

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades



Caracterización morfométrica de *Pimenta dioica* (L.) Merrill  
(Myrtaceae) en Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte,  
Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Diego Centeno Alvarado  
para optar al grado académico de Licenciado en Biología  
Guatemala

2017



Caracterización morfométrica de *Pimenta dioica* (L.) Merrill  
(Myrtaceae) en Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte,  
Guatemala



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades



Caracterización morfométrica de *Pimenta dioica* (L.) Merrill  
(Myrtaceae) en Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte,  
Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Diego Centeno Alvarado  
para optar al grado académico de Licenciado en Biología  
Guatemala

2017



Vo. Bo. :

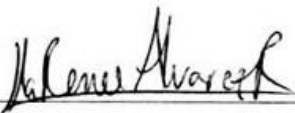
(f) \_\_\_\_\_  


Dra. Sara Barrios


Tribunal Examinador:

(f) \_\_\_\_\_  


Dra. Sara Barrios

(f) \_\_\_\_\_  


Licda. María Renée Álvarez

(f) \_\_\_\_\_  


M.Sc. Gabriela Alfaro

Fecha de aprobación: Guatemala, 28 de noviembre de 2017.



## PREFACIO

Como mencionó E.O. Wilson, “La naturaleza es la clave para nuestra satisfacción estética, intelectual, cognitiva e incluso espiritual”. Mi curiosidad y fascinación por la biología desde pequeño, me llevó a estudiar la Licenciatura en Biología. Durante mis estudios, los cursos de botánica, manejo de recursos naturales y recursos genéticos fueron importantes para el aprendizaje y fortalecimiento de capacidades profesionales. En mi último semestre tuve la oportunidad de integrarme al proyecto “Estudio morfológico y genético en la Franja Transversal del Norte de las poblaciones de *Pimenta dioica*, cultivo de importancia en el país”, donde emerge mi tesis de grado. En el proceso hubo una serie de problemas que llevaron a modificar el curso del estudio, sin embargo, se generó información importante sobre el manejo de la pimienta gorda.

Quiero agradecer a varias personas que me apoyaron durante mis años de estudios. A mis padres por contribuir a que mis sueños se hicieran realidad y por su inmenso amor. A mis hermanos por enseñarme a trabajar en equipo. A mis profesores, en especial a María Renée Álvarez por ser inspiración y parte fundamental en mi desarrollo como profesional. A mis amigos, en especial a Melissa Villatoro, Daleth del Salto, Isabella Parellada, Ninoshka López, Diego Martínez, Erick Andrade, Cecilia Pira, Alejandra López, Oscar Quintana y Eva Luna Rodas por las risas, el cariño y los aprendizajes durante mi etapa universitaria.

Quiero agradecer además a varias personas e instituciones que aportaron al desarrollo del estudio. A Sara Barrios y María Renée Álvarez por su gran apoyo, paciencia y consejos durante el proceso completo de investigación. A Enrique Caal y Amílcar Cuz por su apoyo durante la fase de campo. Al Herbario UVAL y Universidad del Valle de Guatemala por haberme permitido realizar la fase de análisis en sus instalaciones.

Dedico este trabajo a mi padre, quien ahora sólo es luz y amor en mi corazón, por haber sido mi guía, mi inspiración y haberme enseñado a disfrutar de la vida.



# ÍNDICE

Página

PREFACIO .....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN .....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODOS.....	11
III. RESULTADOS.....	17
IV. DISCUSIÓN .....	23
V. CONCLUSIONES .....	29
VI. RECOMENDACIONES.....	31
VII. LITERATURA CITADA.....	33
IV. ANEXOS .....	43



## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro	
1. Marcadores morfométricos seleccionados para <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill .....	13
2. Individuos de <i>P. dioica</i> colectados en los seis puntos de muestreo.....	17
3. Caracteres morfométricos delimitados .....	18
4. Individuos de <i>Pimenta dioica</i> colectados y utilizados en la caracterización morfométrica.....	44
5. Medición de los caracteres.....	46
6. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas .....	47
7. Coeficiente de variación intrapoblacional para 9 caracteres medidos de <i>P. dioica</i> .....	48
8. Coeficiente de variación dentro de las variedades para 9 caracteres medidos de <i>P.</i> <i>dioica</i> .....	50
9. Resultados del ACP para los 3 primeros componentes de las muestras colectadas de <i>P. dioica</i> considerando 9 caracteres.....	50
10. Resumen de los valores y significancia de los estadísticos del MANOVA para <i>P.</i> <i>dioica</i> con respecto a la localidad .....	51
11. Resumen de los valores y significancia de los estadísticos del MANOVA para <i>P.</i> <i>dioica</i> con respecto a la variedad .....	51
12. Historial de conglomeración .....	52
13. Rango de valores de los caracteres morfométricos descritos en Parker - Árboles de Guatemala (2008).....	53
14. Muestras botánicas de <i>Pimenta dioica</i> del estudio depositadas en el Herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala.....	54



## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura	
1. <i>Pimenta dioica</i> .....	2
2. Representación gráfica de <i>Pimenta dioica</i> (Chinchilla 2004) .....	2
3. Distribución de <i>Pimenta dioica</i> en Centroamérica .....	3
4. Comparación de área de cultivo y volumen de producción de <i>Pimenta dioica</i> en la FTN (Vásquez 2016).....	6
5. Sitios de colecta de muestras de <i>P. dioica</i> en el área de Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte, Guatemala.....	12
6. Diagrama de caja y bigotes para 9 caracteres medidos de <i>P. dioica</i> .....	19
7. Diagrama de dispersión de las muestras de <i>P. dioica</i> para los componentes 1 y 2 extraídos del ACP, comparando las localidades y variedades .....	20
8. Dendrograma generado por el análisis de conglomerados.....	22



## RESUMEN

La pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) es un árbol de la familia Myrtaceae, nativo de las Américas, considerado el tercer producto forestal no maderable más importante en Guatemala, siendo Alta Verapaz el departamento con mayor producción en el área de la Franja Transversal del Norte. La importancia de esta especie radica en su uso comercial. De acuerdo a la producción de frutos se pueden considerar los individuos como árboles “macho” o “hembra”. Además, por el tiempo de desarrollo de frutos y altura del árbol se reconocen las variedades “chaparra” y “de montaña”.

Actualmente, la pimienta gorda está incluida en la Lista de Especies Amenazadas de Guatemala (LEA), en la categoría 3, que incluye a especies que se encuentran amenazadas por explotación o pérdida de hábitat, pero el estado de sus poblaciones permite su uso y manejo regulado.

Se realizó la caracterización morfométrica de poblaciones de pimienta en seis localidades, utilizando métodos descriptivos y multivariados, con el objetivo de establecer si existen diferencias entre poblaciones y variedades.

Los resultados determinaron homogeneidad morfométrica intra e interpoblacional, así como entre las variedades estudiadas de pimienta gorda. Esto puede deberse a características de estructura y manejo de la especie en las localidades estudiadas. Los caracteres que podrían utilizarse como potenciales marcadores para la identificación de la variación morfométrica de la especie, son el largo del limbo de la hoja, ancho de la hoja, diámetro del peciolo y largo del peciolo. Se sugiere la inclusión de poblaciones silvestres en el estudio y realización de análisis moleculares para ampliar la información.



# I. INTRODUCCIÓN

## A. Antecedentes

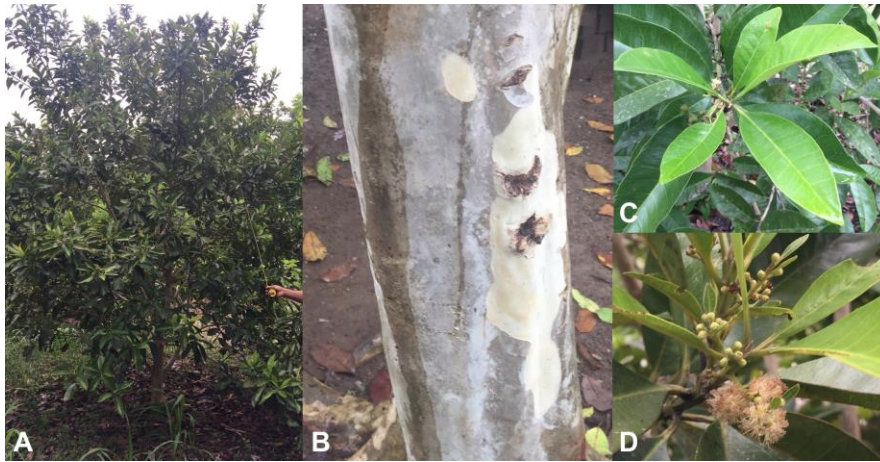
### 1. Pimienta gorda

**a. Descripción botánica.** La pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) es un árbol perteneciente a la familia Myrtaceae (Figura 1A). Puede llegar a medir más de 20 metros de altura (Macía 1998), presentar hasta 30 centímetros de diámetro en el tronco y corteza escamosa color café pálido (Figura 1B) (Castillo 2012).

Sus hojas son simples, opuestas, oblongas o elípticas (Figura 1C) (Rao *et al.* 2012), pecioladas y penninervias. Se agrupan al final de la rama y presentan peciolos de 15 a 20 mm de largo y 1.5 a 2.3 mm de ancho. El ápice y la base son cuneados a agudos. La vena central es prominente y elevada. Las venas laterales se presentan en 9 a 12 pares (Figura 2) (Parker 2008).

La inflorescencia (Figura 1D) de esta especie es una panícula compuesta de 6 a 12 centímetros de largo, con flores de 1 a 2 milímetros de largo, de pétalos blancos, cáliz 4-lobado y numerosos estambres intercalados con vellosidades también de color blanco. El estigma es del doble de grosor que el estilo y el ovario con dos carpelos, con 1 óvulo por cada uno (Parker 2008).

El fruto es subgloboso de 6 a 8 milímetros de diámetro. El exterior es áspero debido a compuestos secundarios, como eugenoles y vanilina, que contienen las glándulas aceitosas del mismo. Las semillas se encuentran en los laterales del fruto y el embrión se presenta en espiral doble (Peña 2002; Parker 2008).

**FIGURA 1.** *Pimenta dioica*

Fotos: Diego Centeno.

A. vista general del árbol; B. corteza; C. hojas; D. flor y fruto.

En esta especie se diferencian árboles macho y hembra. Los primeros producen flores (con aproximadamente 100 estambres por flor) pero no fruto. Los segundos producen flor (con aproximadamente 50 estambres por flor) y fruto. Los árboles considerados hembras son más apreciados, ya que generan beneficios comerciales a través de la producción de frutos. Se considera que alguna forma de dioicidad incipiente es funcional en la especie (Cordero y Boshier 2003; Boyd y Benkeblia 2011; Rao *et al.* 2012).

**FIGURA 2.** Representación gráfica de *Pimenta dioica*

(Chinchilla 2004)

A. Hábito. B. Flor. C. Fruto.

En Guatemala, tradicionalmente se reconocen dos variedades de pimienta gorda, una llamada por los comunitarios “pimienta chaparra”, que produce frutos a partir de los cuatro años y llega a medir un promedio de 5 metros. Y otra llamada “pimienta de montaña”, que produce frutos a partir de los siete años y puede crecer hasta 20 metros (Caal, E. y Cuz, A.; Técnicos, AGEXPORT, 2017 comunicación personal).

**b. Distribución.** Esta especie, de estrato bajo o mediano, se encuentra de forma natural en bosques húmedos o muy húmedos, con precipitaciones de 1 000 a 4 000 mm anuales y un rango altitudinal que abarca desde 0 hasta 450 msnm. Sin embargo, al ser cultivada puede alcanzar hasta los 1700 msnm (Cordero y Boshier 2003; Chinchilla 2004).

Este árbol es nativo de las Américas (Chinchilla 2004), su distribución incluye el sur de México, Centroamérica (Figura 3), Cuba, Jamaica y el norte de Suramérica (Fuentes *et al.* 2000).

**FIGURA 3.** Distribución de *Pimenta dioica* en Centroamérica



Disponible en: [[http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/pimenta\\_dioica.htm](http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/pimenta_dioica.htm)]

En Guatemala este árbol puede encontrarse en los departamentos de Guatemala, Santa Rosa, Petén, Alta Verapaz, San Marcos, Izabal, Suchitepéquez y Quetzaltenango (Figura 4) (Chinchilla 2004; Parker 2008; Godoy 2010).

En Petén se distribuye a lo largo de la Reserva de la Biósfera Maya, destacándose de forma cultivada en las concesiones forestales de Uaxactún (Godoy 2010) y de Carmelitas (Molina 1999). Es posible encontrar algunas poblaciones silvestres (o no cultivadas) en el Parque Nacional Yaxhá-Nakum-Naranjo (Chinchilla 2004).

En Alta Verapaz, se cultiva en los municipios de Cobán, Chisec, San Pedro Carchá, Panzós, Senahú, Lanquín, San Cristóbal Verapaz, Tamahú, San Miguel Tucurú, San Juan Chamelco y Santa Cruz Verapaz (Orellana 1979).

**c. Estado de conservación en Guatemala.** Según Vásquez (2016) esta especie es cultivada tanto en zonas de selva perennifolia y subperennifolia del Petén, como en diversas comunidades ubicadas en la FTN, donde los comunitarios la siembran en huertos, patios traseros y otros.

Esta especie se encuentra incluida en la Lista de Especies Amenazadas de Guatemala (LEA), en la sección de árboles silvestres, con categoría 3. Esta categoría incluye a especies que se encuentran amenazadas por explotación o pérdida de hábitat pero el estado de sus poblaciones permite su uso y manejo regulado (CONAP 2009).

La pimienta gorda se ha visto afectada, sobre todo, por los métodos de recolección de frutos empleados para su explotación. Por ejemplo, en algunas áreas se cortan las ramas completas para cosechar los frutos, eliminando la posibilidad de que haya dispersión natural de semillas (FAO 2004). Sin embargo, en la FTN, los comunitarios se suben al árbol y sacuden las ramas (Caal, E.; Técnico, AGEXPORT, 2017 comunicación personal).

**d. Principales usos.** El principal uso de la especie es la producción de frutos, los cuales, una vez secos, se utilizan como condimento. El sabor se asemeja a una mezcla de nuez moscada, clavo y canela (Macía 1998). El aceite extraído de los frutos se utiliza en la elaboración de jabones, productos para el cabello, medicina, fungicida e insecticida contra *Sitophilus zeamais*, plaga común del maíz (González-Quevedo *et al.* 1997, Martínez *et al.* 2003, Zabka *et al.* 2009, AGEXPORT 2010, Zhang y Lokeshwar 2012). Además, la infusión de las hojas se recomienda para el tratamiento de molestias estomacales y para la pérdida de peso (Suárez *et al.* 1997; Peña 2002).

**e. Aspectos fisiológicos.** El desarrollo óptimo de esta especie ocurre en suelos calcáreos y profundos, con pH de 4 a 6, aunque también puede desarrollarse en suelos rocosos y arcillosos (Monroy 2011). Las semillas germinan naturalmente en un período de 10 a 20 días. Sin embargo, cuando son descascarilladas y sumergidas en agua durante dos días pueden germinar en un período más corto. En la naturaleza se estima que germina un promedio del 50% de las semillas. Un árbol produce frutos a partir de los 6 años, alcanzando su plena producción a los 20 (Fuentes *et al.* 2000). Según Castillo (2012), la producción anual aproximada por árbol es de 44 a 100 libras.

## **2. Aspectos económicos**

**a. Producción mundial.** Se estima que en 2012, la producción de pimienta gorda alcanzó aproximadamente las 461,450 toneladas, con un valor de 962 millones de dólares (PRONAGRO 2014).

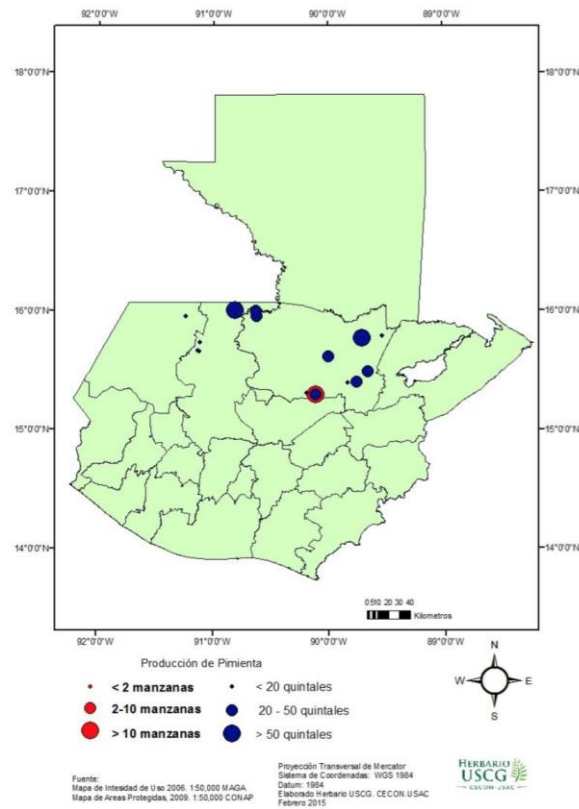
**b. Producción en Guatemala.** En Guatemala, la producción de esta especie ocupa el tercer lugar de ingresos totales provenientes de productos no maderables del bosque, estando en los primeros lugares, el xate y el chicozapote. Además, es una especie clave para la obtención de ingresos en familias de la región que se ven afectadas por el desempleo (Chinchilla 2004), ya que genera un ingreso aproximado de 365 mil dólares anuales para el país (FAO 2004).

En el área de Alta Verapaz, la pimienta gorda produce gran abundancia de frutos cada dos años, teniendo un año entre los mismos de baja producción (Caal, E.; Técnico, AGEXPORT, 2017 comunicación personal).

Los departamentos que cosechan pimienta gorda para exportación son: Alta Verapaz, Petén, San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Santa Rosa (Chinchilla 2004), siendo Alta Verapaz el departamento que registra mayor cantidad de productores, los cuales producen anualmente alrededor de 380 quintales de fruto verde, según encuestas del 2014 (Vásquez 2016).

Como se refleja en la Figura 4, tanto en Alta Verapaz como en el área de Ixcán, Quiché, el volumen de producción es mayor al área utilizada para lo mismo, indicando un adecuado aprovechamiento del cultivo (Vásquez 2016).

**FIGURA 4.** Comparación de área de cultivo y volumen de producción de *Pimenta dioica* en la FTN



(Vásquez 2016)

### 3. Caracterización morfométrica

**a. Estudio morfométrico.** La morfometría es la descripción cuantitativa de la forma, de modo que a través de su interpretación se puede determinar la existencia de variaciones biológicas (Cano 2011). La forma de un individuo incluye su apariencia y estructura, es decir tamaño, anatomía interna, patrones y otros (Remagnino *et al.* 2016).

A través de la morfometría, es posible determinar variaciones intra e interpoblaciones con base en las diferencias fenotípicas de los organismos (Cano 2011). Comparando los caracteres morfométricos con factores medioambientales, se puede determinar si éstos influyen en la variación morfológica de las especies (Martínez-Cabrera *et al.* 2011). Además, al ser complementados con caracteres citogenéticos, bioquímicos y moleculares, los caracteres morfométricos pueden brindar información sobre la variabilidad genética de una especie (Elorrieta 1993).

Para llevar a cabo un análisis morfométrico, es necesaria la elección de variables accesibles de medir y que se refieran a la forma, estructura o función del organismo estudiado. Estas variables deben tener la capacidad de discriminar o diferenciar grupos (López-Santiago *et al.* 2006). La estadística que procede se realiza con métodos multivariados de descripción, clasificación u ordenación (Franco e Hidalgo 2003).

**b. Estudio morfológico.** El análisis morfológico es la descripción de características cualitativas de los organismos. Las características estudiadas deben tener la capacidad de diferenciar o relacionar a los individuos y ser de alta heredabilidad (Riascos *et al.* 2012).

En plantas, se ha complementado información morfométrica con información morfológica en los análisis de variabilidad fenotípica debido a las características importantes referentes a las especie (Agudelo *et al.* 2011, Espinosa *et al.* 2012). Por ejemplo, en el lulo (*Solanum quitoense* Lam.), se caracterizaron 39 genotipos para obtener información sobre el efecto de la variación genética en la morfología y para mejoramiento genético (Riascos *et al.* 2012). En hierba androgra (*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees), se hizo un análisis comparativo de marcadores morfométricos con moleculares, para determinar el grado de congruencia de los marcadores en la evaluación de la diversidad genética de la especie (Lattoo *et al.* 2008).

## **B. Justificación**

La pimienta gorda es una especie sometida a una fuerte explotación proveniente del valor comercial que posee su fruto (González-Quevedo *et al.* 1997, Martínez *et al.* 2003, Chinchilla 2004, Zabka *et al.* 2009, Zhang y Lokeshwar 2012). Se considera el tercer producto no maderable del bosque que mayor cantidad de ingresos genera en Guatemala. Para los productores de menor escala, pertenecientes a comunidades rurales, la producción proporciona trabajo cuando hay temporadas de desempleo (Chinchilla 2004). Además, se reporta su aprovechamiento como sombra del cultivo de cardamomo, cuyo cultivo suma más de 115,000 hectáreas en el país (Vásquez 2014). De ese modo, la especie es considerada un recurso natural de valor económico para el país.

En la Franja Transversal del Norte (FTN), Alta Verapaz se considera el departamento con mayor potencial de aprovechamiento de la especie debido a su abundancia y el interés

de los productores por la comercialización de la misma. Sin embargo, no se manejan las técnicas de cultivo apropiadas para el aumento de la producción (Vásquez 2016).

Ya que la especie se encuentra incluida en la categoría 3 de la LEA, CONAP regula su aprovechamiento, traslado y exportación a través de una serie de normativas y cobros. La mayoría de productores de la región son de escasos recursos y tienen sus cultivos en áreas de difícil acceso, por lo que se les imposibilita cumplir con la legislación impuesta. Debido a esto venden el producto a comercializadores que tienen la posibilidad de cumplir con dicha legislación, por lo cual obtienen menos beneficios de los esperados (Gamboa 2016).

Tomando en cuenta que la producción de pimienta gorda en Guatemala es la cuarta más grande del mundo y que la exportación es dirigida principalmente a Estados Unidos, Líbano y Alemania (Chinchilla 2004, FAO 2004, PRONAGRO, 2014), podría contribuir en mayor escala al desarrollo económico del país. De esa forma, se incentivaría a los pequeños productores a aprovechar correctamente los árboles en sus propiedades, evitando el cambio de uso de la tierra y contribuyendo a la conservación de la especie (Gamboa 2016).

Por otra parte, la caracterización morfométrica es un complemento para estudios de diversidad genética (Franco e Hidalgo 2003; Lattoo *et al.* 2008). A través de la identificación de marcadores morfométricos, se puede obtener la información necesaria para realizar un buen manejo agronómico y mejoramiento genético, contribuyendo a ventajas en el mercadeo y consumo del producto (Riasco *et al.* 2012; Orihuela 2014). De igual manera, a través de características funcionales o medibles se puede reflejar la respuesta evolutiva a los gradientes ambientales y obtener datos sobre la significancia adaptativa de la variación en las especies (Kaplan 2001; Meng *et al.* 2009).

No se han realizados estudios previos sobre la morfometría de *P. dioica* en la FTN. Teniendo en cuenta la importancia de la especie a nivel comercial, dentro y fuera del país, y el potencial de aprovechamiento en el área de Alta Verapaz, se pretende caracterizar morfométricamente poblaciones de las diferentes variedades y formas de pimienta gorda reconocidas tradicionalmente en la misma. De ese modo, se generará información sobre la variabilidad morfométrica y morfológica, identificando variedades y generando un complemento para futuros estudios genéticos. Esto resulta ser una herramienta para

determinar la disposición legal, propuestas de manejo del cultivo y estrategias de conservación de la especie.

## **C. Objetivos**

### **1. General**

- a. Caracterización morfométrica de poblaciones de *Pimenta dioica* en Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte (FTN), Guatemala.

### **2. Específicos**

- a. Determinación de la variabilidad morfométrica intra e interpoblacional de *P. dioica* en Alta Verapaz, FTN.
- b. Determinación de la variabilidad morfométrica entre variedades de *P. dioica*.
- c. Identificación de marcadores morfométricos para la diferenciación de variedades de *P. dioica*.

## **D. Hipótesis de trabajo**

Hipótesis nula 1: No existe variabilidad morfométrica entre las poblaciones de *Pimenta dioica*.

Hipótesis alterna 1: Existe variabilidad morfométrica entre las poblaciones de *P. dioica*.

Hipótesis nula 2: No existe variabilidad morfométrica entre las variedades de *P. dioica*.

Hipótesis alterna 2: Existe variabilidad morfométrica entre las variedades de *P. dioica*.



## II. MÉTODOS

### A. Procedimientos

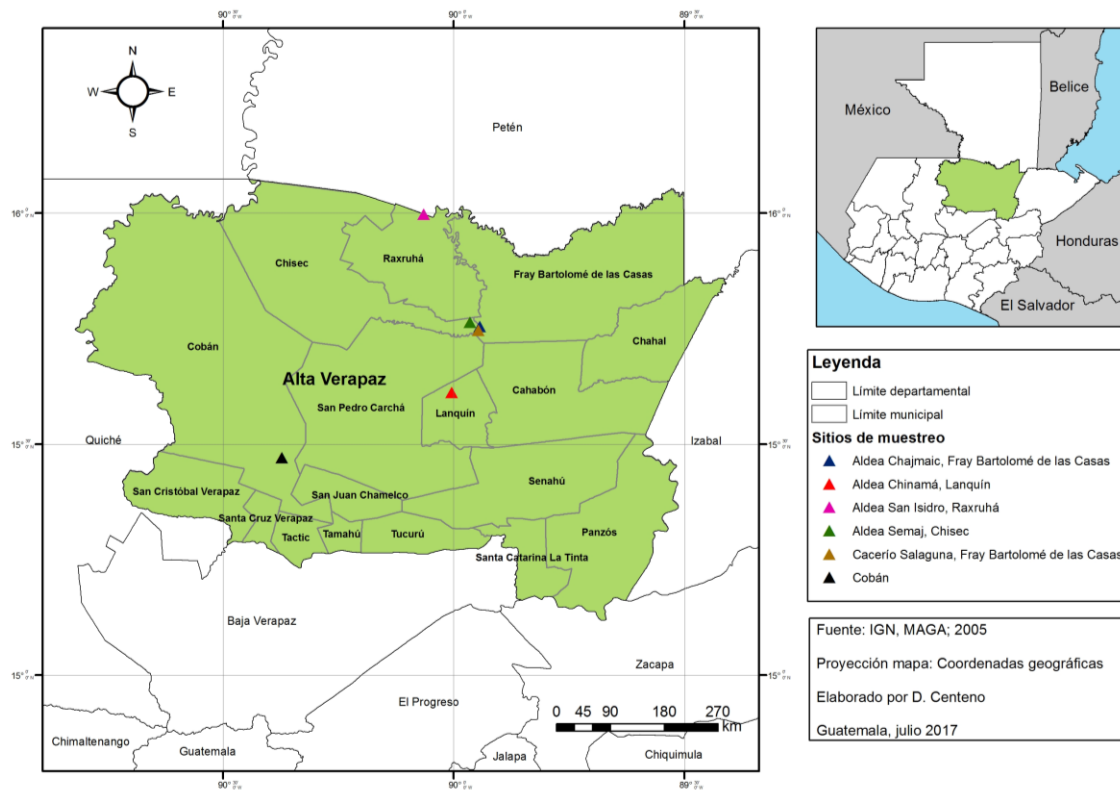
**1. Área de estudio.** La Franja Transversal del Norte (FTN) es una región que incluye los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal (MAGA 2014). Los municipios dentro de la región están conformados por aquellos dentro de la Zona de Desarrollo Agrario de la Cuenca del Usumacinta (SEGEPLAN 2011).

En los últimos 10 años se ha dado una fuerte reducción de cobertura forestal en la región, especialmente en la zona norte de Alta Verapaz. La cobertura actual se concentra en el centro, siendo mayor en San Pedro Carchá, con únicamente 10 a 15% de pérdida de bosque. En Lanquín y Cahabón se registran altos porcentajes de cambio en la cobertura forestal debido a la agricultura intensiva (SEGEPLAN 2011).

El estudio se realizó en Alta Verapaz, el cual se considera el departamento con mayor producción de pimienta gorda en la FTN. En este departamento se registran los mayores volúmenes de producción, especialmente en los municipios de Lanquín, San Pedro Carchá, Cahabón y Senahú, con volúmenes de más de 50 quintales anuales (Vásquez 2016; MAGA 2017).

Para este estudio se visitaron 6 localidades de Alta Verapaz (Figura 5): Aldea Chajmaic (Fray Bartolomé de las Casas); Caserío Salaguna (Fray Bartolomé de las Casas); Aldea Chinamá (Lanquín); Aldea San Isidro (Raxruhá); Aldea Semaj (Chisec); Cobán (Cobán), ya que en ellas se había determinado previamente la presencia de varias poblaciones de las dos variedades reconocidas para la especie (Vásquez, M.; Investigadora, Centro de Estudios Conservacionistas, 2017 comunicación personal).

**FIGURA 5.** Sitios de colecta de muestras de *P. dioica* en el área de Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte, Guatemala



**2. Identificación y toma de muestras.** La identificación botánica se realizó *in situ* con la ayuda de técnicos de AGEXPORT y de la Licda. María Renée Álvarez. La identificación se confirmó en el Herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala.

En cada uno de los sitios visitados, se tomaron muestras de hojas, inflorescencias y/o frutos de 10 individuos al azar, tratando de cubrir las variaciones morfológicas más obvias, como por ejemplo 5 árboles considerados “macho” y 5 árboles considerados “hembra”. De cada individuo se tomó como mínimo 5 hojas, 5 inflorescencias y/o infrutescencias.

Las muestras, debidamente etiquetadas, se colocaron en bolsas de colecta para su posterior herborización y secado. Paralelamente, se guardaron muestras en sobres de papel con sílica gel para eliminar la humedad, con el objetivo de guardar material análisis genéticos futuros. Las infrutescencias se colocaron en sobres de periódico para su posterior secado.

También se tomaron pliegos de trabajo de muestras botánicas, algunas veces con duplicado, para asegurar el almacenamiento de la especie en herbarios con la información recolectada por medio de boletas de campo en los sitios (Anexo A).

En cada una de las localidades fueron seleccionadas muestras botánicas, de un individuo macho y uno hembra, para ser depositadas en el Herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala (Anexo J).

### 3. Caracterización morfométrica

Se realizó un análisis morfométrico para evaluar y comparar la variabilidad morfométrica entre poblaciones y entre variedades. Las localidades se consideraron poblaciones debido a que todo es cultivado y no existe flujo genético entre los individuos de diferentes localidades. De cada individuo muestreado se seleccionaron 5 hojas, 5 inflorescencias y 5 frutos para evaluar los caracteres detallados en el Cuadro 1, a través de métodos descriptivos y multivariados.

**a. Marcadores morfométricos.** Se seleccionaron 14 caracteres cuantitativos que resultan importantes para descripción de la especie (Parker 2008, Boyd y Benkeblia 2011; Remagnino *et al.* 2016).

**CUADRO 1.** Marcadores morfométricos seleccionados para *Pimenta dioica* (L.) Merrill

No.	Estructura	Carácter	Medición
1	Limbo de la hoja	Largo	mm
2		Ancho	mm
3		Número de pares de venas	-
4	Pecíolo	Largo	mm
5		Diámetro	mm
6	Pedicelo	Largo	mm
7		Diámetro	mm
8	Inflorescencia	Número de flores	-
9		Largo	mm
10		Ancho	mm
11	Fruto	Diámetro	mm
12		Número de semillas	-

**Continuación CUADRO 1.** Marcadores morfométricos seleccionados para *Pimenta dioica* (L.) Merrill

No.	Estructura	Carácter	Medición
13	-	Altura del árbol	m
14	Tallo	Diámetro a la altura de pecho	cm

**b. Análisis de datos.** Se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) ver. 22 para Mac para llevar a cabo el análisis de los datos a través de métodos descriptivos y multivariados. Los datos de cada carácter por individuo se promediaron y fueron sometidos a las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene para poder continuar con los métodos multivariados (Uturunco 2015). Los cuales se describen a continuación:

1) Coefficiente de variación. Es un análisis descriptivo que determina la variabilidad entre dos o más muestras. Es una medida de dispersión relativa, entre la desviación estándar y la media, representándose comúnmente como porcentaje. A mayor porcentaje obtenido, mayor será la heterogeneidad entre los valores de las variables, mientras que a menor porcentaje, mayor será la homogeneidad entre los valores de las variables (Vilchis 2014).

El coeficiente de variación se utilizó para determinar de la variación de los caracteres evaluados dentro de cada población, como medida de variación intrapoblacional.

2) Diagramas de caja. El diagrama de caja se puede utilizar para comparar medias de dos o más grupos. Al ser las cajas relativamente simétricas, se considera que la media y la mediana coinciden (Bosch 2005).

El diagrama de caja brinda información sobre la variabilidad de un conjunto de datos. Las cajas más largas o altas, se considera que indican alta variación, mientras que cajas más cortas o bajas, se considera que indican baja variación (Bosch 2005).

Los diagramas de caja fueron utilizados para comparar la variabilidad morfométrica de las variedades de pimienta gorda y determinar si se diferencian o no.

3) Análisis de componentes principales (ACP). Es un análisis multivariado que transforma una serie de variables dependientes y relacionadas entre sí en una serie de variables ortogonales que proporcionan la variación total (Uturunco 2015).

El ACP proporciona información sobre la relación entre las variables cuantitativas seleccionadas y la similitud entre los individuos. De ese modo, se obtiene cuáles variables están relacionados y cuáles no y de qué forma están asociados los individuos (Franco e Hidalgo 2003).

Previo a realizar este análisis, se realizó la prueba de Esfericidad de Barlett para determinar la no independencia de las variables y la prueba de Kaiser-meyer-Olkin para determinar si el tamaño de la muestra fue suficiente. (Uturunco 2015).

El ACP se utilizó para determinar la variabilidad morfométrica interpoblacional y entre variedades de *P. dioica* en la FTN e identificar marcadores morfométricos para la diferenciación de variedades.

4) Análisis multivariante de la varianza (MANOVA). Es un análisis multivariado que evalúa dos o más variables dependientes de forma simultánea, para determinar la existencia de diferencias significativa entre las medias de los grupos analizados (Lasa y Vergara 2002).

El MANOVA se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre las poblaciones y variedades, confirmando la variabilidad determinada en el ACP.

5) Análisis de conglomerados. Es un análisis multivariado que clasifica una serie de objetos o variables en grupos, aumentando la homogeneidad dentro de cada agrupación y la diferenciación entre las agrupaciones. No se basa en ningún supuesto estadístico, de modo que es una herramienta descriptiva y no explicativa. Los resultados se presentan en dendrogramas (Henderson 2006; De La Fuente 2011; Marhold 2011), que se construyen con base en las distancias entre los datos en una matriz. Estos datos deben de estar estandarizados previamente con la misma escala de medición (Franco e Hidalgo 2003; Marhold 2011).

El análisis de conglomerados se utilizó para clasificar los individuos de *P. dioica* en grupos relativamente homogéneos con base en características comunes, identificando si se diferenciaban por población o variedad.



### III. RESULTADOS

Se colectó un total de 53 individuos de *Pimenta dioica* (Cuadro 2) en las 6 localidades estudiadas (Figura 5). Se incluyeron tanto árboles macho como árboles hembra de las dos variedades (chaparra y de montaña) reconocidas tanto por los comunitarios como por los técnicos de AGEXPORT. Los datos tomados en campo para cada muestra se muestran en el anexo B.

**CUADRO 2.** Individuos de *P. dioica* colectados en los seis puntos de muestreo.

Localidad	Variedad	Machos	Hembras	Inmaduros	Total	Fenología	Manejo
Aldea Chajmaic	Montaña	4	3	0	7	Individuos en fructificación	sin manejo
Cacerío Salaguna	Montaña	3	2	4	9	Individuos en fructificación	sin manejo
Aldea Semaj	Montaña	5	5	0	10	Individuos en fructificación	sin manejo
Cobán	Montaña	2	5	0	7	Individuos en fructificación	sin manejo
Aldea San Isidro	Chaparra	5	5	0	10	Individuos en floración y fructificación	con manejo
Aldea Chinamá	Chaparra	3	7	0	10	Individuos en fructificación	con manejo
Total		22	27	4	54	-	-

El manejo se refiere a las prácticas o acciones agrícolas que mejoran la producción y rendimiento de un cultivo (Rhoades 2001). En el caso de los individuos de la variedad chaparra se maneja la especie a través de poda constante y tecnificación de cultivo, es decir la preparación del suelo previamente, la propagación de semillas seleccionadas y utilización de otros insumos.

Como requisito previo para los análisis posteriores se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianzas, a través de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene, en 9 de los 14 caracteres morfológicos medidos (Anexo D). Los caracteres que no cumplieron con estos supuestos y no se seleccionaron para los análisis posteriores fueron: número de pares de venas en las hojas, largo del pedicelo, número de semillas, altura del árbol y diámetro a la altura del pecho.

En el Cuadro 3 se describen las medias de los caracteres morfométricos seleccionados, delimitados en la caracterización morfométrica.

**CUADRO 3.** Media de los 9 caracteres morfométricos seleccionados como marcadores

No.	Estructura	Carácter	Media
1	Limbo de la hoja	Largo	147.44 mm
2		Ancho	63.10 mm
3	Pecíolo	Largo	17.15 mm
4		Diámetro	2.42 mm
5	Pedicelo	Largo	4.83 mm
6	Inflorescencia	Número de flores	89
7		Largo	86.43 mm
8		Ancho	92.98 mm
9	Fruto	Diámetro	6.59 mm

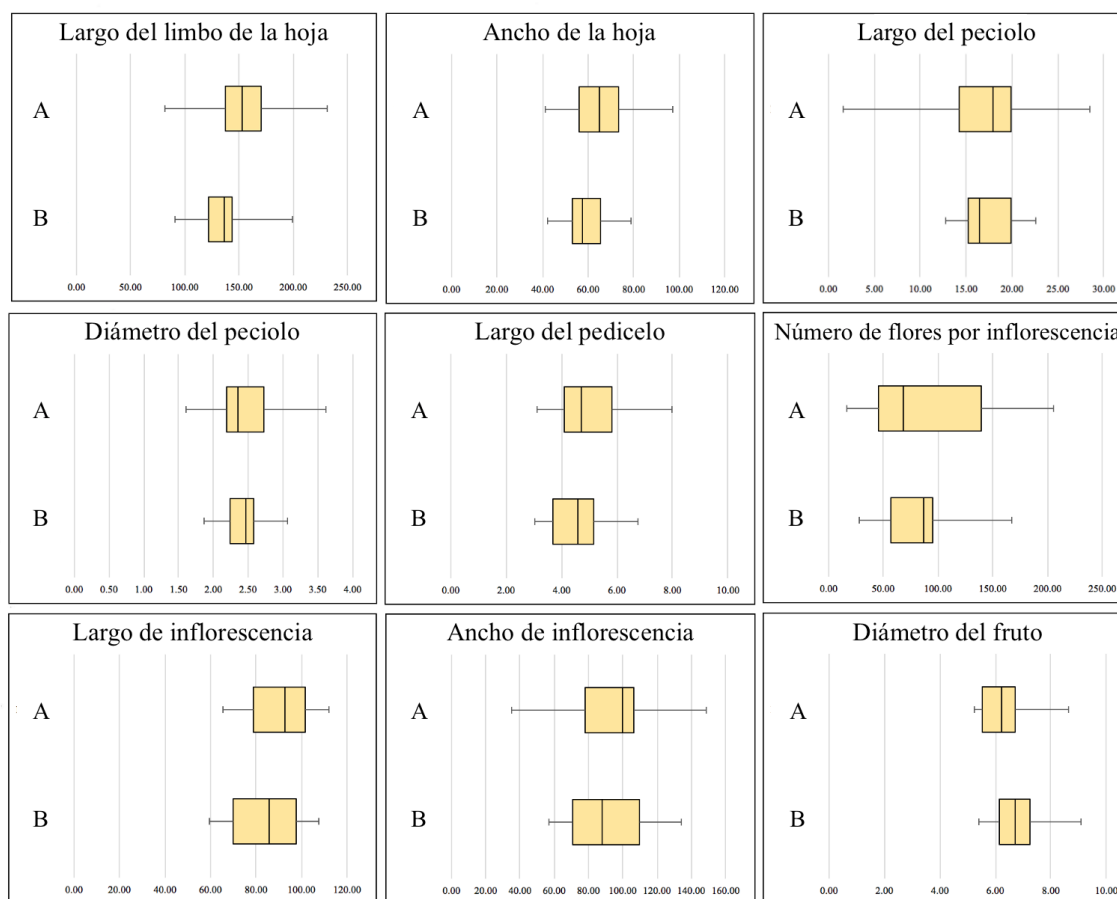
### A. Coeficiente de variación

Los valores de coeficiente de variación obtenidos para los 9 caracteres en las 6 localidades fueron bajos o cercanos a 0 (<27.82%) (Anexo E). En relación a la media, para las localidades Aldea Chajmaic (24.96%), Cacerío Salaguna (23.74%), Cobán (27.42%) y Aldea Chinamá (22.76%), el carácter diámetro del pecíolo tiene mayor variabilidad dentro de la población, mientras que para Aldea Semaj (25.54%) y Aldea San Isidro (27.16%) el carácter con mayor variabilidad dentro de la población es largo del pedicelo.

### B. Diagramas de caja

En la Figura 6 se muestra, a través de diagramas de caja, la variabilidad de los caracteres medidos para las dos variedades de pimienta gorda estudiadas.

**FIGURA 6.** Diagrama de caja y bigotes para 9 caracteres medidos de *P. dioica*



A. Variedad de montaña; B. Variedad chaparra.

La variabilidad encontrada en los caracteres medidos de las dos variedades es similar. No se encontraron datos atípicos, es decir que cada individuo no varía del resto de la población en relación a cada carácter. Como puede observarse en la Figura 6, no hay diferenciación entre las variedades chaparra y de montaña.

### C. Análisis de componentes principales

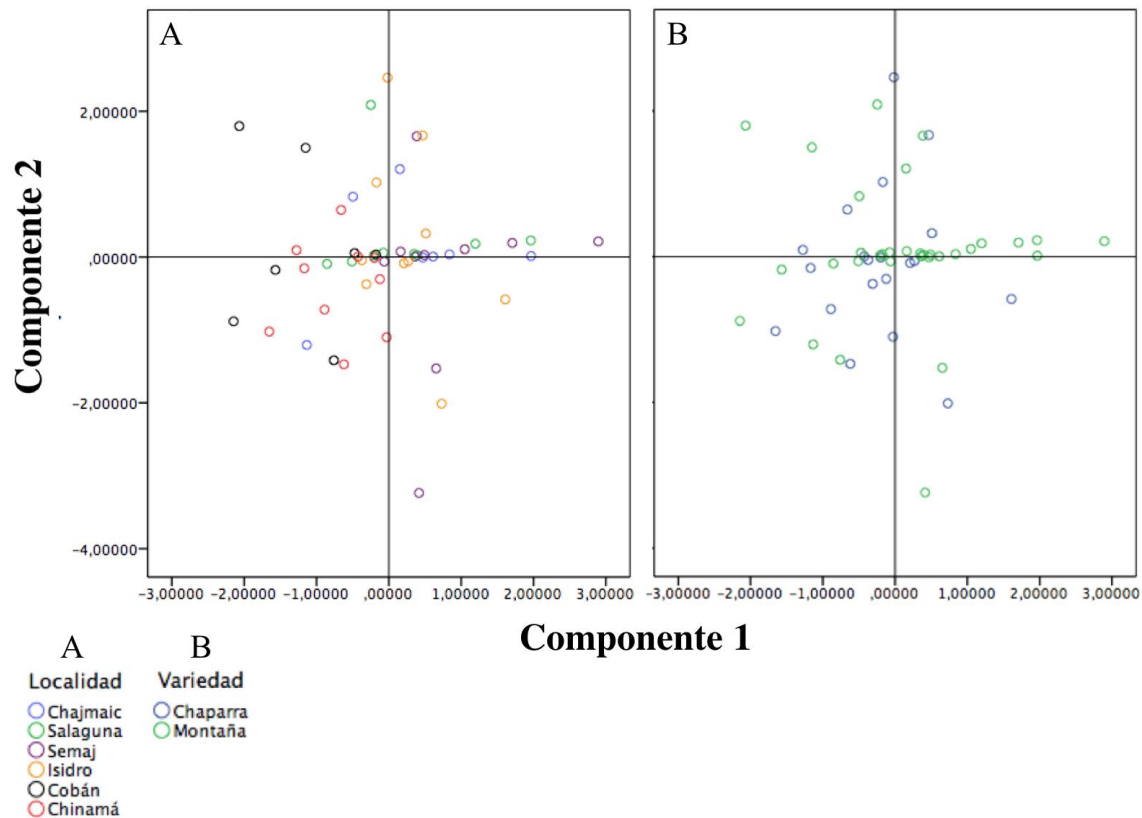
Como medida de variabilidad morfométrica interpoblacional y entre variedades, se realizó el análisis de componentes principales (ACP).

Como requisito previo para realizar el ACP se realizaron las pruebas Kaiser-Meyer-Olkin y esfericidad de Barlett. Los resultados de ambas pruebas (0.660 y 0.000, respectivamente) demuestran que las variables no son independientes (Uturunco 2015) y

que el tamaño de la muestra es adecuado para realizar un análisis de componentes principales (Carmona 2014).

El número de componentes principales se obtiene al buscar los autovalores mayores a 1 (León *et al.* 2008), siendo en este caso los primeros 3. Los componentes resultantes del ACP explican el 67.60% de la variación (Anexo F).

**FIGURA 7.** Diagrama de dispersión de las muestras de *P. dioica* para los componentes 1 y 2 extraídos del ACP, comparando las localidades y variedades



El primer componente (37.63% de la variación) incluye: largo del limbo de la hoja, ancho de la hoja, largo del peciolo y diámetro del peciolo. El segundo componente (19.95% de la variación) engloba los caracteres de la inflorescencia: número de flores por inflorescencia, largo y ancho de la inflorescencia. El tercer componente (12.01% de la variación) fue explicado por el diámetro del fruto.

Para la representación gráfica del ACP (Figura 7) se extrajeron los componentes 1 y 2, ya que explican el mayor porcentaje de variación. Los diagramas de dispersión comparando localidades y variedades son los mismos, ya que el ACP no compara agrupaciones, sino individuos tomándolos como de una sola población (Morales 2009).

El ACP muestra poca diferenciación de las localidades, específicamente Cobán y Aldea Chinamá en el componente 1 y Cacerío Salaguna en el componente 2, sin embargo, en el centro las localidades convergen. No se muestra diferenciación entre las dos variedades (Figura 7).

#### **D. Análisis multivariante de la varianza**

Como método de confirmación para los resultados del análisis anterior, se utilizó el análisis multivariante de la varianza (MANOVA).

El MANOVA genera cuatro estadísticos (Traza de Pillai, Lambda de Wilks, Traza de Hotelling y Raíz mayor de Roy) para determinar diferencias significativas entre los grupos. En este estudio se utilizó el estadístico de Lambda de Wilks, ya que es más sensible que el resto (Camacho 1990).

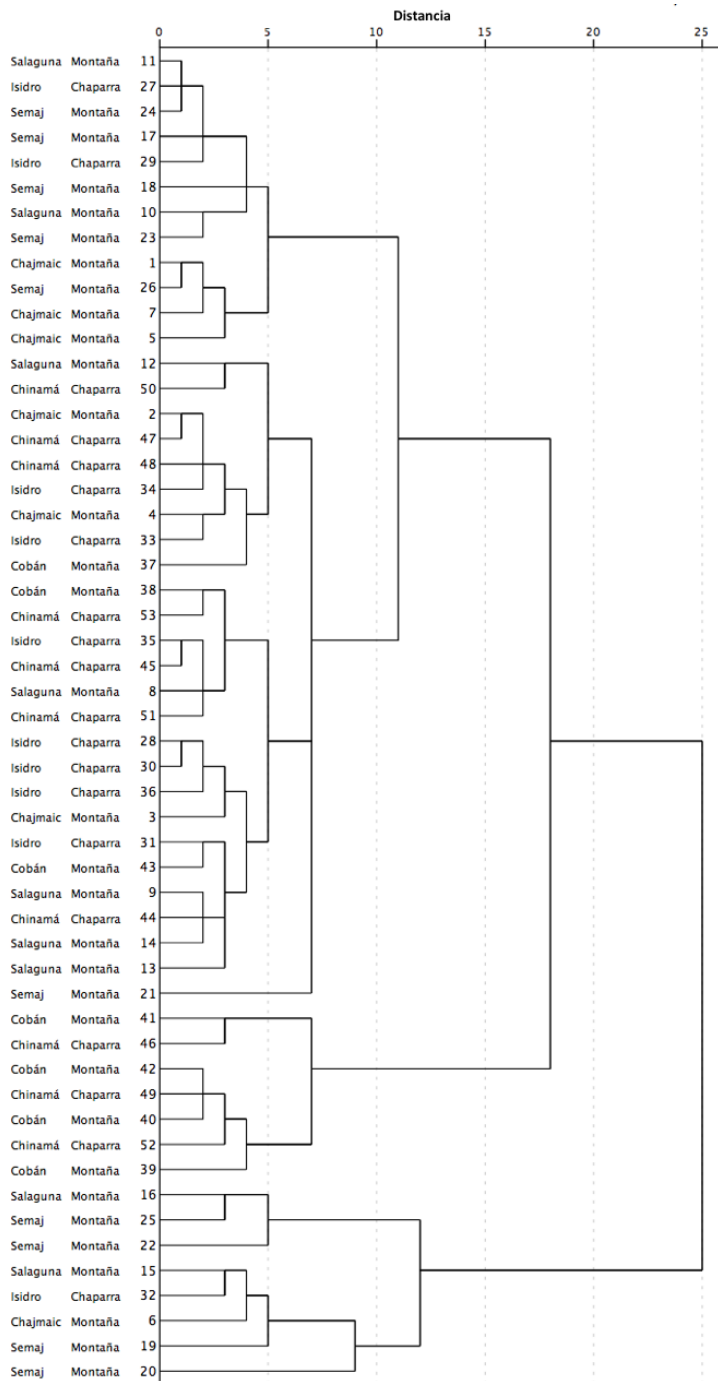
Los valores de p con respecto a las localidades (0.074) y las variedades (0.518) (Anexo G), demuestran que no existen diferencias significativas entre ellas, confirmando que no hay diferenciación entre las mismas.

#### **E. Análisis de conglomerados**

La Figura 8 muestra el dendrograma obtenido a partir del análisis de conglomerados.

Con base en el dendrograma y el historial de conglomeración (Anexo H) se obtuvieron cinco agrupamientos. En cada uno de los cuales se asocian indistintamente individuos de las 6 localidades y de las 2 variedades. Esto sugiere que no existe diferenciación morfométrica entre los individuos analizados.

FIGURA 8. Dendrograma generado por el análisis de conglomerados



## IV. DISCUSIÓN

Se seleccionaron 6 localidades de Alta Verapaz, área de la Franja Transversal del Norte, donde se registraba presencia de poblaciones de pimienta gorda. En cuatro localidades (Aldea Chajmaic, Cacerío Salaguna, Aldea Semaj y Cobán) no existe manejo de la especie y se considera variedad de montaña. En dos localidades (Aldea San Isidro y Aldea Chinamá) existe manejo de la especie a través de la poda de los árboles y tecnificación de cultivo, y se considera variedad chaparra. Esto podría implicar una serie de diferencias entre los caracteres morfométricos seleccionados. Sin embargo, en el campo, a excepción de la altura, no fue posible encontrar diferencias morfológicas entre las variedades. Todos los individuos colectados se encontraban en periodo de fructificación, a excepción de algunos colectados en la Aldea San Isidro, en la cual fue posible encontrar individuos en floración. Lo anterior dificultó la comparación directa de las características de las flores de ambas variedades, afectando la evaluación de los caracteres florales propuestas en la metodología.

En la metodología se indicó que se colectarían 10 individuos por localidad, 5 machos y 5 hembras, para abarcar las variaciones morfológicas más obvias, es decir árboles productores y no productores, en el análisis. Esto no fue posible en todos los casos, debido a que en algunas localidades (Aldea Chajmaic, Cacerío Salaguna y Cobán), la pimienta se cultiva en patios de casa, como un huerto familiar, por lo que el tamaño de la población no permitió la colecta del número de muestras propuesto. De igual manera, el número de individuos machos y hembras variaba entre algunas localidades (Aldea Chajmaic, Cacerío Salaguna, Cobán y Aldea Chinamá), habiendo incluso mayor número de inmaduros en una de ellas (Cacerío Salaguna).

Los coeficientes de variación (Anexo E) de cada uno de los caracteres morfométricos analizados mostraron alta representatividad de la media, es decir que no hay variabilidad de los caracteres morfométricos entre los individuos de cada población.

En la Figura 6, se puede observar que los valores de cada uno de los caracteres morfométricos están dentro de un rango que concuerda con los valores descritos por Parker en el 2008) (Anexo I). Además se observa que las cajas se superponen para cada uno de los caracteres, por lo que no hay una diferencia entre las variedades.

La variabilidad representada para cada uno de los caracteres morfométricos a través de los diagramas de caja, muestran que no hay variación de los datos entre las variedades. De igual manera, el ACP y el MANOVA no muestran variaciones entre las variedades, de modo que no hay diferenciación entre variedades chaparra y de montaña.

En el dendrograma se asocian indistintamente individuos de las 6 localidades y de las 2 variedades.

Los resultados de los análisis descriptivos y multivariados sugieren entonces, homogeneidad morfométrica intra e interpoblacional, así como entre las variedades estudiadas de pimienta gorda.

Los valores obtenidos en los coeficientes de variación fueron bajos o cercanos a 0 (anexo E). Esto demuestra alta representatividad de la media (Vargas 1995) y baja variabilidad entre los individuos de cada población. Sugiriendo que los caracteres morfométricos de la especie están más o menos fijados, y no se esperaría fluctuación dentro de las poblaciones. Esto puede deberse a que el acervo genético de la especie en las localidades analizadas es reducido a causa del pequeño tamaño de cada una de las poblaciones y/o de la selección de semillas.

El reducido tamaño encontrado en las poblaciones de pimienta gorda estudiadas puede causar que en los lugares donde no existe manejo de la especie (por ejemplo, Aldea Chajmaic, Cacerío Salaguna, Aldea Semaj y Cobán), se dé el intercambio genético entre organismos muy cercanos entre sí. Esto favorece la deriva génica debido a que se reducen las tasas de mutación. De igual manera, la poca variación en las poblaciones de la FTN estudiadas, podría causar reducción en el acervo genético, de modo que la población se vuelve más susceptible a cambios ocurridos por desastres u otros efectos antropogénicos (Gitzendanner y Soltis 2000; Monge-Nájera 2002; Skute *et al.* 2016).

En los lugares donde existe manejo de la especie (Aldea San Isidro y Aldea Chinamá), es probable que los cultivos se establezcan a partir de semillas seleccionadas provenientes de individuos que tienen una producción abundante de fruto, reduciendo la variabilidad genética (Bachmann 1978; Chávez-Servia 2004; Camarena *et al.* 2014). Generalmente para establecer un cultivo se seleccionan semillas de los árboles que poseen las características deseables, por ejemplo tamaño, producción de frutos y otros, causando a

mediano o largo plazo la pérdida de una serie de alelos y reducción en el acervo genético (Funda y El-Kassaby 2013). Un ejemplo de este fenómeno se estudió en el Noroeste de Italia, donde la selección de semillas de pimiento “Cuneo” (*Capsicum annuum*) a partir de plantas con características de interés, causó reducción en la diversidad genética de la especie, con la pérdida de más de 10 alelos (Portis *et al.* 2004).

En ambos caso esta reducción se podría expresar en la baja variación de los caracteres fenotípicos de los árboles adultos. Sin embargo, con el análisis realizado no se puede asegurar que estos factores se estén dando en la pimienta gorda, debido a que la variabilidad genética no se expresa completamente en el fenotipo.

En el caso de las variedades, los diagramas de caja muestran que los caracteres tienen poca variación interna. Como se observa en la Figura 6, se obtuvieron en su mayoría cajas cortas, debido a la poca variación existente dentro de los individuos de la misma variedad, sin importar su localidad de origen. La única excepción se dio en la variedad de montaña, en la cual el carácter “número de flores por inflorescencia”, mostró mayor variación que la variedad chaparra. Sin embargo, esto puede deberse a la poca cantidad de datos obtenidos. Tamaños de muestras pequeños no tienen la capacidad de detectar si existen diferencias o no de una población. Esto aumenta el riesgo de asumir una conclusión falsa, debido a que la cantidad de datos no representa el comportamiento actual de la población (Kumar 2010; Faber y Martins 2014).

Las medias de los diagramas de caja son similares, es decir que la variación entre las variedades es baja. Esto, al igual que el coeficiente de variación (Anexo E), indica que no existen diferencias importantes entre las variedades, a pesar de que tanto los técnicos como los comunitarios sostienen lo contrario.

El resultado anterior es confirmado por el diagrama de dispersión generado a través del ACP (Figura 8), el cual muestra que estadísticamente no existen variedades de pimienta gorda. De la misma manera, el MANOVA (Anexo G), corrobora que no hay diferencia significativa entre las variedades ( $p = 0.518$ ). Esto concuerda con estudios realizados en Siuna, Nicaragua, en donde se determinó que no existe variación fenotípica significativa en las poblaciones de pimienta gorda por lo que no es posible concluir la existencia de variedades o formas taxonómicas (Grijava 2010).

Las principales diferencias entre las variedades cultivadas en la FTN, según los comunitarios, son la altura del árbol y la abundancia en la producción de frutos. Sin embargo, no se puede asegurar si la altura de los árboles de la variedad chaparra es una característica natural o es producto del manejo que se le da a los individuos de la misma. Esta variedad es de reciente introducción en la FTN y se maneja como un cultivo semi extensivo y no en huertos como la variedad de montaña, siendo cultivada principalmente debido a que se le atribuye una mayor abundancia en la producción de fruto verde. Los comunitarios, gracias al apoyo de los técnicos de AGEXPORT, podan los individuos constantemente para evitar que la recolección de frutos se dificulte por la altura. La menor altura es una ventaja en el área, porque según información obtenida a través de conversaciones personales, en el área se han registrado muertes de comunitarios que se suben a los árboles de la variedad de montaña para coleccionar los frutos. (Caal, E. y Cuz, A; Técnicos, AGEXPORT, 2017 comunicación personal).

Es posible que la diferencia en la abundancia de la producción de frutos no sea una característica natural, ya que según estudios previos (Grijalva 2010), la humedad relativa y características del suelo, como pendiente y drenaje, afectan la incidencia de inflorescencias, lo cual tiene efectos directos sobre la fructificación. No se encontraron grandes diferencias en las características climáticas de las localidades donde se desarrollan ambas variedades, a excepción de riego en la variedad chaparra, lo cual podría ser una alteración, ya que el agua deja de ser un factor limitante. Sin embargo, estos factores no parecen ser la causa en las diferencias de producción reportadas. Es probable que la mayor abundancia en la producción de frutos de una de las variedades se encuentre directamente relacionada con el manejo de los cultivos. Por ejemplo, podar los árboles de forma constante suele aumentar la proliferación de ramas, ya que el corte constante de las mismas disminuye la producción de auxinas, estimulando la brotación vegetativa, que a su vez genera un mayor número de inflorescencias y por lo tanto de frutos. En lugares donde no se ejecuta manejo de las plantaciones, la producción es menor (Macía 1998; Crassweller y Fonseca 2017).

Por el contrario, la variedad de montaña se maneja de manera tradicional y no se poda, en muchos casos por desconocimiento de técnicas adecuadas de manejo, a pesar de que actualmente es probablemente la variedad más comercializada, debido en muchos casos a

que no hay presencia de la otra variedad en las comunidades de la FTN (Caal, E. y Cuz, A; Técnicos, AGEXPORT, 2017 comunicación personal).

En el caso de los individuos analizados, no parece probable que existan grandes diferencias en cuanto a la abundancia de frutos producidos (Promedio de frutos por infrutescencia: chaparra = 84, de montaña = 95; Anexo C), a pesar de que en algunos lugares, como Aldea San Isidro y Aldea Chinamá, donde sólo se encuentra variedad chaparra, se podan los árboles de forma constante (Caal, E. y Cuz, A; Técnicos, AGEXPORT, 2017 comunicación personal). La abundancia de frutos no es un factor determinante.

En el caso de la Aldea San Isidro, algunos individuos se encontraban en floración a pesar de no ser época de la misma, la cual finaliza en junio (Gamboa 2016). La fluctuación en la época de floración puede ser efecto de condiciones climáticas, como humedad del suelo, temperatura y precipitación (Salazar-García *et al.* 2011). Esto concuerda con el hecho que la localidad se encuentra más alejada de las otras localidades, cercana al departamento de Petén, donde las condiciones climáticas podrían variar.

El diagrama de dispersión generado a través del ACP (Figura 7) muestra poca variación entre las poblaciones de pimienta gorda. De la misma manera, el MANOVA (anexo G), confirma que no hay diferencia significativa entre las poblaciones. Esto se puede deber a que en las localidades visitadas, los ejemplares provienen de las semillas de árboles cercanos.

En ambos casos, los individuos presentan características uniformes u homogéneas, lo cual podría significar una base genética reducida (Artunduaga 2000; León 2000). A pesar de lo cual las semillas no parecen haber perdido su fertilidad, ya que es posible encontrar individuos inmaduros, cercanos a individuos maduros, que se han desarrollado naturalmente a partir de semillas de los frutos caídos. La alta fertilidad en semillas es un indicador de bajo nivel de endogamia. La endogamia causa reducción en la fertilidad, menor tasa de crecimiento de los descendientes y menor adaptabilidad al medio (Cordero y Boshier, 2003). Es posible que haya ocurrido flujo o intercambio de semillas de las comunidades del área con comunidades de otros lugares, lo cual favorece la existencia de flujo genético, evitando la reducción de la diversidad genética de la especie en el área estudiada (Chávez-Servia, 2004).

Los caracteres que podrían utilizarse como potenciales marcadores para la identificación de la variación morfométrica de la especie, son: el largo del limbo de la hoja, ancho de la hoja, diámetro del peciolo y largo del peciolo. Esto debido a que expresaron mayor variación (0.930, 0.931, 0.878 y 0.677, respectivamente) que el resto, a pesar de no mostrar diferencias significativas entre variedades y población según el ACP. Estos caracteres se sugieren como herramientas de importancia taxonómica porque al comparar estos elementos en diferentes individuos, es posible establecer el grado de relación entre los mismos. Mientras más semejantes sean los caracteres, mayor será el grado de asociación entre los diferentes individuos (Cervantes *et al.* 1993; Rodríguez-Riaño *et al.* 1999; Benítez *et al.* 2006).

El análisis de conglomerados generó un dendrograma (Figura 9) en donde se separan los individuos en cinco grupos, sin embargo no existe una asociación según la variedad o la población. El agrupamiento obtenido se puede debe al azar, es decir que no se debe a alguna característica sino a probabilidades aleatorias, o a diferencias genéticas que no se expresan en el fenotipo de los individuos. Esto, al igual que los resultados de los análisis anteriores, demuestra que no existen variedades con base a características morfométricas y se sugiere que todas las poblaciones podrían tener la misma base genética, sin embargo un análisis de secuencia genómica podría revelar diferencias muy pequeñas. Esto también sugiere que la variación morfométrica no está asociada a la distribución geográfica de la especie, concordando con el hecho de que la distribución no es exactamente natural.

La homogeneidad morfométrica intra e interpoblacional, así como entre las variedades estudiadas de pimienta gorda sugiere que el manejo y explotación de la especie no afecta el estado de conservación de la misma.

La información generada en este estudio se podría complementar con estudios moleculares, de modo que se determine el grado de concordancia entre variabilidad morfométrica y genética. Estos estudios también pueden ser de utilidad para conocer el estado de salud genética de la especie, lo cual permitirá establecer mejores técnicas de manejo y estrategias para la conservación de la especie (Iglesias, Solís-Ramos y Viveros-Vieros 2012).

## V. CONCLUSIONES

1. Los árboles de *Pimenta dioica* estudiados tenían una media de 147.44 mm del largo del limbo de la hoja, 63.10 mm del ancho de la hoja, 17.15 mm de largo del peciolo, 2.42 mm de diámetro del peciolo, 4.83 mm del largo del pedicelo, 89 flores por inflorescencia, 86.43 mm del largo de la inflorescencia, 92.98 mm del ancho de la inflorescencia y 6.59 mm de diámetro del fruto.
2. No existe variación morfométrica intrapoblacional de *P. dioica* estudiadas con base a los valores de coeficiente de variación para los 9 caracteres en las 6 localidades de 2.21 a 27.42%.
3. No existe variación morfométrica interpoblacional de *P. dioica* en las 6 localidades estudiadas con base a los valores de variación explicada de los componentes del ACP, 37.63% para el componente 1 y 19.95% para el componente 2, y un valor de  $p = 0.074$  resultante del MANOVA.
4. La variación morfométrica entre las variedades de pimienta gorda es baja, no existen diferencias significativas con base a un valor de  $p = 0.518$  resultante del MANOVA y los valores de coeficiente de variación para los 9 caracteres en las 2 variedades de 3.65 a 27.82%, por lo que se sugiere que no existen variedades de pimienta gorda en Alta Verapaz, Franja Transversal del Norte.
5. El largo del limbo de la hoja, ancho de la hoja, largo y diámetro del peciolo fueron determinados como potenciales marcadores para identificación de variación morfométrica de pimienta gorda, con base a los valores de correlación del componente 1 con los caracteres de 0.930, 0.931, 0.677 y 0.878, respectivamente.



## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Incluir únicamente individuos maduros para la caracterización morfométrica. Individuos inmaduros no presentan la totalidad de los caracteres para el análisis de datos.
2. Colectar muestras de individuos en época de floración y de fructificación para incluir mayor número de marcadores morfométricos importantes en los análisis descriptivos y multivariados.
3. Incluir el número de inflorescencias por árbol dentro de la caracterización morfométrica, con el objetivo de tener un análisis más completo en el cual se pueda determinar si difiere la abundancia en la producción de frutos con base al manejo de los individuos.
4. Realizar estudios moleculares para determinar la variabilidad genética y el grado de concordancia con la variabilidad morfométrica determinada en el presente estudio. Con esto se podrá considerar su posible exclusión en la Lista de Especies Amenazadas del CONAP.
5. Ampliar el número de poblaciones, incluyendo poblaciones procedentes de otros departamentos, con el objetivo de tener un análisis más completo en el cual se pueda determinar la variabilidad de la especie en el país.
6. Incluir poblaciones silvestres en el estudio. Con esto se podrá comparar las diferencias de los caracteres morfométricos entre individuos cultivados y silvestres.
7. Con la inclusión de poblaciones silvestres, correlacionar los resultados con variables ambientales para determinar el efecto de las mismas en la especie.

8. Incentivar talleres de manejo de pimienta gorda dirigidos a los comunitarios de la región, con el objetivo de mejorar el aprovechamiento de la especie.

## VII. LITERATURA CITADA

- Agudelo, A.; N. Ceballos y F. Orozco. 2011. *Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (Solanum lycopersicum Linnaeus)*. Agronomy 19(2): 55-53.
- Artunduaga, R. 2000. *El impacto de las nuevas tecnologías en el desarrollo sostenible de la agricultura de América Latina y el Caribe: El caso de las plantas transgénicas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José. 54 pp.
- Asociación Guatemalteca de Exportadores. 2010. *Fichas técnicas regionales de productos agroindustriales para asistencia técnica a PYMES: Pimienta gorda*. AGEXPORT, Ciudad de Guatemala. 6 pp.
- Bachmann, K. 1978. *Biología para médicos: Conceptos básicos para las facultades de medicina, farmacia y biología*. Reverté, Madrid. 374 pp.
- Benítez, C.; A. Cardozo, L. Hernández, M. Lapp y H. Rodríguez. 2006. *Botánica sistemática: Fundamentos para su estudio*. Universidad Central de Venezuela, Maracay. 242 pp.
- Boyd, F. y N. Benkeblia. 2011. *A Description of the Floral Biology Operative within Pimenta dioica (L.) Merr.* Acta Horticulturae 894: 83-88.
- Camacho, J. 1990. *Interpretación del Manova: Análisis de la importancia de las variables dependientes*. Qurriculum 1: 107-120.
- Camarena, F.; J. Chura y R. Blas. 2014. *Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 278 pp.
- Cano, J. 2011. *Caracterización morfométrica de Anadara tuberculosa y A. similis en la Costa Pacífica Colombiana*. Trabajo de Graduación de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle. 99 pp.
- Carmona, F. 2014. *Un ejemplo de ACP paso a paso*. Universitat de Barcelona, Barcelona. 7 pp.

- Castillo, J. 2012. *Cultivo de pimienta gorda (Pimenta dioica): Manual Técnico para Productores*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Siuna. 33 pp.
- Cervantes, F.; M. Martínez y Y. Hortelano. 1993. *Variación morfométrica intrapoblacional de Peromyscus melanocarpus (Rodentia: Muridae) de Oaxaca, México*. Anales del Instituto de Biología serie Zoología, UNAM 64(2): 153-168.
- Chávez-Servia, J. 2004. *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma. 225 pp.
- Chinchilla, J. 2004. *Inventario y propuesta de manejo de las poblaciones de pimienta gorda (Pimenta dioica (L.) Merrill) y chicozapote (Manilkara achras (Mill) Fosberg) en la zona de uso especial del Parque Nacional Yaxhá, en la Reserva de la Biósfera Maya*. Trabajo de Graduación de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 102 pp.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 2009. *Listado de Especies Amenazadas de Guatemala (LEA) y Listado de Especies de Flora y Fauna Silvestres CITES de Guatemala*. Departamento de Vida Silvestre, CONAP, Ciudad de Guatemala. 122 pp.
- Cordero, J. y D. Boshier. 2003. *Árboles de Centroamérica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba. 1079 pp.
- Crassweller, R. y M. Fonseca. 2017. *Respuestas básicas acerca de los cortes de poda en árboles frutales*. Penn State College of Agricultural Sciences, Pennsylvania. 10 pp.
- De La Fuente, S. 2011. *Análisis conglomerados*. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. 55 pp.
- Elorrieta, M. 1993. *Caracterización y análisis de la variabilidad genética en poblaciones españolas de tenca (Tinca tinca)*. Trabajo de Graduación de Doctorado, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid. 139 pp.

- Espinosa, A. *et al.* 2012. *Evaluación de Curcuma longa L. obtenidas por cultivo de tejidos en condiciones de organopónico*. Revista Colombiana de Biotecnología 14(2): 196-202.
- Faber, J. y L. Martins. 2014. *How sample size influences research outcomes*. Dental Press Journal of Orthodontics 19(4): 27-29.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2004. *Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central: Guatemala*. Italia. En: <<http://www.fao.org/docrep/007/ae159s/AE159S06.htm>> [con acceso el 20 de febrero de 2017].
- Franco, T. y R. Hidalgo. 2003. *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali. 89 pp.
- Fuentes, V.; C. Lemes y P. Sánchez. 2000. *Sobre la multiplicación de Pimenta dioica (L.) Merrill*. Revista Cubana de Plantas Medicinales 5(2): 51-5.
- Funda, T. y Y. El-Kassaby. 2013. *Seed orchard genetics*. Plant Sciences Reviews, Boston. 280 pp.
- Gamboa, A. 2016. *Informe final de diagnóstico, investigación y servicios prestados a la Oficina Técnica de la Dirección Regional de CONAP "Las Verapaces", Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, C.A.* Trabajo de Graduación de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 248 pp.
- Gitzendanner, M. y P. Soltis. 2000. *Patterns of genetic variation in rare and widespread plant congeners*. American Journal of Botany 81(6): 783-792.
- Godoy, C. 2010. *Propuesta para elaborar planes de manejo integrados de recursos forestales no maderables en la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala*. Trabajo de Graduación de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala. 393 pp.

- González-Quevedo, M. *et al.* 1997. *Uso de la crema repelente de Pimenta dioica por combatientes de una unidad militar.* Revista Cubana Médica Militar 26(2): 94-97.
- Grijalva, A. 2010. *Estudio taxonómico de Pimenta dioica en el Municipio de Siuna, Región Autónoma, Atlántico Norte Raan, Nicaragua.* Cooperativa Agropecuaria de Servicios Extracciones Esenciales Siuna, Siuna. 12 pp.
- Henderson, A. 2006. *Traditional morphometrics in plants systematics and its role in palm systematics.* Botanical Journal of the Linnean Society 151: 103-11.
- Iglesia, L.; L. Solís-Ramos y H. Viveros-Viveros. 2012. *Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de Pinus hartwegii Lindl. del estado de Veracruz.* Phytón 81(2): 239-246.
- Kumar, B. 2010. *Understanding the relevance of simple size calculation.* Indian Journal of Ophthalmology 58(6): 469-470.
- Lasa, N. y A. Vergara. 2002. *Diseños de investigación experimental en psicología: modelos y análisis de datos mediante el SPSS.* Pearson Educación, Ciudad de México. 404 pp.
- Lattoo, S. *et al.* 2008. *Comparative analysis of genetic diversity using molecular and morphometric markers in Andrographis paniculata (Burm. f.) Nees.* Genetic Resources and Crop Evolution 55: 33-43.
- León, A.; H. Llinás y J. Tilano. 2008. *Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados.* Ingeniería y desarrollo 23: 119-142.
- León, J. 2000. *Botánica de los cultivos tropicales.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José. 522 pp.
- Levine, D.; M. Berenson y T. Krehbiel. 2006. *Estadística para administración.* Pearson Educación, Ciudad de México. 619 pp.

- López-Santiago, J. *et al.* 2006. *Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (Crataegus spp.)*. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 97-111.
- Macía, M. 1998. *La pimienta de Jamaica (Pimenta dioica (L.) Merrill, Myrtaceae) en la Sierra Norte de Puebla (México)*. Anales del Jardín Botánica de Madrid 56(2): 337-349.
- Marhold, K. 2011. *Multivariate morphometrics and its application to monography at specific and infraspecific levels*. pp. 73-99. En: Stuessy, T y W. Lack (eds.). Monographic plant systematics: fundamental assessment of plant biodiversity. Gantner, Ruggell.
- Martínez, D.; M. Hernández y E. Martínez. 2013. *La pimienta gorda en México (Pimenta dioica (L.) Merril): Avance y retos en la gestión de la innovación*. Universidad Autónoma Chapingo, Ciudad de México. 71 pp.
- Martínez-Cabrera, D.; F. Zavala-Chávez y T. Terrazas. 2011. *Estudio morfométrico de Quercus sartorii y Q. xalapensis (Fagaceae)*. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 551-568.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 2014. *Diagnóstico de la Franja Transversal del Norte y definición de las líneas estratégicas de acción del MAGA*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Ciudad de Guatemala. 43 pp.
- 2017. *Ficha de mercado: Pimienta gorda o de castilla – Presentación al consumidor*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Ciudad de Guatemala. 1 pp.
- Molina, V. 1999. *Estudio del potencial de producción de pimienta gorda (Pimenta dioica (L.) Merrill) en la Concesión Forestal Comunitaria de Carmelita, San Andrés Petén, Santa Elena, Flores, Petén, Guatemala*. Centro Universitario de Petén de la Universidad San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala. 81 pp.

- Monge-Nájera, J. 2002. *Biología general*. EUNED, San José. 521 pp.
- Monroy, C. 2011. *Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011 – Paquete Tecnológico Pimienta Gorda (Pimenta dioica (L.) Merrill): Establecimiento y mantenimiento*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Ciudad de México. 14 pp.
- Montes-Hernández, L.; A. Hernández-Guzmán, H. López-Sánchez, A. Santacruz-Varela y H. Vaquera-Huerta. 2014. *Expresión fenotípica in situ de características agronómicas y morfológicas en poblaciones del maíz raza Jala*. Revista Fitotecnia Mexicana 37(4): 363-372.
- Morales, J. 2009. *Estimación de diferencias morfométricas de la tortuga blanca (Dermatemys mawii) a lo largo de su distribución*. FODECYT, Ciudad de Guatemala. 72 pp.
- Nieves, A. y F. Domínguez. 2010. *Probabilidad y estadístico para la ingeniería: Un enfoque moderno*. McGraw-Hill, Ciudad de México. 548 pp.
- Orellana, E. 1979. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda (Pimenta dioica) en el departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de Graduación de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala. 99 pp.
- Pardo, A. y M. Ruíz. 2002. *SPSS 11: Guía para el análisis de datos*. McGraw-Hill, Ciudad de México. 714 pp.
- Parker, T. 2008. *Trees of Guatemala*. The Tree Press, Austin. 1033 pp.
- Peña, V. 2002. *Fertilización en Pimenta dioica (pimienta gorda) y Pouteria sapota (mamey): un experimento en invernadero*. Trabajo de Graduación de Maestría, Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. 123 pp.

- Portis, E.; A. Acquadro; C. Comino y S. Lanteri. 2004. *Effect of farmers' seed selection on genetic variation of a landrace population of pepper (Capsicum annuum L.), grown in North-West Italy*. Genetic Resources and Crop Evolution 51: 581-590.
- Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario. 2014. *El mercado de la pimienta gorda*. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Tegucigalpa. 34 pp.
- Rao, P.; S. Navinchandra y K. Jayaveera. *An important spice, Pimenta dioica (L.) Merrill: A Review*. International Current Pharmaceutical Journal 1(8): 221-225.
- Remagnino, P. et al. 2016. *Computational Botany: Methods for Automated Species Identification*. Springer, Berlín. 114 pp.
- Rhoades, R. 2001. *Tendiendo puentes entre los paisajes humanos y naturales: La investigación participativa y el desarrollo ecológico en una frontera agrícola andina*. Abya Yala, Quito. 416 pp.
- Riascos, M. et al. *Caracterización morfológica de 39 genotipos de la colección de lulo (Solanum quitoense Lam.) de la Universidad de Nariño*. Revista de Ciencias Agrícolas 29(1): 57-69.
- Rodríguez-Riaño, T.; A. Ortega y J. Devesa. 1999. *Biología floral en Fabaceae*. CSIC Press, Madrid. 176 pp.
- Salazar-García, S.; González-Durán, I. y L. Tapia-Vargas. 2011. *Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate "Hass" en Michoacán, México*. Revista Chapingo 17(2): 183-194.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República de Guatemala. 2011. *Plan de Desarrollo Integral de la Franja Transversal del Norte*. SEGEPLAN, Ciudad de Guatemala. 163 pp.

- Škute, N.; J. Oreha y A. Morozova. 2016. *Genetic and morphological variability of small vendance (Coregonus albula L.) population in three Latvian lakes*. Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis 16(1): 99-110.
- Suárez, A.; G. Ulate y J. Ciccio. 1997. *Efecto de la administración aguda y subaguda de extractos de Pimenta dioica (Myrtaceae) en ratas albinas normotensas e hipertensas*. Revista de Biología Tropical 45(1): 39-45.
- Uturunco, A. 2015. *Estudio morfológico y morfométrico de Eremoryzomys polius (Rodentia: Cricetidae) del Valle del Alto Marañón – Perú*. Trabajo de Graduación de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 84 pp.
- Vargas, A. 1995. *Estadística descriptiva e inferencial*. Universidad de Castilla-La Mancha, Castilla-La Mancha. 576 pp.
- Vásquez, M. 2014. *Presentación del proyecto – Resumen ejecutivo: Estudio morfológico y genético en la Franja Transversal del Norte de las poblaciones de Pimenta dioica, cultivo de importancia económica en el país*. FIIINDECYT/FODECYT, Ciudad de Guatemala. 17 pp.
- . 2016. *Estado de producción y comercialización de Pimenta dioica (L.) Merrill en Guatemala: Informe Final*. AGEXPORT, Ciudad de Guatemala. 18 pp.
- Vilchis, M. 2014. *Coeficiente de variación*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo. 5 pp.
- Zabka, M.; R. Pavela y L. Slezakova. 2009. *Antifungal effect of Pimenta dioica essential oil against dangerous pathogenic and toxinogenic fungi*. Industrial Crops and Products 30: 250-253.

Zhang, L. y B. Lokeshwar. 2012. *Medicinal properties of the Jamaican pepper plant Pimenta dioica and Allspice*. Current Drug Targets 13(14): 1900-1906.



## IV. ANEXOS

### A. Boleta de toma de datos de muestras

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA – <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill							
Fecha:		Localidad:					
Latitud:		Longitud:		Altitud:			
No. de campo	MG <sup>1</sup>	Variedad	Estado fenológico	Altura	DAP <sup>2</sup>	No. de flores por inflorescencia	Observaciones

<sup>1</sup>Material genético  
<sup>2</sup>Diámetro a la altura de pecho

## B. Información de individuos colectados

**CUADRO 4.** Individuos de *Pimenta dioica* colectados y utilizados en la caracterización morfológica

ID	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud	Fecha de colecta	Variedad	Sexo*	Estado de desarrollo	Estado fenológico
DC-1	Aldea Chajmaic, Fray Bartolomé de las Casas	N 15.75496°	W 089.94331°	187	20/06/2017	De montaña	Macho	Maduro	-
DC-2							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-3							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-5							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-6							Macho	Maduro	-
DC-7							Macho	Maduro	-
DC-8							Macho	Maduro	-
DC-9							Cacerío Salaguna, Fray Bartolomé de las Casas	N 15.74600°	W 089.94606°
DC-10	-	Inmaduro	-						
DC-11	-	Inmaduro	-						
DC-12	-	Inmaduro	-						
DC-13	Macho	Maduro	-						
DC-14	Hembra	Maduro	Fructificación						
DC-15	Macho	Maduro	-						
DC-16	Macho	Maduro	-						
DC-17	Hembra	Maduro	Fructificación*						
DC-18	Aldea Semaj, Chisec	N 15.76408°	W 089.96445°	180.5	20/06/2017	De montaña	Hembra	Maduro	Fructificación
DC-19							Macho	Maduro	-
DC-20							Macho	Maduro	-
DC-21							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-22							Macho	Maduro	-
DC-23							Macho	Maduro	-
DC-24							Hembra	Maduro	Fructificación*
DC-25							Macho	Maduro	-
DC-26							Hembra	Maduro	Fructificación*
DC-27							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-28	Aldea San Isidro, Raxruhá	N 15.99767°	W 090.06469°	172	21/06/2017	Chaparra	Hembra	Maduro	Fructificación
DC-29							Macho	Maduro	-
DC-30							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-31							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-32							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-33							Macho	Maduro	Floración
DC-34							Hembra	Maduro	Fructificación

**Continuación CUADRO 4.** Individuos de *Pimenta dioica* colectados y utilizados en la caracterización morfométrica

ID	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud	Fecha de colecta	Variedad	Sexo*	Estado de desarrollo	Estado fenológico
DC-35	Aldea San Isidro, Raxruhá	N 15.99767°	W 090.06469°	172	21/06/2017	Chaparra	Macho	Maduro	Floración
DC-36							Macho	Maduro	-
DC-37							Macho	Maduro	-
DC-38	Cobán	N 15.47068°	W 090.37243°	1343	22/06/2017	De montaña	Macho	Maduro	-
DC-39							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-40							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-41							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-42							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-43							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-44							Macho	Maduro	-
DC-45	Aldea Chinamá, Lanquín	N 15.61183°	W 090.00356°	752	23/06/2017	Chaparra	Hembra	Maduro	Fructificación
DC-46							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-47							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-48							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-49							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-50							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-51							Hembra	Maduro	Fructificación
DC-52							Macho	Maduro	-
DC-53							Macho	Maduro	-
DC-54							Macho	Maduro	-

\*No hay muestra de frutos.

### C. Medición de caracteres

Los números de los caracteres (cuadros 11 y 12) se basan en los números asignados en el cuadro 1.

**CUADRO 5. Medición de los caracteres**

ID	Carácter													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DC-1	154.16	72.27	12	19.93	2.67	-	-	-	-	-	-	-	8	14.0
DC-2	118.91	51.15	12	15.74	2.30	3.11	0.86	144	83.59	105.54	6.30	2	8	12.8
DC-3	144.21	61.12	11	22.09	2.25	3.36	1.21	138	93.08	104.29	7.30	2	7	16.9
DC-5	123.26	56.54	11	12.64	1.80	4.45	1.16	75	80.60	65.54	6.43	4	4	26.1
DC-6	152.61	78.17	11	19.08	2.84	-	-	-	-	-	-	-	6	15.0
DC-7	204.27	72.97	13	28.52	3.30	-	-	-	-	-	-	-	7	7.5
DC-8	155.44	65.05	10	19.61	2.73	-	-	-	-	-	-	-	7	9.5
DC-9	137.13	53.48	11	17.27	2.19	-	-	-	-	-	-	-	5	11.1
DC-10	144.93	63.06	11	15.54	2.28	-	-	-	-	-	-	-	6	8.6
DC-11	162.74	60.61	12	17.87	2.79	-	-	-	-	-	-	-	5	6.4
DC-12	168.15	70.73	12	19.23	2.25	-	-	-	-	-	-	-	7	11.9
DC-13	128.43	49.83	10	17.00	1.98	-	-	-	-	-	-	-	10	36.0
DC-14	150.42	56.10	11	17.78	2.32	6.14	1.25	206	100.68	107.95	6.69	2	9	21.4
DC-15	150.97	64.46	13	14.11	2.42	-	-	-	-	-	-	-	14	35.7
DC-16	203.69	74.35	13	17.36	2.93	-	-	-	-	-	-	-	12	45.1
DC-17	226.00	90.39	12	21.37	2.89	-	-	-	-	-	-	-	12	42.7
DC-18	170.26	74.42	13	22.65	2.68	7.86	1.44	42	65.66	79.89	6.75	2	10	27.5
DC-19	177.10	70.33	12	18.28	1.97	-	-	-	-	-	-	-	13	33.7
DC-20	191.12	73.57	12	19.89	2.76	-	-	-	-	-	-	-	12	17.0
DC-21	184.35	74.27	10	1.60	2.73	4.51	0.98	47	92.21	148.43	6.17	2	10	21.8
DC-22	138.94	79.68	11	18.60	2.36	-	-	-	-	-	-	-	7	7.1
DC-23	215.01	88.35	12	21.23	2.76	-	-	-	-	-	-	-	12	15.3
DC-24	166.29	62.09	10	23.65	1.75	-	-	-	-	-	-	-	12	21.4
DC-25	166.11	71.99	11	20.21	2.36	-	-	-	-	-	-	-	12	8.1
DC-26	231.02	96.98	13	25.06	3.61	-	-	-	-	-	-	-	10	15.6
DC-27	156.00	69.32	11	18.50	2.72	4.27	1.06	17	73.10	35.25	5.22	1	8	8.6
DC-28	167.19	70.44	11	19.86	2.57	6.74	1.27	86	90.70	128.07	8.78	4	6	34.2
DC-29	137.89	68.18	12	20.45	2.52	-	-	-	-	-	-	-	5	8.9
DC-30	161.41	71.48	12	20.95	2.96	5.06	1.36	42	59.61	56.84	7.86	3	5	18.0
DC-31	137.76	64.85	11	18.58	2.01	4.12	1.19	127	95.32	107.25	6.41	3	5	23.6
DC-32	145.95	71.31	11	15.73	2.61	3.45	1.28	91	63.01	117.46	6.80	1	6	16.1

**Continuación CUADRO 5. Medición de los caracteres**

ID	Carácter													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DC-33	199.63	79.05	12	22.64	3.06	-	-	28	-	-	-	-	7	23.9
DC-34	129.50	56.63	12	13.76	2.62	3.03	2.53	167	97.17	133.85	6.59	1	4	18.3
DC-35	122.62	55.41	9	20.17	2.39	-	-	68	-	-	-	-	7	20.9
DC-36	132.16	57.53	11	16.32	2.35	-	-	-	-	-	-	-	7	22.4
DC-37	138.49	61.96	10	21.11	2.60	-	-	-	-	-	-	-	6	22.7
DC-38	128.38	64.23	10	10.58	2.39	-	-	-	-	-	-	-	4	3.4
DC-39	145.93	54.33	11	14.19	2.22	5.54	1.22	24	66.04	71.48	8.65	3	7	5.9
DC-40	81.92	41.19	8	13.20	1.67	7.99	0.96	61	94.86	88.43	5.26	3	8	18.2
DC-41	94.24	43.39	10	9.65	2.08	4.89	1.02	53	104.22	96.93	5.58	2	14	27.1
DC-42	106.07	49.07	10	9.06	2.07	3.57	1.00	130	112.17	115.03	5.35	2	12	18.3
DC-43	88.11	41.63	9	9.61	1.60	5.72	0.97	206	104.93	103.28	5.97	1	12	29.7
DC-44	143.19	68.10	12	15.04	2.20	-	-	-	-	-	-	-	10	8.5
DC-45	148.67	61.87	11	17.28	2.42	4.70	1.66	50	64.42	86.05	7.06	2	6	22.3
DC-46	135.45	57.64	12	17.70	2.56	5.51	1.00	125	81.30	86.66	5.41	2	7	16.2
DC-47	108.10	52.34	10	15.61	2.45	3.73	1.10	91	72.78	66.71	5.56	2	7	8.6
DC-48	119.97	53.48	11	15.08	2.29	4.67	0.96	96	107.52	99.65	6.16	2	6	15.5
DC-49	119.69	56.44	9	16.56	2.08	5.41	1.10	54	100.51	71.81	6.91	2	4	20.5
DC-50	90.89	42.10	11	13.26	1.87	3.59	0.98	66	99.13	65.73	6.07	3	5	21.8
DC-51	131.51	42.23	11	12.79	2.02	4.54	1.54	88	71.72	89.53	9.08	3	4	19.0
DC-52	140.55	58.10	11	15.83	2.49	-	-	-	-	-	-	-	4	9.1
DC-53	95.05	48.88	10	15.33	2.10	-	-	-	-	-	-	-	5	12.2
DC-54	142.47	51.06	12	13.58	2.54	-	-	-	-	-	-	-	5	28.8

**D. Normalidad y homogeneidad de varianzas de los caracteres**

**CUADRO 6. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas**

Carácter	Kolmogorov-Smirnov	Levene
	P	P
Largo del limbo de la hoja	0.20	0.95
Ancho de la hoja	0.20	0.76
Número de pares de venas en las hojas	<b>0.00*</b>	0.95
Largo del peciolo	0.20	0.46
Diámetro del peciolo	0.20	0.65
Largo del pedicelo	0.20	0.73

**Continuación CUADRO 6.** Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas

Carácter	Kolmogorov-Smirnov	Levene
	p	p
Diámetro del pedicelo	0.00*	0.82
Número de flores por inflorescencia	0.19	0.44
Largo de inflorescencia	0.20	0.76
Ancho de inflorescencia	0.20	0.32
Diámetro del fruto	0.20	0.93
Número de semillas	0.00*	0.56
Altura del árbol	0.00*	0.00*
Diámetro a la altura del pecho	0.20	0.00*

\*Nivel de significancia =  $p < 0.05$

**E. Coeficiente de variación**

**CUADRO 7.** Coeficiente de variación intrapoblacional para 9 caracteres medidos de *P. dioica*

Localidad	Carácter	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	CV (%)
Aldea Chajmaic, Fray Bartolomé de las Casas	Largo del limbo de la hoja	118.91	144.21	128.79	13.53	2.86
	Ancho de la hoja	51.15	61.12	56.27	4.99	3.97
	Largo del peciolo	12.64	22.09	16.82	4.82	13.05
	Diámetro del peciolo	1.80	2.30	2.12	0.28	24.96
	Largo del pedicelo	3.11	4.45	3.64	0.71	23.15
	Número de flores por inflorescencia	75.00	144.00	119.00	38.22	5.20
	Largo de inflorescencia	80.60	93.08	85.76	6.52	2.98
	Ancho de inflorescencia	65.54	105.54	104.29	22.74	4.57
	Diámetro del fruto	6.30	7.30	6.68	0.54	11.00
Cacerío Salaguna, Fray Bartolomé de las Casas	Largo del limbo de de la hoja	128.43	226.00	163.61	31.90	3.45
	Ancho de la hoja	49.83	90.39	64.78	12.40	5.44
	Largo del peciolo	14.11	21.37	17.50	2.06	8.19
	Diámetro del peciolo	2.19	2.93	2.45	0.34	23.74
	Largo del pedicelo	-	-	-	-	-
	Número de flores por inflorescencia	-	-	-	-	-
	Largo de inflorescencia	-	-	-	-	-
	Ancho de inflorescencia	-	-	-	-	-
	Diámetro del fruto	-	-	-	-	-

**Continuación CUADRO 7.** Coeficiente de variación intrapoblacional para 9 caracteres medidos de *P. dioica*

Localidad	Carácter	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	CV (%)
<b>Aldea Semaj, Chisec</b>	Largo del limbo de la hoja	156.00	184.35	170.20	14.18	2.21
	Ancho de la hoja	69.32	74.42	72.67	2.90	2.34
	Largo del peciolo	1.60	22.65	14.25	11.15	23.43
	Diámetro del peciolo	2.68	2.73	2.71	0.03	6.39
	Largo del pedicelo	4.27	7.86	5.55	2.01	25.54
	Número de flores por inflorescencia	17.00	47.00	35.33	16.07	11.35
	Largo de inflorescencia	65.66	92.21	76.99	13.70	4.81
	Ancho de inflorescencia	35.25	148.43	87.86	57.01	8.59
	Diámetro del fruto	5.22	6.75	6.05	0.77	14.50
<b>Aldea San Isidro, Raxruhá</b>	Largo del limbo de la hoja	129.50	167.19	148.36	15.80	2.68
	Ancho de la hoja	56.63	71.48	66.94	6.38	3.77
	Largo del peciolo	13.76	20.95	17.78	2.97	9.69
	Diámetro del peciolo	2.01	2.96	2.55	0.34	22.87
	Largo del pedicelo	3.03	6.74	4.48	1.48	27.16
	Número de flores por inflorescencia	42.00	167.00	102.60	46.97	6.68
	Largo de inflorescencia	59.61	97.17	81.16	18.31	5.27
	Ancho de inflorescencia	56.84	133.85	108.69	30.72	5.10
	Diámetro del fruto	6.41	8.78	7.28	1.01	13.80
<b>Cobán</b>	Largo del limbo de la hoja	81.92	145.93	103.25	25.47	4.89
	Ancho de la hoja	41.19	54.33	45.92	5.65	5.18
	Largo del peciolo	9.06	14.19	9.65	2.37	15.95
	Diámetro del peciolo	1.60	2.22	1.93	0.28	27.42
	Largo del pedicelo	3.57	7.99	5.54	1.161	19.45
	Número de flores por inflorescencia	24.00	206.00	94.80	73.32	9.03
	Largo de inflorescencia	66.04	112.17	96.44	18.07	4.41
	Ancho de inflorescencia	71.48	115.03	95.03	16.35	4.25
	Diámetro del fruto	5.26	8.65	6.16	1.42	19.34
<b>Aldea Chinamá, Lanquín</b>	Largo del limbo de la hoja	90.89	148.67	122.04	18.94	3.57
	Ancho de la hoja	42.10	61.87	52.30	7.57	5.26
	Largo del peciolo	12.79	17.70	15.47	1.90	8.91
	Diámetro del peciolo	1.87	0.56	2.24	0.26	22.76
	Largo del pedicelo	3.59	5.51	4.59	0.74	18.74
	Número de flores por inflorescencia	50.00	125.00	81.42	26.53	6.33
	Largo de inflorescencia	64.42	107.52	85.34	16.88	4.81

**Continuación CUADRO 7.** Coeficiente de variación intrapoblacional para 9 caracteres medidos de *P. dioica*

Localidad	Carácter	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	CV (%)
Aldea Chinamá, Lanquín	Ancho de inflorescencia	65.73	99.65	80.88	12.91	4.44
	Diámetro del fruto	5.41	9.08	6.61	0.125	5.35

**CUADRO 8.** Coeficiente de variación dentro de las variedades para 9 caracteres medidos de *P. dioica*

Variedad	Carácter	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	CV (%)
Chaparra	Largo del limbo de la hoja	90.89	199.63	135.25	24.34	3.65
	Ancho de la hoja	42.10	79.05	59.05	9.77	5.29
	Largo del peciolo	12.79	22.64	17.13	2.93	9.99
	Diámetro del peciolo	1.87	3.06	2.43	0.30	22.72
	Largo del pedicelo	3.03	6.74	4.55	1.05	22.51
	Número de flores por inflorescencia	28.00	167.00	84.21	37.43	7.27
	Largo de inflorescencia	59.61	107.52	83.60	16.79	4.90
	Ancho de inflorescencia	56.84	133.85	92.47	25.29	5.44
	Diámetro del fruto	5.41	9.08	6.89	1.16	15.64
De montaña	Largo del limbo de la hoja	81.92	231.02	154.83	36.77	3.92
	Ancho de la hoja	41.19	96.98	65.55	13.56	5.62
	Largo del peciolo	1.60	28.5	17.16	5.29	13.40
	Diámetro del peciolo	1.60	3.61	2.42	0.45	27.82
	Largo del pedicelo	3.11	7.99	5.12	1.61	24.78
	Número de flores por inflorescencia	17.00	206.00	95.25	67.20	8.61
	Largo de inflorescencia	65.66	112.17	89.26	15.50	4.41
	Ancho de inflorescencia	35.25	148.43	93.50	28.49	5.71
	Diámetro del fruto	5.22	8.65	6.31	0.99	15.74

## F. Análisis de componentes principales

**CUADRO 9.** Resultados del ACP para los 3 primeros componentes de las muestras colectadas de *P. dioica* considerando 9 caracteres

Carácter	Componente		
	1	2	3
Largo del limbo de la hoja	0.930	0.019	0.138
Ancho de la hoja	0.931	-0.031	0.013

**Continuación CUADRO 9.** Resultados del ACP para los 3 primeros componentes de las muestras colectadas de *P. dioica* considerando 9 caracteres

Carácter	Componente		
	1	2	3
Largo del peciolo	0.677	-0.217	0.118
Diámetro del peciolo	0.878	-0.068	-0.047
Largo del pedicelo	-0.049	-0.171	0.462
Número de flores por inflorescencia	-0.160	0.763	-0.178
Largo de inflorescencia	-0.288	0.614	-0.449
Ancho de inflorescencia	0.072	0.902	0.076
Diámetro del fruto	0.159	0.068	0.903
<b>Autovalores</b>	3.387	1.796	1.081
<b>Variación explicada (%)</b>	37.63	19.95	12.01
<b>Variación acumulada</b>	37.63	57.59	69.60

## G. Análisis multivariante de la varianza

**CUADRO 10.** Resumen de los valores y significancia de los estadísticos del MANOVA para *P. dioica* con respecto a la localidad

Factor	Estadístico	Valor	F	p
Localidad	Traza de Pillai	2.339	1.368	0.118
	Lambda de Wilks	0.018	1.531	0.074
	Traza de Hotelling	8.194	1.530	0.084
	Raíz mayor de Roy	3.754	5.840	0.002

**CUADRO 11.** Resumen de los valores y significancia de los estadísticos del MANOVA para *P. dioica* con respecto a la variedad

Factor	Estadístico	Valor	F	p
Variedad	Traza de Pillai	0.378	0.946	0.518
	Lambda de Wilks	0.622	0.946	0.518
	Traza de Hotelling	0.608	0.946	0.518
	Raíz mayor de Roy	0.608	0.946	0.518

## H. Historial de conglomeración

**CUADRO 12.** Historial de conglomeración

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en que el conglomerado aparece por primera vez		Siguiete etapa
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 1	Conglomerado 2	
1	11	27	1.227	0	0	2
2	11	24	2.263	1	0	15
3	2	47	2.644	0	0	9
4	35	45	3.576	0	0	13
5	1	26	3.760	0	0	17
6	28	30	3.855	0	0	12
7	9	44	4.295	0	0	14
8	31	43	4.309	0	0	33
9	2	48	4.371	3	0	18
10	42	49	4.620	0	0	16
11	38	53	4.810	0	0	32
12	28	36	5.119	6	0	24
13	8	35	5.503	0	4	20
14	9	14	5.530	7	0	25
15	11	17	5.542	2	0	21
16	40	42	5.746	0	10	30
17	1	7	5.894	5	0	31
18	2	34	6.002	9	0	27
19	4	33	6.393	0	0	27
20	8	51	6.603	13	0	32
21	11	29	6.831	15	0	36
22	10	23	7.020	0	0	38
23	41	46	7.607	0	0	45
24	3	28	7.911	0	12	35
25	9	13	8.114	14	0	33
26	15	32	8.153	0	0	34
27	2	4	8.455	18	19	39
28	16	25	9.097	0	0	44
29	12	50	9.218	0	0	42
30	40	52	9.242	16	0	37
31	1	5	9.697	17	0	43
32	8	38	9.937	20	11	41
33	9	31	9.972	25	8	35

**Continuación CUADRO 12. Historial de conglomeración**

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en que el conglomerado aparece por primera vez		Siguiete etapa
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 1	Conglomerado 2	
34	6	15	10.458	0	26	40
35	3	9	11.086	24	33	41
36	11	18	11.092	21	0	38
37	39	40	11.143	0	30	45
38	10	11	12.342	22	36	43
39	2	37	12.748	27	0	42
40	6	19	13.030	34	0	48
41	3	8	13.050	35	32	46
42	2	12	13.823	39	29	47
43	1	10	14.824	31	38	49
44	16	22	14.893	28	0	50
45	39	41	19.150	37	23	51
46	3	21	20.144	41	0	47
47	2	3	21.624	42	46	49
48	6	20	26.106	40	0	50
49	1	2	30.915	43	47	51
50	6	16	33.918	48	44	52
51	1	39	53.386	49	45	52
52	1	6	74.364	51	50	0
<b>Número de casos</b>				<b>52</b>		
<b>Número de etapas</b>				<b>47</b>		
<b>Número de conglomerados</b>				<b>5</b>		

**I. Valores de los caracteres morfométricos descritos en la literatura**

**CUADRO 13. Rango de valores de los caracteres morfométricos descritos en Parker - Árboles de Guatemala (2008)**

Carácter	Rango de valores	Medición
Largo del limbo de la hoja	90-200	mm
Ancho de la hoja	30-90	mm
Largo del peciolo	15-20	mm
Diámetro del peciolo	1.5-2.3	mm

**Continuación CUADRO 13.** Rango de valores de los caracteres morfométricos descritos en Parker - Árboles de Guatemala (2008)

Carácter	Rango de valores	Medición
Largo del pedicelo	2-7	Mm
Número de flores por inflorescencia	-	-
Largo de inflorescencia	60-120	mm
Ancho de inflorescencia	-	mm
Diámetro del fruto	6-8	mm

**J. Registros de herbario**

**CUADRO 14.** Muestras botánicas de *Pimenta dioica* del estudio depositadas en el Herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala

No. registro	Localidad	Altitud	Fecha de colecta	Sexo
19,644	Aldea Chajmaic, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	187	20/06/2017	Hembra
19,645	Aldea Chajmaic, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	187	20/06/2017	Macho
19,646	Cacerío Salaguna, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	190.4	20/06/2017	Hembra
19,647	Cacerío Salaguna, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	190.4	20/06/2017	Macho
19,648	Aldea Semaj, Chisec, Alta Verapaz	180.5	20/06/2017	Hembra
19,649	Aldea Semaj, Chisec, Alta Verapaz	180.5	20/06/2017	Macho
19,650	Aldea San Isidro, Raxruhá, Alta Verapaz	172	21/06/2017	Hembra
19,651	Aldea San Isidro, Raxruhá, Alta Verapaz	172	21/06/2017	Macho
19,652	Cobán, Alta Verapaz	1343	22/06/2017	Hembra
19,653	Cobán, Alta Verapaz	1343	22/06/2017	Macho
19,654	Aldea Chinamá, Lanquín, Alta Verapaz	752	23/06/2017	Hembra
19,655	Aldea Chinamá, Lanquín, Alta Verapaz	752	23/06/2017	Macho