

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD COMERCIAL Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE
Polianthes tuberosa PRODUCIDO BAJO UN SISTEMA DE CULTIVO ORGÁNICO EN
DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA FLORICULTURA

Maestría en producción florícola

PRESENTA

Leidy Jacqueline Tun Balam

Directora: Dra. Ana Luisa Ramos Díaz

Co-directora: Dra. Julia Del Socorro Cano Sosa

Co-directora: Dra. Claudia Alvarado Osuna

Asesora: Dra. Neith Aracely Pacheco López

Asesor: Eduardo Villanueva Couoh



Mérida, Yucatán, 26 de enero de 2021



Guadalajara, Jalisco, a 15 de enero de 2021

CP/044/2021

LEIDY JACQUELINE TUN BALAM
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN
CIENCIAS DE LA FLORICULTURA
NÚMERO DE MATRÍCULA 1801PF6448
PRESENTE

Por este medio le informo que el trabajo de tesis "Evaluación de la calidad comercial y composición química de *Pollanthes tuberosa* producido bajo un sistema de cultivo orgánico en diferentes mezclas de sustrato bajo condiciones de invernadero" desarrollado bajo la dirección del siguiente comité tutorial:

Dra. Ana Luisa Ramos Díaz. Directora de tesis.
Dra. Julia del Socorro Caño Sosa. Co-directora de tesis.
Dra. Claudia Alvarado Osuna. Co-directora de tesis.
Dra. Neith Aracely Pacheco López. Asesora.
Dr. Eduardo Villanueva Couch. Asesor.

ha sido aprobado para su impresión definitiva y defensa correspondiente para la obtención del grado de Maestra en Ciencias de la Floricultura.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


Mtra. Fajma Gabriela Ordoñez de la Cruz
Coordinadora de Posgrados



Av. Normalistas No. 800, Colinas de La Normal, CP. 44290, Guadalajara, Jal., México.
Tel. (33) 3345 8200 informes@ciatej.mx www.ciatej.mx





Guadalajara, Jalisco a 17 de diciembre de 2020

CONSEJO INSTITUCIONAL DE POSGRADO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO
DEL ESTADO DE JALISCO, A.C.
PRESENTE

Los abajo firmantes miembros del comité tutorial del (la) estudiante **Leidy Jacqueline Tun Balam**, una vez leída y revisada la Tesis titulada "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD COMERCIAL Y COMPOSICION QUÍMICA DE *Polygonum tuberosum* PRODUCIDO BAJO UN SISTEMA DE CULTIVO ORGÁNICO EN DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO" aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por la estudiante para aspirar al grado de Maestra en Ciencias de la Floricultura en producción florícola durante el examen correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente al día 17 del mes de diciembre del año dos mil veinte.

Dra. Ana Luisa Ramos Diaz
Director de tesis/tutor académico

Dra. Julia Del Socorro Cano Sosa
Co-director de tesis/tutor en planta

Dra. Claudia Alvarado Osuna
Co-director de tesis/tutor en planta

Dra. Neith Aracely Pacheco López
Asesor/Asesora

Eduardo Villanueva Couoh
Asesor/Asesora

AGRADECIMIENTOS

Al fondo FORDECYT 2018-06 por brindar los recursos financieros para la realización del proyecto “Desarrollo de un ecosistema de innovación y emprendimiento en la región Occidente de México para detonar una cadena de valor de miel sustentable y competitiva” del cual soy responsable técnico, cuenta con recursos de la convocatoria: FORDECYT 2018-06, del cual se deriva este trabajo.

Al CONACYT, por otorgar la beca No. 659169 para estudios de Maestría en Ciencias de la Floricultura.

Al CIATEJ por facilitar las instituciones y materiales para la realización de este trabajo.

A la coordinación de posgrado por la beca complementaria, la cual es proporcionada con el recurso de Fideicomiso de Fortalecimiento del Posgrado Institucional.

Al comité tutorial por las observaciones que enriquecieron el presente trabajo: la Dra. Ana Luisa Ramos Díaz, por la dirección de la tesis, así como a la Dra. Julia del Socorro Cano sosa y la Dra. Dra. Claudia Alvarado Osuna por la co-dirección. A la Dra. Neith Aracely Pacheco López y a el Dr. Eduardo Villanueva Couoh por asesorar el presente trabajo.

Al M.C. Ivan Emmanuel Herrera Pool y Dra. Neith Aracely Pacheco López, por su apoyo en la cuantificación de los compuestos fenólicos.

Al Ing. Fernando Poblano y a la empresa Flores Finas de Teya S.P.R. de R.L. por facilitar las instalaciones para realizar actividades de campo.

Al comité sinodal: a la Dra. Dra. Claudia Alvarado Osuna, el Dr. Eduardo Villanueva Couoh y la Dra. Soledad Cecilia Pech Cohuo por sus valiosos comentarios que enriquecieron este documento.

Al Ing. Daniel González Huchim por su apoyo en el manejo del cultivo del nardo bajo invernadero.

DEDICATORIAS

A mis padres: Noemí Tun Balam y Carlos Carrillo Dzib por su apoyo, amor y confianza.

A David Palomo Silva por su apoyo y consejos a lo largo de estos dos años.

INDICE

TABLA DE ABREVIATURAS	8
ÍNDICE DE CUADROS	9
INDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	13
I. INTRODUCCIÓN	15
II. ANTECEDENTES.....	18
2.1. Importancia económica del nardo	18
2.2. Usos del nardo.....	18
2.3. Descripción botánica del nardo.....	19
2.3. Características agronómicas del nardo	20
2.4. Composición química del nardo.....	21
2.5. Sustratos	21
2.6. Calidad comercial de las plantas ornamentales	23
2.7. Sistemas de producción orgánica	24
III. HIPÓTESIS	26
IV. OBJETIVOS	26
4.1. OBJETIVO GENERAL	26
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	26
V. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.....	27
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	28
6.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	28
6.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUSTRATOS Y LAS MEZCLAS. ...	28
6.2.1. Humedad gravimétrica (θ_g).	29
6.2.2. Densidad real (Dp)	30
6.2.3. Densidad aparente (Db).....	30
6.2.4. Porosidad total (St).....	31
6.2.5. Capacidad de Retención de Agua (CRA).....	31
6.2.6. Conductividad eléctrica (CE)	32
6.2.7. pH del suelo en 0.01 M CaCl ₂	32
6.3. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS.....	32
6.4. MATERIAL VEGETAL.....	32

6.5.	ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO DEL CULTIVO DE NARDO	33
6.6.	FERTILIZACIÓN	34
6.7.	CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	34
6.8.	EVALUACIÓN DE VARIABLES DE CALIDAD FLORAL	35
6.9.2.	Acetólisis de Erdtman	35
6.9.3.	Montaje del polen.....	36
6.10.	EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NARDO	36
6.11.	PROPONER PRODUCTOS DERIVADOS DE NARDO O SUS EXTRACTOS	37
6.12.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
7.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUSTRATOS Y LAS MEZCLAS	38
7.2.	EVALUACIÓN DE VARIABLES DE CALIDAD FLORAL	39
7.3.	REGISTRO DE TEMPERATURA, INTENSIDAD LUMÍNICA Y HUMEDAD RELATIVA.....	44
7.4.	ANÁLISIS PALINOLÓGICO	45
6.2.	EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NARDO	46
VII.	CONCLUSIÓN	49
VIII.	ANEXOS.....	58

TABLA DE ABREVIATURAS

(θ_g): Humedad gravimétrica

CE: Conductividad eléctrica

CRA: Capacidad de Retención de Agua

Db: Densidad aparente

DNS: Acido 3,5 dinitrosalicílico

Dp: Densidad real

GC: Greña de coco

GHS1: Greña de coco-Hojarasca-Suelo (1:1:2)

GHS2: Greña de coco-Hojarasca-Suelo (1:4:5)

H: Hojarasca

P: Perlita

PTS: Perlita-Peat most-Suelo

PS: Perlita-Suelo

PXC: Perdida por calcinación

S: Suelo

St: Porosidad total

T: Peat moss

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Mezclas elaboradas para el cultivo de nardo.....	33
Cuadro 2. Caracterización fisicoquímica individual de los sustratos evaluados.....	39
Cuadro 3. Caracterización fisicoquímica de las mezclas para el cultivo del nardo.....	39
Cuadro 4. Evaluación de salida y floración en días para el cultivo de nardo.....	41
Cuadro 5. Evaluación de las variables para flor de corte del cultivo de nardo.....	42
Cuadro 6. Número de varas florales por mezcla.....	44
Cuadro 7. Determinación de la concentración del compuesto 1 en <i>P. tuberosa</i>	47
Cuadro 8. Determinación de la concentración del compuesto 2 en <i>P. tuberosa</i>	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>P. tuberosa</i> : (a) vara floral; (b) bulbo; (c) hojas y tallo.....	19
Figura 2. Etapas fenológicas de <i>P. tuberosa</i> : a) siembra; b) brote; c) crecimiento; d) inicio de la floración; e) etapa reproductiva y cosecha.....	20
Figura 3. Clasificación de los sustratos.....	22
Figura 4. Invernadero modelo diente de sierra, ubicado en CIATEJ subsede sureste.....	28
Figura 5. Estructura de los sustratos utilizados.....	29
Figura 6. Posición de las macetas dentro del invernadero: mezcla PTS (rosado); GHS2 (café); PS (verde); GHS1 (azul).....	33
Figura 7. Porcentaje de sobrevivencia y desarrollo de bulbos de <i>P. tuberosa</i>	40
Figura 8. Comparación parámetros morfológicos de las varas florales de plantas de <i>P. tuberosa</i> cultivadas en diferentes mezclas de sustratos.....	42
Figura 9. Diámetro de la vara floral de <i>P. tuberosa</i> cultivadas en diferentes mezclas de sustratos.....	43
Figura 10. Comparación de los parámetros florales de plantas de <i>P. tuberosa</i> cultivadas en diferentes mezclas de sustratos.....	43
Figura 11. Polen de <i>P. tuberosa</i> (A) plano ecuatorial, (B) plano polar y semipolar.....	45
Figura 12. Miel multiflora con extracto con presión de maceración de nardo.....	48

RESUMEN

Polianthes tuberosa (nardo) es una planta nativa de Centroamérica que se usa principalmente como flor de corte y en la industria para extracción de sus aceites esenciales, siendo una fuente de ingresos importante para los productores dedicados al cultivo de esta ornamental. La producción convencional de plantas ornamentales y cultivos destinados para alimentos (maíz, jitomate, pepino, cebolla) reportan altos rendimientos, no obstante, para garantizar la producción se emplean agroquímicos (insecticidas, pesticidas y fertilizantes) de forma continua acrecentando el área de impacto, al ecosistema y la salud humana, dado a la toxicidad de estos. En contraste, los sistemas orgánicos han demostrado tener bajo impacto ecológico, manteniendo la calidad del producto, con la desventaja de un aumento en el costo de la producción, transporte y conservación, lo cual genera un aumento del precio.

Por lo tanto, son pocos los productores de plantas ornamentales que se arriesgan a producir en sistemas orgánicos, ya que, si bien los consumidores de productos orgánicos están dispuestos a pagar precios más altos por productos alimenticios sin tóxicos, los consumidores de plantas ornamentales no, ya que no son para alimentación y están más interesados en la apariencia y precio. Sin embargo, debemos hacer énfasis en que cada vez es mayor la concientización del público consumidor hacia la necesidad de realizar producción orgánica amigable para el medio ambiente con el fin de combatir el cambio climático, enfermedades etc. y que esto no solo sea aplicado a productos de consumo alimenticio, lo que aumentará el consumo de orgánicos hasta para ornamentales. Teniendo en cuenta lo anterior en el presente trabajo se estableció un sistema de cultivo orgánico para *P. tuberosa*, evaluar su calidad comercial como flor de corte y su composición química. Se caracterizaron fisicoquímicamente sustratos comerciales y locales obtenidos de residuos agrícolas.

De acuerdo con las propiedades se establecieron cuatro mezclas en diferentes proporciones, las cuales fueron caracterizadas y analizadas para la implementación del cultivo, evaluando el crecimiento y desarrollo de la planta, la producción y el costo del sustrato. Nuestros resultados nos muestran que no hay diferencia estadística entre el uso de las mezclas de sustratos locales frente a sustratos comerciales teniendo como sustento los datos obtenidos de parámetros morfológicos número de botones florales, longitud de la vara floral, diámetro de la vara floral a diferencia de los parámetros de números de hojas y largo de la

inflorescencia en donde si se observa diferencia significativa en las mezclas de los sustratos greña de coco-hojarasca-suelo (1:1:2: GHS1) y greña de coco-hojarasca-suelo (1:4:5: GHS2). De igual manera determinamos que los sustratos locales y comerciales evaluados poseen las características adecuadas para el cultivo del nardo. La composición química no mostro diferencia significativa en las concentraciones obtenidas para las lecturas de los compuestos 1 y 2 en longitudes de 290 y 350 para las mezclas GHS1, PTS y PS. La mezcla GHS2 mostro en el compuesto 1 y 2 una concentración menor entre (1.5 y 3.5). Como parte de los objetivos a cumplir en este estudio se propuso una alternativa de uso del extracto de nardo, el cual fue añadido a una miel multifloral.

PALABRAS CLAVE: *Polianthes tuberosa*, cultivo orgánico, calidad comercial y composición química.

ABSTRACT

Polianthes tuberosa (nardo) is a native plant of Central America that is used mainly as cut flower and, in the industry, to extract its essential oils, being an important source of income for producers dedicated to the cultivation of this ornamental. The conventional production of ornamental plants and crops destined for food (corn, tomato, cucumber, onion) report high yields, however, to guarantee production, agrochemicals (insecticides, pesticides and fertilizers) are used continuously, increasing the impact area. The ecosystem and human health, given the toxicity of these. In contrast, organic systems have shown to have a low ecological impact, maintaining product quality, with the disadvantage of an increase in the cost of production, transport and conservation, which generates an increase in price. Therefore, few ornamental plant producers take the risk of producing in organic systems, since, although consumers of organic products are willing to pay higher prices for non-toxic food products, consumers of ornamental plants are not. Since they are not for food and are more interested in quality and price. However, we must emphasize that the consumer public is increasingly aware of the need to carry out environmentally friendly organic production in order to combat climate change, diseases, etc. and that this is not only applied to food consumption products, which will increase the consumption of organic even for ornamentals. Taking into account the above, in the present work an organic cultivation system for *P. tuberosa* was established, evaluating its commercial quality as a cut flower and its chemical composition. Commercial and local substrates obtained from agricultural residues were physiochemically characterized.

According to the properties, four mixtures were established in different proportions, which were characterized and analyzed for the implementation of the crop, evaluating the growth and development of the plant, the production and the cost of the substrate. Our results show us that there is no statistical difference between the use of local substrate mixtures versus commercial substrates based on the data obtained from morphological parameters, number of flower buds, length of the flower rod, diameter of the flower rod, as opposed to the parameters of numbers of leaves and length of the inflorescence where a significant difference is observed in the mixtures of the substrates coconut-litter-soil (1:1:2: GHS1) and coconut-litter-soil (1:4:5: GHS2). In the same way, we determined that the local and commercial substrates evaluated have the appropriate characteristics for the cultivation of

nardo. The chemical composition did not show significant difference in the concentrations obtained for the readings of compounds 1 and 2 in lengths of 290 and 350 for the GHS1, PTS and PS mixtures. The GHS2 mixture showed in compound 1 and 2 a lower concentration between (1.5 and 3.5). As part of the objectives to be met in this study, an alternative use of nardo extract was proposed, which was added to a multifloral honey.

KEY WORDS: *Polianthes tuberosa*, organic cultivation, commercial quality, and chemical composition.

I. INTRODUCCIÓN

P. tuberosa (nardo) es una planta nativa de Centro América cultivada en diferentes países del mundo como Kenia, Irán, India, China, Bangladesh, Italia, Francia, Marruecos, Estados Unidos, Sudáfrica y México. Esta planta es de gran importancia económica y comercial debido a su alto potencial ornamental y su uso en las industrias de perfumes y alimentos (Asil *et al.*, 2011; Gomiero *et al.*, 2011; Mandal *et al.*, 2018; Muriithi *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2019).

La extracción de los aceites esenciales del nardo para su aplicación en la industria cosmetológica, farmacéutica y de alimentos, se pueden realizar con diferentes métodos entre los que destacan la hidrodestilación, extracción por solvente y enfleurage. El aceite esencial que se obtiene de la planta de nardo es valorado por su aroma dulce, floral y sus cualidades estimulantes. Compite con los aceites esenciales de rosa y jazmín y se encuentra en un precio de \$1.93.200-198.030 USD (Devi *et al.*, 2015; Kutty *et al.*, 2019; Maiti *et al.*, 2014; Mazed, 2015; Valdes, 2015).

En cuanto la producción de nardo en México mediante sistemas convencionales reporta un valor de producción total en miles de pesos de \$83,877.85 (SIAP, 2019). Los cultivos mediante sistemas convencionales en la agricultura (horticultura y ornamental) tienen como objetivo garantizar o aumentar la producción, y disminuir los costos de producción. El cultivo convencional, se basa en la aplicación de métodos, técnicas, uso de semillas transgénicas y agroquímicos como fertilizantes, pesticidas y herbicidas aplicados de forma continua ocasionando la contaminación del suelo, agua y daños a la salud de animales y humanos (Alvarez *et al.*, 2005; Gomiero *et al.*, 2011; NOM-037 FITO-1995; Prado *et al.*, 2018; Reyes *et al.*, 2019).

Debido a la creciente problemática de contaminación por cultivos convencionales se han propuesto alternativas como los sistemas de producción orgánica, principalmente en la horticultura y en la producción de ornamentales, la cual tiene el enfoque de un beneficio económico, social y ecológico, que orienta la producción al interés del consumidor. Los sistemas de producción orgánica que emplean un conjunto de prácticas más sostenibles evitando el uso de recursos no renovables y productos sintéticos, minimizando los efectos

negativos, para la obtención de alimentos sanos y nutritivos (Álvarez *et al.*, 2005; Andersen *et al.*, 2003; Sáez, 1999; Sans *et al.*, 2013; Wyss *et al.*, 2005). Saffeullah *et al.* (2021) define la agricultura orgánica como “un sistema de producción holístico y alternativo que principalmente prohíbe el uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas, aditivos para la alimentación del ganado y hormonas de crecimiento. Combinando ciencia, tradición e innovación, la agricultura orgánica nutre los ecosistemas y la salud del suelo y ayuda a lograr la seguridad alimentaria y del ecosistema mundial”.

Los sistemas de producción orgánica, si bien se enfocan en utilizar insumos naturales y evitar el uso de productos sintéticos, también emplean métodos para fortalecer los suelos mediante cultivos intercalados (rotación de cultivos), recubrimientos con capas de material activo integrando abonos (ganadería) y materiales alternativos (sustratos) debido a que la demanda del sector agrícola exige producir sustratos que proporcionen los parámetros físicos y químicos adecuados y empleen el suelo (recurso no renovable) de forma racional (Alvarez *et al.*, 2005; López *et al.*, 2018; Sáez, 1999), lo que permite la obtención de alimentos con máxima calidad, en cantidad suficiente y conservando el ambiente.

Por otra parte, el término sustrato se refiere a un material diferente al suelo natural o sintético, mineral u orgánico que puede ser aplicado individual o en forma de mezcla. Funciona como soporte y anclaje de la planta, de manera que puede intervenir en el proceso de nutrición o no. Los sustratos se pueden clasificar en químicamente inertes, entre los materiales que destacan son perlita, arena silíceo, grava, roca volcánica, lana de roca. Los químicamente activos como turbas rubias, negras y residuos de la industria de maderera y subproductos de las actividades agrícolas (Martínez *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2016; Sáez, 1999).

El empleo de los materiales alternativos o sustratos alternativos es una práctica que minimiza los efectos negativos del deterioro de los ecosistemas, la sobreexplotación de los recursos naturales, el uso de productos sintéticos, y la reducción de costos, debido a que estos sustratos se obtienen a partir de residuos agrícolas y agroindustriales y pertenecen a la región, como cascarilla de arroz, compostaje, madera, coco, sargazo (Gayosso *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2011; Quesada *et al.*, 2005). Asimismo, los sustratos alternativos promueven efectos positivos en el crecimiento, desarrollo, la floración, fructificación, porcentaje de biomasa y

en los metabolitos secundarios (Molina-Maldonado *et al.*, 2012; Sousa *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010).

Las características físicas y químicas representan un factor importante en la calidad del y desarrollo de la planta. El establecimiento de las características físicas se establece al inicio del cultivo, ya que, son inmodificables porque proporcionaran soporte, la disponibilidad de agua, crecimiento radicular y nutriente. Entre las características físicas para un sustrato se destaca la porosidad, capacidad de retención de agua, densidad real y aparente. A diferencia de las características físicas las características químicas de los sustratos son modificables permitiendo adecuar el pH, conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico, y relación C/N (Quesada *et al.*, 2005; Sáez, 1999).

Por consiguiente, el establecimiento de una mezcla adecuada para el cultivo considera sustratos inertes y activos, de este modo, se pretende obtener una mezcla que proporcione los requerimientos adecuados para el cultivo. El emplear ambos tipos de sustratos disminuye el uso de recursos que no son renovables, al igual que la mezclas no tendrán variación y mantendrán la disponibilidad para el productor evitando que modifique su mezcla de sustratos (Alvarez *et al.*, 2005; López *et al.*, 2018; Sáez, 1999). El costo de los sustratos con proveedores regionales (greña de coco, hojarasca y suelo) se encuentra entre \$1.00 USD a \$2.00 USD por kilogramo y los sustratos comerciales que son importados (peat moss y perlita) están en un rango de \$1 USD a \$2.98 USD por kilo. Las mezclas de estos sustratos greña de coco (GC), hojarasca (H) y suelo (S) el rango del precio es de \$9.11 a \$10.93 USD, por su parte una mezcla comercial de peat moss (T), perlita (P) y suelo (S) tiene un valor de producción de \$13.67 a \$15.49 USD (Agroimpulsora, 2016; Confisumex, 2019; Lol Pak'al SPR de RL de CV, s/f; Proveedora de insumos forestales, s/f).

Por lo tanto, la implementación de un sistema de cultivo orgánico para plantas ornamentales, de bajo costo y que pudiera proporcionar valor adicional, es necesario para incentivar a los productores de plantas ornamentales para conversión de sistemas de cultivos convencionales reduciendo el impacto ambiental. Como es el caso del presente proyecto en donde se evaluó la calidad comercial y químico de *P. tuberosa* producido bajo un sistema de cultivo orgánico en diferentes mezclas de sustrato.

II. ANTECEDENTES

2.1. Importancia económica del nardo

En el año 2010 la superficie sembrada y cosechada del cultivo convencional de nardo en México fue de 266.00 hectáreas con un valor total en miles de pesos de \$36,582.63. En el año 2019 esta superficie de siembra y cosecha fue en aumento con 335.85 hectáreas con un valor total en miles de pesos de \$83,877.85, lo cual indica la producción de este cultivo va en aumento debido a su demanda. La producción en el país se encuentra en los estados de Guerrero, Morelos Oaxaca, Puebla y Veracruz, siendo el estado de Morelos en donde la superficie de siembra es mayor con 175.40 ha (SIAP, 2019).

A nivel mundial se cultiva el nardo son Kenia, Irán, India, China, Bangladesh, Italia, Francia, Marruecos, Hawai, Sudáfrica y México (Barba *et al.*, 2012; Maiti *et al.*, 2014; Mandal *et al.*, 2018; Pérez *et al.*, 2019; Waithaka *et al.*, 2001). Y sus principales compradores debido a sus flores y aceites esenciales son Estados Unidos, Europa, Japón (Waithaka *et al.*, 2001).

El precio del nardo como flor de corte en presentación de docena se encuentra en un precio de \$50.00 a \$100.00 pesos según lo indica el Sistema nacional de información e integración de mercados (SNIIM, s/f). En donde podremos encontrar que el nardo se encuentra en una lista de las flores de corte con más comercialización entre las que se encuentran la gerbera (*Gerbera jamesonii*), clavel (*Dianthus caryophyllus*), pompón (*Chrysanthemum*), gladiolo (*Gladiolus*). Asimismo el precio del aceite esencial que principalmente es producido por la india tiene un precio de Rs./kilogramo de \$1.93.200-198.030 USD, lo que hace que se encuentre entre los primeros aceites esenciales más comercializados en conjunto con el aceite de rosas con un precio de Rs./kilogramo de \$207.690-289.800 USD (Devi *et al.*, 2015).

2.2. Usos del nardo

El nardo es una planta ornamental preciada que se comercializa principalmente como flor de corte, siendo su principal atractivo sus flores atractivas y elegantes, también parte de este cultivo se destina a la industria cosmetológica, farmacéutica y de alimentos, en donde las flores pasan por un procesos de extracción para obtener los aceites esenciales, los cuales se incorporan en perfumes, y el aceite esencial sirve de base para otros perfumes (gardenia), y

en alimentos (helados, dulces y bebidas no alcohólicas; Gonzalez *et al.*, 2016; Mazed, 2015; Valdes, 2015).

La implementación de los aceites esenciales como alternativa en productos como la miel representa una ventaja para los productores de miel, debido a que genera valor agregado y económico con el objetivo de diversificar su producción. Un ejemplo de esto son las mieles saborizadas, es decir, a la miel se le añade hierbas aromáticas (canela, clavo, tomillo) proporcionando un aroma y sabor único, al igual que confiere las cualidades medicinales que posee la planta (Valdes, 2015).

2.3. Descripción botánica del nardo

P. tuberosa L. (*Agave polianthes* Thiede & Egli; The Plant List, 2013), en México conocida como nardo, es una planta monocotiledónea, herbácea, perenne de 45-70 cm de altura, raíces adventicias poco profundas, tallo corto, hojas delgadas y alargadas con una longitud de 60 cm con anchura menor de 3.5 cm; el tallo alcanza alturas de hasta un metro y la inflorescencia mide de 30-60 cm de longitud; su número de flores va de 8 a 20; las flores están dispuestas en parejas en forma de zig-zag y se abren de la base al ápice, son pequeñas de color blanco con un aroma muy predominante (Figura 1).

La principal forma de propagación es por bulbo (Figura 2) el cual es la raíz modificada con forma cónica oval, provista de túnica y su principal función es almacenar reservas para su reproducción (Castell, 1990; Gonzalez *et al.*, 2016; Lim, 2014; Maiti *et al.*, 2014).



Figura 1. *P. tuberosa*: (a) vara floral; (b) bulbo; (c) hojas y tallo

2.4. Características agronómicas del nardo

La planta florece desde abril a noviembre, aunque los meses más adecuados para florecer es en los meses en que la radiación solar es máxima de junio a septiembre (Castell, 1990). Para realizar la plantación se debe tomar en cuenta las principales plagas y enfermedades que afectan al nardo, aplicando fungicidas y desinfectando para evitar pudriciones. Al inicio del cultivo requiere fertilización en mayor proporción nitrógeno y potasio. El aumento de nitrógeno en las primeras etapas mejora la producción de bulbos, aumenta la altura de la planta, el número de hojas, la espiga, la floración, haciéndola más temprana y mayor número de flores por espiga (Mazed, 2015).

Los requerimientos para la obtención de plantas de nardo vigorosas y de calidad son sustratos arenosos o franco arenosos, ricos en humus, con buen drenaje, ricos en materia orgánica y pH entre 5.6-7.5 (Castell, 1990; Lim, 2014). Por lo tanto, proporcionar un sustrato o la mezcla adecuada a la planta evitara problemas en el crecimiento y desarrollo (Figura 2).

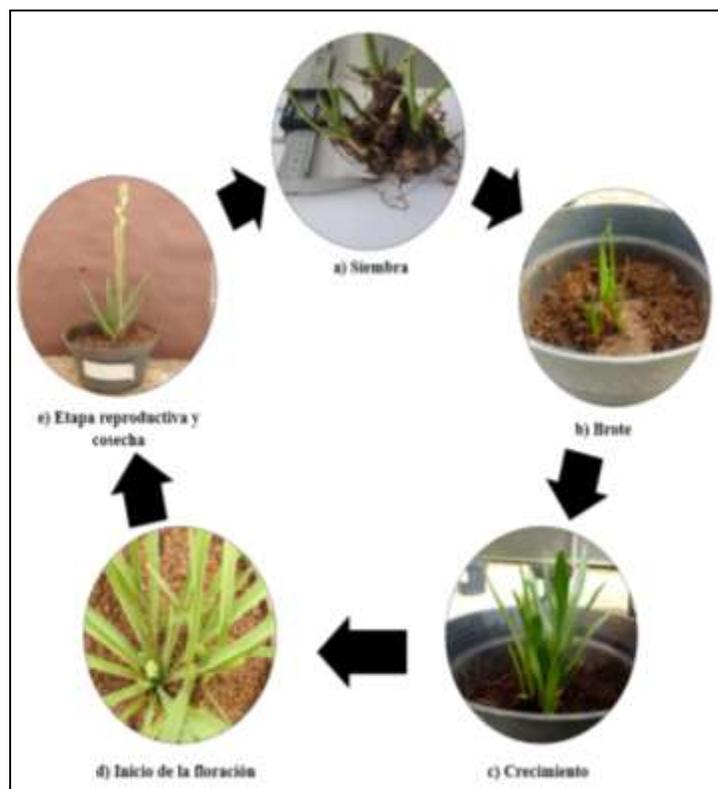


Figura 2. Etapas fenológicas de *P. tuberosa*: a) siembra; b) brote; c) crecimiento; d) inicio de la floración; e) etapa reproductiva y cosecha

2.5. Composición química del nardo

Los métodos para realizar la extracción de aceites esenciales más utilizados para la planta de nardo son hidrodestilación, extracción por solvente y enfleurage. Entre los componentes químicos detectados en nardo se encuentran Los componentes químicos que se obtienen de la extracción de las flores de nardo reportados compuestos benzoicos (ejemplo: índole, eugenol e isoeugenol), monoterpenos (ejemplo: 1,8-cineole y geraniol), sesquiterpenos (ejemplo: α -farnesene y trans-farnesol), así como la presencia de polifenoles y compuestos antioxidantes (Kutty y Mitra, 2019; Maiti *et al.*, 2014).

2.6. Sustratos

Los sustratos son definidos como materiales solidos que se diferencian del suelo, estos pueden ser de fuentes de materia orgánica, minerales o sintéticas, en combinación o de forma individual. La función principal del sustrato es brindar anclaje y soporte del sistema radicular de las plantas, aportando a la nutrición (activos) o no (inertes), los activos provienen principalmente de residuos agrícolas o agroindustriales (Figura 3; Gayosso *et al.*, 2016; Quintero *et al.*, 2011; Sáez, 1999), mientras que los inertes son obtenidos de material sintético o fuentes de minerales naturales.

Las propiedades físicas se determinan por la estructura de las partículas del sustrato y la granulometría, al igual que deben cumplir con un parámetro de porosidad total, textura y estructura, tamaño de partícula, capacidad de retención de agua, densidad aparente, densidad real, aeración. Las propiedades químicas se definen por la composición elemental del material del sustrato, algunas de estas son pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Conductividad eléctrica (CE), contenido de nutrientes, relación C/N (Papadopoulos *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2018; Quintero *et al.*, 2011; Sonneveld *et al.*, 2009).

La mezcla y proporciones de los sustratos son esenciales al momento de cumplir con los requerimientos de la planta, estos proporcionaran soporte, el intercambio de oxígeno, retención de nutrientes y agua. Las propiedades físicas son de mayor importancia en los cultivos en contenedor debido a que establecidas las mezclas son difíciles de modificar, por lo que se debe considerar principalmente la retención de agua, porosidad y aireación que la

mezclas o sustrato pueda proporcionar, a diferencia de los químicos que son modificables a los largo de crecimiento y desarrollo del cultivo, conforme vaya necesitando aumento o disminución de nutrientes (Papadopoulos *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2018; Quintero *et al.*, 2011; Sáez, 1999).

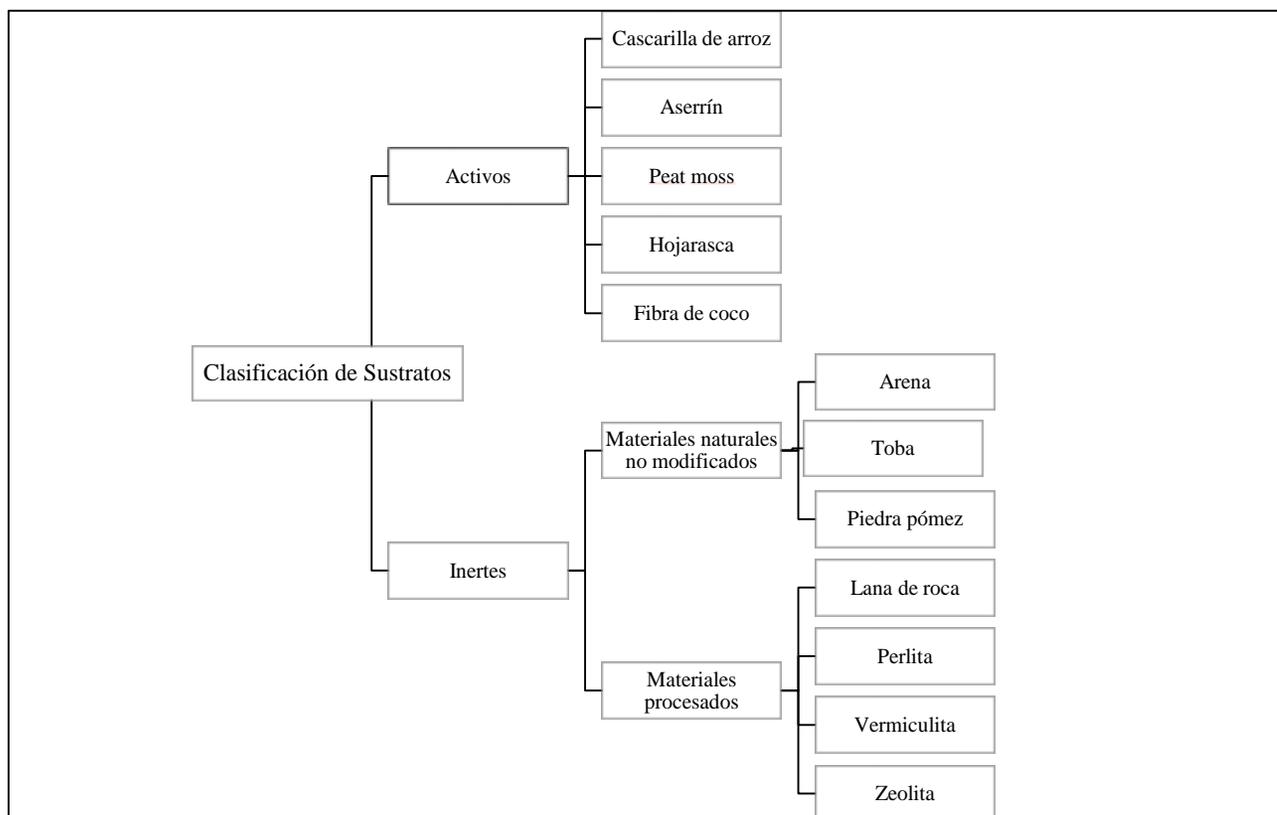


Figura 3. Clasificación de los sustratos (Modificado de Papadopoulos *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2018)

El uso de suelo y materiales inertes o activos son efectivos para la conformación de mezclas de sustratos, que le permiten a la planta un crecimiento y desarrollo adecuado, como es el caso de la perlita que es un sustrato inerte, estable, que tiene un tiempo de vida corto, que aporta además de anclaje retención del agua y aireación para las raíces, es mezclado con suelo que aporta materia orgánica y nutrientes para la planta.

La perlita, como otros sustratos inertes, sin un adecuado manejo, puede ser causal de la proliferación de microorganismos patógenos. En adición estos tipos de sustratos pocas veces pueden ser reutilizados y deben desecharse, lo cual aumenta los costos y provoca un problema

de manejo de residuos sólidos. Por otra parte, los sustratos activos promueven los efectos positivos en el crecimiento, desarrollo, la floración, fructificación, porcentaje de biomasa y en los metabolitos secundarios (Molina-Maldonado *et al.*, 2012; Sousa *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010).

El uso de residuos agrícolas y agroindustriales son una alternativa económica y accesible que permite la reducción de la sobreexplotación del suelo y el uso sustratos inertes. Para esto se ha planteado el uso de recursos locales entre los que se pueden mencionar la cascarilla de arroz; fibra de coco, residuos de café, compost de hojarasca, residuos de cacao, algas marinas los cuales en su mayoría son subproductos de desechos de las industrias, que permiten el bajo costo de su utilidad ya que se encuentran en la región y están disponibles, son ecológicos y permiten el reciclaje y valorización del recurso ya que son considerados desechos de las industrias (Gayosso *et al.*, 2016; Quintero *et al.*, 2011).

En cuanto al efecto del sustrato y tipo de fertilización utilizada sobre el metabolismo secundario, Sousa *et al.* (2005) reportaron la influencia de dos tipos de fertilización: mineral (fertilización mineral con nitrato de amonio y oxido de calcio) y orgánica (estiércol de oveja) en el contenido de seis ácidos orgánicos (ácido aconítico, ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido málico, ácido shikímico y ácido fumárico) presentes en *Brassica oleracea* L. Var. costata DC, los resultados mostraron que las plantas cultivadas con fertilización orgánica presentan mayor contenido de fenoles comparado con las plantas con fertilización mineral.

2.7. Calidad comercial de las plantas ornamentales

El concepto de calidad Bohórquez (2005) lo define “conjunto de propiedades biológicas, físicas y químicas que determinan el grado de adecuación de un alimento o materia prima, a los requerimientos sanitarios, nutricionales, sensoriales y físicomecánicos que deben ser satisfechos para su consumo humano directo, su preparación culinaria o su beneficio y transformación industrial”. Considerando que el grado de calidad determinara el precio al usuario final.

Para plantas ornamentales se utilizan parámetros de calidad comercial se relacionados principalmente por la apariencia como longitud del tallo, tamaño del botón floral, numero de

botones florales, peso del ramo, grosor, firmeza, los cuales son parámetros generales que son aplicados para la mayoría de las plantas ornamentales con flor. En cuanto el término de apertura de la flor este es exclusivo de cada especie, ya que la comercialización de algunas especies como el nardo, liliium o tulipán es solicitada con botón verde, mientras que crisantemo, gerbera y girasol se solicita con flor abierta. En el caso específico del nardo también se considera: el largo de la vara, tamaño de la inflorescencia, número de flores, tamaño de la flores, apertura floral y vida de jarrón (Macías y Salazar, 2012; Torres, 2011; Verdugo *et al.*, 2004; Waithaka *et al.*, 2001).

Adicionalmente algunos parámetros de calidad no son apreciados por el usuario final, sino que, por el productor, ya que de ello depende la retribución de su inversión por ejemplo el tiempo de la emergencia del brote y de la vara de nardo, el tiempo de la apertura de la primera flor (cosecha), el % de sobrevivencia, la susceptibilidad a plagas y enfermedades, etc.

2.8. Sistemas de producción orgánica

El área agrícola bajo los sistemas de producción orgánicos son reducidos a comparación de las áreas en donde se utilizan agroquímicos a pesar de que son medios potenciales que permiten mejorar los hábitats, tierras de cultivo y la biodiversidad de las tierras de cultivo no son tan implementadas en los cultivos (Gomiero *et al.*, 2011).

Entre las características que deben brindar los sistemas orgánicos al implementarse son los siguientes: “mejorar la diversidad biológica del sistema; aumentar la actividad biológica del suelo; mantener la fertilidad del suelo al largo plazo; reciclar desechos de origen animal o vegetal para devolver los nutrientes al sistema, minimizando el uso de fuentes no renovables; contar con recursos renovables en sistemas agrícolas localmente organizados; promover el uso sustentable del agua, el suelo y aire, así como minimizar todas las formas de contaminación que pueden resultar de la producción agrícola; manejar los productos agrícolas en su procesamiento con el cuidado de no perder la integridad orgánica en el proceso; establecerse en las unidades de producción después de un período de conversión, cuya duración estará determinada por factores específicos de cada sitio, tales como el historial del terreno y el tipo de cultivos producido” (Soto, 2003).

La agricultura orgánica puede ofrecer una posible solución para detener o reducir la pérdida de biodiversidad por varios medios, como la preservación de elementos ecológicos del paisaje, la reducción del uso de productos químicos nocivos y el alivio del estrés causado en la ecología del suelo (Gomiero *et al.*, 2011).

En desventaja al cultivo orgánico, es que la conversión requiere de mayor inversión, ya que los suplementos son más costosos, se requiere mayor tiempo para obtener la misma cantidad y calidad que en cultivos convencionales, sumado a los costos de certificación orgánica. Como consecuencia los productos orgánicos son más costosos para los consumidores. Los consumidores están dispuestos a pagar el precio por productos alimenticios vegetales por considerarlos más sanos, con mejor sabor, apariencia y frescura (Aryal *et al.*, 2009; Rahman *et al.*, 2021). Percepciones que no influyen en la compra de productos ornamentales, por lo que hay poca aceptación de los productores de plantas ornamentales para convertir sus sistemas convencionales de producción a sistemas de cultivo orgánico.

Por lo tanto, si se busca contribuir para reducir el impacto ecológico del uso de plaguicidas y estimular a mayor número de productores ornamentales para convertir sus sistemas de cultivo a orgánico se requiere hacer énfasis en otras características de los cultivos como obtención de metabolitos secundarios o su aplicación para generar productos de valor agregado.

III. HIPÓTESIS

El nardo es una planta de gran importancia económica la cual se produce en México principalmente bajo sistemas de cultivo convencional para asegurar su calidad comercial. Sin embargo, los sistemas de cultivo orgánico han demostrado producción de buena calidad en cultivos alimenticios, pero aun costo más elevado, sin considerar opciones de suplementos más económicos para su producción. Por tanto, es factible la producción orgánica de nardo reduciendo costos con el uso de sustratos locales, sin que por ello se afecte su calidad comercial y química.

IV. OBJETIVOS

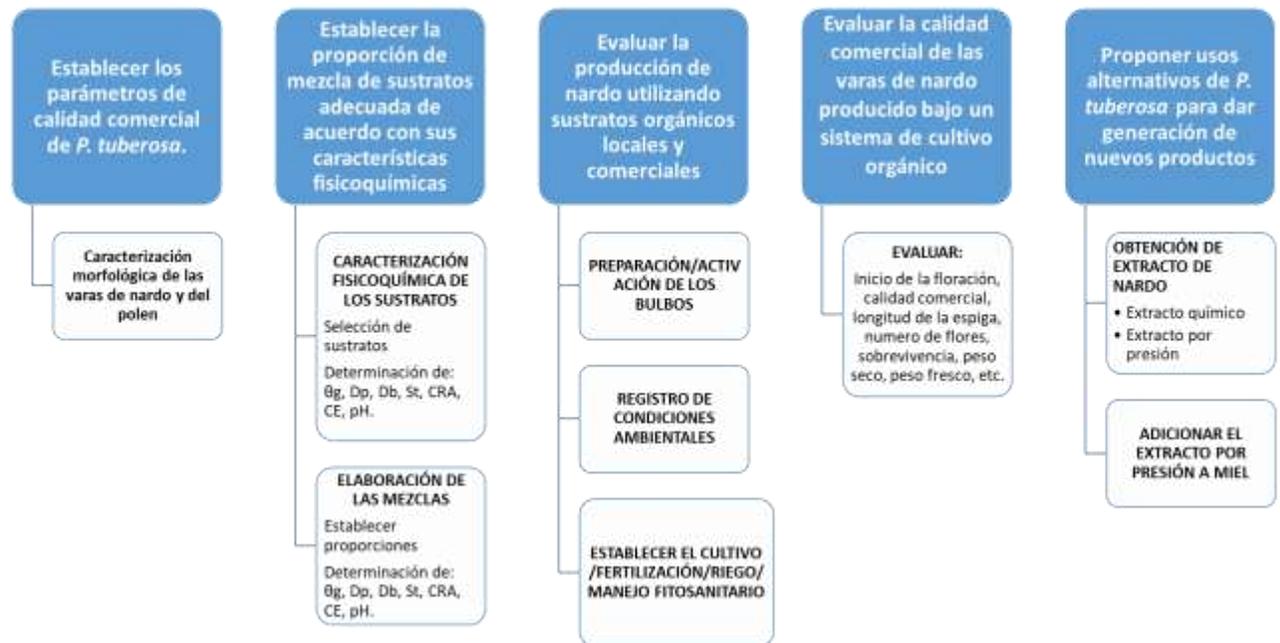
4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad comercial y la composición química de *Polianthes tuberosa* producido bajo un sistema de cultivo orgánico en diferentes mezclas de sustrato bajo condiciones de invernadero.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Establecer la proporción de mezcla de sustratos adecuada de acuerdo con sus características fisicoquímicas.
- Evaluar la calidad comercial de las varas de nardo producido bajo un sistema de cultivo orgánico.
- Evaluar la producción de nardo utilizando sustratos orgánicos locales y comerciales.
- Caracterizar el polen de *P. tuberosa* cultivada en Yucatán.
- Evaluar la composición química de *P. tuberosa*
- Proponer usos alternativos de *P. tuberosa* para la generación de nuevos productos.

V. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL



VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área experimental se estableció en un invernadero modelo diente de sierra ubicado en la Subsede Sureste del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), en la localidad de Sierra Papacal en Yucatán (21°08'00.4"N 89°46'53.1"W). La estructura del invernadero está compuesta de una cubierta de plástico tricapa de calibre 720 (25% sombra), techumbre de plástico calibre 700 de mallas de Polietileno de alta densidad (HDPE), estructura de acero del material de Perfil Tubular Rectangular (PTR) galvanizado. Cuenta con un cable de acero con la función de rompe vientos y la altura cenital es de 6 a 6.5 m. El invernadero tiene una puerta exclusiva de saneamiento para reducir el riesgo de entrada de enfermedades y plagas (Figura 4).

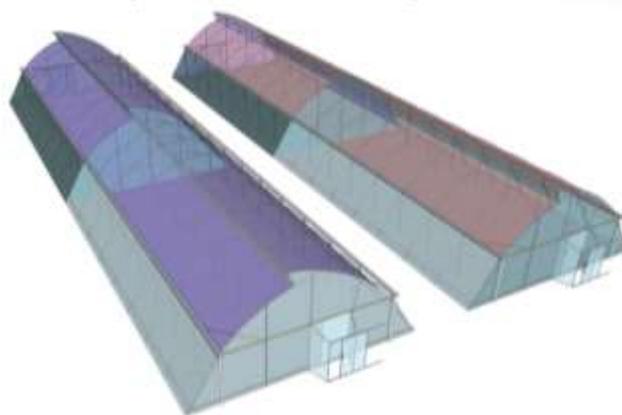


Figura 4. Invernadero modelo diente de sierra, ubicado en CIATEJ subsede sureste
(Hydrogreen, 2016)

6.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUSTRATOS Y LAS MEZCLAS.

En el presente trabajo se utilizaron dos sustratos adquiridos comercialmente fuera la península de Yucatán: perlita (P) como sustrato inerte y peat moss (T) sustrato activo. Los cuales se comparan con dos sustratos obtenidos de forma local, los cuales son greña de coco (GC) y hojarasca (H) que son subproductos de la descomposición que conceden características que aportan a los cultivos mayor retención de agua, mejoran la porosidad de la mezcla de los sustratos, y otorgan mayor disponibilidad de nutrientes. Tanto los sustratos

comerciales y locales fueron combinados con tierra negra (lepstosol lítico; Bautista *et al.*, 2012) de Yucatán para compensar los minerales y materia orgánica que carecen los sustratos (Figura 5). La tierra negra está compuesta por altos contenidos de calcio (Ca), fósforo (P) y en menores cantidades Aluminio (Al) y Silicio (Si) que se refleja en las cantidades de minerales secundarios. Estos suelos se encuentran a 3 m de distancia de la superficie, 300 g de una muestra contienen 250 g de materia orgánica. Los elementos presentes en la tierra negra son SiO₂ (28.8); TiO₂ (1.3 %); Al₂O₃ (20 %), Fe₂O₃ (10 % total), MnO (0.10 %), MgO (1.51 %), CaO (12.2 %); Na₂O (0.55 %), K₂O (1.254 %), P₂O₅ (2.27 %), PXC (23.1 %).

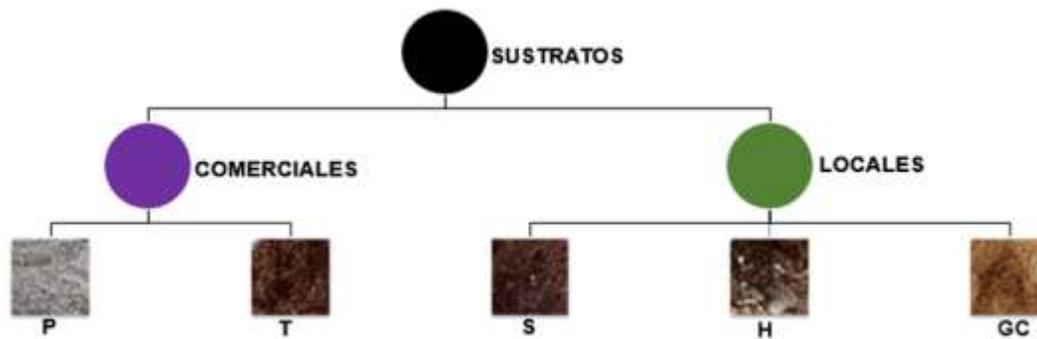


Figura 5. Estructura de los sustratos utilizados

Los sustratos fueron caracterizados fisicoquímicamente de forma individual para conocer la Humedad gravimétrica (θ_g), Densidad real (D_p), Densidad aparente (D_b) Capacidad de Retención de Agua (CRA), Conductividad eléctrica, pH del suelo en 0.01 M CaCl₂. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente para la preparación de las mezclas de los sustratos. Después las mezclas fueron caracterizadas fisicoquímicamente considerando los parámetros utilizados para la primera caracterización.

6.2.1. Humedad gravimétrica (θ_g).

La humedad gravimétrica se determinó utilizando la metodología previamente reportada por Carter *et al.* (2007). Se tomaron 100 g de P, GC, S y H o 50 g de T, estas fueron secadas a 90 °C hasta llegar a peso constante, peso final se le denominó peso seco (W_s). La humedad fue determinada por siguiente fórmula:

$$\theta_g = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100 \quad (1)$$

Donde:

W_h : corresponde al peso inicial

W_s : peso del suelo secado al aire

6.2.2. Densidad real (D_p)

Se utilizó un picnómetro para determinar la densidad real. Todo el procedimiento se realizó a baño maría, manteniendo la temperatura a 20°C. Para conocer la densidad del agua, primero se registró el peso el picnómetro vacío, seguidamente se agregó agua destilada a 20°C, manteniendo la temperatura a baño María, se pesó nuevamente registrando su densidad a esa temperatura.

Una vez precisada la densidad del agua, se procedió a determinar la densidad de los sustratos, para esto el picnómetro se llenó con agua destilada, se insertó el tapón, cuidando que el orificio capilar estuviera lleno, evitando la entrada de aire. El picnómetro se secó, se retiró la mitad de agua, se pesó, se añadió el sustrato y se registró el peso. Posteriormente este se rellenó y se registró el peso final (sustrato-agua). El sustrato añadido fue de 2 g a 10 g según el tamaño del sustrato, cuidando no dañar el picnómetro.

Los sustratos que presentaron mayor tamaño de partícula para el picnómetro (GC, H y T) se determinaron con ayuda de una probeta de 50 ml siguiendo el mismo procedimiento del picnómetro. Para realizar los cálculos se aplicó la siguiente formula:

$$D_p = \frac{d_w W_s}{W_s - (W_{sw} - W_w)} \quad (2)$$

Donde:

D_w : densidad del agua

W_s : peso del suelo secado al aire

W_{sw} : peso del picnómetro con agua y sustrato

W_w : peso del picnómetro seco

6.2.3. Densidad aparente (D_b)

Se determinó la densidad aparente por el método de la probeta, se pesó una probeta de 250

ml y se añadió el sustrato seco poco a poco en la probeta. Se agito para acomodar el sustrato, para evitar espacios de aire dentro de la probeta. El volumen final se registró, al igual que el peso total de la probeta con el sustrato.

$$Db = \frac{\text{peso del suelo seco}}{V} \quad (3)$$

Donde:

V: Volumen del suelo (m³)

6.2.4. Porosidad total (St)

Se determinó por medio de los valores ya obtenidos de la densidad real y la densidad aparente y se aplicó la siguiente formula:

$$S_t = \frac{1 - Db}{D_p} \quad (4)$$

Donde:

Db: densidad aparente

Dp: densidad real

6.2.5. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Para determinar la CRA se siguió el procedimiento para extracto de saturación, conociendo previamente el contenido de humedad gravimétrica del sustrato o mezcla. Se utilizó 100 g de sustrato seco al aire.

Se registró el peso total del vaso, se añadió la muestra de sustrato y agua destilada de forma lenta, evitando sobre saturar la muestra. Para determinar que el sustrato se encuentra saturado, este debe poseer características de una pasta brillante, que fluye ligeramente si el contenedor se inclina, si se aplica la técnica de confirmación de la espátula, esta debe entrar y salir de forma limpia al introducirla. Este procedimiento estuvo por 4 horas sin mover para verificar que cumpla con los criterios de saturación. Una vez que las horas se cumplieron se pesó el vaso de precipitado y se registró el aumento de peso. La fórmula para determinar fue:

$$SP = \left(\frac{\text{Peso del agua agregado} + \text{peso del agua en forma simple}}{\text{peso seco del suelo en el horno}} \right) * 100 \quad (5)$$

6.2.6. Conductividad eléctrica (CE)

Se utilizó el procedimiento de extractos de la relación fija pesando de 2 a 20 g por sustrato seco en un vaso de precipitado, se añadió agua destilada en relación peso/volumen para lograr una proporción de extracción adecuada y se agito durante 1 hora, se filtró la suspensión con papel filtro y se almaceno a 4°C antes de realizar la lectura. Con el conductímetro marca Total Dissolved Solids (TDS) se realizó la lectura en ppm y se interpretaron a ds/m para el análisis de datos.

6.2.7. pH del suelo en 0.01 M CaCl₂

Se midió con la solución de cloruro de calcio el pH de los sustratos para tener una mezcla más estable al momento de realizar la lectura. Para la preparación del cloruro de calcio se disolvió 2.940 g de cloruro de calcio en 50 mL de agua destilada aforando en un matraz volumétrico a 200 mL. Luego se pesó 2 g de sustrato en un vaso de precipitado 50 ml y se añadió 30 ml de CaCl₂ en cada muestra. La solución se revolvió intermitentemente a 120 revoluciones por minuto (RPM) por 30 minutos. La muestra se dejó por reposar por 1 hora. Posteriormente se realizó la lectura con el electrodo, sumergiendo en el sobrenadante transparente y se registró el pH una vez que la lectura fue constante.

6.3. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

Cinco días antes de la plantación se elaboraron las mezclas dentro del invernadero, sobre el cover ground. Las mezclas fueron colocadas en maceteros (No.6) y se esterilizo con H₂O₂ al 10%. El sustrato se lavó tres veces para retirar los residuos del peróxido. Cada maceta fue etiquetada con nombre de la mezcla, proporción, fecha de llenado, nombre del encargado, número de réplica (Cuadro 1).

6.4. MATERIAL VEGETAL

Los bulbos de nardo (*P. tuberosa* variedad “Valenciana”) fueron comprados en la empresa flores finas de Teya, Yucatán. Se tomaron las medidas de los bulbos de nardo, fueron lavados con H₂O₂ al 10 % por 10 minutos y se enjuagaron tres veces con agua destilada. Al tercer día fueron asperjados con EPA 90 (Biokrone). Se asperjaron con agua cada segundo día antes de

la plantación y se utilizó el producto Seven7+ Soil stimulant, para la activación de los bulbos.

6.5. ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO DEL CULTIVO DE NARDO

Se estableció un experimento de cuatro mezclas en diferentes proporciones con 40 repeticiones cada uno. Para el experimento se tomó cuenta el aporte físico que podría brindar la mezcla, en cuanto a soporte de la planta, porosidad, pH y CRA (Cuadro 1; Quesada *et al.*, 2005). En total se plantaron 160 bulbos de nardo.

Cuadro 1. Mezclas elaboradas para el cultivo de nardo

Tratamiento	Mezclas	Bulbos plantados
GHS1	Greña de coco-Hojarasca-Suelo	40
GHS2	Greña de coco-Hojarasca-Suelo	40
PS	Perlita-Suelo	40
PTS	Perlita-Peatmost-Suelo	40

Los bulbos de nardo fueron plantados a una profundidad de 8 cm dentro de la maceta. La siembra se realizó por la mañana y las macetas fueron previamente humedecidas. A cada maceta se le añadió 10 g de abono (Abono Maya R). Las macetas fueron colocadas a 10 cm de distancia una de la otra, y al azar se instalaron seis tensiómetros los cuales indicaron el momento de realizar el riego a las plantas de nardo (Figura 6).

1	PTS 3	GHS2 3	GHS2 17	PS 3	PTS 2	GHS1 9	PTS 5	GHS1 2	PTS 1	PTS 13	GHS2 2	GHS1 8
2	PTS 8	GHS1 11	PS 6	PS 4	GHS1 1	GHS1 3	PTS 4	GHS1 5	GHS2 6	PTS 9	GHS2 5	GHS1 4
3	PTS 7	GHS1 12	PS 9	PS 7	PS 17	GHS1 6	PTS 11	GHS1 7	PS 11	PS 2	PS 21	GHS2 10
4	PTS 24	GHS2 8	PS M12	PS 8	GHS2 13	PTS M12	PTS 6	PS 5	GHS2 12	GHS2 11	GHS1 24	GHS2 15
5	GHS2 1	PS 14	PTS 10	GHS1 16	PTS 14	GHS1 13	PTS 15	GHS1 14	PTS 20	GHS2 14	GHS1 17	PTS 17
6	PTS 22	GHS2 16	PS 18	GHS2 9	PS 15	GHS2 19	GHS1 10	PS 35	GHS1 18	PS M1	GHS2 18	PTS 18
7	PTS 23	PTS 19	PTS 16	PS 20	GHS2 28	PS 13	PTS 21	GHS1 20	GHS1 21	GHS2 20	GHS2 21	GHS2 22
8	PS 22	PS 23	GHS2 23	PS 19	PTS 27	PS 10	PTS 30	PS 30	GHS2 24	GHS1 19	GHS2 29	GHS2 25
9	PTS 25	GHS1 22	PS M27	PS 25	GHS1 30	PS 24	GHS1 26	GHS2 24	GHS1 27	GHS2 31	GHS2 27	GHS1 25
10	PS 28	PS 29	GHS1 23	PS 26	PTS 26	PTS 29	GHS1 28	GHS1 29	GHS2 26	PS 16	GHS2 30	PTS 28
11	PTS 33	GHS2 36	GHS1 34	GHS2 34	GHS1 36	PS M33	GHS1 31	PS 31	PTS 35	PTS 37	PS 38	PTS 39
12	PTS 36	PS 40	PTS 31	GHS2 39	GHS2 35	GHS1 32	PS 34	GHS1 35	GHS1 38	GHS1 39	GHS1 33	GHS2 38
13	PTS 38	GHS2 40	PS 36	GHS1 15	PS 32	GHS1 37	PS 39	GHS 2 32	GHS 2 33	PTS 40	GHS2 37	PS 37
14							PTS 32	GHS1 40		PTS 34	GHS2 4	

Figura 6. Posición de las macetas dentro del invernadero: mezcla PTS (rosado); GHS2 (café); PS (verde); GHS1 (azul)

PTS	GHS2	PS	GHS1
-----	------	----	------

Dentro del invernadero se situaron dos data-logger para llevar el registro de temperatura, intensidad lumínica y humedad relativa. Se llevó un registro de estos datos durante un año que va de agosto de 2019 a agosto de 2020.

Luego del establecimiento del cultivo, el riego se realizó cada cuatro días, esto fue mediante el registro que se llevó de los tensiómetros, ya que al cuarto día estos marcaban de 30 a 40 kpa, indicando que el sustrato se encontraba semi-seco. El riego se realizó durante las mañanas o durante la tarde después de la puesta del sol para evitar estrés y daño en las plantas.

6.6. FERTILIZACIÓN

Se efectuó la fertilización del cultivo de nardo cada 15 días al inicio del establecimiento. Antes de fertilizar se midió el pH del 10% de cada tratamiento, para medir el pH se utilizó agua esterilizada, un pH metro de campo y la maceta se llenó con agua destilada colocando por debajo de la maceta un contenedor, posteriormente se sumergió el pH metro registrando el dato. Después de conocer el pH se realizaba el ajuste del fertilizante, se utilizó 7.5 mL del fertilizante al inicio del cultivo y se aplicó por aspersión, durante el desarrollo y crecimiento de la planta requirió un aumento de nutrientes por lo tanto la dosis fue de 50 mL del producto Seven7+ Soil stimulant. El pH del fertilizante se midió posterior de la mezcla y se mantuvo en el rango de 5.5 a 7 según el requerimiento del cultivo de nardo reportado (Castell, 1990; Gonzalez Maria, 2016; Lim, 2014).

6.7. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

El manejo de plagas y enfermedades se realizó utilizando productos orgánicos. La limpieza del invernadero se efectuó antes del establecimiento del cultivo, con el deshierbo por dentro y fuera del invernadero, se colocaron trampas amarillas como prevención de plagas.

Las revisiones se realizaron semanalmente durante las mañanas en el 10 % de las plantas, para conocer el estado de la planta, se tomaron varias hojas de la planta de nardo y se hizo una revisión y un conteo en caso de que existiera alguna plaga. Esto fue por medio de una estimación del promedio de individuos por hoja, se contaba el total de individuos

de las hojas y se dividía en el número de hojas muestreadas y se determinaba si esto era un daño de acuerdo con lo establecido con algunos autores para nardo. A partir del conteo se determinó el daño económico y se tomaba la decisión del producto que se aplicaría. El control cultural consistió en el lavado de las hojas con detergente biodegradable y se realizó en todas las plantas.

En cuanto a los productos que se utilizaron fueron EPA 90 (Biokrone) y fungicida NES (IMOCNTROL) que es un producto biodegradable que actúa también como acaricida.

6.8. EVALUACIÓN DE VARIABLES DE CALIDAD FLORAL

La evaluación del valor ornamental consistió en el análisis de las variables de estudio: días a la salida de la vara floral, días a la floración, longitud de la vara floral, diámetro de la vara floral, número de varas florales por maceta, número de botones florales, peso fresco, peso seco de los botones florales, largo de inflorescencia, número de hojas por vara floral.

6.9. CARACTERIZACIÓN DEL POLEN

6.9.1. Toma de botones florales y extracción de muestra de polen

Para la caracterización palinológica se efectuó la cosecha de una vara floral de la cual se tomaron tres botones florales y los demás fueron puestos en congelación (8°C). De los tres botones florales se extrajeron las anteras de la flor con ayuda de pinzas y un estereoscopio. Luego fueron maceradas de forma que se obtuvieran partes más pequeñas, estas fueron colocadas en tubos de centrífuga de 15 mL en alcohol al 70 % para su posterior procesamiento. Para este procedimiento se siguió la metodología de Ramos *et al.* (2015).

6.9.2. Acetólisis de Erdtman

Se siguió la metodología de acetólisis descrita por Erdtman (1960). Las anteras maceradas en los tubos de centrifuga de 15 ml, fueron centrifugadas durante 7 minutos a 3000 rpm, se eliminó el sobrenadante y se lavó dos veces con agua destilada. Luego se centrifugo una vez más a 3400 rpm por 10 minutos y se retiró en su mayoría el agua destilada, dejando una pequeña proporción. Las muestras fueron trasladadas a un tubo de micro-centrífuga de 1.5 ml para un mejor manejo.

Los siguientes procedimientos se realizaron dentro de la campana de extracción de gases. Al residuo del polen se le añadió 1 mL de ácido acético y se centrifugo con ayuda de la microcentrífuga a 4000 rpm por 3 minutos y se eliminó el sobrenadante. Posteriormente se preparó una solución acetólicas proporción 1:9 (ácido sulfúrico concentrado y anhídrido acético), se le añadió 1 mL de esta solución al tubo de microcentrífuga, se homogenizo y se colocó a baño María a 90 °C por 7 minutos.

Después la muestra se centrifugo a 4000 rpm durante 3 minutos y dentro de la campana se descartó el sobrenadante, añadiendo 1 ml de solución de glicerina-agua al 50% y fue centrifugada a 4000 rpm por 3 minutos, se descartó el sobrenadante, se lavó con 1 ml de agua y se centrifugo a 4000 rpm por 3 minutos descartando el sobrenadante dejando un poco de volumen de agua, para conservar la muestra antes de su montaje.

6.9.3. Montaje del polen

Las muestras se montaron con la ayuda de pinzas, tomando una pequeña muestra del tubo de centrifuga. Esta se colocó en un portaobjetos de forma estriada, con el objetivo de que el polen se esparciera. El portaobjetos con la muestra fue puesto en una placa de calentamiento a una temperatura de 40 °C a secar. Cuando la muestra estaba seca se añadió un fijador, que consiste en gelatina glicerinada y se le coloco un cubreobjetos con cuidado para que la muestra no se perdiera. Posteriormente fueron observadas con ayuda del microscopio óptico con un aumento de 20x y 40x. Después de 1 día la muestra fue sellada con barniz de uñas y guardada a temperatura ambiente.

6.10. EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NARDO

Para la evaluación de la composición química del nardo se tomaron muestras de los botones de nardo cosechados. Se tomó 4 muestras que contenían 5 botones florales de nardo, cada uno con tres replicas, los botones seleccionados se encontraban antes de la anthesis y de un mismo tamaño. Se tomó peso fresco (inicial) y fueron secadas a 60 °C por 24 horas hasta estar completamente deshidratados y secos. Se pesaron y se maceraron finamente, colocando 5 gramos en cada matraz Erlenmeyer de 250 ml, el cual contenía 30 ml de una solución 50/50 V (acetona/metanol), los matraces se colocaron en un equipo de agitación abierta (CVP-100) por 24 horas. Posteriormente estas mezclas

fueron filtradas y colocadas en frascos ámbar a una temperatura de 8 °C. Las muestras fueron enviadas para su análisis en UPLC en el laboratorio de inocuidad perteneciente a la subsele ubicada en Sierra Papacal, Yucatán, en colaboración con la Dra. Neith Pacheco.

6.11. PROPONER PRODUCTOS DERIVADOS DE NARDO O SUS EXTRACTOS

Para la generación de productos derivados de la extracción de las flores de nardo se realizó la maceración de las flores por medio de presión, obteniendo un extracto en polvo. Este extracto se agregó a 30 ml de miel multifloral y se mezcló homogéneamente, se realizó tres muestras como propuesta a una alternativa de uso del nardo como producto sin residuos químicos para consumo humano.

6.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la interpretación de los datos se realizó un análisis de varianza con el software Statgraphics. Mediante una comparación de medias por LSD que fue el más adecuado para la comparación de los 4 tratamientos sometidos. Con un nivel de confianza del 95.0% y un valor de P menor que 0.05 para considerarse estadísticamente significativo.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUSTRATOS Y LAS MEZCLAS

Los resultados obtenidos de la caracterización físicoquímica que fueron analizados por medio de la comparación de medias (LSD) indican que existen diferencias significativas entre los sustratos evaluados. Los parámetros que se tomaron en cuenta son pH, porosidad y CRA. El pH obtenido de los sustratos individualmente se encuentra entre los rangos de 5.11 y 6.19. En cuanto a la densidad real los sustratos que no mostraron diferencia significativa fueron P, GC, H y T, a diferencia del suelo que se observa con una densidad real de 4.93 mayor que los otros sustratos. En la densidad aparente los sustratos locales y comerciales muestran diferencia significativa, el S presenta mayor densidad (0.97) y la GC una menor densidad (0.01), esto es favorable al momento de realizar las mezclas porque permiten menor compactación y mayor aeración para las raíces de la planta.

La porosidad del H y S ambos con 0.76 tienden a compactarse a diferencia de los sustratos como P (0.52) y T (0.69), al igual que la GC que presenta mayor porosidad (0.97) lo que proporcionara menor compactación favoreciendo la mezcla para el cultivo de nardo. En cuanto a la CRA entre el S (94.21) y el H (125.90) no demuestra diferencias significativas, entre P (499.98) y el T (494.25) y son los sustratos que retienen más agua. De acuerdo con lo reportado por Lim (2014) y Castell (1990) para la obtención de plantas vigorosas y de la calidad, los sustratos calidad deben ser arenoso o franco arenoso, ricos en humus, con buen drenaje, ricos en materia orgánica y con un pH entre 5.6-7.5, lo cual resulta similar con los rangos obtenidos en este análisis (Cuadro 2).

Cuadro 2. Caracterización fisicoquímica individual de los sustratos evaluados

Sustrato	pH	Densidad real (g/ml)	Densidad aparente (g/ml)	Porosidad	EC (ppm)	CRA
Perlita	6.19e	0.41a	0.20c	0.52a	161a	499.98c
Greña de coco	5.11a	0.51a	0.01a	0.97c	434d	315.10b
Compost de hojarasca	6.02d	0.51a	0.10b	0.76b	249b	125.90a
Suelo	5.90c	4.93b	0.97e	0.76b	327c	94.21a
Peat moss	5.65b	0.86a	0.25d	0.69a	183a	494.25c

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$.

El nardo es una planta que para su crecimiento y desarrollo vigoroso y de calidad necesita requerimientos de suelos con buen drenaje. Las variables pH, St y CRA las cuales se tomaron como parámetros mostraron diferencias significativas. Los valores más altos para el pH fueron para GHS1 (5.67) y PTS (6.11). La St y CRA mostró ser más alta en las mezclas comerciales debido a su contenido de P y T que son sustratos que se caracterizan por retener mayor cantidad de agua a diferencia de la GC y la H. Por lo tanto, las mezclas y las proporciones de los sustratos locales y comerciales fueron diseñadas de acuerdo con su evaluación previa individual para que la planta pueda tener el aporte adecuado de CRA, porosidad y pH. De acuerdo con Lim (2014) y Castell (1990) se obtuvieron rangos adecuados para cubrir con los requerimientos (drenaje alto, rico en materia orgánica y pH entre 5.6-7.5), del cultivo de nardo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Caracterización fisicoquímica de las mezclas para el cultivo del nardo

Tratamiento	pH	Densidad real (g/ml)	Densidad aparente (g/ml)	Porosidad	EC (ppm)	CRA
GHS1	5.67a	474a	0.60a	1.01ab	0.40a	60.44a
GHS2	5.49b	366a	0.59a	1.01a	0.41a	70.94b
PS	5.53a	362a	0.62a	1.04b	0.40a	84.52c
PTS	6.11c	437a	0.62a	1.02ab	0.38a	82.27c

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$

7.2. EVALUACIÓN DE VARIABLES DE CALIDAD FLORAL

El porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *P. tuberosa* de acuerdo con los tratamientos establecidos fue mayor en los primeros tres tratamientos (GHS1, GHS2 y PS) con un

porcentaje del 95 al 100% a diferencia del sustrato en donde se obtuvo un menor porcentaje (92%) de sobrevivencia fue en PTS (Figura 7). Vicente *et al.* (2019) evalúa la calidad de la planta por medio de los índices morfológicos, fisiológicos y propiedades físicas y químicas de los sustratos de *Pinus greggii*, producida en sustratos a base de aserrín, obteniendo como resultado más del 60% de las plantas con calidad alta de acuerdo con sus parámetros de calidad del pino. El mejor sustrato fue una combinación de 80% de aserrín, 20% de corteza de pino, 8 g de fertilizante de liberación controlada y 75 ppm de nitrógeno. Los sustratos alternativos rentables y viables permiten alcanzar una planta de buena calidad que permitirá conseguir un porcentaje alto de supervivencia. En cuanto al nardo el nivel de sobrevivencia fue mayor de 90% para los cuatro sustratos, lo cual demuestra que los sustratos proporcionan a la planta los requerimientos que necesita para su crecimiento y desarrollo, al igual que el conjunto factores como la temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica influyen para obtener resultados adecuados.

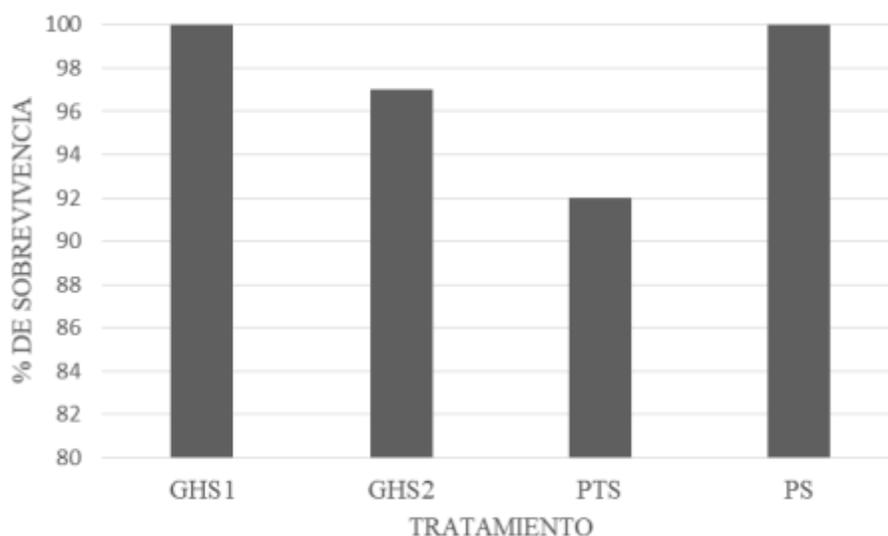


Figura 7. Porcentaje de sobrevivencia y desarrollo de bulbos de *P. tuberosa*

El análisis estadístico en donde se evaluó la salida de la vara floral no mostro diferencia significativa entre las mezclas GHS1 (221.0); GHS2 (219.3); PS (227.1) y PTS (223.5). Los días a la floración no indico diferencia significativa entre las mezclas GHS1 (107.7); GHS2 (105.4); PS (106.1) y PTS (104.2), estos resultados nos indica que no hay variación al realizar una comparación entre la mezcla local y comercial (cuadro 4).

Cuadro 4. Evaluación de salida y floración en días para el cultivo de nardo

Tratamiento	Salida vara floral (días)	Floración (días)
GHS1	221.0 a	107.7 a
GHS2	219.3 a	105.4 a
PS	227.1 a	106.1 a
PTS	223.5 a	104.2 a

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$

De acuerdo con los parámetros de calidad que miden el valor comercial de las plantas ornamentales esta se relaciona con los parámetros morfológicos, físicos y de sanidad. Para esto se requiere una longitud del tallo, tamaño del botón floral, número de botones florales, peso del ramo, grosor, firmeza, en un rango establecido para cada especie o variedad. Castell (1990) y Lim (2014) reportan para la calidad comercial de nardo, rangos de longitud de la vara floral de 30-100 cm y número de flores de 8 a 20. Las flores deben estar libres de parásitos, sin magulladuras, malformaciones. Los tallos deben ser rígidos y rectos. Los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad comercial mostraron los valores más altos en las mezclas locales GHS1 (18.74 cm) y GHS2 (17.59 cm) en el largo de la inflorescencia, mientras que PS (13.68 cm) y PTS (14.37 cm) mostraron valores más bajos. El número de hojas por vara en las mezclas GHS1 (8.66 cm) y GHS2 (9.51 cm) mostraron los valores más altos y PS (7.02 cm) y PTS (7.71 cm) se observan con los valores más bajos. El número de botones florales, longitud de la vara, diámetro de la vara no mostraron diferencia significativa entre sustratos locales y comerciales, sin embargo, los sustratos GHS1 y GHS2 se observa con mayor número de botones florales 20.84 y 20.68, al igual que un tallo con mayor longitud 51.83 cm y 49.29 cm y mayor diámetro de vara 4.08 mm y 4.05 mm a diferencia de los sustratos comerciales. (Cuadro 5; Figura 8, 9 y 10). Comparando los datos obtenidos en este estudio y lo reportado por Castell (1990) y Lim (2014) estos resultados coinciden con los parámetros. Las variables número de botones florales, longitud, diámetro de la vara floral no presentan diferencia significativa. El número de hojas por vara y largo de inflorescencia para las GHS1 y GHS2 mostraron mayor tamaño. Estas mezclas se establecieron con materiales activos y de la región, mientras que las mezclas de PTS y PS son una combinación de

materiales inertes y activos. Villanueva *et al.* (2010) señala que el uso de sustratos regionales (70 % bagazo de henequén + 30% suelo) que proceden de materiales activos favorecen el aumento del diámetro de la flor, el peso de materia fresca, seca de follaje, raíz, y área foliar en combinación con diferentes dosis de fertirriego en el cultivo de *Chrysanthemum morifolium* Ramat.

Cuadro 5. Evaluación de las variables para flor de corte del cultivo de nardo

MEZCLA	NUMERO DE BOTONES FLORALES	LONGITUD DE VARA (cm)	DIAMETRO DE VARA (mm)	NUMERO DE HOJAS POR VARA	LARGO DE LA INFLORESCENCIA (cm)
GHS1	20.84a	51.83a	4.08a	8.66a	18.74a
GHS2	20.68a	49.29a	4.05a	9.51ab	17.59ab
PS	15.42a	43.43a	3.55a	7.02ab	13.68ab
PTS	17.91a	47.71a	4.03a	7.71b	14.37b

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$

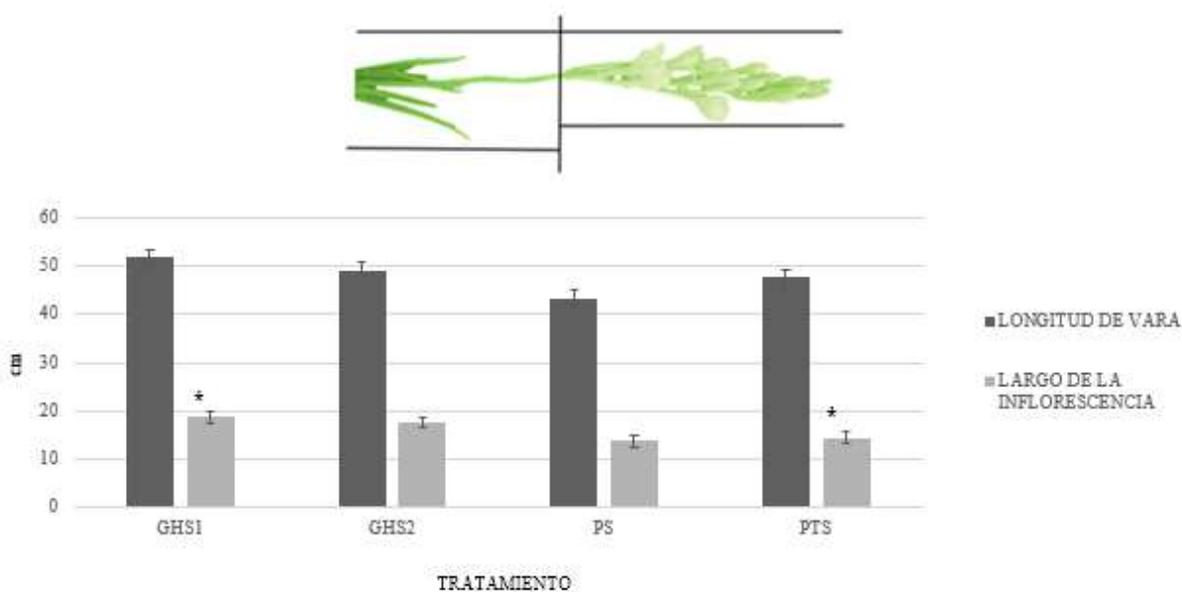


Figura 8. Comparación parámetros morfológicos de las varas florales de plantas de *P. tuberosa* cultivadas en diferentes mezclas de sustratos

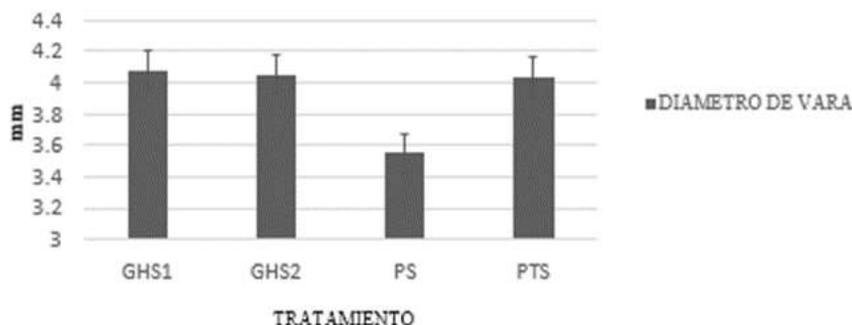


Figura 9. Diámetro de la vara floral de *P. tuberosa* cultivadas en diferentes mezclas de sustratos

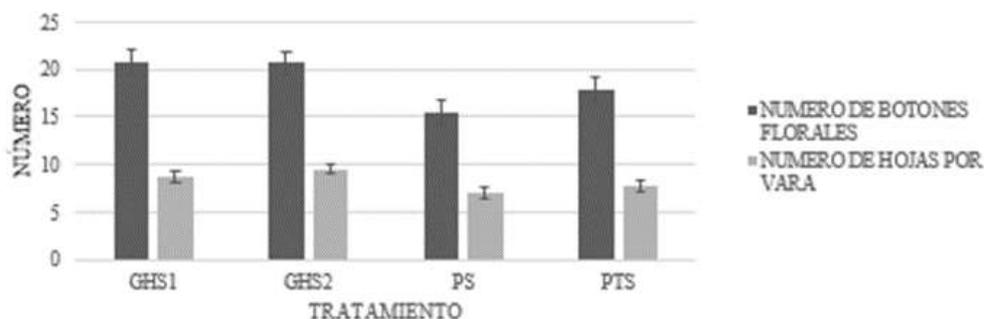


Figura 10. Comparación de los parámetros florales de plantas de *P. tuberosa* cultivadas en diferentes mezclas de sustratos

La evaluación del rendimiento del cultivo, en número de varas florales por mezcla no mostro diferencia significativa para los cuatro tratamientos, la mezclas GHS1 y GHS2 indicaron un numero de varas de 1.07 y 1.02 respectivamente, las mezclas comerciales PS y PTS mostraron un numero de varas de 0.68 y 0.91 (cuadro 6). Escamilla *et al.* (2018) realizó una comparación de dos sustratos orgánicos (cachaza y composta) en la producción de plantas de ornato de la especie coralito enano (*Ixora coccinea*) tomando cuatro características físicas para evaluar (altura de la planta; diámetro de la planta; número de flores y color de la planta), los resultados estadísticamente no mostraron diferencia significativa, conservando las características físicas como el número de flores evaluadas. La producción evaluada en este estudio mostro que las mezclas GHS1, GHS2, PTS y PS no presentan diferencias significativas en cuanto a la producción de varas florales, es decir, la aplicación de cualquiera

de las mezclas permitirá obtener rendimiento similar, debido a que las mezclas proporcionan los requerimientos físicos y químicos (pH, CRA, porosidad) adecuados que no se encuentran afectando el rendimiento y favorecen el crecimiento y desarrollo de la planta.

Cuadro 6. Numero de varas florales por mezcla

Tratamiento	Numero de varas florales
GHS1	1.07a
GHS2	1.02a
PS	0.68a
PTS	0.91a

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$

7.3. REGISTRO DE TEMPERATURA, INTENSIDAD LUMÍNICA Y HUMEDAD RELATIVA

Los registros realizados durante el año fueron de un rango de 32 a 26 °C siendo los meses más calurosos de agosto a septiembre. Para los meses de enero a febrero del año 2020 se registró una temperatura de 23 a 25 °C. La humedad relativa registrada fue de 60-90 %. La intensidad lumínica fue de 2500 a 11000 lux.

El nardo es un cultivo exigente de temperatura, luminosidad, Castell (1990) y Lim (2014) reportan la temperatura adecuada para el cultivo del nardo es de 20° C a 32° C, la temperatura arriba de 40° C pueden ocasionar reducción de la longitud y calidad de la vara floral. La exigencia de luz debe ser alta, ya que se pueden provocar abortos florales. La humedad relativa adecuada va de 60 a 70% cuando esta es muy seca las flores se arrugan exteriormente y la apertura se dará con dificultad. Los resultados de los registros del invernadero fueron adecuados de acuerdo a lo reportado por Castell (1990) y Lim (2014), sin embargo, para reducir la intensidad lumínica en el mes de marzo se colocó una malla sombra de 25 % dentro del invernadero, con el objetivo de que la intensidad lumínica fuera adecuada a las condiciones del cultivo de nardo, los meses donde existía una mayor intensidad lumínica.

7.4. ANÁLISIS PALINOLÓGICO

De las anteras de plantas de nardo se aisló polen el cual fue procesado para su descripción palinológica, en la figura 7 se puede observar que es mónada ya que se libera como unidades unipolíticas (Zárate, 1994). En el plano ecuatorial (Figura 11A) se observa un sulco (monosulcado) abierto hasta los extremos, que lo reportado para plantas monocotiledóneas, como es el género *Polianthes*. La nexina ancha y bien marcada (Figura 11B) es una característica reportada para taxas cercanos como *Yucca torreyi* y *Polianthes geminiflora*, sin embargo, la estructura del polen difiere de estas ya que se observa asimétrica en contraste a la estructura simétrica de las especies antes mencionadas, mostrando mayor similitud al polen de *Dracaena americana* Donn. Smith (Ojeda-Revah *et al.*, 1995; Ojeda, Ludlow-Wiechers *et al.*, 1984). En el plano polar y la ornamentación semitectado, microreticulada. Esta descripción es compartida con las descripciones (Ludlow-Wiechers y Ojeda, 2017; Ojeda-Revah y Ludlow-Wiechers, 1995).

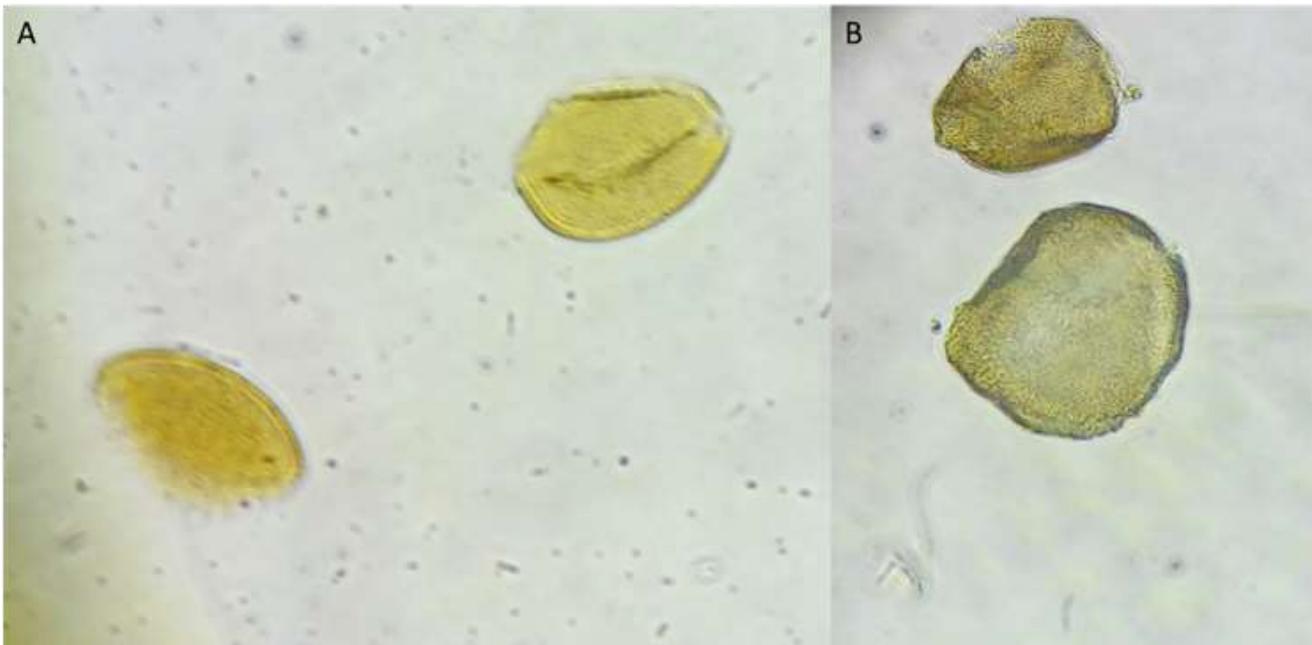


Figura 11. Polen de *P. tuberosa* (A) plano ecuatorial, (B) plano polar y semipolar

6.2. EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NARDO

La evaluación de la composición química del nardo se determinó mediante UPLC, extrapolando dos curvas estándares de quercetina y rutina, de las cuales se obtuvieron las concentraciones de los compuestos-1 y 2 en dos longitudes de onda (290 y 350). En el cuadro 7 compuesto 1 se observa en la longitud de onda 290 para quercetina que no existe diferencia significativa en las mezclas GHS1 (6.2), PTS (5.8) y PS (6.0), por el contrario, la mezcla GHS2 (3.4) se encuentra con una concentración menor de quercetina. En la longitud de onda 350 se observa que no existe diferencia significativa en las mezclas GHS1 (4.5), PTS (4.2), PS (4.4) y GHS2 (2.9) se encuentra en una concentración menor. Las muestras longitud de lectura 290 rutina en las mezclas GHS1 (4.8), PTS (4.5) y PS (4.6) no presentan diferencia significativa y GHS2 (2.6) se observa de nuevo con una concentración menor al igual que en la longitud de lectura 350 de rutina.

En el cuadro 8 podemos observar los resultados de concentración del compuesto 2, la longitud de lectura 290 y 350 para quercetina y rutina no muestran diferencias significativas en las mezclas GHS1, PTS y PS. La mezcla GHS2 se observa diferente a las mezclas siendo el que posee menor cantidad de quercetina y rutina. Resultado similar al compuesto 1. Los resultados anteriormente mencionados al comparar las mezclas de los sustratos establecidos para el cultivo del nardo entre estos mismos no indican diferencias en las cantidades de concentración de estos compuestos encontrados.

Molina-Maldonado *et al.* (2012) evaluó el efecto de la vermicomposta (sustrato activo) sobre el crecimiento y la producción de metabolitos secundarios en *Ardisia escallonioides*, estableciendo dos tratamientos uno de vermicomposta pura y otro de suelo sin vermicomposta, obteniendo como resultado que la vermicomposta no influye sobre la longitud del tallo, pero sí en el diámetro del tallo, longitud de hojas, número de hojas en las plantas y en el porcentaje de biomasa. La vermicomposta no mostró cambios en la producción de metabolitos secundarios, concentración de fenoles totales y taninos. La mezcla GHS2 es un sustrato elaborado con mayor cantidad de hojarasca y suelo, en el análisis fisicoquímico se observa que presenta menor porosidad (1.01) y pH (5.49) comparado con las demás mezclas, esto podría ser un factor para mostrar concentraciones bajas de polifenoles, sin embargo, esto depende de un conjunto de factores climáticos, fenológicos, genéticos y del

tipo de sustratos (Molina-Maldonado *et al.*, 2012).

Diferentes estudios demuestran que diversos factores son los que influyen en la composición química de las plantas, Sousa *et al.* (2005), investigo la influencia de dos fertilizantes bajo practicas convencionales (fertilización mineral con nitrato de amonio y oxido de calcio) y prácticas orgánicas (fertilización con estiércol de oveja) en col (*Brassica oleracea* L. Var. costata DC), en los resultados se obtuvo que las practicas convencionales afectan el perfil de los ácidos orgánicos y el cultivo mediante prácticas orgánicas presenta un contenido mayor de fenoles que las practicas convencionales. Wang *et al.* (2010) reporto la influencia del vermicompost de estiércol de vaca en el crecimiento, contenido de metabolitos y actividades antioxidantes de la col china (*Brassica campestris ssp. Chinensis*), para esto se utilizó una mezcla de vermicompost con suelo (porciones de 0: 7,1: 7,2: 7,4: 7 y 7: 0), los resultados mostraron un aumento del peso comercial, aumento de contenido de vitamina C, fenoles y flavonoides con el tratamiento 4:7.

Cuadro 7. Determinación de la concentración del compuesto 1 en *P. tuberosa*

	GHS1	GHS2	PTS	PS
Longitud de lectura	($\mu\text{mol/g}$ peso seco)			
290 quercetina	6.2b	3.4a	5.8b	6.0b
350 quercetina	4.5c	2.9a	4.2b	4.4bc
290 rutina	4.8b	2.6a	4.5b	4.6b
350 rutina	3.9c	2.5a	3.6b	3.7bc

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$

Cuadro 8. Determinación de la concentración del compuesto 2 en *P. tuberosa*

	GHS1	GHS2	PTS	PS
Longitud de lectura	($\mu\text{mol/g}$ peso seco)			
290 quercetina	3.5b	2.3a	3.8b	3.7b
350 quercetina	2.6b	2.0a	2.6b	2.6b
290 rutina	2.7b	1.8a	2.9b	2.8b
350 rutina	2.2b	1.7a	2.2b	2.2b

Letras diferentes indican diferencia significativa $P < 0.05$

6.3. PROPONER PRODUCTOS DERIVADOS DE NARDO O SUS EXTRACTOS

El resultado de la propuesta de un producto de miel mezclado con el extracto por presión de maceración de las flores de nardo se observa en la figura 12 en donde se aprecia la muestra realizada con sus 3 réplicas. Este resultado es el primer paso para la generación de una propuesta de un producto para el uso de nardo como un producto de consumo, al igual que para los productores miel.



Figura 12. Miel multiflora con extracto con presión de maceración de nardo

VII. CONCLUSIÓN

La importancia económica de nardo se basa en su uso como planta ornamental y para extracción de sus aceites esenciales, siendo una fuente de ingresos económicos, sin embargo, los sistemas de cultivo intensivos requieren el uso de agroquímicos altamente tóxicos para el ambiente y la salud humana. El uso de estos agroquímicos es con el fin de asegurar la calidad comercial, la producción y bajos costos. Por tanto, para esta investigación resulta importante generar alternativas para este cultivo, que va en incremento, y los productores de nardo puedan contar con alternativas más sustentables cumpliendo con los requerimientos de calidad de los consumidores, adicionalmente proponer su uso para la generación de productos orgánicos de valor agregado.

Este estudio concluye con la caracterización de 5 sustratos individualmente y el establecimiento de 4 propuestas de mezclas, las cuales fueron evaluadas mediante un análisis fisicoquímico, para esto se tomó en cuenta lo reportado en la bibliografía pH, porosidad y CRA.

Las cuatro mezclas propuestas obtuvieron rangos adecuados cubriendo con los requerimientos para el cultivo de nardo: drenaje alto, rico en materia orgánica y pH entre 5.6-7.5.

Se evaluó la calidad comercial de las varas de nardo en donde no se observó diferencia significativa en la salida y floración en días, las variables de número de botones florales, longitud, diámetro de la vara floral. Las mezclas GHS1 y GHS2 mostraron mayor tamaño en el número de hojas por vara y largo de inflorescencia, por parte las mezclas PTS y PS mostraron un menor tamaño. Los resultados obtenidos en cuanto a la calidad coinciden con lo reportado según la bibliografía, lo que nos permite concluir que es posible la producción de nardo en sistemas orgánicos bajo invernadero.

En la caracterización del polen de nardo se observó un polen monosulcado abierto hasta los extremos, la nexina ancha y bien marcada de acuerdo con lo reportado para plantas monocotiledóneas del género *Polianthes*.

Se determinó la concentración de dos compuestos mediante dos curvas estándares de

quercetina y rutina en dos longitudes de onda 290 y 350, en donde no se observó diferencia significativa para las mezclas GHS1, PTS, y PS. La mezcla con GHS2 mostro una concentración menor que las 3 mezclas anteriormente mencionadas pudiendo ser afectada por diversos factores de clima, fenológicos, genéticos y del tipo de sustratos.

En cuanto a la generación de productos como alternativas del uso del nardo que no contengan residuos de químicos, se hace la propuesta de una miel multifloral con extracto macerado de nardo. El extracto macerado puede ser aplicado a alimentos panes, helados, bebidas, miel. Esta alternativa genera en la producción de nardo un valor agregado para el productor y beneficios económicos.

REFERENCIAS

- Andersen, M., Pazderka, C. (2003). Series de Publicaciones Ru: ¿Es la certificación algo para mí? Una guía práctica sobre por qué, cómo y con quién certificar productos para la exportación. Material de capacitación. <http://www.fao.org/3/ad818s/ad818s00.htm>.
- Agroimpulsora. 2016. “Impulsora Agroquímica del Sureste S.A. de C.V”. 2016.
- Alvarez Rivero, Julio C., Díaz González, Jorge A., López Naranjo, José I. 2005. “Agricultura orgánica v.s. agricultura moderna como factores en la salud pública. ¿Sustentabilidad?” *Horizonte Sanitario* 4 (1): 28. <https://doi.org/10.19136/hs.v4i1.304>.
- Aryal, Kamal P., Pashupati Chaudhary, Sangita Pandit, y Govinda Sharma. 2009. “Consumers’ Willingness to Pay for Organic Products: A Case From Kathmandu Valley”. *Journal of Agriculture and Environment* 10 (agosto): 15–26. <https://doi.org/10.3126/aej.v10i0.2126>.
- Barba-Gonzalez, R., Rodríguez-Domínguez, J. M., Castañeda-Saucedo, M. C., Rodríguez, A., Van Tuyl, J. M., Tapia-Campos, E. 2012. “Mexican geophytes I. The genus *Polianthes*.” *Floriculture and Ornamental Floriculture and Ornamental Biotechnology*. 6: 122–28.
- Bautista, F., Maldonado, D., Zinck, A. J. 2012. “La clasificación maya de suelos.” *Ciencia y desarrollo*. 260: 64–70.
- Bohórquez, A. 2005. *Guía para post cosecha y mercadeo de productos agrícolas*. CAB, Cienc.
- Carter, M.R. Gregorich, E.G. 2007. *Ion Exchange and Exchangeable Cations. Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/9781420005271.ch18>.
- Castell, Jose. 1990. “El Nardo. Horticultura”.
- Confisumex. 2019. “Diseño y desarrollo system idea COFISUMEX SC de RL de CV.” 2019.

- Devi, M. P., Chakrabarty, S., Ghosh, S. K., Bhowmick, N. 2015. "Essential oil: its economic aspect, extraction, importance, uses, hazards and quality. In Value addition of horticultural crops: recent trends and future directions." *Springer, New Delhi.*, 269–78. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2262-0>.
- Erdtman, G. 1960. "The acetolysis method a revised description". *Upsala, Sveuks Botaniks Tidskrift, Bd 54*.
- Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M., Morelli, G., & Galdiero, M. (. 2015. "Silver nanoparticles as potential antiviral agents". *Molecules* 20 (5): 8856–74. <https://doi.org/10.3390/molecules16108894>.
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña-Hernández, R. 2016. "Sustratos para produccion de flores". *Agrociencia* 50 num 5.
- Gomiero, T., Pimentel, D., Paoletti, M. 2011. "Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. Organic agriculture". *Critical Reviews in Plant Sciences* 30 (1–2): 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>.
- Gomiero, Tiziano, David Pimentel, Maurizio G. Paoletti, y M. Gomiero, T., Pimentel, D., Paoletti. 2011. "Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. Organic agriculture". *Critical Reviews in Plant Sciences* 30 (1–2): 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>.
- Gonzalez Maria. 2016. "Review Polianthes tuberosa L .: a review of their phylogenetic , morphologic and of cultivation features" 37 (3): 120–36. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2715.4161>.
- Hassanpour Asil, Moazzam, Zeynab Roein, y Jafar Abbasi. 2011. "Response of tuberose (Polianthes tuberosa L.) to gibberellic acid and benzyladenine". *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 52 (1): 46–51. <https://doi.org/10.1007/s13580-011-0073-0>.

- Kutty, Nithya N., y Adinpunya. Mitra. 2019. "Profiling of volatile and non-volatile metabolites in *Polianthes tuberosa* L. flowers reveals intraspecific variation among cultivars". *Phytochemistry* 162 (junio): 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.02.006>.
- Lim, T. K. 2014. *Styphnolobium japonicum*. *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Vol. 7. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7395-0_74.
- Lol Pa'kal. s/f. "Centro de desarrollo tecnologico de plantas ornamentales y flores en Yucatan."
- López, M. E., Castrejón, J. F. T., Brito, J. M., Jiménez, J. M., Farías, M. R., Julieta, C. V., Saúl, R. U. 2018. "Comparación de dos sustratos orgánicos en la producción de plantas de ornato de la especie coralito enano", núm. 56: 5–11.
- Ludlow-Wiechers, Beatriz, y Lina Ojeda. 2017. "El polen del género *Agave* para la península de Yucatán". *Botanical Sciences*, núm. 44 (abril): 29. <https://doi.org/10.17129/botsci.1282>.
- Macías, Pérez Carlos, y Zapata D. M. Salazar. 2012. "Oportunidades de exportación del cultivo 'La Castellana' ubicada en la Ceja Antioquia, bajo los nuevos beneficios que ofrece el TLC con Estados Unidos." Institución Universitaria Esumer, Facultad de Estudios Internacionales, Medellín, Colombia. <http://repositorio.esumer.edu.co/jspui/handle/esumer/2246>.
- Maiti, S., U. R. Moon, P. Bera, T. Samanta, y A. Mitra. 2014. "The in vitro antioxidant capacities of *Polianthes tuberosa* L. flower extracts". *Acta Physiologiae Plantarum* 36 (10): 2597–2605. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1630-9>.
- Mandal, M., Maitra, S., Mahata, D. 2018. "Production technology of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cultivation." *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7: 2360–64.
- Martínez, P., Roca, D. 2011. "Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo." *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo*

sin suelo, 37–77.

- Mazed, H E M Khairul. 2015. “Growth and yield of tuberose as influenced by different levels of manures and fertilizers”. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development* 2 (4): 555–58. <http://www.allsubjectjournal.com/download/713/65.pdf>.
- Miñarro, y R. M. Prado, M. M., García, D. G., Sastre. 2018. “Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad”. *Revista Ecosistemas* 27 (2): 81–90. <https://doi.org/10.7818/RE.2014.27-2.00>.
- Molina-Maldonado, Jesús R., Miguel Salvador-Figueroa, Joaquin Adolfo Montes-Molina, José David Álvarez-Solís, y Federico A. Gutiérrez Miceli. 2012. “Efecto de la vermicomposta sobre el crecimiento de ardisia escallonoides y producción de metabolitos secundarios”. *Gayana botanica* 69: 82–88.
- Muriithi, A. N., Wamocho, L. S., Njoroge, J. B. M. 2011. “Distribution, production and quality characteristics of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flower in Kenya.” *Afr. J. Hort. Sci.* 5 (26): 26–35.
- Ojeda-Revah, Lina, y Beatriz Ludlow-Wiechers. 1995. “Palinología de Agavaceae, una contribución biosistemática”. *Botanical Sciences* 56 (56): 25. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1462>.
- Ojeda, Lina, Beatriz Ludlow-Wiechers, y Roger Orellana. 1984. “Palinología de la familia Agavaceae para la península de Yucatán”. *Biotica* 9 (4): 379–98.
- Papadopoulos, A. P., Bar-Tal, A., Silber, A., Saha, U. K., Raviv, M., Lieth, H. 2008. *Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. Soilless Culture, Theory and Practices. Elsevier Science, Amsterdam*. 1a ed. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50014-9>.
- Pascual, J. A., Ceglie, F., Tuzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R., Tittarelli, F. 2018. “Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review.” *Agronomy for Sustainable Development* 38 (3): 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>.

- Pérez-Arias, G. A., Alia-Tejacal, I., Colinas-León, M. T., Valdez-Aguilar, L. A., Pelayo-Zaldívar, C. (. 2019. “Postharvest physiology and technology of the tuberose (*Polianthes tuberosa* L.): an ornamental flower native to Mexico.” *Horticulture Environment, and Biotechnology*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-00122-4>.
- Proveedora de insumos forestales. s/f. “Proveedora de insumos y maquinaria forestal”.
- Quesada, G., Méndez, C. 2005. “Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas”. *Rev. Agr. Trop.* 35: 1–13.
- Quintero, M F., González-Murillo, C., Guzmán, M, M F Quintero, C A González-Murillo, y M Guzmán. 2011. “Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte”. *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*, núm. May 2014: 79–108.
- Rahman, S.M.E., Mahmuda Akter Mele, Young-Tack Lee, y Mohammad Zahirul Islam. 2021. “Consumer Preference, Quality, and Safety of Organic and Conventional Fresh Fruits, Vegetables, and Cereals”. *Foods* 10 (1): 105. <https://doi.org/10.3390/foods10010105>.
- Reyes, O. E., Avitia Rodríguez, J. A., Ramírez Hernández, J. J. 2019. “Floricultura en el sur del Estado de Mexico: precariedad salarial generadora de costos sociales.”, 194–208.
- Rodríguez, S. G., Gómez, L. D. C. B., Couoh, E. V., Estrada, M. A. 2016. “Conductividad eléctrica y sales en lavados de fibra de coco Y sargazo”. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 4 (1): 20–26.
- Sáez, J. Narciso Pastor. 1999. “Use of Growing Mediums in the Nursery Production”. *Terra Latinoamericana* 17 (3): 231–35.
- Saffeullah, Peer, Neelofer Nabi, Saima Liaqat, Naser Aziz Anjum, Tariq Omar Siddiqi, y Shahid Umar. 2021. “Organic Agriculture: Principles, Current Status, and Significance BT - Microbiota and Biofertilizers: A Sustainable Continuum for Plant and Soil Health”. En , editado por Khalid Rehman Hakeem, Gowhar Hamid Dar, Mohammad

- Aneesul Mehmood, y Rouf Ahmad Bhat, 17–37. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_2.
- Sans, F X., Armengot, Laura. 2013. “La intensificación agrícola y la diversidad vegetal en los sistemas cerealistas de secano mediterráneos: implicaciones para la conservación”. *Ecosistemas* 22 (1): 30–35. <https://doi.org/10.7818/re.2014.22-1.00>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. “Atlas agroalimentario”. 2019.
- SNIIIM. s/f. “Mercados nacionales agrícolas”.
- Sonneveld, C., Voogt, W. 2009. *Substrates: Chemical characteristics and preparation. In Plant nutrition of greenhouse crops . Seismic Data Analysis.* <https://doi.org/10.1190/1.9781560801580.ch3>.
- Sousa, C., Valentão, P., Rangel, J., Lopes, G., Pereira, J. A., Ferreres, F., Andrade, P. B. 2005. “Influence of two fertilization regimens on the amounts of organic acids and phenolic compounds of tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. *costata* DC)”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (23): 9128–32. <https://doi.org/10.1021/jf051445f>.
- The Plant List. 2013. “*Polianthes tuberosa* L.” Version 1.1. Published on the Internet; 2013. <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-285734>.
- Torres, Pardo J. G. 2011. “Manejo de la flor cortada”. 2011.
- Valdes, P. 2015. “Mieles fraccionadas , diferenciación y valor agregado .” *Nutricion Hospitalaria* 32: 1–7. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.4.9312>.
- Verdugo, G., A. Biggi, A. Montesinos, G. Chain, y C. Soriano. 2004. “Manual teórico práctico para la poscosecha de flores.” *Facultad de Agronomía Pontificia Católica de Valparaíso. Fundación para la Innovación Agraria Gobierno de Chile.*, 1–117.
- Vicente-Arbona, Julio César, Violeta Carrasco-Hernández, Dante Arturo Rodríguez-Trejo, y Antonio Villanueva-Morales. 2019. “Seedling quality of *Pinus greggii* produced in

sawdust-based growing media”. *Madera y Bosques* 25 (2): 1–14.
<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>.

Waithaka, K., M. Reid, L. Dodge, Kimani Waithaka, Michael Reid, y Linda Dodge. 2001. “Cold storage and flower keeping quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.)”. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76 (3): 271–75.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511362>.

Wang, D., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Hu, J., Liu, J., Yang, F. 2010. “Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*)”. *Biology and Fertility of Soils* 46 (7): 689–96. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0473-9>.

Wyss, G., Elzakker, B. V. 2005. “Producción de uva y Fabricación de vino Control de la Calidad y Seguridad en las Cadenas de Producción Orgánica.”

Zárate, Pedroche Sergio. 1994. “Revisión del género *Leucaena* en México”. *Anales Inst. Biol. Unv. NAc. Autón. México, Ser. Bot* 65 (2): 83–162.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Asistencia a simposio en modalidad presencia y virtual “Aprovechamiento de frutos productos y subproductos tropicales”.

