

EJE DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN
MONOGRAFÍA
EL MOVIMIENTO COMO ESTRATEGIA:
RELACIÓN BIOMECÁNICA ENTRE EL TIPO DE ESTÍMULO FÍSICO Y LA RESPUESTA
MECÁNICA DE LA *MIMOSA PÚDICA*.

VALENTINA BETANCUR TOBÓN

DIANA CONDE RAMÍREZ

ELISA ZAPATA CATAÑO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE ARQUIDISEÑO

DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2017

EL MOVIMIENTO COMO ESTRATEGIA:
RELACIÓN BIOMECÁNICA ENTRE EL TIPO DE ESTÍMULO FÍSICO Y LA RESPUESTA
MECÁNICA DE LA *MIMOSA PÚDICA*.

VALENTINA BETANCUR TOBÓN

DIANA CONDE RAMÍREZ

ELISA ZAPATA CATAÑO

Trabajo de grado para optar al título de Diseño Industrial

Asesor

ANDRÉS HERNANDO VALENCIA ESCOBAR

Título profesional del asesor

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE ARQUIDISEÑO

DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2017

El presente trabajo de investigación lo dedicamos a nuestros padres, a la Universidad Pontificia Bolivariana y en especial a los tutores quienes aportaron positivamente a lo largo del proceso de investigación y de nuestra formación académica.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a los tutores de investigación morfológica y en particular al profesor Andrés Valencia que sin cuya guía, paciencia y constante apoyo, no habría sido posible llevar a cabo este proyecto de investigación.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO
 - 1.1. TEMA GENERAL DEL PROYECTO
 - 1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TEMA DEL PROYECTO
 - 1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN IDENTIFICADO
 - 1.4. ELEMENTOS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN
2. JUSTIFICACIÓN
 - 2.1. VALIDEZ DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN EL CONTEXTO CIENTÍFICO DEL DISEÑO INDUSTRIAL.
 - 2.2. OPORTUNIDADES QUE REPRESENTA EL PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS.
3. OBJETIVOS
 - 3.1. OBJETIVO GENERAL
 - 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS
4. MARCO DE REFERENCIA
 - 4.1. ANTECEDENTES
 - 4.2. ESTADO DEL ARTE
 - 4.3. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PROBLEMA – MARCO TEÓRICO
5. METODOLOGÍA
 - 5.1. TRABAJO DE CAMPO
 - 5.1.1. Actividades para la obtención de la información
 - 5.1.2. Técnicas utilizadas para la obtención y recolección de información

5.2. MUESTRA

5.2.1. Individuos, objetos y/o situaciones estudiados

5.2.2. Descripción de los objetos de estudio

5.2.3. Justificación de la muestra seleccionada

5.3. REGISTRO

5.3.1. Instrumentos de registro de información

5.3.2. Manejo de los instrumentos

5.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESULTADOS

6.2. DISCUSIÓN

7. CONCLUSIONES

8. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE DATOS

9. ANEXOS

9.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y REGISTRO DE INFORMACIÓN.

9.2. INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

9.3. FOTOGRAFÍAS Y VIDEOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (Hoberman Designs, 2003). Esfera de Hoberman, sistema retractil

Figura 2. Ilustración de Sistemas arquitectónicos.

Figura 3. Fotografía de Mecanismos de apertura direccional.

Figura 4. Organización simétrica de los folíolos de las hojas.

Figura 5. Anatomía de las hojas.

Figura 6. Correia, N. (2012). Ilustración del movimiento y turgencia celular.

Figura 7. Análisis experimental.

Figura 8. Respuesta zona distal.

Figura 9. Respuesta zona intermedia.

Figura 10. Respuesta zona basal.

Figura 11. Porcentajes de respuesta mecánica.

GLOSARIO

Perennifolia: una planta o árbol que cambia sus hojas pero siempre tiene hojas verdes.

Bipinnadas: Tipo de hoja con un eje central en el que nacen varias hacia los lados.

Vacuolas: Células que contienen diferentes fluidos.

RESUMEN

La biomimética es el estudio de la naturaleza como fuente de inspiración para el diseño (Biomimicryberia, 2016). Se encontró que la planta *Mimosa Púdica* es una gran fuente de estudio desde este aspecto, ya que al recibir un estímulo externo reacciona cerrando sus hojas como un mecanismo de defensa, en este comportamiento se encuentra una fuente de diseño de artefactos para la protección personal. Con el fin de encontrar si existe relación en el tipo de estímulo táctil y las respuestas mecánica que tiene la planta al cerrarse sus folios, se inició una investigación bibliográfica para establecer si había antecedentes relacionados con el tema. Se procedió a identificar las variables necesarias para el proceso de experimentación para tener un resultado óptimo y conciso. A continuación se realizó el experimento en las plantas y con base en la información obtenida se ejecutó una matriz para el análisis claro y organizado de la información recolectada. Se encontró que la planta reacciona diferente según el estímulo y la zona estimulada, y se pudo inferir que el porcentaje de reacción de la planta es mayor en la zona que está más expuesta. Se concluyó que la planta al sentirse en peligro, se cierra para ahorrar energía y protegerse.

PALABRAS CLAVE: Biomimética, Biomimética vegetal, Mimosa Púdica, estímulo mecánico, respuesta mecánica, Tropismo.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza con base a un proyecto de investigación monográfico bajo un contexto de biomimética. Dicho trabajo se inició en el mes de Agosto del 2016, en la universidad Pontificia Bolivariana por un grupo conformado por tres estudiantes, con el acompañamiento de un docente de la universidad, teniendo como objetivo definir las variables que se deben tener en cuenta para la realización de la investigación y los pasos que se deben llevar a cabo para obtener resultados exitosos.

La biomecánica de las plantas es la disciplina que estudia el movimiento de las plantas en sus diferentes circunstancias, a partir de esto se inició el proyecto de investigación que tuvo como pregunta: ¿Cuál es la relación entre las características del estímulo táctil y la respuesta mecánica de las hojas de la *Mimosa púdica*? En este proyecto en específico se estudian las características del movimiento de las plantas tras las reacciones generadas por los diferentes estímulos táctiles enfocado en las hojas de la *Mimosa Púdica*. Se comenzó una investigación de los conceptos referentes al tema tratado, creando así un glosario de definiciones para conocer más del tema y poder desarrollar a fondo la investigación.

Se sabe que la respuesta mecánica de la *mimosa púdica* al recibir un estímulo externo se denomina tigmomastia (Braam, 2004). También que la temperatura y el nivel de luminosidad influyen en el comportamiento mecánico de la *mimosa púdica*. A mayor temperatura hay mayor velocidad de respuesta y a menor luminosidad hay menor velocidad de respuesta (Sánchez, 2012). En relación a los diferentes estímulos mecánicos que afectan a las plantas, hay 3 términos importantes: la tigmomorfogénesis, que son los diferentes estímulos mecánicos. El tigmotropismo que habla del movimiento y crecimiento de las plantas como respuesta al tacto y la tigmomastia que es el crecimiento inducido de las plantas por movimiento o tacto.

Con este proyecto se busca encontrar la relación que hay entre las características del estímulo táctil y la respuesta mecánica que tienen las hojas de la *Mimosa púdica*, con el objetivo de identificar ese movimiento como un referente potencial para el desarrollo de objetos que suplan una necesidad humana, como elementos de seguridad y/o de protección personal y comunitarios. Se buscaron diferentes estructuras con sistemas dinámicos que responden mecánicamente de manera similar a como lo hace la planta, utilizados en techos, juguetes de niños y mobiliario, con diferentes referentes, siempre buscando desplegar y contraer los elementos para una mejor función.

CAPITULO 1

1. PLANTEAMIENTO

1.1. TEMA GENERAL

Este proyecto se enmarca en la biomecánica vegetal como tema general definiéndose como la disciplina que estudia el movimiento de las plantas en sus diferentes circunstancias.

“Este campo de acción se ocupa de todo lo relacionado con la manera como el comportamiento biológico y físico de las plantas puede ser explicado a través de planteamientos propuestos por la ingeniería” (Valencia, 2017). En este proyecto en específico se estudian las características del movimiento de las plantas tras las reacciones generadas por los diferentes estímulos táctiles enfocado en las hojas de la *Mimosa Púdica*

1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

El proyecto de investigación está basado en una oportunidad o en un problema identificado en los comportamientos de la naturaleza, en el cual se pueda desarrollar un estudio de investigación primaria, secundaria y terciaria por medio de referencias publicadas del tema de interés, recopilar métodos de investigación que se pueden llevar a cabo y desarrollar un estudio de campo con el fin de observar, recoger información y analizar las razones de los diferentes comportamientos de la planta, desarrollando una matriz con unas variables de entrada que determinaban los parámetros del estímulo a las plantas y una variables de salida que determinaba la descripción de las respuestas antes esos estímulos, facilitando así la recolección de la información obtenida, y el fácil análisis de ella que podrían ser tomados como referentes para la aplicación de nuevos diseños de productos o estrategias.

1.3 PROBLEMA IDENTIFICADO

Se observó que la planta *Mimosa Púdica* más conocida como la “dormilona”, siempre reacciona después de recibir un estímulo táctil generando un movimiento en sus hojas el

cual variaba según el estímulo que se le aplicaba, causando curiosidad en la causante de este fenómeno.

PREGUNTA

¿Cuál es la relación entre las características del estímulo táctil y la respuesta mecánica de las hojas de la *Mimosa púdica*?

1.4 ELEMENTOS DEL PROBLEMA

- Planta *Mimosa púdica*
- Estímulo táctil
- Transformación morfológica de la *Mimosa púdica*
- Tipos de movimientos en plantas

2. JUSTIFICACIÓN

2.1 VALIDEZ DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN EL CONTEXTO CIENTÍFICO DEL DISEÑO INDUSTRIAL

El comportamiento ante los estímulos de la planta representa una oportunidad de trabajo científico ya que las respuestas que presentan sus hojas varían en sus movimientos cuando es sometida a diferentes estímulos táctiles. Las hojas de la *Mimosa pudica* se pliegan al momento de recibir un estímulo táctil. Al momento de observar este comportamiento en las plantas se detectó que las respuestas a los estímulos cambian con respecto a la velocidad de cierre de sus hojas, o al contraerse tan solo una parte de ellas.

No se encontró ninguna referencia puntual en torno al porqué de estas reacciones mecánicas de las plantas, el cual es identificado como carencia de conocimiento frente al tema que se quiere trabajar.

2.2 OPORTUNIDADES QUE REPRESENTA EL PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

Se toma la biomimética, como método y herramienta para hacer investigación biológica descriptiva y relacional, analizarla y tomarla como referente para la posible aplicación de nuevos productos, identificando nuevas morfologías, materiales y funciones técnicas-mecánicas, con el fin de resolver problemas cotidianos de forma innovadora.

Se hace necesario profundizar en la información que hay, ya que con la existente no es posible desarrollar un proyecto que aproveche la información que da la reacción de la *Mimosa pudica* ante los estímulos táctiles como referente para poder crear objetos que suplan una necesidad humana, como elementos de seguridad y/o de protección personal y comunitarios

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar la relación que existe entre las características del estímulo táctil y la respuesta mecánica de las hojas de la *Mimosa pudica*

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir las características asociadas a un estímulo táctil.
2. Establecer los rangos de aplicación de cada característica del estímulo táctil.
3. Estimular la hoja de la *Mimosa pudica* con cada una de las características definidas caracterizando la respuesta mecánica.
4. Sistematizar la información recolectada.
5. Relacionar la respuesta mecánica y las características del estímulo táctil.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ANTECEDENTES

Se encontraron algunos antecedentes del tema de interés que ayudan a ampliar el conocimiento para la investigación, aunque no es exactamente lo que se busca, existen varios tipos de investigación con la *Mimosa Púdica*.

Se realizó una investigación acerca de cómo las plantas de la *Mimosa púdica* responden mecánicamente ante un estímulo, en donde explica este comportamiento que es llamado "thighmonastic" es mecánicamente similar a los movimientos rítmicos de otras especies como *Samanea saman*.¹ (Braam J, 2004). También se encontró un estudio realizado en el Parque Nacional Palo Verde, cantón Bagaces, Costa Rica, con el fin de conocer si las variaciones de temperaturas e iluminación influyen en el comportamiento de *Mimosa púdica*, en donde se examinaron 175 especímenes a diferentes niveles de temperaturas a lo largo del día.² (Quintana, 2012)

Gracias a una investigación realizada por Artsem, se definen tres importantes términos; el primero es la tigmomorfogénesis, el cual habla de los diferentes estímulos mecánicos que afectan a las plantas. El tigmotropismo habla del movimiento y crecimiento de las plantas en respuesta al tacto y por último la tigmonastia se refiere al crecimiento inducido por movimiento o tacto.³ (Cheprasov, 2015). Al igual que el estudio realizado por Hugo Hoffmann donde explica el cierre de las hojas de la *Mimosa púdica* demostrando que ante un mismo estímulo táctil la planta parece reaccionar de diferentes maneras.

Complejo mecanismo celular de reposta vegetal a estímulos externos, Hugo Hoffmann Biología Teísta.⁴ (Hoffmann, 2013)

4.2 ESTADO DEL ARTE

Se encontraron diferentes estructuras que se pueden asociar con el mecanismo de movimiento de la *Mimosa púdica*, utilizadas en techos, juguetes de niños y mobiliario, con diferentes referentes, siempre buscando desplegar y contraer los elementos para una mejor función. Como se puede apreciar en la figura 1 donde se muestra un ejemplo de un sistema dinámico aplicado a la esfera de Hoberman.

En la figura 2 se muestra un sistema arquitectónico que consiste en una plataforma semicircular que se despliega horizontalmente gracias a unas barras estructurales de enlace y plegado formando un escenario en media esfera y en la figura 3 se muestra un sistema portable de rápido accionamiento, que sirve para sentarse.

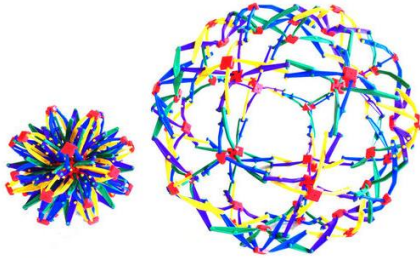


Figura 1. Esfera de Hoberman, sistema retractil. (Hoberman Designs, 2003)

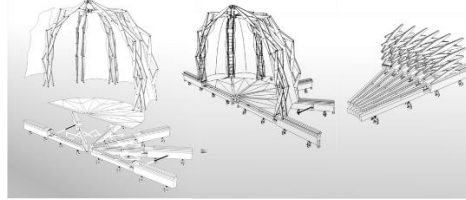


Figura 2. Ilustración de Sistemas arquitectónicos. (Torres, Natalia, 2013)



Figura 3. Fotografía de Sistemas portables de rápido accionamiento. (Tabouret, 2006)

4.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PROBLEMA

4.3.1 *Mimosa púdica*

La planta *Mimosa Púdica*, más conocida como Mimosa sensitiva, vergonzosa, moriviví, adormidera, Planta de la vergüenza y dormilona. Es una planta herbácea de unos 50 cm de altura que no pierde sus hojas debido a las estaciones, y no suele vivir más de 5 años. Esta planta tiene la particularidad de plegar las hojas cuando se somete a un estímulo táctil; esto se debe a un mecanismo de defensa de la planta para parecer que está marchita y para evitar la evaporación de agua (Bologna, 2011). Estas hojas móviles están organizadas simétricamente de un lado a otro desde el tallo central, pareciéndose a los helechos como se ve en la figura 4.



Figura 4. Organización simétrica de los folíolos en las hojas.

La planta tiene un eje primario, constituido por un pecíolo (que une el tallo con la hoja) y un raquis foliar (la columna vertebral de las plantas). A partir de este eje primario, parten varios pares de ejes secundarios (llamados raquis de las pinnas) que sostienen los folíolos. Cada una de estas divisiones (pecíolo, raquis de las pinnas y folíolos) presenta en su base un tejido engrosado y de color oscuro llamado pulvínulo (base en las hojas que puede engrosarse o contraerse para generar movimientos) como se muestra en la Figura 5, en la Figura 6 representa la respuesta mecánica de la planta al recibir un estímulo, mostrando las células de la planta al perder turgencia.

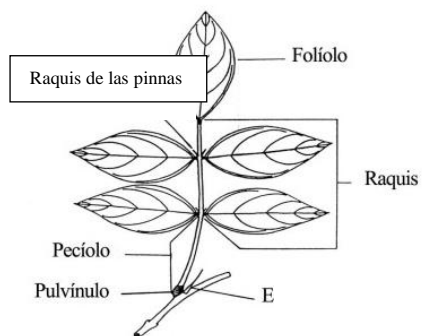


Figura 5. Anatomía de las hojas. (¡Error! Marcador no definido.)

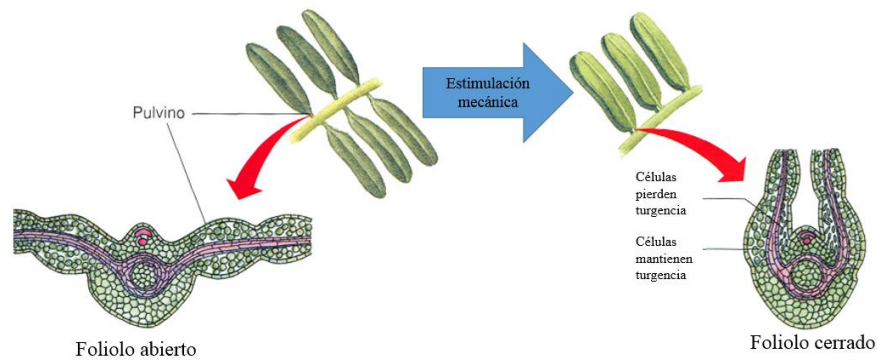


Figura 6. Ilustración del movimiento y turgescencia celular de los folíolos. (Correia, Nuno. 2012). Figura adaptada de la original.

Los cierres de la hoja se deben a la pérdida de agua de las células las cuales están ubicadas en la base del pecíolo de cada hoja y hace que la frecuencia de estos movimientos aumenta proporcionalmente con la intensidad del estímulo.

(Quintana, 2012). El movimiento de la *Mimosa púdica* varía según la temperatura con una mayor velocidad de respuesta a temperaturas entre 34-35° centígrados y una menor velocidad de respuesta a temperaturas de 26-33° centígrados, a mayor temperatura, mayor velocidad en la reacción ante el contacto de sus hojas, también se relaciona con la luminosidad del día para descubrir sus folíolos y cerrarlos por la noche, pero es seguro que esta luminosidad no controla la velocidad de reacción.

4.3.2 Tipos de movimientos en las plantas

Muchos movimientos de vegetales son inducidos por variados estímulos ambientales: entre ellos uno fundamental es la luz, condicionante absoluto del normal desarrollo de la planta. Existen, sin embargo, movimientos autónomos que están bajo el control de señales internas, aun cuando pueden ser modificados por estímulos externos. Tal es el caso de los movimientos rítmicos y de la circumnutación o movimiento elíptico que describen los ápices de tallos y zarcillos al crecer.

Las respuestas de movimiento pueden afectar a órganos de la planta (hojas, brotes, raíces, etc) que, desplazándose cambian su orientación en el espacio, o producirse a nivel celular.

Atendiendo a su mecanismo fisiológico, tradicionalmente se distinguen dos tipos de movimiento:

Los que implican crecimiento del órgano, corresponden:

- Tropismos
- Circumnutación

Los que no implican crecimiento alguno, corresponde a:

- Nastias y fenómenos asociados.

4.3.3 Biomimética

La Biomimética se basa en el estudio de los modelos, sistemas, procesos y elementos naturales con el propósito de imitarlos y así encontrar soluciones prácticas a necesidades humanas, con la condición de que estas sean sustentables. La biomimética generalmente lleva a cabo un proceso que sigue unos pasos establecidos para la realización del estudio.

Primero se debe identificar las características a estudiar en la naturaleza. Luego se interpreta trasladando las funciones de la naturaleza al diseño. Se descubren los mejores modelos que se adapten a la necesidad a suplir. Se encuentran los procesos y patrones con los que la naturaleza logra las características antes encontradas. Y por último se desarrollan ideas y soluciones basadas en estas características (Eddie Nahúm Armendáriz Míreles, ingeniería Bioinspirada, 2014). Uno de los grandes campos de estudio en la Biomimética son las plantas.

4.3.4 Estímulo

En cuanto al estímulo táctil se define como el contacto físico que se da entre dos cuerpos y posterior se da una respuesta, este estímulo implica unas variables como la velocidad, la fuerza, área de contacto, el ángulo, entre otros, que hacen que varíen esas respuestas. Estímulo encuentra su raíz en el vocablo en latín *stimulus*, uno de cuyos curiosos significados es aguijón. Esta palabra describe al factor químico, físico o mecánico que consigue generar en un organismo una reacción funcional, algunas veces transformando su morfología (Gardey, 2008).

4.3.5 Morfología

Es la disciplina que se ocupa del estudio de la forma y la estructura de un organismo o sistema, así como también de las transformaciones que los seres orgánicos van sufriendo como consecuencia del paso del tiempo, aspectos relacionados a sus funciones, evolución y cómo se relaciona con el medio o entorno, sirviendo para el mundo del diseño como toma de referentes de estos fenómenos para la elaboración de nuevos sistemas buscando soluciones diarias de los seres vivos.

5. METODOLOGÍA

5.1. TRABAJO DE CAMPO

5.1.1. Actividades para la obtención de la información

La metodología inició con la definición de las variables de entrada a trabajar (tabla1): Zona de estímulo de la planta, la cual podía ser basal, intermedia o distal. Objeto de estímulo, gota o aguja. Las variables de salida (tabla 1): tipo de cierre, total o parcial. Y el orden de cierre, secuencial, aleatoria, deflactada o estática, como se muestra en la tabla 1. Luego se desarrolló una matriz para realizar las posibles combinaciones de las variables como se muestra en la tabla 2, y se procedió a Estimular la hoja de la *Mimosa pudica* con cada una de las características definidas caracterizando la respuesta mecánica. En total se realizaron 18 experimentos en cada planta, este procedimiento se registró en video

5.1.2. Técnicas utilizadas para la obtención y recolección de información

La siguiente tabla muestra las variables de entrada que se tomaron en cuenta para la investigación:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	RANGOS
OBJETO DEL ESTÍMULO	Hacer que un cuerpo que esté en reposo reaccione deformándose y cambiando su estado.	Cuantitativa	Gota de agua Aguja delgada	2 objetos
ZONA DE ESTÍMULO	Área específica a lo largo de la planta en donde se ejerció el contacto.	Cualitativa	Zona basal y distal de la rama en las cuales terminan en un solo foliolo y centro de la rama	2 plantas
VELOCIDAD DE APLICACIÓN	Distancia recorrida por un objeto en la unidad de tiempo.	Cuantitativa	cm	1 distancia

Tabla 1. Variables de entrada.

La siguiente tabla muestra las variables de salida que se definieron para la investigación:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	TIPO	U. DE MEDIDA
TIPO DE CIERRE - ORDEN DE CIERRE	Forma en la que se cerraron los folios de la planta al ser estimulada	CUALITATIVA	TOTAL
			PARCIAL
		CUALITATIVA	SECUENCIAL
			ALEATORIA
TIEMPO DE CIERRE	Medición al movimiento del cierre de los foliolos de la planta después de ser estimulada.	CUANTITATIVA	Segundos

Tabla 2. Variables de salida.

5.2. MUESTRA

5.2.1. Individuos, objetos y situaciones estudiadas

El experimento se realizó en Amagá, en una zona abierta de la naturaleza. Se eligieron dos plantas *Mimosa Púdica*, una cerca a la otra para que no variara mucho de situación cada una, en las cuales se repitió tres veces cada una de las combinaciones del estudio.

5.2.2. Descripción de los objetos de estudio

Se realizó el estímulo táctil a dos plantas diferentes (planta 1 y planta 2) con cada uno de los objetos que fueron una aguja delgada punta fina y una gota de agua a una distancia determinada., el ejercicio se realizó tres veces en cada una de ellas, para un total de 18 combinaciones en cada una de las plantas. La información fue recolectada con videos y tofos las cuales se organización en la matriz de combinaciones.

5.2.3. Justificación de la muestra seleccionada

Los objetos de estudio fueron seleccionados según los estímulos que puede recibir la planta en la naturaleza y que genera su cierre o reacción mecánica, la gota de agua simulando los agentes que pueden caer sobre la planta en caída libre a una distancia determinada, y el contacto con la aguja simulando los agentes que se paran sobre la planta con una fuerza o peso determinado. En este caso el contacto con la aguja fue ejercido manualmente por la misma persona y la gota de agua se dejó caer a la misma distancia en todas las pruebas.

5.3. REGISTRO

5.3.1. Instrumentos de registro de información

Se diseñó una tabla para el registro de la información obtenida en el estudio, la cual ayuda a organizar y evidenciar las respuestas de las plantas 1 y 2 con los objetos de estímulo táctil. En donde P1 es planta 1, P2 es planta 2, B zona basal, I zona intermedia, D zona distal, A aguja y G gota.

En la siguiente tabla se muestra la matriz de combinaciones utilizada para el registro de la experimentación con cada una de las plantas:

Tabla 3. Tabla de registro de información

AGUJA			GOTA			AGUJA			GOTA		
BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL
P1AB1	P1AI1	P1AD1	P1GB1	P1GI1	P1GD1	P2AB1	P2AI1	P2AD1	P2GB1	P2GI1	P2GD1
P1AB2	P1AI2	P1AD2	P1GB2	P1GI2	P1GD2	P2AB2	P2AI2	P2AD2	P2GB2	P2GI2	P2GD2
P1AB3	P1AI3	P1AD3	P1GB3	P1GI3	P1GD3	P2AB3	P2AI3	P2AD3	P2GB3	P2GI3	P2GD3
PLANTA 1						PLANTA 2					

5.3.2. Manejo de los instrumentos

En cada una de las combinaciones realizadas se realizó un video que permitió la descripción de la respuesta. Se describió en cada cuadro específico de manera escrita y gráfica, las respuestas obtenidas.

5.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para las variables de salida se definieron unas gráficas que ayudan a describir la respuesta de la planta en las variables de salida: cierre total o parcial de los folios, reacción de algunos o todos los folios y si la hoja de la planta se deflecta o permanece estática

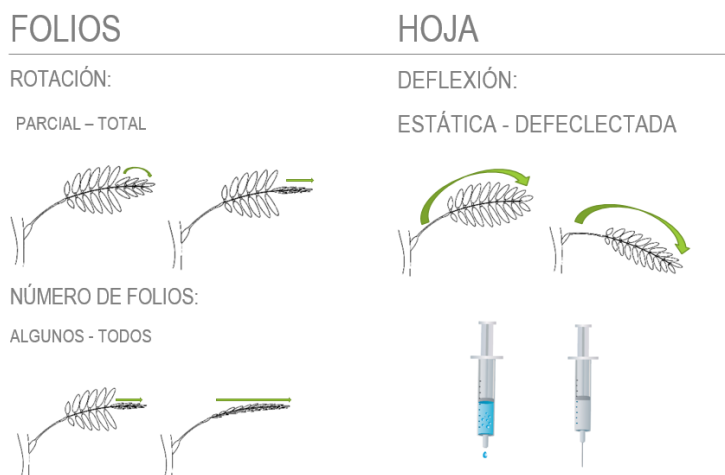


Figura 7. Análisis experimental.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESULTADOS

En la siguiente tabla se encuentran los resultados del estudio en la planta 1 de forma escrita en cada una de las combinaciones.

AGUJA			GOTA		
BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL
P1AB1	P1AI1	P1AD1	P1GB1	P1GI1	P1GD1
Rotación parcial de folios	Todos los folios se mueven sin cerrar por completo la hoja, y el tallo se baja un poco.	Aproximadamente los folios del medio hasta la zona distal se cierran por completo inmediatamente.	Se cierran solamente los últimos 2 folios de la hoja.	Se cierran inmediatamente todo los folios atrapando la gota de agua sin dejarla caer. Los folios de los extremos no se cierran.	Inmediatamente cae la gota todos los folios se cierran excepto los últimos dos folios de la zona basal.

P1AB2	P1AI2	P1AD2	P1GB2	P1GI2	P1GD2
Inmediatamente se cierran algunos de los folios de la parte superior de la hoja en desorden.	Muy pocos folios reaccionan de manera aleatoria y pasivamente al contacto.	Los folios de la zona distal se cierran del todo rápidamente.	Se cierran solamente los últimos 2 folios de la hoja.	Se cierran los folios de la derecha en la zona intermedia.	Se cierran solamente los últimos 4 folios de la hoja, y los otros se mueven tan solo un poco
P1AB3	P1AI3	P1AD3	P1GB3	P1GI3	P1GD3
Se duerme toda la rama de la planta bajándose rápidamente pero sin reaccionar los folios de las hojas.	Se cierran lentamente todos los folios de la parte superior de la hoja al mismo tiempo.	Los folios del medio hasta la zona distal se cierran por completo rápidamente.	Se cierran solamente los últimos 2 folios de la hoja.	Algunos folios se cierran del todo mientras otros no, esto se da aleatoriamente.	Inmediatamente cae la gota todos los folios se cierran por competo y la rama se baja un poco.
PLANTA 1					

Tabla 4. Resultados del estudio en la planta 1.

En la siguiente tabla se encuentran los resultados del estudio en la planta 2 de forma escrita en cada una de las combinaciones.

AGUJA			GOTA		
BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL
P2AB1	P2AI1	P2AD1	P2GB1	P2GI1	P2GD1
La planta no respondió a ninguna reacción	Se bajó un poco el lado derecho, cerrando solo 1 folio de este mismo lado	Primero reaccionan los dos últimos folios y luego reaccionan los folios hasta la mitad en forma simultanea	Reaccionan 2 folios en la misma zona del lado derecho	Reaccionan los folios de la mitad primero y luego reaccionan para arriba	La planta no respondió a ninguna reacción
P2AB2	P2AI2	P2AD2	P2GB2	P2GI2	P2GD2
La planta no respondió a ninguna reacción	Solo reacciona los folios intermedios en cada lado	Reaccionan los 2 últimos folios	Reaccionaron 3 folios de cada lado	Reaccionaron los folios desde el centro hasta la zona distal simultáneamente	Todos los folios se cerraron simultáneamente hasta el final
P2AB3	P2AI3	P2AD3	P2GB3	P2GI3	P2GD3
La planta no respondió a ninguna reacción	Solo reacciona los folios intermedios en cada lado	Cerraron los 2 últimos folios y algunos de la zona intermedia en ambos lados pero no los mismos folios	Reaccionaron 2 folios en un solo lado	Cerraron todos los folios del centro en ambos lados atrapando la gota	Algunos folios reaccionaron pero hacia abajo
PLANTA 2					

Tabla 5. Resultados del estudio en la planta 2.

La siguiente imagen muestra la descripción iconográfica de los resultados de la planta 1.

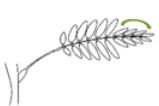
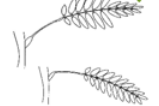
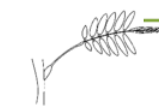



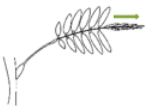
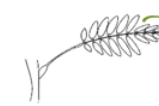
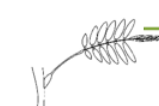



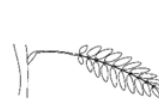
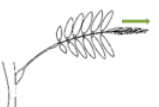
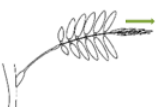



AGUJA			GOTA		
BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL
 P1AB1	 P1AI1	 P1AD1	 P1GB1	 P1GI1	 P1GD1
 P1AB2	 P1AI2	 P1AD2	 P1GB2	 P1GI2	 P1GD2
 P1AB3	 P1AI3	 P1AD3	 P1GB3	 P1GI3	 P1GD3
PLANTA 1					

Tabla 6. Resultados descripción gráfica planta 1.

La siguiente imagen muestra la descripción iconográfica de los resultados de la planta 2.

AGUJA			GOTA		
BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL

PLANTA 2

Tabla 6. Resultados descripción gráfica planta 2.

6.2. DISCUSIÓN

Para cada una de las partes de la planta (Distal, intermedia, basal) se concluyó la característica general que se observó en el estudio realizado.

Al estimular la planta en la zona **distal** con la aguja se observó que al aplicarle la fuerza verticalmente los folios se cierran secuencialmente pero hasta un punto intermedio. Al estimular la planta con la gota sobre el tallo, los folios se cierran completamente al mismo tiempo. Pero al caer la gota sobre los últimos folios se cierran completamente de forma secuencial.

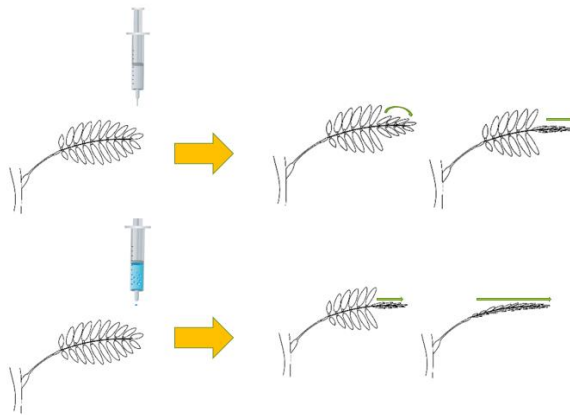


Figura 8. Representación iconográfica del análisis de las respuestas de la planta en la zona distal con cada uno de los objetos de estímulo.

Al estimular la planta en la zona **intermedia** con la aguja se evidencio que el tallo se deflecta cerrando los folios del medio. Al estimular la planta con la gota los folios del centro se cierran inmediatamente manteniendo la gota de agua atrapada.

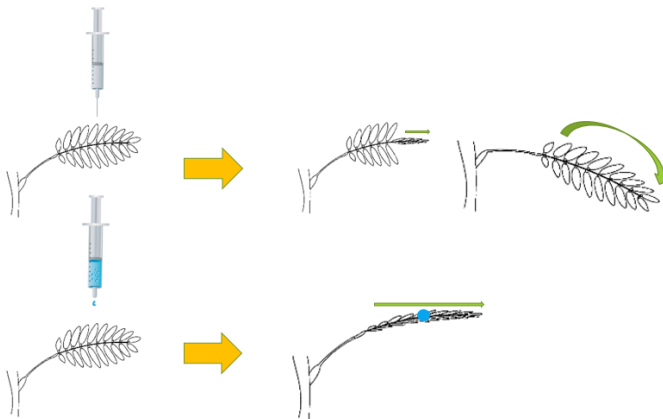


Figura 9. Representación iconográfica del análisis de las respuestas de la planta en la zona intermedia con cada uno de los objetos de estímulo.

Al estimular la planta en la zona **basal** con la aguja se evidencio que por lo general los folios no siempre reaccionan, al aplicarse un empuje vertical en esta zona la planta responde deflectándose completamente sin mover ningún folio. Al estimular la planta con la gota los últimos folios se cierran secuencialmente.

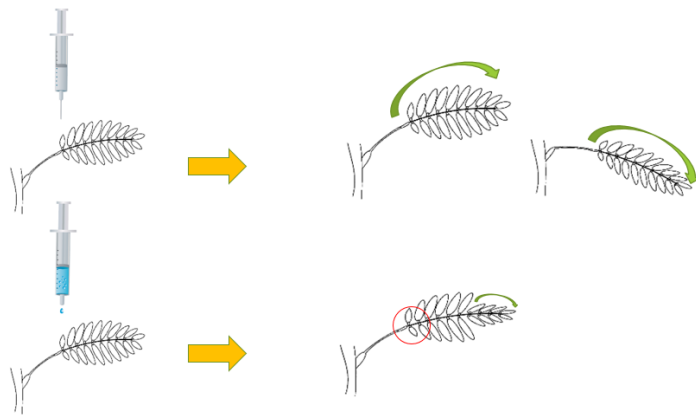


Figura 10. Representación iconográfica del análisis de las respuestas de la planta en la zona basal con cada uno de los objetos de estímulo.

- En la zona distal de la planta, el 83,3% respondió al estímulo táctil aplicado.
- En la zona intermedia de la planta, el 91% respondió al estímulo táctil aplicado.
- En la zona basal de la planta, el 33.3% respondió al estímulo táctil aplicado.

VALORES DE LA RESPUESTA MECÁNICA

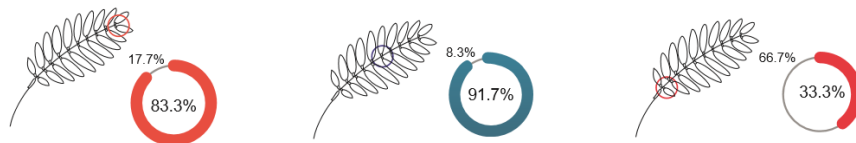


Figura 11.

De lo anterior se puede definir que la planta al ser estimulada en las 3 zonas presenta respuestas diferentes, además se puede inferir que un comportamiento diferencial como el observado está relacionado con un ahorro energético para la planta, ya que dependiendo del tipo de estímulo, pareciera no ser todos igual de complejos o peligrosos para ella y por lo tanto su mecanismo de respuesta depende de ellos, esto pudiera deberse a que las zonas más expuestas de las plantas tienen un mecanismo de respuesta más rápido frente a un estímulo externo.

7. CONCLUSIONES

1. La relación que hay entre la respuesta mecánica y los estímulos táctiles varía en el cierre de las hojas de la *mimosa púdica*, dependiendo del lugar de la planta que es estimulada (basal, intermedia, distal) y en su reacción (cerrarse algunos folíolos o deflectarse).
2. Es más probable que la planta reaccione frente a un estímulo táctil en la zona intermedia y la zona distal, ya que se encontró que en el 91% de los experimentos en la zona intermedia y en el 83% de los experimentos en la zona distal, la planta reacciono frente al estímulo aplicado.
3. Con lo encontrado en la investigación se concluye que si es posible tomar como referencia la respuesta mecánica frente a un estímulo táctil de las hojas de la *mimosa púdica*, para el desarrollo de nuevos productos como elementos de protección para motocicletas.

RECOMENDACIONES

Es importante dejar por sentado que cualquier persona u organización que desee continuar este proyecto con la Universidad Pontificia Bolivariana o comenzar uno con otra comunidad debe tener en cuenta lo siguiente:

- Se puede profundizar en la investigación con la propuesta de otras variables de entrada y salida, al igual que el uso de otros elementos para la estimulación en las hojas de las plantas.
- En este trabajo no se tomaron en cuenta las condiciones ambientales del espacio en el que se realizó la investigación.
- El análisis y las conclusiones que resultaron en el proyecto fueron diferidas por el equipo de trabajo según lo observado, no quiere decir que sea la última palabra.
- Sería interesante, como proyecto de práctica profesional y trabajo de grado para algún estudiante, proponer la creación de nuevos artefactos que tome como referente el funcionamiento de las hojas de las plantas *Mimosa Púdica*, según lo encontrado en el presente trabajo de investigación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Biomimicryberia*. (2016). Obtenido de Biomimicryberia:
<https://biomimicryberia.com/biomimetica/>
- Blogger*. (8 de 09 de 2013). Obtenido de O complejo mecanismo celular de respuesta vegetal a estímulos externos: <http://biologiateista.blogspot.com/2013/09/o-complejo-mecanismo-celular-de.html>
- Bolonia, C. (2011). *la reserva*. Obtenido de la reserva:
http://www.lareserva.com/home/planta_mimosa_pudica
- Braam, J. (13 de 09 de 2004). *Wiley Online Library*. Recuperado el 18 de 08 de 2004, de "In touch: plant responses to mechanical stimuli":
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2004.01263.x/pdf>
- Cheprasov, A. (2015). *study.com*. Obtenido de study.com:
<http://study.com/academy/lesson/plant-responses-to-mechanical-stimuli.html>
- Eddie Nahúm Armendáriz Míreles, P. C. (2014). *ingeniería Bioinspirada*. México: Omniasciene.
- Eddie Nahúm Armendáriz Míreles, P. C. (s.f.). *google books*. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=AL4ZBQAAQBAJ&pg=PA18&lpg=PA18&dq=IDENTIFICAR+Desarrollar+y+perfeccionar+dise%C3%B1os+basados+en+las+lecciones+aprendidas+de+la+evaluaci%C3%B3n+de+los+principios+de+la+vida.+La+naturaleza+trabaja+con+peque%C3%B1os+banco>
- española, R. a. (s.f.). *RAE*. Obtenido de RAE: <http://dle.rae.es/?id=Pp2aAEL>
- Torres, Natalia (2013) *Experimental*. (s.f.). Obtenido de Sistemas arquitectónicos : <https://smia-experimental.com/2013/04/23/deployable-stage-proposal-of-an-application-with-mobile-structures-2/>
- Gardey, J. P. (2008). *definición*. Obtenido de definición: <https://definicion.de/estimulo/>
- Hoberman. (s.f.). Obtenido de <https://cdn.instructables.com/FBT6RZO/J1MEQX43/FBT6RZOJ1MEQX43.MEDIUM.jpg>
- Michael. (s.f.). Obtenido de Sistemas interconectadas:
<http://www.michaelkipfer.com/deployable-structures>

Morales, M. (s.f.). *Economía y viveros*. Obtenido de Economía y viveros:
http://www.economiayviveros.com.ar/abril2011/produccion_cultivo-plantas_ornamentales_y_flores_de_corte_1.html

Sánchez, L. E. (2012). *Monografías.com*. Obtenido de Influencia de la temperatura sobre Mimosa pudica: <http://www.monografias.com/trabajos94/influencia-temperatura-mimosa-pudica/influencia-temperatura-mimosa-pudica.shtml>

Study. (8 de 9 de 2015). Obtenido de Plant Responses to Mechanical Stimuli:
<http://study.com/academy/lesson/plant-responses-to-mechanical-stimuli.html>

Esfera de Hoberman. <http://www.instructables.com/id/Hoberman-Sphere/>

Tabouret. (2006) Sistema portable. <http://www.patrickjouin.com/fr/projets/patrick-jouin-id/1326-oneshot.html>

HYPERLINK "<http://www.si.edu/>" \t "si_edu" Smithsonian Institution, Anatomía de las hojas. <http://biogeodb.stri.si.edu/bioinformatics/sarigua/page/glosario>

Correia, Nuno. (2012) Movimiento y turgescencia celular de los folíolos.
<http://cienciasdavidaedaterra25.blogspot.com.co/2012/04/movimento-e-turgescencia-celular.html>

9. ANEXOS

9.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y REGISTRO DE INFORMACIÓN

Tabla de registro de información

AGUJA			GOTA			AGUJA			GOTA		
BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL	BASAL	INTERMEDIO	DISTAL
P1AB1	P1AI1	P1AD1	P1GB1	P1GI1	P1GD1	P2AB1	P2AI1	P2AD1	P2GB1	P2GI1	P2GD1
P1AB2	P1AI2	P1AD2	P1GB2	P1GI2	P1GD2	P2AB2	P2AI2	P2AD2	P2GB2	P2GI2	P2GD2
P1AB3	P1AI3	P1AD3	P1GB3	P1GI3	P1GD3	P2AB3	P2AI3	P2AD3	P2GB3	P2GI3	P2GD3
PLANTA 1						PLANTA 2					

9.2. INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Iconografía del análisis experimental.

FOLIOS

ROTACIÓN:

PARCIAL - TOTAL



NÚMERO DE FOLIOS:

ALGUNOS - TODOS



HOJA

DEFLEXIÓN:

ESTÁTICA - DEFLECTADA



9.3. FOTOGRAFÍAS Y VIDEOS

Videos del proceso de experimentación en el siguiente link.

<https://www.dropbox.com/sh/gvi6586t3qngmly/AAATs7LtcFUaJHGgmXfUC9TNa?dl=0>

