



**Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo A. C.**

**ÁCIDO ABSCISICO-GIBERELINAS COMO INDICADOR
DE VIVIPARIDAD EN NOGAL PECANERO (*Carya
illinoensis* K.)**

Por:

Valentín León García

TESIS APROBADA POR LA:

**COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
DE ORIGEN VEGETAL**

Como requisito para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS

Hermosillo, Sonora

Febrero de 2014

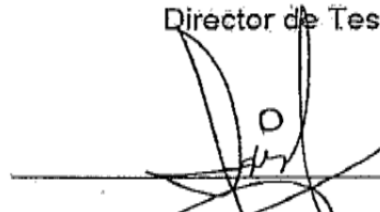
APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de I.B. Valentín León García, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



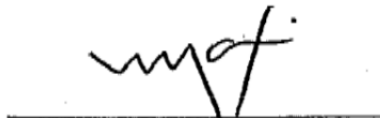
Dr. Miguel Ángel Martínez Téllez

Director de Tesis



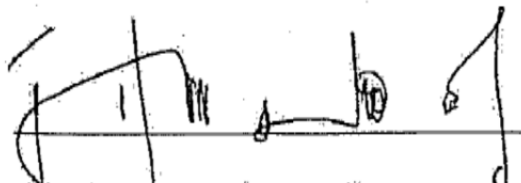
Dra. Irasema Vargas Arispuro

Asesora



Dra. María Auxiliadora Islas Osuna

Asesora



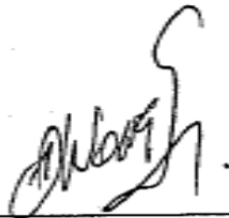
Dr. Jesús Humberto Núñez Moreno

Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.

La publicación en comunicaciones científicas o divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión, del director de la tesis



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por otorgarme la beca, la cual fue indispensable para la realización de este trabajo.

Al CIAD, A.C. por permitirme utilizar sus instalaciones para realizar mi tesis de maestría, ayudándome en esta etapa a cumplir con mi preparación profesional.

A los productores de nuez de la Costa de Hermosillo y Baviácora por su apoyo al proporcionar muestras para la realización de este trabajo.

Al Dr. Miguel Ángel Martínez Téllez su apoyo incondicional durante la realización del proyecto.

A la Dra. Irasema Vargas Arispuro, por sus aportaciones, asesorías y apoyo brindado.

A la Dra. María Auxiliadora Islas Osuna, por su apoyo constante y confianza en todo momento.

Al Dr. Humberto Núñez Moreno, por brindar su amplia experiencia y conocimiento.

A la M.C. Consuelo Corrales Maldonado por su apoyo incondicional, base de este producto.

A la M.C. Marisol Ochoa Villareal por su apoyo técnico, asesorías brindadas y el interés mostrado durante la realización del proyecto.

Al M.C. Emmanuel Aispuro Hernández por su apoyo técnico, y el tiempo dedicado en las aportaciones para la realización de esta tesis.

Al Q.B.A. Francisco Soto por la ayuda en la realización durante todo el desarrollo del proyecto.

A la Q.B. Socorro Vallejo por sus asesorías, soporte técnico y inagotable disposición.

Al M.C. Orlando Tortoledo por brindarme confianza y apoyo en mi estancia.

A la Q.B.C. Yuri Edith Aguirre Guzmán, Q.B.C. Juan Reyes Calderón, Q.B.C. Cynthia Aguilar, Q.B.C. Demetrio Morales, Q.B.C. Dahlia Nuñez, M.C. Manuel Díaz, M.C. Gabriel Romero, M.C. Araceli Vera, M.C. Vanessa García, M.C. Gabriela Andrade por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo,

agradezco la ayuda y aportación de conocimientos, así como la compañía durante esta etapa.

A la Dra. Rosalba Troncoso por sus buenos consejos durante esta etapa.

Al M.C. Antonio Orozco por su aportación de conocimiento y literaria para el enriquecimiento de esta tesis.

Al M.C. Luis Enrique González por facilitar el equipo y asesoramiento técnico.

Al M.C. Alberto Sánchez por enriquecer el proyecto en buena medida.

Al Dr. Humberto González por su apoyo en la parte estadística.

Al Dr. Jesús Fernando Ayala por sus asesorías.

Al laboratorio de Ecología Química de CIAD, por su apoyo técnico y proporcionar material y equipo cuando se requirió.

Al laboratorio de Proximal de CIAD, y al M.C. Luis Enrique González por facilitar el uso de equipo y su asesoramiento técnico.

Al laboratorio de Ciencia y Tecnología de Cereales de CIAD, y a la Q.B. María del Carmen Granados por su apoyo técnico y material de laboratorio

Lic. Laura Elizabeth García Cruz por todo el apoyo, consejos y sobre todo su valiosa amistad desde el primer momento que inicie mi estancia en CIAD.

Lic. Verónica Araiza Sánchez y Lic. Argelia Marín, la M. D. R. Alejandra Córdova Moreno por apoyo en la logística y en el trámite para entrega de tesis y defensa de grado.

Al M.C. Víctor Alexander Quintana, gracias por tu amistad mi amigo.

A la M.C. Isela Rodríguez y M.C. Liliana Alfaro, grandes amistades.

A mis compañeros de generación.

DEDICATORIA

Al Gran Arquitecto del Universo.

A mi padre Valentín León Torres, ejemplo de vida.

A mi madre por siempre estar a mi lado y llenarme de amor.

**A mi hermana Alma Berenice León García, por guiarme como
hermano.**

**A mi hermana Fátima Lorena León García, por enseñarme el valor y
esencia del hermano mayor.**

Familia, los amo.

A mis familiares tíos, primos y sobrinos.

**A mis amigos y las familias de esas grandes personas que me
acompañaron en el caminar de esta bella etapa.**

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	Xi
ABSTRACT.....	Xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
Importancia económica de la nuez pecanera en México.....	2
Factores que afectan la productividad de nuez pecanera en México.....	3
Viviparidad.....	3
Factores que promueven la viviparidad.....	4
Ambientales.....	4
Temperatura.....	4
Humedad relativa.....	5
Hormonales.....	5
Ácid abscísico.....	6
Giberelinas.....	6
JUSTIFICACIÓN.....	8
HIPÓTESIS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Material vegetal y regiones de colecta de muestras.....	12
Diseño del experimento.....	12
Determinación del porcentaje de germinación.....	13
Grados de viviparidad en nuez pecanera.....	14
Análisis de giberelinas y ácido abscísico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).....	14
Extracción de giberelinas y ácido abscísico.....	14
Cuantificación de giberelinas-ácido abscísico por HPLC.....	15

CONTENIDO

Medición de temperatura y humedad relativa.....	16
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
Temperatura y Humedad.....	18
Porcentaje de Germinación en Nuez Pecanera.....	22
Niveles de ABA por Grado de Viviparidad en Nuez Pecanera Cultivar ‘Wichita’ de la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	24
Niveles de GAS A ₁ , A ₃ , A ₄ y A ₇ por Grado de Viviparidad de Nuez Pecanera Cultivar ‘Wichita’ en la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	26
Niveles de ABA por Grado de Viviparidad de Nuez Pecanera Cultivar ‘Western’ en la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	29
Niveles de Giberelinas A ₁ , A ₃ , A ₄ y A ₇ por Grado de Viviparidad de Nuez Pecanera Cultivar ‘Western’ en la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	30
Niveles de ABA Durante el Desarrollo en Nuez Pecanera de la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	30
Niveles de Giberelinas GA ₁ , GA ₃ , GA ₄ y GA ₇ Durante el Desarrollo de la Nuez Pecanera en el Cultivar ‘Wichita’ en la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	33
Niveles de Giberelinas GA ₁ , GA ₃ , GA ₄ y GA ₇ Durante el Desarrollo de la Nuez Pecanera Cultivar ‘Western’ de la Costa de Hermosillo y Baviácora.....	34
Correlaciones.....	37
CONCLUSIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Nuez pecanera con viviparidad	13
2	Promedios mensuales de temperatura en la Costa de Hermosillo y Baviácora de julio a octubre de 2012	19
3	Registro de humedad relativa promedio mensual en la Costa de Hermosillo y Baviácora de 2012	21
4	Porcentaje de germinación (viviparidad) en nuez pecanera cultivar 'Western' y 'Wichita' cultivada en regiones climáticas diferentes en la temporada 2012	23
5	Concentración de ABA en nuez pecanera cv. 'Wichita' con diferente grado de viviparidad de la temporada 2012	25
6	Contenido de giberelinas en nuez pecanera cv 'Whichita' con diferentes grados de viviparidad cultivada en dos regiones climáticas en la temporada 2012	27
7	Concentración de ABA en nuez pecanera cv. 'Western' con diferente grado de viviparidad de la temporada 2012	29
8	Contenido de giberelinas en nuez pecanera cv 'Western' con diferentes grados de viviparidad cultivada en dos regiones climáticas en la temporada 2012	31
9	Concentración de ácido abscísico (ABA) durante el desarrollo y madurez de la nuez pecanera cultivar Wichita (A) y Western (B), durante la temporada 2012.	32
10	Concentraciones de GA ₃ (A) y GA ₁ (B) en nuez pecanera cultivar 'Wichita' en la temporada 2012	35
11	Concentración de GA ₃ (A) y GA ₁ (B) en Cultivar Western en la temporada 2012	36

LISTA DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	Correlaciones de temperatura y humedad relativa con los contenidos de fitohormonas (ABA-GAS) en las nueces de la Costa de Hermosillo	38
2	Correlaciones de temperatura y humedad relativa con los contenidos de fitohormonas (ABA-GAS) en las nueces de la localidad de Baviácora, Sonora.	39

RESUMEN

En el cultivo de nogal pecanero, la germinación prematura de las semillas antes de ser cosechadas (viviparidad), es un desorden fisiológico que se presenta hasta en un 45 % de la producción total de la nuez cultivada en zonas con climas cálidos. Éste desorden fisiológico afecta la calidad de la nuez, donde ésta es un factor determinante para la comercialización. Son escasos los estudios de la germinación prematura en la producción de nuez pecanera, sin embargo en semillas de trigo, cebada y arroz, se ha comprobado que en el proceso de letargo y germinación prematura de las semillas tienen una relación estrecha con los contenidos de las fitohormonas ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (GAS), por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la relación del contenido de ABA y GAS con el porcentaje de germinación prematura en cultivares 'Western' y 'Wichita' en dos regiones climáticas de Sonora, así como cuantificar los contenidos de ABA y GAS en el desarrollo de la nuez hasta su maduración. En el periodo de julio a octubre de 2012, la Costa de Hermosillo presentó una temperatura media mensual de 30, 31, 29 y 24 °C y una humedad relativa promedio con un registro constante de un 60%, superior a los valores que se presentaron en Baviácora con 26, 27, 25 y 21 °C de temperatura y 76, 60, 50 y 35% de humedad relativa en los meses de Julio del 2012. Las concentraciones de ABA para los cultivares de la Costa de Hermosillo fueron de 400 ng/g PF para 'Western' y de 600 ng/g PF para 'Whichita', presentando un porcentaje de viviparidad del 34.2 y 26.7 %, respectivamente. En la región de Baviácora, las concentraciones de ABA fueron de 1800 ng/g PF en el cv 'Western' y de 750 ng/g PF en el cv 'Wichita', con porcentajes de viviparidad de 10.2 y 11.0 %, respectivamente. Las concentraciones de giberelinas GA1 y GA3 para los cultivares de la Costa de

Hermosillo que presentaron viviparidad, fueron de 47 y 5 ng/g PF para el cultivar 'Western' y de 23 y 7 ng/g PF en el cultivar 'Wichita', respectivamente. Las nueces con viviparidad cultivadas en Baviácora, para las mismas GAS, presentaron concentraciones de 14 y 12 ng/g PF para el cultivar 'Western' y no fueron detectadas en el cv "Wichita". Con estos resultados podemos concluir que las nueces cultivadas en la Costa de Hermosillo, presentan mayores concentración de GAS que la región de Baviácora lo que promueve la germinación prematura, mientras que en la región de Baviácora los cultivares presentaron mayor concentración de ABA que induce al letargo de las semillas, lo que concuerda con el que en esta región se presentara menor porcentaje de viviparidad. Se requiere continuar con los estudios para explicar la implicación de las fitohormonas en el desorden fisiológico de la viviparidad en la nuez pecanera.

ABSTRACT

Viviparity is a premature seed germination of the pecan crop that occurs before harvest time. This physiological disorder occurs in up to 45% of total production of walnut grown in areas with warm climates and affects the quality of the nut, where this is a determining factor for marketing. There are scarce studies of premature germination in pecan tree production; however, in seeds of wheat, barley and rice, in the process of dormancy and premature germination of the seeds the contents of the phytohormone abscisic acid (ABA) and gibberellins (GAS) have a close relationship. Therefore, the aim of this study was to evaluate the relationship of the ABA content and GAS with the percentage of premature germination in walnut cv. 'Western' y 'Wichita' in two climatic regions of Sonora, and to quantify the contents of ABA and GAS in the development of walnut to maturity. In the period from July to October 2012, the Hermosillo coast provided an average monthly temperature of 5 °C and an average relative humidity of 15% higher than the values presented in Baviácora, Sonora. ABA concentrations for cultivars of Hermosillo coast were 400 ng/g FW for 'Western' and 600 ng/g FW for 'Whichita', presenting a percentage of viviparity 34.2 and 26.7%, respectively. In the region of Baviácora, ABA concentrations were 1800 ng/g FW in cv. 'Western' and 750 ng / g FW in cv. 'Wichita', with percentages of viviparity 10.2 and 11%, respectively. The concentrations of gibberellins GA₁ and GA₃ for cultivars that showed Hermosillo coast viviparity, were 47 and 5 ng/g FW for the cv. 'Western' 23 and 7 ng/g FW in the cv. 'Wichita' respectively. Walnuts in cultured viviparity in Baviácora, GAS for them, had levels of 14 and 12 ng / g PF for the cultivar 'Western' and were not detected in cv "Wichita". With these results we can conclude that walnuts grown in the Costa de Hermosillo, showed higher concentration of GAS Baviácora which promotes premature germination, while in Baviácora cultivars showed higher

concentration of ABA induces dormancy of the seeds, which consistent with that in this region the lowest percentage of viviparity arose. Requires continue studies to explain the involvement of phytohormones in the physiological disorder viviparity in pecan tree.

INTRODUCCIÓN

La nuez pecana (*Carya illinoensis*) es un cultivo de importancia económica a nivel mundial. México es considerado como el segundo país con mayor producción de este cultivo (SAGARPA 2010) después de los Estados Unidos. En particular, el Estado de Sonora se encuentra entre los principales sitios de producción de nuez pecanera, zona de cultivo más amplia es la Costa de Hermosillo, generando 16,102.9 Toneladas de nuez por año (Orona 2013). Es importante señalar que existen otras zonas productoras de nuez pecanera, dentro del estado de Sonora como lo es la localidad de Baviácora, donde se presentan distintas condiciones climatológicas respecto a la Costa de Hermosillo (Deschamps, 2010). Las cosechas son afectadas por varios factores, entre estos, uno de los más importantes es la germinación de la nuez, estando adherida al árbol. Desorden fisiológico denominado viviparidad, o germinación prematura de la semilla. Lo cual genera una reducción en la calidad del producto, que a su vez se ve reflejada en una pérdida económica. En el cultivar Wichita se han reportado pérdida de hasta un 40 % de la producción total de nuez y un 25 % para el cultivar Western, estos cultivares son los más importantes en México (Núñez 2001; Díaz 2008). La causa que genera este problema en el nogal pecanero aún es desconocida. Se ha estudiado el desorden en otras especies de plantas como trigo, cebada y arroz (Yamaguchi 2008), encontrando que hay una asociación del desorden con los niveles de las fitohormonas ácido abscísico y giberelinas, además de las condiciones climáticas como la temperatura del ambiente y la humedad (Di Nola y Taylorson 1989).

ANTECEDENTES

Importancia económica de la nuez pecanera en México

México se ha posicionado como el segundo productor de nuez pecanera a nivel mundial, solo por debajo de los Estados Unidos de Norte América, con una producción total cercana a las 80,000 toneladas en el 2008. La SAGARPA (2010) señaló que la industria de la nuez pecanera tiene un efecto directo en el sector social de México, pues en el año 2011 la producción de nuez superó las 110,000 toneladas, generando una derrama económica superior a los \$4,747 millones de pesos, con un precio unitario de \$43.16 M.N. por kilogramo de nuez. Los estados que generan la mayor producción de nuez en México son: Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, Durango y Sonora. Siendo el estado de Chihuahua el mayor productor de nuez con el 60 % de la producción total aproximadamente (SAGARPA, 2010). El rendimiento promedio de este cultivo es de 1.6 tonelada/hectárea las cuales son cosechadas entre los meses de octubre a diciembre. Las principales variedades comerciales son Western, Wichita y criollas (Tarango 2006; Jasso 2010).

Factores que afectan la productividad de nuez pecanera en México

Los cultivos generalmente presentan pérdidas por diferentes factores tanto bióticos como abióticos y el nogal pecanero no es la excepción, dentro de los factores abióticos se encuentran la temperatura y la humedad relativa del ambiente; en los bióticos, los insectos plaga es uno de los principales factores de pérdida. También existen desordenes fisiológicos que alteran el desarrollo normal de la nuez pecanera.

Los factores abióticos tienen impacto en la producción, se les ha relacionado con el fenómeno de alternancia que consiste en que la nuez presenta un ciclo muy productivo y otro menos productivo, también se les ha relacionado con el fenómeno de viviparidad pero el grado de afectación es diferente dependiendo de la especie (Lagarda 2000).

Viviparidad

La viviparidad o germinación prematura de la semilla, es un fenómeno que se ha reportado en algunas especies cultivadas y consiste en la germinación de la semilla al momento de alcanzar la maduración del fruto, aun cuando se encuentra adherida a la planta madre ocasionando pérdida en la calidad del fruto (Lagarda 2007, Hendrics 1977; McCarty, 1995). Este desorden fisiológico ha llegado a ocasionar pérdidas de nuez hasta en un 40 % en el cultivar Wichita y en un 25 % en el cultivar Western, siendo este el peor de los escenarios registrados en la región de la costa de Hermosillo (Núñez 2001). La viviparidad de la nuez se presenta como resultado de la relación de una serie de factores de tipo genético-ambiental que coinciden para promover la germinación de la nuez antes de cosecharla (Lagarda 2007).

Factores que promueven la viviparidad

Ambientales

La viviparidad es un efecto fisiológico que se presenta en las regiones nogaleras con veranos y otoños cálidos, características de algunas zonas como el Desierto Sonorense, Norte de Coahuila, Comarca Lagunera, Sur de Chihuahua, entre otros. Sin embargo, otras zonas nogaleras como Saltillo, Parras y Durango, no han presentado el fenómeno de viviparidad en las variedades Wichita y Western (Lagarda 1993).

Temperatura

La temperatura es el factor más importante que afecta la tasa de postmaduración. La costa de Hermosillo presenta temperaturas considerablemente altas, cercanas e inclusive superiores a los 40 °C dentro de los meses de mayo a noviembre y humedades relativas alrededor de un 60 % característica otorgada principalmente por su ubicación geográfica cercana al mar (AGROSON, 2012; Lagarda 1993; CONAGUA 2010), fomentando la condición de otoños cálido- húmedos en la Costa de Hermosillo. Las temperaturas altas que se producen durante la madurez de la nuez, da como resultado un incremento en germinación prematura (Gibson y Kilby, 1999).

Humedad Relativa

La humedad relativa es un factor importante para que se presente el fenómeno de viviparidad. En un estudio realizado con semillas de *Echinochloa crus-galli*, se observó que al aplicar incrementos de temperatura (35 °C) durante 24 h y alta humedad relativa, modificaron su condición hormonal y su carga energética, removiendo a la semilla del estado de latencia e induciéndola a la viviparidad (Di Nola y Taylorson, 1990).

En los últimos años en la Costa de Hermosillo se practica el análisis de la evapotranspiración en nogal pecanero, la evapotranspiración es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación, si se conoce el nivel de evapotranspiración se puede determinar el nivel de riego necesario en el periodo del desarrollo de la almendra para evitar un exceso de humedad y así reducir la viviparidad (Grageda *et. al.*, 2013).

Hormonales

Existen fitohormonas que se encuentran asociadas directamente a los procesos de germinación de las plantas. El ácido abscísico y las giberelinas han sido asociadas al proceso de germinación de las semillas de maíz (Di Nola y Taylorson 1989; Lagarda 2007).

Ácido Abscísico

Estudios realizados en plantas, han generado información acerca del comportamiento de fitohormonas, como del ácido abscísico (ABA); que dentro de sus funciones y efectos fisiológicos en las plantas induce al proceso del letargo. El ABA es una hormona que promueve la dormancia en las semillas y favorece la latencia de estas, inhibiendo la germinación y las fases de absorción de agua (Schopfer y Plachy 1984; Leubner-Metzger et al. 1995; Kucera et al 2005).

La aplicación exógena de ABA a las semillas no latentes impide la germinación, comportándose como semillas latentes, aunque los mecanismos que bloquean la germinación de las semillas, intrínsecos de ABA exógeno, son distintos de los que la previenen de la germinación de las semillas latentes (Chibani et al. 2006).

Giberelinas

Las giberelinas (GAS) son fitohormonas esenciales en los procesos de desarrollo de la planta, tales como la germinación de semillas, la elongación del tallo, expansión de las hojas , floración y desarrollo de las semillas (Davies, 1995). La mayor parte de los genes que codifican en la biosíntesis de GAS y las enzimas del catabolismo han sido identificados (Olszewski *et al.*, 2002).

Estudios previos han comprobado que los procesos de desarrollo, mediados por GAS, están regulados en parte por el cambio de la concentración en las células de GAS activas.

Por lo tanto, se ha pensado que las concentraciones de GAS deben ser cuidadosamente moduladas, tal vez mediante la integración de varias señales endógenas y externas (Hedden y Phillips, 2000; Yamaguchi y Kamiya, 2000; Kasahara, 2002).

Ha sido comprobado que la síntesis de GAS después de la imbibición promueven la germinación de semillas en plantas como *Arabidopsis thaliana*. (Hedden y Kamiya, 1997).

Por ello, es necesario conocer el contenido de estos compuestos en el nogal pecanero, para generar conocimiento referente al comportamiento de estas fitohormonas y así obtener una mayor visión de lo que pudiera estar sucediendo en el proceso de inducción de la viviparidad en la nuez pecanera.

JUSTIFICACIÓN

La viviparidad es un desorden fisiológico que ocasiona pérdidas económicas al demeritar la calidad de la nuez pecanera, se ha observado en otras especies de plantas que este desorden es ocasionado por un desbalance en las fitohormonas giberelinas y ácido abscísico, sin embargo, en nuez aún no se conoce esta relación, es por ello que es importante el estudio de las concentraciones de estas hormonas durante el desarrollo de la nuez y como se modifican dependiendo del grado de viviparidad.

HIPÓTESIS

Contenidos bajos de ácido abscísico y altos de giberelinas promueven la viviparidad en nuez pecanera (*Carya illinoensis* K.) en los cultivares Western y Wichita.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la concentración de ácido abscísico y giberelinas, durante el proceso de llenado de grano a maduración de la nuez pecanera, cultivares 'Wichita' y 'Western', en dos regiones climáticas diferentes en el estado de Sonora, para correlacionarlas con el porcentaje de germinación prematura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el porcentaje de germinación prematura en época de cosecha de la nuez pecanera en el cv. 'Western' y 'Wichita' en la Costa de Hermosillo y Baviácora, Sonora en la temporada 2012.
- Cuantificar el contenido de ácido abscísico y giberelinas GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇, del desarrollo a la madurez de la nuez pecanera cv. 'Western' y 'Wichita' en la Costa de Hermosillo y Baviácora, Sonora en la temporada 2012.
- Cuantificar el contenido de ácido abscísico y giberelinas GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇ en los distintos grados de viviparidad de la de nuez pecanera cv. 'Western' y 'Wichita' en la Costa de Hermosillo y Baviácora, en la temporada 2012.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal y Regiones de Colecta de Muestras

Las nueces, como material vegetal utilizado en este estudio, se obtuvieron de nogal pecanero de los cultivares 'Wichita' y 'Western' en dos diferentes regiones climáticas. En la Costa de Hermosillo se muestreo en el huerto "La Perseverancia" en árboles con 35 años de edad aproximadamente, donde se presenta un clima cálido con alta humedad, y en el huerto "La Capilla" que cuenta con árboles de 40 años de edad, ubicado en la región del Río Sonora, específicamente en Baviácora, Sonora, donde se presenta un clima semi-cálido (CONAGUA 2010; Municipio de Huepac 2012).

Diseño del Experimento

El material vegetal se obtuvo a partir de la etapa liquido-gel durante el desarrollo de la nuez, pasando por la etapa de llenado de grano, madurez fisiológica hasta la etapa de cosecha donde se obtuvieron las muestras con viviparidad. El muestreo se realizó durante los meses de Julio a Octubre de 2012, período en el cual se completaron cinco muestreos, uno cada 20 días para cada huerta. En la Costa de Hermosillo los muestreos se realizaron en la huerta "La Perseverancia" y en la huerta "La Capilla" en la localidad de Baviácora, Sonora. En ambos huertos se tomaron muestras de los cultivares "Wichita" y "Western".

Determinación del Porcentaje de Germinación

Para su determinación se tomaron 100 nueces al azar por cada lote de 10 árboles, con cinco repeticiones, en cada localidad (Costa de Hermosillo y Baviácora) y de cada cultivar (Western y Wichita) en época de cosecha comercial.

El porcentaje de viviparidad se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de germinación} = \frac{n + n1 + n2 + n3 + n4 + n5}{5}$$

Donde n es el número de nueces germinadas por lote de árboles.



Figura 1. Nuez pecanera con viviparidad.

Grados de Viviparidad en Nuez Pecanera

Para la cuantificación de los niveles de ácido abscísico y giberelinas al momento de la cosecha, se diferenciaron 3 grados de viviparidad, donde:

Grado 0: Corresponde a la nuez íntegra sin evidencia de germinación en el embrión.

Grado 1: Nueces íntegras con el embrión manchado que caracteriza el inicio de la viviparidad.

Grado 2: Nueces con viviparidad, cáscara quebrada con evidente crecimiento radicular.

Análisis de Giberelinas y Ácido Abscísico por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

Extracción de Giberelinas y Ácido Abscísico

El método de extracción se realizó tomando 10 g de tejido fresco (nuez descascarada), se homogenizó en una licuadora convencional con 50 mL de metanol/agua con una proporción (70/30). Se dejó en agitación y oscuridad durante 12 horas a 4°C. Posteriormente se filtró con papel Whatman #1. El extracto recuperado se evaporó en un rotaevaporador (BUCHI 121) hasta obtener un residuo aproximado de 12 mL. El pH del residuo acuoso se ajustó a 8.5 con solución amortiguadora 0.1 M de fosfato de potasio. Se lavó en tres ocasiones con 20 mL de acetato de etilo y se desechó la fracción de acetato de etilo que contiene las grasas de la nuez.

Se ajustó el pH a 2.5 con HCL 1N. Posteriormente se fraccionó con 20 mL de éter etílico en tres ocasiones y se recuperaron las 3 fracciones de éter etílico agregando sulfato de sodio anhidro para llevar a sequedad en un rotavaporador al vacío y reconstituir con 2 mL de fase móvil (fosfato de potasio 0.1 M/metanol 80:20) para filtrar e inyectar en HPLC.

Cuantificación de Giberelinas y Ácido Abscísico por HPLC

Una vez realizada la extracción de giberelinas y ácido abscísico se procedió al análisis en HPLC. Se utilizó un equipo HP 1100 con detector de arreglo de diodos (DAD), se utilizó una columna Varian C18, de 3 μ de partícula, de dimensiones de 100 x 4.6 mm. La fase móvil estuvo compuesta por: fase A: ácido fosfórico 0.3 mM pH=4 y fase B: Metanol en una proporción 60/40, isocrática, la longitud de onda del detector fue de 208 nm. El equipo fue controlado por el software Chemstation (Agilent Technology). Para la cuantificación se emplearon estándares de referencia de GA₁, GA₃ (Olchemim Ltd.).

La cuantificación de giberelinas presentes en las muestras, se determinaron a partir de la ecuación de la recta obtenida de las curvas de cuantificación para cada GA. Para GA₁ la curva se obtuvo a partir de 0.5, 0.25, 0.1, 0.01, 0.001 μ g/ μ L. Para GA₃ a partir de 0.66, 0.5, 0.4, 0.3, 0.1, 0.01, 0.001 μ g/ μ L. (Hernandez, Villa *et al.*, 2012). Para ácido abscísico se utilizó un estándar (Sigma-Aldrich) y la cuantificación se llevó a cabo mediante una curva de cuantificación de 3, 2, 1, 0.25, 0.025, 0.001 μ g/ μ L. La metodología empleada se basó en la descrita por Kelen *et al.*, (2004) para el análisis simultáneo de giberelinas y ácido abscísico.

Medición de Temperatura y Humedad Relativa

El registro de temperatura y humedad relativa se realizó mediante sensores digitales de la marca HOBO, los cuales fueron instalados a 5 m de altura en los arboles de nogal, ubicados en las huertas donde se realizó el ensayo en la Costa de Hermosillo y en la localidad de Baviácora, Sonora.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para analizar los datos de interacción entre factores ambientales (temperatura y humedad relativa) y los contenidos de giberelinas y ácido abscísico (GAS y ABA), en los cultivares “Wichita” y “Western” de las localidades de la costa de Hermosillo y Baviácora, se realizó un análisis de varianza de una vía y los valores medios se compararon mediante la prueba de Tukey-Kramer y se llevó a cabo una correlación de Pearson, para conocer la interacción entre las variables de estudio. Los datos se analizaron en el paquete estadístico NCSS (Versión 2007). Con intervalo de confianza ($p \leq 0.05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura y Humedad

En la Figura 2 se presenta el comportamiento de la temperatura en el período julio-octubre de 2012 en las localidades de la costa de Hermosillo y Baviácora, encontrando que en el mes de Julio, la temperatura media mensual es superior a los 30 °C en la Costa de Hemosillo y de 26 °C en Baviácora, Sonora, incrementando ligeramente en el mes de Agosto, para luego decaer a 29 y 25 °C a partir del mes de septiembre, dando inicio a la temporada de bajas temperaturas del Estado de Sonora a partir del mes de octubre con temperaturas medias mensuales de 23 y 21 °C respectivamente en la Costa de Hermosillo y Baviácora, Sonora. Según reportes de la CONAGUA, la Costa de Hermosillo ha presentado, de manera histórica, temperaturas más elevadas que la localidad de Baviácora al menos 5 °C en promedio en época de verano, información que avala los datos obtenidos en nuestro estudio. El comportamiento de temperaturas en la Costa de Hermosillo es muy parecido al de la zona productora de nogal pecanero en el condado de Pinal en Arizona USA, donde presentan temperaturas promedio de 32.8, 33, 28.38 y 20 °C para los meses de Julio a Octubre (Accuweather, 2012).

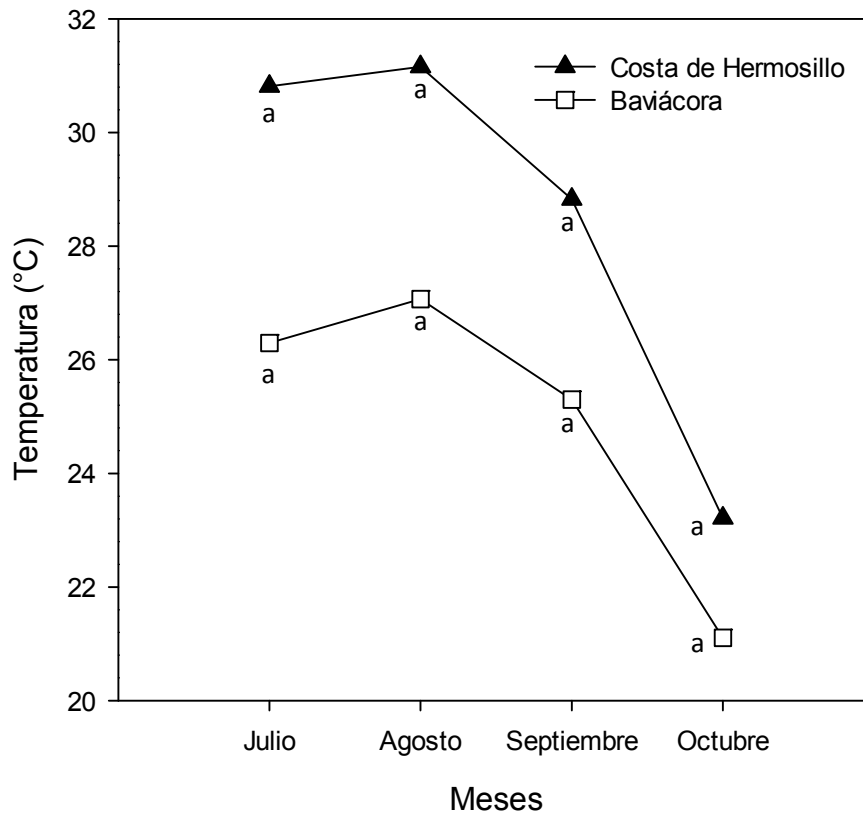


Figura 2. Promedios mensuales de temperatura en la Costa de Hermosillo y Baviácora de julio a octubre de 2012. Literales iguales indican que no se presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

La Figura 3 muestra el comportamiento de la humedad relativa ambiental en las localidades de la Costa de Hermosillo y Baviácora en el período de julio a octubre de 2012, donde en el mes de julio la localidad de Baviácora presentó humedad relativa superior al 75 %, correspondiente a la temporada de lluvias registradas en esa región del Estado de Sonora. Conforme transcurrió la temporada de lluvias, los valores de humedad presentan una reducción proporcional.

En los meses de agosto a octubre la humedad relativa registrada en el huerto “La Capilla” se redujo a 62, 48 y 32 % en los meses de agosto, septiembre y octubre respectivamente. Sin embargo la localidad de la Costa de Hermosillo presentó una humedad constante entre 62 y 64 % de HR, característica que le atribuye su ubicación cercana al mar. Respecto a las literales obtenidas mediante un análisis estadístico ($p \leq 0.05$) observamos que no presentan diferencias significativas. Sin embargo, la tendencia de disminución en la humedad relativa en la localidad de Baviácora, la cual presenta una humedad relativa menor que la Costa de Hermosillo, en la transición del mes de Agosto a Septiembre, meses en los que se presenta el inicio en la germinación prematura de la nuez pecanera (Kilby y col., 2006).

Para la localidad de Matamoros, Coahuila, que presenta un 70% de humedad relativa constante y una temperatura que varía de 34 a 30 °C en los meses de Julio a Octubre, el porcentaje de germinación, que se ha obtenido para el cultivar ‘Western’ fue de un 19 % de germinación en esta región productora (Ávila y Montoya, 2000).

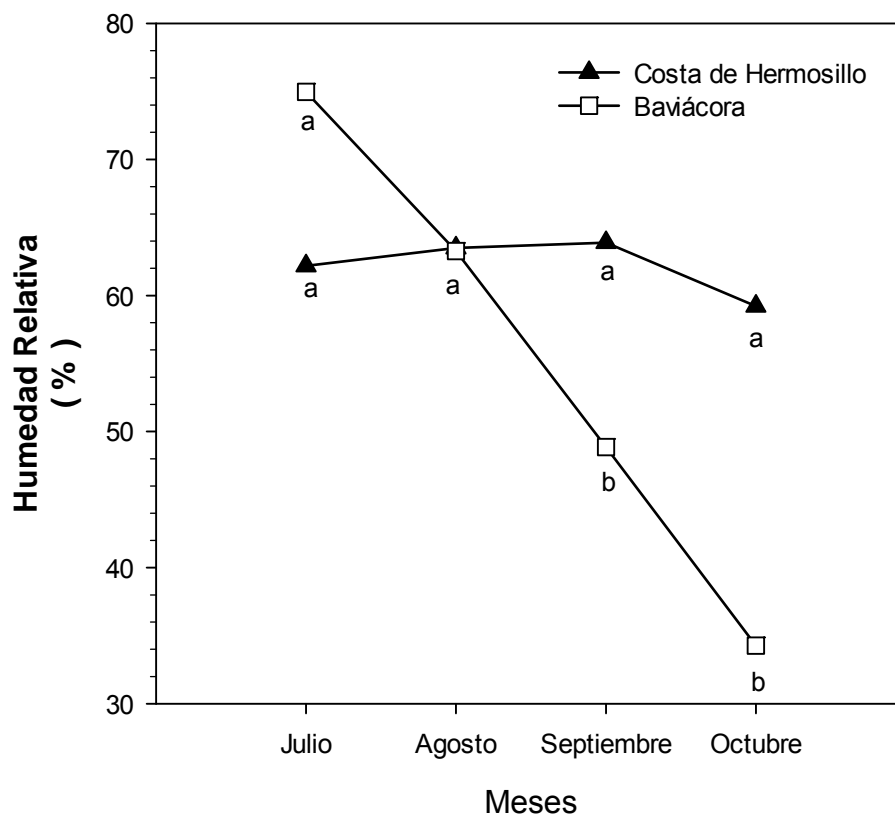


Figura 3. Registro de humedad relativa promedio mensual en la Costa de Hermosillo y Baviácora de 2012. Literales iguales indican que no hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Porcentaje de Germinación Prematura en Nuez Pecanera

En la Figura 4 se muestran los porcentajes de germinación de nueces encontrados en la etapa de cosecha comercial. En el huerto “La Perseverancia” en la Costa de Hermosillo, se obtuvo un porcentaje de nueces germinadas del 26.75% en el cultivar “Western” y 34.25 % en el cultivar “Wichita”. Valores significativamente diferentes ($p \geq 0.05$) a los encontrados en el huerto “La Capilla” en la localidad de Baviácora, en el cual se presentaron porcentajes de nueces germinadas del 10.25 en el cultivar “Western” y de 11 % en el cultivar “Wichita”. Se observó que el porcentaje de germinación en las nueces de la costa de Hermosillo fue 16.5 % mayor en el cultivar “Western” y del 23.25 % en el CV “Wichita” que en lo encontrado en la región de Baviácora. Para la región de Baviácora representan los primeros registros de viviparidad de la nuez pecanera. En el 2001 Núñez y Martínez señalaron que el porcentaje de germinación prematura de la nuez pecanera, en la Costa de Hermosillo, fue de un 40 % para el cultivar “Wichita” y un 25% para el cultivar “Western”, valores superiores a los encontrados en este trabajo. Sin embargo, Kilby y Gibson (2000) reportaron promedios de viviparidad de 25% y 33 % para los cultivares “Western” y “Wichita”, respectivamente. Otros reportes señalan que en el Condado de Pinal, en el estado de Arizona, USA, los porcentajes de germinación prematura son similares a los reportados en este trabajo para ambos cultivares (Kilby y Gibson, 2000). Estas diferencias en porcentaje de viviparidad en regiones con condiciones climáticas similares, pueden atribuirse a diferentes concentraciones hormonales en los frutos, en diferentes ciclos de cultivo, afectadas también por diferentes condiciones hídricas y disponibilidad de nutrientes (Nuñez y Martinez, 2001).

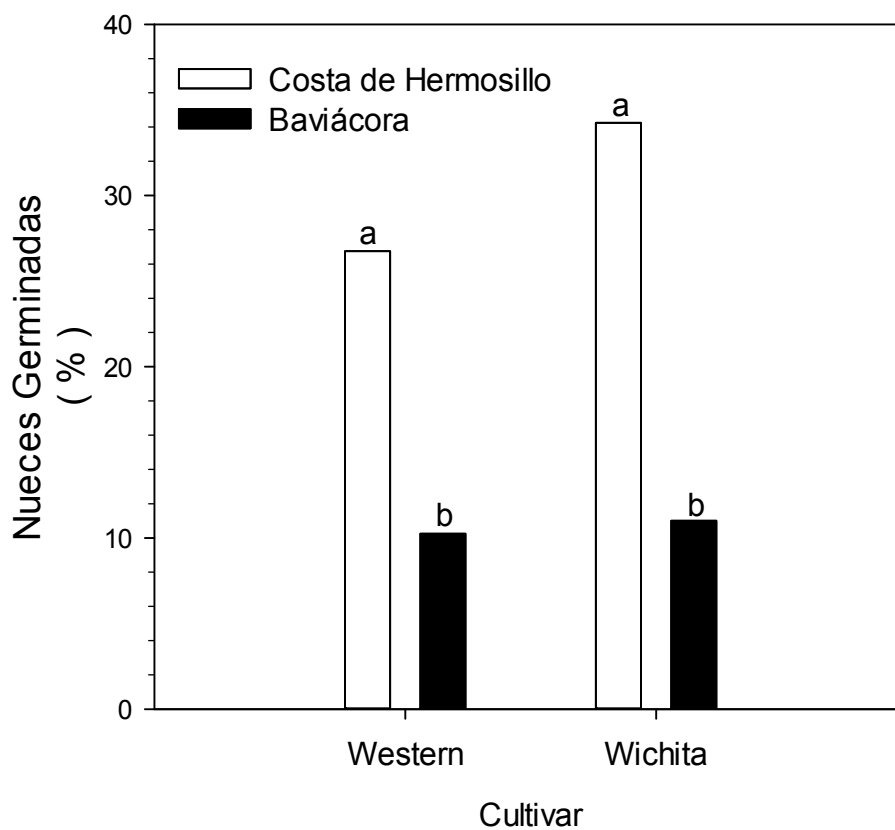


Figura 4. Porcentaje de germinación (viviparidad) en nuez pecanera cultivar 'Western' y 'Wichita' cultivada en regiones climáticas diferentes en la temporada 2012. Literales iguales no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Niveles de ABA por Grado de Viviparidad en Nuez Pecanera Cultivar 'Wichita' de la Costa de Hermosillo y Baviácora

En la Figura 5 se presentan las concentraciones de ABA en las nueces de la variedad 'Wichita' cultivada en la Costa de Hermosillo con diferentes grados de viviparidad. En las nueces sin ningún síntoma de viviparidad (Grado 0), el ABA no fue detectado con la metodología utilizada. Sin embargo, la concentración de ABA en las nueces enteras con el embrión manchado (Grado 1), presentaron un valor de 436 ng/g PF de ABA, concentración significativamente inferior a la encontrada en las nueces con viviparidad (Grado 2) con un valor de 600 ng/g de PF. Sin embargo, en las nueces del cultivar 'Western' cultivadas en Baviácora, Sonora, la concentración de ABA en las nueces sin síntomas de viviparidad (grado 0), la concentración de ABA fue de 431ng/g PF, cuando en las nueces en el mismo estado de germinación cultivadas en la Costa de Hermosillo, el ABA no fue detectado. Situación que se invierte en las nueces con embrión manchado (Grado 1), ya que en las nueces cultivadas en Baviácora no se detectó la presencia de ABA, mientras que en la Costa de Hermosillo los niveles de ABA fueron de 436 ng/g PF. En las nueces cultivadas en Baviácora que presentaron viviparidad (grado 2) en el 11 % de la producción (Figura 4), la concentración de ABA fue 764 ng/g PF, significativamente superior ($p < 0.05$) a la encontrada en las nueces cultivadas en la Costa de Hermosillo, de 600 ng/g PF, que presentaron un 34.2 % de nueces con viviparidad en el total de la producción (Figura 4).

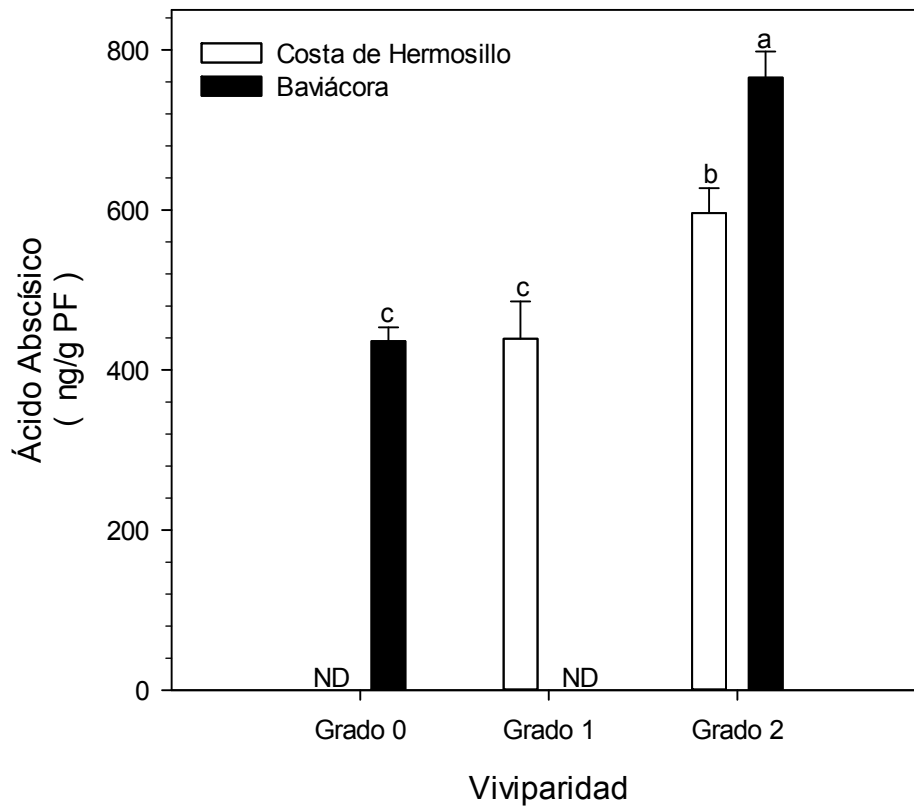


Figura 5. Concentración de ABA en nuez pecanera cv. 'Wichita' con diferente grado de viviparidad de la temporada 2012. Literales distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Las concentraciones no detectadas fueron representadas con ND.

Niveles de Giberelinas GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇, por Grado de Viviparidad de Nuez Pecanera Cultivar 'Wichita' en la Costa de Hermosillo y Baviácora

La Figura 6 muestra las concentraciones de giberelinas (GAS) en los distintos grados de viviparidad del cultivar Wichita para la costa de Hermosillo y la localidad de Baviácora. En la localidad de Baviácora las nueces del cultivar Wichita no germinadas (grado 0 de germinación) no se detectaron GAS, lo que coincide con el comportamiento de la concentración de GAS en el estado de dormancia. En las nueces con grado 2 de la localidad de Baviácora no se detectaron valores de GAS, efecto que puede ser producido por la metabolización de GAS bioactivas para la emergencia de la radícula (Kucera *et al.*, 2005). Sin embargo, en nueces con el embrión manchado (grado 1) se observa que hay presencia de ambas fitohormonas en las dos localidades y muestran valores similares en un rango de 6 a 11 ng/g PF, pudiendo explicarse este resultado, a la clasificación que se hizo del grado de viviparidad, ya que para el grado 1, fueron seleccionadas las nueces con el embrión manchado, lo que puede señalar el rango en la concentración de GAS para el inicio de la viviparidad. Los niveles de GA₄ y GA₇ no fueron detectados en las muestras analizadas. En el análisis de los valores de GAS específicas, la GA₃ presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para el grado 1 de viviparidad, sin detectar valores de GAS en los grados 0 y 2 en la localidad de Baviácora. Para la Costa de Hermosillo las GAS analizadas en los grados 0 y 2 presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), dentro del análisis específico de GAS (GA₁ y GA₃). Mientras que el grado 1 no presentó diferencias estadísticas en sus niveles de GAS detectadas.

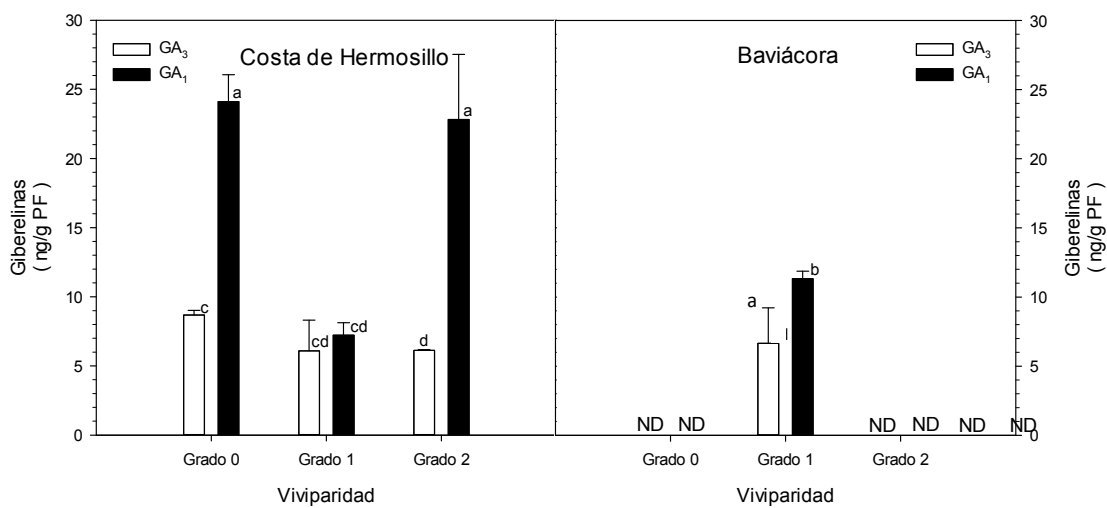


Figura 6. Contenido de giberelinas en nuez pecanera cv 'Whichita' con diferentes grados de viviparidad cultivada en dos regiones climáticas en la temporada 2012. Literales distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores no detectados fueron representados con ND.

Niveles de ABA por Grado de Viviparidad de Nuez Pecanera Cultivar 'Western' en la Costa de Hermosillo y Baviácora

La Figura 7 Presenta la concentración de ABA de las nueces en los distintos grados de viviparidad del cultivar Western. Se puede observar que las nueces de la costa de Hermosillo en grado 1 y 2 que no presentan diferencias estadísticas entre ellas ($p \leq 0.05$) tienen un menor contenido de ABA, que las nueces con grado 0 con las que si presentan diferencias estadísticas, lo cual coincide con la degradación de ABA al momento de presentarse la germinación (Debeaujon, 2000) En la localidad de Baviácora no se detectaron valores en la concentración de ABA en nueces con grado 0, mientras que las nueces con grado 1 y grado 2 presentaron diferencias estadísticas significativas con concentraciones de 3.1 y 4.5 veces mayores que las encontradas en la costa de Hermosillo, respectivamente, en el mismo cultivar. Estudios señalan que no solo depende de las concentraciones en la relación de ABA-GAS si no, también llega a depender de su sensibilidad en cada etapa fisiológica donde intervienen estas fitohormonas para poder inducir a los procesos fisiológicos.

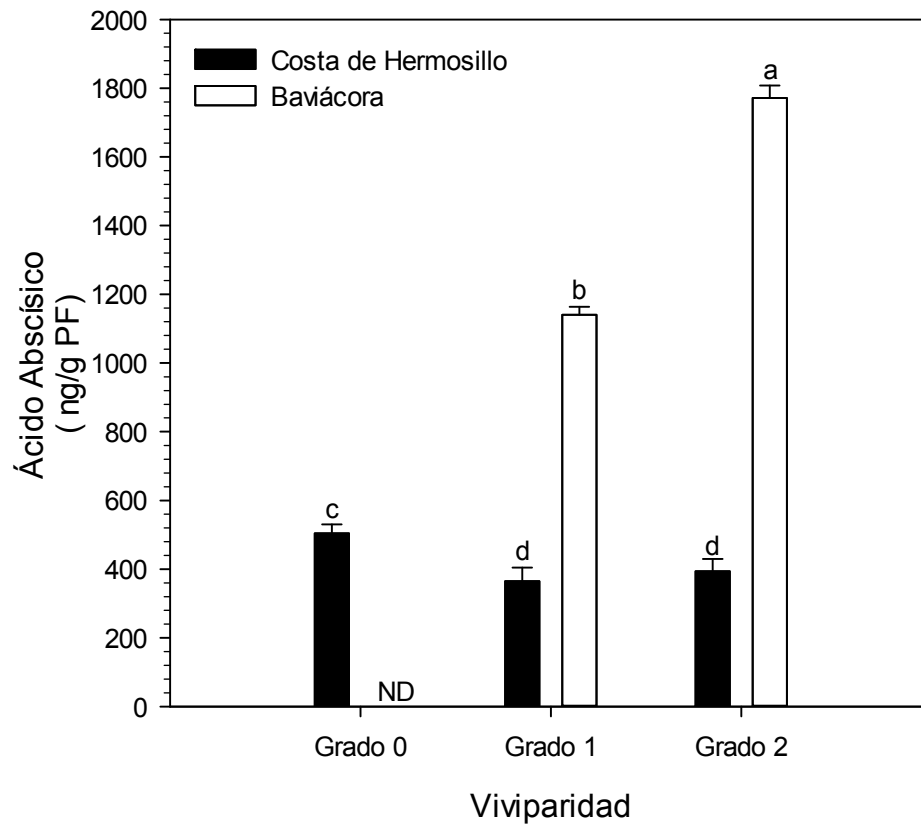


Figura 7. Concentración de ABA en nuez pecanera cv. 'Western' con diferente grado de viviparidad de la temporada 2012. Literales distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Las concentraciones no detectadas fueron representadas con ND.

Niveles de Giberelinas A₁, A₃, A₄ y A₇ por Grado de Viviparidad de Nuez Pecanera Cultivar 'Western' en la Costa de Hermosillo y Baviácora

Los niveles de GA₁ y GA₃ del cultivar Western de la costa de Hermosillo presentados en la Figura 8 fueron detectados solo en las nueces con grado 0 y grado 1 con un incremento de .4 y 6 veces, sin detectar concentraciones de GAS en el grado 2 de viviparidad. Las diferencias estadísticas que presentaron de GA₁ del grado 1 al grado 0, mientras que GA₃ no presentó diferencias significativas entre el grado 0 y el grado 1 en la costa de Hermosillo.

Efecto que puede presentarse debido a la biosíntesis de GAS para llevar a cabo la viviparidad. En las nueces obtenidas de la localidad de Baviácora no se detectaron valores en la concentración de GAS en el grado 0 y en el grado 1 de viviparidad, mientras que en las nueces con grado 2 de viviparidad se detectaron valores de ambas GAS lo cual puede ocurrir si la radícula no ha emergido en su totalidad, y requiera de la síntesis de estas fitohormonas.

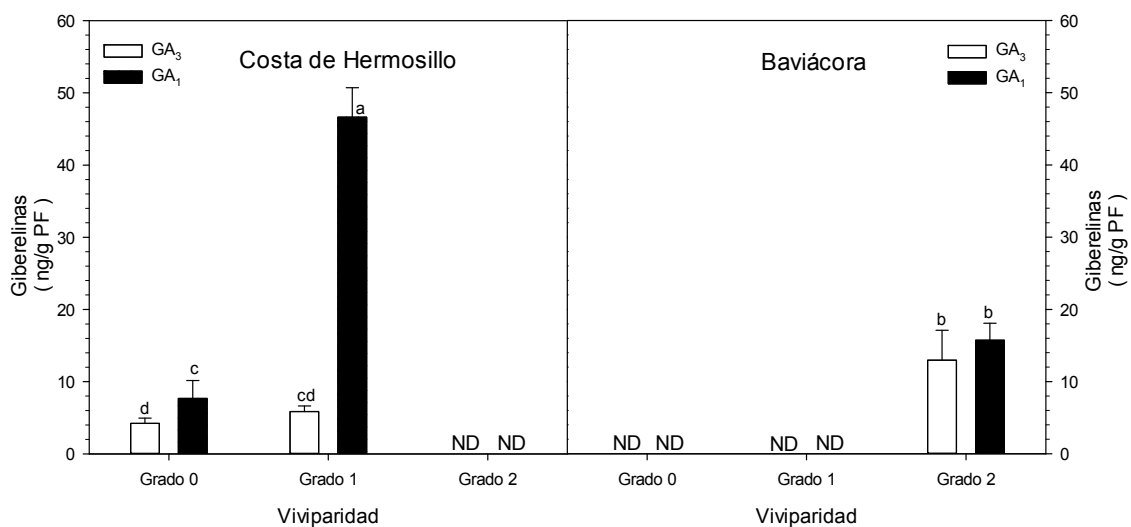


Figura 8. Contenido de giberelinas en nuez pecanera cv 'Western' con diferentes grados de viviparidad cultivada en dos regiones climáticas en la temporada 2012. Literales distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores no detectados fueron representados con ND.

Niveles de ABA Durante el Desarrollo en Nuez Pecanera de la Costa de Hermosillo y Baviácora

En la Figura 9 se presentan las concentraciones de ABA en las nueces de los cultivares 'Wester' y Wichita' cultivados en la Costa de Hermosillo y Baviácora, Sonora, durante el desarrollo y madurez de la nuez, en los meses de julio a octubre de 2012. Estos datos reflejan que la concentración de ABA durante el desarrollo de la nuez en las dos variedades fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en la Costa de Hermosillo que en Baviácora. En la Figura 9A se muestra un comportamiento de disminución en el contenido de ABA de julio a septiembre en el cv Wichita en la Costa de Hermosillo, pasando de 1037 a 821 ng/g PF, incrementando su concentración a 135 ng/g PF en el mes de Octubre. En el mismo cultivar en Baviácora, Sonora, las concentraciones de ABA de julio a octubre fueron significativamente iguales fluctuando de 269 a 215 ng/g de PF de julio a octubre de 2012. La viviparidad presentada en el Cv 'Wichita' en la Costa de Hermosillo fue de 34.25 % mientras que en Baviácora fue de 11 %.

En la Figura 9B se muestra que en la Costa de Hermosillo, el cultivar 'Western' presentó incrementos en la concentración de ABA de 415 a 858 ng/g PF de julio a octubre, valores significativamente superiores ($p \leq 0.05$) a los encontrados en el mismo cultivar en la localidad de Baviácora, presentando concentraciones de 171 a 453 ng/g PF de julio a octubre de 2012. Karssen y Lacka (1986) establecieron que un incremento en la biosíntesis de ABA en las semillas promueve el estado de latencia y este es acompañado por la degradación de GAS, generando la hipótesis de que existe un balance entre las dos fitohormonas, condición que se cumple en este estudio, con nueces sin evidencia de germinación prematura, ya que en ambos cultivares y localidades, las concentraciones tendieron a incrementarse, salvo en el cv Wichita en la localidad de Baviácora que permaneció en niveles estadísticamente iguales.

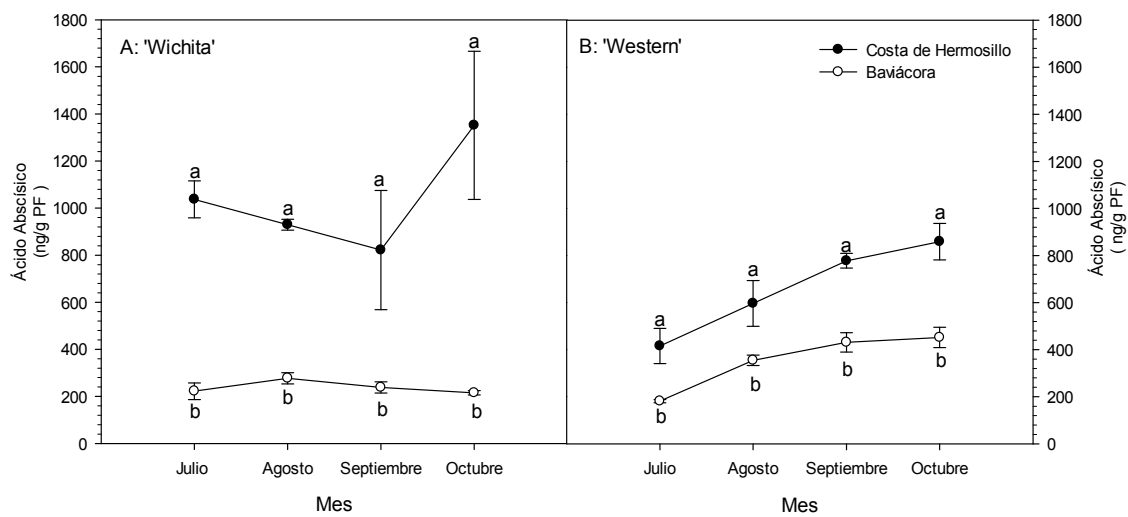


Figura 9. Concentración de ácido abscísico (ABA) durante el desarrollo y madurez de la nuez pecanera cultivar Wichita (A) y Western (B), durante la temporada 2012. Literales iguales no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Niveles de Giberelinas GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇ Durante el Desarrollo de la Nuez Pecanera en el Cultivar 'Wichita' en la Costa de Hermosillo y Baviácora

Las giberelinas GA₄ y GA₇ no fueron detectadas en las muestras analizadas, por lo que en la Figura 10 se presentan las concentraciones de GA₁ y GA₃ del cv 'Whichita' cultivado en la Costa de Hermosillo (CH) y Baviácora. En la Figura 10A podemos observar que en la CH, en el cv 'Wichita, la GA₃ presentó una concentración de 6.9 ng/g PF en el mes de julio, doblando su concentración en el mes de agosto y disminuyendo a 3.26 ng/g PF en el mes de septiembre, llegando a niveles no detectables en el mes de octubre.

En la localidad de Baviácora, la GA₃ presentó una concentración de 13.8 ng/g PF el mes de julio, valor estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) a la presentada en el mismo mes en la CH, reduciendo su concentración en el mes de agosto a 3.03 ng/g PF, concentración significativamente inferior a la encontrado en la CH, reduciéndose hasta niveles no detectables en los meses de septiembre y octubre.

En la Figura 10B se presentan las concentraciones de GA₁, donde podemos observar que el comportamiento es similar al presentado por GA₃ en las localidades de la CH y Baviácora. Las concentraciones de GA₃ presentadas en la CH fue de 3.9, 22.4 y 1.91 ng/g PF en los meses de julio, agosto y septiembre, sin ser detectada en el mes de octubre al momento de la cosecha comercial, contrastando con valores de 14 μ g/g PS obtenidos en estudios previos por Martínez en 2011. Esta reducción en las concentraciones de giberelinas puede ser atribuido a factores ambientales que intervienen en los procesos fisiológicos de tal manera que pueden llegar a promover la germinación, debido a que la alta temperatura en combinación con alta humedad relativa puede llegar a modificar la condición hormonal y la carga energética. A su vez, una baja temperatura en semillas promueve la síntesis de giberelinas (Di nola y Taylorson, 1990; Yamaguchi y Kamiya, 2002).

En la localidad de Baviácora se presentó un comportamiento de decremento en la concentración de GA₃ y GA₁ a partir del mes de Julio hasta llegar al mes de Octubre, coincidiendo con lo mencionado en la revisión de Kucera y colaboradores en el año 2005 y Finkelstein en 2004, donde señalan que uno de los efectos de la dormancia (etapa en la que se encontraban las nueces analizadas) es retrasar la germinación y por consecuencia inhibir la biosíntesis de giberelinas. La sensibilidad de las GAS es de gran importancia para poder intervenir en los efectos fisiológicos de la planta y con los presentes resultados el incremento de GA₃ no fue significativo en su concentración o en su sensibilidad, como para establecer un efecto en la germinación de las nueces.

Niveles de Giberelinas GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇ Durante el Desarrollo de la Nuez Pecanera Cultivar 'Western' de la Costa de Hermosillo y Baviácora

Bajo la metodología utilizada en este trabajo para cuantificar los niveles de giberelinas, no fue posible detectar la presencia de las giberelinas GA₁, GA₃, GA₄ Y GA₇ en la variedad 'Western' cultivada en Baviácora, Sonora. En la Figura 11A se presentan las concentraciones de GA₃ en el cultivar 'Western' en la CH, en la cual podemos observar que su concentración en el mes de julio fue de 3.59 ng/g PF que se incrementó a 7.06 ng/g PF en el mes de agosto reduciendo su contenido a 1.77 ng/g PF en el mes de septiembre y no detectando su presencia al momento de la cosecha en el mes de octubre. Sin embargo, las concentraciones de GA₁ (Figura 11B) en el mismo cultivar 'Western', una concentración de 16.7 ng/g PF en el mes de julio presentó una tendencia a reducir su concentración siendo de 12.69, 8.8 ng/g PF en los meses de agosto y septiembre respectivamente sin detectar su presencia en el mes de octubre.

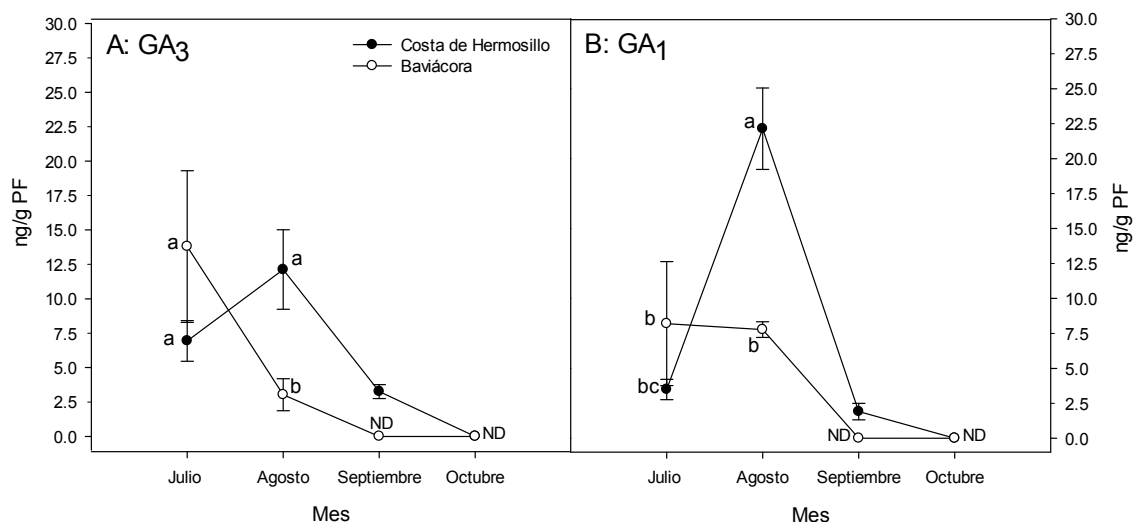


Figura 10. Concentraciones de GA₃ (A) y GA₁ (B) en nuez pecanera cultivar 'Wichita' en la temporada 2012. Literales similares indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores no detectados se representan con ND.

Cabe señalar que en nueces sin viviparidad los niveles de GA₁ fueron en promedio 3 veces superiores que GA₃ en los meses de julio a septiembre, reduciendo su concentración en ambas giberelinas a niveles no detectables en el mes de octubre. La condición encontrada de alta concentración de ABA y baja de giberelinas, caracterizan a un embrión en dormancia, condición que se genera en semillas sin germinación prematura (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006) como es el caso de las nueces colectadas sin evidencia de viviparidad en este estudio.

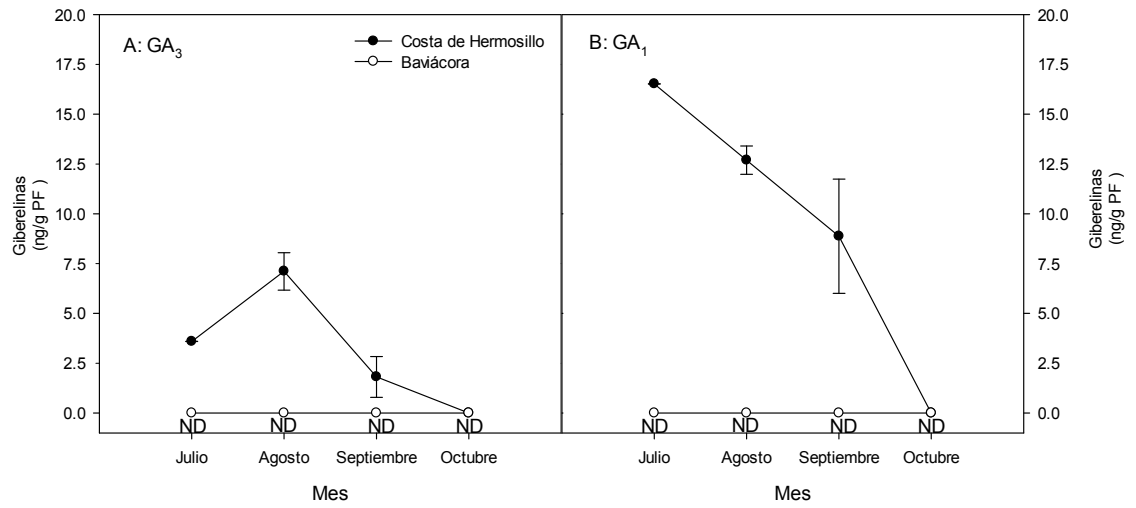


Figura 11. Concentración de GA₃ (A) y GA₁ (B) en Cultivar Western en a temporada 2012. Literales distintas presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores no detectados se representan con ND.

CORRELACIONES

En la Tabla 1 se presentan las correlaciones entre los factores ambientales y el contenido de las fitohormonas ABA y GAS en nueces de la costa de Hermosillo. Se observó una fuerte correlación positiva entre GA3 y GA1 para ambos cultivares. Mientras que la concentración de ABA respecto a las GAS mostró una correlación negativa, en todos los casos con valores que van de -0.77 hasta -0.97, lo que indica que puede existir un antagonismo entre ABA-GAS en las nueces de la costa de Hermosillo. Estudios previos han mostrado que ambas hormonas actúan en tiempos distintos en dependencia de sus procesos de síntesis (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006). En la Tabla 2 las correlaciones que se generaron en las nueces de la localidad de Baviácora se observaron valores bajos, lo que generó correlaciones débiles en los niveles de ABA con los parámetros ambientales (Temperatura y Humedad).

Tabla 1. Correlaciones de temperatura (T) y humedad relativa (HR) del período de julio a octubre de 2012, con los contenidos de ácido abscísico (ABA) y giberelinas (GA1 y GA3) durante el desarrollo de los frutos de nuez pecanera cv's 'Western'(WE) y 'Wichita' (WI) en la Costa de Hermosillo.

	T	HR	ABA- We	ABA- Wi	GA1- We	GA3- We	GA1- Wi	GA3- Wi
T	1							
H		1						
ABA- We	-0.2886	-0.0522	1					
ABA- Wi	0.6651	-0.0163		1				
GA1-We	0.5238	0.1963	- 0.8733		1			
GA3-We	-0.9931	0.2373	-0.969		0.7179	1		
GA1-Wi	-0.7819	-0.199		-0.7737			1	
GA3-Wi	-0.5282	-0.5155		-0.9411			0.9424	1

Tabla 2. Correlaciones de temperatura (T) y humedad relativa (HR) del período de julio a octubre de 2012, con los contenidos de ácido abscísico (ABA) y giberelinas (GA1 y GA3) durante el desarrollo de los frutos de nuez pecanera cv's 'Western'(WE) y 'Wichita' (WI) en Baviácora, Sonora.

	T	HR	ABA- We	ABA- Wi	GA1- We	GA3- We	GA1- Wi	GA3- Wi
T	1							
H		1						
ABA- We	0.658	0.4126	1					
ABA- Wi	-0.332	-0.0335		1				
GA1- We	*	*	*		1			
GA3- We	*	*	*		*	1		
GA1- Wi	*	*		*			1	
GA3- Wi	*	*		*			*	1

* indica que la correlación no se realizó debido a que se presentaron concentraciones de GAS y ABA no detectables.

CONCLUSIÓN

Las nueces cultivadas en la Costa de Hermosillo, presentaron mayor concentración de giberelinas que la localidad de Baviácora, lo que favorece a la germinación prematura, mientras que la localidad de Baviácora presentó mayor concentración de ABA lo que promueve el letargo en las semillas. Se requiere realizar más investigación para esclarecer el papel de las fitohormonas en el desorden fisiológico de la viviparidad en nogal pecanero.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, D. L. (1955). Temperature and the dormancy of apple seeds. Proceedings of the XIVth International Congress, Schveningen.
- Accuweather, (2012). <http://www.accuweather.com>
- Aguirre A L, E Tucuch, M Harris (1995) Oviposition and nut entry behavior of the pecan nut casebearer *Acrobasis nuxvorella*. *Southwestern Entomologist* (20): 447-451.
- AGROSON (2012). "Red Estatal de Clima." <http://www.agroson.org.mx/>.
- Chibani, K., Ali-Rachedi, S., Job, C., Job, D., Jullien, M., & Grappin, P. (2006). Proteomic analysis of seed dormancy in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 142(4), 1493-1510.
- Avila, C. G., & Montoya, I. L. (2000). Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego. *Terra*, 18(4), 306.
- CONAGUA (2010). "TEMPERATURAS Y HUMEDAD, HUEPAC." www.cna.gob.mx
- Corella-Madueño, M. A., Harris, M. K., Fu-Castillo, A. A., Martínez-Téllez, M. A., Valenzuela-Soto, E. M., Gálvez-Ruiz, J. C., & Vargas-Arispuro, I. (2011). Volatiles emitted by *Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch as a prelude for semiochemical investigations to focus on *Acrobasis nuxvorella* Nuenzig (Lepidoptera: Pyralidae). *Pest management science*, 67(12), 1522-1527.
- Davies, P. J. (1995) The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. Plant hormones, Springer: 1-15.

- Debeaujon, I., & Koornneef, M. (2000). Gibberellin requirement for Arabidopsis seed germination is determined both by testa characteristics and embryonic abscisic acid. *Plant Physiology*, 122(2), 415-424.
- Deschamps, L. (2010). "Caso de éxito productora de nuez S.P.R. de R. I."
- Díaz, G. M. (2008). "Efecto de inhibidores de la biosíntesis de giberelinas en la viviparidad del nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch.)." *Biotecnia* X(3): 30-37.
- Di Nola, L. and R. B. Taylorson (1989). "Brief High Temperature Exposure to Release Dormancy Affects Soluble and Membrane-Bound Protein Composition in *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. seeds." *Journal of Plant Physiology* 135(1): 117-121.
- Di Nola, L., Mischke, C. F., & Taylorson, R. B. (1990). Changes in the composition and synthesis of proteins in cellular membranes of *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. seeds during the transition from dormancy to germination. *Plant physiology*, 92(2), 427-433.
- Duarte L., E. 1997. Daños por áfidos en nogal. En: L.A. Rodríguez y S.H. Tarango (eds). Manejo integrado de plagas de nogal. México. INIFAP-FPCH-FPNL. P.69-80.
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523.
- Finkelstein , R.R. (2004) The role of hormones during seed development and germination . In *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* Edited by Davies , P.J. pp. 513 – 537 . Kluwer Academic Publishers , Dordrecht, The Netherlands .
- Fu-Castillo A, A Millanes, M H Nuñez, M Harris (2004) Dinámica poblacional del gusano barrenador de la nuez "Acrobasis nuxvorella" Neunzig (Lepidoptera: pyralidae) en Sonora. *Entomología Mexicana* (3): 559-663

- Fu-Castillo A, E Urias-García, R Millanes, B Villa (2005) Evaluación de insecticidas para control del “Gusano barrenador de la nuez” *Acrobasis nuxvorella* en la costa de Hermosillo, Sonora. *Memoria técnica* 19: 40-45.
- Grageda, J. G., Castillo, A. A. F., Gascón, B. V., Moreno, J. H. N., Lagunes, A. J., Palma, R. S., & García, E. U. EL CLIMA Y LA PRODUCCIÓN DE NOGAL PECANERO. In “XIV SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NOGAL PECANERO”(p. 55).
- Toyomasu, T., Kawaide, H., Sekimoto, H., Numers, C. V., Phillips, A. L., Hedden, P., & Kamiya, Y. (1997). Cloning and characterization of a cDNA encoding gibberellin 20-oxidase from rice (*Oryza sativa*) Seedlings. *Physiologia Plantarum*, 99(1), 111-118.
- Hedden, Peter, and Andrew L. Phillips. "Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes." *Trends in plant science* 5.12 (2000): 523-530.
- Hendrics, T. y. (1977). "Dormancy in Seeds." Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 28: 331-354.
- Hernandez, Y., Villa, N., Fourtul, G., & De La Cruz, J. (2012). Niveles de giberelinas endógenas y elementos minerales durante la transición floral en plátano (*Musa AAB*) cv Hartón. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 29(1).
- Jasso, R. (2010). "comunicación Personal,." INIFAP.
- Karssen CM, Lacka E, 1986. A revision of the hormone balance theory of seed dormancy: studies of gibberellin and/or abscísic acid-deficient mutants of *Arabidopsis thaliana* In: Boop M, ed. *Plant growth sustances* 1985. Berlín, Germany: Springer-Verlag, 315-323.
- Karssen, C. M. (1995). Hormonal regulation of seed development, dormancy, and germination studied by genetic control. *Seed development and germination*, 333-350.

- Kasahara, H., Hanada, A., Kuzuyama, T., Takagi, M., Kamiya, Y., & Yamaguchi, S. (2002). Contribution of the Mevalonate and Methylerythritol Phosphate Pathways to the Biosynthesis of Gibberellins in *Arabidopsis*. *Journal of Biological Chemistry*, 277(47), 45188-45194
- Kelen, M., Demiralay, E. C., Sen, S., & Özkan, G. (2004). Separation of Abscisic Acid, Indole-3-Acetic Acid, Gibberellic Acid in 99 R (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) and Rose Oil (*Rosa damascena* Mill.) by Reversed Phase Liquid Chromatography. *Turkish Journal of Chemistry*, 28(5).
- Gibson, R., L. Nunan and M. Kilby. 1999. Pecan yields and nut quality as influenced by soil trenching and tree pruning. University of Arizona College of Agriculture 1999 Citrus research report. Index at <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1138/>
- Kilby, M., & Gibson, R. (2000). Performance of mature pecan varieties in the Low Desert of Pinal County 1997-1999.
- Kucera B, Cohn MA, Leubner-Metzger G. 2005. Plant hormone interaction during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research* 15: 281-307.
- Lagarda, A. (1993). "Características de variedades de nogal adaptables a la zona norte de México." Memorias X Ciclo Conf. . Int. de prod. de Nuez. Delicias Chih.
- Lagarda M., A. 2000. Evaluación de los factores que influyen sobre la germinación de la nuez. Informe de Investigación. INIFAP-CELALA.2000. Torreón, Coahuila.
- Lagarda, A. (2007). "LA GERMINACION PREMATURA DE LA NUEZ PECANERA (VIVIPARIDAD) " Seminario Nogal Pecanero, INIFAP 24: 9-17.
- Leubner-Metzger, G., Frundt, C., Vogeli-Lange, R., & Meins Jr, F. (1995). Class I [β]-1, 3-Glucanases in the Endosperm of Tobacco during Germination. *Plant Physiology*, 109(3), 751-759.

- Leubner-Metzger G. 2003. Functions and regulation of β -1,3-glucanase during seed germination, dormancy release and after-ripening. *Seed Science Research* **13**: 17–34.
- Martínez-Díaz, Gerardo. (2011) El ácido giberélico incrementa la germinación prematura en el nogal pecanero. *Tecnociencia*, Chihuahua.
- Manz, B., Müller, K., Kucera, B., Volke, F., & Leubner-Metzger, G. (2005). Water uptake and distribution in germinating tobacco seeds investigated in vivo by nuclear magnetic resonance imaging. *Plant Physiology*, *138*(3), 1538-1551.
- McCarty, R. (1995). "Genetic Control and Integration of Maturation and Germination Pathways in Seed Development." *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*.
- Municipio de Huepac (2012). <http://www.huepac.gob.mx/>
- Núñez, M. JH y G. Martínez D. 2001. *Manejo integrado de plagas, enfermedades y maleza. In: El nogal pecanero en Sonora. CECH-CIRNO-INIFAP. pp, 123-174.*
- Nuñez, H. (2001). "Desarrollo del nogal pecanero." *El nogal pecanero en Sonora. INIFAP, Hermosillo, Sonora*: 23-38.
- Olszewski, Neil, Tai-ping Sun, and Frank Gubler. "Gibberellin signaling biosynthesis, catabolism, and response pathways." *The Plant Cell Online* *14*.suppl 1 (2002): S61-S80.
- Orona Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Fortis Hernández, M., Vázquez Vázquez, C., & Gallegos Robles, M. Á. (2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *4*(3), 461-476.
- Ring D R, M K Harris (1984) Nut entry by 1st summer generation pecan nut casebearer, *Southwestern Entomologist* *9*(1): 13-21.
- S., S. C. (1974). "Seeds of woody plants in the United States." *USDA Handbook 450*(Washington, D. C.).

- SAGARPA (2010). "Infografías." <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/infografias/Paginas/nuez.aspx>
- Schander, H. (1955). "Sortenvergleichende Untersuchungen über die Temperature-ansprüche stratifizieren Saatgutes con Kernobst und über die Reversibilität Stratifikationsvorgänge " Keimungsphysiologische Studien an Kernobst III: 89-97.
- Schopfer P, Plachy C. 1984. Control of seed germination by abscisic acid.II. Efecto n embryo wáter uptake in *Brassica napus* L. *Plant Physiology* 76: 155-160.
- Tarango, R. (2006). "Manejo del nogal pecanero con base en su fenología." INIFAP Folleto técnico No. 24.
- Taylorson, R. B., & Hendricks, S. B. (1977). Dormancy in seeds. *Annual review of plant physiology*, 28(1), 331-354.
- Visser, T. (1956). "Some observations on respiration and secondary dormancy in apple seeds." Proc. Koninkl Ned. Akad. Wetenschap. Sci. C **59**: 314-324.
- Yamaguchi, S., & Kamiya, Y. (2000). Gibberellin biosynthesis: its regulation by endogenous and environmental signals. *Plant and Cell Physiology*, 41(3), 251-257.
- Yamaguchi S, Kamiya Y. 2002. Gibberellins and light-stimulated seed germination. *Journal of Plant Growth Regulation* **20**: 369–376.
- Yamaguchi, S. (2008). "Gibberellin metabolism and its regulation." Annu. Rev. Plant Biol. **59**: 225-251.