



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO**

**MAESTRIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

**INDUCCIÓN DE VARIABILIDAD EN AGUACATE CV
HASS MEDIANTE MUTAGÉNESIS RADIOINDUCIDA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

DANIEL NIETO FLORES

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. Martín Rubí Arriaga

Dr. Eulogio De La Cruz Torres

Dr. José López Medina

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO". EL CERRILLO, PIEDRAS
BLANCAS, TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO. OCTUBRE, 2017.

DEDICATORIAS

A LA MUJER DE MI VIDA; Lore, por tu inagotable paciencia, entrega, apoyo y amor que tanto me ayudan, y por todas esas cualidades que te convierten en una mujer maravillosa... mi más grato agradecimiento y mi gran anhelo para seguir adelante, eres el hombro de apoyo que siempre está ahí para apoyarme... **TE AMO FLACA.**

A MI PADRES; Dionicio Nieto Pedroza (†), a ti que sembraste en mi la esperanza de ser un hombre de bien. Te dedico este esfuerzo MI VIEJO, esperando recibir tu bendición desde donde te encuentres... y a mi madre; Josefina Flores Sotelo como muestra de gratitud a tu inagotable apoyo, desvelo y amor incondicional para verme formado como el profesionista de éxito. No tengo con que pagarles.... **LOS AMO.**

A MIS HERMANOS; Pepe, Susy, Heriberto, Jesús, Jessica y Anahí, por su entregado aprecio, esmero y por darme el apoyo y la confianza que todo hermano requiere en algunos momentos de la vida... **gracias por su apoyo.**

A MIS SOBRINOS; que llenan de orgullo a la familia y que recompensan a cada instante la vida de sus padres, abuelos y tíos... **los quiero mucho escuincles.**

A MIS HIJITAS; Daniela, Jiromi, Jatziri y Lorena A ustedes que son fruto de la bendición más grande que el Creador nos ha dado a su madre y a mí... y esperando este sea un ejemplo a seguir y a superar para ustedes **LAS AMO NIÑAS**

A MIS MAESTRSO Y ASESORES; por compartir conmigo los conocimiento y enseñanzas de toda una vida y por todos esos momentos tan valiosos que sin ustedes no hubiera sido igual.

A MIS COMPAÑEROS; que con su presencia enriquecieron los espacios y momentos de esta etapa de mi vida, les deseo mucho éxito.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Martín Rubí Arriaga; Coordinador General del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, por su valiosa conducción y contribuciones durante el desarrollo de este valioso trabajo y sobre todo por el honor de su amistad.

Dr. Benjamín Zamudio Gonzalez; Investigador del INIFAP, por su destacada colaboración en los trabajos realizados con la presente tesis.

Dr. Andrés Gonzalez Huerta: Por su invaluable apoyo para culminar este proyecto.

Dr. Eulogio de la Cruz Torres: Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, por los conocimientos aportados a este proyecto, así como la estadía en el Centro de investigación; que sin duda alguna dejaron un legado en mi trayectoria profesional.

UAEM; Por todo el apoyo para realizar un logro más en mi carrera profesional. Llevaré con orgullo sus enseñanzas y su identidad; y pondré en lo más alto su nombre a donde quiera que vaya.

CONACYT, Por la beca otorgada para el desarrollo de mi programa de Maestría

RESUMEN

La mutagenesis radioinducida ha contribuido significativamente a la obtención de nuevas variedades en gran número de cultivos a nivel mundial existiendo en la actualidad más de 2 500 variedades liberadas en las que se aplicó esta tecnología, destaca su aplicación en plantas que se propagan vegetativamente. En el caso del aguacate, la dependencia de una sola variedad 'Hass', debido a características como reducida alternancia, forma y tamaño del fruto, color y grosor de la cascara, que le confieren facultades para un adecuado manejo poscosecha, esta explotación univarietal se convierte en un alto riesgo, pues la presencia de problemas fitosanitarios o condiciones climáticas adversas que afecten su desarrollo constituye una amenaza para la agroindustria aguacatera mundial. Lo anterior marca la urgente necesidad de buscar nuevas variedades que permitan diversificar la explotación de esta especie. Con el objetivo de generar variabilidad en aguacate Hass mediante mejoramiento por mutagénesis se evaluó el desarrollo vegetativo y reproductivo de 110 árboles, generados a partir de varetas sometidas a radiación gamma de ^{60}Co en dosis de 0, 5, 10, 15, 20, y 25 Gy e injertadas en julio de 2011. Las dosis de 20 y 25 Gy propiciaron una reducción en altura sin modificar sustancialmente el diámetro del follaje, además generaron mayor variabilidad en altura y circunferencia del injerto. Las dosis de 10 y 15 Gy propiciaron aumento en la extensión del vástago y de la lámina foliar. Esta última dosis indujo un incremento en el número de frutos del 200% respecto al testigo. La radiación afectó ligeramente características de fructificación como longitud y diámetro del fruto, pedúnculo y pedicelo.

Palabras clave: aguacate Hass, mutagenesis, variabilidad genética

ABSTRACT

Radioinduced mutagenesis has contributed significantly to the production of new varieties in a large number of crops worldwide. Currently, there are more than 2,500 varieties released in which this technology has been applied, emphasizing its application in plants that are vegetatively propagated. In the case of avocado, the dependence of a single variety due to characteristics such as reduced alternation, shape and size of the fruit, color and thickness of the shell, which confer the faculty for an adequate postharvest handling, this univariate exploitation becomes a high risk, as the presence of phytosanitary problems or adverse climatic conditions that affect their development is a threat to the global aguacatera agroindustry. This marks the urgent need to look for new varieties that allow diversification of the exploitation of this species. In order to generate variability in Hass avocado by means of mutagenesis improvement, the vegetative and reproductive development of 110 trees, generated from rods subjected to ^{60}Co gamma radiation at doses of 0, 5, 10, 15, 20, and 25 Gy and grafted in July 2011. The doses of 20 and 25 Gy resulted in a reduction in height without substantially modifying the diameter of the foliage, in addition they generated greater variability in height and girth circumference. The doses of 10 and 15 Gy favored increase in the extension of the stem and of the foliar leaf. This last dose induced an increase in the number of fruits of 200% with respect to the control. Radiation slightly affected fructification characteristics such as fruit length and diameter, peduncle and pedicle.

Key words: Hass avocado, mutagenesis, genetic variability

ÍNDICE

Dedicatorias	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice	v
Índice de cuadros	vi
Índice de figuras	vii
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	3
2.1 Origen e Historia del aguacate	3
2.2 Clasificación taxonómica del aguacate	4
2.3 Descripción morfológica	5
2.4 Requerimientos edafoclimáticos	7
2.5 Plagas del aguacate	8
2.7 Enfermedades más comunes del aguacate	10
2.8 Variedades comerciales del aguacate	12
2.9 Mejoramiento genético	14
2.10 Disciplinas relacionadas en el mejoramiento genético	15
2.11 Historia del Mejoramiento Genético	17
2.12 Métodos propios de Mejoramiento Genético	23
2.13 Mutagenesis aplicada al mejoramiento genético	26
2.14 Mejoramiento genético en aguacate	27
III. Justificación	29
IV. Hipótesis	31
V. Objetivos	31
VI. Materiales y Métodos	32
VII. Resultados y Discusión	36
VIII. Discusión general	53
IX. Conclusiones	58
X. Literatura citada	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del aguacate <i>Persea Americana</i> Mill	5
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <u>Altura de la planta y diámetro del follaje</u>	<u>15</u>
Figura 2. <u>Tendencia de la altura con relación a la circunferencia del injerto</u>	<u>17</u>
Figura 3. <u>Diámetro del follaje y altura en función de la dosis</u>	<u>25</u>
Figura 4. <u>Relación diámetro del follaje-altura y proporción y proporción de A.T.C. en función de las dosis</u>	<u>25</u>
Figura 5. <u>Número de frutos en diferentes etapas de desarrollo y absorción</u>	<u>44</u>
Figura 6. <u>Longitud y diámetro del fruto</u>	<u>46</u>

I. INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda de alimentos a nivel mundial ha aumentado notablemente en los últimos años y el aguacate (*Persea americana* Mill.) es un ejemplo claro ya que es demandado en diversos países; es el tercer producto agropecuario con mayor exportación después de jitomate y café. En México este cultivo se encuentra establecido en 27 estados de la república.

Una de las principales limitantes en la producción es el manejo agronómico debido al porte de los árboles de aguacate ya que dificulta su manejo tanto para el control de plagas y enfermedades como para la cosecha. El mejoramiento genético orientado a este frutal pretende generar materiales de menor tamaño y con características sobresalientes en cuanto a rendimiento preservando las características organolépticas del fruto.

Otro problema que se enfrenta en el cultivo de aguacate es que se depende solamente de una variedad (Hass) en más de 95% de las plantaciones a nivel nacional (Rogel, 1999). Adicionalmente los métodos de mejoramiento genético tradicional como la hibridación y la selección son métodos muy tardados y costosos. Por ello, el mejoramiento genético por inducción de mutaciones se perfila como un método alternativo que ha sido aplicado en cultivos ornamentales y otros de interés económico. Hasta ahora, la aplicación de esta técnica en Mexico ha obtenido efectos en cuanto a la disminución o aumento del porte,

cambio en los patrones de floración y fructificación e influencia sobre el desarrollo vegetativo (De la Cruz, *et al*, 1995(b)). Estos trabajos han reportado gran mortandad en el material irradiado mientras que en cuba, estudios realizados por Fuentes, *et al* (2004) muestran que la radiosensibilidad de materiales usados como portainjertos incluido Hass reporta que las dosis letales medias son de 27 grays para Hass y 28 grays de rayos Gamma para el cultivar Duke lo cual sirve de apoyo para diseñar un proyecto de mutagénesis en portainjertos de aguacate partiendo de la sensibilidad de los cultivares para evitar someter a radiaciones mayores. La combinación de técnicas como la mutagénesis y la reproducción *in vitro* se convierten en una alternativa eficaz y más rápida para la evaluación de nuevos materiales de aguacate que resulten eficientes en la producción disminuyendo su susceptibilidad a plagas y enfermedades y manteniendo o mejorando las características de rendimiento de los cultivares explotados comercialmente en la actualidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e Historia del aguacate

El aguacate es nativo de América, especialmente centro y este de México y partes altas de Guatemala (Williams 1977), en esta área, se realizó la domesticación, ya que existen registros fósiles de aguacate encontrados en el Valle de Tehuacán en el Estado de Puebla es de 8 000 años (Smith, 1966). Los primeros pobladores de América Central y del Sur y Centro de México probablemente domesticaron al aguacate al descubrir su exquisito sabor (Téliz y Marroquín, 2007).

México es el país con más amplia diversidad de tipos de aguacate con al menos 20 especies, siendo este país, el que mayor diversidad presenta, esto debido a la variación edafoclimática que se presenta en el territorio nacional, de ahí la importancia de México en la conservación de los recursos genéticos del aguacate, ya que después de México, solo Brasil tiene tantas especies distintas de aguacate con 18 especies (Barrientos y López, 2000). Se ha reportado que el aguacate está presente en zonas boscosas y selvas con un clima tropical, subtropical y templado-cálido de Centroamérica, y Sureste mexicano y en las regiones centrales de México en donde se han encontrado diversas variedades silvestres de aguacate.

El origen y domesticación del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y Este de México y Guatemala. Entre los años 8000 y 7000 antes de Cristo, culturas antiguas contaban con un buen conocimiento acerca de este fruto y sus variedades, como se muestra en el Códice Florentino, donde se mencionan tres tipos de aguacate, que de acuerdo a su descripción 'aoacatl' podría tratarse de *Persea americana* var. *Drymifolia* (Raza mexicana), 'tlacacolaocatl' a *Persea americana* var. *Americana* (raza antillana) y 'quillaoacatl' a *Persea americana* var. *Guatemalensis* (raza guatemalteca) (Barrientos y López, 2000).

2.2 Clasificación taxonómica del aguacate

El género *Persea*, se divide en dos subgéneros; *Persea* y *Eriodhappe*, diferenciándolas por la pubescencia de la cara inferior de los sépalos; *Persea* tiene ambas caras pubescentes y en *Eriodhappe* la cara interna es sin pubescencia. El aguacate *Persea americana* Mill, pertenece al subgénero *Persea*, que son de un tamaño mayor que los del otro subgénero (Téliz y Marroquin, 2007).

En la actualidad el género *Persea* contiene alrededor de 85 especies; la mayoría se encuentran desde el sur de los Estados Unidos (*Persea barbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*), excepto *Persea indica*, que se encuentran en las Islas Canarias (España) y otras del sur de Asia cuya inclusión en el género *Persea* no está definida (Téliz y Mora, 2000).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del aguacate (*Persea americana* Mill).

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnolipsida
Subclase	Magnoliidae
Orden	Laurales
Familia	Lauraceae
Género	Persea Mill

Consultado 2017: (<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PEAM3>)

2.3 Descripción morfológica

Raíz: raíces superficiales cuya profundidad puede llegar de 1 a 1.5 m dependiendo de la variedad, suelo y otras condiciones de producción, posee pocos pelos radicales. (Rodríguez, 1982).

Tallo: aéreo con características leñosas y follaje siempre verde. El aguacate es un árbol, cuyo crecimiento y desarrollo es variable, llegando a medir hasta 30 m de altura. (Rodríguez, 1982).

Hojas: Árbol perennifolio. Hojas alternas, pedunculadas, lanceoladas, elípticas, su tamaño oscila entre 5 y 30 cm. de largo y de 4 a 10 cm. de ancho, muy brillantes. Las variedades Mexicanas desprenden un olor característico.

Flores: son hermafroditas, actinomorfas (simétricas), de color verde amarillento y con un diámetro aproximado de un 1cm, la inflorescencia es una panícula que puede ser axilar o terminal. Se estiman 200 flores o más por panícula. El androceo está compuesto por 12 estambres insertos por debajo del ovario o alrededor del mismo. De los estambres 9 son funcionales. El gineceo posee un solo pistilo, un ovario súpero, unilocular y posee un solo óvulo (Rodríguez 1982).

Según Fersini (1975), las flores están reunidas en racimos axiliares y en grandes cantidades, pero solo pequeña parte de ellas llegan a dar frutos. Las flores son hermafroditas, regulares, homoclamídeas con perigonio acreciente con el fruto, con 6 divisiones dispuestas en 3 series, con disco carnosos soldados con el fondo del perigonio, de color blanquecino o verde amarillento. La autofecundación

resulta obstaculizada en cuanto los relativos órganos reproductores, masculinos y femeninos, no llegan madurar al mismo tiempo; por esto la planta se conduce como si fuera dioica y, normalmente la reproducción está asegurada por fecundación cruzada (Delgado *et al.* 2013).

Fruto: baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa. El envero sólo se produce en algunas variedades y la maduración del fruto no tiene lugar hasta que éste se separa del árbol (Delgado *et al.* 2013).

2.5 Requerimientos Edafoclimáticos

Suelo: Se adapta a diversos tipos de suelo, desde los arenosos hasta los compactos, prefiriendo un suelo franco y moderadamente profundo con poca salinidad, ya que es aguacate es muy susceptible al exceso de sodio. El pH óptimo para el desarrollo del aguacate oscila entre 6.0 a 7.5, aunque puede variar según la raza o variedad (Ibar, 1983). Según lo reportado por Benacchio (1982), es indispensable que el terreno posea buen drenaje.

Precipitación: El aguacate requiere una precipitación media anual entre 800 y 1000 mm anuales, aunque la raza antillana requiere hasta 2000 mm y la guatemalteca hasta 1500 mm anuales. (Ibar, 1983).

Temperatura: el aguacate crece en un rango de 10 a 35°C con un rango optimo entre 15 a 30° C, esta situación también varía según la raza (Benacchio, 1982).

Fotoperiodo: En cuanto a la luz, el aguacate se comporta como una planta de día corto pero requiere mucha insolación y lugares con vientos moderados, ya que podrían provocar caída de flores y afectar la producción (Benacchio, 1982).

2.6 Plagas del aguacate

Existen al menos 49 especies que se consideran como plaga para los arboles de aguacate pero solo 12 se consideran de mayor importancia, entre ellas tenemos las siguientes:

Barrenadores de hueso: Estos insectos depositan sus huevecillos en los frutos de unas perforaciones que hacen las hembras con su pico, de tal manera que quedan los huevecillos en contacto con la pulpa del fruto y aislados del exterior por un sello que deja la hembra, su ciclo biológico desde la ovoposición hasta la emergencia es aproximadamente de 77 días, la larva pasa por cinco estadios larvarios, con una duración promedio de 20 días, el estado de pupa dura aproximadamente unos 13 días (Ortega y Llanderal, 1990). Es considerada como de las plagas más importante del aguacate ya que pueden causar pérdidas del 40% al 85% del total de la producción, el fruto es atacado desde el cuajado del

fruto provocando perforaciones a causa de la ovoposición de los adultos, estas perforaciones se pueden observar desde el exterior del fruto en forma de media luna (Llanderal y Ortega, 1990).

Barrenadores de rama: Los adultos son de cuerpo robusto, de coloración que va del pardo-rojizo. Los machos tienen una longitud aproximada de 4 mm y las hembras de 5.2 mm, las hembras ovipositan en brotes tiernos del árbol, aunque también llegan a barrenar en infestaciones muy severas ramas gruesas, la incubación de los huevos dura de 10 a 12 días, las larvas pasan por cinco estadios con un periodo de 108 a 117 días, la pupación dura alrededor de 17 a 19 días y se lleva a cabo dentro de los túneles de las ramas de donde posteriormente emergen como adultos. El daño inicial consiste en lesiones producidas por su aparato bucal de los adultos en brotes tiernos, muchas de estas lesiones son utilizadas como sitio de ovoposición de las hembras. Las larvas que eclosionan barrenan a través de la epidermis hasta llegar a la medula de la rama. En infestaciones severas pueden ocasionar caída de las ramas ayudado de factores como el clima y el peso de los frutos (García *et al.*, 1986).

Trips: Los trips son pequeños insectos que pueden medir de 0.3 a 1.4 mm de longitud, de color blanco, amarillo pálido a castaño oscuro (Johansen *et al.*, 1999). Una de sus características principales son los dos pares de alas largas que pueden llegar a cubrir el abdomen; son muy estrechas y presentan en sus márgenes pelos muy finos que forman flecos. Poseen un aparato bucal picador

chupador. En general se les puede encontrar en poaceas, hojarascas, musgos, hongos y líquenes. La mayoría son fitófagos, aunque también existen especies depredadoras y parasitoides (Johansen *et al.*, 1999). Existen aproximadamente 5000 especies conocidas de trips, los cuales se ubican en dos subórdenes y ocho familias. Sin embargo son pocas las especies, especialmente de la familia Thripidae, que son plagas de diferentes cultivos (Lewis, 1973).

2.7 Enfermedades del aguacate

Pudrición de la raíz (tristeza del aguacatero): La pudrición de raíces es la enfermedad más importante del aguacate, es causada principalmente por el hongo *Phytophthora cinamomni*, aunque (*P. citrícola*, *P. cactorum*, *P. parasítica*, *P. palmivora*, *P. heveae*). El hongo causante ataca la base del tallo y lo coloniza totalmente, evita la absorción de agua y su transporte al follaje, produce marchitez, secamiento y muerte repentina del árbol.

Mancha negra o cercospora: Es ocasionada por el hongo *Cercospora purpurea* Cooke, la alta precipitación y la mala nutrición de las plantaciones agrava su severidad. Esta enfermedad ataca a las hojas y produce lesiones pequeñas color marrón oscuro, provocando la caída de todo el fruto del árbol. En poscosecha, ocasiona la llamada mancha negra en el fruto.

Polvillo o Mildiu (*Oidium* sp): Esta enfermedad se manifiesta con la aparición de polvillo blanco sobre las inflorescencias, frutos y hojas, causando su caída. Además, las hojas afectadas se deforman y posteriormente aparecen en ellas manchas irregulares color negro. Este hongo requiere de poca humedad relativa para desarrollarse.

Antracnosis: Enfermedad causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. Penetra en las lesiones ocasionadas por otros hongos, se desarrolla antes de la cosecha y se manifiesta en poscosecha, atacando a los frutos cuando casi están para cosechar. Inicialmente se manifiesta con manchas redondas color marrón, paralelamente, el hongo produce una pudrición en la pulpa de fruto, que ocasiona un sabor desagradable y avanza hasta colonizar el hueso.

Cancro del aguacate (*Phytophthora bohemeriae* Sawad): Se encuentra en la base del tronco hasta la altura de un metro, su importancia radica en la velocidad de desarrollo y capacidad de daño alrededor del tronco. Reduce el vigor del árbol con producción de frutos pequeños y de mala calidad.

Fusariosis: Ataca directamente la raíz del árbol en cualquier estado de desarrollo, provocando pudrición y secamiento en las hojas. Es importante destruir los troncos viejos y quemarlos para eliminar la enfermedad.

Roña: El hongo *Sphaceloma perseae* afecta a la hojas, principalmente las nuevas, y daña a los frutos, deteriorando su calidad estética. En el fruto son lesiones irregulares color marrón de apariencia corchosa, estas lesiones no son superficiales y no afectan la pulpa. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enroscan hacia arriba y pueden llegar a morir. El principal daño lo ocasionan por el rompimiento de las células epidérmicas de las plantas, por lo cual se origina el necrosamiento de estas áreas, que posteriormente son invadidas por bacterias y hongos (Ascensión *et al.*, 1999).

2.8 Variedades comerciales de aguacate.

Según SAGARPA (2011), las variedades que más se comercializan en México son siete, y la comercialización y aceptación de ellas se dispone de manera distinta de acuerdo a la región geográfica. Estos cultivares se describen a continuación.

Bacón: Fruta disponible durante otoño hasta primavera. El fruto es de forma ovalada, pulpa amarilla verdosa que tiene un gran sabor con textura suave. Es fácil de pelar y contiene un hueso mediano a grande. Al madurar, la piel de este fruto toma un color más oscuro.

Pinkerton: Tiene cosecha temprana, redondo, con cuello en forma de pera, de tamaño medio. Se trata de una fruta de apariencia larga, pulpa cremosa con excelente sabor. Tiene una cascara más gruesa que las diferentes clases de aguacate, además es muy fácil de pelar. Lo encontramos de invierno hasta primavera.

Gwen: Lo encontramos desde principios de primavera hasta finales de verano. Es una fruta redonda, la piel es delgada y granulada de color verde. El sabor de la pulpa es suave y cremoso.

Reed: Disponible en verano e inicios de otoño. Su piel permanece gruesa y verde, tienen buen sabor, presenta una suave presión cuando está madura. Es fácil de pelar y contiene una semilla mediana.

Criollo: Se caracteriza por tener una cascara muy delgada y suave, que se aferra a la masa, además, un hueso muy grande. El color de su cascara es oscura y su pulpa al madurar adopta un color amarillo-limón. Tiene entre sus principales características ser resistente al frío.

Fuerte: Su cáscara es gruesa, comparada con otras especies y no se oscurece con la maduración. Su piel es ligeramente áspera, con muchos pequeños puntos

amarillos. Lo podemos encontrar desde finales de otoño hasta primavera. Tienen la forma de una pera, de gran sabor y pulpa cremosa.

Hass: Cuando está maduro, su cascara adquiere un tono oscuro, casi negro. Su piel pasa de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un gran sabor a nuez y avellana, con textura suave-cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Disponible durante todo el año. El aguacate Hass proviene de injerto, mezcla de diferentes variedades de aguacate, desarrollado por Rudolph Hass.

2.9 Mejoramiento genético

El mejoramiento genético se inició cuando el hombre empezó a recolectar las mejores plantas y multiplicarlas, siendo la selección el primer método de mejoramiento. En la actualidad, el mejoramiento convencional o domesticación de cultivos sigue los principios básicos de selección y cruza entre individuos con caracteres deseables (Acquaah, 2006).

El mejoramiento genético es la ciencia, el arte y el negocio de mejorar las plantas para el beneficio humano (Bernardo, 2002). En general, el mejoramiento genético de plantas tiene por finalidad la obtención de variedades con características de mayor rendimiento, mayor calidad comercial y nutritiva, mayor resistencia a factores abióticos y bióticos adversos al cultivo. En otras palabras, el

mejoramiento genético de un cultivo, tiene por finalidad la generación de variedades más eficientes producir productos aprovechables por el hombre como alimento, como materias primas para la industria, como forraje para los animales domésticos, entre otros.

2.10 Disciplinas relacionadas en el Mejoramiento Genético

En este punto hemos de diferenciar entre las disciplinas que la fundamentan (Genética mendeliana, genética molecular, citogenética y genética de poblaciones y cuantitativa), y las disciplinas que la apoyan como puedan ser, química, botánica, fisiología, fitotecnia, patología, entomología, estadística y biometría etc.

- Genética mendeliana y citogenética: proporcionan el conocimiento de los mecanismos de la herencia de los caracteres, base de los modernos métodos de mejora.
- Genética molecular: ha permitido un mejor conocimiento de la estructura y función génica y hoy en día sus avances permiten el empleo de técnicas de ADN recombinante para la creación de nuevos genotipos.
- Genética de poblaciones y cuantitativa: la primera nos da las pautas para la comprensión de los mecanismos evolutivos y de estabilidad de las poblaciones y la segunda nos permite conocer y aprovechar mejor las diferencias entre los individuos de grado, más que de clase, cuantitativas.

- Química: proporciona, por una parte los procedimientos analíticos que permiten evaluar y seleccionar individuos (por ejemplo, contenido en azúcar de la remolacha, contenido proteico y de aminoácidos en semillas de cereales y leguminosas, toxinas, entre otras.
- Bioquímica: fundamentalmente y gracias a sus avances en los últimos 30 años, ha interactuado de forma muy favorable con diferentes aspectos genéticos y de mejora; así los estudios de isoenzimas repercuten en el conocimiento evolutivo y taxonómico además de la identificación del genotipo; se han identificado muchas rutas biosintéticas de metabolitos importantes, por ejemplo los ácidos grasos en Brassica entre otros.
- Botánica y en especial la taxonomía: al estudiar la diversidad de los cultivos y sus relativos silvestres, que son los materiales básicos de la mejora.
- Taxonomía: basada en los conocimientos citogenéticos y evolutivos la que menos ambigüedad presenta y la que más utilidades reporta.
- Fisiología: que asociada con los avances producidos en la bioquímica a nivel celular, de tejido o de órgano, nos permitirá conocer y entender mejor el desarrollo normal de las plantas, y su respuesta a medios ambientales de "stress". Aspectos relacionados con la fotosíntesis, fijación del nitrógeno atmosférico, respiración, osmoregulación, fijación de nitrógeno atmosférico, absorción de iones, transpiración, transporte de solutos en la planta importan enormemente a la mejora, y su conocimiento profundo permitirá definir el ideotipo más adecuado para cada circunstancia.

- Estadística y la biometría: desempeñan en la mejora también un papel primordial. Permiten diseñar experiencias, analizar los resultados, predecir estrategias de mejora encaminadas a optimizar la respuesta a la selección etc.
- Fitotecnia: al suministrar conocimientos sobre los cultivos y sus producciones. Proporcionando la capacidad para evaluar críticamente el material disponible, establecer los objetivos agronómicos de la mejora y planificar así un programa eficiente.

2.11 Historia del Mejoramiento Genético

La domesticación es un proceso por el cual las plantas silvestres se convierten en cultivadas. En la época de la agricultura incipiente, el hombre aprendió a obtener semillas de las plantas silvestres y a sembrarlas para beneficiarse de la cosecha. Poco a poco fue usando algunos procedimientos elementales de selección para mejorar sus cultivos, basados en la simple observación de que los hijos se parecen a los padres.

Aunque los procedimientos de selección deben haberse hecho más eficientes a medida que la agricultura desarrollaba, lo más probable es que las grandes diferencias que ahora se notan entre las plantas cultivadas y sus parientes silvestres, hayan sido producto de la adaptación a un medio más controlado y a otros procesos naturales, más que a la aplicación de métodos eficientes de selección. El mejoramiento de cultivos hasta llegar a las formas que actualmente conocemos, tiene que haberse realizado con la aplicación de alguna forma de

selección. Todos los métodos tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población, o crear genotipos nuevos con características previamente definidas. Así los métodos están diseñados, para en mayor o menor grado:

1. Generar semilla cuya descendencia reproduzca el genotipo deseado.
2. Hacer máximo uso de la variabilidad genética presente en la (s) población(es) seleccionada (s).
3. Crear mayor variabilidad genética, a través de la hibridación y recombinación, para obtener nuevos genotipos.
4. Evaluar la descendencia para definir el genotipo.
5. Ejercer control del mecanismo de floración y polinización.
6. Controlar el efecto del ambiente, de la interacción genotipo por ambiente y del error experimental, para mejorar la heredabilidad.

Es relativamente fácil para el mejorador de plantas implementar cualquiera de estas siete acciones, para seleccionar o crear los genotipos deseados. Lo que no es tan fácil y requiere mucho conocimiento y formación es hacerlo lo más rápido

y económicamente posible, en términos de costos y uso de recursos tanto humanos como físicos.

Las evidencias históricas de la selección de plantas para producir cultivares antes del siglo XX son muy escasas. Se sabe que los chinos desarrollaron variedades mejoradas de arroz hace 6000 años. La existencia de semillas especialmente guardadas en tumbas de culturas que creían en la continuidad de la vida, es la mejor evidencia del valor que tenía la semilla en esas culturas (Camarena *et al.*, 2008). La selección para la siembra de semillas provenientes de plantas con las características deseadas, debe haber sido una práctica común casi desde los albores de la agricultura. Pero el mejoramiento de plantas recién puede considerarse como una actividad científica cuando se empieza a ejercer control artificial en la floración y la polinización de las plantas, por eso es que se considera el inicio de esta actividad cuando Camerarius en 1694 demostró que las plantas tenían sexo. La evidencia de algunas pinturas egipcias de más de 4000 años de antigüedad, que muestran hombres polinizando palmeras datileras, es un indicio de que el control de la polinización interesó al hombre desde muy temprana edad. En 1766, Kölreuter hizo una serie de contribuciones en ese campo: observó esterilidad en cruza interespecíficas de *Nicotiana*; describió el polen y formas de polinización eólica y entomófila; descubrió el vigor híbrido en la F_1 . Los resultados con relación al vigor híbrido fueron corroborados por Beal en los Estados Unidos, cruzando variedades de maíz. En 1878, este investigador sugirió el uso de híbridos intervarietales de maíz. En el mismo país, en 1906, East y Shull, describen la depresión por endocria en maíz y la heterosis que restituye

el vigor en las cruces entre líneas endocriadas. En 1917, Jones propone la formación de híbridos dobles, y se inicia la producción de híbridos de maíz que revolucionaron la agricultura de los Estados Unidos. En 1921, Wright publicó una serie de trabajos sobre sistemas de apareamiento y sentó las bases teóricas del fenómeno de endocría, ya en esa época estaba perfectamente definido que los caracteres que se heredaban en forma cuantitativa tenían una base mendeliana.

En 1918, Fisher en Inglaterra había publicado su trabajo titulado: "La correlación entre relacionados bajo la suposición de herencia mendeliana." La aplicación de la Estadística Experimental en la solución de problemas genéticos que desarrolló Galton en Inglaterra a fines del siglo XIX, confirmó la creencia de que los factores responsables de la herencia se mezclaban en el híbrido, en contraposición a los descubrimientos de Mendel.

En 1906, Nilsson Ehle publicó un artículo en el que expuso la dificultad de obtener buenos genotipos por simple selección dentro de una población, recomendando los cruzamientos artificiales como el mejor modo de combinar varios caracteres deseables. Anteriormente Nilsson Ehle había probado que un carácter que aparentemente era gobernado por factores que se mezclaban en el híbrido y mostraban una variación continua, era gobernado por tres pares de genes mendelianos con efectos aditivos. Este investigador consideró la utilización de la segregación transgresiva como un método de Mejoramiento.

El Mejoramiento de Plantas se inicia mucho antes de que se definan los métodos de mejoramiento sobre bases mendelianas. A principios del siglo XVIII, la Compañía Vilmorín en Francia inicia sus actividades; en 1856, ellos reportan que la cantidad de azúcar de remolacha se había incrementado significativamente usando "pruebas de progenie". Ya las "pruebas de progenie" y la selección de "líneas puras" habían sido utilizadas en Europa por Le Couteur y Shirreff, para producir variedades mejoradas de trigo y avena respectivamente. También la "prueba de progenie" se utilizó por Hays en Estados Unidos y por Hjalmar Nilsson en Suecia.

En 1856, Gregor Mendel publicó los resultados de sus investigaciones que dan lugar a las leyes que llevan su nombre, pero ellas no se usaron para explicar la eficiencia de los métodos o para crear nuevos, hasta que su trabajo se redescubrió en 1900, cuando el 4 holandés De Vries, el alemán Correns, y el austriaco Tschermak, publicaron experimentos similares a los de Mendel, y se dieron cuenta de la importancia de ellos.

En 1901, De Vries y Tschermak, visitaron la Estación Experimental de Svalöff en Suecia, y contaron a los mejoradores sobre sus investigaciones que corroboraron los resultados de Mendel. Ese momento puede considerarse como el inicio del uso de los conceptos de Genética en el Mejoramiento de las Plantas. Muy rápidamente se desarrolló la ciencia de la genética y su aplicación en el mejoramiento. En 1903 el danés Johannsen propuso el concepto de la "línea pura", y se definió: "genotipo y fenotipo". La conclusión de que la selección en

base a las diferencias fenotípicas dentro de una línea pura es ineficiente, fue el punto de partida para la búsqueda de métodos que distinguen claramente entre genotipo y fenotipo.

El método de retrocruzas fue aplicado en las plantas en 1920 por Harlan y Pope. Sin embargo, se considera que un método similar se aplicaba en mejoramiento animal, aun antes del redescubrimiento de las leyes de Mendel; podemos concluir que todos los métodos tradicionales de mejoramiento aplicados en plantas autógamias: selección masal, línea pura, prueba de progenies y retrocruzas, existían ya antes de las leyes de Mendel. Sin embargo, muchas modificaciones se desarrollaron después, que hicieron mucho más eficiente los métodos, no sólo para lograr un mejoramiento más rápido sino para conservar la variabilidad en el proceso de selección, o restaurarla si fuese necesario. La sugerencia de Nilsson-Ehle de usar la segregación transgresiva, se puede considerar como el punto de partida del método genealógico o de pedigree.

Él mismo en 1908 inició en Svaloff la aplicación del método del Bulk. Mucho después se idearon algunas modificaciones, como el "Single Seed Descent". A pesar del éxito logrado por Vilmorín en remolacha azucarera, los métodos de mejoramiento aplicados en alógamas fueron muy poco eficientes, sobre todo cuando se aplicaron para mejorar caracteres de baja heredabilidad. La utilización de la heterosis en maíz cubrió con creces esa ineficiencia. La selección masal y selección familiar se viene utilizando mucho más intensamente, desde que en la Universidad de Carolina del Norte, se aplicaron los conceptos de relaciones

genéticas entre relacionados, que se usaban ya en genética animal; y desde que en la Universidad de Nebraska se idearon las modificaciones de los métodos tradicionales, basados principalmente en un mayor control ambiental del error y de las interacciones; así como un mayor control parental y una más eficiente explotación de variancia genética aditiva primero, y no aditiva posteriormente.

La selección recurrente consiste básicamente en recombinar los genotipos seleccionados para formar una población de la que se seleccionan nuevamente los genotipos superiores; es el método general que se usa en el mejoramiento de plantas alógamas. Sin embargo, últimamente se está utilizando también en plantas autógamas, y en plantas de reproducción vegetativa.

En la actualidad se viene priorizando la utilización amplia de genes con la preservación de los recursos genéticos para una agricultura sostenida. Igualmente se viene utilizando las técnicas de mejoramiento con la aplicación de la biotecnología basado en la ingeniería genética y la obtención de plantas transgénicas.

2.12 Métodos propios de Mejoramiento genético.

Métodos clásicos tradicionales o convencionales:

Estos métodos están basados fundamentalmente en la genética mendeliana. Hacen uso de la Hibridación para conseguir recombinación y segregación en la población y posteriormente seleccionar los mejores individuos. Fueron los primeros utilizados y los que más se utilizan actualmente, habiéndose

conseguido con ellos los mayores logros en el campo de la mejora. Sin embargo han tenido dificultades en el manejo y utilización de la variación cuantitativa; estos problemas se van viendo solventados gracias a nuevos y más apropiados métodos de análisis genético. Por otro lado el proceso de mejora es largo, lo que implica que el mejorador deba intuir varios años antes los cambios que hipotéticamente van a producirse en las preferencias del mercado. Pero quizá el mayor inconveniente resida en la imposibilidad de conseguir con éxito hibridaciones entre especies afines y más aún si son muy distanciadas.

Métodos citogenéticos:

El desarrollo de la citogenética permitió una primera manipulación de cromosomas. Dentro de este apartado son, quizás, los cambios numéricos en los cromosomas (autopoliploides y aloploiploides) los que han proporcionado los logros más sobresalientes.

Métodos de cultivo in vitro.

El cultivo de órgano, tejidos y células en un medio y condiciones apropiadas tratan de resolver en menor tiempo algunos de los problemas planteados en la mejora.

Del cultivo de órganos el más interesante es el de embriones ya que permite la obtención de nuevos híbridos interespecíficos e intergenéricos y sirven como sistema experimental para estudiar la bioquímica y biología molecular de los productos acumulados en la semilla. El cultivo de tejidos organizados, en forma

de meristemas o pequeños vástagos, ha llegado a ser ya una técnica útil y prácticamente general en mejora. Permite la rápida multiplicación, mejora de la sanidad de las plantas que se propagan vegetativamente, multiplica plantas con limitaciones en su sistema reproductivo entre otras.

Del cultivo de células, los agregados celulares en forma de callos han sido los más experimentados; la obtención de homocigotos mediante el cultivo de granos de polen, la obtención de líneas celulares resistentes o tolerantes a fitotoxinas fúngicas, herbicidas, salinidad, entre otras ha sido posible, pero presentan dificultades importantes como son la inestabilidad genética, dificultad de regenerar plantas, y en algunos casos una expresión diferente de células cultivadas in vitro con respecto a la planta adulta y más aún imposibilidad en algunos casos de regenerar planta adulta.

Las células vegetales a las que se ha eliminado la pared (protoplastos) pueden someterse a fusión. Cuando se trata de protoplastos pertenecientes a dos especies diferentes, su fusión puede conducir a la obtención de un híbrido (somático), quizá imposible de conseguir por vía sexual. Sólo en contados casos se ha conseguido regenerar planta adulta.

Métodos de genética molecular:

Se trata de identificar, aislar y multiplicar secuencias específicas de ADN, siguiendo su transferencia a un medio genético extraño, de manera que ese ADN

se integre en el genoma de huésped se replique se transcriba y exprese fenotípicamente.

Estas manipulaciones moleculares están bien establecidas en microorganismos, pero no se ha conseguido demasiados éxitos de importancia económica en plantas superiores. Otro método sería el empleo de marcadores moleculares como ayudas a la selección.

2.13 Mutagénesis aplicada al mejoramiento genético

La mutagénesis aplicada a los cultivos de importancia económica es una herramienta usada desde hace décadas para favorecer la presencia de características deseables en las plantas. En cuestión de sanidad, se han sometido a varias especies a mutación para promover la resistencia al ataque de plagas o enfermedades, ejemplo de ello los trabajos realizados por Bhagwat y Duncan (1998) en banano para obtener resistencia a *Fusarium oxysporum* mediante mutagénesis química y el trabajo realizado por Ángeles (2014), quien realizó pruebas sobre la afectación de tizón foliar en mutantes de *Agave tequilana* Weber var. Azul obteniendo resultados favorables para la resistencia a este patógeno.

Otras características que han sido buscadas por los mejoradores es la resistencia a salinidad y al estrés hídrico, mediante la inducción de mutaciones se han realizado selecciones de genotipos resistentes en cultivos como papa (Aguilar,

2013), arroz (González *et al.*, 1997), tomate (Moyano, 2013; Meco, 2015), maíz (Zúñiga, 2013), vainilla (Reyes *et al.*, 2016), entre otros.

Estos trabajos han sido tan aceptados por la comunidad científica que han tomado parte hasta en la horticultura ornamental, ejemplo de ello los trabajos realizados en ornamentales como rosa (Warner, 1996), gladiolo (Gong *et al.*, 2010), nardo (Estrada, 2011), nochebuena (Canul *et al.*, 2012) y crisantemo (Ventura, 2014).

Durante muchos años, se ha procurado reducir el porte de los árboles de aguacate, ya que el gran tamaño que puede alcanzar este frutal dificulta su manejo tanto de plagas, enfermedades, cosecha, etcétera, por ello, se han aplicado técnicas que permitan la reducción del tamaño que puede alcanzar. Una de estas técnicas es la mutagénesis, que mediante la irradiación de varetas genera cambios en los patrones de crecimiento de diversas especies.

2.14 Mejoramiento genético en aguacate

A lo largo de los años el ser humano ha llevado a cabo el mejoramiento genético del aguacate, pero hoy día se han tenido que enfrentar con la gran dificultad de disponer de cruces controlados, un largo estado de inmadurez que limita el avance del mejoramiento, las grandes extensiones de tierra necesarias para los experimentos; de hecho, el gran número de labores en el cultivo hacen que este sea un proceso caro. Desde el punto de vista biológico, el cultivo de aguacate

pase por muchos cambios fisiológicos no permiten aprovechar del todo los frutos del árbol, si hablamos genéticamente el aguacate es altamente heterocigótico, por ello el comportamiento de las progenies resulta impredecible y las posturas producidas por un solo árbol son extremadamente variables. Entre las pocas ventajas que presenta este cultivo está la habilidad de propagar a los genotipos deseables mediante injerto (Rincón *et al.*, 2011). La polinización abierta y la hibridación seguida de la selección de materiales promisorios en la progenie ha sido el único método disponible para los mejoradores de aguacate (Ashworth *et al.*, 2011). La necesidad de disponer de un rango más amplio de cultivares élites impulsó a los programas de mejoramiento genético a evaluar miles de posturas en la búsqueda, tanto de patrones tolerantes a la pudrición de la raíz causada por *Phytophthora*, como a la salinidad del suelo y a suelos calcáreos entre otros. (Lahav *et al.*, 2002). La industria aguacatera se centra solo en pocos cultivares, lo que ha causado la utilización de solo una parte de los recursos genéticos del género "*Persea*", por lo que resulta muy importante proteger y desarrollar el germoplasma silvestre de este cultivo. El desarrollo de nuevos cultivares y patrones deben contribuir a este propósito. En este sentido, los mejoradores se han interesado en seleccionar cultivares con rendimientos altos y estables, pero también con resistencia a estreses bióticos y abióticos (Rincón *et al.*, 2011).

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el sector agrícola del país enfrenta diversos problemas socioeconómicos; la desnutrición incide hasta en un 40% entre los habitantes de las áreas rurales, el cambio de uso de suelo ha originado una dramática reducción de los recursos genéticos, pues el cambio de los cultivo tradicionales por cultivos de mayor densidad económica como la floricultura y fruticultura han hecho desaparecer valioso germoplasma como el aguacate, que además de su alto valor nutritivo, presentaba características de adaptabilidad y buena calidad de fruto.

De continuar esta tendencia respecto a la pérdida de variabilidad, la agroindustria del aguacate se verá amenazada ante los inminentes problemas derivados del cambio climático, por lo que se propone mediante este proyecto inducir la variabilidad en la mejor variedad comercial de aguacate existente: la variedad Hass. Lo anterior se pretende lograr con la aplicación de técnicas de vanguardia como la mutagénesis radioinducida y mediante una estrategia participativa que involucre a los productores en la selección de genotipos con altas valoraciones agronómicas, la cual se someterá a un proceso de irradiación que permita conservar sus características agronómicas y de calidad aceptables pero modificar algunos de los caracteres de interés, pudiendo ser esto incremento en el porcentaje de pulpa, reducir el tamaño de semillas, incremento de la productividad y reducir porte del árbol.

Mediante la estrategia planeada se pretende inducir variabilidad en la variedad Hass y de esta manera obtener nuevas variantes con altas valoraciones agronómicas que puedan constituirse en alternativas para afrontar los problemas y riesgos que mantienen la agroindustria aguacatera nacional y aquellos que se derivan del cambio climático (sequia, salinidad, heladas, ondas calidas, entre otros).

Esta metodología en el área frutícola pretende también contribuir en un futuro a arraigar al campesino en su lugar de origen proveiendole alternativas de cultivo económicas, mediante variedades de aguacate de porte bajo, alta productividad y calidad y sustentables respecto al manejo de recursos naturales.

IV. HIPÓTESIS

Mediante la aplicación de radiación gamma de ^{60}Co en varetas de aguacate cv Hass se puede inducir variabilidad genética que permitirá generar materiales sobresalientes.

V. OBJETIVOS

Objetivo general.

Inducir variabilidad genética en varetas de aguacate cv Hass mediante la aplicación de radiación Gamma de ^{60}Co .

Objetivos específicos.

- Evaluar la respuesta a diferentes dosis de radiación gamma de ^{60}Co sobre características de desarrollo vegetativo y reproductivo en aguacate cv Hass.
- Establecer la dosis óptima para generar variabilidad genética con fines de mejoramiento genético en aguacate Hass.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de material vegetativo.

Las varetas se colectaron de árboles donadores de 20 años de edad, cultivados en el rancho el Salto, ubicado en la localidad de Capulín Redondo municipio de Coatepec Harinas, a una altura de 2 582 metros sobre el nivel del mar, que se caracterizan por una abundante y uniforme producción ciclo con ciclo. Se seleccionaron varetas de entre 15 y 20 centímetros de longitud, de la parte media de los árboles, con las cuales se integraron paquetes con veinticinco varetas cada uno que se envolvieron el periódico humedecido, y se identificaron de acuerdo a los tratamientos previamente definidos. Para cada tratamiento se consideraron tres paquetes de 25 varetas cada uno, posteriormente se colocaron en una hielera y se transportaron de inmediato al Departamento de Fuente de Gammas del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en Salazar, Estado de México.

Irradiación de varetas

Una vez en el Departamento de Fuente de Gammas personal especializado determinó los tiempos de irradiación de acuerdo a las dosis preestablecidas y se procedió a la irradiación en el Gammacel 220. Posteriormente el material vegetativo se transporto al vivero Juárez-Cabrera ubicado en la localidad de El Potrero del Carmen en el municipio de Coatepec Harinas, donde cuentan con personal capacitado para realizar la injertación de aguacate.

Injertación del material

Una vez en el vivero se procedió a la injertación de acuerdo con los tratamientos establecidos. El método de injerto utilizado fue enchapado lateral. Los portainjertos utilizados fueron árboles criollos de la raza mexicana de aproximadamente seis meses de edad que presentaban una altura o longitud de tallo de un metro un diámetro de tallo de un centímetro. Una vez realizado el injerto, se ordenaron por tratamientos en las camas preparadas exprofeso, donde recibieron el manejo agronómico necesario (riego, fertilización, control fitosanitario) para garantizar su adecuado desarrollo. En el vivero permanecieron por espacio de seis meses hasta que alcanzaron las características requeridas para ser transplantados a campo en el lugar definitivo.

Es preciso señalar que junto con el material vegetativo que se sometió al tratamiento de irradiación se colectaron varetas que no se irradiaron pero que fueron injertadas de la misma manera que el material irradiado, las cuales fungieron como control, es decir material sin irradiación que sirvió como punto de comparación de árboles que son propagados de manera convencional contra los árboles que fueron sometidos a irradiación.

Plantación de los árboles

Una vez que la mayoría de los injertos alcanzaron una altura promedio de 30 centímetros, se trasladaron al lugar definitivo, la huerta Don Daniel ubicada en la comunidad de Piedras Anchas, Municipio de Coatepec Harinas a una altura de 2 569 metros sobre el nivel del mar, bajo las coordenadas 18° 58' 36" latitud norte

y 99° 46´ 19” longitud oeste, con una temperatura promedio 28°C durante el día y 10°C por la noche.

Los árboles se plantaron bajo un diseño tres bolillo a una distancia de cinco metros y donde recibieron el manejo agronómico requerido para garantizar su adecuado desarrollo (riego, fertilización, control fitosanitario), se registraron los datos correspondientes para cada una de las variables de estudio con una periodicidad mensual.

Variables evaluadas

Se evaluaron características de desarrollo vegetativo: altura de planta, circunferencia del injerto, diámetro del follaje, longitud del brote nuevo, longitud y diámetro de entrenudos y longitud de la lámina foliar, las cuales fueron registradas con apoyo de cinta métrica y vernier digital, expresadas todas ellas en centímetros.

Para fructificación se registraron las variables: longitud y diámetro del fruto, longitud del pedúnculo y pedicelo, que se registraron de igual manera con el apoyo de un vernier digital y una cinta métrica y se expresaron en centímetros.

Como índices de selección de porte bajo se consideraron: densidad estomatal y porcentaje de área transversal de corteza.

Estas variables se registraron en 110 árboles de aguacate irradiados durante el año 2011, que fueron los que sobrevivieron a los tratamientos de irradiación.

El número de repeticiones por dosis de radiación fue diferente dado que a mayor dosis se obtuvo menor sobrevivencia pues para el control sobrevivieron 36 individuos en tanto que para las dosis de irradiación de 5 Gy fueron 20, para 10 Gy sobrevivieron 17, para 15 Gy quedaron 29 árboles, mientras que para las dosis mas altas de 20 y 25 Gy finalmente quedaron solo 6 y 2 individuos respectivamente.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las evaluaciones fueron analizados mediante técnicas de estadística descriptiva, análisis de varianza para un criterio de clasificación, con número desigual de repeticiones y análisis de regresión y correlación.

VII RESULTADOS

Producto del trabajo de investigación, se envió un manuscrito para su revisión y posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas publicada por el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias que se encuentra indexado en el Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Texcoco, Estado de México, 21 de agosto de 2017
Núm. Ref.: 420-17

Dr. Martín Rubí Arriaga
Universidad Autónoma del Estado de México
P r e s e n t e

Por este medio le agradezco y acuso de recibido su manuscrito intitulado: **“Caracterización morfológica y fructificación de aguacate ‘Hass’ Sometido a radiación gamma de ⁶⁰Co”** cuyos autores (as) son: **Daniel Nieto Flores, Eulogio De la Cruz Torres y Martín Rubí Arriaga**, que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el texto inicial del manuscrito, autores(as) principal y los coautores(as), autor(a) para correspondencia no podrán alterarse y quedarán como se envía en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que su contribución será sometida a revisión técnica por los árbitros que se designen en caso de ser aceptado, se le notificará sobre las observaciones correspondientes. Agradezco su colaboración y le envío un cordial saludo.

Atentamente



DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

c.c.p. * Archivo
DMSJ/mmh



Universidad Autónoma del Estado de México



Facultad de Ciencias Agrícolas
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento

otorga la presente

Constancia

**A: NIETO-FLORES DANIEL, RUBÍ-ARRIAGA MARTÍN,
DE LA CRUZ-TORRES EULOGIO,
GARCÍA-A. JUAN MANUEL, LÓPEZ-MEDINA JOSÉ**

Por su participación en modalidad cartel:

**“MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL AGUACATE (PERSEA AMERICANA MILL.)
MEDIANTE MUTAGÉNESIS RADIOINDUCIDA.”**

En el marco del II Congreso Nacional y I Internacional en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
Realizado los días 16, 17 y 18 de Noviembre del 2011, en la Casa de las Diligencias de la UAEMex.
Toluca, Edo. de México

M. en F. Artemio Balbuena Melgarejo
Director
Facultad de Ciencias Agrícolas



Dr. José Francisco Ramírez Dávila
Coordinador
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento



VII WORLD AVOCADO CONGRESS 2011

VII CONGRESO MUNDIAL DEL AGUACATE 2011

CAIRNS - AUSTRALIA

Certificate of attendance
Certificado de asistencia

This is to certify that / Se certifica que:

Daniel Nieto

Attended the VII World Avocado Congress 2011/
Asistió al VII Congreso Mundial del Aguacate 2011.

Cairns Convention Centre Queensland /
en el Centro de Convenciones de Cairns, Queensland

5 – 9 September 2011 / del 5 al 9 de Septiembre de 2011

Hosted by / Organizado por:



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FRUCTIFICACIÓN DE AGUACATE 'HASS' SOMETIDO A RADIACIÓN GAMMA DE ⁶⁰CO

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND FRUCTICATION OF 'HASS' AVOCADO SUBJECT TO GAMMA RADIATION OF ⁶⁰CO

¹Nieto-Flores, D., ²De la Cruz-Torres, E. y ³Rubi-Arriaga, M.

¹ Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. (PCARN). Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario El Cerrillo. El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca estado de México. C.P. 50200. E-mail: dan_nieto27@hotmail.com

² Departamento de Biología. ININ. A. P. 18-1027, C.P. 11801, México, D.F. E-mail: eulogio.delacruz@inin.gob.mx, ect@nuclear.inin.mx

³ Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIAEF). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. UAEM. Campus Universitario El Cerrillo. El Cerrillo Piedras Blancas A.P. 435, C.P. 50000, Toluca, México. E-mail: mrubia@aemex.mx. Autor para correspondencia. mrubia@uaemex.mx

RESUMEN

La variedad de aguacate Hass, se considera actualmente como el prototipo del aguacate comercial a nivel mundial por poseer características sobresalientes como reducida alternancia, forma y tamaño del fruto, color y grosor de la cascara, que le confieren facultades para un adecuado manejo poscosecha. Se cultiva en alrededor del 90% de la superficie mundial, lo que se puede considerar como una explotación univarietal. Esto se convierte en un alto riesgo, pues la presencia de problemas fitosanitarios o condiciones climáticas adversas que afecten su desarrollo constituye una amenaza para la agroindustria aguacatera mundial. Lo anterior marca la urgente necesidad de buscar nuevas variedades que permitan diversificar la explotación de esta especie. Con el objetivo de generar variabilidad en aguacate Hass mediante mejoramiento por mutagénesis se evaluó el desarrollo vegetativo y reproductivo de 110 árboles, generados a partir de varetas sometidas a radiación gamma de ⁶⁰Co en dosis de 0, 5, 10, 15, 20, y 25 Gy e injertadas en julio de 2011. Las dosis de 20 y 25 Gy no obstante de presentar un efecto negativo sobre el porcentaje de prendimiento de los injertos al sobrevivir un porcentaje menor al 10 % de individuos, estos presentaron una reducción significativa en altura con ligeras modificaciones sobre diámetro del follaje. Estas mismas dosis generaron mayor variabilidad en altura y circunferencia del injerto. Las dosis intermedias de 10 y 15 Gy originaron un incremento en la longitud del brote vegetativo así como de la lámina foliar. Así mismo la dosis de 15 Gy indujo un incremento en el número de frutos inicial superior al 100 % respecto al control. La radiación afectó ligeramente características de fructificación tales como longitud y diámetro del fruto. La radiación gamma de ⁶⁰Co se vislumbra como una herramienta útil para realizar mejoramiento genético en aguacate Hass.

Palabras clave: *Persea americana* M., mutagénesis radioinducida, altura del árbol

ABSTRACT

The Hass avocado variety is currently considered as the prototype of commercial avocado because it possesses outstanding characteristics such as reduced alternation, shape and size of the fruit, color and thickness of the shell, which confer the faculty for an adequate postharvest management. It is cultivated in about 90% of the world surface, what can be considered like a univarietal exploitation. This becomes a high risk, as the presence of phytosanitary problems or adverse climatic conditions that affect their development constitutes a threat to the global agribusiness agro-industry. This marks the urgent need to look for new varieties to diversify the exploitation of this species. In order to generate variability in Hass avocado by breeding by mutagenesis, vegetative and reproductive development and fruiting of 110 Hass avocado trees, obtained by irradiation of budwood with ^{60}Co gamma rays, and grafted on Mexican seedling rootstocks. Doses of 20 and 25 Gy induced a reduction on tree height keeping foliage diameter unchanged, thus promoting a trend to horizontal growth. These doses also generated maximum variability regarding to tree height and trunk circumference. Maximum increase in shoot and leaves length was found at 10 and 15 Gy, being the highest number of fruits per tree found at 15 Gy (100 % more than control). It was found that irradiation affects slightly fruit characters such as length and diameter of fruit, peduncle and pedicel.

Key words: *Persea Americana* M. plant breeding radiation, radioinduced mutagenesis.

INTRODUCCIÓN

El fruto de aguacate día a día se consolida en muchos mercados del mundo por el elevado valor nutritivo que posee que le permite catalogarse no solo como alimento si no ganando el calificativo de alimento funcional, ubicándose como un elemento básico dentro de la dieta de los humanos, por lo que los países productores han incrementado su superficie de producción y recientemente un importante número de nuevos países se están incorporando al cultivo de este frutal. Sin embargo, es necesario precisar que el árbol de aguacate presenta varias limitantes entre las que se pueden citar; la sensibilidad a varios factores climáticos y edáficos, baja productividad así como excesivo vigor de los árboles, entre otros. Razón por la cual se han establecido programas de mejoramiento

genético en países como Estados Unidos de Norteamérica, Israel, Australia, Chile, Sudáfrica y México entre otros, con el propósito de generar variedades que contrarresten los problemas antes señalados así como aspectos más específicos como son precocidad a producción, calidad de fruta principalmente para exportación, época de cosecha, tamaño de fruto y tamaño de semilla (Sánchez et al., 1991; Bergh, 1992) adicionalmente se ha buscado la resistencia a enfermedades, principalmente *Phytophthora cinnamomi* ya que es la enfermedad mayormente distribuida en el mundo, ejemplo de ello son los trabajos realizados por Cortes et al. 2010, Polanco et al. 2010.

Los programas referidos han seguido métodos tradicionales como; colecta y evaluación de germoplasma, valoración de poblaciones de segregantes, autopolinizaciones, hibridaciones, así como el uso de técnicas nucleares y moleculares (Sánchez et al., 1989, Nieves et al., 1998). Todos ellos enfocados a obtener cultivares superiores a los actuales, y cuyos resultados son palpables como la obtención de cv de porte bajo Colín v 33, las selecciones Méndez y Méndez mejorado todas ellas en México y Zentmyer, Uzi y Steddom en California (Arpaia y Menge, 2004). No obstante a ello el cultivar Hass permanece con un marcado dominio al ocupar alrededor del 90 % de la superficie mundial cultivada con esta especie, lo que marca la necesidad de realizar investigación tendiente a generar variabilidad genética que permita minimizar el riesgo de esta explotación univarietal y generar alternativas para la diversificación de la explotación de este cultivo. Escenario donde la mutagénesis radioinducida, ha mostrado utilidad para modificar algunos parámetros vegetativos en las plantas como son porte, época de producción así como calidad del fruto entre otros. (Donini, 1992). Otras técnicas asociadas a la mutagenesis es la embriogénesis somática, esta técnica aplicada tejidos sometidos a radiación permite el desarrollo de brotes y raíces que tiempo después pueden adaptarse y plantarse en campo para su evaluación como materiales con variabilidad genética (Vidales et al., 2003).

Con base en lo anteriormente expuesto se planteo como objetivo de la presente investigación generar variabilidad en aguacate Hass tendiente a modificar el porte de los árboles así como características de fruto y calidad del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de material vegetativo.

Las varetas se colectaron de árboles donadores de 20 años de edad, ubicados en el rancho el Salto, ubicado en la localidad de Capulín Redondo municipio de Coatepec Harinas, a una altura de 2 582 metros sobre el nivel del mar, que se caracterizaron por una abundante y uniforme producción ciclo con ciclo. Se seleccionaron varetas de entre 15 y 20 centímetros de longitud, de la parte media de los árboles, con las cuales se integraron paquetes con veinticinco varetas cada uno que se envolvieron el periódico humedecido, y se identificaron de acuerdo a los tratamientos previamente definidos. Para cada tratamiento se consideraron tres paquetes de 25 varetas cada uno, posteriormente se colocaron en una hielera y se transportaron de inmediato al Departamento de Fuente de Gammas del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en Salazar, Estado de México.

Irradiación de varetas

Una vez en el Departamento de Fuente de Gammas personal especializado determinó los tiempos de irradiación y se procedió a la irradiación en el Gammacel 220, para posteriormente trasladar el material vegetativo al vivero Juárez-Cabrera ubicado en la localidad de El Potrero del Carmen en el municipio de Coatepec Harinas, donde cuentan con personal capacitado para realizar la injertación de las varetas.

Injertación del material

Una vez en el vivero se procedió a la injertación de acuerdo con los tratamientos establecidos. El método de injerto utilizado fue enchapado lateral. Los portainjertos utilizados fueron árboles criollos de la raza mexicana de aproximadamente seis meses de edad que presentaban un diámetro de tallo aproximado de un centímetro y una altura de un metro. Una vez realizado el injerto, se colocaron por tratamientos en las camas preparadas expofeso, donde recibieron el manejo agronómico necesario (riego, fertilización, control fitosanitario) para garantizar su adecuado desarrollo. Donde permanecieron por espacio de seis meses hasta que presentaron las características requeridas para ser transplantados a campo en el lugar definitivo.

Es preciso señalar que junto con el material vegetativo que se sometió al tratamiento de irradiación se colectaron varetas que no se irradiaron pero que fueron injertadas bajo la misma metodología que el material irradiado, las cuales fungieron como control, es decir material sin irradiación que sirvió como punto de comparación de árboles que son propagados de manera convencional contra los árboles que fueron sometidos a irradiación.

Plantación de los árboles

Una vez que la mayoría de los injertos alcanzaron una altura promedio de 30 centímetros, se trasladaron al lugar definitivo, la huerta Don Daniel ubicada en la comunidad de Piedras Anchas, Municipio de Coatepec Harinas a una altura de 2569 metros sobre el nivel del mar, bajo las coordenadas 18° 58´ 36" latitud norte y 99° 46´ 19" longitud oeste, con una temperatura promedio 28 °C durante el día y 10 °C por la noche.

Los árboles se plantaron bajo un diseño tres bolillo a una distancia de cinco metros y donde recibieron el manejo agronómico requerido para garantizar su adecuado desarrollo (riego, fertilización, control fitosanitario), se registraron los datos correspondientes para cada una de las variables de estudio con una periodicidad mensual.

Variables evaluadas

Se evaluaron características de desarrollo vegetativo: altura de planta, circunferencia del injerto, diámetro del follaje, longitud del brote nuevo, longitud y diámetro de entrenudos y longitud de la lámina foliar expresadas en centímetros, las cuales fueron registradas con apoyo de cinta métrica y vernier digital.

De fructificación: longitud y diámetro del fruto, longitud del pedúnculo y pedicelo que se registraron de igual manera con el apoyo de un vernier digital y una cinta métrica y se expresaron en centímetros.

Aunado a lo anterior se registraron densidad estomatal y porcentaje de área transversal de corteza como indicadores de alteración del hábito de crecimiento

de los árboles, así como algunas otras modificaciones observadas que pudieran ser útiles para tal fin.

Los datos obtenidos en las evaluaciones fueron analizados mediante técnicas de estadística descriptiva, análisis de varianza para un criterio de clasificación, con número desigual de repeticiones y análisis de regresión y correlación.

RESULTADOS

Caracteres relacionados con el porte del árbol

Altura y circunferencia del injerto.

Los resultados permiten establecer que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, No obstante a ello es preciso señalar la presencia de una tendencia decreciente para estas variables en las dosis altas de 20 y 25 Gy, misma que se ha mantenido con relación a lo reportado en estudios previos realizados con esta especie e incluso con aguacate variedad Hass, lo que de entrada resulta interesante pues indica cambios en la arquitectura de la planta que pueden ser de utilidad para el objetivo que se persigue de obtener mutantes de porte bajo (De la Cruz *et al.*, 1995).

En trabajos previos en aguacate se ha encontrado una correlación positiva entre circunferencia del injerto y altura de la planta (López y Barrientos, 1987), por lo que establecieron que se puede considerar que éste carácter es un índice de selección para porte bajo. En la figura 1 se observa que el comportamiento de la circunferencia del injerto en función de la dosis, presenta una tendencia similar al de la variable altura, cuyo coeficiente de correlación presenta un valor de $r=0.87^*$.

La variabilidad de la altura y circunferencia del injerto se evaluó en términos del coeficiente de variación (Figura 2), donde claramente se puede observar que los mayores valores se alcanzaron en las dosis de 15 y 20 Gy respecto al control, lo que permite establecer que no obstante que las dosis más elevadas de radiación representan una mayor letalidad que se refleja en un bajo número de individuos que sobreviven estos presentan cambios mas acentuados que aquellos que

sobreviven en mayor número en dosis bajas pero presentan menor cantidad de cambios al menos visuales, lo cual tiene una relación directa con la mayor variabilidad genética que se relaciona con la mutagenesis (Ali, 2012)

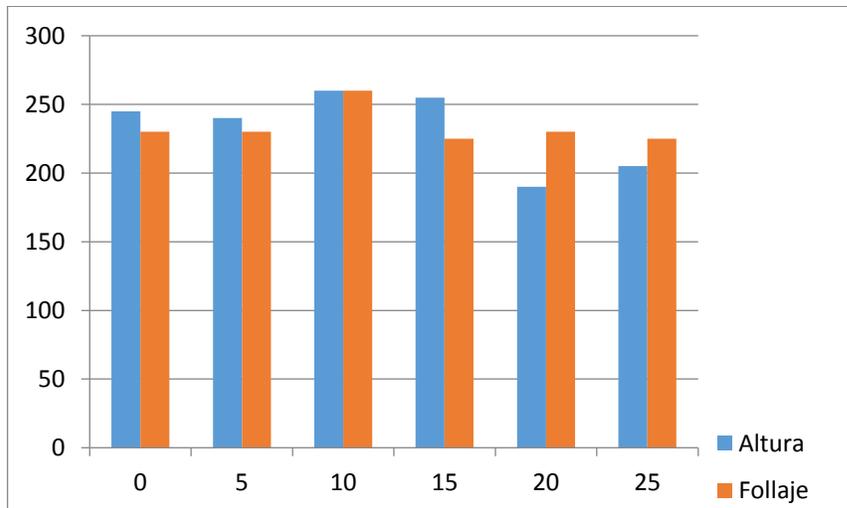


Figura 1. Altura de la planta y diámetro del follaje.

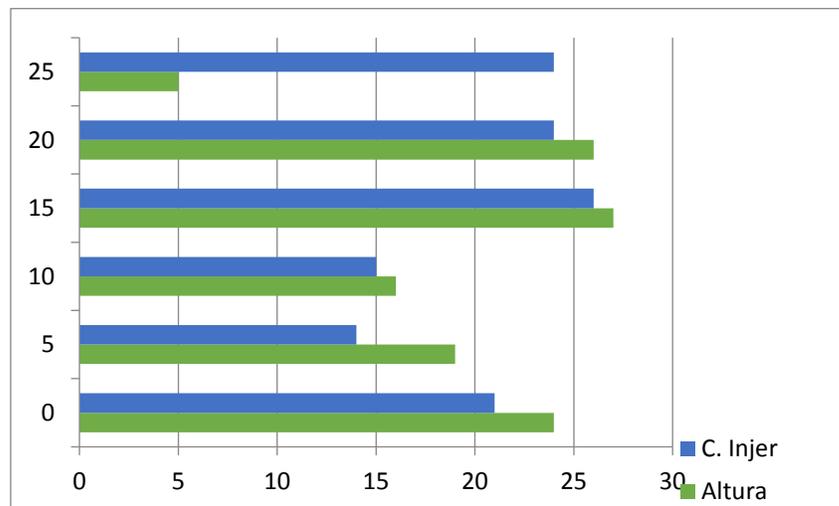


Figura 2. Tendencia de la altura con relación a la circunferencia del injerto.

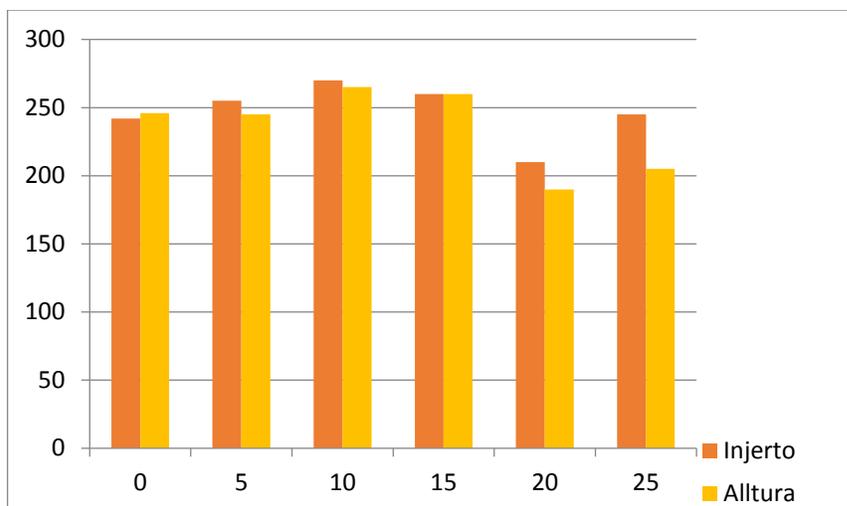


Figura 3. Diámetro del follaje y altura en función de la dosis.

Diámetro del follaje.

Entre los factores que se consideran que pueden tener relación directa para determinar el porte de los árboles se considera el diámetro del follaje. Árboles de follaje reducido aunque con altura significativa permiten acortar las distancias de plantación o bien árboles de porte bajo con el crecimiento horizontal predominante permiten incrementar la densidad de plantación, y con ello facilitar las labores de cultivo y así reducir costos de producción además de mayor cuidado del ambiente (Bergh, 1992).

La figura 3 permite apreciar el comportamiento promedio del diámetro del follaje y la altura con respecto a la dosis, la dosis de 10 Gy presentó un valor promedio mayor. En las dosis mayores, la altura presenta una drástica reducción en relación al control, pero el diámetro del follaje mantiene valores similares al control, lo que parece sugerir una tendencia al crecimiento horizontal, lo que puede resultar útil para los objetivos que persigue el presente trabajo.

Relación diámetro del follaje/altura .

Los resultados muestran que en las dosis de 10, 20 y 25 Gy (Figura cuatro) el promedio de la relación diámetro del follaje/altura superó la unidad, resultado con el que se puede establecer que dentro de la población algunos árboles

presentan modificación en su hábito de crecimiento con una marcada tendencia al crecimiento horizontal, factor de zsumo interes para los objetivos establecidos en la presente investigación, al reflejar la posible presencia de ejemplares de porte bajo, característica altamente demandada en la agroindustria de el aguacate por los beneficios que aportaria hacia el desarrollo de diferentes prácticas de manejo como control fitosanitario, poda y cosecha, que se reflejarían en reducción de costos de producción de este cultivo.

Lo anteriormente expuesto se puede ratificar al analizar la estrecha relación que se presento entre esta variable y la proporción de área transversal de corteza (ATC) que presento un valor de r altamente sigificativ o $r=0.88^{**}$), con lo que se puede establecer que los individuos sometidos a estas dosis de radiación presentan características genéticas con claras tendencias al porte bajo, como lo han demostrado los reportes de Rubí 1989; Thorp y Sedgley, 1992; López y Barrientos, 1987.

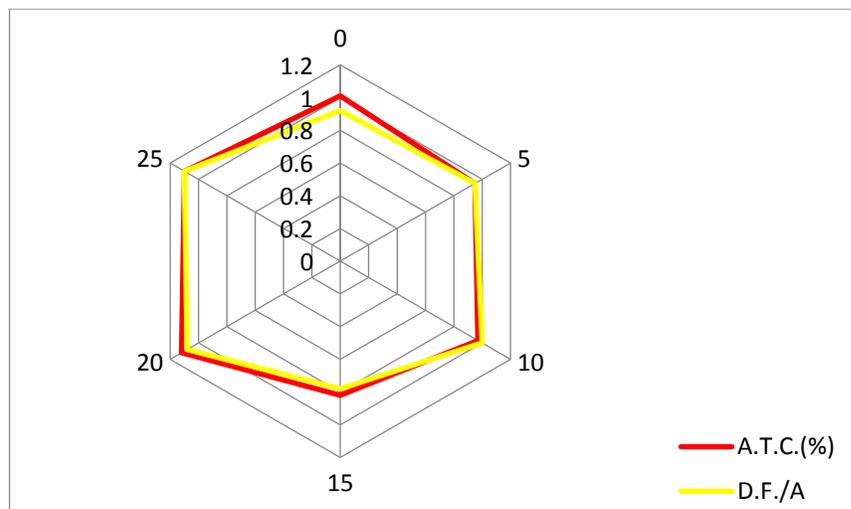


Figura 4. Relación diámetro del follaje altura y proporción de A.T.C. en función de la dosis

Caracteres relacionados con la producción

Número de frutos.

Al tomar en cuenta el valor promedio de número de frutos en función de la dosis, en tres fechas de evaluación: Frutos tamaño cabeza de cerillo, frutos tamaño canica y frutos previos a madurez fisiológica, las dosis de 5, 10 y 15 Gy alcanzaron mayor número de frutos que el control, donde 15 Gy supero en más del 100 % al control (Figura cinco). Característica que de acuerdo con De la Cruz et al. (1995) se puede relacionar con un mayor número de flores y en consecuencia mayor posibilidad de fecundación y con ello mayor cuajado de frutos.

Tamaño del fruto.

Con los valores promedio de las variables diámetro y longitud del fruto se puede establecer la presencia una ligera reducción de longitud en las dosis de 5, 10 y 25 Gy y un aumento en las dosis de 15 y 20 Gy (Fig. 6). Con respecto al diámetro los valores resultaron inferiores al control en todos los tratamientos.

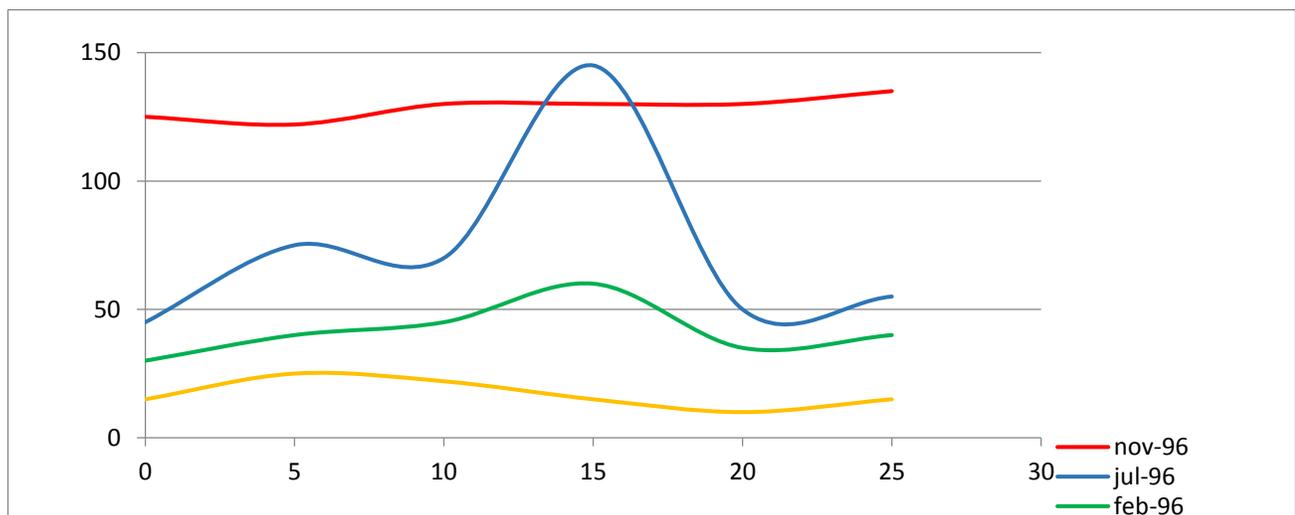


Figura 5. Número de frutos en diferentes etapas de desarrollo y abscisión.

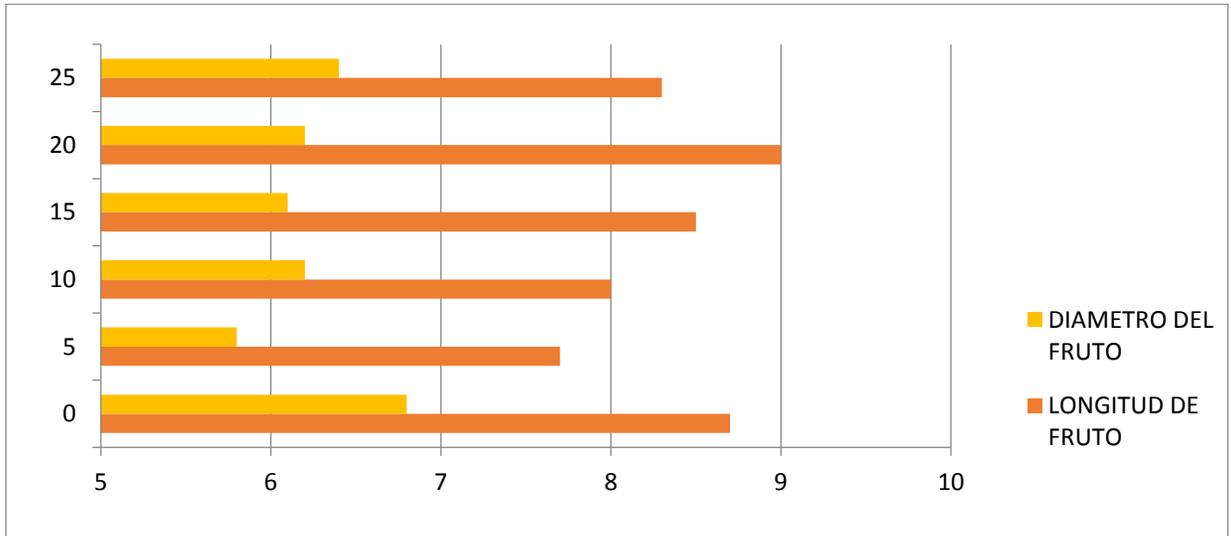


Figura 6. Longitud y diámetro del fruto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del departamento de Biología del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, en particular a los empleados del área de fuente de gammas por el apoyo recibido para realizar la irradiación del material vegetal, así como al propietario del Rancho el Salto por la donación del material vegetativo y a los injertadores del vivero Hermanos Juárez por el trabajo de injertación de las varetas y el cuidado de los injertos durante su estancia en el vivero y por último pero no menos importante al personal del rancho “Don Daniel” por el manejo y cuidado otorgado a los árboles desde su establecimiento hasta la fecha.

CONCLUSIONES

Dosis altas de irradiación (20 y 25 Gy) ejercieron efecto letal al material vegetativo utilizado al causar la muerte de mas del 90 % de las varetas irradiadas, sin embargo originaron la mayor modificación en la altura promedio sin modificar el diámetro del follaje, promoviendo con ello una tendencia al crecimiento horizontal, es decir porte bajo, lo que se confirma con la correlación positiva y altamente significativa entre porcentaje de área transversal de corteza y la relación diámetro del follaje/altura obtenida.

Dosis intermedias resultaron menos letales y propician un incremento en crecimiento del brote, en la lámina foliar así como en cuajado de frutos

La radiación modifico características de fruto como longitud y diámetro así como longitud de pedúnculo y pedicelo.

LITERATURA CITADA

Bergh B.O. 1992. The origin, nature and genetic improvement of avocad. California Avocado Society Yearbook. Pp: 67-75.

De la Cruz T.E., M. Hernández A., M. Rubí A. y C. Saavedra G. 1993. Evaluación de radiosensibilidad del aguacate cv. Hass con fines de mejoramiento. *In*: Memorias de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C Rubí Arriaga M. (Ed). Coatepec Harinas, México. Pp: 121-128.

De la Cruz T.E., M. Rubí A. y T. Falcón B. 1995. Efecto de la radiación gamma sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del aguacate cv. Hass. *In*: Memorias de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C Rubí A. M., Salgado S.M.L y López L.L. (EdS). Coatepec Harinas, México. Pp: 55-60.

Donini B. 1992. Mutagenesis applied for the improvement of vegetatively propagated plants II. thecnical aspects of mutagenic treatment. Curso corto sobre aplicación de técnicas nucleares en agricultura. OIEA, EAZ, ININ, Universidad de Guanajuato, Facultad de Agronomía. 29 p.

Lacey C.N.D. and A.I. Campbell 1981. Mutation breeding of apple at Long Ashton U.K. Mutation Breeding Newsletter. 18:2-5.

Lahav E., U. Lavi., C.Degani. And S. Gazit. 1995. Avocado Breeding in Israel. Program and Book of Abstracts. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp:119.

López J. A y A. F. Barrientos P. 1987. Selection of dwarf rootstocks of avocado (*Persea Americana* Mill.). I. Studies of bark: xylem relationship in trunks of cv. Colín V-33 seedlings. California Avocado Society. Yrbk. 71:225-234.

Rubí A. M. 1989. Descripción de segregantes de la variedad del porte bajo Colín V-33. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad AUTONOMA DEL Estado de México. 119 p.

Sánchez S. C., Rubí A. M., Sosa Ch. R y Hernández A. M. 1989. Radiosensibilidad de diferentes materiales de aguacate (*Persea Americana* Mill) en CICTAMEX, *In:* II Seminario Nacional. Uso de la irradiación en Fitomejoramiento. Hernández, Ayala *et al.*, (Eds). México. pp: 119-130.

Sánchez C. S., De la Cruz T.E. y Rubí A. M. 1991. Avances en el programa de selección y mejoramiento genético del aguacate (*Persea Americana* Mill.) en CICTAMEX, *In:* Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Ortega P. R. *et al.*, (Eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética de México. pp: 295-307.

Thorp G. T. and M. Sedgley. 1992 Shoot growth and architecture in a range of avocado trees. Second world avocado congress. Proceedings. Ahahein, California. E.U.A. pp: 237-240.

Whitney G. and G. Martín. 1995. Taking the California Avocado Breeding Program in to the Next Century. Program and Book of Abstracts. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp: 118.

Zelda B., A. Sippel, B. Shijder, H. Breedt and B. Cillers. 1995. Avocado Breeding and Evaluation of Genotypes in the Republic of South Africa. Program and Book of Abstracts. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp: 117.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

La inducción de mutaciones ha sido uno de los descubrimientos que más importancia ha tomado desde fines del siglo XIX, ya que el descubrimiento del poder de las radiaciones sobre los organismos ha generado que esta herramienta sea usada para modificar seres vivos, caso de ello fueron los estudios realizados sobre *Drosophila melanogaster* en 1927; a partir de este descubrimiento, los trabajos acerca del uso de radiación en organismos vivos se ha incrementado notablemente, ejemplo de ello son las investigaciones realizadas sobre los cambios que genera la radiación en plantas ornamentales como noche buena (Canul *et al.*, 2012), lisianthus (Abou *et al.*, 2017), heliconias (Hernández, 2013), nardo (Estrada *et al.*, 2011), crisantemo (Yamaguchi *et al.*, 2008) entre muchas otras, lo que se pretende regularmente al aplicar este tipo de procedimientos puede ir desde cuestiones fitosanitarias como lo es generar resistencia a algunos patógenos, inducir cambios en la coloración de las flores, tamaño o número de hojas, número de brotes, entre otros.

Esta herramienta también ha sido usada en cultivos cuyo uso en la alimentación ha sido el detonante para ser sometido al mejoramiento genético, en este caso, la variabilidad genética existente en la naturaleza obliga a aumentar esta variabilidad mediante mutagenesis inducida para evitar un cultivo monovarietal, ya sea *in vitro*, por radiación o mediante

mutagenesis química. Ejemplos de lo anterior son especies como piñon mexicano (*Jatropha curcas*), este cultivo tiene una reducida fuente de germoplasma y el proceso de irradiación de semillas permitió generar variabilidad en las plantas sobrevivientes con características sobresalientes de número de inflorescencias, número de frutos por racimo, tamaño de frutos, entre otros factores de interés económico (Salmeron *et al.*, 2014).

En el caso de países como España, el cultivo del caqui ha retomado una importancia significativa debido al incremento en su consumo. *Diospyros kaki* posee una alta dificultad para el mejoramiento genético tradicional, por ello la aplicación de radiación se consideró como una herramienta eficiente y rápida para ampliar la variabilidad genética siendo las dosis de 15 Gy y 20 Gy las que mas sobrevivencia y efectos benéficos tuvo sobre las yemas irradiadas, además de mostrar estabilidad en la variable de interés que es la permanencia del color y la astringencia en los frutos, además de mostrar un tamaño y precocidad deseable en este cultivo (Naval *et al.*, 2012). En el caso del chayote (*Sechium spp.*) en Mexico, se han realizado experimentos donde el material vegetativo es sometido a radiaciones gamma siendo Cesio 137 y Cobalto 60 las fuentes usadas con resultados benéficos en el caso de inducción a esterilidad masculina (Cadena *et al.*, 2013).

En especies de bananos y platanos, la resistencia a enfermedades ha intentado generarse mediante la inducción de mutaciones *in vitro*, intentando seleccionar clones de porte bajo que faciliten el manejo y verificando el comportamiento ante enfermedades fúngicas como la sigatoca negra (afección principal del cultivo), logrando cambios considerables en características morfológicas de la planta pero una baja resistencia a la enfermedad, ya que de 1024 plantas evaluadas, solo 3 mostraron resistencia a Sigatoca negra y solo 4 mostraron un porte bajo en las plantas. Caso contrario a los casos de éxito aquí mencionados, en el caso de huazontle y amaranto, estos materiales muestran severas malformaciones y efectos adversos en el rendimiento, lo que implica que solo algunas dosis de los tratamientos evaluados mostraron beneficios sobre los materiales evaluados, pero a dosis altas de radiación modifican los tallos, el número de entrenudos y hojas de las plantas sobrevivientes ya que la mayoría de las semillas sometidas a este tratamiento se ven afectadas en su germinación.

Para el caso específico del aguacate, la principal pretensión de aplicar mutagénesis es en primera instancia generar variabilidad genética, ya que al menos 90 % de las superficies plantadas con aguacate comercial se depende solo de la variedad Hass lo que convierte al cultivo en monovarietal a nivel mundial. El segundo propósito de la aplicación de mejoramiento genético es la sanidad vegetal, ya que el aguacate es afectado por diversas plagas, ejemplo de ello el ataque de insectos como los barrenadores del hueso y tallo,

trips, palomillas, entre otros; adicionalmente a las enfermedades de importancia económica como roña, antracnosis y sobretodo la tristeza del aguacatero causada por *Phytophthora infestans* que acaba con el árbol en poco tiempo. Todo ello ha llevado a realizar estudios que colaboren en la problemática del cultivo, ejemplo de ello el trabajo realizado por Rubí y colaboradores en 1994 donde la aplicación de radiación a diversos materiales genéticos de aguacate originó cambios como reducción en el porte y aumento en la producción, situación que coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio. Adicionalmente De la Cruz (1995) reporta que para el cultivar Hass es susceptible a la aplicación de radiación, ya que individuos sometidos a la aplicación de esta técnica aumentaron casi 300% con una dosis de 15 Gy además que esta dosis redujo el porte de los árboles. Esta situación también concuerda con los resultados obtenidos, ya que considerando todas las variables de rendimiento y crecimiento de los arboles evaluados, las dosis de 15 y 20 Gy son las que mostraron efectos deseados ya que redujeron el porte de los árboles, aumentaron su productividad y sobrevivieron mayor número de plantas injertadas. Cabe mencionar que es importante verificar las variables individualmente, ya que las variaciones generadas con el uso de estos métodos no son uniforme.

La altura de planta es una de las variables mas afectadas al aplicar radiación, ya que en diversos estudios es mencionada esta variable como uno de los principales efectos, ejemplo de ello son trabajos realizados por Puertas y

colaboradores en 1998 en pimiento y el realizado por Ladi en 1987 en papaya por ello, es una de las principales técnicas usadas para reducir el porte de frutales, esta situación se vió afectada por las dosis de 15 a 25 Gy durante el estudio, lo que ayudará para el manejo de las plantaciones. Cabe mencionar que este estudio debe continuar teniendo evaluaciones periódicas, ya que los caracteres morfológicos evaluados hasta ahora pueden cambiar conforme se desarrolla el árbol, de esta manera se asegurará que los caracteres deseados se hayan fijado y la radiación no haya generado solo cambios transitorios en el material sometido a radiación.

VIII. CONCLUSIONES

Las dosis de 15 Gy incrementaron notablemente los caracteres relacionados al rendimiento (número de flores y número de frutos).

La aplicación de irradiación (20 y 25 Gy) originó cambios deseables en la reducción del porte de los árboles originando una tendencia muy marcada al crecimiento horizontal.

En dosis intermedias se observe un incremento en la extensión del brote y en la lamina foliar

Se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre porcentaje de área transversal de corteza y la relación diámetro del follaje/altura.

Dosis de 15 y 20 Gy propiciaron un aumento en variabilidad para altura y circunferencia del injerto.

La radiación afecta ligeramente las variables longitud y diámetro del fruto.

IX. LITERATURA CITADA

Acquaah, 2006. Principles of plant genetics and breeding. Wiley-Blackwell. Malden, MA, USA. p. 1-584.

Aguilar M. T. 2013. Selección in vitro de genotipos mutantes de papa de la variedad sani negra (*Solanum tuberosum* L. ssp. andigena H.) tolerantes a estrés salino por efecto de la irradiación con luz ultravioleta (UV tipo c). Universidad Mayor De San Andrés Facultad De Agronomía

Ángeles E. A. 2014. Inducción de Mutantes en Plántulas de Agave (*Agave tequilana* Weber. var. azul) Propagadas *in vitro* y Selección de Genotipos Resistentes al Tizón Foliar (*Cercospora agavicola*). Tesis Doctoral. Universidad de Guadalajara. 80 pag.

Ascensión B, G., Bravo M, H., González H, H., Johansen N, R., y Becerril R, A. 1999. Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate C.V. Hass. Rev. Chapingo. Serie Horticultura 5: 291-296.

Ashworth, E. T.; Cheng, H. y Cleg, M. T. Persea. En: Genomic and Breeding Resources. Tropical and Subtropical Fruits. Chapter 8. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2011. DOI:10.1007/978-3-642-20447-0_8.55.

Ashworth, V. E. T. M.; Kobayashi, M. C.; De La Cruz, M. y Clegg, M. T. Microsatellite markers in avocado (*Persea americana* Mill.) development of dinucleotide and trinucleotide markers. *Scientia Horticulturae*, 2004, vol. 101, pp. 255-267.

Barrientos P., A. F., López L., L. (2000). Historia y genética del aguacate. *Téliz, D. y Mora, A. (Comps.). El aguacate y su manejo integrado. 2ª (Ed.) Ediciones Mundi-Prensa. DF México, 22-62.*

Benacchio, S.S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal.de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.

Chuvieco, E.1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp, S.A. Madrid, España 419 p.

Bergh B.O. 1992. The origin, nature and genetic improvement of avocad. California Avocado Society Yearbook. Pp: 67-75.

Bhagwat, E.J. Duncan. 1998. (*Musa acuminata*, AAA) for tolerance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* using gamma irradiation. *Euphytica*, 101 (1998), pp. 143-150

Bhajantri, A. and V.S. Patil. 2013. Studies on ethyl methane sulphonate (EMS) induced mutations for enhancing variability of gladiolus varieties (*Gladiolus hybridus* Hort.) in M₁V₂ generation. Karnataka J. Agric. Sci. 26:403-407.

Camarena MF, Chura ChJ, Blas SR. 2008. Mejoramiento Genético y Biotecnológico de plantas. Primera Edición. UNALM-Concytec. 241 p.

Canul K., J., F. García P., E. Campos B., E.J. Barrios G., E. de la Cruz T., J. M. García A., F.J. Corona C. y S. Ramírez R. 2012. Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch) en Morelos. Rev. Méx. Ciencias Agrícolas 3:1495-1507.

Cortés Rodríguez, M., Hernández García, A., López Gómez, R., & Salgado Garciglia, R. (2013). La búsqueda de genes de resistencia como una alternativa para la selección de portainjertos de aguacate con tolerancia a *Phytophthora cinnamomi*. *Biológicas Revista De La DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo*, 12(2), 143-150.

Davis, J.; Henderson, D.; Kobayashi, M. y Clegg, M. T. Genealogical relationships among cultivated avocado as revealed through RFLP analysis. *Journal of Heredity*, 1998, vol. 89, pp. 319-323. ISSN: 0022-1503.

De la Cruz T.E., M. Hernández A., M. Rubí A. y C. Saavedra G. 1993. Evaluación de radiosensibilidad del aguacate cv. Hass con fines de mejoramiento. **In:** Memorias de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C Rubí Arriaga M. (Ed). Coatepec Harinas, México. Pp: 121-128.

De la Cruz T.E., M. Rubí A. y T. Falcón B. 1995(a) . Efecto de la radiación gamma sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del aguacate cv. Hass. **In:** Memorias de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C Rubí A. M., Salgado S.M.L y López L.L. (EdS). Coatepec Harinas, México. Pp: 55-60.

De la Cruz, E., Rubi, M., & Saavedra, C. 1995(b). Advances on the radio induced mutation breeding programme on avocado at CITAMEX. In *Proceeding of World Avocado Congress III, Tel Aviv, Israel* (Vol. 120).

Delgado Suárez, Antonio ; Díaz Ruiz, Deysi ; Espinoza Guzmán, Bryan ; Gerónimo Mendoza, Ginny ; Juárez Bayona, Kattia. 2013. Diseño de la línea de producción para la elaboración y envasado de pure de palta en el departamento de Piurh. Universidad de Piurh, Peru. 91 pag.

Donini B. 1992. Mutagenesis applied for the improvement of vegetatively propagated plants II. thecnical aspects of mutagenic treatment. Curso corto sobre aplicaciópnn de técnicas nucleares en agricultura. OIEA, EAZ, ININ, Universidad de Guanajuato, Facultad de Agronomia. 29 p.

Estrada-Basaldúa, Jorge Adán, Pedraza-Santos, Martha Elena, Cruz-Torres, Eulogio de la, Martínez-Palacios, Alejandro, Sáenz-Romero, Cuauhtémoc, & Morales-García, José Luciano. (2011). Efecto de rayos gamma ^{60}Co en nardo (*Polianthes tuberosa* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe3), 445-458.

Fersini A. 1975. El cultivo del aguacate. Mexico. Ed. Diana. 132 pag.

Fuentes J. L., Santiago L., Valdés Y., Guerra M., Ramirez I. M., Prieto E. F., Rodriguez N. N., Velazquez B. 2004. Mutation induction in zygotic embryos of avocado (*Persea americana* Mill). *Biotechnología Aplicada*. 21:82-84.

Furnier, G. R.; Cummings, M. P. y Clegg, M. T. Evolution of the avocados as revealed by DNA restriction fragment variation. *Journal of Heredity*. 1990, vol. 81, pp. 183-188. ISSN: 0022-1503.

García, M., Mújica, R., Vázquez, N y Aranda, E. 1986. Fenología de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en tres regiones del estado de Morelos. Memoria del XXI Congreso Nacional de Entomología, Monterrey, Nuevo León, CONACYT, Colegio de Posgraduados, UANL.

Gonzalez L. M. y Talavera S. P. 1997 Mejoramiento genético en arroz para la tolerancia a la salinidad a través de la radioinducción de mutagenesis. *Nucleus*. (23), 2-7.

González, C.; Román, M. I.; Xiquez, X.; Dueñas, J.; Jiménez, R. y Rodríguez, N. N. Caracterización genética-bioquímica de 20 cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Cuba. *Revista Biología*, 2002, vol. 6, pp. 49-55. ISSN: 2215-2075.

Gutiérrez-Díez, A.; Martínez-de la Cerda, J.; García Zambrano, E. A.; Iracheta-Donjuan, L.; Ocampo-Morales, J. D. y Cerda-Hurtado, I. M. Estudio de la diversidad genética del aguacate nativo en Nuevo León, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 2009, vol. 32, pp. 9-18.

Ibar A., L. 1983. Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya. Ed. AEDOS-EDITIA Mexicana. México, D.F. 173 p.

Johansen, R., Mojica G., y Ascensión, B. 1999. Introducción al conocimiento de los insectos tisanópteros mexicanos, en el aguacatero (*Persea americana* Miller). *Rev. Chapingo Ser. Horticultura* 5 (Núm. Esp.): 279-285.

Lacey C.N.D. and A.I. Campbell 1981. Mutation breeding of apple at Long Ashton U.K. Mutation Breeding Newsletter. 18:2-5.

Lahav E., U. Lavi., C.Degani. And S. Gazit. 1995. Avocado Breeding in Israel. Program and Book of Abstracts. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp:119.

Lavi, U.; Akkaya, M.; Bhagwat, A.; Lahav, E. y Cregan, P. B. Methodology of generation and characteristics of single sequence repeat DNA markers in avocado (*Persea americana* Mill.). Euphytica, 1994, vol. 80, pp. 171-177. ISSN: 0014-2336.

Llanderal PL, Ortega HA. 1990. Hábitos e identificación del barrenador pequeño de la semilla del aguacate (*Conotrachelus persae* Barber) en Ziracuaretiro, Mich. Tesis de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Mexico State, Mexico.

Lahav, E. y Lavi, U. Genetic and Breeding. En: The Avocado. Botany, roduction and uses. 2nd Edition. Edited by Schaffer, B. Nigel, B. Wolstenholme and Anthony, W. Wiley. CABI.

Lewis, T. 1973. Thrips, their biology, ecology and economic importance. *Thrips, their biology, ecology and economic importance.*

López J. A y A. F. Barrientos P. 1987. Selection of dwarf rootstocks of avocado (*Persea Americana* Mill.). I. Studies of bark: xylem relationship in trunks of cv. Colín V-33 seedlings. California Avocado Society. Yrbk. 71:225-234.

Meco Martínez, V. (2015). Identificación y caracterización de mutantes de tomate (*Solanum lycopersicum*) afectados en el desarrollo reproductivo y en la tolerancia a estreses abióticos. Universidad de Murcia. Disponible en <http://hdl.handle.net/10803/129502>. Consultado en 26 de mayo de 2017.

Mhameed, S.; Sharon, D.; Kaufman, D.; Lahav, E.; Hillel, J.; Degani, C. y Lavi, U. Genetic relationship within avocado (*Persea americana* Mill.) cultivars and between *Persea* species. *Theor Appl Genet*, 1997, vol. 94, pp. 279-286. ISSN: 1432-2242.

Moyano Solera, E. (2013). Sobreexpresión de genes en tomate y generación de líneas T-DNA en la especie silvestre *solanum pennellii* para identificar determinantes de la tolerancia al estrés hídrico y la salinidad. Universidad de Murcia. Disponible en <http://hdl.handle.net/10803/129502>. Consultado en 26 de mayo de 2017.

Ortega, H., y Llanderal, L. 1990 Biología, hábitos e indentificación del barrenador pequeño de la semilla del aguacate (*Conotrachelus perseae* Barber) en

Ziracuarétiro, Michoacán. Tesis de licenciatura de la Facultad de Agrobiología. Michoacan.

Polanco, E. R., Riaño, N. M., & Martínez, M. 2015. Desarrollo de un protocolo de infección en raíz para cuantificación de resistencia genética a *Phytophthora cinnamomi*, en aguacate. VIII congreso Mundial de la Palta. Disponible en http://www.avocadosource.com/WAC8/Section_02/RodriguezPolancoE2015.pdf. Consultado el 15 de junio de 2017.

Reyes C. C. A., Noa C. J. C., Iglesias A. L. G. Mutagénesis Química Inducida En *Vanilla Planifolia* Jacks. 2013. XII Foro de trabajos efectuados en los Módulos de Integración y Terminales de la Facultad de Ciencias Agrícolas Xalapa. Universidad Veracruzana. Disponible en <https://www.uv.mx/agronomia/files/2014/02/MEMORIA-XII-Foro-Modulos-Diciembre-2013.pdf#page=27>. Consultado el 22 de junio de 2017.

Rincón-Hernández, C. A.; Sánchez-Pérez, J. de la L. y Espinosa-García, F. J. Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México. *Rev. Mex. Biodiversidad*, 2011, vol. 82, no. 2, pp. 395-412. ISSN: 1870-3453.

Rodriguez S. F. 1982. El Aguacate. AGT Editor. Mexico. 167 pag.

Rogel C, I. 1999. Mejoramiento genético del aguacate en la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, SC. Revista Chapingo Serie Horticultura. Vol. 5. Número especial pag 43-48.

Rubí A. M. 1989. Descripción de segregantes de la variedad del porte bajo Colín V-33. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad AUTÓNOMA DEL Estado de México. 119 p.

Rubí-Arriaga, M. y Cruz-Torres E. 1994. Mejoramiento genético del aguacate mediante mutagénesis radioinducida. En: Memoria Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C. Coatepec Harinas, Méx. pp. 91-100.

SAGARPA. 2011. Monografía de cultivos. Aguacate. Disponible en www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/.../pablo/.../Monografía%20del%20aguacate.pdf. Consultado el 15 de mayo de 2017

Sánchez C. S., Rubí A. M., Sosa Ch. R y Hernández A. M. 1989. Radiosensibilidad de diferentes materiales de aguacate (*Persea Americana* Mill) en CICTAMEX, *In:* II Seminario Nacional. Uso de la irradiación en Fitomejoramiento. Hernández, Ayala *et al.*, (Eds). México. pp: 119-130.

Sánchez C. S., De la Cruz T.E. y Rubí A. M. 1991. Avances en el programa de selección y mejoramiento genético del aguacate (*Persea Americana* Mill.) en

CICTAMEX, ***In:*** Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Ortega P. R. *et al.*, (Eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética de México. pp: 295-307.

Smith, C.E. Jr. 1966. Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany* 20: 169-175.

Téliz O., D.; Mora A. 2000. El Aguacate y su Manejo Integrado. Mundi-Prensa, México. 321 p.

Téliz, D., y Marroquin, F. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Mundi-Prensa. México. p. 1-28

Thorp G. T. and M. Sedgley. 1992 Shoot growth and architecture in a range of avocado trees. Second world avocado congress. Proceedings. Anaheim, California. E.U.A. pp: 237-240.

Whitney G. and G. Martín. 1995. Taking the California Avocado Breeding Program into the Next Century. Program and Book of Abstracts. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp: 118.

Williams, L.O. 1977a. The botany of the avocado and its relatives. Proc. 1st international Tropical fruit Short Course, The Avocado. University of Florida, Gainesville, Florida. USA. pp. 9-15.

Zelda B., A. Sippel, B. Shijder, H. Breedt and B. Cillers. 1995. Avocado Breeding and Evaluation of Genotypes in the Republic of South Africa. Program and Book of Abstracts. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. pp: 117.

Zuñiga A. L. F. 2015. Irradiacion de semillas de maíz (*zea maíz*) para promover resistencia de la germinación en condiciones salinas. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5860>. Consultado en 10 se septiembre de 2017.