunes en el entorno de vida o ambiente de la planta y le provocan naturalmente una respuesta, al presentar los dos EI de forma ordenada, la planta modificó su respuesta aun cuando la probabilidad de contingencia era menor a 0.5, es decir al azar.

Si bien la respuesta alterada por el procedimiento de asociación de estímulos fue una respuesta preexistente (e inevitable), no es claro si puede ser llamada *reflejo*. Trewavas (2014) define el reflejo como una respuesta invariable a un estímulo, y aunque el plegamiento foliar está siempre presente ante un estímulo como la oscuridad, la respuesta sí puede variar, no sólo en cuanto a duración, como se mostró en este estudio,

sino en forma, es decir el plegamiento puede presentarse en diferentes intensidades o incluso en sectores específicos de la hoja sin alterar físicamente el resto de la misma (Cahil et al. 2013; Amador-Vargas et al. 2014; Gagliano et al., 2014). Aunque la respuesta de *M. pudica* tiene similitudes con lo que hemos denominado reflejo en animales puesto que el mismo estímulo provoca una respuesta específica (Domjan, 2010), al poder observar una respuesta variable, no está resuelto si la respuesta de *M. pudica* deba ser tratada bajo un argumento basado en lo que llamamos reflejo. No obstante, la conducta provocada por la asociación EI-EI tiene similitudes teóricas con un proceso de sensibilización (Carew, 1989; Abramson, 1994); retomando a Pinsky et al. (1973) este proceso se muestra como el mecanismo adaptativo básico que liga el aprendizaje no asociativo con el asociativo.

Puesto que las plantas respondieron diferencialmente a la probabilidad condicional de la presentación de un estímulo previo a otro, se puede decir que se comprobó la hipótesis del presente trabajo. Esto se consiguió a partir de un procedimiento utilizado para examinar aprendizaje asociativo, con el que plantas fueron capaces de utilizar un evento señalador como predictor de uno aversivo, y mientras mayor fue la probabilidad condicional de ocurrencia del segundo estímulo, más prolongada la respuesta de plegamiento foliar de *M. pudica* antes de este; una posible interpretación de estos resultados es que en *M. pudica* hay un proceso análogo al de aprendizaje asociativo estudiado en animales. Si bien los estudios tradicionales sobre aprendizaje han sido realizados en animales y están basados en organismos con un sistema nervioso que regula su interacción con el ambiente, existen definiciones que tratan al aprendizaje como el cambio conductual producto de las experiencias previas del individuo, para adaptarse mejor al medio y optimizar su fitness (Shelton y Martins,

2017; Álvarez et al., 2017), permitiendo extenderlo a organismos como las plantas, enfocadas al proceso de adaptación; por lo cual se puede utilizar “aprendizaje” para nombrar al proceso que sostiene la conducta de la planta en esta investigación, sin dejar fuera que este es un proceso análogo y no igual al que se ha estudiado en animales. Por lo tanto, se puede inferir que aprendizaje, efectivamente es un proceso adaptativo básico que puede ser estudiado en organismos ajenos al reino animal.

Considerando que *M. pudica* mostró una respuesta diferencial en cada grupo de variación de probabilidad condicional, se ejemplifica su capacidad de presentar flexibilidad conductual ante contingencias del ambiente que representan un riesgo para su supervivencia, esto como resultado de un proceso de discriminación, que es definido como la respuesta diferencial de un organismo ante dos o más estímulos (Domjan, 2010), aunque en este experimento la discriminación fue ante la variación de presencia de un mismo estímulo en el ambiente. Esto puede ser analizado como la capacidad de las plantas de adquirir información de una secuencia ordenada de estímulos, y modificar su conducta a una respuesta defensiva prolongada para protegerse de un daño, que pone en riesgo su supervivencia. Esto último explica la causa final aristotélica y la de valor de supervivencia de la teoría etológica, pues estas se enfocan en el mejoramiento del fitness del sujeto y están estrechamente ligadas a procesos de aprendizaje en el organismo como medio para que éste sea capaz de adaptarse a las contingencias variables del ambiente.

Esta capacidad de flexibilidad en la respuesta de las plantas ante variaciones en el ambiente ha sido reportada por Fondeville y Borthwick (1966), Amador-Vargas et al. (2014), Gagliano et al. (2014), Gruntman et al. (2017), Guerra et al. (2019), entre otros. Estos experimentos aunados a los presentes resultados concuerdan con Gruntman et al.

(2017) quienes sugieren que las plantas son capaces de adquirir e integrar información sobre su ambiente para modificar adaptativamente sus respuestas plásticas.

La evaluación del proceso de aprendizaje se realizó mediante un procedimiento diseñado para animales, lo cual conlleva a problemas metodológicos como lo es la selección de estímulos a utilizar, sin embargo, resultó útil retomar principios básicos para la selección de este, por ejemplo, lo señalado por Goddard (1999), en cuanto a utilizar un evento intenso y distintivo como estímulo señalador en procedimientos de condicionamiento respondiente. Es por ello que, para el presente estudio, la selección del estímulo uno se realizó tomando en cuenta estas dos características y considerando también el nicho del organismo a estudiar; si bien *M. pudica* estuvo sujeta naturalmente a obscuridad debido a la transición normal entre el día y la noche, el presentar obscuridad durante un largo periodo (una hora) en un momento en el cual normalmente habría luz fue efectivo para que fuese distintivo para el organismo.

Las consecuencias de no atender este principio del condicionamiento respondiente se muestran en el trabajo de Abramson y Garrido (2002), quien realizó un experimento de aprendizaje asociativo en *Philodendrum cordatum* (Araceae) utilizando luz y obscuridad como estímulos asociativos, los cuales fueron presentados durante seis horas con alternaciones de un minuto entre cada estímulo, producto de esto esperaban que los cambios en la amplitud del potencial bioeléctrico de la planta ante luz y obscuridad se presentaran anticipatoriamente como consecuencia de un procedimiento de asociación de esos dos estímulos. Finalmente, no se detectaron respuestas anticipatorias en *P. cordatum* debido al procedimiento, concluyendo que los estímulos utilizados no fueron relevantes para la planta pues representaban una situación poco significativa para el organismo.

Esto sostiene la importancia del principio mencionado por Goddard (1999) para el estudio de procesos de asociación en el reino vegetal, señalando una vez más las similitudes entre reinos al estudiar procesos psicológicos básicos, pero también la necesidad de enfocarse en el organismo a investigar al elaborar una correcta planeación metodológica; además podría verse como la causa eficiente aristotélica, la cual se centra en el evocador de la conducta objetivo, es decir el estímulo uno. En el presente experimento, los estímulos y el procedimiento seleccionados fueron suficientes para obtener una respuesta sensible a la asociación de estímulos en *M. pudica*: Sin embargo, dado el poco conocimiento general en plantas al utilizar procedimientos diseñados por psicólogos para el estudio de animales, y las dificultades metodológicas que esto significa, se decidió terminar el experimento en diez sesiones, lo cual fue insuficiente para tener un panorama más amplio de la respuesta de *M. pudica*, así como una mejor explicación del descenso de la latencia mostrado en la última sesión. Aumentar el número de sesiones experimentales habría brindado mayor información para hacer mejores inferencias sobre el proceso detrás de este ajuste conductual.

Además de la utilización del procedimiento de condicionamiento, el presente estudio también se basó metodológicamente en experimentos realizados en el área de la ecología. Por ejemplo, el estudio de Cahil et al. (2013) quien realizó un corte a las hojas de *M. pudica* durante diez días para medir su capacidad de reapertura después de un daño mecánico, encontrando que el tiempo de reapertura se puede alargar hasta en un 62% más; una diferencia base con este experimento es que ahí se midió la respuesta después del daño y no a un estímulo precedente a éste. La metodología utilizada en el experimento de Cahil et al. (2013) mostró que diez sesiones podrían ser suficientes para obtener una respuesta óptima de esta especie, no obstante, en un experimento de

Gagliano et al. (2016) donde se utilizó un procedimiento de CC sólo bastaron tres días para obtener una respuesta condicional en la mayoría de las plantas de *Pisum sativum* utilizadas. Estos experimentos indican que el tiempo requerido para un experimento conductual en plantas depende del procedimiento y, probablemente, de la especie modelo seleccionada.

El presente estudio muestra que, en experimentos con este tipo de metodología y resultados, es propicio alargar el número de sesiones para tener una mejor imagen del patrón conductual estudiado. Además, será necesario agregar grupos control adicionales para poder asegurar que el estímulo seleccionado tiene el control de la conducta y no es un proceso de pseudo condicionamiento, es decir, un aumento de la respuesta ante un estímulo cuyas presentaciones se entremezclan con las presentaciones de otros sin que haya un establecimiento de una asociación E1-E2 (Domjan, 2010). El reconocer las carencias en la presente metodología y buscar las mejoras a la misma, no devalúa el trabajo realizado sino da pie a poder generar un mejor análisis desde la causa formal aristotélica; lo cual tendrá que ser desarrollado de manera conjunta con fisiólogos vegetales que permitan, tanto tener un mejor entendimiento de la causa material que sostiene los procesos a analizar, como las consideraciones biológicas que hay que tener al realizar investigaciones dentro del reino vegetal.

El realizar el análisis de la respuesta de *M. pudica* desde una perspectiva más ecológica permite una mejor aproximación a una respuesta a la pregunta: ¿si la apertura foliar de la planta después de la obscuridad provocaba un daño mecánico en una hoja, por qué la planta no alargó aún más su plegamiento foliar o lo mantuvo así indefinidamente? Esto no se debe a una limitada respuesta adaptativa de *M. pudica* sino a que, aunque el costo potencial de la reapertura es un mayor riesgo de depredación, al

mantener el plegamiento foliar la tasa fotosintética disminuye en un 40%, probablemente debido a la disminución de área foliar para recibir iluminación (Amador-Vargas et al., 2014), por lo tanto, existe una competencia entre la búsqueda de luz y el riesgo de depredación (Jansen et al., 2011). Esto podría explicar el tiempo limitado de plegamiento foliar y por qué evolutivamente la planta es sensible a la probabilidad del daño.

En cuanto a la variabilidad individual en el tiempo de ocultación (nictinastia) dentro de un mismo grupo, es posible que se deba a la disponibilidad de luz, la cual es una de las variables que define la condición energética de la planta (Reed-Guy et al., 2017), ya que hay estudios que comprueban que *M. pudica* tiene respuestas plásticas determinadas tanto por su estado interno (energía) como por el ambiente en el que se encuentre (Simon et al., 2016). Esto es un factor no medido en los resultados obtenidos ya que las condiciones naturales del ambiente cambiaron con las variaciones climáticas de cada día. El ambiente externo es un factor relevante al realizar experimentos conductuales en *M. pudica*, lo cual se pudo apreciar al realizar una prueba piloto del presente estudio en condiciones ambientales controladas (cámara de crecimiento), donde la estimulación natural a la planta por parte de factores abióticos se veía significativamente limitada. Al realizar la misma metodología presentada aquí no se observaron diferencias en el tiempo de reapertura foliar entre los cinco grupos además de que la respuesta general de la planta fue más lenta. Esto sugiere que el ambiente tiene una relación directa con la capacidad de respuesta de la planta, además esta prueba piloto puede verse como un control del presente experimento al comprobar que el daño físico no fue la variable para el aumento de latencia de reapertura foliar ni la respuesta diferencial entre grupos.

Finalmente, se logró una primera aproximación al estudio de procesos psicológicos básicos en el reino Plantae, en donde fue primordial enfocarse en cómo la respuesta del organismo cambia a partir de un procedimiento de condicionamiento, es decir un análisis funcional (Domjan, 2005). Fue fundamental para esta investigación adoptar una perspectiva ecológica donde se tomaran en cuenta los estímulos del ambiente no controlados, y la relación natural que había entre los estímulos controlados para seleccionar el procedimiento más conveniente y adecuarlo al modelo de estudio. Las características metodológicas mantienen esta investigación entre condicionamiento clásico y operante y en una intersección entre el aprendizaje asociativo y no asociativo. Es relevante enfatizar estas interacciones entre procedimientos y tipos de aprendizaje para visibilizar la dificultad de utilizar procedimientos y categorizaciones hechas para el reino Animal al estudiar procesos adaptativos en plantas desde la psicología; y por qué para poder clarificar estos puntos es necesario realizar nuevos experimentos con mayores controles para, desde la psicología experimental, realizar un análisis desde la causa formal generando modelos psicológicos explicativos de la conducta vegetal.

El que fuera posible inducir una respuesta óptima para el buen desarrollo de la planta por medio de un procedimiento de condicionamiento de estímulos, específicamente Condicionamiento Alpha, refuerza la teoría de que aprendizaje es un proceso general que se comparte análogamente entre los seres vivos que promueve la adaptación al ambiente gracias a la experiencia (Álvarez et al., 2017; Shelton y Martins 2017) y puede ser estudiado en organismos del reino Plantae desde la psicología, sin embargo, es importante recalcar que las interpretaciones de esta investigación deben ser analizadas como procesos análogos a los estudiados en animales pues se trata de un organismo diferente en cuanto a fisiología y necesidades de nicho.

Referencias

- Abramson, C. (1994). Classical Conditioning. En C. Abramson, *A Primer of Invertebrate Learning: The Behavioral Perspective* (pp. 121-147). American Psychological Association.
- Abramson, C., Garrido, D. (2002). Bioelectrical potentials of *Philodendron Cordatum*: A new method for investigation of behavior in plants. *Psychological Reports*, 91, 173-185.
- Abramson, C., Chicas-Mosier, A. (2016). Learning in Plants: Lessons from *Mimosa pudica*. *Frontiers in Psychology*. 7: 417, 7(417).
- Álvarez, B., Loy, I., Prados, J. (2017). Evolución y distribución del aprendizaje en el árbol filogenético. En J. N. Bernal-Gamboa, *Estudios Contemporáneos en Cognición Comparada*. (págs. 249-314). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Amador-Vargas, S., Dominguez, M., León, G., Maldonado, B., Murillo, J. y Vides, G. (2014). Leaf-folding response of a sensitive plant shows context-dependent behavioral plasticity. *Plant Ecol.* doi:10.1007/s11258-014-0401-4
- Biljsma, R., Loeschecke, V. (2005). Environmental stress, adaptation and evolution: an overview. *Evolutionary Biology*, 18, 744-749. doi:10.1111/j.1420-9101.2005.00962.x
- Brown, R. y Herrnstein, R. (1975). Motivation: Forced movement, instinct and imprinting. En R. H. Brown, *Psychology* (págs. 19-65). Methuen & Co LTD.

- Cahill, J., Tan Bao, J., Maloney, M. y Kolenosky, C. (2012). Mechanical leaf damage causes localized, but not systemic, changes in leaf movement behavior of the Sensitive Plant, *Mimosa pudica*. *NRC Research Press*, 91, 43-47.
doi:dx.doi.org./10.1139/cjb-2012-0131
- Calvo, P. y Baluska, F. (2015). Conditions for minimal intelligence across eukaryota: a cognitive science perspective. *Frontiers in Psychology*, 6.
doi:10.3389/fpsyg.2015.01329
- Carew, T. (1989). Developmental assembly of learning in Aplysia. *Trends in Neurosciences*, 12(10), 389-394.
- Chamovitz, D. (2018). Plants are intelligent; now what? *Nature Plants*, 4, 622-623.
- Cvrcková, F. y Zárský, V. (2016). Plant studies may lead us to rethink the concept of behavior. *Frontiers in Psychology*, 7. doi:10.3389/fpsyg.2016.00622
- Darwin, C. y Darwin, F., (1880). *The power of movement in plants*, John Murray, London.
- Domjan, M. (2005). Pavlovian Conditioning: A Functional perspective. *Annual Review of Psychology*, 56, 179-206.
- Domjan, M. (2010). Control aversivo: evitación y castigo. En M. Domjan, *Principios de aprendizaje y conducta* (págs. 333-375). CDMX: Cengage Learning.
- Fondeville, J. y Borthwick, H. (1966). Leaflet movement of *Mimosa pudica* L. indicative of photochrome action. *Planta*, 69, 357-364.

- Gagliano, M., Renton, M., Depczynski, M. y Mancuso, S. (2014). Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters. *Oecologia*, 175, 63-72.
- Gagliano, M., Vyazovskiy, V., Borbély, A., Grimonprez, M. y Depczynski, M. (2016). Learning by Association in Plants. *Scientific Reports*, 6, 38427.
- Garcia, J., Kimeldorf, D. y Koelling, R. (1955). Conditioned aversion to saccharin resulting from exposure to gamma radiation. *Science*, 122 (3160), 157-158.
- Gilroy, S. (2008). Plant tropisms. *Current Biology*, 18(7), 275-277.
doi:10.1016/j.cub.2008.02.033
- Goddard, M. (1999). The role of US signal in contingency, drug conditioning, and learned helplessness. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(3), 412-423
- Gruntman, M., GroB, D., Májekova, M. y Tielborger, K. (2017). Decision-making in plants under competition. *Nature communications*, 8. doi:10.1038/s41467-017-02147-2
- Guerra, S., Peressotti, A., Peressotti, F., Bulgheroni, M. y Baccinelli, W. (2019). Flexible control of movement in plants. *Scientific Reports*, 9. doi:10.1038/s41598-019-53118-0
- Healy, K. McNally, L., Ruxton, G. y Cooper, N. (2013). Metabolic rate and body size are linked with perception of temporal information. *Animal Behaviour*, 86(4), 685-696.
doi:10.1016/j.anbehav.2013.06.018

- Herron, J. y Freeman, S. (2014). Evolution by Natural Selection. En J. F. Herron, *Evolutionary Analysis* (págs. 73- 97). Washington: Pearson.
- Hillman, K. y Bilkey, D. (2010). Neurons in the Rat anterior cingulate cortex dynamically encode cost–benefit in a spatial decision-making task. *Journal of Neuroscience*, 30(22), 7705-7713. doi:10.1523/JNEUROSCI.1273-10.2010
- Hoddinott, J. (1977). Rates of translocation and photosynthesis in *Mimosa pudica*. *New Phytologist Trust*, 269-272.
- Jansen, E., Dill, L. y Cahil, J (2011). Applying Behavioral-Ecological Theory to Plant Defense: Light-Dependent Movement in *Mimosa pudica* Suggests a Trade-Off between Predation Risk and Energetic Reward. *The American Naturalist*, 377-381.
- Killeen, P. (2001). The Four Causes of Behavior. *Current directions in psychological sciences*, 10, 137- 140.
- Knoll, A. y Niklas, K. (1987). Adaptation, plant evolution, and the fossil record. *Palaeobotany and Palynology*, 50, 127-149.
- Lande, R. (2009). Adaptation to an extraordinary environment by evolution of phenotypic plasticity and genetic assimilation. *Evolutionary Biology*, 22, 1435-1446. doi:10.1111/j.1420-9101.2009.01754.x
- Moysett, L. y Simon, E. (2013). Movimientos de las plantas: tropismos y nastias. En J. T. Azcón-Bieto, *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (págs. 483-499). Barcelona: McGraw-Hill- Interamericana de España, S.L.

- Papini, M. y Bitterman, M. (1990). The role of contingency in classical conditioning. *Psychological Review*, 97(3), 396-403.
- Pavlov P. I. (2010). Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex. *Annals of neurosciences*, 17(3), 136–141.
<https://doi.org/10.5214/ans.0972-7531.1017309>
- Piñero, D. (1987). *De las bacterias al hombre: la evolución*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pinsker H, Hening, W., Carew, T. y Kandel, E. (1973). Long-term sensitization of a defensive withdrawal reflex in *Aplysia*. *Science*, 182, 1039-1042.
[doi:10.1126/science.182.4116.1039](https://doi.org/10.1126/science.182.4116.1039).
- Reed-Guy, S., Gehris, C., Shi, M. y Blumstein, D. (2017). Sensitive plant (*Mimosa pudica*) hiding time depends on individual and state. *PeerJ*, 5:e3598
<https://doi.org/10.7717/peerj.3598>
- Rescorla, R. y Wagner, A. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: The effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. En A. P. Black, *Classical Conditioning II: Current Theory and Research* (págs. 64-99). New York.: Appleton-Century-Crofts.
- Rescorla, R. (1988). Pavlovian Conditioning it´s not what you think it is. *American Psychologist*, 43(3), 151-160.
- Rochais, C., Henry, S., Nassur, F., Góracka-Bruzda, A. y Hausberger, M. (2014). Visual attention, an indicator of human-animal relationships? A study of domestic

- horses (*Equus caballus*). *Frontiers in Psychology*, 5, 108.
doi:10.3389/fpsyg.2014.00108
- Sánchez, J. M. (2017). *Estudio del género Mimosa L. (Leguminosae) en España*.
Recuperado el 17 de 10 de 2019, de arbolesornamentales:
<https://www.arbolesornamentales.es/Genero%20Mimosa.pdf>
- Scheres, B. y Van der Putten, W. (2017). The plant perceptron connects environment to development. *Nature*, 543, 337-345. doi:10.1038/nature22010
- Schreurs, B. y Alkon, D. (1990). US-US conditioning of the rabbit's nictitating membrane response: Emergence of a conditioned response without alpha conditioning. *Psychobiology*, 18(3), 312-320.
- Sevilem I., Muyashima, S. y Helariutta, Y. (2013). Cell-to-cell communication via plasmodesmata in vascular plants. *Cell Adh Migr*, 7(1), 27-32.
doi:10.4161/cam.22126
- Shelton, D. y Martins, E. (2017). Behavioral variation, adaptation and evolution. En J. Call (Ed.), *APA handbook of comparative psychology: Basic concepts, methods, neural substrate, and behavior, Vol. 1*. American Psychological Association.
doi:10.1037/0000011-011
- Simon, F., Hodson, C. y Roitberg, B. (2016). State dependence, personality, and plants: light-foraging decisions in *Mimosa pudica* (L.). *Ecology and Evolution*, 6 (17), 6301-6309. doi:10.1002/ece3.2340

- Theillier, M. y Luttge, U. (2013). Plant memory: a tentative model. *Plant Biology*, 15, 1-12. doi:10.1111/j.1438-8677.2012.00674.x
- Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of Ethology. *Ethology*, 20, 410- 433.
- Trewavas, A. (2014). Instinct, reflex, and conditioned behaviours: characteristics of plant behaviour? En A. Trewavas, *Plant behaviour & intelligence* (págs. 255-267). Oxford: Oxford, University press.
- Trewavas, A. (2016). Plant Intelligence: An Overview. *BioScience*, 66(7), 542-551. doi:10.1093/biosci/biw048
- Trewavas, A. (2017). The foundations of plant intelligence. *Interface Focus*, 7(20160098).
- Watson, J. y Rayner, R. (1920). Conditioned emotional reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 3(1), 1-14.