



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN DESARROLLO REGIONAL Y TECNOLÓGICO

TESIS

“ELECTROFISIOLOGÍA DEL *Agave angustifolia* Haw, ANTE LA RESPUESTA A RELACIONES HÍDRICAS”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestra en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico

PRESENTA

Q.F.B. Binizza Maeli Zárate Saguilán.

DIRIGIDA POR

Dr. Marco Antonio Sánchez Medina.

CO-DIRECTORA

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago.

ASESORES

Dr. Iván Antonio García Montalvo.

Dr. Luis Humberto Robledo Taboada.

Oaxaca de Juárez, Oaxaca, noviembre de 2023.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Oaxaca
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Maestría en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico

Oaxaca de Juárez, Oax., **28/agosto/2023**

Oficio No. DEPI-757/2023

Asunto: Autorización de impresión de tesis.

ING. HUITZILÍ DÍAZ JAIMES

JEFA DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES.

P R E S E N T E

Por este medio comunico a usted, que de acuerdo con las disposiciones establecidas en los Lineamientos para la operación de estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, la estudiante **Binizza Maeli Zárate Saguilán** con número de control M21161691, ha cumplido con todas las recomendaciones que el Comité Revisor hizo respecto a su tesis cuyo título es "Electrofisiología del Agave angustifolia Haw ante la respuesta a relaciones hídricas", para obtener el Grado de Maestra en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico.

Por lo anterior, la División a mi cargo le concede la autorización para que proceda el trámite correspondiente y la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Tecnología Propia e Independencia Económica"

DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

MASM/FFA/*cmh



Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030.
Tel. (951) 5015016 e-mail: correo@tecnm.mx | www.oaxaca.tecnm.mx



2023
FRANCISCO
VILA



Oaxaca de Juárez, Oax., 28/agosto/2023

Oficio No. DEPI-758/2023

ASUNTO: Autorización de impresión de tesis.

C. BINIZZA MAELI ZÁRATE SAGUILÁN
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN DESARROLLO REGIONAL Y TECNOLÓGICO
P R E S E N T E.

De acuerdo con las disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo con respecto a su Tesis para obtener el Grado de Maestra en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, cuyo título es "Electrofisiología del *Agave angustifolia* Haw ante la respuesta a relaciones hídricas", los abajo firmantes, integrantes de la Comisión Revisora le concedemos la autorización para que proceda a la Impresión de la misma.

ATENTAMENTE

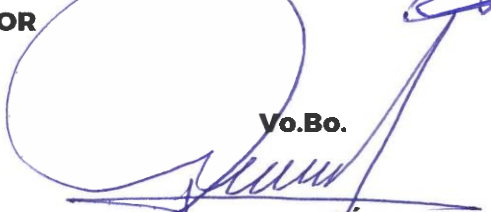
*Excelencia en Educación Tecnológica
"Tecnología Propia e Independencia Económica"*


DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
DIRECTOR


DRA. ALMA DOLORES PÉREZ SANTIAGO
CO-DIRECTORA


DR. IVÁN ANTONIO GARCÍA MONTALVO
ASESOR


DR. LUIS HUMBERTO ROBLEDO TABOADA
ASESOR


Vo.Bo.
DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

 **EDUCACIÓN** |  **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

MASM/FFA*cmh





Carta de cesión de derechos

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, el día 04 del mes de Octubre del año 2023, la que suscribe **Binizza Maeli Zárate Saguilán**, estudiante del programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, con número de control M21161691, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis, que se desarrolló bajo la dirección de: Dr. Marco Antonio Sánchez Medina y cede los derechos del trabajo titulado: **“Electrofisiología del *Agave angustifolia* Haw, ante la respuesta a relaciones hídricas”**.

al TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información del presente trabajo no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autory/o director del trabajo. Este puede ser obtenido solicitándolo a la siguiente dirección o contacto: Lizgalvancervantes@gmail.com
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente,

Binizza Maeli Zárate Saguilán

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONAHCYT, por el apoyo económico brindado durante la realización del presente proyecto.

Al Instituto Tecnológico de Oaxaca.

A mi Director de Tesis, el Dr. Marco Antonio Sánchez Medina

A la Dra. Alma Dolores Pérez Santiago, mi Co-Directora

También a mis asesores; el Dr. Iván A. García Montalvo,

al Dr. Luis Humberto Robledo Taboada

Y a mis Catedráticos

Gracias ...

A mi amada familia:

A Javier, Ximena, Moisés y Daniela.

DEDICATORIA

Con mucho cariño a Ximena Biaanilua...esperando que sea para ti en un futuro una fuente de inspiración, para que tú puedas lograr todo aquello que te propongas, trabando siempre con disciplina y amor en lo que hagas. Poniendo en primer lugar en tu vida siempre a Dios.

A Javier Moisés

A Daniela Biaanido

Y a mi esposo Javier Avendaño Martínez.

Tabla de contenido

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I. ANTECEDENTES.....	2
Capítulo II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Agave angustifolia Haw.	5
2.1.1 Taxonomía, morfología y distribución.	5
2.1.2 Factores de estrés en el agave.	7
2.2 Electrofisiología.....	8
2.2.1 Potencial de acción.	10
2.2.2 Mecanismo de acción y propagación de los potenciales de acción.	11
2.2.3 Propagación del mecanismo.....	13
2.2.4 Potenciales de variación.	15
2.2.5 Potenciostato.....	16
Capítulo III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
Capítulo IV. JUSTIFICACIÓN	19
Capítulo V. OBJETIVOS.	21
Capítulo VI. HIPÓTESIS	22
Capítulo VII. METODOLOGÍA	23
7.1 Materiales y métodos.....	23
7.2 Registro de datos.	24
7.3 Configuración del sistema sensor.	26
7.3.1 Selección de los electrodos.	26
7.3.2 Posición de los electrodos en la hoja del agave.....	28
7.3.3 Filtros en el sistema sensor.	29
7.3.4 Velocidad de muestreo.	31
7.3.5 Tiempo de estabilización y configuración del sistema sensor.	35
7.3.6 Sensibilidad del sistema a cambios de humedad y daño mecánico.	36
Capítulo VIII. RESULTADOS.....	37
Capítulo IX. DISCUSIONES.....	52
Capítulo X. CONCLUSIONES.....	56
Capítulo XI. PERSPECTIVAS.....	57
XII. REFERENCIAS.....	58

Índice de tablas

Tabla 1. Diversidad de especies de agaves en el estado de Oaxaca.	7
Tabla 2. Respuesta de los filtros utilizados.....	30
Tabla 3. Análisis bromatológico.	37
Tabla 4. Amplitud de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw (primer ciclo de irrigación).	45
Tabla 5. Frecuencia de la duración de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw (primer ciclo de irrigación).	46
Tabla 6. Amplitud de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw (segundo ciclo de irrigación).	48
Tabla 7. Frecuencia de la duración de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw (segundo ciclo de irrigación).	50
Tabla 8. Comparación de <i>Agave angustifolia</i> Haw, con otras especies.	54

Índice de figuras

Figura 1. Generación del potencial de acción y potencial de variación.	12
Figura 2. Propagación del potencial de acción y potencial de variación.	14
Figura 3. Generación del potencial de variación.	15
Figura 4. Montaje experimental.	24
Figura 5. Vista general de conexiones.	26
Figura 6. Tipos de electrodos.	27
Figura 7. Ubicación de los electrodos en la hoja del <i>Agave angustifolia Haw.</i>	28
Figura 8. Selección de filtros	29
Figura 9. Prueba 1 de velocidad de muestreo.	31
Figura 10. Prueba 2 de velocidad de muestreo.	32
Figura 11. Prueba 3 de velocidad de muestreo.	33
Figura 12. Prueba 4 de velocidad de muestreo.	34
Figura 13. Estabilidad del sistema sensor.	35
Figura 14. Sensibilidad del sistema sensor con agua potable.	39
Figura 15. Respuesta eléctrica del agave ante daño mecánico.	40
Figura 16. Respuesta eléctrica del agave con agua desionizada.	42
Figura 17. Propagación de la señal eléctrica en <i>Agave angustifolia Haw.</i>	43

Índice de gráficas

Gráfica 1. Señal eléctrica de diferentes hojas del agave.	38
Gráfica 2. Amplitud de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw, en el primer ciclo de irrigación.....	44
Gráfica 3. Duración de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw (primer ciclo de irrigación).	46
Gráfica 4. Amplitud de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw, en el segundo ciclo de irrigación.....	47
Gráfica 5. Duración de los potenciales de acción para <i>Agave angustifolia</i> Haw (segundo ciclo de irrigación).....	49
Gráfica 6. Respuesta eléctrica del agave en condiciones de estrés por sequía e irrigación.	51

RESUMEN

A lo largo del tiempo, los organismos vegetales han recibido un papel secundario en la investigación científica, asumiendo que éstos tienen un comportamiento automático y prefijado. Sin embargo, diversos estudios han podido demostrar que las plantas poseen una gran capacidad adaptativa y de respuesta al medio ambiente en el que viven, siendo capaces de detectar eventos tanto bióticos como abióticos y esto lo hacen a través de señales eléctricas desarrolladas como un medio de comunicación a larga distancia a través de sus órganos; raíces, tallos y hojas principalmente estudiados en electrofisiología vegetal. Sin embargo es interesante señalar que estas propiedades eléctricas no solo son propias de aquellas especies vegetales que son consideradas sensitivas, como han sido el caso de *Dionaea muscipula Ellis* o *Mimosa pudica L.*, sino que además puede ser posible que mediante el estudio electrofisiológico se puedan a su vez detectar los cambios que sufren otro tipo de plantas en respuesta a diversos factores de estrés, y es por ello que se propone el estudio de una especie con particularidades que la hacen diferente a aquellas que han sido más estudiadas en este campo de la electrofisiología vegetal. Se presenta el *Agave angustifolia Haw*, una especie endémica del estado de Oaxaca, cuyas características enlistan un largo periodo de crecimiento y maduración comprendido de 6 a 8 años, que crece muchas veces en condiciones adversas de suelo, nutrientes, temperatura y humedad en sus condiciones naturales y que aun así es una especie de cultivo de gran importancia en el estado para la industria del mezcal, por citar su fuente más importante de comercialización. De tal manera que el estudio de sus propiedades eléctricas y los cambios o alteraciones que sufre en presencia de factores estresantes, es un indicio que nos permitirá conocer esta relación existente entre estrés por sequía y estímulos hídricos que el agave recibe y la respuesta eléctrica que a su vez proporciona como medio de comunicación.

Palabras clave: Señales eléctricas, electrofisiología vegetal, *Agave angustifolia Haw*.

ABSTRACT

Throughout time, plant organisms have received a secondary role in scientific research, assuming that they have an automatic and prefixed behavior. However, several studies have been able to demonstrate that plants have a great adaptive and responsive capacity to the environment in which they live, being able to detect both biotic and abiotic events and this is done through electrical signals developed as a means of long-distance communication through their organs; roots, stems and leaves mainly studied in plant electrophysiology. However, it is interesting to note that these electrical properties are not only characteristic of those plant species that are considered sensitive, as has been the case of *Dionaea muscipula Ellis* or *Mimosa pudica L.*, but it may also be possible that through the electrophysiological study can in turn detect the changes suffered by other types of plants in response to various stress factors, and that is why we propose the study of a species with particularities that make it different from those that have been most studied in this field of plant electrophysiology. *Agave angustifolia Haw*, a species endemic to the state of Oaxaca, whose characteristics include a long period of growth and maturation of 6 to 8 years, which often grows in adverse conditions of soil, nutrients, temperature and humidity in their natural conditions and yet is a crop species of great importance in the state for the mezcal industry, to cite its most important source of marketing. Thus, the study of its electrical properties and the changes or alterations it undergoes in the presence of stress factors is an indication that will allow us to know this relationship between drought stress and water stimuli that the agave receives and the electrical response that in turn provides as a means of communication.

Key words: Electrical signals, plant electrophysiology, *Agave angustifolia Haw*.

INTRODUCCIÓN

El agave es una planta perenne y es denominada comúnmente como “maguey”, respecto de su morfología se puede describir lo siguiente; sus hojas o “pencas” son alargadas y suculentas que se ordenan en forma de espiral alrededor del tallo que generalmente es corto y de esta manera forma una roseta. México es el centro de origen y diversidad natural del género *Agave* y a lo largo de sus sistemas áridos han proliferado alrededor de 150 de las más de 200 especies que existen a nivel mundial. Tiene además una gran importancia económica, incluso étnica y cultural, especialmente en el estado de Oaxaca, y dentro de su importancia ecológica se pueden incluir su capacidad de retención de suelos, así como el número de especies animales y vegetales con los cuales establece asociaciones (Barrientos Rivera et al., 2019). Sin embargo, su uso más destacado en los últimos años ha sido por su destilado 100% como materia prima para la producción de mezcal (NOM-070- SCFI-2016).

Uno de los numerosos estudios científicos que existen sobre las plantas, trata de abordar la manera en cómo éstas responden al ambiente. Ya que, a pesar de no poseer un sistema nervioso como los animales o los seres humanos, las plantas cuentan con respuestas eléctricas derivados de los diversos estímulos que encuentran en el medio ambiente (García et al., 2021).

Este trabajo de investigación explora la electrofisiología del “*Agave angustifolia* Haw”, es decir estudia la respuesta eléctrica proporcionada por esta especie, que puede deberse a varios factores relacionados con su fisiología: desde el metabolismo normal de la planta como frente a algún tipo de estrés, entre los que se pueden mencionar la fotosensibilidad, la presencia de humedad, salinidad o patógenos.

Capítulo I. ANTECEDENTES

Un estudio denominado “Detección de potenciales eléctricos celulares del cultivo de *Phaseolus Vulgaris L.*”, se lleva a cabo en el año 2022, cuya base fue analizar la señal electrofisiológica de la especie, tomando en cuenta que los organismos vegetales se encuentran expuestos a factores estresantes en sus condiciones naturales, sin embargo en condiciones de laboratorio esto fue monitoreado mediante el registro de su actividad eléctrica generada por cambios en los ciclos de irrigación de la especie.

Un análisis bibliográfico reportado en 2021, cita los métodos utilizados para análisis electrofisiológico en plantas y principalmente algunas de las aplicaciones del estudio de la electrofisiología vegetal y debido a las interacciones que se establecen entre éstas y su medio ambiente, se resalta el desarrollo de biosensores utilizando el potencial eléctrico de las plantas, para aplicaciones en agricultura, análisis ambiental o bien en condiciones de invernadero.

En el año 2020 se realiza un estudio, en el cual se propone un modelo, en el que el potencial de acción seguido por el flujo de agua (es decir, la pérdida de presión por turgencia) en las células motoras pulvinares, son el paso crítico que permiten el movimiento rápido en la especie *Mimosa pudica*, demostrando así que una rápida señal eléctrica se propaga a través de una larga distancia en la especie, en respuesta a una estimulación mecánica.

Una investigación fue realizada en el año 2020 por Mudalige Don Hiranya y colaboradores, habla acerca del uso de microelectrodos para registrar los potenciales eléctricos en plantas, la especie analizada fue *Myriophyllum aquaticum*. Señala además que estos potenciales eléctricos se generan como respuesta a varios estímulos provenientes del medio externo, desde daños mecánicos, agentes químicos, calor o agua. De manera que las señales eléctricas transportan información dentro de la misma planta, sobre el estímulo que perciben.

En 2019 también se tienen datos reportados en la literatura, se realizó un estudio electrofisiológico sobre la especie *Dionaea muscipula Ellis*, conocida como “la atrapamoscas de venus”. Esta especie captura insectos con uno de los movimientos más rápidos del reino vegetal. Existe una diferencia significativa entre las propiedades de las señales eléctricas generadas en la trampa para moscas de Venus, descritas en la literatura. Las amplitudes de los potenciales de acción varían de 14 mV a 200 mV, con una duración de las señales de 2 ms a 10 s.

Previo a ello, solo unos años atrás también hubo registros de electrofisiología vegetal, y es en el año 2016 que se reporta un estudio, realizado con el objetivo de explorar la electrofisiología de los sistemas vegetales y su fenómeno termoelectrónico, en tres especies de plantas las cuales fueron; *Ruellia nudiflora* (Acanthaceae), *Epipremnum aureum* (Araceae) y *Ficus benjamina* (Moraceae). Se aplicó una diferente metodología con cada una de ellas, en el primero de los casos se trató de controlar la temperatura de la raíz en solución acuosa y dentro de un baño térmico. Para el segundo caso se trató de controlar la temperatura ambiental utilizando una cámara climática y finalmente midiendo este mismo fenómeno, pero en diferentes partes de la planta.

Un trabajo relevante sale publicado en el año 2016, cuyo estudio trata de la generación y propagación de las señales eléctricas en plantas superiores, abordando principalmente los tipos de señales existentes en las mismas, así como los mecanismos con los que se desarrollan cada una de ellas. Proponiendo así un modelo de la generación del potencial de acción y del potencial de variación en las plantas superiores al comparar los resultados obtenidos con los estudios realizados en las células gigantes de las algas de la familia *Characeae*.

En la publicación titulada: “Use of plant woody species electrical potential for irrigation scheduling” Ríos Rojas y colaboradores, señalan en el año 2015, que la poca disponibilidad de agua en el suelo puede desencadenar estrés hídrico en las plantas, generándose una respuesta eléctrica diferente para las que han sido estresadas y

aquellas que no. Se estudiaron dos especies diferentes que fueron *Persea americana* y *Prunus domestica*.

Finalmente, para fines de estos antecedentes, un estudio realizado en el año 2009 se presenta con el objetivo de determinar si la variación del voltaje entre las raíces y las hojas de palto (*Persea americana Mill*) podía ser utilizada como una técnica de fitomonitorio relacionada con el contenido de agua en el suelo.

Capítulo II. MARCO TEÓRICO

2.1 *Agave angustifolia* Haw.

2.1.1 Taxonomía, morfología y distribución.

Agave angustifolia Haw, es el nombre científico del maguey espadín, pertenece al **género *Agave*** y a la **familia de las *Agavaceae***. Compartiendo esta particularidad con el resto de los agaves, esta especie, tiene un ciclo de vida largo como una de sus características biológicas, tardando generalmente de 6 a 8 años para llegar a su madurez y lograr producir frutos con semilla que, si bien no siempre logra formarlos, se trata del único evento reproductivo sexual que este agave presenta y al término del cual, la planta muere. Ahora bien, tiene sin embargo un porcentaje incierto de fertilidad, así como una baja tasa germinativa y de supervivencia. Esto se debe en gran medida a que, bajo condiciones silvestres, cuando se logran producir las semillas éstas muchas veces caen en medios que son poco favorables para su desarrollo y el resto son fáciles de ser consumidas por los herbívoros. Frente a estas condiciones adversas y en respuesta de adaptación al medio, los agaves han desarrollado también una reproducción asexual a través de rizomas, bulbos o bulbillos (Barrientos Rivera et al., 2019).

Morfológicamente hablando *Agave angustifolia* Haw, consiste de rosetas cespitosamente abiertas, sus hojas maduras conocidas comúnmente como pencas, tienen formas lineales, son ascendentes y rígidas, de color verde que varía de claro a grisáceo; recubiertas de espinas laterales son convexas hacia la base y terminan en una espina apical cónica y de color marrón (Barrientos Rivera et al., 2019).

Agave angustifolia Haw, tiene una **distribución** a lo largo de la República Mexicana, en los estados del norte; Chihuahua, Durango, San Luis Potosí, Nayarit, Tamaulipas, Zacatecas; en el centro en Aguascalientes, Jalisco, Edo. Mex., Michoacán, Morelos, Puebla, Veracruz y al Sur; Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo y Yucatán, a una altura que va desde el nivel del mar hasta más de 2,000 msnm. (Barrientos Rivera et al., 2019).

En cuanto a la elaboración de mezcal, como materia prima *Agave angustifolia* Haw, es el más utilizado, ya que, de acuerdo al Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM), representa el 74% respecto de otros agaves que se ocupan para elaborar el destilado. Su alta preferencia por parte de los productores, se debe a que su periodo de maduración es más corto en relación con otros agaves mezcaleros, además de que es el más rendidor debido a su alta concentración de azúcares.

La mayoría de las especies de agave en Oaxaca, se desarrollan en terrenos pedregosos y con pendientes pronunciadas, que además son de baja fertilidad. El término “*Agave*”, viene del griego “*agavé*” que se traduce como “noble o admirable”. Son éstos además especies vegetales de gran importancia ecológica, socio-cultural y económica para México y de manera particular para el estado de Oaxaca (Colunga-García et al., 2007, Barrientos et al., 2020).

México es el centro de origen y diversidad natural del género *Agave*, a nivel mundial son reconocidas cerca de 211 especies, de las cuales 159 se presume se encuentran en la República Mexicana y de éstas al menos 119 especies son endémicas, por lo que se considera que existe una alta diversidad de la familia *Agavaceae* en el país (Barrientos Rivera et al., 2019). Así mismos, dada su alta diversidad, estas plantas han sido aprovechadas de diversas formas a lo largo del tiempo, desde forraje (Colunga-García et al., 2007) a bebida y alimento o simplemente ornatos.

En el estado de Oaxaca, se pueden encontrar diversas especies de agave, algunos ejemplos se incluyen a continuación (Tabla1).

Tabla 1. Diversidad de especies de agaves en el estado de Oaxaca.

Nombre común	Nombre científico
Arroqueño	<i>Agave americana var. oaxacensis</i>
Espadín	<i>Agave angustifolia</i>
Madrecuixe	<i>Agave karwinskii</i>
Mexicano	<i>Agave rhodacantha</i>
Papalote	<i>Agave cupreata</i>
Tepeztate	<i>Agave marmorata</i>
Tobalá	<i>Agave potatorum</i>

2.1.2 Factores de estrés en el agave.

En condiciones naturales, las plantas están expuestas a diversos estímulos del medio ambiente, que influyen en su crecimiento, desarrollo y productividad, es el caso también para los agaves. Existen algunos factores ambientales que generan estrés en las plantas dentro de los que se encuentran factores bióticos, como es el caso de animales, la presencia de otras plantas, plagas o fitopatógenos; y abióticos, como por ejemplo: sequía, salinidad, temperatura, minerales, viento, lesiones y estimulación mecánica causada por insectos o por el hombre (Hernández y Vinas, 2015).

2.2 Electrofisiología.

Los sistemas vegetales se encuentran continuamente reuniendo información de su medio ambiente y es de esta manera que obtienen gran variedad de respuestas biológicas. La manera en cómo lo hacen corresponde a un fenómeno característico de las plantas y esto es que sus células, tejidos y órganos poseen la propiedad de excitabilidad, lo que les permite generar una respuesta basada en los eventos o factores externos que se generan en su medio ambiente. Esta excitación electroquímica es una propiedad única para los organismos vivos y su mecanismo de conducción es fundamental en ellos, sin embargo, en el caso de la célula vegetal esta propagación requiere al igual que en la célula animal, llevarse a cabo en un proceso rápido de la transmisión de señales a distancia, a lo largo del tejido vegetal lo que se logra por el flujo iónico que ocurre a través de la membrana plasmática de la célula vegetal.

Uno de los numerosos estudios científicos que existen sobre las plantas, trata de abordar la manera en cómo éstas responden al ambiente. Ya que, a pesar de no poseer un sistema nervioso como los animales o los seres humanos, las plantas cuentan con respuestas eléctricas derivados de los diversos estímulos que encuentran en el medio ambiente (García et al., 2021) las cuales se generan y propagan por la planta de distinta forma. De manera que, al no haber desarrollado el mismo grado de complejidad que los nervios animales, se puede sin embargo manifestar que su maquinaria celular equivalente a ser “de tipo nervioso” se forma en una red neural vegetal simple, especialmente dentro de las células del floema, que es responsable de la comunicación a larga distancia mediada por plasmodesmos simplásticos (Simon A. Zebelo, 2016).

La electrofisiología es la ciencia que se encarga del estudio de las propiedades eléctricas de células y tejidos biológicos, pertenece al flujo de iones en los mismos y en particular, a las técnicas de registro eléctrico que permiten mediciones de este tipo. Se requiere además una forma de medir este transporte y la manera es por voltaje a

través del tiempo, aunque también pueden considerarse corriente eléctrica y resistencia. Este cambio en los valores está asociado al tipo de estímulos que son percibidos o a los que son expuestas (García et al., 2021).

La electrofisiología, analiza aspectos eléctricos de la actividad vegetal, abarcando el estudio de la actividad eléctrica en diferentes estructuras orgánicas y su respuesta ante estímulos eléctricos (J. Chaparro, 2001). Aunado a ello, para hablar de señales eléctricas en plantas, es menester entender en principio a qué nos referimos cuando hablamos de la señal eléctrica, y ésta se puede definir como aquella señal que se deriva del transporte de electrones o dicho de otra manera del transporte de iones en un medio (García et al., 2021). De manera que, las señales eléctricas son la respuesta inicial de la planta a los estímulos que percibe y puede además desencadenar diferentes respuestas fisiológicas.

La membrana plasmática representa el elemento sensor que reconoce los cambios en el entorno de la célula, poniendo así en marcha cascadas de señalización eléctrica, que finalmente dan respuesta a señales específicas de la planta (Zebelo, 2016). Por ejemplo, los daños provocados en las hojas de las plantas, así como la infección por patógenos vegetales y el daño causado por los depredadores herbívoros, inducen la liberación de elicitores que son provenientes de la pared celular de la planta y tienen además la capacidad de unirse a receptores específicos en la membrana plasmática de la célula vegetal (Maffei, 2012). Esta interacción resulta en una variación del potencial de membrana (V_m), que se define como la diferencia en el gradiente electroquímico entre el interior y el exterior de la célula. Esta variación en el potencial de membrana tiene tres fases características, que son despolarización, repolarización e hiperpolarización, lo que en conjunto generan lo que conocemos como cascadas de señalización (Zebelo, 2016).

De manera que la señalización sistémica inducida por factores de estrés en las plantas, se transduce mediante señales electroquímicas (Maffei, 2012) y en este sentido, tres amplios mecanismos son reconocidos para la transmisión de señales

eléctricas, que además hacen referencia al tipo de estímulo que las genera y la forma en que se propaga a través del sistema vegetal, que incluyen los potenciales de acción (PA), los potenciales de variación (VP) y potenciales de sistema (PS).

2.2.1 Potencial de acción.

El potencial de acción (PA) se define como un cambio repentino, rápido, transitorio y que se propaga en el potencial de membrana en reposo. Esto es una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de la membrana celular modificando su carga eléctrica. En el organismo humano son las neuronas y las células musculares aquellas capaces de generar un potencial de acción; este potencial direcciona e influye en los procesos biológicos de embriogénesis, regeneración celular y la cicatrización de heridas (Moncada et al., 2010). En las plantas superiores, un potencial de acción puede definirse como un sistema de señalización a larga distancia; porque es un cambio momentáneo en el potencial eléctrico de la membrana plasmática en reposo de la célula vegetal como respuesta a un estímulo ambiental (Zebelo, 2016) que ocurre bajo la influencia de un estímulo considerado de mínima o moderada intensidad como estrés mecánico (tensión mecánica, cuando se mueven los tallos o las ramas por el viento), estimulación eléctrica, cambios de temperatura, iluminación, o estrés hídrico, es decir incluye aquellos estímulos que no le ocasionan un daño catastrófico a la planta (García et al., 2021, Vodeneev, 2016). Este tipo de señal no depende precisamente de la intensidad del estímulo que recibe sino más bien del estímulo que percibe.

Para que pueda generarse un potencial de acción a nivel celular, el potencial de membrana de una célula excitable deberá despolarizarse más allá de cierto umbral, y éstos a su vez pueden ser medidos con técnicas de registro electrofisiológico, éstas incluyen medidas de cambio de voltaje o corriente eléctrica en una amplia variedad de

escalas, que puede ir desde el simple canal iónico de proteínas hasta órganos completos como el corazón.

2.2.2 Mecanismo de acción y propagación de los potenciales de acción.

La generación de un potencial de acción en células excitables de cualquier animal o planta, está asociado con el cambio dramático en la permeabilidad de la membrana celular por iones específicos (Vodeneev, 2016). En el caso de las células animales, el mecanismo iónico de los PA está regulado por los iones sodio y potasio, sin embargo, en las plantas juegan un papel fundamental, además del potasio, los iones calcio y cloro.

El mecanismo de la generación de un potencial de acción, es bastante complejo en la naturaleza y está asociado con dos factores; la activación de canales iónicos (Ca^{2+} , Cl^{-} y K^{+}) y los cambios transitorios en la actividad de la membrana plasmática. La propagación de las señales eléctricas ocurre principalmente por haces conductores. Por lo tanto, la transferencia de un potencial de acción está asociado con el parénquima vascular (Vodeneev, 2016).

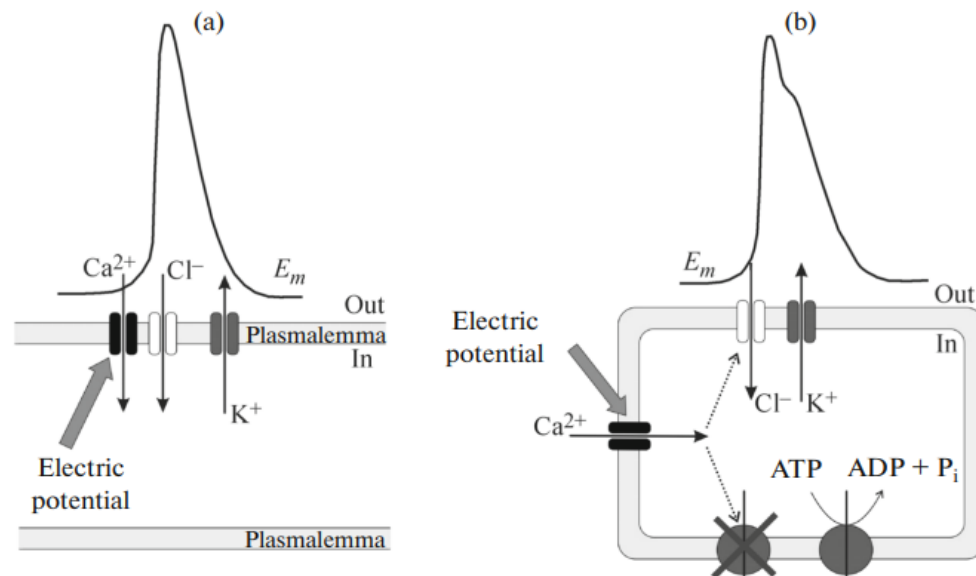
Los potenciales de acción se producen en las células de las plantas, a través del intercambio iónico en la membrana plasmática; ingresan iones de Ca^{2+} , que a su vez activan los canales de Cl^{-} fluyendo después iones de K^{+} hacia el exterior. Este flujo de una célula a otra ocurre de forma simplástica o dicho de otra manera el flujo ocurre a través del plasmodesmo (García et al., 2021). Este tipo de señales tienen la característica de que al esparcirse por la planta la amplitud de la señal eléctrica no decrece.

El inicio de la despolarización se produce cuando iones Ca^{2+} entran en la célula, lo que hace que los canales de Cl^{-} se activen; de esta manera la fase de

despolarización se produce por la salida de iones Cl^- hacia el exterior de la célula, es decir que su potencial electroquímico es hacia el exterior. Ahora bien, la fase de repolarización del potencial de acción está dada por la salida de iones de K^+ hacia el exterior de la célula, que se originan a partir de la activación de los canales de potasio dependientes de voltaje (Vodeneev, 2016).

Un número de sustancias son las que despolarizan fuertemente la membrana plasmática, por lo que se presume, son capaces de activar los canales iónicos (dependientes de voltaje) (Zebelo, 2016).

Figura 1. Generación del potencial de acción y potencial de variación.



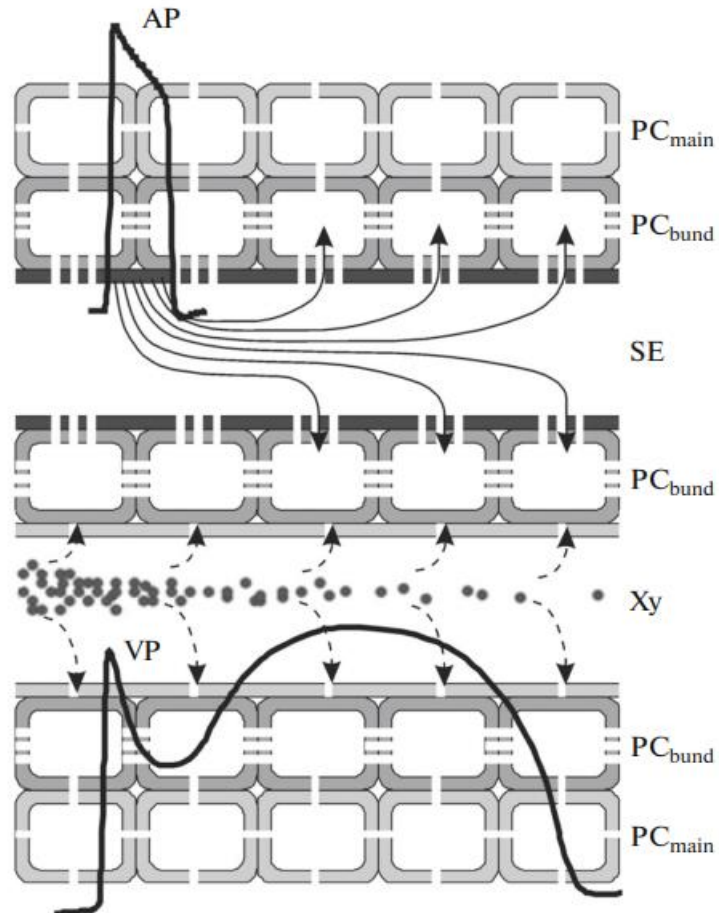
Esquema del proceso de generación del potencial de acción y potencial de variación: a) potencial de acción en algas Charophytas; b) potencial de acción en plantas superiores. Vodeneev et al. Electrical Signals in Higher Plants: Mechanisms of Generation and Propagation. 2016.7845

2.2.3 Propagación del mecanismo.

Cuando un potencial de acción se propaga sobre una planta, su amplitud no se modifica, lo que involucra que su velocidad de esparcimiento se mantenga constante, la cual puede ir de los mm/s a cm/s dependiendo de la especie vegetal en particular con la que se está tratando (Volkov 2019, Vodeneev 2016). La propagación del potencial de acción es un proceso activo en las plantas superiores, que incluye la generación del mismo en un sitio particular de un camino conductor, la despolarización en sitios vecinos al nivel del umbral debido a las corrientes locales y la generación activa secuencial de un potencial de acción en estos sitios.

En las plantas superiores los haces conductores sirven como principal canal de transmisión, siendo su estructura compleja, incluyendo vasos del xilema y elementos del parénquima (Vodeneev, 2016).

Figura 2. Propagación del potencial de acción y potencial de variación.



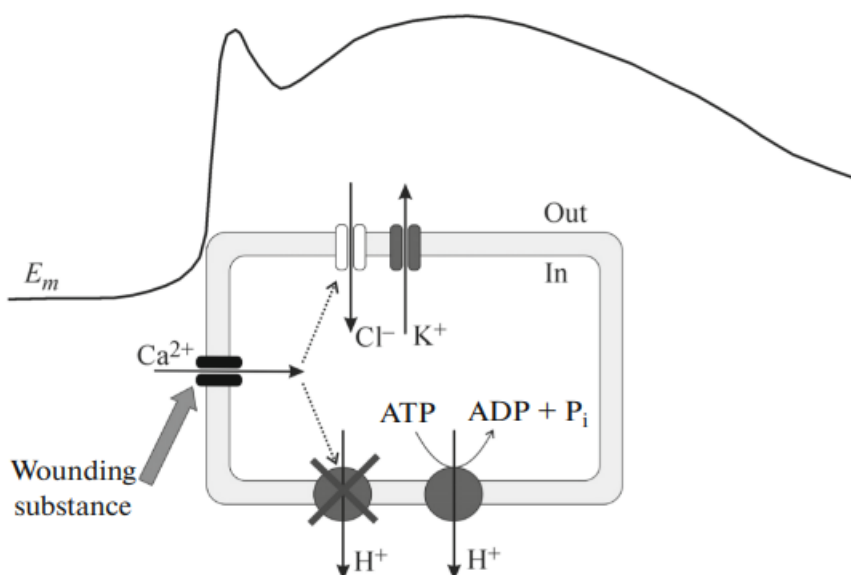
Esquema de los procesos de propagación del potencial de acción y potencial de variación en plantas superiores: células parenquimáticas del tejido principal (PCmain); células parenquimáticas de los haces conductores (PCbund); elementos cribosos (SE) y xilema (Xy). Las flechas sólidas designan esquemáticamente las corrientes despolarizantes locales mientras que las flechas discontinuas representan la influencia de la sustancia de la herida sobre las células. Vodeneev et al. Electrical Signals in Higher Plants: Mechanisms of Generation and Propagation. 2016.7845

2.2.4 Potenciales de variación.

Los potenciales de variación, pueden definirse como oscilaciones lentas del potencial transmembranal, cuyas señales son generadas por daños que pueden ser considerados catastróficos para la planta, como en el caso de quemaduras directas por fuego, incisión o punción en los tejidos (García et al., 2021). En las plantas los potenciales de variación se caracterizan porque las amplitudes y velocidades disminuyen en la medida en que aumenta la distancia desde el lugar en que ocurre un daño (Zebelo, 2016).

El potencial de variación es de un largo plazo, con una fase incontrolada de despolarización y especialmente de repolarización, lo cual posiblemente dio origen al término de onda lenta. El tiempo de la propagación de la variación del potencial es generalmente más lenta que un potencial de acción y ésta puede depender en gran medida de las condiciones ambientales (Vodeneev, 2016).

Figura 3. Generación del potencial de variación.



Esquema de la generación del proceso del Potencial de variación en plantas superiores. Vodeneev et al. *Electrical Signals in Higher Plants: Mechanisms of Generation and Propagation*. 2016.

2.2.5 Potenciostato.

Este dispositivo es el encargado de controlar el sistema de 3 electrodos, cuyas terminales van conectadas a dicho instrumento. Su función principal es la de manejar el potencial del electrodo de trabajo y medir la corriente resultante; el potencial del electrodo de trabajo se mide contra el electrodo de referencia (Bard & Faulkner 2000, Ramírez Bautista et al., 2022). El sistema de 3 electrodos consiste en: electrodo de trabajo, electrodo de referencia y electrodo auxiliar, presentando cada uno una función específica. Para el caso del electrodo de trabajo, es donde se llevarán a cabo las reacciones de interés y se medirá la corriente eléctrica. Por su parte, el electrodo de referencia, tiene un potencial conocido y medirá el potencial del electrodo de trabajo de manera colateral. Finalmente, el electrodo auxiliar, denominado también contraelectrodo, conducirá la electricidad desde la fuente a través de la solución (cuando sea el caso) hasta el electrodo de trabajo. Es importante además, considerar un tipo particular de electrodos, como son el caso de los indicadores metálicos redox, éstos consisten en un electrodo metálico inerte lo que quiere decir que no participa en la reacción de óxido-reducción como tal y sólo llevará a cabo el intercambio de electrones. Cabe señalar además que para medir el potencial eléctrico el uso de electrodos podrá ser de tipo invasiva o no invasiva dependiendo muchas veces del tejido vegetal con el cual se esté trabajando, así como también del tiempo que se estará monitoreando (Ramírez Bautista et al., 2022). Cuando se miden señales electroquímicas, es extremadamente importante tener en cuenta la tasa de muestreo que determina la frecuencia con la que el dispositivo de medición muestrea una señal analógica entrante. De acuerdo con el teorema de muestreo, la señal original debe muestrearse adecuadamente para que la señal muestreada la represente correctamente. Si la frecuencia de muestreo es demasiado lenta, los cambios rápidos en la señal original entre dos muestras consecutivas, no se pueden registrar con precisión. Como resultado, los componentes de frecuencias más altas de la señal original se tergiversarán como frecuencias más bajas (G. Volkov, 2019).

Capítulo III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las plantas son excitadas por factores en el medio ambiente, como por ejemplo luz, agua, salinidad, nutrientes, temperatura, que al rebasar cierto umbral de tolerancia llegan a convertirse en factores de estrés para el organismo vegetal, en este caso para el *Agave angustifolia* Haw, por otro lado, la contaminación, agentes químicos y plagas de igual manera llegan a provocar un deterioro en el maguey. Como se abordó en párrafos anteriores, se dice que en respuesta a estos factores de estrés las plantas cuentan a su vez con respuestas eléctricas que son derivadas de los diversos estímulos que encuentran en el medio ambiente (García et al., 2021) las cuales se generan y propagan por la planta de distinta manera. Dicho en otras palabras, estas señales eléctricas funcionan como su medio de comunicación, ahora bien, los agaves reciben estrés de su medio ambiente de tal manera que éstos debieran generar una respuesta en forma de señal eléctrica distinta al estado de reposo del propio sistema vegetal. En este sentido la electrofisiología nos permite estudiar la actividad eléctrica en diferentes estructuras orgánicas de las plantas tanto en estado de reposo como en condiciones de estrés (Gómez Hernández, 2016).

La detección de potenciales eléctricos en los agaves podría indicarnos que la señalización eléctrica en estos organismos vegetales es también un sistema importante para transmitir información a través de largas distancias entre sus órganos. Este tipo de información bien podría incluir aquellos casos en los que los factores externos representan un peligro crítico como lo ha sido reportado para otras plantas (heridas por depredadores, quemaduras), (Zebelo 2016, Vodeneev 2016) o bien cuando son estresadas por factores ambientales como temperatura, agua o nutrientes (Ríos Rojas et al., 2015, Mudalige et al., 2022, Ramírez Bautista et al., 2022).

Actualmente no se tiene registro de una investigación que nos ayude a generar este tipo de conocimiento en el género de los agaves, si nosotros estudiamos este tipo de señales en agaves, podríamos llegar a determinar los efectos que tienen diversos agentes presentes en el medio en el que están expuestos, como plagas, sequía, y

demás agentes bióticos y abióticos propios del medio ambiente en el que crecen y se desarrollan. Por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible detectar los cambios que sufre por estrés el *Agave angustifolia* Haw, a través de un estudio electrofisiológico?

Capítulo IV. JUSTIFICACIÓN

El estado de Oaxaca es una zona que cuenta con diversas regiones que se dedican a la producción y comercialización de mezcal, esto ha tenido un impacto positivo y demandante tanto en los mercados nacionales como internacionales. Viéndose reflejado en varios aspectos como son el aumento en el precio del mezcal, así como del agave. Por ejemplo, entre el 2015 y 2020, el precio del agave se incrementó casi cinco veces, pasando de 4 mil 500 pesos por tonelada en el año 2015 hasta los 30 mil pesos por tonelada en mayo de 2020, colocando así al producto como el de mayor ingreso por hectárea en 2018 y el segundo en 2019, según los datos publicados por Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA). De tal manera que la fuerte demanda de este destilado, permite el continuo incremento en la superficie sembrada y la producción de agaves que requieren ser de buena calidad.

Consecuentemente, generar la producción de agaves en gran escala y de buena calidad es un reto actual, al que se enfrentan muchos productores desde los semilleros, invernaderos, hasta las vastas hectáreas de ejemplares adultos.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo explorar la electrofisiología de los agaves, particularmente dentro del género *Agave angustifolia Haw* y adentrarse en el estudio de respuesta eléctrica que tiene el *Agave* al verse sometido a diferentes condiciones de humedad controlada dentro del laboratorio, es decir variaciones en las condiciones de irrigación, y saber cómo responde la planta ante este tipo de estímulo, simulando así una de las condiciones a las que se encuentra de manera natural en su medio ambiente.

Con el presente trabajo se desea montar el diseño de un sistema potenciométrico a escala de laboratorio para medir el potencial eléctrico en el *Agave angustifolia Haw*, que se genera como respuesta a estímulos provenientes de su medio, en este caso por irrigación.

Al ser un estudio con pocos precedentes, este permitirá abordar pruebas posteriores para el registro y análisis del potencial eléctrico emitido por el género *Agave*, bajo condiciones no solo de irrigación o humedad, sino de fotosensibilidad, salinidad, daños mecánicos e incluso patógenos, buscando así mejoras en su calidad y producción.

Capítulo V. OBJETIVOS.

Objetivo general.

Realizar el estudio electrofisiológico del *Agave angustifolia* Haw, de Oaxaca, sometiendo a la especie a diferentes ciclos de irrigación.

Objetivos específicos.

Analizar el efecto de diferentes ciclos de irrigación sobre el perfil electrofisiológico de los agaves.

Cuantificar la respuesta eléctrica emitida por las muestras de *Agave angustifolia* Haw, de un año y medio de edad, utilizando el software OrigaMaster 5 y Originlab 8.1.

Capítulo VI. HIPÓTESIS

Diferentes ciclos de irrigación para el *Agave angustifolia* Haw, provocarán una respuesta con variaciones registradas en el potencial eléctrico del Agave.

Capítulo VII. METODOLOGÍA

7.1 Materiales y métodos.

Para este trabajo fueron obtenidos 10 ejemplares de agaves (*Agave angustifolia* Haw, de Oaxaca) de 18 meses de edad, provenientes de un vivero de agave del municipio de San Sebastián Tutla, en el valle de Oaxaca. Que, para ser transportados, se trasplantaron de manera individual en contenedores de 25 cm de diámetro, conservados bajo condiciones climáticas del medio ambiente; con un fotoperiodo luz-oscuro 12:12 horas y regadas con agua potable 4 meses antes de su experimentación.

Instalaciones y Equipos:

Fue necesario el uso del laboratorio de Microscopía del Instituto Tecnológico de Oaxaca, para realizar todas las mediciones.

Los electrodos que se utilizaron fueron de tipo indicadores metálicos redox, es decir electrodos metálicos inertes de Platino y Plata, respectivamente.

Reactivos:

- ❖ Agua destilada para ser utilizada en la limpieza de los electrodos.
- ❖ Etanol para eliminar los excesos de grasa en los electrodos.
- ❖ Agua común; para hacer las primeras pruebas de estimulación y probar el quipo potencióstato.
- ❖ Agua desionizada para estimular los agaves.

7.2 Registro de datos.

Para la detección de las lecturas electroquímicas y control del sistema de tres electrodos, fue utilizado el Equipo Potenciostato/Galvanostato (Orygalis, OGF500, Francia), conectado a una computadora portátil, la configuración recomendada para el equipo de cómputo es Windows 10. El programa utilizado para la adquisición de datos fue OrigaMaster 5, el cual nos permite mediciones automáticas en tiempo real controlando todos los dispositivos de medición electroquímica. Así mismo se utilizó el software Originlab 8.1(2009), para graficar las lecturas obtenidas y su posterior análisis.

Figura 4. Montaje experimental.



Vista general del montaje experimental: a) *Agave angustifolia* Haw, b) Electroodos, c) Equipo Potenciostato/Galvanostato y d) Equipo de cómputo con el software OrigaMaster 5 y Originlab 8.1 instalados.

Técnicas utilizadas en el análisis bromatológico.

Con la finalidad de hacer la caracterización de la muestra se realizó una evaluación química de la materia que compone a los nutrientes de una muestra de *Agave angustifolia* Haw, obteniendo con ello los siguientes parámetros; porcentaje de humedad, cenizas, proteínas, grasas y fibras.

➤ **Determinación de proteínas.**

Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980 Alimentos Determinación de Proteínas por el método de Kjeldahl.

➤ **Determinación de humedad.**

NORMA Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico.

➤ **Determinación de cenizas.**

NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos.

➤ **Determinación de grasas.**

NMX-F-615-NORMEX-2018. Alimentos-determinación de extracto etéreo (método soxhlet) en alimentos-método de prueba.

➤ **Determinación de fibra cruda en alimentos.**

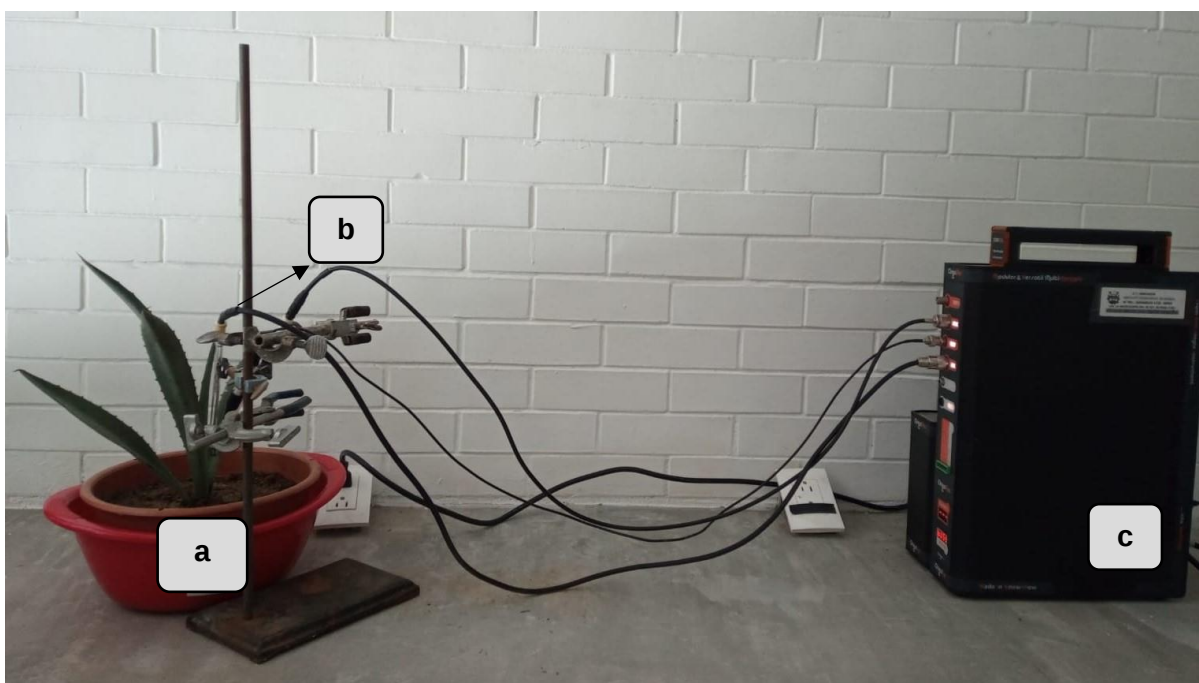
NORMA Oficial Mexicana NOM-F-90-S-1978. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos.

7.3 Configuración del sistema sensor.

7.3.1 Selección de los electrodos.

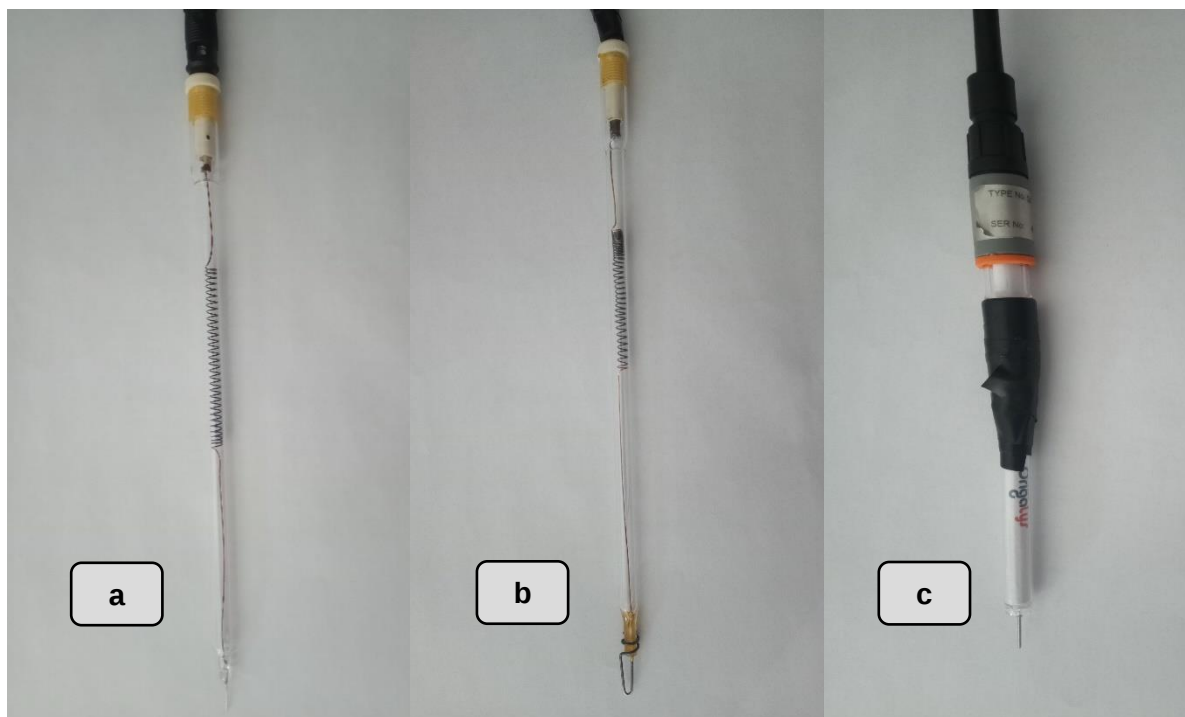
Se utilizaron tres electrodos metálicos; dos de platino que ocuparon las posiciones de trabajo y referencia respectivamente y un tercero de plata que sirvió como electrodo auxiliar, éstos conectados a su vez al potenciostato.

Figura 5. Vista general de conexiones.



La imagen muestra el panorama general del tipo de conexiones que se realizaron para efectuar el montaje experimental: a) *Agave angustifolia* Haw, b) Electrodos y c) Potenciostato.

Figura 6. Tipos de electrodos.



Tipos de electrodos: a) Electrodo de trabajo de platino, b) Electrodo auxiliar de plata y c) Electrodo de referencia de platino.

7.3.2 Posición de los electrodos en la hoja del agave.

Para poder seleccionar la hoja del agave en la cual se insertarían los electrodos para tomar la lectura de la señal eléctrica, se hicieron mediciones en diferentes posiciones de la hoja (Figura 7) para determinar si la variación del voltaje entre una hoja externa, central y media, era significativa.

Figura 7. Ubicación de los electrodos en la hoja del *Agave angustifolia* Haw.

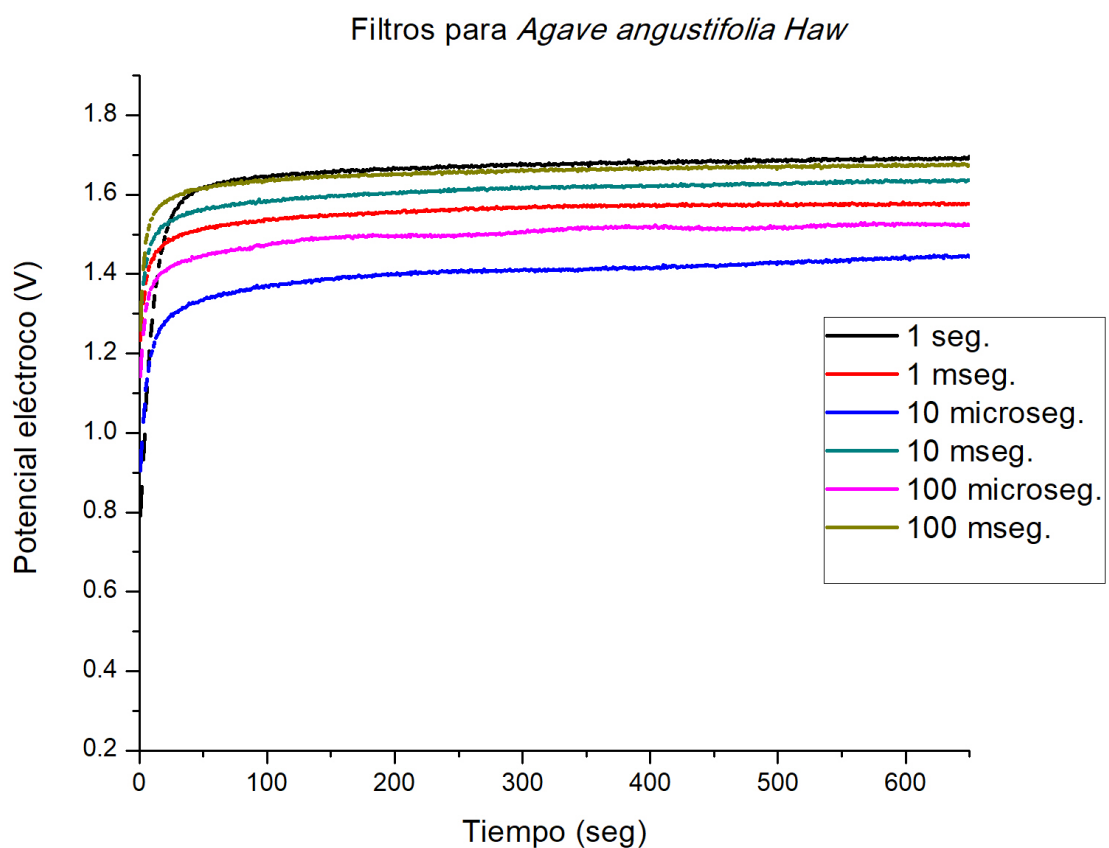


La imagen muestra la disposición de los electrodos en la hoja del agave, se puede apreciar al igual la forma en que son insertados y la profundidad de los mismos dentro del material vegetal y la distancia entre uno y otro (menor a 1 cm).

7.3.3 Filtros en el sistema sensor.

Para seleccionar el filtro a utilizar en el agave, se propó con cada una de las opciones que el programa proporcionaba (Fig. 8) para identificar de esta manera cuál ellos brindaba mayor estabilidad para el sistema sensor al momento de conectar con el agave y probar el potencial eléctrico del mismo.

Figura 8. Selección de filtros .



La imagen muestra la respuesta proporcionada por el sistema sensor ante la selección de cada uno de los filtros con los que contaba para probar la señal eléctrica en reposo del agave.

Derivado de lo anterior se concentraron los datos (Tabla 2) para identificar aquellos filtros que proporcionaban señales con ruido y las que no, dejando de esta manera al descubierto los filtros de 100 ms. Y 1 segundo para ser utilizados como mejor opción.

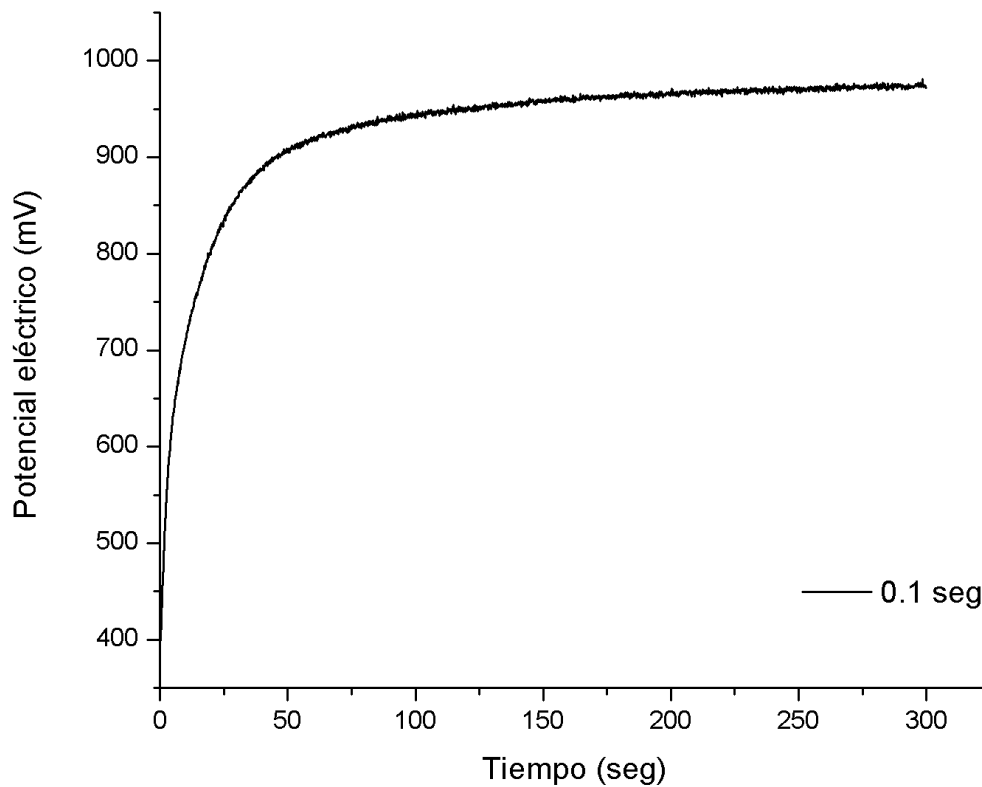
Tabla 2. Respuesta de los filtros utilizados.

Filtro utilizado	Respuesta
1 μ s	Ruido
10 μ s	Ruido
100 μ s	Ruido
1 ms	Ruido
10 ms	Ruido
100 ms	Señal
1 seg.	Señal

7.3.4 Velocidad de muestreo.

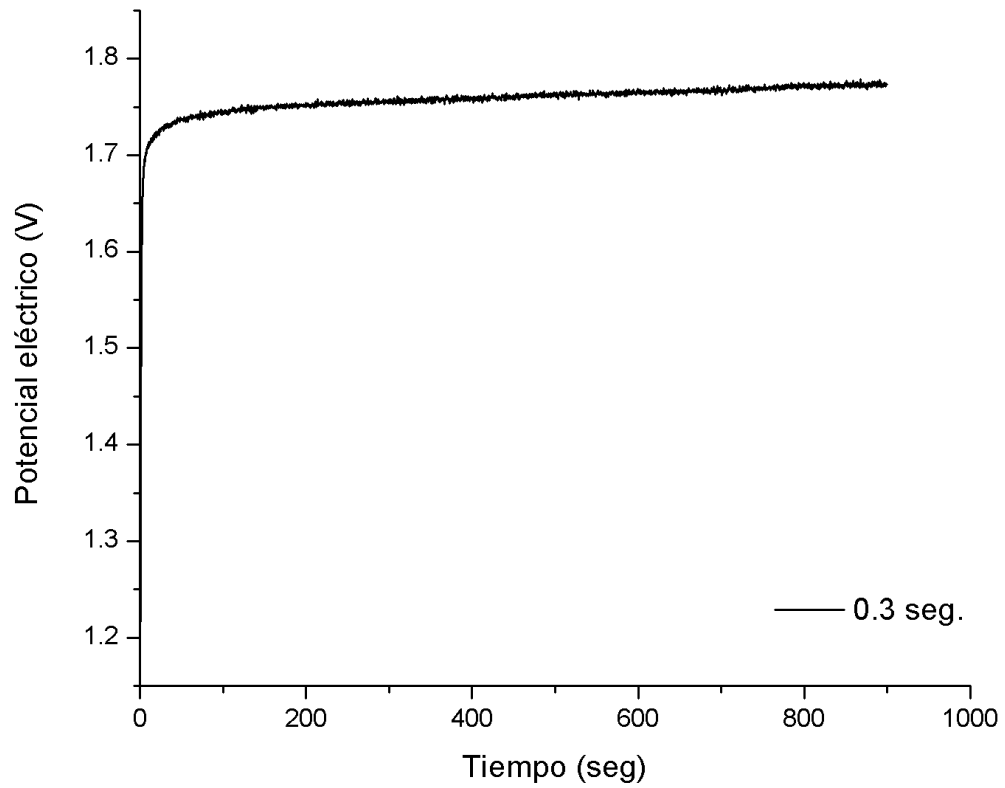
Para el caso de la velocidad de muestreo, se utilizaron 4 diferentes combinaciones; 0.1 seg. 0.3 seg, 0.5 seg y 1 seg. Respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran a continuación. La velocidad de muestreo utilizada en lo sucesivo fue de 0.1 segundos, para realizar las pruebas.

Figura 9. Prueba 1 de velocidad de muestreo.



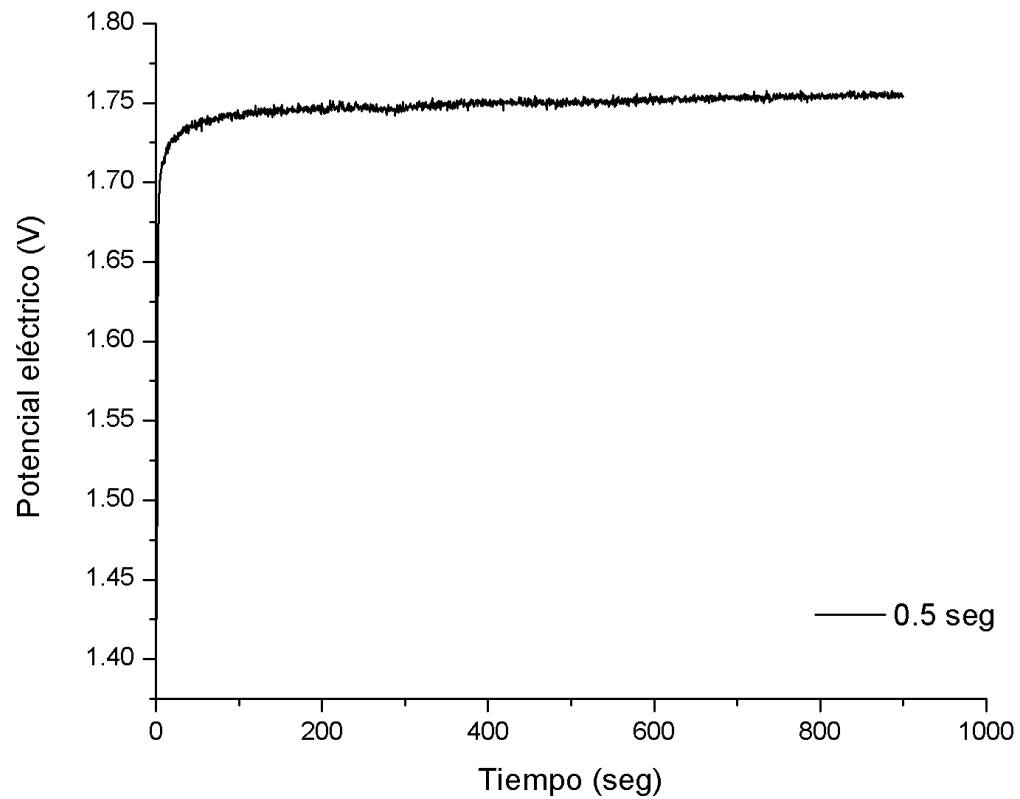
La imagen muestra la respuesta eléctrica obtenida al utilizar una velocidad de muestreo de 0.1 seg.

Figura 10. Prueba 2 de velocidad de muestreo.



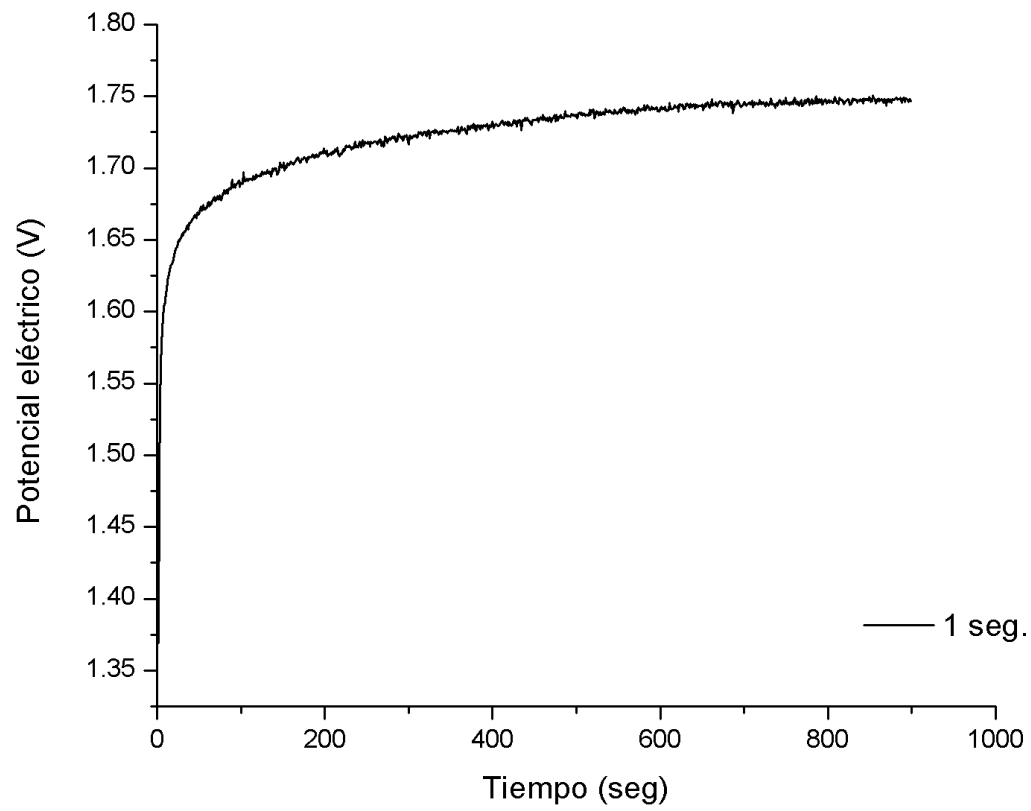
La imagen muestra la respuesta eléctrica proporcionada por el sistema sensor al utilizar una velocidad de muestreo de 0.3 seg.

Figura 11. Prueba 3 de velocidad de muestreo.



La imagen muestra la respuesta eléctrica que se obtiene al utilizar una velocidad de muestreo de 0.5 seg. Con el agave.

Figura 12. Prueba 4 de velocidad de muestreo.

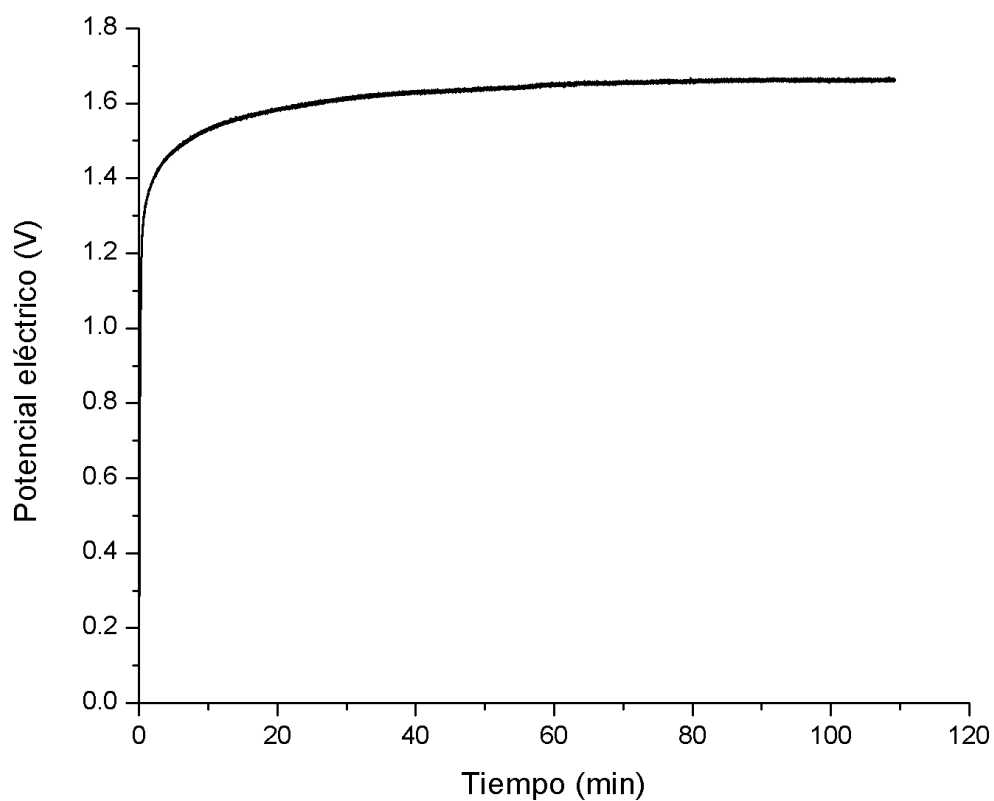


Se presenta la imagen que muestra los datos graficados al utilizar la velocidad de muestreo de 1 seg.

7.3.5 Tiempo de estabilización y configuración del sistema sensor.

En la siguiente imagen (Fig.13) se muestra la respuesta eléctrica que se obtuvo del agave durante 120 minutos en reposo.

Figura 13. Estabilidad del sistema sensor.



Estabilidad del sistema sensor durante 120 minutos del *Agave angustifolia* Haw, en reposo.

7.3.6 Sensibilidad del sistema a cambios de humedad y daño mecánico.

Se procedió a irrigar el *Agave* a los minutos 15, 30 y 45 de iniciar el sistema sensor, con una cantidad de 250 ml de agua común, para probar la configuración del equipo. Y con agua desionizada para irrigar las 10 muestras de agave y detectar los potenciales de acción. Aunado a esto, se realizó una punción sobre la hoja del agave en donde estuvieron insertados los electrodos para detectar cambios en el potencial de variación debido a daños mecánicos y probar que la configuración del equipo de igual manera fuese sensible para este tipo de estímulos.

Capítulo VIII. RESULTADOS.

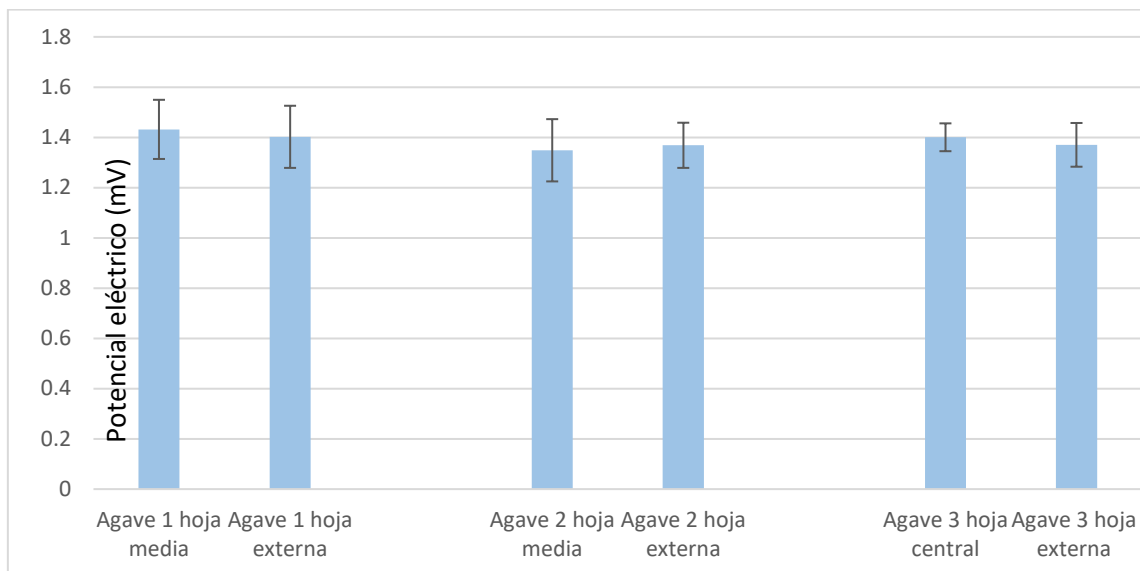
La siguiente tabla, muestra los resultados obtenidos de un análisis bromatológico que se realizó con las pencas de los agaves. Estas pruebas se concluyeron con tres repeticiones y los datos que se observan a continuación (tabla 3) son el resultado del promedio de las pruebas por triplicado.

Tabla 3. Análisis bromatológico.

Parámetro	Porcentaje
Humedad	87.40%
Cenizas	2.10%
Proteínas	3.40%
Grasas	3.29%
Fibras	3.81%

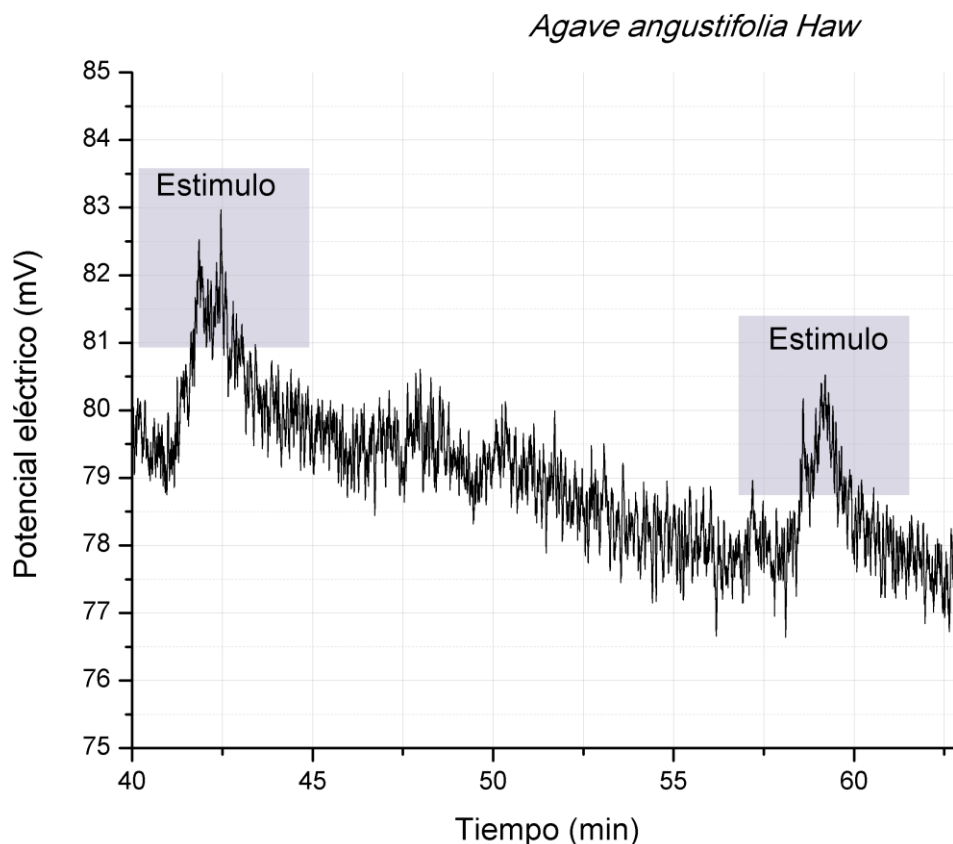
Selección de la hoja del agave para muestrear la señal eléctrica.

Al comparar la variación de voltaje (gráfica 1) entre una hoja central del agave y una hoja externa, así como también en las hojas que se encuentran en la parte media, se pudo apreciar que no existe una diferencia significativa entre la señal obtenida de una y otra, lo que nos lleva a aseverar que la hoja que se seleccione para insertar los electrodos, no provocará una variación significativa al momento de irrigar los agaves y detectar los potenciales de acción.

Gráfica 1. Señal eléctrica de diferentes hojas del agave.

Variación del voltaje entre una hoja externa, central y media. Las muestras 1, 2 y 3, son de *Agave angustifolia* Haw de aproximadamente un año y medio de edad, con una morfología muy similar. Al llevar a cabo el análisis de los resultados obtenidos se pudo apreciar que no hay una diferencia significativa entre la señal eléctrica obtenida entre una hoja y otra dispuestas en diferente posición. Así mismo los tres agaves se encontraban bajo las mismas condiciones de riego.

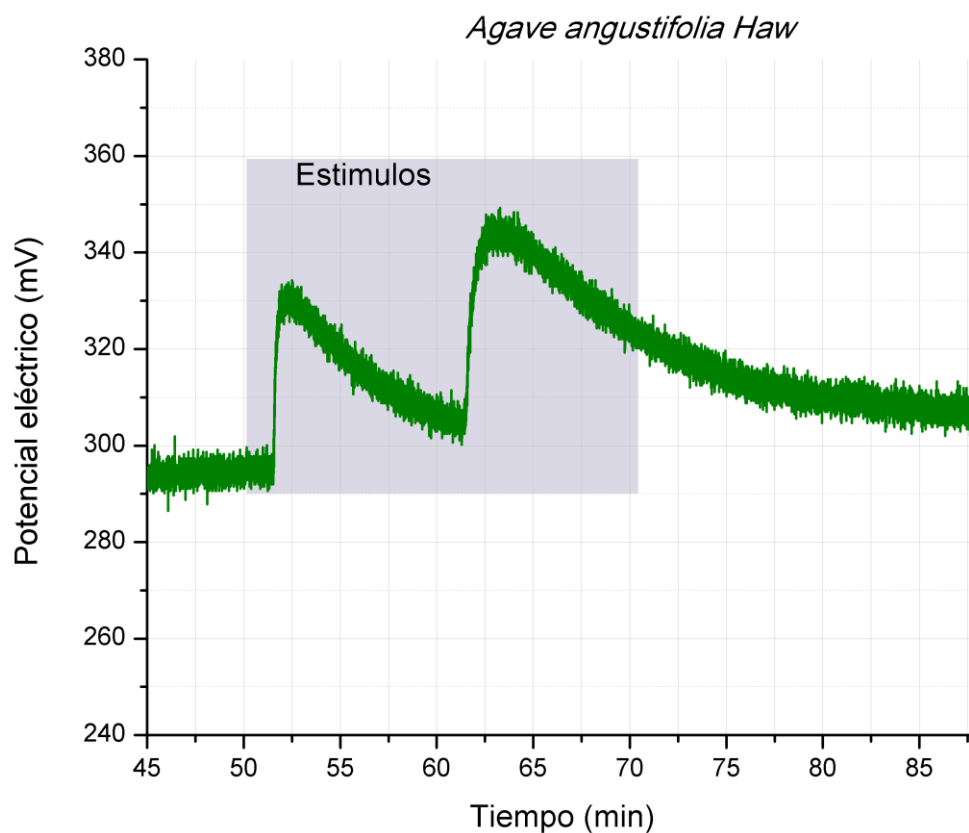
Para comenzar a probar el sistema sensor y su sensibilidad a los cambios que pudiese percibir el agave del exterior, se efectuó además el estímulo con agua potable, y lo que se pudo ver fue un cambio en el potencial eléctrico de +3mV en promedio y con una duración de 2 minutos (Fig.14) y estos cambios pudieron ser apreciados en los minutos 40 y 55 como se muestra en la figura a continuación.

Figura 14. Sensibilidad del sistema sensor con agua potable.

Sensibilidad del sistema sensor con agua potable. En el minuto 40 se puede apreciar el cambio en el potencial eléctrico del *Agave angustifolia Haw*, así como también en el minuto 55, minutos antes no se registró algún cambio en el potencial eléctrico del agave.

Para el caso de daños mecánicos, se pudo comprobar que en efecto la configuración el sistema sensor permite detectar los cambios en el potencial de variación cuando de un estímulo por daño mecánico se trata. La siguiente imagen (Fig. 15) muestra una amplitud en la variación de potencial de 37.5 mV en promedio y con una duración promedio de 15 minutos tiempo, para volver nuevamente al estado de reposo.

Figura 15. Respuesta eléctrica del agave ante daño mecánico.

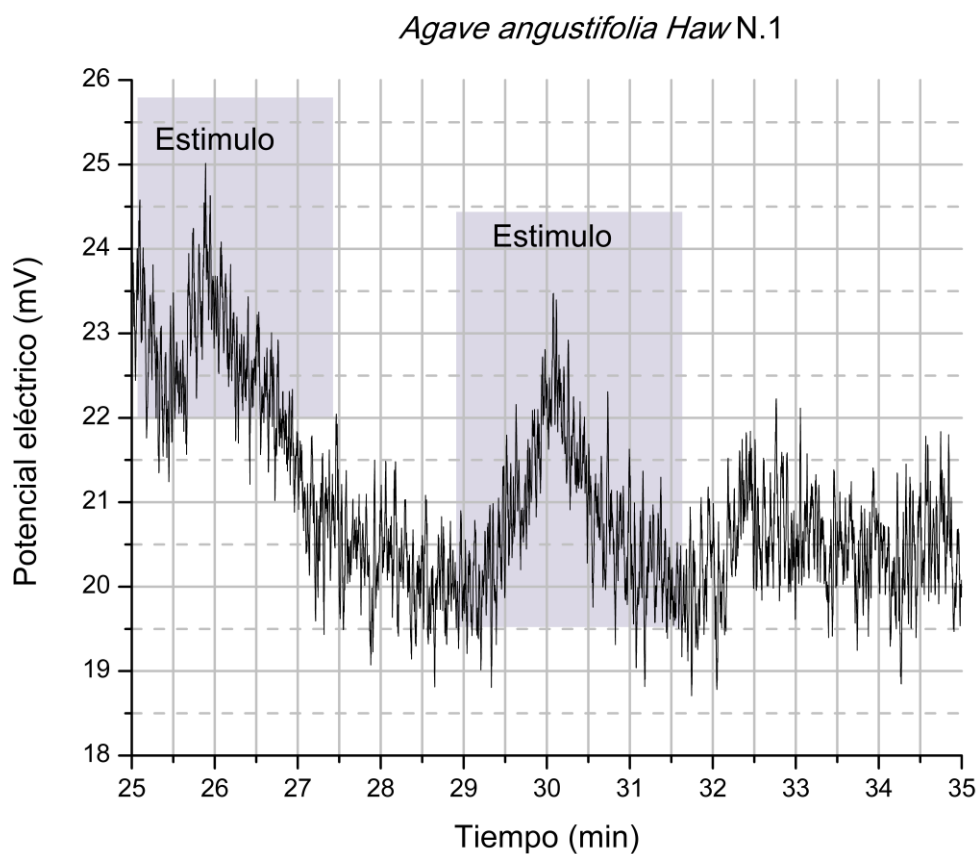


Respuesta eléctrica del agave ante daño mecánico. 50 minutos después de estado de reposo en el sistema sensor se realizó un corte en la hoja del agave (daño mecánico) que se vio reflejado al instante como un cambio en el potencial eléctrico (minuto 51 aproximadamente). 10 minutos después (minuto 60) se realiza un segundo corte en la hoja y éste se vuelve a ver reflejado en una variación en el potencial eléctrico al instante (minuto 61).

Finalmente, se sometieron los 10 ejemplares de agaves a estímulos hídricos que consistieron en adicionar 250 ml de agua desionizada a los 15, 30 y 45 minutos de haber iniciado con el sistema sensor para detectar los cambios de humedad (una vez después de haber registrado el estado de reposo). La ubicación de los electrodos fue en la hoja media del agave en la parte más cercana al nacimiento de la penca, con una distancia entre ellos máxima de 1 cm. Los experimentos fueron realizados en dos ciclos bajo las mismas condiciones de irrigación con la diferencia de entre uno y otro del tiempo que se mantuvieron en estrés por sequía, es decir 4 semanas sin regar los agaves para iniciar el primer ciclo y 8 semanas sin regar los agaves para el segundo ciclo y los resultados obtenidos fueron los que a continuación se detallan.

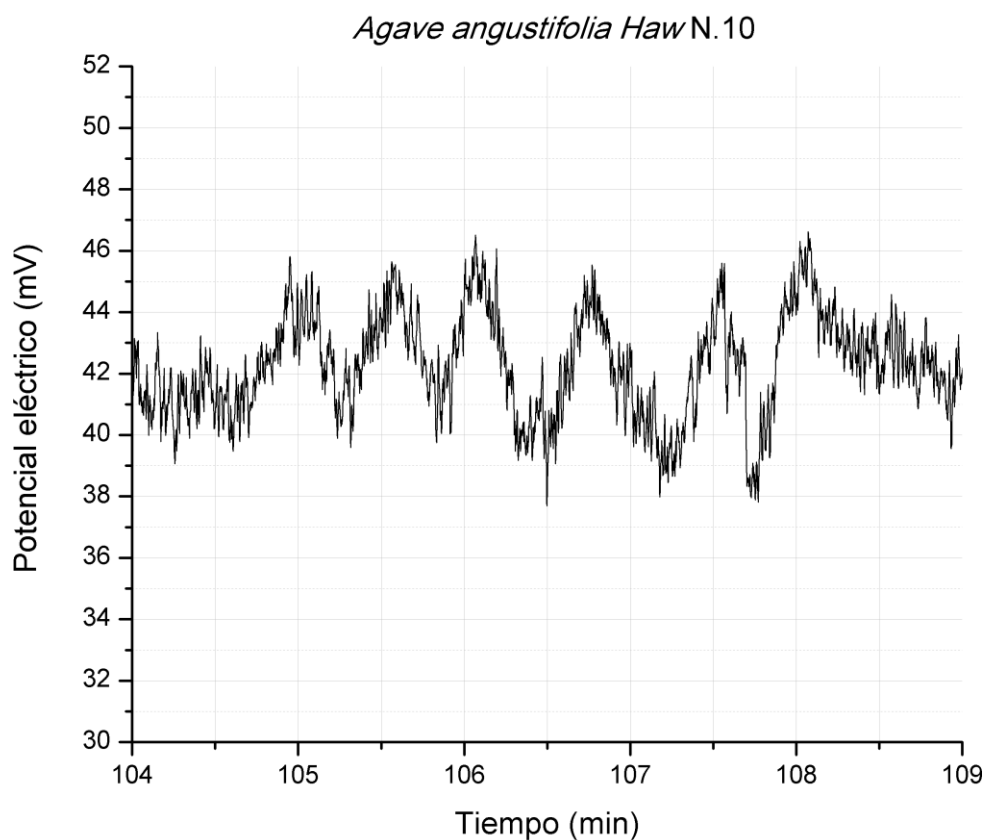
Como se puede observar (Fig. 16) se detecta el cambio que sufre el agave después de ser irrigado con agua desionizada y esto se ve reflejado por el cambio en el potencial eléctrico en los minutos 25.5 y 29.5 respectivamente, que se pueden considerar como eventos espontáneos (potenciales de acción) e incluso aislados uno de otro por un breve periodo de tiempo. Sin embargo, también se pudo observar (Fig.17) la propagación de esta señal eléctrica en el agave, durante un periodo corto de tiempo, teniendo como característica una amplitud bastante similar ($2.5 \pm 1 \text{ mV}$).

Figura 16. Respuesta eléctrica del agave con agua desionizada.



Potencial de acción en el *Agave angustifolia* Haw. En la figura se aprecia de manera gráfica el momento en que se detecta un cambio en el potencial eléctrico del agave después de que éste fue irrigado con agua desionizada después de 25 minutos en que no se veía alterado su estado de reposo.

Figura 17. Propagación de la señal eléctrica en *Agave angustifolia* Haw.

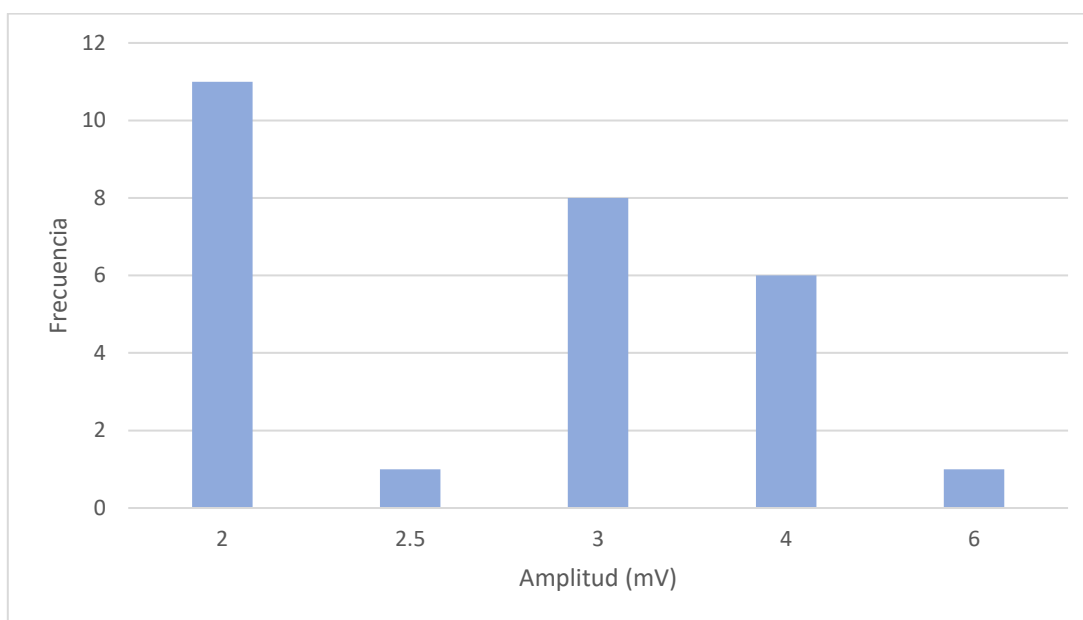


Propagación del Potencial de acción en el *Agave angustifolia* Haw. La gráfica se muestra a partir del minuto 104 puesto que es el lapso de tiempo hasta los 109 minutos en que se puede apreciar la propagación de esta señal eléctrica.

Con los resultados obtenidos se hizo un análisis descriptivo, que a su vez fueron separados para su identificación como eventos ocurridos durante el primer y segundo ciclo de irrigación. Y se concentraron estos datos como a continuación se describe.

En el primer ciclo de irrigación (Gráfica 2), se pudo encontrar que se generaron respuestas eléctricas que por sus características como el ser espontáneas, de amplitud y duración constantes, además de responder al tipo de estímulo con agua, que no representa un evento de tipo catastrófico para la planta, corresponden a ser potenciales de acción. Que como se puede observar (Tabla 4) de un total de 27 eventos registrados, 11 de ellos correspondieron a la frecuencia más alta de 2mV respecto de la amplitud del potencial de acción, seguido de una amplitud de 3 y 4 mV con una frecuencia de 8 y 6 respectivamente. Para este primer ciclo de irrigación, la media fue de 2.91 respecto de la amplitud y una desviación estándar de 1.

Gráfica 2. Amplitud de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw, en el primer ciclo de irrigación.



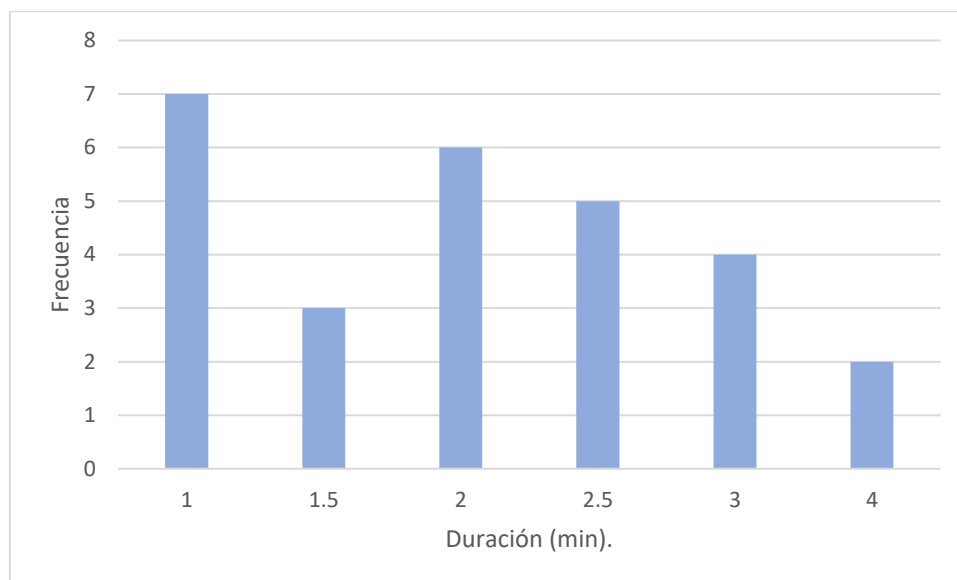
Frecuencias de la amplitud (mV) de los potenciales de acción para el *Agave angustifolia* Haw. En el primer ciclo de irrigación que consistió en la adición de 250 ml de agua desionizada a los 15, 30 y 45 minutos de estabilidad en el sistema sensor. Estrés de 4 semanas sin agua. Con una media de 2.91 y una desviación estándar de 1.

Tabla 4. Amplitud de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw (primer ciclo de irrigación).

Amplitud (mV)	Frecuencia
2	11
2.5	1
3	8
4	6
6	1
Total	27

Respecto de la duración de estos potenciales de acción en el primer ciclo, se obtuvo lo siguiente (gráfica 3) en donde se puede observar que la frecuencia más alta de 7 corresponde a la duración de 1 minuto (Tabla 5), seguidos de una duración de 2 y 2.5 minutos con una frecuencia de 6 y 5 respectivamente mientras que la más baja fue de 4 minutos con una frecuencia de 2 de los 27 eventos reportados.

Gráfica 3. Duración de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw (primer ciclo de irrigación).



Frecuencias de la duración en minutos de los potenciales de acción. Con una media de 2.07 y una desviación estándar de 0.896, de un total de 27 eventos registrados.

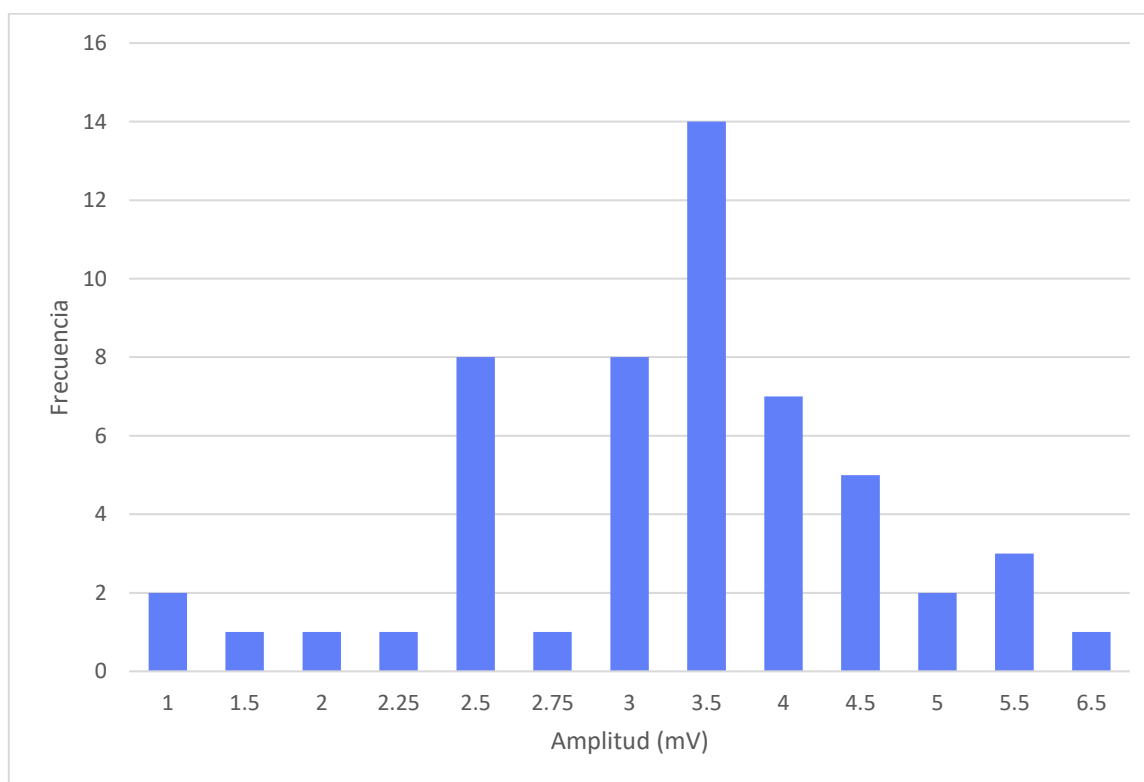
Tabla 5. Frecuencia de la duración de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw (primer ciclo de irrigación).

Duración (min)	Frecuencia
1	7
1.5	3
2	6
2.5	5

3	4
4	2
Total	27

En el segundo ciclo de irrigación se tuvo un tiempo de estrés por sequía de 8 semanas, los potenciales de acción con una frecuencia más alta de 14 (Gráfica 4) corresponden a una amplitud de 3.5 mV (Tabla 6) seguido de una amplitud de 3 y 2.5 mV con una frecuencia de 8 para uno de un total de 54 eventos registrados.

Gráfica 4. Amplitud de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw, en el segundo ciclo de irrigación.



Frecuencias de la amplitud de los potenciales de acción para el *Agave angustifolia* Haw. Este segundo ciclo de irrigación consistió en la adición de 250 ml de agua desionizada a los

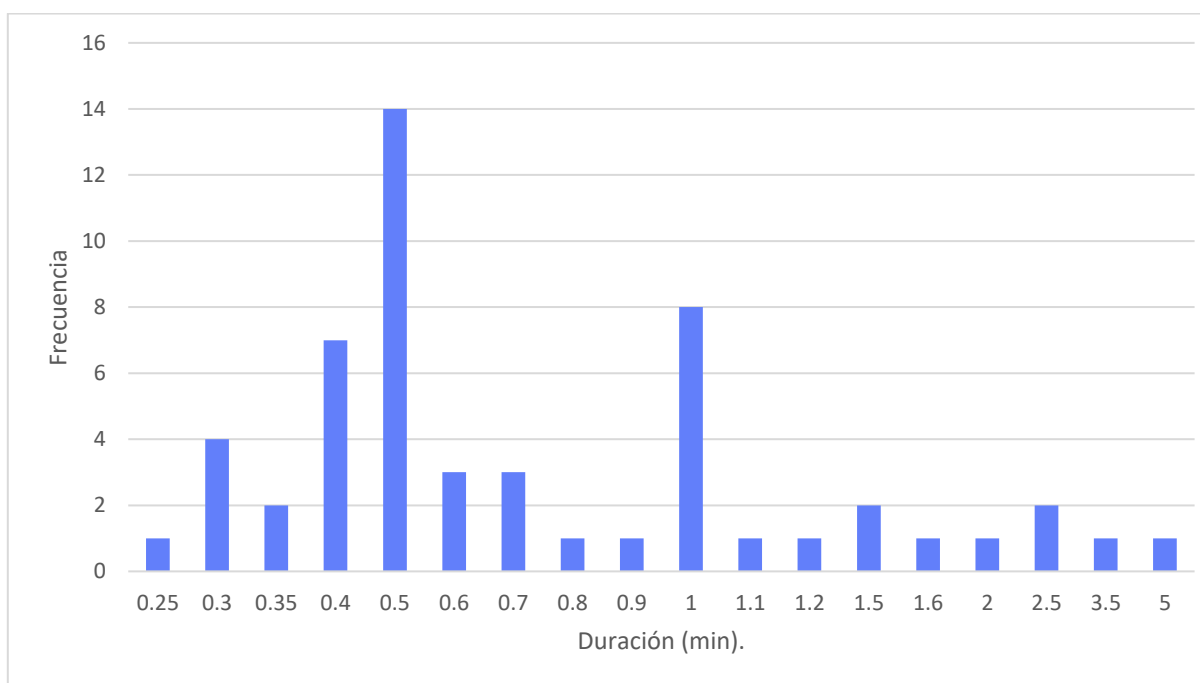
15, 30 y 45 minutos de estabilidad en el sistema sensor. Estrés de 8 semanas sin agua. Con una media de 3.46 y una desviación estándar de 1.091.

Tabla 6. Amplitud de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw (segundo ciclo de irrigación).

Amplitud (mV)	Frecuencia
1	2
1.5	1
2	1
2.25	1
2.5	8
2.75	1
3	8
3.5	14
4	7
4.5	5
5	2
5.5	3
6.5	1
Total	54

Respecto de la duración de estos potenciales de acción para el segundo ciclo, se obtuvo lo siguiente (gráfica 5) en donde se puede observar que la frecuencia más alta de 14 corresponde a la duración de 0.5 minutos, seguidos de una duración de 1 y 0.4 minutos con una frecuencia de 8 y 7 respectivamente de un total de 54 eventos registrados (Tabla 7).

Gráfica 5. Duración de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw (segundo ciclo de irrigación).



Frecuencias de la duración en minutos de potenciales de acción en el segundo ciclo de irrigación para el *Agave angustifolia* Haw, con una media de 0.89 y desviación estándar de 0.849 para un total de 54 eventos registrados.

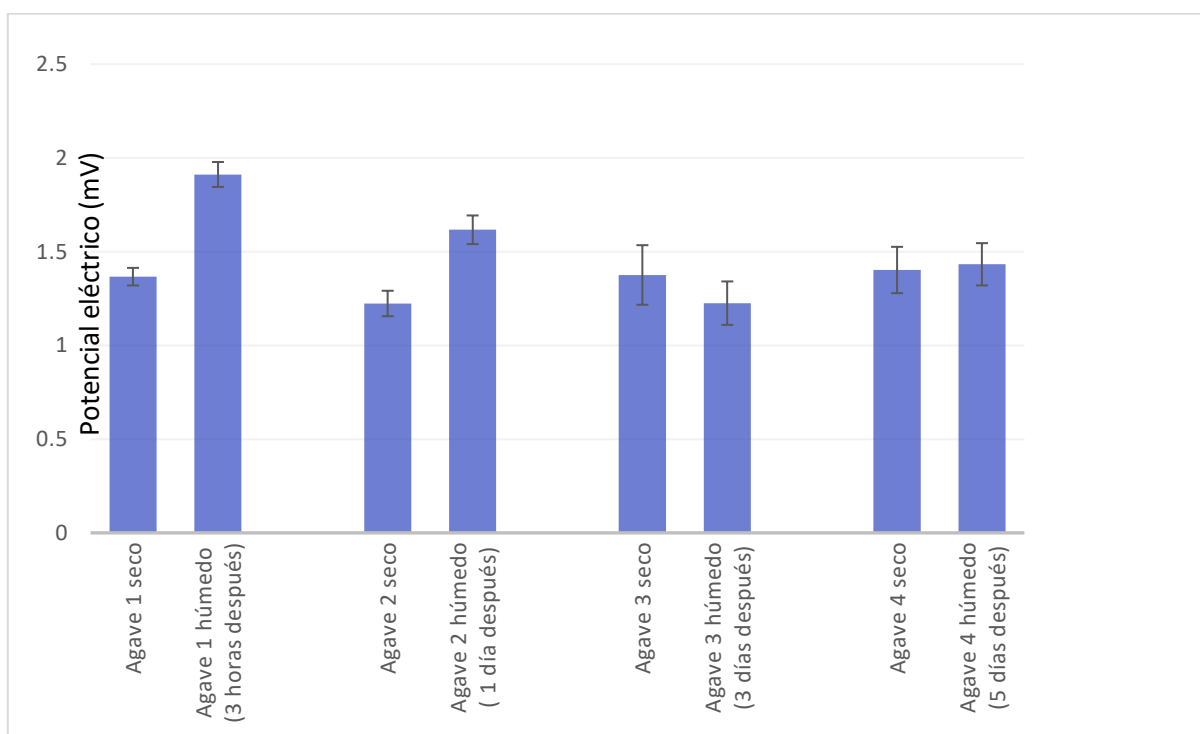
Tabla 7. Frecuencia de la duración de los potenciales de acción para *Agave angustifolia* Haw (segundo ciclo de irrigación).

Duración (min)	Frecuencia
0.25	1
0.30	4
0.35	2
0.40	7
0.50	14
0.60	3
0.70	3
0.80	1
0.90	1
1.00	8
1.10	1
1.20	1
1.50	2
1.60	1
2.00	1
2.5	2

3.5	1
5	1
Total	54

Finalmente se agrega la respuesta eléctrica del agave antes de regarse que se muestrea nuevamente en diferentes tiempos después de haberse regado (gráfica 6). Viendo que la diferencia en la respuesta eléctrica es significativa cuando menor es el tiempo que transcurre entre haber regado el agave y muestrear la señal. A medida que este tiempo aumenta la diferencia de esta respuesta eléctrica disminuye.

Gráfica 6. Respuesta eléctrica del agave en condiciones de estrés por sequía e irrigación.



Variación de voltaje entre el agave seco y húmedo.

Capítulo IX. DISCUSIONES

Los agaves por naturaleza presentan un ciclo largo de vida y lento desarrollo para crecer y llegar a su madurez y al haber obtenido en su respuesta eléctrica un promedio de 3.18 mV para sus potenciales de acción, se puede asociar entonces estos valores con la especie, ya que como algunos autores lo señalan “las plantas de una misma especie y en las mismas condiciones, deberían exhibir formas muy similares en los potenciales eléctricos aunque no idénticos, sin embargo se esperan variaciones entre individuos de diferentes especies” (Mudalige 2020). La *Dionaea muscipula Ellis*, es una planta sensitiva que presenta uno de los movimientos más rápidos conocidos del reino vegetal, cuyos potenciales de acción van de los 14 hasta los 200 mV (Volkov 2019), si comparamos estos valores con los obtenidos en para el *Agave angustifolia Haw*, podemos apreciar una diferencia significativa entre ambas especies. Aunado a esto, como se puede apreciar entre estas especies, hay una diferencia respecto de la duración de estas señales eléctricas (Tabla 8), mientras que para *Agave angustifolia Haw*, esta duración es de 1.48 minutos en promedio, la bibliografía refiere que, en otras especies, como es el caso de *Dionaea muscipula Ellis*, este valor va de los 2 ms a los 10 segundos (Volkov 2019). Esto a su vez nos deja claro como lo señalan otros autores, que los potenciales de acción no son sólo característicos de las denominadas “plantas sensitivas” como *Dionaea muscipula Ellis* o *Mimosa púdica* (Hagihara 2020), sino que todas las plantas presentan estas señales eléctricas rápidas (Baluska et al., 2021).

Respecto de lo las variaciones que se pudieron apreciar dentro de la misma especie para *Agave angustifolia Haw*, tenemos que durante el segundo ciclo de experimentación se observaron un total de 54 eventos (Tabla 6) que fue el doble de los que registraron durante el primero, que fue de 27 eventos (Tabla 4), cabe señalar además que el tiempo de estrés por sequía para el primer ciclo fue de 4 semanas respecto del segundo ciclo que fue de 8 semanas y en este aspecto a considerar es importante resaltar que se trata de una especie vegetal resistente al estrés por sequía

y otras condiciones adversas de crecimiento bajo sus condiciones naturales (Barrientos Rivera et al., 2019) además de considerar que un flujo restringido del agua en el suelo hacia el agave debido a la sequedad del sustrato bien puede ser un factor para desencadenar estrés hídrico en el agave (Ríos Rojas et al., 2015) respecto de otras especies vegetales como en el caso de *Phaseolus Vulgaris L.*, que se ha reportado en la bibliografía, donde se ha utilizado un estrés hídrico de 3 a 5 días en condiciones de laboratorio, y que ha reflejado a su vez la evidencia del aumento en el potencial eléctrico al existir la falta de agua y alcanzando nuevamente el nivel inicial de voltaje cercano a 0v tiempo después de iniciar etapa de irrigación (Ramírez Bautista et al., 2022). Esta variación en la respuesta por irrigación lo ponen de manifiesto otros autores también, al señalar que “las plantas que son estresadas por el agua y las que no lo son, manifiestan una señal eléctrica diferente” (Ríos Rojas et al., 2015).

Finalmente se agrega una tabla comparativa (tabla 8), para señalar mejor las diferencias de algunas variables utilizadas en el estudio electrofisiológico de *Agave angustifolia Haw.* y discernirlas con aquellas especies que involucraron de igual manera un perfil eléctrico en sus investigaciones y son las que a continuación se mencionan: *Dionaea muscipula Ellis*, *Ruellia nudiflora*, *Epipremnum aureum* y *Phaseolus vulgaris L.*

Tabla 8. Comparación de *Agave angustifolia* Haw, con otras especies.

Especie.	Amplitud de la señal eléctrica.	Duración de la señal eléctrica.	Tipos de electrodos.	Equipo para interfaz de los sensores.	Programas y equipos utilizados para la adquisición de datos.	Tiempo de estrés hídrico.
<i>Agave angustifolia</i> Haw	3.18 mV	1.48 min	Tipo metálicos redox (inertes)	Potenciostato / galvanostato (Orygalis, OGF500, Francia).	OrigaMaster 5 y Originlab 8.1. Equipo de cómputo.	4 y 8 semanas.
<i>Dionaea muscipula</i> Ellis (Volkov 2019)	14 a 200 mV	2 ms a 10seg.	Electrodos en punta de alambre de plata y platino. Electrodos para ECG. Electrodos McKesson ECG.	Módulo de Entrada Analógica NI-9206 de 16 Bits; -Chasis NI-cDAQ-9174 CompactDAQ	Microcomputadoras NI-PXI-1042Q con tarjeta de adquisición de datos enchufable de E / S multifunción simultánea NI-PXI-6115(National Instruments, Austin, TX, EE. UU.)	-----
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (Ramírez Bautista et al., 2022).	-----	-----	Electrodo fabricado con cable (Adherido / Insertado) Adaptación de electrodo de Ag/AgCl (Adherido).	Sensores MyoWare (Advancer Technologies) Microcontrolador de 8 bits.	Realterm y Excel.	2 y 5 días
<i>Ruellia nudiflora</i> y <i>Epipremnum aureum</i> . (Gómez H. 2016).	-----	-----	2 cables de tipo UTP (Unshielded Twisted Pair).	Chasis cDAQ-9172 como interfaz de los sensores con dos módulos de National Instruments.	Labview Signal Express (National Instruments)	-----
<i>Ficus benjamina</i> (Gómez H. 2016).	-----	-----	Cable de cobre con lámina de plata soldada.	Multímetro con sistema de adquisición de datos.	Spyder Python 2.7	-----

Es menester resaltar también en este punto, que el tipo de electrodos utilizados para el estudio electrofisiológico de *Agave angustifolia* Haw, no coincide plenamente con aquellos reportados en la bibliografía que han sido utilizados para otras especies, como en el caso de *Ficus benjamina*, *Ruellia nudiflora*, *Phaseolus vulgaris* L. o la propia *Dionaea muscipula* Ellis, (Ramírez Bautista et al., 2022, Volkov 2019, Gómez H., 2016). Puesto que es necesario considerar la especie vegetal con la que se trabaja y si en ella la señal eléctrica será medida, por algunos minutos o varias horas, algunos autores refieren incluso que la señal eléctrica puede ser monitoreada por días (Ramírez Bautista et al., 2022) y determinar entonces si los electrodos se utilizarán de forma invasiva o no invasiva, ya que como se puede apreciar en diferentes especies vegetales (Tabla 8) los electrodos pueden ser insertados o adheridos al sistema vegetal, como en el caso de los electrodos ECG o fabricados con cable de cobre, o bien adaptados con lámina de plata.

Capítulo X. CONCLUSIONES

Las señales eléctricas que genera el agave están asociadas al tipo de estímulo que recibe del medio exterior. Con el presente trabajo se pudo demostrar que es posible detectar los cambios que sufre el agave por estrés y ante un estímulo proveniente de su medio externo a través del estudio electrofisiológico que se hizo. En este caso se pudieron probar dos tipos de estímulo que fueron por agua y por daño mecánico, siendo el estudio por irrigación el que se analizó más a fondo y por lo cual se puede aseverar lo siguiente: en principio que estas señales van a ser diferentes en cuanto a amplitud y duración dependiendo del tipo de estímulo que las genere; en el caso de un estímulo por agua que es considerado beneficioso para el agave, no invasivo y no le provoca un daño catastrófico se obtiene en respuesta un potencial de acción, que tiene como característica una amplitud y duración de la señal eléctrica, que para el caso particular de esta especie de agave la media obtenida fue de 3.185 mV y con una duración de 1.48 minutos en promedio, recordando que sus condiciones de cuidado y características de edad fueron detalladas en la metodología.

El uso de una metodología como la que en este trabajo se detalla, es decir utilizando las especificaciones de la configuración citada anteriormente; el uso del potencióstato/galvanostato (Orygalis, OGF500, Francia) conectado al tipo de electrodos cuyas características se detallan al igual en la metodología, nos permitirán la detección, el registro y la cuantificación de este tipo de señales eléctricas, o dicho de otra forma, con este estudio electrofisiológico nos es posible detectar los cambios que sufre el *Agave angustifolia* Haw, por daño mecánico y por estrés hídrico.

Capítulo XI. PERSPECTIVAS

Con base en el análisis anterior, se sugiere incluir en la metodología diferentes edades para esta especie de agave partiendo del registro que ya se tiene en el presente trabajo y utilizarlo como una referencia para comparar aquellos datos que arrojen estudios posteriores y ver si este conjunto de información pueden servir como una base de datos que nos permita establecer ciertos patrones el comportamiento de *Agave angustifolia* Haw, frente a estímulos por humedad y valorar si es posible utilizarlo como una técnica de fitomonitorio, por mencionar algo o en el desarrollo de algún tipo de fitosensor como se ha reportado con otras especies vegetales. Cabe señalar además que podría incluirse también el estudio electrofisiológico del agave ante la infestación por patógenos, considerando el grave daño que causa a los productores las pérdidas de agave por este tipo de plagas. Probar este estudio con otras especies de agaves del estado de Oaxaca para comparar posibles variaciones entre una especie y otra y finalmente ir de las condiciones controladas de laboratorio al estudio de esta misma especie de agave en condiciones naturales.

XII. REFERENCIAS.

A. G. Volkov, "Signaling in electrical networks of the Venus flytrap (*Dionaea muscipula Ellis*", Bioelectrochemistry. Vol.125. pp. 25-32. February 2019.

Ait Hammou Karima (2016). Mecanismos de incorporación y homeostasis citoplasmática de potasio y de sodio en *Halimione portulacoides (L.) Aellen*. (Tesis Doctoral). Universidad de Málaga. Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es.

Alfaro, V. 2005. El potencial de membrana. Potenciales de reposo. Potenciales electrotónico y local. Fisiología animal. (Eds.) Teresa Pages, Josefina Blasco y Luis Palacios. Textos docentes. Universidad de Barcelona. pp. 17-22.

Baluska, F. y Levin, M. (2016). On having no head: Cognition throughout biological systems. *Frontiers in Psychology*, 7, 1-19.

Baluska Frantisek, Mancuso Stefano & Volkenburgh Van Elizabeth (2021) Barbara G. Pickard - Queen of Plant Electrophysiology, *Plant Signaling & Behavior*, 16:6, 1911400, DOI: 10.1080/15592324.2021.1911400.

Bard, A., & Faulkner, L. (2000). *Electrochemical methods: fundamentals and applications* (Segunda ed.). Austin, Texas, USA: JOHN WILEY & SONS, INC.

Barrientos Rivera G., Esparza Ibarra, Edgar León, Segura Pacheco, Héctor Ramón, Talavera Mendoza, Óscar, Sampedro Rosas, María Laura, & Hernández Castro, Elías. (2020). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3), 655-668. Epub 30 de marzo de 2020.<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1554>

Bravo & C. R. Pinedo. 2010. Medición de la impedancia eléctrica en tejido biológico-Revisión. *Revista Tecnológicas* 25:51-76.

Buño, W. & A. Araque 2007. Propiedades eléctricas de las células excitables. Maestría en neurociencia y biología del comportamiento. Sección II. Características de los componentes celulares del tejido nervioso. Instituto Cajal. CSIC. Madrid, España. 147-173.

Calvo, P. y Keijzer, F. A. (2009). Cognition in plants. En: F. Baluska (ed.) Plant-environment Interactions. Bonn: Springer.

Calvo, P. y Keijzer, F. A. (2011). Plants: Adaptive behavior, root-brains, and minimal cognition. *Adaptive Behavior*, 19, 155-171.

Chaparro-Cárdenas, S.L., Ramírez Bautista, J.A., Gamboa Contreras, W., Moreno Chacón, A.L. & Vargas Tangua, F.C., (2021) Plant electrophysiology: bibliometric análisis, methods and applications in the monitoring of plant-environment interactions. *DYNA*, 88 (218), pp. 212-223. ISSN 0012-7353.
DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n218.92405>

Colunga, G. M. P.; Zizumbo, V. D. y Martínez, T. J. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural. In: en lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. Colunga, G. M. P.; Larqué, S. A.; Eguiarte, L. E. y Zizumbo, V. D. (Eds.). CICY-CONACYT-CONABIO-INE. México. 229-248 pp.

Dean R. Van Kan JAL, Pretorius ZA, HAMmond-Kosack KE, Di Pierto A, Spanu PD, Rudd JJ, Dickman M, Kahmann R. Ellis J., Foster GD., 2012. The top 10 fungal phatogens in molecular plant pthology. *Molecular plant pathology*, 13: 414430.

Enríquez, V. J. R.; Velasco, V. V. A.; Campos, A. G. V.; Hernández, G. E. y Rodríguez, M. M. N. 2009. Agave angustifolia plants grown with different fertigation doses and organic substrates. *Acta Horticulturae* 843:49- 55.

Espinosa, P. H.; Arredondo, V C.; Cano, G. M.A.; Canseco, L.A. y Vásquez, Q. F. 2002. La materia prima para producir el mezcal Oaxaqueño. Catálogo de la diversidad de

agaves. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur (CIRPS). Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Oaxaca. 68 p.

Fucikovsky, LZ. 2000. La tristeza y muerte de Agave tequiliana weber var. Azul (TMA) y os microorganismos e insectos importantes relacionados. Pp.90. in memorias del XXVII Congreso Nacional de Fitopatología. Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Fucikovsky- Zac. 2001. Tristeza and death of Agave tequila Weber, var. Azul. Ed. De Boer, SH. In: plant pathogenic bacteria. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, London. 454 p.

García Servín, M. A., Mendoza Sánchez, M., Contreras Medina, L.M., (2021). Y las plantas ¿sienten? DIGITALCIENCIA@UAQRO. 13(1), PP. 29-35. ISSN: 2395-8847.

Gómez Hernández Karen Beatriz (2016). Electrofisiología y Termoelectricidad en los Sistemas Vegetales. (Tesis de maestría). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida.

Hagihara Takuma and Toyota Masatsugu (2020). Mechanical Signaling in the Sensitive Plant Mimosa pudica L. Plants, 9(5), 587. <https://doi.org/10.3390/plants9050587>.

Hernández Perez, Alberto y Vinas, David Elías. Diseño de un sistema electrónico para registrar la respuesta eléctrica en la planta mimosa, debido a estímulos de luz blanca. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. 2015, vol.38, n.1, pp.58-63. ISSN 0254-0770.

J. Chaparro. "Instrumentación en electrofisiología celular vegetal", Actividad eléctrica en plantas. 2001.

Maffei Massimo E, Arimura Gen-Ichiro, Mithofer Axel, (2012) Natural elicitors, effectors and modulators of plant responses. Natural Product Reports 29(11):1288–1303. DOI <https://doi.org/10.1039/C2NP20053H>

Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna & Guligena Muhetaer (2020) Electrode insertion generates slow propagating electric potentials in *Myriophyllum aquaticum* plants, *Plant Signaling & Behavior*, 15:3, 1734332, DOI: 10.1080/15592324.2020.1734332

NMX-F-615-NORMEX-2018. Alimentos-determinación de extracto etéreo (método soxhlet) en alimentos-método de prueba.

NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos.

Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016.

Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980 Alimentos Determinación de Proteínas por el método de Kjeldahl.

NORMA Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico.

NORMA Oficial Mexicana NOM-F-90-S-1978. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos.

Novoplansky, A. (2016). Future Perception in Plants. In: Nadin, M. (eds) *Anticipation Across Disciplines. Cognitive Systems Monographs*, 29. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22599-9_5

Ríos-Rojas, L. Morales-Moraga, D., Alcalde J. A. & L Gurovich, L.A. (2015) Use of plant woody species electrical potential for irrigation scheduling, *Plant Signaling & Behavior*, 10(2). DOI: 10.4161/15592324.2014.976487

Ramírez Bautista, J.A, Chaparro Cárdenas, S.L., Gamboa Contreras, W., (2022) Detección de potenciales eléctricos celulares del cultivo de *Phaseolus Vulgaris L.* *Matices Tecnológicos*, 14, 38-46. ISSN 2027-4408

Volkov G. Alexander (2019). Signaling in electrical networks of the Venus flytrap (*Dionaea muscipula Ellis*), *Bioelectrochemistry*, 125, 25-32. ISSN 1567-5394, <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2018.09.001>

Vodeneev, V.A., Katicheva, L.A. & Sukhov, V.S. Electrical signals in higher plants: Mechanisms of generation and propagation. *BIOPHYSICS* 61, 505–512 (2016).
<https://doi.org/10.1134/S0006350916030209>

Zebelo Simon A., Maffei Massimo E. (2016) Deciphering Chemical Language of Plant Communication. Springer Editors: Blande J.D., Glindwood R. Plan electrophysiology: Early stages of the plant response to chemical signals (pp.285-303). DOI:10.1007/978-3-319-33498-1_12.