



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS

ÁREA DE FISIOLOGÍA Y GENÉTICA VEGETAL

FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA “PRESIDENTE JUÁREZ”

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE
SELECCIONES AVANZADAS DE FRESA (*Fragaria x
ananassa* Duch.)**

T E S I S

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ING. YOLANDA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

TUTOR: Ph.D. JOSÉ LÓPEZ MEDINA



URUAPAN, MICHOACÁN, MÉXICO, AGOSTO DEL 2015



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

DR. HÉCTOR GUILLÉN ANDRADE
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Caracterización morfológica y productiva de selecciones avanzadas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch)" presentado por la ING. YOLANDA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Morelia, Michoacán, a 17 de agosto de 2015

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA


Dr. José López Medina
Director de Tesis


Dra. Martha Elena Pedraza Santos


Dr. Philippe Lobit


Dr. Sergio Segura Ledesma


Dr. Gilberto Vázquez Gálvez

AGRADECIMIENTOS

¿Cómo le devolveré al Señor todo el bien que me ha hecho?
(Sal 116, 12)

Instituciones:

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

A la Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez"

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Personas:

A mi Tutor, en toda la extensión de la palabra, Ph.D. José López Medina, y a su linda familia.

A mis revisores de tesis:

Dra Martha Elena Pedraza Santos

Dr. Sergio Segura Ledesma

Dr. Philippe Lobit

Dr. Gilberto Vázquez Gálvez

A los tesisistas de nivel licenciatura:

Nereyda Guadalupe Mercado Prado

María Trinidad Pérez Domínguez

Isidro Chapan Abrajan

Leobardo Martínez Gutiérrez

Al Ing. Benjamín Camacho Figueroa, por todas las facilidades otorgadas en el ensayo de campo.

A 'MaCoco' y 'Mauri', como siempre; a la familia Durán Aguilar y a una gran lista de familiares, amigos y conocidos, cuyos nombres y semblantes llevo en mi corazón.

DEDICATORIAS

A la memoria de mi padre Roberto, *R.I.P.*

A mi madre Iraís

A toda mi familia biológica

A mi familia espiritual:

Movimiento de Renovación Católica Carismática en el Espíritu Santo

Parroquia de Cristo Rey, Uruapan, Mich.

A tod@s mis amig@s

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS DEL APÉNDICE.....	vi
RESUMEN GENERAL.....	ix
GENERAL ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL.....	4
1. Importancia del cultivo de la fresa.....	4
2. Clasificación taxonómica y especies de fresa.....	5
3. Descripción botánica de la fresa.....	6
4. Clasificación de las plantas de fresa de acuerdo al fotoperiodo.....	8
5. Crecimiento y desarrollo de la planta de fresa y los principales factores ambientales que lo influyen.....	8
6. Mejoramiento genético de la fresa: generación de nuevas variedades.....	11
7. Origen de las variedades de fresa que se cultivan en Michoacán.....	13
8. Ensayos de caracterización y validación de variedades.....	13
9. Literatura citada.....	19
CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE DIEZ SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) EN INVERNADERO.....	30
Resumen.....	30
Abstract.....	32
1.1. Introducción.....	34
1.2. Materiales y Métodos.....	36
1.3. Resultados y Discusión.....	44

1.4.	Conclusiones.....	63
1.5.	Literatura Citada.....	64
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SEIS SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) EN CAMPO.....		
		69
	Resumen.....	69
	Abstract.....	71
2.1.	Introducción.....	73
2.2.	Materiales y Métodos.....	74
2.3.	Resultados y Discusión.....	77
2.4.	Conclusiones.....	94
2.5.	Literatura Citada.....	95
	DISCUSIÓN GENERAL.....	100
	PERSPECTIVAS.....	104
	APÉNDICE.....	105

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE DIEZ SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN INVERNADERO

Cuadro		Pag.
1.	Lista de 10 selecciones avanzadas de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) y los progenitores que les dieron origen.....	36
2.	Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos vegetativos que presentaron variación en 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero.....	47
3.	Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos a la flor que presentaron variación en 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero.....	49
4.	Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos al fruto que presentaron variación en 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero.....	50
5.	Coeficientes estandarizados asociados a las primeras dos raíces del análisis discriminante de 240 individuos por 27 descriptores morfológicos, utilizados en la caracterización de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch) en invernadero.....	54
6.	Promedios de tres y cinco mediciones de área foliar y contenido de clorofila, respectivamente, de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero.....	55
7.	Número de frutos, peso del fruto, rendimiento por planta y contenido de sólidos solubles (SST) del fruto, de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero. Promedios de 20 cortes de fruta y siete mediciones de SST.....	57

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SEIS SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN CAMPO

Cuadro		Pag.
1.	Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos vegetativos que presentaron variación en seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo.....	80
2.	Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos a la flor que presentaron variación en seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo.....	82
3.	Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos al fruto que presentaron variación en seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo.....	84
4.	Coeficientes estandarizados asociados a las primeras dos raíces del análisis discriminante de 480 individuos por 27 descriptores morfológicos, utilizados en la caracterización de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) en campo.....	87
5.	Área foliar y contenido de clorofila de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo. Promedios de tres mediciones.....	88
6.	Número de frutos, peso del fruto, rendimiento por planta y contenido de sólidos solubles (SST) del fruto, de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo. Promedio de 17 cortes de fruta y cuatro mediciones de SST.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE DIEZ SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN INVERNADERO

Figura		Pag.
1.	Distribución de 10 selecciones avanzadas y dos variedades comerciales de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) en las dos primeras raíces del análisis discriminante de 27 descriptores morfológicos utilizados en la caracterización de estos 12 genotipos en invernadero.....	53
2.	Dinámica del rendimiento acumulado por planta de 10 selecciones avanzadas (UM0 a UM9) y las variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) Albion (VC1) y Festival (VC2) evaluadas en invernadero.....	62

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SEIS SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN CAMPO

1.	Distribución de seis selecciones avanzadas y dos variedades comerciales de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) en las dos primeras raíces del análisis discriminante de 27 descriptores morfológicos utilizados en la caracterización de estos ocho genotipos en campo.....	86
2.	Dinámica del rendimiento acumulado por planta de seis selecciones avanzadas (UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9) y las variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) Albion (VC1) y Festival (VC2) evaluadas en campo.....	92

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS DEL APÉNDICE

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE DIEZ SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN INVERNADERO

Cuadro		Pag.
1A.	Distancias de Mahalanobis entre 12 genotipos de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluados en invernadero.....	105
2A.	Ecuaciones lineales calculadas para estimar el área foliar por genotipo, de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero.....	106
3A.	Análisis de varianza para el parámetro área foliar de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de tres mediciones.....	106
4A.	Análisis de varianza para el parámetro contenido de clorofila de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de cinco mediciones.....	106
5A.	Análisis de varianza para el parámetro número de frutos de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de 20 cortes de fruta.....	107
6A.	Análisis de varianza para el parámetro peso del fruto de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de 20 cortes de fruta.....	107
7A.	Análisis de varianza para el parámetro rendimiento de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de 20 cortes de fruta.....	107
8A.	Análisis de varianza para el parámetro contenido de sólidos solubles de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de siete mediciones.....	107

Figura		Pag.
1A.	Distribución de 10 selecciones avanzadas (UM's), dos variedades comerciales (VC's) de fresa, así como una variedad silvestre (TS) del género <i>Duchesnea</i> en los dos primeros componentes principales de 32 descriptores morfológicos	105

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SEIS SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN CAMPO

Cuadro		Pag.
9A.	Distancias de Mahalanobis entre seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo....	108
10A.	Ecuaciones lineales calculadas para estimar el área foliar por genotipo, de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo.....	109
11A.	Análisis de varianza para el parámetro área foliar de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo; promedio de tres mediciones.....	109
12A.	Análisis de varianza para el parámetro contenido de clorofila de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo; promedio de tres mediciones.....	109
13A.	Análisis de varianza para el parámetro número de frutos de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo; promedio de 17 cortes de fruta.....	110
14A.	Análisis de varianza para el parámetro peso del fruto de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo; promedio de 17 cortes de fruta.....	110
15A.	Análisis de varianza para el parámetro rendimiento de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo; promedio de 17 cortes de fruta.....	110
16A.	Análisis de varianza para el parámetro contenido de sólidos solubles de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) evaluadas en campo; promedio de cuatro mediciones.	110

Figura		Pag.
2A.	Distribución de seis selecciones avanzadas (UM's) y dos variedades comerciales (VC's) de fresa, además de una variedad silvestre (TS) del género <i>Duchesnea</i> , en los dos primeros componentes principales de 33 descriptores morfológicos	108

RESUMEN GENERAL

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SELECCIONES AVANZADAS DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

La fresa en México es de gran importancia socioeconómica por la cantidad de mano de obra que genera y por las divisas de sus exportaciones, pero su producción en este País depende de la importación de plantas madre de variedades generadas en Estados Unidos, de las que los productores deben pagar regalías para poder cultivarlas y comercializarlas. La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) cuenta con un programa de mejoramiento genético cuya meta es desarrollar y validar variedades de fresa adaptadas a las condiciones de Michoacán. En el presente trabajo se planteó como objetivo general caracterizar morfológica y productivamente diez selecciones avanzadas de fresa generadas por la UMSNH, bajo condiciones de invernadero y campo, a fin de proponer el registro de al menos una de ellas como nueva variedad en el catálogo del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). En octubre y noviembre del 2013 se establecieron dos experimentos, uno con 10 y otro con seis selecciones avanzadas (UM), bajo condiciones de invernadero y campo, respectivamente; en cada experimento se incluyeron dos variedades comerciales (VC) contrastantes en su fotoperiodo (Albion y Festival), además de una especie silvestre del género *Duchesnea* (TS) como grupo externo. Para la descripción morfológica se utilizaron como referencia los 48 descriptores señalados para fresa por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). Un análisis por componentes principales reveló que las selecciones avanzadas y las variedades comerciales formaron un solo conjunto, separado éste completamente de TS, con el que no obstante coincidieron en 16 y 15 caracteres en invernadero y campo, respectivamente. Un análisis discriminante, con exclusión de TS, mostró que, bajo condiciones de invernadero, 27 de los 48 descriptores presentaron variación entre los genotipos, de los cuales dos fueron relativos a la planta, cinco a la hoja, cuatro a la flor y 16 al fruto, mientras que tres fueron relativos a la planta, seis a la hoja, cinco a la flor y 13 al fruto en el experimento de campo. En condiciones de invernadero, los genotipos fueron similares en el porte de planta (POR), brillo de la hoja (HBR), color del haz del pétalo (PCH) y disposición de los pétalos (PET) bajo invernadero, mientras que en campo lo fueron en POR, PCH y brillo del fruto

(FRB). Al graficar los resultados del análisis discriminante se formaron dos y cinco subconjuntos de individuos en invernadero y campo, respectivamente. En invernadero UM0, UM1, UM3, UM5, UM6, UM7, UM8 y UM9 se agruparon con las variedades comerciales, mientras que el segundo subconjunto lo conformaron UM2 y UM4. En campo se formaron cinco subconjuntos: UM0; UM1, UM8 y VC1; UM9 y VC2; UM2; UM4. Los caracteres que más contribuyeron a la variación intra- e inter- genotipos en invernadero fueron: porte de tricomas del peciolo (TRI), diámetro de flor (FLD), cavidad del fruto (CAV), densidad foliar (DEF) y anchura en relación con la longitud del foliolo terminal (FAL), entre otros, mientras que en campo fueron: posición de la infrutescencia (PIN), posición de la inserción del cáliz (ICA), anchura de la banda sin aquenios (BAN) y TRI, entre otros. En cuanto a caracteres fisiológicos y productivos, en invernadero, VC1, UM3, UM4 y UM6 mostraron los valores máximos de área foliar (46.88, 45.47, 44.89 y 44.83 cm², respectivamente); UM8 registró el mayor número de frutos (4.95), el mayor rendimiento (25.47 g planta⁻¹) y el mayor rendimiento acumulado (465.72 g planta⁻¹); UM4 mostró el mayor peso del fruto (12.16 g) y UM3 el mayor contenido de sólidos solubles (SST) (8.45 °Brix); en relación con el contenido de clorofila, no hubo diferencias significativas entre genotipos (37.57 y 38.37 SPAD). En campo, UM4 registró el valor máximo para área foliar (85.61 cm²); las lecturas máximas del contenido de clorofila fueron para UM4 y Festival (40.80 y 41.51 SPAD, respectivamente); Festival también presentó el mayor número (6.6) de frutos por planta; UM2 y UM4 registraron los valores máximos de peso del fruto (9.9 y 10.01 g planta⁻¹, respectivamente); UM4, UM8 y Festival exhibieron los más altos valores de rendimiento por planta (55.64, 53.33 y 53.86 g, respectivamente); UM2, UM4, UM8, UM9 y Festival mostraron los valores más altos de rendimiento acumulado por planta (913.16, 932.18, 887.15, 857.31 y 905.87 g, respectivamente); en cuanto a contenido de sólidos solubles, UM8, UM9 y Albion registraron los valores máximos de SST (9.64, 9.56 y 10.02 °Brix, respectivamente). De las selecciones evaluadas en ambas condiciones (invernadero y campo) y con base en los datos obtenidos, UM1, UM2, UM8 y UM9 se proponen para ser evaluadas semicomercialmente; pero de acuerdo a su sanidad y prolificidad, UM8 y UM9 se consideran los candidatos idóneos para proponer su registro ante el SNICS.

Palabras clave: mejoramiento genético, nueva variedad, variación intra- e inter- genotipos.

GENERAL ABSTRACT

MORPHOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERIZATION OF ADVANCED STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* Duch.) SELECTIONS

Strawberry in Mexico is an important socio-economic crop both by the amount of labors and the economic incomes it generates through exportation; however, production entirely depends on the importation of mother plants from varieties generated in the United States of America, and from which growers have to pay royalties to be able to plant and commercialize them. The University of Michoacan (UMSNH) has implemented a breeding program whose main goal is to generate and evaluate strawberry varieties fully adapted to the soil and environmental conditions of Michoacan. The general aim of the present work was to characterize, both morphologically and productively, ten advanced strawberry selections under both greenhouse and field conditions, in order to propose registration of at least one of them to the National Service for Inspections and Certification of Seeds (SNICS). In October and November 2013 two experiments, one with 10 and the other one with six advanced selections (UM), were initiated under both greenhouse and field conditions, respectively; in each experiment two commercial strawberry varieties (VC) contrasting in their photoperiod requirements (Albion and Festival), as well as a wild species (TS) belonging to the *Duchesnea* genus, were also included. Morphological characterization was based on the 48 descriptors of the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) for strawberry. A principal components analysis revealed that both UM and VC formed a single group completely separated from TS; however, both UM, VC and TS were all similar in 16 and 15 characters under greenhouse and field conditions, respectively. With the exclusion of TS, a discriminant analysis showed that, under greenhouse conditions, 27 of the 48 descriptors varied among genotypes, two of them belonging to plants, five of them to leaves, four of them to flowers and 16 of them to fruits; under field conditions, however, three, six, five, and 13 descriptors belonging to plants, leaves, flowers, and fruits, respectively varied among genotypes. Under greenhouse conditions, genotypes were all similar on growth habit (POR), leaf glossiness (HBR), color of upper side of petal (PCH) and on arrangement of petals (PET), while under field conditions genotypes were similar on POR, PCH,

and on fruit glossiness (FRB). Upon plotting the discriminant analysis results, two and five group subsets were differentiated under greenhouse and field conditions, respectively. Under greenhouse conditions, UM0, UM1, UM3, UM5, UM6, UM7, UM8, and UM9 grouped together with the two commercial varieties, while the UM2 and UM4 selections formed the other subset. Under field conditions, five group subsets were differentiated: UM0; UM1, UM8, and Albion; UM9 and Festival; UM2; and UM4. The traits that contributed the most to both inter- and intravariation among genotypes were, under greenhouse conditions, the following: petiole attitude of hairs (TRI), flower diameter (FLD), fruit cavity (CAV), foliar density (DEF), and terminal leaflet length in relation to width (FAL), among others, while under field conditions were the following: TRI, position of inflorescence in relation to foliage (PIN), fruit position of calyx attachment (ICA), and fruit width of band without achenes, among others. With regards to physiology and production related traits, and under greenhouse conditions, Albion, UM3, UM4, and UM6 showed the highest values on leaf area (46.88, 45.47, 44.89 and 44.83 cm², respectively); UM8 had the highest fruit number (4.95), yield (25.47 g plant⁻¹) and accumulated yield (465.72 g plant⁻¹); UM4 showed the highest fruit weight (12.16 g fruit⁻¹); UM3 had the highest soluble solids content (8.45 °Brix); with regards to chlorophyll content, there were no significant differences among genotypes (37.57 to 38.37 SPAD). Under field conditions, UM4 showed the highest leaf area (85.61 cm); highest chlorophyll content was for UM4 and Festival (40.80 and 41.51 SPAD, respectively); Festival also showed the highest fruit number (6.6) per plant; UM2 and UM4 presented the highest fruit weight (9.90 and 10.01 g plant⁻¹, respectively); as to fruit yield, highest values were for UM4, UM8 and Festival (55.64, 53.33 and 53.86 g plant⁻¹, respectively); UM2, UM4, UM8, UM9, and Festival showed the highest accumulated yield (91.16, 932.18, 887.15, 857.31, and 905.87 g plant⁻¹, respectively); as to soluble solids content, UM8, UM9, and Albion exhibited the highest values (9.64, 9.56, and 10.02 °Brix, respectively). Among the evaluated selections under both conditions (greenhouse and field) and based on the collected data, UM1, UM2, UM8, and UM9 are the candidates to be semicommercially evaluated; but, according to their healthiness and productivity, UM8 and UM9 are considered the ideal candidates to propose their registration to the SNICS.

INTRODUCCIÓN GENERAL

México es el segundo país productor más importante de fresa en el mundo, con un total de 360,426 ton cosechadas en 2012 (FAOSTAT, 2015). En el año agrícola 2014, este mismo país produjo 458,971.63 ton de fruta, en un total de 9,965.85 ha, con el mayor volumen (56.5 %) ocurrido en Michoacán, principalmente en el Valle de Zamora (SIAP, 2015). Este cultivo es de gran importancia socioeconómica por la gran cantidad de mano de obra que genera (Pimentel-Equihua y Velázquez-Machuca, 2008) y por los altos ingresos de divisas que entran al país a través de las exportaciones (Sánchez-Rodríguez, 2008); la fresa destaca también por sus propiedades nutraceuticas (Basu *et al.*, 2014). Desafortunadamente, la producción de esta frutilla en México depende casi por completo de la importación de los Estados Unidos de planta madre certificada, de variedades generadas por las Universidades de California y Florida y de las que los productores deben pagar regalías para su comercialización (Plan Rector Sistema Nacional Fresa, 2005).

Las únicas variedades generadas en México por instituciones públicas, como el Colegio de Posgraduados (COLPOS) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), no han tenido mayor aceptación que las variedades extranjeras, lo que se deduce de que no figuran entre las variedades que se reportan como las principales que se cultivan en la región (López-Aranda *et al.*, 2011).

Consciente de la necesidad de generar variedades propias, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), con el apoyo financiero de la Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce, A.C., a partir de 2010 arrancó un programa de mejoramiento genético cuya meta fue desarrollar y validar variedades adaptadas a las condiciones de Michoacán. En un primer ciclo, se seleccionaron 90 genotipos que mostraron características agronómicas aceptables; de estos materiales, 10 han sobresalido por su excelente producción y calidad (sabor, forma y tamaño, entre otras características) de los frutos, además de la sanidad de las plantas. Se estima que algunos de estos materiales presentan cualidades propicias para proponer su registro como nuevas variedades ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Para proponer el registro de nuevas variedades vegetales y obtener su protección, se requiere describir y caracterizar los nuevos materiales, y para ello es necesario realizar el examen de la distinción, homogeneidad y estabilidad de la nueva obtención vegetal. Para la ejecución de dicho examen, es necesario tomar como referencia la introducción general y las directrices elaboradas por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV); las directrices incluyen una lista de caracteres o descriptores con variedades de referencia, niveles de expresión para cada carácter y su nota numérica correspondiente; se deben tomar en cuenta sobre todo los caracteres de importancia para la armonización internacional de las descripciones de variedades (UPOV, 2012). Para describir y caracterizar selecciones avanzadas, pueden incluirse también descriptores desarrollados por otros organismos o instituciones, o los que se considere necesario agregar o adaptar, lo cual depende del objetivo que se pretende lograr con la caracterización de los genotipos en cuestión (Höfer *et al.*, 2012).

Con el interés de contribuir a la mejora de las condiciones actuales de los productores de fresa en Michoacán, y de atender la demanda urgente de contar con variedades de fresa propias, con lo cual se lograría reducir en gran medida uno de los costos de producción más significativos, como lo es la adquisición del material de plantación (Plan Rector Sistema Nacional Fresa, 2005), en el presente trabajo de investigación se ha planteado lo siguiente:

Objetivo general

Caracterizar morfológica y productivamente, bajo condiciones de invernadero y campo, 10 selecciones avanzadas de fresa generadas por la UMSNH y hacer su comparación con dos de las principales variedades comerciales, a fin de contar con la información necesaria para proponer el registro de al menos una de ellas ante el Servicio de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Objetivos específicos

1. Describir, con base en los 48 descriptores morfológicos señalados por la UPOV y en condiciones de invernadero, 10 selecciones avanzadas de fresa generadas por la UMSNH.
2. Comparar, en condiciones de invernadero, tanto las características morfológicas como variables productivas de las selecciones avanzadas con las variedades Albion y Festival.
3. Describir, en condiciones de campo, las selecciones avanzadas de fresa más sobresalientes de la evaluación en invernadero y comparar éstas, tanto morfológica como productivamente, con las dos variedades comerciales Albion y Festival.
4. Generar la información básica necesaria para proponer, ante el Servicio de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), el registro de al menos una de las selecciones.

Hipótesis

Las selecciones avanzadas de fresa generadas por la UMSNH presentan algunas características morfológicas que las hace ser fácilmente distinguibles de las variedades extranjeras Albion y Festival, además de que al menos una de las selecciones avanzadas supera productivamente a tales variedades.

REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

1. Importancia del cultivo de la fresa

México es el segundo país productor más importante de fresa en el mundo, con un total de 360,426 ton cosechadas en 2012 (FAOSTAT, 2015). En México, en el año agrícola 2014, se produjeron 458,971.63 ton de fruta en 9,965.85 ha, con el mayor volumen (56.5 %) ocurrido en Michoacán, principalmente en el Valle de Zamora (SIAP, 2015).

La fresa en México es considerada como un cultivo de gran valor económico, debido a que genera muchas divisas por su producción y venta para consumo en fresco al interior y también para la exportación (Barrera y Sánchez, 2003). Asimismo, por las características propias del cultivo, gran parte de la producción se destina para el procesamiento de productos derivados, sobre todo como fresa congelada, bases de frutas y mermeladas (Boucher y Salas, 2007; Sánchez, 2008).

El cultivo de la fresa involucra dos actividades agronómicas bien diferenciadas, como son la producción de frutas y la producción de plantas (viverismo); cada una de estas actividades genera una demanda de mano de obra de al menos 730 jornales por hectárea por año (Dávalos-González *et al.*, 1992), por lo cual se le puede considerar también como un cultivo de importancia social (ASERCA, 1998); sin embargo, si se considera al cultivo desde la fase agrícola hasta el empaque e industria, se calcula que se generan 1,616 jornales anuales por hectárea ~~por~~ ~~año~~ en forma directa, además de que a su alrededor se desarrolla una actividad comercial muy importante a partir de la distribución de insumos, comercialización, transporte y consolidación de la red de frío (Medina y Aguirre, 2007).

En el aspecto nutricional, la fresa se considera como un alimento funcional, ya que destaca por su alto contenido de vitamina C, ácido fólico y algunos nutrientes como K, Mg, Ca, Fe, Na, Mn y P, entre otros (Basu *et al.*, 2014; Wasim *et al.*, 2012), además de que contiene compuestos fenólicos, como son: flavonoides, comúnmente antocianinas, flavonoles derivados de quercetina y kaempferol, así como catequina (Alvarez-Suarez *et al.*, 2014a; Milivojevic *et al.*, 2011); también contiene taninos hidrolizables, como elagitaninos (ácido elágico) y galotaninos

(Tulipani *et al.*, 2008); asimismo, contiene ácidos fenólicos derivados de los ácidos hidroxibenzoico (ácidos gálico y benzoico) e hidroxinámico (ácido cafeico) y taninos condensados o proantocianidinas (Aaby *et al.*, 2005); también contiene ácidos orgánicos como el cítrico, málico, oxálico y salicílico, entre otros (Pinto *et al.* 2008; Yu *et al.*, 2011). Todos estos compuestos tienen un potente poder antioxidante y algunos de ellos juegan un papel importante en la protección de la piel contra el estrés oxidativo y el envejecimiento celular (Giampieri *et al.*, 2014); también ayudan a disminuir el riesgo de problemas cardiovasculares y trombosis, además de mejorar la función endotelial vascular (Alvarez-Suarez *et al.*, 2014). En general, los frutos tienen un bajo contenido de calorías y son ricos en fibra (Galletta y Bringhurst, 1990); además, por su riqueza en calcio y potasio, son alcalinizantes y facilitan la excreción por vía renal del ácido úrico (Alsina, 1970), y por su contenido de ácido salicílico y salicilatos, pueden utilizarse contra el reumatismo y como analgésicos (Montes, 1986). Asimismo, la raíz de la planta de fresa tiene propiedades anti diarreicas y astringentes, mientras que las hojas en forma de té se usan como refrescantes y diuréticas (Montes, 1986).

2. Clasificación taxonómica y especies de fresa

La fresa pertenece al orden Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Rosales, familia Rosaceae, subfamilia Rosoidae y género *Fragaria*; otros géneros relacionados son *Duchesnea* y *Potentilla*, cada uno con un juego básico de siete cromosomas (Hancock *et al.*, 1990). El género *Fragaria* comprende cuatro grupos de especies que se diferencian por su nivel de fertilidad, éste a su vez asociado con el nivel de ploidía (número cromosómico); estos grupos y las principales especies que comprenden son (Hancock, 1999):

- **Diploides ($2n = 2x = 14$):** *Fragaria vesca* L., *F. viridis* Duch., *F. nilgerrensis* Schelect, *F. daltoniana* J. Gay, *F. nubicola* Lindl., *F. innumae* Makino, *F. yesoensis* Hara, *F. mandshurica* Staudt, *F. nipponica* Lindl., *F. gracilisa* Lozinsk y *F. pentaphylla* Lozinsk.
- **Tetraploides ($2n = 4x = 28$):** *F. corymbosa* Staudt, *F. orientalis* Losinsk y *F. moupinensis* (Franch.) Card.

- **Hexaploides ($2n = 6x = 42$):** *F. moschata* Duch.
- **Octaploides ($2n = 8x = 56$):** *F. iturupensis* Staudt, *F. chiloensis* (L.) Duch., *F. virginiana* Duch. y *F. x ananassa* Duch.

Recientemente se ha descubierto una nueva especie, decaploide ($2n = 10x = 70$), denominada *F. cascadiensis* Hummer sp. nov. (Hummer, 2012).

Fragaria x ananassa es la fresa cultivada (Hancock *et al.*, 1996) y de ella proceden todas las variedades cultivadas comercialmente en el mundo (Hancock, 1999); es un híbrido que se derivó de la cruce entre las especies *F. chiloensis* y *F. virginiana* (Darrow, 1966).

En las costas del Pacífico de Columbia Británica, Washington, Oregon y el norte de California se han encontrado híbridos naturales de *F. x ananassa*; estos híbridos han sido denominados como *F. x ananassa* nm. *cuneifolia* (Staudt, 1962).

3. Descripción botánica de la fresa

La fresa es una planta perenne, descrita como herbácea, que en realidad es una planta leñosa verdadera debido a la presencia de xilema secundario en raíces y coronas (Darrow, 1966; Esau, 1977). El tallo se conoce como corona; es un órgano comprimido y de él se originan raíces, coronas axilares, estolones, hojas e inflorescencias (Hancock, 1999).

Las raíces emergen de la base de la corona; su crecimiento ocurre una vez que se ponen en contacto con el suelo húmedo (Darrow, 1966). Cuando alcanzan de 2 a 5 cm de longitud, las raíces empiezan a ramificarse en una masa fibrosa, y continúan haciéndolo mientras haya condiciones adecuadas de humedad (Hancock, 1999). Una planta generalmente puede presentar de 20 a 30 raíces primarias; de éstas se originan cientos de raíces secundarias, terciarias y de órdenes superiores; hasta un 90% de las raíces se concentra en los primeros 10-15 cm del suelo (Dana, 1980). Las raíces pueden ser colonizadas por hongos micorrizogénicos vesículo-arbusculares (Khanizadeh *et al.*, 1995).

La corona consiste en un núcleo central rodeado de un anillo de haces vasculares y

compuesto principalmente por tejido medular; a lo largo de la corona y en un arreglo espiral se localizan las hojas, las cuales son generalmente pinnadas y trifoliadas, con la epidermis, el parénquima y el mesófilo típicos de las dicotiledóneas, con estomas ubicados únicamente en el envés (Darrow, 1966). En la punta de cada hoja de la corona se localiza una yema axilar; ésta puede dar lugar a estolones, coronas axilares, o simplemente puede permanecer en dormancia dependiendo de las condiciones ambientales (Hancock, 1999).

Los estolones son tallos postrados de dos nudos que se originan de yemas axilares de la corona; el primer nudo puede permanecer en dormancia o dar origen a otro estolón (Darrow, 1966); en el segundo nudo se origina una planta hija; a su vez, cada planta hija tiene la capacidad de producir sus propios estolones (Hancock, 1999). La planta madre transfiere agua, nutrientes y asimilados a la planta hija a través del estolón desde unas cuantas semanas hasta por varios meses (Alpert, 1996; Darrow, 1966), aunque se ha comprobado que el transporte a través del estolón es bi-direccional (Savini *et al.*, 2008). Una vez enraizadas las plantas hijas, éstas pueden sobrevivir de manera independiente 2 o 3 semanas después de separadas de la planta madre (Hancock, 1999). Una planta vigorosa puede producir de 10 a 15 estolones (Hancock, 1999); éstos a su vez llegan a generar de 40 a 50, o hasta 100 o más plantas hijas en una sola temporada (Galletta y Bringham, 1990; Savini *et al.*, 2008).

La inflorescencia es un tallo modificado (cimo) compuesto por una flor primaria, dos flores secundarias, cuatro terciarias y cuatro cuaternarias; cada flor con 10 sépalos, 5 pétalos de 20-30 estambres y 60-600 pistilos, con el mayor número de estos últimos en la flor primaria (Hancock, 1999). El polen madura generalmente antes de que las anteras abran, pero no se libera hasta que la flor está completamente abierta; permanece viable por 2-3 días, mientras que los estigmas permanecen receptivos por 8-10 días; la fertilización ocurre 24-48 horas después de la polinización (Hancock *et al.*, 1996).

El fruto de la fresa es un agregado compuesto por numerosos ovarios, cada uno de éstos con un solo óvulo (Darrow, 1966). Las semillas, llamadas "aquenios", son los frutos verdaderos y se encuentran enclavados en el receptáculo. El receptáculo consta de tres capas: epidermis, corteza y médula; las dos últimas capas están separadas entre sí por haces vasculares (Hancock, 1999). El crecimiento del receptáculo está en función del número de aquenios formados, lo cual

a su vez depende de factores como el tamaño y forma de los óvulos, la madurez del fruto y la fertilización, entre otros (Darnell, 2003).

4. Clasificación de las plantas de fresa de acuerdo al fotoperiodo

Según su tendencia a iniciar yemas florales, las variedades de fresa se clasifican en tres tipos, de acuerdo al fotoperiodo y/o la temperatura:

- **Plantas de día corto.** Inician yemas florales cuando los días presentan menos de 14 h de luz o temperaturas menores de 15 °C (Guttridge, 1985; Larson, 1994); sin embargo, por arriba de 15 pero menos de 26 °C, el fotoperiodo crítico para la inducción floral es de 8-12 h (Hancock, 1999). La inducción floral ocurre una vez que las hojas son expuestas a varios ciclos fotoinductivos (combinaciones día-noche) y/o de temperatura (Galleta y Bringhurst, 1990).
- **Plantas de día neutro.** La inducción floral ocurre independientemente de la duración del día; sin embargo, el proceso se detiene si las temperaturas diurnas son altas (> 26 °C), tal como ocurre en plantas de día corto (Durner y Poling, 1988; Durner *et al.*, 1984).
- **Plantas de día largo.** La iniciación de yemas florales ocurre en días con más de 12 h de luz, siempre y cuando las temperaturas sean moderadas (Hancock, 1999; Hancock *et al.*, 1996).

5. Crecimiento y desarrollo de la planta de fresa y los principales factores ambientales que lo influyen

- **Crecimiento de raíces**

El mayor crecimiento de raíces ocurre durante la primavera y el otoño, cuando las temperaturas son frescas, idealmente cuando oscilan entre 7 y 13 °C (Hancock, 1999). Durante la etapa de fructificación, el sistema radical es el único tejido que exhibe una disminución en su biomasa (May *et al.*, 1994); sin embargo, después de que las hojas cesan de proliferar en el

otoño, las raíces continúan creciendo y éstas permanecen activas hasta la llegada del invierno, una vez que el suelo se congela (Hancock, 1999). Por otro lado, el crecimiento de la parte aérea de la planta depende en gran medida de la temperatura de las raíces, con un mayor crecimiento de brotes cuando las raíces se encuentran entre 24 y 26 °C, pero con una marcada disminución a temperaturas superiores a 32 °C (Nishizawa y Hori, 1993).

- **Crecimiento de hojas**

La formación de hojas ocurre durante toda la etapa de crecimiento, tanto en plantas de día neutro como en las de día corto, pero la mayor cantidad se presenta durante los días largos; sin embargo, la producción de hojas cesa una vez que las temperaturas de otoño alcanzan 0 °C y disminuye fuertemente con temperaturas > 30 °C durante el verano, con un crecimiento óptimo entre 15 y 26 °C (Hancock, 1999). Las plantas que se mantienen a altas temperaturas presentan copas más pequeñas que aquellas que se encuentran en condiciones frescas, lo que a su vez conlleva a una marcada reducción en el rendimiento (Tehranifar *et al.*, 1998). La reducción en el alargamiento de peciolo es la primera señal de la detención del crecimiento vegetativo causado por acortamiento del fotoperiodo, aspecto que se puede medir hasta dos días después de un primer ciclo de fotoperiodo corto; la división celular se reduce aproximadamente dos semanas después de exposición a fotoperiodo corto (Wiseman y Turnbull, 1999).

- **Formación de estolones**

Días largos y temperaturas altas favorecen la formación de estolones (Galleta y Bringhurst, 1990). En plantas de día corto, los estolones se producen en la base de las hojas nuevas después de la floración; su formación ocurre principalmente en fotoperiodos largos (> 12 h de luz) y cuando las temperaturas oscilan entre 21 y 30 °C (Durner *et al.*, 1984; Heide, 1977; Hellman y Travis, 1988; Le Mièrre *et al.*, 1996); sin embargo, la producción de estolones cesa una vez que los días se acortan en el otoño (< 12 h de luz) y cuando las temperaturas alcanzan 0 °C (Hancock, 1999). En plantas de día neutro y largo, debido a que el periodo de floración tiende a ser continuo, la mayor formación de estolones también ocurre en fotoperiodos largos y temperaturas moderadas, pero es mucho más esporádica que en las plantas de día corto

(Sønsteby y Heide, 2007); por lo tanto, los estolones generalmente son producidos en el verano y rara vez en el invierno (Darrow, 1966; Durner *et al.*, 1984; Smeets, 1979); por otro lado, el número de estolones puede aumentar entre mayor sea el tiempo de exposición al frío (Hamano *et al.*, 2009; Tehranifar *et al.*, 1998; Watanabe *et al.*, 2009).

- **División de coronas**

La eliminación de estolones es una práctica que promueve el desarrollo de coronas secundarias; sin embargo, un exceso de ramificación de coronas puede tener efectos negativos en la producción de frutos (Galleta y Bringhurst, 1990; Cherquitte *et al.*, 1991). El fotoperiodo también influye en la división de coronas. La exposición de plantas a un fotoperiodo de 15 h favoreció la iniciación de coronas laterales a partir de yemas axilares de la corona principal en la variedad Korona, pero el proceso de división fue más efectivo a un fotoperiodo de 12 h, mientras que con 18 h de luz no hubo respuesta alguna (Konsin *et al.*, 2001).

- **Floración**

La inducción floral, indicada por el primer cambio morfológico del meristemo apical, marca el inicio de la transición de un ápice vegetativo a otro floral en respuesta a una señal ambiental o de desarrollo vegetativo (Darnell *et al.*, 2003). La transición de un ápice vegetativo a otro floral inicia con un ensanchamiento y a la vez un levantamiento del meristemo apical, seguido por la formación de la flor y bráctea primarias; luego sigue la aparición del primordio de la flor secundaria y los órganos florales primarios, iniciando con los sépalos hasta finalizar con los carpelos (Taylor *et al.*, 1997). En plantas de día corto, el fotoperiodo es un factor primordial para la inducción floral, aunque hay una fuerte interacción entre éste y la temperatura. Con temperaturas > 15 °C, la mayoría de las variedades de día corto tienen un requerimiento obligatorio de fotoperiodo corto, pero con temperaturas menores el papel del fotoperiodo como proceso inductor se reduce (Guttridge, 1985; Heide, 1977); por otro lado, en plantas de día neutro la inducción floral ocurre en una etapa muy temprana (Sønsteby y Heide, 2007).

En resumen, los principales factores ambientales que condicionan la respuesta fisiológica de las plantas de fresa son los siguientes (Galleta y Bringhurst, 1990):

- **Fotoperiodo.** Días largos favorecen una respuesta asexual (crecimiento de plantas y formación de estolones), mientras que días cortos favorecen una respuesta sexual (desarrollo de flores y frutos).
- **Temperatura.** Una respuesta asexual se puede ver favorecida con temperaturas relativamente altas durante el verano, o bien relativamente bajas durante el invierno. Una respuesta sexual se favorece con temperaturas relativamente bajas durante el verano o relativamente altas durante el invierno.
- **Acumulación de frío (-1.0 a 9 °C).** Demasiado frío favorece una respuesta asexual, mientras que poco frío estimula una respuesta sexual.

6. Mejoramiento genético de la fresa: generación de nuevas variedades

Los pasos básicos para la generación de nuevas variedades de fresa son los siguientes:

- **Elección de los progenitores.** Se eligen variedades existentes o genotipos avanzados no liberados; puede emplearse también algún material silvestre; los progenitores deben tener alguna característica de interés que se desee obtener en la progenie, además deben ser contrastantes en dichas características (Galleta y Maas, 1990).
- **Generación de variabilidad genética (poblaciones segregantes).** Después del entrecruzamiento de los progenitores, la semilla obtenida se germina (Hancock *et al.*, 1996), luego se realiza el trasplante a contenedores (charolas), y una vez obtenida la planta de cepellón, ésta se establece en campo (Durner *et al.*, 2002).
- **Selección de genotipos sobresalientes.** Esto se realiza a criterio del mejorador; los caracteres importantes a considerar son generalmente relativos al fruto (tamaño, forma, color, firmeza, sanidad, atractividad, sabor, entre otros) y a la planta (hábito de crecimiento, sanidad, productividad, capacidad de estoloneo, entre otros). Asimismo, es importante considerar la fecha de floración y los días de flor a cosecha. Los genotipos seleccionados se propagan asexualmente y se establecen nuevamente en campo en un

ensayo sin repeticiones; se observa la uniformidad de las características en los clones y se seleccionan los mejores a criterio del mejorador (selecciones avanzadas).

- **Evaluación y depuración de los genotipos seleccionados.** Las selecciones avanzadas se establecen en campo en dos o más localidades bajo un diseño experimental que incluya varias repeticiones; para entonces ya se cuenta con más plantas propagadas asexualmente de cada selección avanzada. Las variables a considerar son: rendimiento, peso medio de frutos, porcentaje de frutos comerciales y de proceso, firmeza, color, contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, pH y capacidad de almacenamiento de los frutos, entre otros.
- **Liberación de nuevos cultivares.** Las plantas de las selecciones avanzadas se propagan asexualmente para obtener cientos de ellas y establecer en varias localidades ensayos semicomerciales que incluyan variedades comerciales para hacer las comparaciones necesarias y elegir el genotipo superior que se convertirá en una nueva variedad.
- **Multiplicación y distribución.** Existen tres tipos de materiales de una variedad: 1) material fundación: material nuclear mantenido libre de virus y de insectos, originado a partir del cultivo de meristemas (Boxus *et al.*, 1977; Hancock, 1999; Vandenberg *et al.*, 1991), 2) material registrado: material producido a partir de material fundación y mantenido aislado, 3) material certificado: plantas originadas de material registrado y utilizadas por viveristas para venta al público.

En EE. UU., las plantas de material registrado se establecen en campos fumigados y bajo estrictas medidas de fitosanidad; las plantas hijas obtenidas son las que se venden a los viveristas, quienes a su vez producen otra generación de plantas hijas, las cuales venden a los productores como “plantas certificadas” (Hancock, 1999).

El material certificado, a su vez, puede usarse para establecer campos de propagación y obtener una siguiente generación de plantas hijas, llamadas plantas “verdes”, como es el caso de los viveristas mexicanos (Dávalos-González, 2003).

7. Origen de las variedades de fresa que se cultivan en Michoacán

Las variedades de fresa que se cultivan en Michoacán proceden principalmente de los programas de mejoramiento de las universidades de California y Florida, de Estados Unidos de Norteamérica (Plan Rector Sistema Nacional Fresa, 2005). También son cultivadas variedades generadas en programas de mejoramiento de la iniciativa privada, como es el caso de 'Sweet Ann', desarrollada por la empresa Lassen Canyon, en Santa Cruz, California en 2005 (Bagdasarian, 2012).

En México, dos instituciones son las que han generado nuevas variedades: el Colegio de Postgraduados (COLPOS), con las variedades CP Zamorana (Rodríguez Alcázar *et al.*, 2010a) y CP Jacona (Rodríguez Alcázar *et al.*, 2010b); y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con las variedades Pakal (Dávalos-González, 2013a) y Nikté (Dávalos-González, 2013b).

Las principales variedades de fresa que se cultivan en Michoacán son Festival (Chandler, 2004), Albion (Shaw y Larson, 2006) y Camino Real (Shaw y Larson, 2002), entre otras (López-Aranda *et al.*, 2011; Plan Rector Sistema Nacional Fresa, 2005). Otras variedades que se han cultivado y/o se están cultivando en Michoacán, aunque en menor proporción que las anteriores, son: Camarosa (Voth y Bringhurst, 1994), Gaviota (Shaw, 1998d), Ventana (Larson y Shaw, 2003), Palomar (Shaw y Larson, 2008a), Mojave (Larson y Shaw, 2012), Aromas (Shaw, 1998a), Diamante (Shaw, 1998b), Pacific (Shaw, 1998c), Monterey (Shaw y Larson, 2009a), San Andreas (Shaw y Larson, 2009b), Portola (Shaw y Larson, 2009c), Benicia (Shaw y Larson, 2012), Rosa Linda (Chandler, 1997), Earlibrite (Chandler, 2002), Carmine (Chandler, 2007) y Winter Dawn (Chandler, 2010).

8. Ensayos de caracterización y validación de variedades

Maureira *et al.* (1996) realizaron una caracterización fenotípica y fenológica de siete accesiones chilenas de *F. chiloensis*, uno de los progenitores de *F. x ananassa*, dada su importancia como fuente de variabilidad genética. Por su parte, Nizhisawa *et al.* (2005) demostraron que accesiones comerciales de *F. chiloensis* pueden alcanzar un dulzor, en cuanto

al contenido de sólidos solubles (SST) y azúcares solubles, semejante o hasta superior al de las variedades comerciales de *F. x ananassa*.

Höfer *et al.* (2012) hicieron una evaluación morfológica de 108 cultivares, auxiliándose de 42 descriptores, de los cuales 10 fueron relativos a la planta y hojas, siete a la flor y 25 al fruto. Estos autores proponen como descriptores primarios los siguientes: hábito de crecimiento de la planta, color y brillo de hojas, tiempo de aparición del primer estolón, sexo de la flor y tiempo de floración, forma y color del fruto, banda sin aquenios, inserción y tamaño del cáliz, firmeza del fruto, color de pulpa, cavidad del fruto y tiempo de maduración. Asimismo, proponen como caracteres secundarios aquellos influenciados fuertemente por el ambiente, como son: rendimiento y caracteres relacionados (peso y número de frutos); sugieren que tales caracteres deben ser analizados en experimentos más detallados.

Rahman *et al.* (2013) caracterizaron 15 accesiones de fresa y evaluaron su comportamiento en campo; estos autores percibieron variación debida al germoplasma, tanto de los caracteres morfológicos, como de los rasgos cuantitativos.

Rho *et al.* (2010) evaluaron la progenie de 11 variedades autofecundadas para elegir los mejores progenitores; seleccionaron tres variedades cuya progenie mostró un vigor de medio-fuerte a fuerte, mayor resistencia a enfermedades y altos rendimientos. Masny y Żurawics (2010) señalan que las plantas de la mayoría de los 10 cultivares que evaluaron se caracterizaron por presentar un variado, pero moderado vigor.

Wu *et al.* (2011) observaron que la luz fría, combinada con alta intensidad de luz, potenció el crecimiento y promovió la formación de estolones en la variedad 'Toyonoka'. Bradford *et al.* (2010) confirmaron que la formación de estolones fue sensible al fotoperiodo y la temperatura, en un ensayo con un cultivar no refloriente y dos genotipos de día neutro, sometidos a seis regímenes de temperatura combinados con fotoperiodo corto (9 h) o largo (16 h). Por su parte, Hasan *et al.* (2011) reportan que el incremento en el número de estolones por planta dependió del fotoperiodo, del cultivar, y de la interacción de éstos. Por otro lado, Li *et al.* (2010) reportan que las diferencias entre variedades en su capacidad para producir estolones estuvo más relacionada con el cultivar que con una alta asimilación de N y P.

Asimismo, en diversos estudios se reportan diferencias significativas en la cantidad de estolones producidos según la variedad, en un número variable de genotipos evaluados (Ahsan *et al.*, 2014; Ara *et al.*, 2013; Sønsteby y Heide, 2008; Ram y Yadav, 2006).

Mookerjee *et al.* (2013) descubrieron que los genotipos reflorecientes casi no producen estolones, con algunas excepciones, las cuales pueden usarse en programas de mejoramiento para generar variedades reflorecientes que produzcan suficientes estolones para su propagación. Gaston *et al.* (2013) elucidaron que la formación de estolones y la floración permanente en la fresa cultivada, están controlados por el locus *FaPFRU*, con efectos positivos en la floración y negativos en la producción de estolones, lo cual, según estos autores, indica que ambos caracteres comparten un control fisiológico común.

Neri *et al.* (2005) evaluaron el efecto de residuos orgánicos en el crecimiento de raíces de 'Tochiotome', y descubrieron que altas cantidades de residuos (30 y 100 %) en el sustrato redujeron el crecimiento de raíces, hojas, foliolo, peciolo y estolones.

Sønsteby *et al.* (2009), en un ensayo con la variedad Korona, que se caracteriza por producir un alto número de flores por inflorescencia, notaron que al incrementarse el número de inflorescencias por estimulación de fertilización nitrogenada y fotoperiodo corto, se reducía el número de flores por inflorescencia; asimismo, observaron un incremento en la longitud del peciolo y el número de estolones, no así en el número de coronas. Por su parte, Kirschbaum *et al.* (2010) reportan que la aplicación foliar de N, al final de la temporada de la planta en vivero, promueve altos rendimientos iniciales o tempranos, aunque no produce un aumento en el rendimiento total de 'Camarosa'.

Rho *et al.* (2012) evaluaron las características de híbridos F_1 y líneas endogámicas (S_8 y S_9) de fresas octoploides y observaron que el vigor débil en los progenitores está relacionado con el vigor débil en los segregantes; descubrieron además un efecto de heterosis en el vigor de la planta, el área foliar y el rendimiento; también observaron que con las autofecundaciones se incrementa el número de flores en la progenie.

Jamali *et al.* (2011) encontraron que las aplicaciones de níquel sólo o en combinación con ácido salicílico incrementaron el área foliar, el peso, el número de frutos y el rendimiento, entre

otros parámetros, en la variedad Pajaro.

Murti *et al.* (2012) estudiaron caracteres anatómicos y morfológicos en mutantes del nivel de ploidía, y observaron que a mayor nivel de ploidía se incrementa el diámetro del peciolo, el grosor de la hoja, el tamaño de estomas, el número de plastidios por célula, las lecturas SPAD para el contenido de clorofila y el tamaño del polen, pero disminuye la densidad de estomas por unidad de superficie y la fertilidad del polen, por lo que no hay formación de frutos.

Kamangar *et al.* (2014) evaluaron el crecimiento y caracteres morfológicos de siete cultivares de fresa en campo, dos de día corto y cinco de día neutro, y encontraron diferencias entre variedades en cuanto al rendimiento, notaron que éste último estuvo correlacionado positivamente con el número de flores y de frutos, y negativamente con el peso del fruto, por lo que proponen preferir cultivares con alto número de flores y de frutos, más que aquellos con frutos de gran peso, para obtener altos rendimientos.

Otros autores que refuerzan esta última propuesta de acuerdo a sus resultados son: Acuña-Maldonado y Pritts (2008) encontraron que el rendimiento fue función del número de frutos más que del tamaño de éstos; Dal Picio *et al.* (2013) mencionan que un alto número de frutos por planta conlleva un bajo peso del fruto; Fraç *et al.* (2009) opinan que el peso del fruto está correlacionado negativamente con el número de flores y concluyeron que el número de frutos depende significativamente del cultivar; Gawronski y Hortynski (2011) obtuvieron una correlación negativa entre el número de flores de la inflorescencia y el peso del fruto; Interiano *et al.* (2014) reportan que el peso del fruto estuvo correlacionado positivamente con el número de óvulos fertilizados (aquenios formados); Ukalska *et al.* (2006) descubrieron una correlación fuerte positiva entre el rendimiento y el número de flores de la inflorescencia; Zorrilla-Fontanesi *et al.* (2011) encontraron una correlación altamente significativa entre el rendimiento y el número de frutos, lo cual implica que el incremento en rendimiento es consecuencia del alto número de frutos, más que del aumento en el peso del fruto. Estos últimos autores también sugieren que la altura y el ancho de la planta pueden estar influenciando el rendimiento, pero los genotipos vigorosos no necesariamente producirán frutos de gran tamaño.

En general, el rendimiento depende fuertemente del genotipo, tal como se ha comprobado en diversos estudios (Ahsan *et al.*, 2014; Ara *et al.*, 2013; Capocasa *et al.*, 2008; Masny y Żurawicz, 2009 y 2010; Ozdemir *et al.*, 2013; Portz y Nonnecke, 2009; Shaw y Larson, 2008b; Sønsteby *et al.*, 2013; Sønsteby y Heide, 2008).

Santos *et al.* (2009) evaluaron variedades y selecciones avanzadas propias de la Universidad de Florida, y concluyeron que 'Festival' es adecuada para producir en las condiciones de Florida y que puede ser complementada durante periodos de baja producción con variedades promisorias más tardías. En otro estudio con 'Festival', Menzel y Smith (2014) registraron valores relacionados con el rendimiento menores a los del ensayo mencionado; estos autores también observaron que el crecimiento y los caracteres productivos de la planta estuvieron fuertemente relacionados con la expansión de las hojas.

Klamkowski y Treder (2008) reportan que el rendimiento disminuyó en tres variedades sometidas a estrés hídrico, aunque la respuesta al estrés fue variable dependiendo del cultivar. Capocasa *et al.* (2008) observaron un fuerte efecto del genotipo en el rendimiento, mayor que el de las condiciones del cultivo, en 20 genotipos evaluados. Bosc *et al.* (2012) registraron los mayores rendimientos en plantas de 'Gariguette' que recibieron condiciones de fotoperiodo corto por 53 días.

Martínez-Bolaños *et al.*, (2008) hicieron una comparación cualitativa de frutos de fresa entre cultivares mexicanos ('CP-Roxana', 'CP-Paola' y 'CP-J') y estadounidenses ('Aromas', 'Camarosa' y 'Festival') y encontraron características aceptables para exportación de fruta en fresco en dos de los cultivares mexicanos, aunque sus frutos resultaron de menor firmeza que los de las variedades extranjeras.

Casierra-Posada *et al.* (2011) registraron un mayor peso del fruto en plantas de 'Chandler' crecidas bajo cobertura amarilla, mientras que el mayor contenido de SST lo consiguieron con la cobertura transparente. Cabilovski *et al.* (2014) no obtuvieron diferencias significativas en el peso del fruto por efecto de la fertilización ni del tipo de acolchado en plantas de la variedad Senga Sengana evaluadas durante dos temporadas. Por su parte, Masny y Żurawicz (2015) encontraron diferencias significativas en el rendimiento y el peso del fruto

según el cultivar, la fecha de plantación, la técnica y el año de cultivo, por lo que sugieren que tales variables dependen grandemente de las condiciones ambientales, especialmente de la humedad del suelo y la temperatura del aire. Pires *et al.* (2006) encontraron que el rendimiento total no varió en plantas del cultivar Campinas IAC-2712 crecidas en invernadero y campo, excepto con el acolchado de plástico negro, donde el rendimiento total fue 23 % más bajo en invernadero que en campo.

Bordonaba y Terry (2009) evaluaron el jugo de ocho variedades europeas para desarrollar un biosensor de glucosa, porque según ellos el parámetro contenido de SST, que se utiliza comúnmente para determinar el dulzor de los frutos, no discrimina satisfactoriamente entre genotipos según su contenido de azúcar. Por su parte, Yu *et al.* (2011) sí encontraron diferencias debidas al genotipo en el contenido de SST, en un estudio que incluía 11 líneas avanzadas y cuatro variedades comerciales. Voča *et al.* (2008) y Whitaker *et al.* (2011) obtuvieron diferencias en el contenido de SST debidas al cultivar en siete y 12 variedades evaluadas, respectivamente.

Por otro lado, Diamanti *et al.* (2012), en un estudio con germoplasma silvestre y de variedades comerciales, encontraron correlaciones fuertes positivas entre el contenido de SST y el contenido de antocianinas, la capacidad antioxidante, y el contenido total de fenoles, entre otros, pero la correlación fue negativa entre el contenido de SST y la firmeza del fruto. Josuttis *et al.* (2012) mencionan que los efectos genéticos fueron mucho más fuertes que los del ambiente en cuanto a la presencia de compuestos bioactivos en el fruto, entre ellos el contenido de SST, en un estudio que involucró tres variedades comerciales de diferente origen geográfico; este último también influyó en las diferencias en el contenido de SST entre variedades.

Ratsep *et al.* (2014) encontraron un mayor contenido de SST en frutos terciarios de plantas de 'Darselect' crecidas en acolchado orgánico con fertilización húmica.

Mackenzie *et al.* (2011), concluyen que las altas temperaturas son el mayor factor responsable del declive del contenido de SST en los frutos al final de la temporada de producción; observaron que el valor medio para este parámetro fue menor a 22 que a 15 °C en frutos de 'Festival'.

9. LITERATURA CITADA

- Aaby K., G. Skrede, and R. E. Wrolstad. 2005. Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 4032-4040.
- Acuña-Maldonado, L. E. and M. P. Pritts. 2008. Carbon and nitrogen reserves in perennial strawberry affect plant growth and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 133: 735-742.
- Ahsan, M. K., H. Mehraj, M. S. Hussain, M. M. Rahman, and AFM J. Uddin. 2014. Study on growth and yield of three promising strawberry cultivars in Bangladesh. *International Journal of Business, Social and Scientific Research* 1: 205-208.
- Alpert, P. 1996. Nutrient sharing in natural clonal fragments of *Fragaria chiloensis*. *Journal of Ecology* 84: 395-406.
- Alsina G., L. 1970. Cultivo de fresas y fresones. SINTES. España. 163 p.
- Alvarez-Suarez, J. M., F. Giampieri, S. Tulipani, T. Casoli, G. Di Stefano, A. M. González-Paramás, C. Santos-Buelga, F. Busco, J. L. Quiles, M. D. Cordero, S. Bompadre, B. Mezzetti, and M. Battino. 2014. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans. *Journal of Nutritional Biochemistry* 25: 289-294.
- Alvarez-Suarez, J. M., L. Mazzoni, T. Y. Forbes-Hernandez, M. Gasparri, S. Sabbadini, and F. Giampieri. 2014a. The effects of pre-harvest and post-harvest factors on the nutritional quality of strawberry fruits: A review. *Journal of Berry Research* 4: 1-10.
- Ara, T., M.R. Karim, M.A. Aziz, R. Karim, R. Islam, and M. Hossain. 2013. Micropropagation and field evaluation of seven strawberry genotypes suitable for agro-climatic condition of Bangladesh. *African Journal of Agricultural Research* 8: 1194-1199.
- ASERCA. 1998. De nuestra cosecha. Fresa. La producción en México y la generación de divisas. *Claridades Agropecuarias* 55: 3-14. Disponible en: <http://www.aserca.gob.mx/sicsa/claridades/revistas/055/ca055.pdf#page=3> (último acceso: 12 de julio de 2015).
- Bagdasarian, J. H. 2012. Strawberry plant named 'Sweet Ann'. United States Plant Patent 22,472 (obtenida el 31 de enero de 2012).
- Barrera C., G. y C. Sánchez B. 2003. Caracterización de la cadena agroalimentaria/agroindustrial nacional, identificación de sus demandas tecnológicas: Fresa. *In: Programa Nacional Estratégico de Necesidades de Investigación y de Transferencia de Tecnología. Fundación Produce Michoacán.* pp: 1-34.

- Basu, A., A. Nguyen, N. M. Betts, and T. J. Lyons. 2014. Strawberry as a functional food: An evidence-based review. *Food Science & Nutrition* 54: 790-806.
- Bradford, E., J. F. Hancock, and R. M. Warner. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135:102–107.
- Bordonaba, J. G., and L. A. Terry. 2009. Development of a glucose biosensor for rapid assessment of strawberry quality: relationship between biosensor response and fruit composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 8220-8226.
- Bosc, J. P., D. Neri, F. Massetani, and A. Bardet. 2012. Relationship between plant architecture and fruit production of the short-day strawberry cultivar Gariguette. *Journal of Berry Research* 2: 105-111.
- Boucher, F. e I. Salas C. 2007. La cadena Productiva de la Fresa en México: El Acceso de los Productores al Mercado. *In: Berdegué, J.A. y X. Sanclemente (Eds). La Fresa en Michoacán. Los Retos del Mercado. Gobierno del Estado de Michoacán. Secretaría de Desarrollo Agropecuario – SEDAGRO. Consejo Estatal de la Fresa – COEFRM, A.C. México. pp: 33-50.*
- Boxus, P. 1974. The production of strawberry plants by *in vitro* micropropagation. *The Journal of Horticultural Science* 49: 209-210.
- Cabilovski, R., M. Manojlovic, D. Bogdanovic, N. Magazin, Z. Keserovic, and B. K. Sitaula. 2014. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) production: Impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture* 101: 67–74.
- Capocasa, F., J. Scalzo, B. Mezzetti, and M. Battino. 2008. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. *Food Chemistry* 111: 872–878.
- Casierra-Posada, F., J. E. Peña-Olmos y A. F. Vargas-Martínez. 2011. Propiedades fisicoquímicas de fresas (*Fragaria* sp) cultivadas bajo filtros fotoselectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64: 6221-6228.
- Chandler, C. K. 1997. Strawberry plant called 'Rosa Linda'. United States Plant Patent 9,866 (Obtenida el 22 de abril de 1997).
- Chandler, C. K. 2002. 'Earlibrite' strawberry plant. United States Plant Patent 13,061 (Obtenida el 8 de octubre de 2002).
- Chandler, C. K. 2004. 'Strawberry Festival' strawberry plant. United States Plant Patent 14,739 (Obtenida el 27 de abril de 2004).
- Chandler, C. K. 2007. 'Carmine' strawberry plant. United States Plant Patent 18,261 (Obtenida el 4 de diciembre de 2007).
- Chandler, C. K. 2010. 'Winter Dawn' strawberry plant. United States Plant Patent 21,558

(Obtenida el 7 de diciembre de 2010).

- Cherquitte, L., J. Sullivan, Y. Desjardins, and R. Bedard. 1991. Yield potential and vegetative growth of summer-planted strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 930-936.
- Dal Picio, M., J. L. Andriolo, D. I. Jänisch, O. J. Schmitt, and M. A. Lerner. 2013. Fruit yield of strawberry stock plants after runner tip production by different cultivars. *Horticultura Brasileira* 31: 375-379.
- Dana, M. N. 1980. The strawberry plant and its environment. *In*: N. F. Childers (Ed.). *The strawberry: cultivars to marketing*. Horticultural Publications. Gainesville, Florida. pp: 32-44.
- Darnell, R. L., D. J. Cantliffe, D. S. Kirschbaum, and C. K. Chandler. 2003. The physiology of flowering in strawberry. *Horticultural Reviews* 28: 325-350.
- Darrow, G. M. 1966. *The Strawberry. History, Breeding and Physiology*. The New England Institute for Medical Research U.S.A. 447 p.
- Dávalos-González, P. A. 2003. Strawberry production in Mexico. pp. 223-226. *In*: N.F. Childers (Ed.). *The Strawberry. A Book for growers, Others*. Dr. Norman F. Childers Publications. Florida, USA. pp: 223-226.
- Dávalos-González, P. A. 2013a. Fresa Pakal. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. FRE-007-180913 (Obtenido el 8 de noviembre de 2013).
- Dávalos-González, P. A. 2013b. Fresa Nikté. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. FRE-008-180913 (Obtenido el 8 de noviembre de 2013).
- Dávalos-González, P. A., J. Castro-Franco, E. Redondo-Juárez, H. Rodríguez-González, G. Díaz-Castro y A. Arévalo-Valenzuela. 1992. Guía para cultivar fresa en Irapuato. Folleto para productores Núm. 1. SARH-INIFAP-CIFAP-GTO. Celaya, Guanajuato, México. 43 p.
- Diamanti, J., F. Capocasa, F. Balducci, M. Battino, J. Hancock, and B. Mezzetti. 2012. Increasing strawberry fruit sensorial and nutritional quality using wild and cultivated germplasm. *PLoS ONE* 7(10): e46470. doi:10.1371/journal.pone.0046470.
- Durner, E. F. and E. B. Poling. 1988. Strawberry developmental responses to photoperiod and temperature. *Advances in Strawberry Production* 7: 6-15.
- Durner, E. F., E. B. Poling, D. G. Himelrick, and J. A. Barden. 1984. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, Junebearing, and everbearing strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109: 396-400.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants*. 2nd Ed. Willey, New York. 576 p.

- FAOSTAT. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production. Crops. Disponible en <http://www.faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (último acceso: 12 de Julio de 2015).
- Fraç, M., P. Michalski, and L. Sas-Paszt. 2009. The effect of mulch and mycorrhiza on fruit yield and size of three strawberry cultivars. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 17: 85-93.
- Gawroński, J. and J. Hortyński. 2011. Hierarchic crossing design in estimation genetic control quantitative traits of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 10: 77-82.
- Galletta, G. J. and J. L. Maas. 1990. Strawberry genetics. *HortScience* 25: 871-878.
- Galletta, G. J. and R. S. Bringham. 1990. Strawberry management. pp. 83-156. *In*: G. J. Galletta, and D. G. Himelrick (Eds.). *Small fruit crop management*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A. pp: 83-156.
- Gaston, A., J. Perrotte, E. Lerceteau-Köhler, M. Rousseau-Gueutin, A. Petit, M. Hernould, C. Rothan, and B. Denoyes. 2013. PFRU, a single dominant locus regulates the balance between sexual and asexual plant reproduction in cultivated strawberry. *Journal of Experimental Botany* 64: 1837–1848.
- Giampieri, F., J. M. Alvarez-Suarez, L. Mazzoni, T. Y. Forbes-Hernandez, M. Gasparrini, A. M. González-Paramàs, C. Santos-Buelga, J. L. Quiles, S. Bompadre, B. Mezzeti, and M. Battino. 2014. Polyphenol-rich strawberry extract protect human dermal fibroblast against hydrogen peroxide oxidative damage and improves mitochondrial functionality. *Molecules* 19: 7798-7816.
- Guttridge, C. G. 1985. *Fragaria x ananassa*. *In*: A. H. Harvey (Ed.) *CRC Handbook of Flowering*, Vol. III. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp: 16-33.
- Hamano, M., H. Yamazaki, M. Morishita, S. Imada. 2009. Effect of chilling and day length on runner of everbearing type strawberry. *Acta Horticulturae* 842: 671-674.
- Hancock, J. F. 1999. Strawberries. *Crop Production Science in Horticulture* 11. CABI Publishing/CAB International, New York. 237 p.
- Hancock, J. F., J. L. Mass, C. H. Shanks, P. J. Breen, and J. J. Luby. 1990. Strawberries (*Fragaria*). *In*: J. N. Moore and J. R. Ballington (Eds.). *Genetic resources of temperate fruit and nut crops*. International Society for Horticultural Science. (ISHS), Wageningen, The Netherlands. pp: 491-546.
- Hancock, J. F., D. H. Scott, and F. J. Lawrence. 1996. Strawberries. *In*: J. Janick and J. N. Moore (Eds.). *Fruit Breeding. Volume II. Vine and small fruits*. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. pp: 419-470.

- Hasan, S. M. Z., I. Al-Madhagi, A. Ahmad, and W. A. B. Yusoff. 2011. Effect of photoperiod on propagation of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Journal of Horticulture and Forestry* 3: 259-263.
- Heide, O.M. 1977. Photoperiod and temperature interactions in growth and flowering of strawberry. *Physiologia Plantarum* 40(1): 21-26.
- Hellman, E. W. and J. D. Travis. 1988. Growth inhibition of strawberry at high temperature. *Advances in Strawberry Production* 7: 36-39.
- Höfer, M., R. Drewes-Alvarez, P. Scheewe, and C. Olbricht. 2012. Morphological evaluation of 108 strawberry cultivars - and consequences for the use of descriptors. *Journal of Berry Research* 2: 191-206.
- Hummer, K. E. 2012. A new species of *Fragaria* (Rosaceae) from Oregon. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 6: 9-15.
- Interiano-Zapata, I., C. M. Bucio-Villalobos, M. D. Salas-Araiza, E. Salazar-Solís, O. A. Martínez-Jaime y R. Wallace Jones. 2014. Effect of pollination of strawberry by *Apis mellifera* L. and *Chrysoberla carnea* S. on quality of the fruits. *Nova Scientia* 7(1): 85-100.
- Jamali, B., S. Eshghi, and E. Tafazoli. 2011. Vegetative and reproductive growth of strawberry plants cv. 'Pajaro' affected by salicylic acid and nickel. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 895-904.
- Josuttis, M., C. Carlen, P. Crespo, R. Nestby, T. B. Toldam-Andersen, H. Dietrich, and E. Krüger. 2012. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. *Journal of Berry Research* 2: 73–95.
- Kamangar, H., A. Rokhzadi, and S. Hesami. 2014. Evaluation of growth and morphological traits of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars under field conditions. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 4: 53-57.
- Khanizadeh, S., C. Hamel, H. Kianmehr, D. Buszard, and D. L. Smith. 1995. Effect of three vesicular-arbuscular mycorrhizae species and phosphorus on reproductive and vegetative growth of three strawberry cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 18: 1073-1079.
- Kirschbaum, D. S. Kirschbaum, K. D. Larson, S. A. Weinbaum, and T. M. DeJong. 2010. Late-season nitrogen applications in high-latitude strawberry nurseries improve transplant production pattern in warm regions. *African Journal of Biotechnology* 9: 1001-1007.
- Klamkowski, K. and W. Treder. 2008. Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 16: 179-188.
- Konsin, M, I. Voipiol, and P. Palonen. 2001. Influence of photoperiod and duration of short-day treatment on vegetative growth and flowering of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 76: 77-82.

- Larson, K.D. 1994. Strawberry. *In*: B. Schaffer and P.C. Anderson (Eds.). Handbook of environmental physiology of fruit crops, Vol. 1. Temperate crops. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp: 271-297.
- Larson, K. D. and D. V. Shaw. 2003. Strawberry plant named 'Ventana'. United States Plant Patent 13,469 (Obtenida el 14 de enero de 2003).
- Larson, K. D. and D. V. Shaw. 2012. Strawberry plant named 'Mojave. United States Plant Patent 22,589 (Obtenida el 20 de marzo de 2012).
- Le Mière P, P. Hadley, J. Darby, and N. Battey. 1996. The effect of temperature and photoperiod on the rate of flower initiation and onset of dormancy in the strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 71: 361-371.
- Li, H., R. Huang, T. Li, and K. Hu. 2010. Ability of nitrogen and phosphorus assimilation of seven strawberry cultivars in a northern Atlantic coastal soil. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.
- López-Aranda, J. M., C. Soria, B. M. Santos, L. Miranda, P. Domínguez, and J. J. Medina-Mínguez. 2011. Strawberry production in mild climates of the world: A review of current cultivar use. *International Journal of Fruit Science* 11: 232-244.
- Mackenzie, S. J., C. K. Chandler, T. Hasing, and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. *Hortscience* 46: 1562–1566.
- Martínez-Bolaños, M., D. Nieto-Ángel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcázar, Ma. T. Martínez-Damián, H. Vaquera-Huerta y O. Carrillo-Mendoza. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 113-119.
- Maureira C., M., A. Lavín A. y A. del Pozo L. 1996. Caracterización fenotípica y fenológica de siete accesiones chilenas de *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. *Agricultura Técnica (Chile)* 56: 201-210.
- May, G.M., M. P. Pritts, and M. J. Kelly. 1994. Seasonal patterns of growth and tissue nutrient content in strawberries. *Journal of Plant Nutrition* 17(7): 1149-1162.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2009. Yielding of new dessert strawberry cultivars and their susceptibility to fungal diseases in Poland. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 17: 191-202.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2010. Productive value of new foreign strawberry cultivars evaluated in 2007-2010. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 18: 273-282.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2015. Season extension possibilities in two polish june-bearing strawberry cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 14: 115-127.

- Medina, R. y M. Aguirre. 2007. El Sistema Fresa en México y Michoacán. *In*: Berdegué, J.A. y X. Sanclemente (Eds). La Fresa en Michoacán. Los Retos del Mercado. 2007. Gobierno del Estado de Michoacán. Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO). Consejo Estatal de la Fresa (COEFRM), A.C. México. pp: 21-31.
- Menzel, C. M. and L. Smith. 2014. The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment. *New Zealand Journal of Crop & Horticultural Science* 42: 60-75.
- Milivojević J., V. Maksimović, M. Nikolić, J. Bogdanović, R. Maletić, and D. Milatović. 2011. Chemical and antioxidant properties of cultivated and wild *Fragaria* and *Rubus* berries. *Journal of Food Quality* 34: 1-9.
- Montes, L. M. 1986. Las fresas. Editorial Albatros, SACI. Argentina. 93 p.
- Mookerjee, S., M. M. Mathey, Ch. E. Finnc, Z. Zhangd, and J. F. Hancock. 2013. Heat tolerance plays an important role in regulating remontant flowering in an F₁ population of octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Berry Research* 3: 151-158.
- Murti, R. H., H. Y. Kim, and Y. R. Yeung. 2012. Morphological and anatomical characters of ploidymutants of strawberry. *International Journal of Agriculture & Biology* 14: 204-210.
- Neri, D., N. Sugiyama, and A. Inujima. 2005. Effects of organic residues on strawberry root growth. *International Journal of Fruit Science* 5: 127-137.
- Nishizawa, T. and Y. Hori. 1993. Effects of defoliation and root heating during rest on leaf growth in strawberry. *Tohoku Journal of Agricultural Research* 43: 3-4.
- Nishizawa, T., S. Nagasawa, Y. Mori, Y. Kondo, and Y. Sasaki. 2005. Characteristics of soluble sugar accumulation in commercially grown *Fragaria chiloensis*. *HortScience* 40: 1647-1648.
- Özdemir, E., N. Kaşka, K. Gündüz, and S. Serçe. 2013. Effects of short day conditioning, chilling and GA3 treatments to yield and fruit quality in strawberry plug transplants aiming early fruit production. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 41: 263-268.
- Pimentel-Equihua, J. L. y M. A. Velazquez-Machuca. 2010. Manual técnico del cultivo de fresa en el Valle de Zamora-Jacona y Tangancícuaro, Michoacán. Consejo Nacional de la Fresa, A.C. Instituto Politécnico Nacional. Zamora, Michoacán, México. 69 p.
- Pinto, M. da S, M. Lajolo, and N. Genovese. 2008. Bioactive compounds and quantification of total elagic acid in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food Chemistry* 107: 1629-1635.
- Pires, R. C.Matos., M. V. Folegatti; F. A. Passos, F. B. Arruda, and E. Sakai. 2006. Vegetative growth and yield of strawberry under irrigation and soil mulches for different cultivation environments. *Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil.)* 63: 417-425.
- Plan Rector Sistema Nacional Fresa. 2005. Segunda fase: Diagnóstico inicial. Base de referencia.

- Estructura estratégica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Tecnológico de Monterrey. INCA Rural. México. 48 p. Disponible en: www.siac.org.mx/planeacion/PRNfresa22... (último acceso: 15 de julio de 2015).
- Portz, D. N. and G. R. Nonnecke. 2009. Effect of removal of runners and flowers from day-neutral strawberries on time of harvest and total yields. Iowa State Research Farm Progress Reports. Disponible en: http://lib.dr.iastate.edu/farms_reports/328 (último acceso: 10 de agosto de 2015).
- Rahman, M. M., M. M. Rahman, M. M Hossain, M. A. K. Mian, and Q. A. Khaliq. 2013. Characterization and field performance of 15 strawberry germoplasm under Bangladesh conditions. SAARC Journal of Agriculture 11: 81-94.
- Ram, R. B. and A. K. Yadav. 2006. Introduction and evaluation of some strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.; Rosaceae) cultivars under Lucknow conditions. Plant Archives 6: 529-531.
- Rätsep, R., E. Vool, and K. Karp. 2014. Influence of humic fertilizer on the quality of strawberry cultivar 'Darselect'. Acta Horticulturae 1049: 911-916.
- Rho, I. R., Y. S. Cho, J. W. Cheong, and H. J. Jeong. 2010. Effects of seed parents on varietal performance in strawberry. Korean Journal of Breeding Science 42: 374-380.
- Rho, I. R., J. G. Woo, H. J. Jeong, H. Y. Jeon, and C. Lee. 2012. Characteristics of F₁ hybrids and inbred lines in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne). Plant Breeding 131: 550-554.
- Rodríguez-Alcázar, J., O. Carrillo-Mendoza y G. Calderón-Zavala. 2010a. CP Zamorana. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Catálogo nacional de Variedades Vegetales. Número de Registro 0500 (Obtenido el 29 de marzo de 2010).
- Rodríguez-Alcázar, J., O. Carrillo-Mendoza y G. Calderón-Zavala. 2010b. CP Jacona. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Catálogo nacional de Variedades Vegetales. Número de Registro 0501 (Obtenido el 29 de marzo de 2010).
- Sánchez-Rodríguez, G. 2008. El Cluster Agroindustrial de Zamora. La Red de Valor Fresa. Fundación PRODUCE Michoacán, A.C. México. 145 p.
- Santos, B. M., C. K. Chandler, M. Ramírez-Sánchez, and T. P. Salamé. 2009. Evaluation of Strawberry cultivars in Florida. International Journal of Fruit Science 9: 419-424.
- Savini, G., V. Giorgi, E. Scarano, and D. Neri. 2008. Strawberry plant relationship through the stolon. Physiologia Plantarum 134: 421-429.
- Shaw, D. V. 1998a. Strawberry plant named 'Aromas'. United States Plant Patent 10,451 (Obtenida el 6 de junio de 1998).
- Shaw, D. V. 1998b. Strawberry plant named 'Diamante'. United States Plant Patent 10,435

- (Obtenida el 9 de junio de 1998).
- Shaw, D. V. 1998c. Strawberry plant named 'Pacific'. United States Plant Patent 10,436 (Obtenida el 9 de junio de 1998).
- Shaw, D. V. 1998d. Strawberry plant named 'Gaviota'. United States Plant Patent 10,461 (Obtenida el 23 de junio de 1998).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2002. Strawberry plant named 'Camino Real'. United States Plant Patent 13,079 (Obtenida el 17 de octubre de 2002).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2006. Strawberry plant named 'Albion'. United States Plant Patent 16,228 (Obtenida el 31 de enero de 2006).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2008a. Strawberry plant named 'Palomar'. United States Plant Patent 19,472 (Obtenida el 25 de noviembre de 2008).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2008b. Performance of early-generation and modern strawberry cultivars from the University of California breeding programme in growing systems simulating traditional and modern horticulture. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83: 648-652.
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2009a. Strawberry plant named 'Monterey'. United States Plant Patent 19,967 (Obtenida el 24 de febrero de 2009).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2009b. Strawberry plant named 'San Andreas'. United States Plant Patent 19,975 (Obtenida el 12 de mayo de 2009).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2009c. Strawberry plant named 'Portola'. United States Plant Patent 20,552 (Obtenida el 15 de diciembre de 2012).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2012. Strawberry plant named 'Benicia'. United States Plant Patent 22,542 (Obtenida el 16 de marzo de 2009).
- SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (Fecha de acceso: 12 de julio de 2015).
- Smeets, L. 1979. Effect of temperatura and day-legth on flower initiation and runner formation in two everbearing strawberry cultivars. *Scientia Horticulturae* 12: 19-26.
- Sønsteby A. and O. M. Heide. 2007. Long-day control of flowering in everbearing strawberries. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82: 875-884.
- Sønsteby A. and O. M. Heide. 2008. Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona, *Scientia Horticulturae* 119: 49-54.
- Sønsteby, A., N. Opstad, U. Myrheim, and O. M. Heide. 2009. Interaction of short day and timing

- of nitrogen fertilization on growth and flowering of 'Korona' strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 123: 204–209.
- Sønsteby, A., N. Opstad, and O.M. Heide. 2013. Environmental manipulation for establishing high yield potential of strawberry forcing plants. *Scientia Horticulturae* 157: 65-73.
- Staudt, G. 1962. Taxonomic studies in the genus *Fragaria*. Typification of *Fragaria* species known at the time of Linnaeus. *Canadian Journal of Botany* 40: 869-886.
- Taylor, D. R., P. T. Atkey, M. F. Wickenden, and C. M. Crisp. 1997. A morphological study of flower initiation and development in strawberry (*Fragaria x ananassa*) using cryo-scanning electron microscopy. *Annals of Applied Biology* 130: 141-152.
- Tehranifar, A., P. Le Mièr, and N. H. Battey. 1998. The effects of lifting date, chilling duration and forcing temperature on vegetative growth and fruit production in the junebearing strawberry cultivar Elsanta. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73: 453-460.
- Tulipani S, B. Mezzetti, F. Capocasa, S. Bompadre, J. Beekwilder, C. H. Ric De Vos, *et al.* 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 696-704.
- Ukalska, J., W. Mądry, K. Ukalski, A. Masny, and E. Żurawicz. 2006. Patterns of variation and correlation among traits in a strawberry germplasm collection (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 14: 5-22.
- UPOV. 2012. Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Fresa. Código UPOV: FRAGA (*Fragaria* L.). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg022.pdf (Fecha de acceso: 28/10/2012).
- Vandenberg, A. A., A. Dale, and W. R. Allen. 1991. Ontario Strawberry plant propagation program. *In*: Dale, A. and J. J. Luby. (Eds.). *The strawberry into the 21st century*. Timber Press, Inc. Oregon, U.S.A. 288 p.
- Voća, S., N. Dobričević, V. Dragović-Uzelac, B. Duralija, J. Družić, Z. Čmelik, and M. S. Babojelić. 2008. Fruit quality of new early ripening strawberry cultivars in Croatia. *Food Technology and Biotechnology* 46: 292-298.
- Voth, V. and R. S. Bringhurst. 1994. Strawberry plant called 'Camarosa'. United States Patent 8,708 (obtenida el 3 de mayo de 1994).
- Wasim, M, N. Khalid, A. Asif, M. Arif, and J. H. Zaidi. 2012. Elemental characterization of strawberry grown in Islamabad by k_0 -instrumental neutron activation analysis and atomic absorption spectrophotometry and its dietary assessment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 292: 1153–1159.
- Watanabe, G., T. Yanagi, N. Okuda, and Y. Saito. 2009. Effect of cold storage duration on runner

production in strawberry plants in winter. *Acta Horticulturae* 842: 729-732.

- Whitaker, V. M., T. Hasing, C. K. Chandler, A. Plotto, and E. Baldwin. 2011. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of university of Florida cultivars and advanced selections. *Hortscience* 46: 553-557.
- Wiseman, N. J. and C. G. N. Turnbull. 1999. Effects of photoperiod and paclobutrazol on growth dynamics of petioles in strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Australian Journal of Plant Physiology* 26: 353-358.
- Wu, C. C., S. T. Hsu, M. Y. Chang, and W. Fang. 2011. Effect of light environment on runner plant propagation of strawberry. *In: Goto, E. and S. Hikosaka (eds) VI International Symposium on Light in Horticulturae. Acta Horticulturae* 907: 297-302.
- Yu, C., M. Ranieri, D. Lv, M. Zhang, M. T. Charles, R. Tsao, D. Rekika, and S. Khanizadeh. 2011. Phenolic composition and antioxidant capacity of newly developed strawberry lines from British Columbia and Quebec. *International Journal of Food Properties* 14: 59-67.
- Zorrilla-Fontanesi, Y., A. Cabeza, P. Domínguez, J. J. Medina, V. Valpuesta, B. Denoyes-Rothan, J. F. Sánchez-Sevilla, and I. Amaya. 2011. Quantitative trait loci and underlying candidate genes controlling agronomical and fruit quality traits in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Theoretical and Applied Genetics* 123: 755-778.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE DIEZ SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN INVERNADERO

RESUMEN

Con el objetivo de realizar una caracterización morfológica y productiva de materiales de fresa, en octubre del 2013 se estableció bajo condiciones de invernadero un experimento con 10 selecciones avanzadas (UM0 a UM9), dos variedades contrastantes en su fotoperiodo (Albion y Festival y una especie silvestre del género *Duchesnea* (TS) como grupo externo. El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones y cuatro plantas por unidad experimental. Para la caracterización morfológica se utilizaron como referencia 48 descriptores señalados para fresa por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. El análisis por componentes principales reveló que las selecciones avanzadas y las variedades de fresa formaron un solo conjunto, separado completamente de TS, con el que sólo coincidieron en 16 caracteres. El análisis discriminante, con exclusión de TS, mostró que 27 de los 48 descriptores presentaron variación entre los genotipos, de los cuales dos fueron relativos a la planta, cinco a la hoja, cuatro a la flor y 16 al fruto; asimismo, los materiales (selecciones y variedades) fueron similares en el porte de planta (POR), brillo de la hoja (HBR), color del haz del pétalo (PCH) y disposición de los pétalos (PET). Al graficar los resultados del análisis discriminante se formaron dos subconjuntos de individuos; por un lado se agruparon las selecciones UM0, UM1, UM3, UM5, UM6, UM7, UM8 y UM9 con las variedades Albion y Festival; por otro lado se agruparon las selecciones UM2 y UM4; los caracteres que más contribuyeron a la variación intra- e inter- genotipos fueron: porte de tricomas del peciolo (TRI), diámetro de flor (FLD), cavidad del fruto (CAV), densidad foliar (DEF) y anchura en relación con la longitud de foliolo terminal (FAL). En cuanto a los caracteres fisiológicos y productivos, Albion, UM3, UM4 y UM6 obtuvieron los máximos valores para área foliar (46.88, 45.47, 44.89 y 44.83 cm², respectivamente), mientras que en la variable contenido de clorofila no hubo diferencias estadísticas; los genotipos exhibieron valores entre 37.57 a 38.37 SPAD. La selección UM8 presentó el mayor número de frutos (4.95), el mayor rendimiento por planta (25.47 g) y el

mayor rendimiento acumulado por planta (465.72 g); UM4 presentó el mayor peso del fruto (12.16 g) y UM3 el mayor contenido de sólidos solubles (8.45 °Brix). Tomando en consideración la sanidad y prolificidad de las plantas, las selecciones UM1, UM2, UM8 y UM9 se proponen para que pasen a la siguiente etapa del programa de mejoramiento que consistirá en una evaluación semicomercial y se espera que al menos una de ellas se convierta en una nueva variedad.

CHAPTER 1. MORPHOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERIZATION OF TEN ADVANCED SELECTIONS AND TWO COMMERCIAL VARIETIES OF STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* Duch.) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

ABSTRACT

With the objective of performing a morphological and productive characterization of strawberry materials, in October 2013 an experiment was conducted under greenhouse conditions in which ten advanced selections (UM0 to UM9), two commercial varieties contrasting in their photoperiod requirements (Albion and Festival) plus a wild species (TS) belonging to the *Duchesnea* genus were evaluated. The experiment was conducted under a completely randomized design replicated five times; each experimental unit consisted of four plants. Morphological characterization was based on the 48 descriptors of the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) for strawberry. A principal components analysis revealed that all UM and the commercial varieties formed a single group completely separated from TS, with which they were similar in 16 characteristics. By excluding TS, a discriminant analysis revealed that 27 of the 48 descriptors varied among genotypes, dealing two of them with plant, five of them with leaf, four of them to flower, and 16 of them to fruit; the materials (advanced selections and commercial varieties) were all similar on growth habit (POR), leaf glossiness (HBR), color of upper side of petal (PCH) and on arrangement of petals (PET). Once the discriminant analysis results were plotted, two group subsets were differentiated; UM0, UM1, UM3, UM5, UM6, UM7, and UM9 grouped together with the two commercial varieties, while the UM2 and UM4 selections formed the other subset. The traits that contributed the most to both inter- and intravariation among genotypes were: petiole attitude of hairs (TRI), flower diameter (FLD), fruit cavity (CAV), foliar density (DEF), and terminal leaflet length in relation to width (FAL). As to physiological and productivity related traits, Albion, UM3, UM4, and UM6 showed the highest values on leaf area (46.88, 45.47, 44.89 and 44.83 cm², respectively), while there were no differences on chlorophyll content, with values ranging from 37.57 to 38.37 SPAD. Selection UM8 showed the highest fruit number (4.95), plant yield (25.47

g), and accumulated yield per plant (465.72 g); UM4 showed the highest fruit weight (12.16 g fruit⁻¹) and UM3 presented the highest soluble solids content (8.45 °Brix). Considering both plant health and productivity, selections UM1, UM2, UM8, and UM9 are the proposed candidates to be semicommercially evaluated; upon this, at least one of them should become a new commercial variety.

1.1. Introducción

Una selección avanzada de fresa es aquella cuya primera planta segregante (selección inicial) ha sido replicada por estolones y establecidos sus clones en una pequeña parcela en campo, sin diseño experimental. Al comprobarse que la característica por la cual se hizo la primera selección se presenta más o menos homogénea en todos los clones, ese lote de plantas se elige por segunda vez (selección avanzada), y se realiza otra multiplicación por estolones de cada una de las plantas, que ahora se consideran como plantas madre. El nuevo lote de clones se establece bajo un diseño experimental para evaluar el comportamiento de cada selección y se deben incluir variedades comerciales (de referencia) para realizar la comparación. La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones vegetales (UPOV) recomienda que la evaluación se lleve a cabo con al menos 20 plantas de cada genotipo en cuestión y que se incluyan variedades de referencia (UPOV, 2012).

Las características a considerar para poder tomar la decisión sobre cuál o cuáles selecciones podrían llegar a liberarse como nuevas variedades tienen que ver en general con la arquitectura de la planta, sanidad de la misma, vigor, tipo de floración y fructificación, capacidad productiva y de estoloneo, entre otros caracteres, así como con las cualidades del fruto, tales como tamaño, forma, color, sabor, firmeza, etc.

Cuando no se cuenta con variedades existentes o generadas especialmente para las condiciones locales, se pretende que las selecciones avanzadas muestren un comportamiento similar a las variedades de referencia, o bien que sean diferentes en al menos una característica, por ejemplo que presenten frutos de mayor firmeza o tamaño, que tengan mayores rendimientos, que exhiban mayor resistencia a enfermedades, etc.

La UPOV señala que las evaluaciones se realicen en campo, pero un ensayo en invernadero resulta en mayor comodidad y control del experimento, y permite comparar, ampliar y complementar la información que se obtiene en campo.

La caracterización morfológica debe complementarse con información sobre el comportamiento fisiológico y productivo de las plantas. Así, el área foliar y más específicamente

el contenido de clorofila en hojas, puede dar una idea aproximada de la eficiencia fotosintética de la planta (Caulet *et al.*, 2013), mientras que el número de frutos está relacionado generalmente con el rendimiento, por lo que a mayor cantidad de frutos producidos, mayor rendimiento se espera de esos genotipos (Galleta y Maas, 1990).

El presente ensayo se planteó con el objetivo de caracterizar morfológica y productivamente en invernadero, 10 selecciones avanzadas de fresa generadas por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y las variedades comerciales Albion y Festival, con ayuda de los 48 descriptores morfológicos señalados para fresa por la UPOV.

1.2. Materiales y métodos

Ubicación del área experimental

El presente trabajo se desarrolló en el invernadero asignado al Programa de Mejoramiento Genético de Frutillas, en la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con sede en la ciudad de Uruapan, Michoacán, cuyas coordenadas geográficas son: 19° 23' 38.8" de latitud Norte y 101° 05' 54.6" de longitud Oeste, a una altitud de 1620 msnm.

Obtención del material vegetal

Plantas de diez selecciones avanzadas (UM0 a UM9; Cuadro 1) y de las variedades Albion (Shaw y Larson, 2006) y Festival (Chandler, 2004) se transportaron de Jacona a Uruapan para su multiplicación mediante la técnica de cepellón (Durner *et al.*, 2002); también se incluyó una variedad silvestre (TS), la cual se obtuvo de los alrededores de la ciudad de Uruapan y se identificó como perteneciente al género *Duchesnea*.

Cuadro 1. Lista de 10 selecciones avanzadas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) y los progenitores que les dieron origen.

Selección avanzada	Progenitores
UM0	Desconocidos
UM1	'Portola' x 'Sweet Charlie'
UM2	Desconocidos
UM3	'Monterey' x 'Sweet Charlie'
UM4	'Monterey' x 'Sweet Charlie'
UM5	'Albion' x 'Festival'
UM6	'Monterey' x 'Sweet Charlie'
UM7	'Albion' x 'CP Zamorana'
UM8	'Monterey' x 'Sweet Charlie'
UM9	'Albion' x 'CP Jacona'

Albion (VC1) es una variedad de día neutro desarrollada por la Universidad de California

y Festival (VC2) es una variedad de día corto generada por la Universidad de Florida.

Establecimiento y diseño del experimento

El experimento se estableció el 15 de octubre del 2013, bajo invernadero, para lo cual se emplearon 13 tratamientos o genotipos (10 selecciones avanzadas, dos variedades comerciales y la variedad de tipo silvestre) y de cada uno se utilizaron 20 plantas. Cada planta se colocó en una maceta de plástico de 3.15 L de capacidad y con un sustrato compuesto por partes iguales de turba, suelo franco y perlita, y enriquecido con un fertilizante completo de liberación controlada. El estudio se condujo bajo un diseño completamente al azar, con 13 tratamientos (genotipos) repetidos cinco veces, con cuatro plantas por unidad experimental.

VARIABLES EVALUADAS

Para la caracterización morfológica se consideraron los 48 descriptores para fresa establecidos por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV).

La lista completa de descriptores con sus niveles de expresión y nota numérica correspondiente se señala a continuación (UPOV, 2012):

- 1. Planta: porte* (POR):** Erecto (1), Medio (2), Postrado (3).
- 2. Planta: densidad del follaje (DEF):** Escasa (3), Media (5), Densa (7).
- 3. Planta: vigor (VIG):** Débil (3), Medio (5), Fuerte (7).
- 4. Planta (modificado): posición de la infrutescencia en relación con el follaje* (PIN):** Por debajo (1), A la misma altura (2), Por encima (3).
- 5. Planta: número de estolones* (NES):** Ausente o muy escasos (1), Escasos (3), Medio (5), Muchos (7).
- 6. Estolón: pigmentación antociánica (PIG):** Ausente o muy débil (1), Débil (3), Media (5), Fuerte (7), Muy fuerte (9).
- 7. Estolón: densidad de la pubescencia (PUB):** Laxa (1), Media (2), Densa (3).

8. **Hoja: tamaño (HTA):** Pequeño (3), Medio (5), Grande (7).
9. **Hoja: color del haz (HCH):** Verde amarillento (1), Verde claro (2), Verde medio (3), Verde oscuro (4), Verde azulado (5).
10. **Hoja: abullonado* (HAB):** Ausente o débil (1), Medio (2), Fuerte (3).
11. **Hoja: brillo* (HBR):** Ausente o débil (1), Medio (2), Fuerte (3).
12. **Hoja: variegación (HVA):** Ausente (1), Presente (9).
13. **Foliolo terminal: anchura en relación con la longitud* (FAL):** Más corto (1), Igual (2), Moderadamente más largo (3), Mucho más largo (4).
14. **Foliolo terminal: forma de la base* (FFB):** Aguda (1), Obtusa (2), Redondeada (3).
15. **Foliolo terminal: borde (FBO):** Serradas (1), Serradas a crenadas (2), Crenadas (3).
16. **Foliolo terminal: forma de la sección transversal (FFS):** Cóncava (1), Plana (2), Convexa (3).
17. **Pecíolo: longitud (PEC):** Corta (3), Media (5), Larga (7).
18. **Pecíolo: porte de los tricomas (TRI):** Ascendente (1), Ligeramente hacia afuera (2), Horizontal (3).
19. **Estípulas: pigmentación antociánica (EPA):** Ausente o muy débil (1), Débil (3), Media (5), Fuerte (7), Muy fuerte (9).
20. **Inflorescencia: número de flores (INF):** Bajo (3), Medio (5), Alto (7).
21. **Pedicelo: porte de los tricomas (PED):** Hacia arriba (1), Ligeramente hacia afuera (2), Horizontal (3).
22. **Flor: diámetro (FLD):** Pequeña (3), Media (5), Grande (7).
23. **Flor: disposición de los pétalos* (PET):** Libre (1), En contacto (2), Solapada (3).
24. **Flor: tamaño del cáliz en relación con la corola* (CRL):** Más pequeño (1), Tamaño idéntico (2), Mayor (3).
25. **Flor: estambre* (EST):** Ausente (1), Presente (9).

- 26. Pétalo: anchura en relación con la longitud (PAL):** Mucho más corto (1), Moderadamente más corto (2), Igual (3), Moderadamente más largo (4), Mucho más largo (5).
- 27. Pétalo: color del haz * (PCH):** Blanco verdoso (1), Blanco (2), Rosa (3), Rojo (4).
- 28. Fruto: anchura en relación con la longitud* (FRA):** Mucho más corto (1), Moderadamente más corto (2), Igual (3), Moderadamente más largo (4), Mucho más largo (5).
- 29. Fruto: tamaño* (FRT):** Muy pequeño (1), Pequeño (3), Medio (5), Grande (7), Muy grande (9).
- 30. Fruto: forma* (FRF):** Reniforme (1), Cónica (2), Cordiforme (3), Ovoide (4), Cilíndrica (5), Romboide (6), Obloide (7), Globosa (8), Cuneiforme (9).
- 31. Fruto: diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos (DIF):** Ninguna o muy leve (1), Leve (3), Moderada (5), Grande (7), Muy grande (9).
- 32. Fruto: color* (FRC):** Amarillo blanquecino (1), Anaranjado claro (2), Naranja medio (3), Rojo anaranjado (4), Rojo medio (5), Rojo oscuro (6), Rojo negruzco (7).
- 33. Fruto: uniformidad del color (FRU):** Uniforme o muy leve irregularidad (1), Ligeramente irregular (2), Muy irregular (3).
- 34. Fruto: brillo (FRB):** Débil (1), Medio (2), Fuerte (3).
- 35. Fruto: uniformidad de la superficie (FUS):** Uniforme o muy leve irregularidad (1), Ligeramente irregular (2), Muy irregular (3).
- 36. Fruto: anchura de la banda sin aquenios (BAN):** Ausente o muy estrecha (1), Estrecha (3), Mediana (5), Ancha (7), Muy ancha (7).
- 37. Fruto: posición de los aquenios* (AQU):** Debajo de la superficie (1), A la misma altura que la superficie (2), Por encima de la superficie (3).
- 38. Fruto: posición de la inserción del cáliz (ICA):** Insertada (1), A la misma altura que el fruto (2), Elevada (3).
- 39. Fruto: porte de los sépalos (SEP):** Hacia arriba (1), Hacia afuera (2), Hacia abajo (3).

- 40. Fruto: diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ):** Mucho menor (1), Ligeramente menor (2), Tamaño idéntico (3), Ligeramente mayor (4), Mucho mayor (5).
- 41. Fruto: adherencia del cáliz (ADH):** Muy débil (1), Débil (3), Media (5), Fuerte (7), Muy fuerte (9).
- 42. Fruto: firmeza (FMZ):** Muy blanda (1), Blanda (3), Media (5), Firme (7), Muy firme (9).
- 43. Fruto: color de la pulpa excluido el corazón (PUL):** Blanquecino (1), Rosa claro (2), Rojo anaranjado (3), Rojo claro (4), Rojo medio (5), Rojo oscuro (6).
- 44. Fruto: color del corazón (COR):** Blanco (1), Rojo claro (2), Rojo medio (3).
- 45. Fruto: cavidad (CAV):** Ausente o pequeña (1), Mediana (2), Grande (3).
- 46. Época de inicio de la floración* (FLO):** Muy temprana (1), Temprana (3), Media (5), Tardía (7), Muy tardía (9).
- 47. Época de inicio de la maduración del fruto (MAD):** Muy temprana (1), Temprana (3), Media (5), Tardía (7), Muy tardía (9).
- 48. Tipo de fructificación (FRN):** Unífera (1), Semibífera o semiflorecente (2), Bífera o reflorecente (3), Fotoindiferente o indiferente al fotoperiodo (4).

Los caracteres señalados con asterisco son importantes para la armonización internacional de las descripciones de variedades (UPOV, 2012).

Las observaciones de la planta referentes al porte (POR), densidad del follaje (DEF) y vigor (VIG) se realizaron un poco antes de la época de inicio de maduración del fruto.

Las observaciones de la estípula y del estolón se efectuaron al final de la temporada de producción. El número de estolones se consideró como ausente o muy escasos si la planta presentaba de cero a cuatro estolones, escasos si tenía de cinco a nueve, medio si presentaba de 10 a 14 estolones, y muchos si los tenía en número de 15 o más.

Las observaciones de los caracteres correspondientes a la hoja se realizaron en hojas jóvenes completamente desarrolladas; se consideraron dos hojas por planta para cada carácter. Para el tamaño de hoja se obtuvo el promedio entre el largo y el ancho de hoja, los cuales se

midieron con una regla graduada de 30 cm, sin considerar peciolo ni estípulas; se anotó pequeño si el promedio era ≤ 9.9 cm, mediano si se encontraba entre 10 y 19.9 cm, y grande si era ≥ 20 cm. Para evaluar el color del haz se utilizó como referencia la tabla de colores Munsell para tejidos vegetales. Para el brillo de la hoja se observó el reflejo de la luz solar en las dos hojas más jóvenes completamente desarrolladas. Para determinar la anchura en relación con la longitud del foliolo terminal, se midió el ancho y el alto del foliolo con una regla graduada de 30 cm; se consideró más corto si la longitud del foliolo era menor respecto al ancho 5 a 14 mm, igual si variaba en ± 4 mm; moderadamente más largo si la longitud del foliolo era mayor con respecto al 5 a 14 mm, y mucho más largo si era mayor más de 14 mm. La longitud del peciolo también se midió con una regla graduada flexible de 30 cm; se consideró “corta” si medía ≤ 6.5 cm, “media” si la longitud se encontraba entre 6.6 y 13.0 cm, y “larga” cuando medía ≥ 13.1 cm.

Las observaciones de la inflorescencia y de la flor individual se efectuaron en plantas que se encontraban en plena floración; se evaluaron dos flores secundarias por planta para cada carácter. Para el número de flores por inflorescencia se obtuvo el promedio del número de flores por inflorescencia por planta; se consideró bajo cuando en promedio la inflorescencia presentaba 5.9 o menos flores, medio si presentaba de 6 a 11.9, y alto si presentaba 12 o más flores. El diámetro de flor se midió con vernier; se consideró a una flor pequeña cuando su diámetro no rebasó los 20 mm, media cuando su diámetro se encontraba entre 21 y 30 mm, y grande cuando el diámetro fue ≥ 31 mm. La anchura del pétalo en relación con la longitud se midió con regla graduada en cm; el pétalo se consideró mucho más corto si el ancho variaba en 4 mm o más con respecto al largo, moderadamente más corto si la longitud era menor que el ancho 2 a 3 mm, igual si variaba en ± 1 mm, moderadamente más largo si la longitud era mayor que el ancho 2 a 3 mm, y mucho más largo si la longitud con respecto al ancho era ≥ 4 mm.

Las observaciones de los caracteres relativos al fruto se realizaron en dos frutos secundarios por planta. La anchura del fruto en relación con su longitud se midió con un vernier; el fruto se consideró mucho más corto si el ancho variaba en 15 mm o más con respecto al largo, moderadamente más corto si la longitud era menor que el ancho 8 a 15 mm, igual si variaba en ± 7 mm, moderadamente más largo si la longitud era mayor que el ancho 8 a 15 mm, y mucho más largo si la longitud con respecto al ancho era ≥ 15 mm. El tamaño del fruto se obtuvo

promediando la longitud, medida con vernier desde la base hasta la punta del fruto, con los diámetros ecuatoriales menor y mayor, medidos con vernier; un fruto se consideró muy pequeño cuando el promedio fue ≤ 10 mm, pequeño cuando se encontraba entre 11 y 20 mm, tamaño medio si tenía entre 21 y 30 mm, grande si estaba entre 31 y 40 mm, y muy grande si era ≥ 41 mm. El color del fruto se determinó con ayuda de la tabla de colores Munsell. Para determinar el brillo del fruto se observó el reflejo de la luz natural en la superficie del mismo.

Con excepción del genotipo silvestre, en todos los genotipos se registraron las variables fisiológicas y productivas siguientes:

Área foliar. Para obtener el área foliar se aplicó el método de la relación entre las medidas lineales y el área de la hoja, para lo cual se tomaron las medidas anchura y longitud máxima de todas las hojas de una planta de cada genotipo y repetición; las hojas se podaron para escanearlas y obtener su área en cm^2 con ayuda del software Imagetool. Así, las medidas obtenidas (longitud, anchura y área) se sometieron a un procedimiento estadístico utilizando el software SAS, versión 8.0 (SAS Institute, Raleigh, NC, 1999), para determinar cuál de las ecuaciones de regresión lineal siguientes era aplicable en cada caso:

$$AF = L \times A \times b + a$$

$$AF = L \times b + a$$

$$AF = A \times b + a$$

Donde: AF = Área foliar; L = Longitud; A = Anchura; a y b = coeficientes propios según el tipo de hoja.

La ecuación para cada genotipo puede verse en el Cuadro 2A. Los registros posteriores de la variable área foliar se realizaron obteniendo la longitud y anchura máximas de todas las hojas de dos plantas por cada genotipo y repetición, y aplicando la ecuación correspondiente con ayuda de una hoja de cálculo electrónica.

Contenido de clorofila (SPAD). Se registró el contenido de clorofila, medido en lecturas SPAD (Markwell *et al.*, 1995; Wood *et al.*, 1993), en dos hojas jóvenes completamente

desarrolladas de cada planta (individuo) por genotipo y repetición; para cada registro se tomó el promedio de tres mediciones realizadas en el foliolo terminal, una cerca del ápice y una a cada lado de la nervadura central.

Peso del fruto. Esta variable se obtuvo mediante una balanza digital portátil marca Escali, modelo PR-500, de 500 g de capacidad y 0.1 g de precisión; se registró el promedio de al menos 10 frutos por genotipo y repetición.

Número de frutos por planta. Se registró la cantidad de frutos ≥ 5 g en cada corte.

Rendimiento por planta. Se registró el rendimiento en g en cada corte de fruta.

Rendimiento acumulado por planta. Se realizaron en total 20 cortes de fruta durante los meses de febrero a julio de 2014, con los cuales se cuantificó y graficó la dinámica del rendimiento acumulado por planta.

Contenido de sólidos solubles del fruto (SST). Las determinaciones de SST se hicieron con ayuda de un refractómetro de mano marca Atago, modelo N-1E, con escala en °Brix de 0-32 %. En total se realizaron siete mediciones durante los meses de abril a junio de 2014, en al menos 10 frutos por unidad experimental de cada genotipo y repetición.

Análisis de datos

Para las variables cualitativas (morfológicas) se realizó un análisis por componentes principales para comprobar que efectivamente el genotipo silvestre (TS) es un grupo externo a las selecciones y variedades y a su vez poder observar que tan relacionadas estaban las últimas. Enseguida se procedió a realizar un análisis discriminante entre las selecciones avanzadas y las variedades; esto se hizo con ayuda del software STATISTICA (StatSoft, Inc., 2004), versión 7, el cual discrimina entre variables y hace el agrupamiento de acuerdo a la variación al interior de cada conjunto y entre conjuntos de casos (individuos). Con las variables fisiológicas y productivas se hicieron análisis de varianza y comparación de medias utilizando el software SAS, versión 8.0 (SAS Institute, Raleigh, NC, 1999).

1.3. Resultados y Discusión

Caracteres morfológicos

El análisis por componentes principales reveló que las selecciones avanzadas y las variedades de fresa formaron un solo conjunto de individuos, separado completamente del genotipo silvestre (TS) (Figura 1A), con el que no obstante fueron similares en 16 caracteres (datos no mostrados).

Las selecciones avanzadas y variedades comerciales no variaron en los caracteres siguientes:

- Caracteres relativos a la planta:
 - Porte (POR): todos los casos presentaron POR semierecto.
 - Posición de la infrutescencia en relación con el follaje (PIN): aunque el programa de estadística no detectó variación en este carácter, se pudo observar que los individuos de UM4, UM7, UM9 y VC2 tuvieron PIN debajo del follaje, los de UM1, UM6, UM8 y VC1 la tuvieron a la misma altura, mientras que los individuos de UM0, UM2 y UM3 la presentaron por encima del follaje. Höfer *et al.* (2012) reportan 54 de 108 cultivares de fresa con PIN a la misma altura. Rahman *et al.* (2013) registraron nueve, cuatro y dos accesiones con PIN debajo, encima y al mismo nivel del follaje, respectivamente; estos autores observaron que PIN por encima del nivel de las hojas es más conveniente para la cosecha.
 - Número de estolones (NES): todos los casos obtuvieron la nota 1 en esta característica, es decir ausentes o muy escasos. Pigmentación antociánica del estolón (PIG): en ningún caso hubo pigmentación en el estolón. Densidad de la pubescencia del estolón (PUB): todos los casos presentaron pubescencia laxa.
- Caracteres relativos a la hoja:

- Color del haz (HCH): más del 95 % de individuos de todos los genotipos presentaron la coloración 7.5GY3/4 (verde medio) de la tabla Munsell. Abullonado (HAB) y variegación (HVA): en ningún caso se presentó HAB ni HVA de la hoja. Brillo (HBR): todos los casos presentaron hojas con la misma intensidad de brillo en su superficie. Borde del foliolo terminal (FBO): todos los casos presentaron FBO con la nota 2, es decir, serradas a crenadas. Pigmentación antocianica de las estípulas (EPA): todos los casos presentaron la misma tonalidad. Porte de los tricomas del pedicelo (PED): todos los casos mostraron pedicelos con tricomas con porte hacia arriba.
- Caracteres relativos a la flor:
 - Disposición de los pétalos (PET): más del 95 % de los individuos de todos los genotipos presentaron los pétalos con la nota 2, es decir en contacto. Estambre (EST): en todos los casos las flores presentaron estambre. Color del haz del pétalo (PCH): todos los casos presentaron flores con pétalos blancos.
- Caracteres relativos al fruto:
 - Color (FRC): más del 95 % de individuos de todos los genotipos produjeron frutos que presentaron la coloración 5R4/10 (rojo medio) de la tabla Munsell. Adherencia del cáliz (ADH): más del 95 % de individuos de todos los genotipos produjeron frutos con ADH débil.
- Época de inicio de la floración (FLO): en todos los casos el inicio de la floración fue inmediato, incluso se hizo necesario cortar las flores para permitir que las plantas vigorizaran más.
- Época de inicio de la maduración del fruto (MAD): igual que en el caso anterior, los individuos de todos los genotipos inmediatamente iniciaron la fructificación. Se observó que en la mayoría de los casos el desarrollo de flor a fruto tomaba alrededor de un mes (datos no mostrados).
- Tipo de fructificación (FRN): en todos los casos la fructificación fue continua.

Al aplicar un análisis discriminante a las selecciones y variedades, 27 de los 48 descriptores presentaron variación, de los cuales, dos fueron relativos a la planta, cinco a la hoja, cuatro a la flor y 16 al fruto.

Los descriptores morfológicos relativos a la planta que variaron fueron densidad foliar (DEF) y vigor (VIG). Estos descriptores arrojaron casi el mismo tipo de información. En efecto, cuando la DEF fue escasa el VIG se presentó débil, cuando fue media VIG también fue medio, y cuando fue densa VIG se mostró fuerte; es más conveniente medir VIG, ya que en éste no sólo se considera la densidad de hojas presentes, sino que se toma en cuenta también su apariencia y el estado general de la planta. En este estudio, del 70 al 85 % de individuos de ocho genotipos obtuvieron la nota intermedia para DEF y VIG, mientras que los otros cuatro empataron en las notas densa y fuerte para esos mismos caracteres, respectivamente. Masny y Żurawicz (2010) obtuvieron cinco cultivares con VIG moderado y cinco con VIG fuerte. En un estudio que implicó 15 accesiones, Rahman *et al.* (2013) encontraron siete, cinco y tres de ellas con DEF media, densa y escasa, respectivamente, y seis, cinco y cuatro de ellas con VIG fuerte, medio y débil, respectivamente. Rho *et al.* (2010) reportan un VIG predominante de medio a fuerte en la progenie de 15 cruzamientos.

Los cinco descriptores morfológicos relativos a la hoja que presentaron variación fueron: tamaño de hoja (HTA, anchura en relación con la longitud del foliolo terminal (FAL), forma de la base del foliolo terminal (FFB), longitud del peciolo (PEC) y porte de tricomas del peciolo (TRI).

En el presente trabajo 10 de 12 genotipos presentaron del 70 al 100 % de individuos con FFB redondeada, mientras que Höfer *et al.* (2012) reportan 50 de 108 cultivares de fresa con FFB aguda-obtusa, y 27 cultivares con FFB obtusa-redondeada.

Se obtuvieron peciolos de longitud corta (≤ 6.5 cm) y media (6.6-13.0 cm), mientras que Kamangar *et al.* (2014) los registraron de longitud media a larga (≥ 13.1 cm), ya que el valor mínimo que obtuvieron en siete cultivares fue de 12.5 cm y el máximo de 19.9 cm. Los resultados presentes fueron similares a los obtenidos por Neri *et al.* (2005): PEC de 8.8 a 12.6 cm, en el cultivar Tochiotome; también se asemejan en parte a los encontrados por Sønsteby *et al.* (2009) en el cultivar Korona: PEC de 8.0 a 24.3 cm. Por su parte, Mauriera *et al.* (1996)

encontraron peciolo de 2.64 a 8.48 cm en siete accesiones silvestres de *Fragaria chiloensis*.

Para mayores detalles sobre los caracteres vegetativos mencionados se presenta el Cuadro 2.

Cuadro 2. Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos vegetativos que presentaron variación en 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero.

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ^z											
		UM0	UM1	UM2	UM3	UM4	UM5	UM6	UM7	UM8	UM9	VC1	VC2
Planta													
Densidad del follaje	Escasa	-	-	5	-	-	-	5	5	5	10	5	-
	Media	50	80	85	85	80	50	80	50	45	85	80	70
	Densa	50	20	10	15	20	50	15	45	50	5	15	30
Vigor	Débil	-	-	5	-	-	-	5	5	5	10	5	-
	Medio	50	80	80	70	80	50	80	50	45	85	65	65
	Fuerte	50	20	15	30	20	50	15	45	50	5	30	35
Hoja													
Tamaño	Pequeño (≤ 9.9 cm)	60	80	100	85	95	90	75	85	75	90	85	65
	Medio (10.0-19.9 cm)	40	20	-	15	5	10	25	15	25	10	15	35
Foliolo terminal													
Anchura en relación con su longitud	Más corto (50-149 mm)	50	70	20	40	25	65	65	90	100	5	15	10
	Igual (± 49 mm)	50	30	60	60	70	35	35	10	-	85	80	55
	Moderadamente más largo (50-149 mm)	-	-	20	-	5	-	-	-	-	10	5	35
Forma de la base	Aguda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
	Obtusa	30	10	25	15	20	5	25	-	10	70	20	70
	Redondeada	70	90	75	85	80	95	75	100	90	30	80	15
Peciolo													
Longitud	Corta (≤ 6.5 cm)	70	100	55	60	50	65	45	75	50	80	80	65
	Media (6.6-13.0 cm)	30	-	45	40	50	35	55	25	50	20	20	35
Porte de los tricomas	Ascendente	-	-	100	-	75	-	10	-	-	-	-	-
	Ligeramente hacia afuera	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	Horizontal	100	100	-	90	25	100	90	100	100	100	100	100

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Los cuatro descriptores relativos a la flor que presentaron variación fueron: número de flores de la inflorescencia (INF), diámetro de flor (FLD), tamaño del cáliz en relación con la corola

(CRL) y anchura del pétalo en relación con su longitud (PAL).

Los resultados para INF coinciden con los reportados en los trabajos siguientes: Bradford *et al.* (2010) lograron $\approx 2.8-12$ INF en tres genotipos; Jamali *et al.* (2011) registraron 4.25-7.22 INF en plantas de 'Pajaro'; Kamangar *et al.* (2014) obtuvieron 3.1-6.2 INF en siete cultivares evaluados. También coinciden parcialmente con los de Höfer *et al.* (2012), quienes obtuvieron toda la gama de niveles de expresión del carácter, es decir INF bajo, medio y alto, con el mínimo valor obtenido de 2.6, media de 7.8 y el valor máximo de 17.8 flores por inflorescencia en promedio, en un total de 108 genotipos evaluados. En efecto, ellos reportan 88 cultivares con la nota para INF muy bajo-bajo, y solamente 11 de ellos obtuvieron la nota alto-muy alto. Sønsteby *et al.* (2009) superaron en mucho los valores del presente trabajo, al haber obtenido INF desde 17.4 hasta 26.9 en 'Korona', cultivar que se caracteriza por producir una gran cantidad de flores por inflorescencia y frutos pequeños. Asimismo, Sønsteby *et al.* (2013) registraron 8.1-14.1 INF en tres cultivares evaluados. Por su parte, Sønsteby y Heide (2008) lograron $\approx 5.5-18.0$ INF en tres variedades.

En este trabajo sólo un bajo porcentaje (5-15 %) de individuos de los genotipos UM4, UM5, UM7, UM8 y VC2 obtuvo la nota de FLD grande (≥ 31 mm), mientras que 11 de 12 genotipos presentaron del 70 al 100 % de individuos con FLD media (21-30 mm). Estos resultados coinciden en parte con los de Höfer *et al.* (2012), quienes reportaron 65 de 108 genotipos de fresa con FLD medio; por su parte, Rahman *et al.* (2013) obtuvieron FLD de medio a grande en 15 genotipos evaluados, con valores de 2.07 a 3.43 cm de FLD; no coinciden con los de Murti *et al.* (2012), pues ellos obtuvieron sólo FLD grande con un promedio de 3.6 cm, aunque de los ocho genotipos que evaluaron seis tenían niveles de ploidía mayores que el de las variedades comerciales.

En el presente trabajo sólo un genotipo obtuvo un 60 % de individuos que presentaron flores con el tamaño del cáliz en relación con la corola (CRL) idéntico, mientras que siete genotipos presentaron del 55 al 95 % de individuos con CRL más pequeño. Höfer *et al.* (2012) reportan que 61 de 108 cultivares presentaron CRL idéntico.

Un resumen detallado de los caracteres relativos a la flor se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos a la flor que presentaron variación en 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero.

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ^z											
		UM0	UM1	UM2	UM3	UM4	UM5	UM6	UM7	UM8	UM9	VC1	VC2
Inflorescencia Número de flores	Bajo (≤ 5.9)	70	60	100	95	95	95	75	70	60	85	60	80
	Medio (6.0-11.9)	30	40	-	5	5	5	25	30	40	15	40	20
Diámetro de flor	Pequeña (≤ 20 mm)	-	-	60	-	20	-	5	-	5	10	10	5
	Media (21-30 mm)	100	100	40	100	70	85	95	90	85	90	90	90
	Grande (≥ 31 mm)	-	-	-	-	10	15	-	10	10	-	-	5
Tamaño del cáliz en relación con la corola	Más Pequeño	10	80	80	40	65	20	95	45	75	55	55	10
	Tamaño idéntico	60	20	20	15	15	10	5	45	20	30	25	45
	Mayor	30	-	-	45	20	70	-	10	5	15	20	45
Anchura del pétalo en relación con su longitud	Mucho más corto (≥ 4 mm)	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	Igual (± 1 mm)	100	100	75	95	90	100	100	95	100	95	95	100
	Moderadamente más largo (2-3 mm)	-	-	20	-	10	-	-	5	-	5	5	-
	Mucho más largo (≥ 4 mm)	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Los dieciséis descriptores relativos al fruto que mostraron variación fueron: anchura en relación con su longitud (FRA), tamaño (FRT), (FRF), diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos (DIF), uniformidad del color (FRU), brillo (FRB), uniformidad de la superficie (FUS), anchura de la banda sin aquenios (BAN), posición de los aquenios (AQU), posición de la inserción del cáliz (ICA), porte de los sépalos (SEP), diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ), firmeza (FMZ), color de la pulpa excluido el corazón (PUL), color del corazón (COR) y cavidad (CAV) (Cuadro 4).

Del 70 al 100 % de los individuos de todos los genotipos produjeron frutos de tamaño medio, pero UM0, UM1, UM4, UM5, UM6, UM9, VC1 y VC2 tuvieron del 5 al 15 % de individuos que produjeron frutos grandes. Estos resultados coinciden parcialmente con los de Höfer *et al.* (2012), quienes de un total de 108 cultivares de fresa evaluados obtuvieron frutos de tamaño

medio, grande y muy grande, con valor mínimo de 22.5 mm, media de 31.5 mm y valor máximo de 42.5 mm.

Cuadro 4. Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos al fruto que presentaron variación en 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero.

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ^z											
		UM0	UM1	UM2	UM3	UM4	UM5	UM6	UM7	UM8	UM9	VC1	VC2
Fruto	Igual (± 7 mm)	90	30	60	60	90	55	90	85	100	80	40	40
	Anchura en relación con su longitud												
	Moderadamente más largo (8-15 mm)	10	70	40	40	10	45	10	15	-	20	50	60
	Mucho más largo (≥ 16 mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-
Tamaño	Pequeño (11-20 mm)	20	-	10	15	5	10	-	20	-	5	5	5
	Medio (21-30 mm)	70	90	90	85	80	75	95	80	100	90	85	90
	Grande (31-40 mm)	10	10	-	-	15	15	5	-	-	5	10	5
Forma	Cónica	70	20	95	45	50	25	40	5	20	15	30	20
	Cordiforme	20	10	-	25	20	35	5	25	-	-	25	-
	Ovoide	10	70	5	30	20	40	50	65	80	80	30	75
	Cilíndrica	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	10	-
	Globosa	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
	Cuneiforme	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5	5	5
Diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos	Ninguna o muy leve	100	90	65	60	70	55	65	60	70	80	70	50
	Leve	-	10	35	35	20	35	20	30	30	20	25	40
	Moderada	-	-	-	5	10	10	15	10	-	-	5	10
Uniformidad del color	Uniforme o muy leve irregularidad	100	100	85	85	70	95	95	85	80	95	90	100
	Ligeramente irregular	-	-	15	15	30	5	5	15	20	5	10	-
Brillo	Medio	40	10	30	25	45	55	50	25	15	35	20	30
	Fuerte	60	90	70	75	55	45	50	75	85	65	80	70
Uniformidad de la superficie	Uniforme o muy leve irregularidad	100	100	85	100	70	55	100	100	95	80	85	80
	Ligeramente irregular	-	-	15	-	25	40	-	-	5	15	15	20
	Muy irregular	-	-	-	-	5	5	-	-	-	5	-	-

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Cuadro 4. (Continuación)

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ^z											
		UM0	UM1	UM2	UM3	UM4	UM5	UM6	UM7	UM8	UM9	VC1	VC2
Fruto													
Anchura de la banda sin aquenios	Ausente o muy estrecha	30	10	30	25	20	40	40	5	15	10	35	15
	Estrecha	70	90	70	60	80	60	50	95	85	80	65	85
	Mediana	-	-	-	15	-	-	10	-	-	10	-	-
Posición de los aquenios	Debajo de la superficie	20	90	70	30	30	5	25	15	65	60	65	75
	A la misma altura que la superficie	80	10	30	70	70	95	75	85	35	40	35	25
Posición de la inserción del cáliz	Insertada	20	-	-	40	30	45	20	35	-	-	20	15
	A la misma altura que el fruto	80	100	100	60	70	55	80	65	100	90	80	85
	Elevada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Porte de los sépalos	Hacia arriba	80	80	70	75	60	90	60	45	80	60	80	35
	Hacia afuera	10	20	25	25	35	10	35	50	20	20	20	65
	Hacia abajo	10	-	5	-	5	-	5	5	-	20	-	-
Diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto	Ligeramente menor	10	10	5	5	45	-	25	10	35	45	10	10
	Tamaño idéntico	20	10	50	30	20	10	40	10	15	30	35	5
	Ligeramente mayor	60	60	35	60	35	80	35	75	50	25	55	70
	Mucho mayor	10	20	10	5	-	10	-	5	-	-	-	15
Firmeza	Firme	80	90	65	65	100	75	90	55	100	95	45	45
	Muy firme	20	10	35	35	-	25	10	45	-	5	55	55
Color de la pulpa excluido el corazón	Rojo claro	-	10	5	15	10	-	10	-	5	-	-	-
	Rojo medio	50	80	35	45	60	65	45	70	70	55	60	15
	Rojo oscuro	50	10	60	40	30	35	45	30	25	45	40	85
Color del corazón	Rojo claro	-	30	5	25	45	5	25	5	35	5	15	-
	Rojo medio	100	70	95	75	55	95	75	95	65	95	85	100
Cavidad	Ausente o pequeña	40	100	75	40	40	10	30	85	20	35	15	70
	Mediana	60	-	25	60	55	85	60	15	80	65	85	30
	Grande	-	-	-	-	5	5	10	-	-	-	-	-

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Siete de 12 genotipos presentaron del 40 al 80 % de individuos con FRF ovoide, y cuatro tuvieron del 45 al 95 % de individuos con FRF cónica. Höfer *et al.* (2012) reportan el 28, 19, 17 y 14 % de cultivares, con FRF cordiforme, cuneiforme, globosa-cónica y obloide, respectivamente.

Todos los genotipos presentaron del 55 al 100 % de individuos con la nota uniforme o

muy leve irregularidad para DIF, mientras que Höfer *et al.* (2012) reportan 54 de 108 cultivares con esa misma nota.

En el presente ensayo 10 de 12 genotipos presentaron más del 50 % de individuos con FRB fuerte y el resto con FRB medio; en el estudio de Höfer *et al.* (2012), 94 de 108 cultivares mostraron FRB con la nota medio.

Todos los genotipos lograron del 55 al 100 % de individuos con FUS uniforme o muy leve irregularidad; Whitaker *et al.* (2011) reportan FUS de 1.8-3.7 en escala de 1-5, donde 5= mayor uniformidad, en 12 genotipos evaluados, incluyendo 'Festival', el cual presentó FUS de 3.0.

Todos los genotipos presentaron del 50 al 95 % de individuos con BAN estrecha, mientras que Höfer *et al.* (2012) reportan que 29, 26, 34 y dos cultivares exhibieron frutos con BAN ausente o muy estrecha, estrecha, mediana y muy ancha, respectivamente.

Seis genotipos presentaron del 60 al 90 % de individuos con AQU debajo y seis tuvieron del 70 al 95 % de individuos con AQU a la misma altura que la superficie del fruto; Höfer *et al.* (2012) obtuvieron la misma proporción de cultivares con AQU debajo, a la misma altura y por encima de la superficie, en 108 cultivares evaluados.

Todos los genotipos presentaron del 55 al 100 % de individuos con ICA a la misma altura que el fruto; Höfer *et al.* (2012) registraron la misma proporción de cultivares con ICA insertada, a la misma altura que el fruto y elevada, en 108 cultivares en estudio.

En este ensayo, 10 de 12 genotipos registraron del 55 al 100 % de individuos con nota firme, y en los dos restantes el 55 % mostró la nota muy firme; en el trabajo de Höfer *et al.* (2012) la mayoría de 108 cultivares presentaron FMZ suave y sólo dos de ellos tuvieron nota firme. Por su parte, Kirschbaum *et al.* (2010) reportan valores de 3.6-4.0 para firmeza del fruto, en una escala de 1-5, donde 5= muy firme, en frutos de 'Camarosa', y en ese mismo tenor Whitaker *et al.* (2011) lograron 1.4-4.4 de firmeza del fruto en 12 genotipos evaluados, entre ellos 'Festival', para el cual registraron 2.8-3.8 de FMZ.

PUL rojo medio predominó en el 45 al 80 % de los individuos de ocho de 12 genotipos, mientras que Höfer *et al.* (2012) obtuvieron frutos con PUL blancos, rosa claro, rojo medio y rojo muy fuerte, en seis, 32, 30 y dos cultivares, respectivamente.

Ocho genotipos tuvieron 55-85 % de individuos con CAV mediana y cuatro 70-100 % con CAV ausente o pequeña; Höfer *et al.* (2012) reportan 77 cultivares con CAV ausente o pequeña.

El análisis discriminante permitió proyectar el agrupamiento de los individuos de cada genotipo. Se formaron dos subconjuntos de individuos. Por un lado se agruparon las selecciones UM0, UM1, UM3, UM5, UM6, UM7, UM8 y UM9 con las variedades VC1 y VC2; por otro lado se agruparon las selecciones UM2 y UM4 (Figura 1), según las distancias entre genotipos (Cuadro 1A).

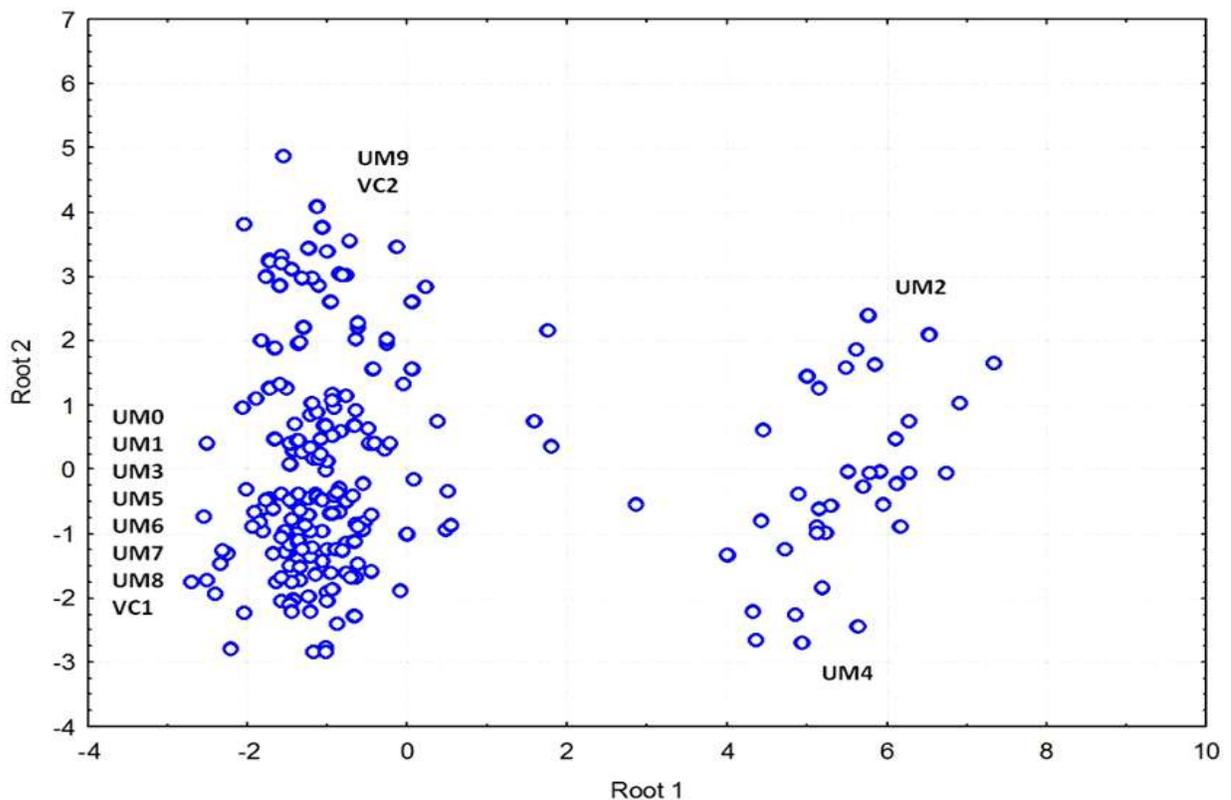


Figura 1. Distribución de 10 selecciones avanzadas y dos variedades comerciales de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en las dos primeras raíces del análisis discriminante de 27 descriptores morfológicos utilizados en la caracterización de estos 12 genotipos en invernadero.

Los caracteres que más contribuyeron a la variación fueron: Raíz 1: TRI, AQU, FLD, COR y DEF (valores negativos); CAV, PEC, PUL, PAL y VIG (valores positivos); Raíz 2: AQU, FFB, FDZ, FRU

y DEF (valores negativos); FAL, ICA, PUL, PAL y VIG (valores positivos) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Coeficientes estandarizados asociados a las primeras dos raíces del análisis discriminante de 240 individuos por 27 descriptores morfológicos, utilizados en la caracterización de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en invernadero.

Descriptor	Raíz 1	Raíz 2
Pecíolo: Porte de los tricomas (TRI)	-1.001	0.103
Foliolo terminal: Anchura en relación con la longitud (FAL)	0.085	0.547
Flor: Tamaño del cáliz en relación con la corola (CRL)	0.007	0.134
Fruto: Posición de los aquenios (AQU)	-0.217	-0.466
Foliolo terminal: Forma de la base (FFB)	0.150	-0.525
Fruto: Cavidad (CAV)	0.228	-0.048
Fruto: Anchura en relación con la longitud (FRA)	0.031	0.174
Flor: Diámetro (FLD)	-0.418	-0.107
Fruto: Firmeza (FMZ)	-0.072	0.096
Fruto: Diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ)	-0.048	-0.215
Fruto: Posición de la inserción del cáliz (ICA)	-0.023	0.293
Fruto: Uniformidad de la superficie (FUS)	0.039	0.017
Fruto: Color del corazón (COR)	-0.127	0.097
Pecíolo: Longitud (PEC)	0.189	-0.156
Fruto: Anchura de la banda sin aquenios (BAN)	-0.099	0.200
Fruto: Uniformidad del color (FRU)	0.074	-0.291
Fruto: Color de la pulpa (excluido el corazón) (PUL)	0.118	0.300
Pétalo: Anchura en relación con la longitud (PAL)	0.167	0.233
Inflorescencia: Número de flores (INF)	-0.052	0.026
Planta: Densidad del follaje (DEF)	-0.244	-0.742
Planta: Vigor (VIG)	0.144	0.652
Hoja: Tamaño (HTA)	-0.045	0.073
Fruto: Forma (FRF)	-0.012	0.081
Fruto: Brillo (FRB)	-0.006	-0.021
Valor propio	5.876	1.870
Proporción de la varianza explicada	0.536	0.706

La selección UM2 presentó el 100 % de individuos con TRI ascendente, mientras que en la selección UM4 el 75 % de individuos exhibieron ese mismo nivel de expresión, por lo cual estos dos genotipos formaron un grupo mas o menos homogéneo, separado de todos los

demás, los cuales presentaron del 90 al 100 % de individuos con TRI horizontal.

Caracteres fisiológicos y productivos

Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($p = 0.0042$, Cuadro 2A.) para la variable **área foliar**, donde los valores máximos los exhibieron Albion, UM3, UM4 y UM6 (46.88, 45.47, 44.89 y 44.83 cm², respectivamente, y el valor mínimo lo obtuvo UM2 (32.24 cm²) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Promedios de tres y cinco mediciones de área foliar y contenido de clorofila, respectivamente, de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero.

Genotipo ^y	Área foliar (cm ²)	Clorofila (SPAD)
UM0	37.67 ab ^z	37.82 a
UM1	38.21 ab	37.61 a
UM2	32.24 b	37.57 a
UM3	45.47 a	37.77a
UM4	44.89 a	38.19 a
UM5	39.36 ab	38.28 a
UM6	44.83 a	38.16 a
UM7	40.14 ab	38.08 a
UM8	42.16 ab	37.82 a
UM9	43.38 ab	38.14 a
VC1	46.88 a	38.37 a
VC2	43.55 ab	38.09 a

^y UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Estos resultados coinciden parcialmente con los reportados por Rho *et al.* (2012), quienes midieron la hoja más grande de la planta y registraron valores de 31.9 a 56.1 cm² en progenitores, líneas endogámicas S₉ e híbridos F₁ obtenidos del cruzamiento de líneas S₈, con los valores más bajos encontrados en las líneas endogámicas y los más altos en los progenitores y los híbridos; estos autores observaron un efecto de heterosis para esta variable, pero mayor uniformidad, en los híbridos F₁. Por otro lado, estos resultados son inferiores a los de Jamali *et*

al. (2011), quienes registraron hojas con área foliar de 50.4 a 55.39 cm² en plantas de ‘Pajaro’ sometidas a aplicaciones de níquel y ácido salicílico; también son inferiores a los de Kamangar *et al.* (2014), quienes obtuvieron hojas de 43.0 a 104.8 cm², con el valor más alto en ‘Mrak’, cultivar de día neutro, y los valores más bajos en ‘Kurdistan’ y ‘Ventana’, de día corto; de igual manera son inferiores a los de Ahsan *et al.* (2014), los cuales registraron hojas con área foliar de 66.9 a 71.2 cm² en tres cultivares evaluados; este último valor correspondió a ‘Festival’, la cual en el presente estudio exhibió hojas de solamente 43.55 cm².

En el presente trabajo la variedad Albion (VC1), de día neutro, estuvo entre los valores más altos para área foliar y las selecciones que compartieron el mismo grupo estadístico para esta variable proceden al menos un progenitor de día neutro; por otro lado, ‘Festival’ (VC2), de día corto, estuvo entre los valores más bajos, aunque las selecciones que compartieron su mismo grupo estadístico tuvieron también al menos un progenitor de día neutro (Cuadro 1).

En cuanto al **contenido de clorofila** no hubo diferencias significativas ($p = 0.5556$, Cuadro 3A.). Los genotipos exhibieron lecturas entre 37.57 a 38.37 SPAD (Cuadro 6).

Estos resultados fueron inferiores a los de Wu *et al.* (2011), quienes obtuvieron hojas con lecturas SPAD de 52.52 a 56.74 en plantas del cultivar Toyonoka expuestas a diferentes fuentes de radiación (luz artificial), y de 40.85 a 44.74 SPAD en plantas de ese mismo cultivar sometidas a diferentes calidades de luz; también resultaron más bajos que los de Murti *et al.* (2012), quienes lograron lecturas SPAD de 49.4 a 54.7, donde los valores más bajos correspondieron a un genotipo octoploide y los más altos a genotipos con mayores niveles de ploidía, ya que al parecer a mayor nivel de ploídía la planta produce una mayor cantidad de pigmento fotosintético.

Los presentes resultados fueron intermedios respecto a los observados por Sønsteby *et al.* (2009), quienes lograron hojas con un contenido de clorofila de 25 a 50 SPAD. Estos autores observaron que el contenido de clorofila aumentó con la fertilización nitrogenada, pero enseguida se estabilizó e incluso decreció, aparentemente debido a la dilución de la clorofila en los tejidos por el crecimiento de los mismos, y por el agotamiento del N en el suelo por lixiviación. Los resultados del presente experimento también fueron intermedios a los obtenidos

por Savini *et al.* (2008), puesto que ellos reportan lecturas SPAD desde 0 a 50 en ‘Camarosa’, esto debido a que algunos de sus tratamientos provocaban una disminución o hacían desaparecer el contenido de clorofila de las hojas y/o finalmente provocaban la muerte de éstas.

Se observaron diferencias altamente significativas para la variable **número de frutos** ($p < 0.0001$, Cuadro 4A). El mayor número de frutos (4.95) lo produjo UM8 y el menor UM5 (2.11) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Número de frutos, peso del fruto, rendimiento por planta y contenido de sólidos solubles (SST) del fruto de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero. Promedios de 20 cortes de fruta y siete mediciones de SST.

Genotipo ^y	Número de frutos por planta	Peso del fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	SST del fruto (°Brix)
UM0	2.12 cd ^z	9.89 bcd	16.28 b	6.95 bc
UM1	2.35 cd	9.79 bcd	18.14 b	6.30 c
UM2	3.87 ab	9.13 cd	18.85 ab	7.21 abc
UM3	2.34 cd	9.19 cd	13.86 b	8.45 a
UM4	2.60 cd	12.16 a	17.79 b	7.43 abc
UM5	2.11 d	11.61 ab	16.92 b	7.30 abc
UM6	3.23 bc	8.54 d	16.04 b	7.54 abc
UM7	2.38 cd	10.31 abcd	17.86 b	8.10 ab
UM8	4.95 a	10.61 abcd	25.47 a	6.94 bc
UM9	2.49 cd	11.09 abc	15.15 b	7.65 abc
VC1	2.29 cd	11.71 ab	17.22 b	7.64 abc
VC2	2.95 bcd	9.89 bcd	17.53 b	7.16 abc

^y UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El número de frutos por planta en el presente ensayo fue bajo si se compara con los resultados obtenidos en otros estudios. Ara *et al.* (2013) registraron dos a seis frutos por planta a los 60-80 días después del transplante, en plantas micropopagadas de siete cultivares, entre ellos ‘Festival’. Dal Picio *et al.* (2013) obtuvieron 1-19 frutos planta⁻¹ en tres cultivares evaluados. Fraç *et al.* (2009) reportan plantas que produjeron 3.7 a 13.0 frutos de clase extra planta⁻¹. Jamali *et al.* (2011) registraron 5.98-15.7 frutos planta⁻¹ en la variedad Pajaro. Kamangar *et al.*, (2014) registraron 14.1-43.9 frutos planta⁻¹ en siete cultivares evaluados. Kirschbaum *et al.*

(2010), reportan 3.1-10 frutos planta⁻¹ en 'Camarosa'. En estos trabajos citados, al igual que en el presente estudio, se observó que el número de frutos varió según el genotipo y/o las condiciones de manejo.

En este ensayo el número de frutos que exhibió 'Festival' fue de 2.95, mientras que Ara *et al.* (2013) registraron dos frutos por planta a los 60-80 días después del transplante, en plantas micropopagadas de esa misma variedad.

La variable **peso del fruto** también mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$, Cuadro 5A). UM4 produjo los frutos de mayor peso (12.16 g) y UM6 los de menor peso (8.54 g) (Cuadro 7).

Los presentes resultados son inferiores a los reportados por diversos autores. Bordonaba y Terry (2009) obtuvieron frutos de 15.49 a 23.68 g en ocho cultivares evaluados; Diamanti *et al.* (2012) registraron valores de peso del fruto de 11.7 a 18.0 g en ocho familias evaluadas; Jamali *et al.* (2011) reportaron frutos de 13.43-17.42 g en la variedad Pajaro; Kirschbaum *et al.* (2010) lograron frutos comercializables de 31.7-39.3 g en 'Camarosa'; Masny y y Żurawicz (2009, 2010 y 2015) reportan frutos de 7.56-16.42, 9.66-14.64 y 3.98-20.79 g en siete, 12 y tres cultivares evaluados, respectivamente; Rho *et al.* (2010) evaluaron segregantes de 11 progenitores femeninos de polinización abierta, y registraron frutos de 15 a 20 g, y de 16.4 a 18.7 g en la progenie de 15 cruzamientos (3 progenitores femeninos por 5 masculinos), pero sólo consideraron los frutos de valor comercial; Rho *et al.* (2012) lograron frutos de 10.6 a 18.4 g en un trabajo de mejoramiento genético que involucró variedades, líneas endogámicas S₈ y S₉, e híbridos F₁; Santos *et al.* (2009) registraron pesos del fruto de 14.3 a 22.3 g y de 18.6 a 32.7 g en siete genotipos evaluados en dos temporadas, respectivamente; Shaw y Larson (2008) registraron frutos de 14.9-24.8 g en 11 cultivares, entre ellos 'Albion'; Sonsteby *et al.* (2013) lograron frutos de 11.5-17.5 g en tres variedades; Sonsteby y Heide (2008) reportan frutos de 10.3-27.9 g en tres cultivares; Whitaker *et al.* (2011) presentaron frutos de 16.2-30.8 g en 12 genotipos; Zorrilla-Fontanesi *et al.* (2011) reportan frutos de 19.42 a 24.16 g en dos genotipos evaluados durante tres temporadas, y de 18.6 a 20.14 g en la población F₁ derivada de ellos.

Los resultados del presente trabajo son similares a los reportados por Cabilovski *et al.*

(2014), quienes registraron frutos de 8.83-12.54 en 'Senga sengana'. Asimismo, son intermedios a los registrados por Dal Picio *et al.* (2013) (5.68-13.08 g fruto⁻¹) y por Ozdemir *et al.* (2013) (7.6-15.7 g fruto⁻¹), en tres y dos cultivares evaluados, respectivamente.

Los valores obtenidos en el presente ensayo fueron superiores a los reportados en los trabajos siguientes: Casierra-Posada *et al.* (2011), quienes registraron valores de peso del fruto desde 3.06 hasta 10.70 g, en plantas de la variedad Chandler sometidas a filtros fotoselectivos; Fraç *et al.* (2009), que obtuvieron frutos de clase extra de 5.88-9.76 g en tres cultivares en estudio; Kamangar *et al.* (2014), que registraron valores frutos de 5.67-10.60 g en siete cultivares evaluados; Pires *et al.* (2006), quienes lograron frutos de 7.0-8.5 g en el cv Campinas IAC 2712.

El peso del fruto logrado por la variedad Albion (VC1) (11.71 g) en este estudio resulta un poco inferior si se compara con los que ha alcanzado en los estudios de Masny y Żurawicz (2010) (13.16 g fruto⁻¹) y los de Portz y Nonnecke (2009) (12.03 g fruto⁻¹), mientras que el peso promedio del fruto alcanzado por 'Festival' (9.89 g) resulta bajo respecto a los resultados de Ahsan *et al.* (2014) (14.3 g), Interiano *et al.* (2014) (\approx 7.2-18.4 g), MacKenzie *et al.* (2011) (\approx 8.5-22.0 g), Menzel y Smith (2014) (15-18 g), Santos *et al.* (2009) (14.9-21.45 g) y Whitaker *et al.* (2011) (22.4-24.1 g).

La variable **rendimiento por planta** exhibió diferencias significativas ($p = 0.0010$, Cuadro 6A). Las plantas de UM8 fueron las más rendidoras (25.48 g planta⁻¹) y los demás genotipos rindieron de 13.86 a 18.85 g planta⁻¹ (Cuadro 7).

Estos resultados son bajos si se comparan con los obtenidos en otros estudios. Diamanti *et al.* (2012) reportan un rendimiento de frutos comerciales de 265.6 a 464.3 g planta⁻¹ y un rendimiento total de 502.2 a 776.8 g planta⁻¹ en ocho familias evaluadas. Fraç *et al.* (2009) por su parte, produjeron plantas que rindieron de 499 a 626 g. Jamali *et al.* (2011) registraron rendimientos de 70.94-197.74 g planta⁻¹ en la variedad Pajaro. Kamangar *et al.* (2014) lograron 103.2-378.6 g planta⁻¹ en siete cultivares evaluados. Klamkowski y Treder (2008) obtuvieron rendimientos de 85.15 a 169.77 g planta⁻¹. Rahman *et al.* (2013) lograron valores de 52.0-737.7 g planta⁻¹ en 15 genotipos evaluados. Rho *et al.*, (2010) evaluaron segregantes de 11 progenitores

femeninos de polinización abierta, y lograron valores de rendimiento de 100-190 g planta⁻¹, y de 105-245 g planta⁻¹ en la progenie de 15 cruzamientos (3 progenitores femeninos por 5 masculinos), aunque sólo consideraron los frutos de valor comercial.

Los resultados aquí obtenidos coinciden con los valores más bajos reportados por Höfer *et al.* (2012) y Rho *et al.* (2012) (17.29 y 32.8 g planta⁻¹, respectivamente), pero no coinciden con los valores más altos logrados por dichos autores (650 y 324 g planta⁻¹, respectivamente).

Los rendimientos presentes son similares a los obtenidos por Bosc *et al.* (2012), que van de 6.5 a 35.8 g planta⁻¹ en la variedad Gariguette, sometida a diferentes condiciones de fotoperiodo, y a los de Ara *et al.* (2013), quienes registraron 8.56-19.43 g planta⁻¹ a los 60-80 días después del transplante, en plantas micropopagadas de siete cultivares.

En este trabajo el rendimiento promedio de 'Festival' fue de 17.53 g planta⁻¹, aunque se han reportado valores de rendimiento de esa misma variedad de 434 (Ahsan *et al.*, 2014) y de ≈20-120 g planta⁻¹ (MacKenzie *et al.*, 2011). Por su parte Ara *et al.* (2013) registraron un rendimiento de 8.56 g planta⁻¹ a los 60-80 días después del transplante en plantas micropopagadas de la variedad indicada.

En general, las diferencias en cuanto a los caracteres productivos respecto a otros estudios pueden deberse a que en el presente ensayo no se dio a las plantas un manejo intensivo con fines comerciales, sino que sólo se les aplicó una fertilización de mantenimiento que permitiera realizar la caracterización y poder comparar el comportamiento de las selecciones y variedades en condiciones homogéneas de manejo.

La variable **contenido de sólidos solubles** (SST) también arrojó diferencias significativas entre genotipos ($p = 0.0011$, Cuadro 7A). UM3 y UM1 produjeron los frutos de mayor y menor contenido de SST, respectivamente (8.45 y 6.30 °Brix, respectivamente) (Cuadro 7).

Estos resultados son intermedios a los reportados por los autores siguientes: Casierra-Posada *et al.* (2011) registraron 6.35-9.67 °Brix en el cv Chandler; Diamanti *et al.* (2012) obtuvieron 8.42-9.79 °Brix en ocho familias evaluadas; Josuttis *et al.* (2012) lograron 5.8-10.4 °Brix en tres variedades en estudio; Martínez-Bolaños *et al.* (2008) reportan valores de 5.9-9.2 °Brix en tres cultivares mexicanos y tres variedades comerciales extranjeras; Masny y y Żurawicz

(2009) obtuvieron 7.57-11.98 °Brix en cinco cultivares evaluados; Nishizawa *et al.* (2005) encontraron 5.4-9.9 °Brix en siete genotipos; Rho *et al.*, (2010) registraron 9-11 °Brix en la progenie de 11 variedades de polinización libre; Voca *et al.* (2008) exhibieron frutos de 6.00-10.01 °Brix; Zorrilla-Fontanesi *et al.* (2011) lograron 7.07-9.79 ° Brix en dos progenitores y la población F₁ derivada de ellos.

Los presentes resultados son menores respecto a los reportados por Bordonaba y Terry (2009) (8.57-11.63 °Brix), y por Ratsep *et al.* (2014) (8.0-12.8 °Brix), pero superan levemente a los obtenidos por Ozdemir *et al.* (2013) (6.2-7.6 °Brix) y por Yu *et al.* (2011) (6.0-7.5 °Brix).

En el presente trabajo 'Albion' (VC1) exhibió 7.64 °Brix, lo cual es inferior a los resultados (10.0 °Brix) de Masny y y Żurawicz (2010). Asimismo, 'Festival' (VC2) mostró en promedio 7.16 °Brix, pero se han reportado valores de 12.6 (Ahsan *et al.*, 2004), 6.8-8.2 (Interiano *et al.*, 2014), ≈3.8-9.6 (MacKenzie *et al.*, 2011) y 7.0-11.7 (Whitaker *et al.*, 2011) °Brix para tal variedad.

En general, las diferencias encontradas en los resultados de SST pueden deberse al cultivar, sistema de cultivo, condiciones climáticas, entre otros factores.

Al graficar la dinámica del rendimiento acumulado por planta se encontró que UM8 acumuló el mayor rendimiento (465.72 g planta⁻¹), mientras que los demás genotipos solamente acumularon de 285.20 (UM3) a 366.08 (UM5) g planta⁻¹. Se puede observar que prácticamente desde el inicio del presente experimento todas las selecciones, con excepción de UM8, formaron un grupo más o menos homogéneo con las variedades Albion (VC1) y Festival (VC2); al ubicar los 12 genotipos según el rendimiento acumulado, UM8 ocupó el primer, 'Festival' el sexto y 'Albion' el décimo lugar (Figura 2).

Los presentes valores de rendimiento acumulado superaron a los reportados por Bosc *et al.* (2012) en la variedad Gariguet (202-363 g planta⁻¹), pero son inferiores a los registrados por Kirschbaum *et al.* (2010) en 'Camarosa' (818-1673 g planta⁻¹), Pires *et al.* (2006) en el cv Campinas IAC-2712 (466.7-656.2 g planta⁻¹) y Zorrilla-Fontanesi *et al.* (2011). Estos últimos autores reportan 902.5-1,727.0 g planta⁻¹ en dos progenitores y 932.02-1,391.60 g planta⁻¹ en la población F₁ derivada de éstos, evaluados durante tres temporadas. Los rendimientos observados en el presente trabajo son intermedios a los observados (177.4-488.2; 100-550; 110-

675 g planta⁻¹, respectivamente) por otros autores (Dal Picio *et al.*, 2013; Sosteby *et al.*, 2013; Sosteby y Heide, 2008) en diferentes cultivares evaluados por estos autores.

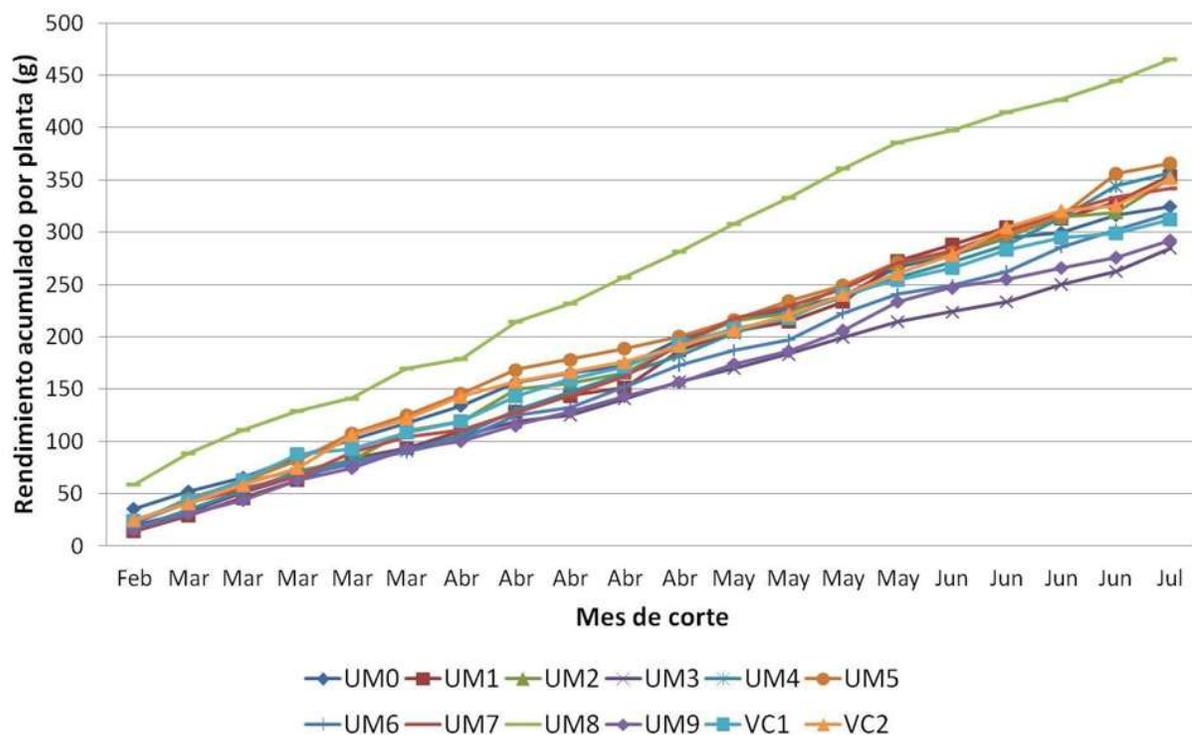


Figura 2. Dinámica del rendimiento acumulado por planta de 10 selecciones avanzadas (UM0 a UM9) y las variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) Albion (VC1) y Festival (VC2) evaluadas en invernadero.

1.4. Conclusiones

Las 10 selecciones avanzadas y las dos variedades de fresa formaron un solo grupo, separado éste completamente del genotipo silvestre (TS), con el que coincidieron solamente en 16 de 48 descriptores.

La totalidad de selecciones avanzadas y las variedades comerciales fueron similares en el porte de planta, brillo de la hoja, color del haz del pétalo y disposición de los pétalos, pero variaron en 27 caracteres morfológicos, de los cuales dos fueron relativos a la planta, cinco a la hoja, cuatro a la flor y 16 al fruto.

Las selecciones avanzadas UM0, UM1, UM3, UM5, UM6, UM7, UM8 y UM9 se agruparon con las variedades Albion y Festival, mientras que las selecciones UM2 y UM4 formaron otro grupo.

El porte de tricomas del peciolo y la posición de la infrutescencia fueron los caracteres más estables y de mucha ayuda para diferenciar los genotipos.

El área foliar varió según el genotipo, mientras que el contenido de clorofila fue más constante en todos los materiales.

La selección UM8 sobresalió de todos los demás genotipos por ser más productiva, la del mayor número de frutos, el mayor rendimiento y el mayor rendimiento acumulado por planta

La selección UM4 tuvo el mayor peso del fruto, pero sus frutos fueron de aspecto poco atractivo.

La selección UM3 presentó frutos muy dulces, pero no fue muy prolífica.

Las selecciones UM8 y UM9 se proponen para que pasen a la siguiente etapa del programa de mejoramiento, la cual consistirá en una evaluación semicomercial y se espera que al menos una de ellas se proponga como nueva variedad.

1.5. Literatura Citada

- Ahsan, M. K., H. Mehraj, M. S. Hussain, M. M. Rahman, and AFM J. Uddin. 2014. Study on growth and yield of three promising strawberry cultivars in Bangladesh. *International Journal of Business, Social and Scientific Research* 1: 205-208.
- Ara, T., M. R. Karim, M.A. Aziz, R. Karim, R. Islam, and M. Hossain. 2013. Micropropagation and field evaluation of seven strawberry genotypes suitable for agro-climatic condition of Bangladesh. *African Journal of Agricultural Research* 8: 1194-1199.
- Bordonaba, J. G., and L. A. Terry. 2009. Development of a glucose biosensor for rapid assessment of strawberry quality: relationship between biosensor response and fruit composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 8220-8226.
- Bosc, J. P., D. Neri, F. Massetani, and A. Bardet. 2012. Relationship between plant architecture and fruit production of the short-day strawberry cultivar Gariguette. *Journal of Berry Research* 2: 105-111.
- Bradford, E., J. F. Hancock, and R. M. Warner. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135: 102–107.
- Cabilovski, R., M. Manojlovic, D. Bogdanovic, N. Magazin, Z. Keserovic, and B. K. Sitaula. 2014. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) production: Impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture* 101: 67–74.
- Casierra-Posada, F., J. E. Peña-Olmos y A. F. Vargas-Martínez. 2011. Propiedades fisicoquímicas de fresas (*Fragaria* sp) cultivadas bajo filtros fotoselectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64: 6221-6228.
- Caulet, R. P., A. Morariu, D. Iurea, and G. Gradinariu. 2013. Growth and photosynthetic characteristics of two strawberry cultivars in response to furostanol glycosides treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 41: 231-237.
- Chandler, C. K. 2004. 'Strawberry Festival' strawberry plant. United States Plant Patent 14,739 (Obtenida el 27 de abril de 2004).
- Dal Picio, M., J. L. Andriolo, D. I. Jänisch, O. J. Schmitt, and M. A. Lerner. 2013. Fruit yield of strawberry stock plants after runner tip production by different cultivars. *Horticultura Brasileira* 31: 375-379.
- Diamanti, J., F. Capocasa, F. Balducci, M. Battino, J. Hancock, and B. Mezzetti. 2012. Increasing strawberry fruit sensorial and nutritional quality using wild and cultivated germplasm. *PLoS ONE* 7(10): e46470. doi:10.1371/journal.pone.0046470.
- Durner, E. F., E. B. Poling, and J. L. Mass. 2002. Recent advances in strawberry plug transplant

- technology. HortTechnology 12: 545-550.
- Frąc, M., P. Michalski, and L. Sas-Paszt. The effect of mulch and mycorrhiza on fruit yield and size of three strawberry cultivars. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 17: 85-93.
- Galleta, G. J. and J. L. Maas. 1990. Strawberry genetics. HortScience 25: 871-878
- Höfer, M., R. Drewes-Alvarez, P. Scheewe, and C. Olbricht. 2012. Morphological evaluation of 108 strawberry cultivars – and consequences for the use of descriptors. Journal of Berry Research 2: 191-206.
- Jamali, B., S. Eshghi, and E. Tafazoli. 2011. Vegetative and reproductive growth of strawberry plants cv. 'Pajaro' affected by salicylic acid and nickel. Journal of Agricultural Science and Technology 13: 895-904.
- Josuttis, M., C. Carlen, P. Crespo, R. Nestby, T. B. Toldam-Andersen, H. Dietrich, and E. Krüger. 2012. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. Journal of Berry Research 2: 73–95.
- Kamangar, H., A. Rokhzadi, and S. Hesami. 2014. Evaluation of growth and morphological traits of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars under field conditions. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 4: 53-57.
- Kirschbaum, D. S. Kirschbaum, K. D. Larson, S. A. Weinbaum, and T. M. DeJong. 2010. Late-season nitrogen applications in high-latitude strawberry nurseries improve transplant production pattern in warm regions. African Journal of Biotechnology 9: 1001-1007.
- Klamkowski, K., and W. Treder. 2008. Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 16: 179-188.
- Mackenzie, S. J., C. K. Chandler, T. Hasing, and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. Hortscience 46: 1562–1566.
- Markwell, J., Osterman, J. C., Mitchell, J. L., 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photosynthesis Research 46: 467-472.
- Martínez-Bolaños, M., D. Nieto-Ángel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcázar, Ma. T. Martínez-Damián, H. Vaquera-Huerta y O. Carrillo-Mendoza. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura 14: 113-119.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2009. Yielding of new dessert strawberry cultivars and their susceptibility to fungal diseases in Poland. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 17: 191-202.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2010. Productive value of new foreign strawberry cultivars evaluated

- in 2007-2010. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 18: 273-282.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2015. Season extension possibilities in two polish june-bearing strawberry cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 14: 115-127.
- Maureira C., M., A. Lavín A. y A. del Pozo L. 1996. Caracterización fenotípica y fenológica de siete accesiones chilenas de *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. *Agricultura Técnica (Chile)* 56: 201-210.
- Menzel, C. M. and L. Smith. 2014. The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment. *New Zealand Journal of Crop & Horticultural Science* 42: 60-75.
- Murti, R. H., H. Y. Kim, and Y. R. Yeoung. 2012. Morphological and anatomical characters of ploidymutants of strawberry. *International Journal of Agriculture & Biology* 14: 204-210.
- Neri, D., N. Sugiyama, and A. Inujima. 2005. Effects of organic residues on strawberry root growth. *International Journal of Fruit Science* 5: 127-137.
- Nishizawa, T., S. Nagasawa, Y. Mori, Y. Kondo, and Y. Sasaki. 2005. Characteristics of soluble sugar accumulation in commercially grown *Fragaria chiloensis*. *HortScience* 40: 1647-1648.
- Özdemir, E., N. Kaşka, K. Gündüz, and S. Serçe. 2013. Effects of short day conditioning, chilling and GA3 treatments to yield and fruit quality in strawberry plug transplants aiming early fruit production. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 41: 263-268.
- Pires, R. C. M., M. V. Folegatti; F. A. Passos, F. B. Arruda, and E. Sakai. 2006. Vegetative growth and yield of strawberry under irrigation and soil mulches for different cultivation environments. *Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil.)* 63: 417-425.
- Portz, D. N. and G. R. Nonnecke. 2009. Effect of removal of runners and flowers from day-neutral strawberries on time of harvest and total yields. *Iowa State Research Farm Progress Reports*. Disponible en: http://lib.dr.iastate.edu/farms_reports/328 (último acceso: 10 de agosto de 2015).
- Rahman, M. M., M. M. Rahman, M. M Hossain, M.A.K. Mian, and Q. A. Khaliq. 2013. Characterization and field performance of 15 strawberry germoplasm under Bangladesh conditions. *SAARC Journal of Agriculture* 11: 81-94.
- Rho, I. R., Y. S. Cho, J. W. Cheong, and H. J. Jeong. 2010. Effects of seed parents on varietal performance in strawberry. *Korean Journal of Breeding Science* 42: 374-380.
- Rho, I. R., J. G. Woo, H. J. Jeong, H. Y. Jeon, and C. Lee. 2012. Characteristics of F₁ hybrids and inbred lines in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne). *Plant Breeding* 131: 550-554.
- Santos, B. M., C. K. Chandler, M. Ramírez-Sánchez, and T.P. Salamé. 2009. Evaluation of Strawberry cultivars in Florida. *International Journal of Fruit Science* 9: 419-424.

- SAS Institute, 1999. The SAS system for windows. Release 8.0. SAS Institute. Cary, NC.
- Savini, G., V. Giorgi, E. Scarano, and D. Neri. 2008. Strawberry plant relationship through the stolon. *Physiologia Plantarum* 134: 421-429.
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2006. Strawberry plant named 'Albion'. United States Plant Patent 16,228 (Obtenida el 31 de enero de 2006).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2008. Performance of early-generation and modern strawberry cultivars from the University of California breeding programme in growing systems simulating traditional and modern horticulture. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83: 648-652.
- Sønsteby A. and O. M. Heide. 2008. Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona, *Scientia Horticulturae* (2008): doi:10.1016/j.scienta.2008.07.005.
- Sønsteby, A., N. Opstad, U. Myrheim, and O. M. Heide. 2009. Interaction of short day and timing of nitrogen fertilization on growth and flowering of 'Korona' strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 123: 204–209.
- Sønsteby, A., N. Opstad, and O.M. Heide. 2013. Environmental manipulation for establishing high yield potential of strawberry forcing plants. *Scientia Horticulturae* 157: 65-73.
- StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- UPOV. 2012. Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Fresa. Código UPOV: FRAGA (*Fragaria* L.). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg022.pdf (Fecha de acceso: 28/10/2012).
- Voća, S., N. Dobričević, V. Dragović-Uzelac, B. Duralija, J. Družić, Z. Čmelik, and M. S. Babojelić. 2008. Fruit quality of new early ripening strawberry cultivars in Croatia. *Food Technology and Biotechnology* 46: 292-298.
- Whitaker, V. M., T. Hasing, C. K. Chandler, A. Plotto, and E. Baldwin. 2011. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of university of Florida cultivars and advanced selections. *Hortscience* 46: 553-557.
- Wood, C. W., Reeves, D. W., Himelrick, D. L., 1993. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. *Proceedings - Agronomy Society New Zealand* 23: 1-9.
- Wu, C. C., S. T. Hsu, M. Y. Chang, and W. Fang. 2011. Effect of light environment on runner plant propagation of strawberry. *In: Goto, E. and S. Hikosaka (eds) VI International Symposium on Light in Horticulturae. Acta Horticulturae* 907: 297-302.
- Yu, C., M. Ranieri, D. Lv, M. Zhang, M. T. Charles, R. Tsao, D. Rekika, and S. Khanizadeh. 2011.

Phenolic composition and antioxidant capacity of newly developed strawberry lines from British Columbia and Quebec. *International Journal of Food Properties* 14: 59-67.

Zorrilla-Fontanesi, Y., A. Cabeza, P. Domínguez, J. J. Medina, V. Valpuesta, B. Denoyes-Rothan, J. F. Sánchez-Sevilla, and I. Amaya. 2011. Quantitative trait loci and underlying candidate genes controlling agronomical and fruit quality traits in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Theoretical and Applied Genetics* 123: 755-778.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SEIS SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN CAMPO

RESUMEN

Con el objetivo de realizar la caracterización morfológica y productiva de las selecciones avanzadas más prolíficas evaluadas en invernadero, en noviembre del 2013 se establecieron en campo seis selecciones avanzadas (UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9), las variedades Albion y Festival y una especie silvestre del género *Duchesnea* (TS). El diseño del experimento fue bloques al azar, con cinco bloques y 12 plantas por unidad experimental. Para la caracterización morfológica se utilizaron como referencia los 48 descriptores señalados para fresa por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). El análisis por componentes principales reveló que las selecciones avanzadas y las variedades de fresa formaron un solo conjunto, separado completamente de TS, con el que no obstante coincidieron en 15 caracteres. El análisis discriminante, con exclusión de TS, mostró que 27 de los 48 descriptores presentaron variación entre los genotipos, de los cuales tres fueron relativos a la planta, seis a la hoja, cinco a la flor y 13 al fruto; asimismo, fueron similares en el porte de planta, color del haz del pétalo y brillo del fruto. Al graficar los resultados del análisis discriminante se formaron cinco subconjuntos: 1) UM0; 2) UM1, UM8 y Albion; 3) UM9 y Festival; 4) UM2; 5) UM4; los caracteres que más contribuyeron a la variación intra- e inter-genotipos fueron posición de la infrutescencia (PIN), posición de la inserción del cáliz (ICA), anchura de la banda sin aquenios (BAN) y porte de tricomas del peciolo (TRI). En cuanto a los caracteres fisiológicos y productivos UM4 obtuvo el valor máximo para área foliar (85.61 cm²) y para contenido de clorofila (40.80 SPAD), al igual que Festival (41.51 SPAD); Festival presentó el mayor número de frutos por planta (6.6); UM2 y UM4 tuvieron el mayor peso del fruto (9.9 y 10.01 g, respectivamente); UM4, UM8 y Festival presentaron el mayor rendimiento por planta (55.64, 53.33 y 53.86 g, respectivamente); UM2, UM4, UM8, UM9 y Festival tuvieron el mayor rendimiento acumulado por planta (913.16, 932.18, 887.15, 857.31 y 905.87 g planta⁻¹, respectivamente); UM8, UM9 y Albion mostraron la mayor cantidad de sólidos solubles (9.64,

9.56 y 10.02 °Brix, respectivamente). Estos resultados ayudan a reforzar la propuesta hecha en base a la evaluación en invernadero, la cual indica que las selecciones UM1, UM2, UM8 y UM9 pasen a la fase de evaluación semicomercial; se espera que al menos una de tales selecciones se proponga como nueva variedad en el futuro próximo.

CHAPTER II. MORPHOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERIZATION OF SIX ADVANCED SELECTIONS AND TWO COMMERCIAL VARIETIES OF STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* Duch.) UNDER FIELD CONDITIONS

ABSTRACT

With the objective of performing a morphological and productive characterization of the most promising strawberry materials evaluated under greenhouse conditions, in November 2013 six advanced selections (UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 and UM9), plus two commercial varieties (Albion and Festival) and a wild species belonging to the *Duchesnea* genus (TS) were evaluated under field conditions. The experiment was carried out under a randomized block design replicated five times; each experimental unit consisted of 12 plants. Morphological characterization of all materials was based on the 48 descriptors suggested by the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) for strawberry. A principal components analysis revealed that both the advanced selections and the two commercial varieties grouped together; they were completely separated from TS, but showed similarity with the latter on 15 traits. With the exclusion of TS, the discriminant analysis showed that 27 of the 48 UPOV descriptors varied among genotypes, three of them were related to plant, six of them to leaf, five of them to flower, and 13 of them to fruit; also, they were similar on plant growth habit, color of upper side of petal and fruit glossiness. Upon plotting the discriminant analysis results, five group subsets were differentiated: 1) UM0; 2) UM1, UM8 and Albion; 3) UM9 and Festival; 4) UM2; and 5) UM4. The traits that contributed the most to both inter- and intra-variation among genotypes were: position of inflorescence in relation to foliage (PIN), position of calyx attachment (ICA), length of petals in relation to width (BAN), and attitude of petiole hairs (TRI). As to physiological and productivity related traits, UM4 showed the highest value on both leaf area (85.61 cm²) and chlorophyll content (40.80 SPAD); Festival also showed high chlorophyll content (40.80 SPAD) and the highest plant fruit number (6.6); UM2 and UM4 showed the highest fruit weight (9.9 and 10.01 g, respectively); UM4, UM8, and Festival had the highest yield per plant (55.64, 53.33, and 53.85 g, respectively); UM2, UM4, UM8, UM9, and

Festival exhibited the highest cumulative plant yield (913.16, 932.18, 887.15, 857.31, and 905.87 g plant⁻¹, respectively); UM8, UM9, and Albion showed the highest soluble solids content (9.64, 9.56, and 10.02 °Brix, respectively). The present results greatly strengthen the previously assumption made based on the results obtained under greenhouse conditions, which suggests that selections UM1, UM2, UM8, and UM9 must go on to a semi-commercial evaluation. It is expected that at least one of these selections will be proposed as a new variety in the near future.

2.1. Introducción

Los ensayos en campo con diferentes genotipos permiten que cada uno de estos exprese su potencial genético ante las condiciones ambientales, al estar expuestos a elementos y factores del tiempo no controlados por el humano.

Un estudio en campo también permite conocer cuáles características están más influenciadas por el ambiente y cuáles permanecen estables, regidas más bien por un mecanismo genético (Galleta y Maas, 1990; Masny y Żurawicz, 2015).

La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) recomienda que la evaluación se lleve a cabo con al menos 20 plantas de cada genotipo a considerar y que se incluyan variedades de referencia (UPOV, 2012).

Las características a considerar para poder tomar la decisión sobre cuál o cuáles selecciones podrían llegar a liberarse como nuevas variedades tienen que ver en general con la arquitectura de la planta, sanidad de la misma, vigor, tipo de floración y fructificación, capacidad productiva y de estoloneo, entre otros caracteres, así como con las cualidades del fruto, tales como tamaño, forma, color, sabor, firmeza, etc.

Cuando no se cuenta con variedades existentes o generadas especialmente para las condiciones locales, se pretende que las selecciones avanzadas muestren un comportamiento similar a las variedades de referencia, o bien que sean diferentes en al menos una característica, por ejemplo que presenten frutos de mayor firmeza o tamaño, que tengan mayores rendimientos, que exhiban mayor resistencia a enfermedades, etc.

El presente ensayo se planteó con el objetivo de caracterizar morfológica y productivamente en campo, las selecciones avanzadas de fresa más sobresalientes del ensayo en invernadero y las variedades comerciales Albion y Festival, con ayuda de los 48 descriptores morfológicos señalados para fresa por la UPOV.

2.2. Materiales y Métodos

Ubicación del área experimental

El experimento se estableció en el terreno de un productor cooperante, en la localidad de Caracha, municipio de Ziracuaretiro, Michoacán. Ziracuaretiro se localiza en la parte central del Estado, entre los paralelos 19°21' y 19°31' de latitud norte, y los meridianos 101° 48' y 102° 00' de longitud Oeste, a una altitud entre 1,200 y 2400 msnm; se presentan intervalos de temperatura de 16-24 °C y una precipitación pluvial anual de 1200-2000 mm. El clima que le corresponde a la localidad de Caracha es semicálido-húmedo con abundantes lluvias en verano; el suelo dominante es tipo andosol (INEGI, 2009).

Obtención del material vegetal

El material para este estudio se obtuvo tal como se señala en el Capítulo I (p. 34). De las 10 selecciones que se establecieron en el experimento bajo invernadero, se seleccionaron a su vez las seis selecciones más prolíficas (UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9) para establecerlas en campo, además de las dos variedades comerciales Albion y Festival y del material silvestre (TS).

Establecimiento y diseño del experimento

El 20 de noviembre del 2013 se estableció el experimento en campo, con 60 plantas de cada uno de los genotipos mencionados anteriormente. Las plantas se colocaron a doble hilera sobre camas espaciadas a 1 m entre sí; el espaciamiento entre plantas fue de 0.30 m. Durante la temporada de producción, las plantas recibieron un manejo de nutrición acorde a su fenología y las necesidades detectadas mediante análisis foliares visuales.

Se adoptó un diseño en bloques al azar, con un total de nueve tratamientos repetidos cinco veces; cada unidad experimental estuvo representada por 12 plantas.

VARIABLES EVALUADAS

Para la caracterización morfológica se consideraron los 48 descriptores para fresa establecidos por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV).

La lista completa de descriptores con sus niveles de expresión y nota numérica correspondiente se indican en el Capítulo I (pp: 35-38).

Al igual que en el experimento señalado en el Capítulo I, se registraron además las siguientes variables fisiológicas y productivas, sin incluir TS:

- **Área foliar.** Se aplicó el método de la relación entre las medidas lineales y el área de la hoja, detallado en el Capítulo I, aunque en este caso se emplearon el total de hojas de dos plantas por cada genotipo y repetición.

Una vez determinada la ecuación para cada genotipo (Cuadro 2A), los posteriores registros de la variable área foliar se realizaron obteniendo la longitud y anchura máximas de las dos hojas más jóvenes completamente desarrolladas de tres plantas por cada genotipo y repetición, y aplicando la ecuación correspondiente con ayuda de una hoja de cálculo electrónica.

- **Contenido de clorofila (SPAD).** Se registró el contenido de clorofila, medido en lecturas SPAD, de la hoja más joven completamente desarrollada de cada planta (individuo) por genotipo y repetición; para cada registro se tomó el promedio de tres mediciones realizadas en el foliolo terminal en la parte central, una a cada lado de la nervadura principal y otra cerca del ápice.
- **Peso del fruto.** El peso del fruto se obtuvo mediante una balanza digital portátil marca Escali, modelo PR-500, de 500 g de capacidad y de 0.1 g de precisión; se registró el promedio de 10 frutos por genotipo y repetición.
- **Número de frutos por planta.** Se contabilizó el total de frutos ≥ 5 g de peso de cada genotipo y repetición.
- **Rendimiento por planta.** Se registró el rendimiento por planta en g en cada corte de fruta.

- **Rendimiento acumulado por planta.** Se realizaron en total 17 cortes de fruta durante los meses de enero a julio de 2014, con los cuales se cuantificó y graficó la dinámica del rendimiento acumulado por planta.
- **Contenido de sólidos solubles totales (SST) del fruto.** Las determinaciones de SST se hicieron con ayuda de un refractómetro de mano marca Atago, modelo N-1E, con escala en °Brix de 0-32 %. En total se realizaron 4 mediciones durante los meses de abril y mayo de 2014, en al menos 10 frutos por unidad experimental de cada genotipo y repetición.

Análisis de datos

Se siguió la misma metodología señalada en el Capítulo I (p. 41) para la descripción de los individuos de cada genotipo; asimismo se hizo para la evaluación de variables productivas y el análisis estadístico de los datos.

2.3. Resultados y Discusión

Caracteres morfológicos

Al igual que en el experimento bajo invernadero, el análisis por componentes principales reveló que las selecciones avanzadas y las variedades de fresa formaron un solo conjunto de individuos, separado completamente del genotipo silvestre (TS) (Figura 2A), con el que no obstante fueron similares en 15 caracteres (datos no mostrados).

Las selecciones avanzadas y variedades comerciales no variaron en el porte de la planta (POR), color del haz, abullonado y variegación de la hoja (HCH, HAB y HVA, respectivamente), borde del foliolo terminal (FBO), pigmentación antocianica de las estípulas (EPA), porte de los tricomas del pedicelo (PED), presencia de estambres en la flor (EST), color del haz del pétalo (PCH), color del fruto (FRC), adherencia del cáliz (ADH), época de inicio de la floración (FLO), época de inicio de maduración del fruto (MAD) y tipo de fructificación (FRN); los caracteres mencionados presentaron el mismo nivel de expresión que en el ensayo bajo invernadero (Cap. I, pp: 42-43).

El vigor de la planta (VIG), la diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos (DIF), brillo del fruto (FRB), y uniformidad de la superficie del fruto (FUS), que presentaron variación en invernadero, no variaron en el presente experimento, en donde la mayoría de los individuos de todos los genotipos registraron la misma proporción de individuos con VIG débil, medio y fuerte, tuvieron ninguna o muy leve DIF, presentaron la misma intensidad de brillo (fuerte) y una uniforme o muy leve irregularidad en la superficie del fruto.

Al aplicar el análisis discriminante a las selecciones y variedades, 27 de los 48 descriptores presentaron variación, de los cuales tres fueron relativos a la planta, seis a la hoja, cinco a la flor y 13 al fruto.

Los descriptores morfológicos relativos a la planta que presentaron variación fueron:

1. Densidad foliar (DEF): el 59-88 % de individuos de todos los genotipos presentaron DEF escasa, excepto los de UM2, en el que 52 % de individuos tuvieron DEF media.

2. Posición de la infrutescencia (PIN): UM0 y UM2 se diferenciaron por tener PIN por encima del follaje; UM1, UM8 y VC1 a la misma altura; UM4, UM9 y VC2 por debajo. Höfer *et al.* (2012) reportan 54 de 108 cultivares de fresa con PIN a la misma altura. Rahman *et al.* (2013) registraron nueve, cuatro y dos accesiones con PIN debajo, encima y al mismo nivel del follaje, respectivamente; estos autores observaron que PIN por encima del nivel de las hojas es más conveniente para la cosecha.
3. NES: el 68-98 % de individuos de todos los genotipos tuvieron NES ausentes o muy escasos (0-4 estolones por planta); sin embargo, UM2 y UM9 tuvieron 30 y 32 % de individuos con NES escaso (5-9 estolones por planta). Estos resultados son similares a los reportados en los trabajos siguientes: Ara *et al.* (2013) registraron 2.8 a 4.6 estolones por planta a los 60-80 días después del trasplante, en plantas micropopagadas de siete cultivares; Mookerjee *et al.* (2013) obtuvieron de una población segregante una mayor frecuencia de individuos que produjeron 0-4 estolones en tres regímenes de temperatura (17, 20 y 23 °C), aunque a 23 °C tuvieron algunos individuos que llegaron a producir 61-64 estolones; Neri *et al.* (2005) lograron 0.2-2.8 NES en el cultivar Tochiotome; Sønsteby *et al.* (2013) encontraron 2.2-6.1 NES en tres variedades evaluadas.

Por otro lado, estos resultados son intermedios o inferiores a los citados en los trabajos siguientes: Bradford *et al.* (2010) lograron ≈0-60 NES en tres genotipos evaluados; Hasan *et al.* (2011) reportan 3.1-8.1 NES en dos cultivares; Gaston *et al.* (2013) lograron de 0-14 NES en dos progenitores ('Capitola' x CF1116) y 0-31 NES en la progenie; Li *et al.* (2010) registraron 20-24 NES en siete cultivares; Portz y Nonnecke (2009) obtuvieron 1-25 NES en tres cultivares evaluados; Rahman *et al.* (2013) lograron 6.33-68.67 NES en el estudio de 15 quince genotipos; Sønsteby *et al.* (2009) obtuvieron 4.4-10.8 NES en la variedad Korona.

En este trabajo 'Albion' (VC1) tuvo un 98 % de individuos que produjeron 0-4 NES, mientras que Portz y Nonnecke (2009) lograron 1-18 NES para esa misma variedad.

En general, las diferencias en la cantidad de estolones producidos pueden deberse al cultivar, la fertilización y el manejo, así como a la temperatura a la que se desarrollen las plantas.

Los descriptores morfológicos relativos a la hoja que variaron fueron:

1. Tamaño (HTA): el 54-87 % de individuos de todos los genotipos produjeron hojas predominantemente de tamaño medio (10.0-19.9 cm), excepto la variedad Albion, en la cual el 62 % de individuos presentó hojas pequeñas (≤ 9.9 cm).
2. Brillo (HBR): del 45 al 64 % de individuos de UM0, UM1, UM4, Albion y Festival presentaron HBR medio, mientras que en UM2, UM8 y UM9 del 46 al 63 % de individuos presentaron HBR fuerte. Höfer *et al.* (2012) reportan 55 de 108 cultivares con HBR predominantemente débil, 48 con HBR medio, y solamente cinco con HBR fuerte.
3. Anchura en relación con la longitud del foliolo terminal (FAL): el 38-90 % de individuos de UM0, UM1, UM4, UM9, Albion y Festival presentaron hojas con FAL igual, mientras que en UM2 y UM8, el 57 y 80 % de individuos presentaron FAL más corto, respectivamente.
4. Forma de la base del foliolo terminal (FFB): siete de ocho genotipos presentaron del 63 al 100 % de individuos con FFB obtusa y un genotipo (UM8) la exhibió redondeada. Por su parte, Höfer *et al.* (2012) obtuvieron 50 cultivares con FFB aguda-obtusa y 27 con la nota obtusa-redondeada.
5. Longitud del peciolo (PEC): similar a como ocurrió en el experimento de invernadero, se obtuvieron resultados en la gama de peciolo de longitud corta (≤ 6.5 cm) y media (6.6-13.0 cm). Por su parte, Kamangar *et al.* (2014) registraron PEC de longitud media a larga (≥ 13.1 cm) en siete cultivares de fresa, con un valor mínimo de 12.5 y máximo de 19.9 cm. Mauriera *et al.* (1996) encontraron peciolo de 2.64-8.48 cm en siete accesiones silvestres de *Fragaria chiloensis*; Neri *et al.* (2005) lograron PEC de 8.8-12.6 cm en 'Tochiotome'; Sønsteby *et al.* (2009) reportan PEC de 8.0-24.3 cm en 'Korona'.

6. Porte de los tricomas del peciolo (TRI): el 93-100 % de individuos de todos los genotipos presentaron TRI horizontal, excepto los de UM2 y UM4 que se distinguieron por presentar 97 y 92 % de individuos con TRI ascendente, respectivamente.

Un resumen de los caracteres relativos a la planta y hoja se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos vegetativos que presentaron variación en seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo.

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ²							
		UM0	UM1	UM2	UM4	UM8	UM9	VC1	VC2
Planta									
Densidad del follaje	Escasa	64	59	38	65	68	81	88	51
	Media	29	28	52	33	32	15	12	39
	Densa	7	13	10	2	-	4	-	10
Posición de la infrutescencia en relación al follaje	Por debajo	-	-	-	100	-	100	-	100
	A la misma altura	-	100	-	-	100	-	100	-
	Por encima	100	-	100	-	-	-	-	-
Número de estolones	Ausente o muy escasos (0-4)	82	88	70	92	97	68	98	98
	Escaso (5-9)	18	12	30	8	3	32	2	-
	Medio (10-14)	-	-	-	-	-	-	-	2
Hoja									
Tamaño	Pequeño (≤ 9.9 cm)	46	19	32	13	30	39	62	40
	Medio (10.0-19.9 cm)	54	81	68	87	70	61	38	60
Brillo	Ausente o débil	-	6	7	7	2	10	28	46
	Medio	64	60	30	55	43	44	45	47
	Fuerte	36	34	63	38	55	46	27	7
Foliolo terminal									
Anchura en relación con su longitud	Más corto (50-149 mm)	32	22	57	43	80	12	3	5
	Igual (± 49 mm)	50	38	41	48	20	83	90	72
	Moderadamente más largo (50-149 mm)	18	37	2	7	-	5	7	18
	Mucho más largo (> 150 mm)	-	3	-	2	-	-	-	5
Forma de la base	Obtusa	64	63	68	63	7	86	97	100
	Redondeada	36	37	32	37	93	14	3	-
Peciolo									
Longitud	Corta (≤ 6.5 cm)	68	38	23	55	30	41	75	47
	Media (6.6-13.0 cm)	32	62	77	45	70	57	25	53
	Larga (> 13.1 cm)	-	-	-	-	-	2	-	-
Porte de los tricomas	Ascendente	-	-	97	92	-	7	-	-
	Horizontal	100	100	3	8	100	93	100	100

² UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Los descriptores relativos a la flor que presentaron variación fueron:

1. Número de flores de la inflorescencia (INF): del 60 al 93 % de individuos de todos los genotipos presentaron INF bajo (≤ 5.9). Estos resultados coinciden con los de Bradford *et al.* (2010) (≈ 2.8 -12 INF en tres genotipos), Jamali *et al.* (2011) (4.25-7.22 INF en 'Pajaro'), Kamangar *et al.* (2014) (3.1-6.2 INF en siete cultivares); coinciden parcialmente con los de Höfer *et al.* (2012), quienes registraron INF bajo, medio y alto (2.6, 7.8 y 17.8 INF, respectivamente) en 108 cultivares, de los cuales 88 presentaron la nota muy bajo-bajo, y 11 la nota alto-muy alto. Los resultados presentes fueron inferiores a los de Sønsteby *et al.* (2009) (17.4-26.9 INF), Sønsteby *et al.* (2013) (8.1-14.1 INF) y Sønsteby y Heide (2008) (≈ 5.5 -18.0 INF).
2. Diámetro de flor (FLD): cinco de ocho genotipos tuvieron de 62 a 93 % de individuos con FLD pequeño, mientras que en los tres restantes predominó FLD medio. Estos resultados coinciden parcialmente con los de Rahman *et al.* (2013), quienes obtuvieron FLD medio y grande (2.07-3.43 cm) en 15 genotipos evaluados. Igualmente, existe una coincidencia parcial con Höfer *et al.* (2012), quienes reportaron 65 de 108 genotipos de fresa con FLD medio. Los presentes resultados no coinciden con los de Murti *et al.* (2012), quienes reportan sólo FLD grande (3.02 a 4.14 cm) en ocho genotipos evaluados.
3. Disposición de los pétalos (PET): UM0, UM1, UM4, UM8 y Festival tuvieron del 56 al 84 % de individuos con PET solapada, UM2 y UM9 presentaron 78 y 66 % de individuos con PET libre, respectivamente, y en Albion predominó PET en contacto.
4. Tamaño del cáliz en relación con la corola (CRL): todos los genotipos presentaron del 37 al 90 % de individuos con CRL mayor. Por su parte, Höfer *et al.* (2012) reportan 61 de 108 cultivares con CRL idéntico.
5. Anchura del pétalo en relación con su longitud (PAL): del 50 al 100 % de individuos de todos los genotipos presentaron PAL igual, excepto UM1, que tuvo un 63 % de individuos con PAL moderadamente más corto.

Un resumen detallado de los caracteres relativos a la flor se presenta en el Cuadro 2.

Los descriptores relativos al fruto que mostraron variación fueron: anchura en relación con su longitud (FRA), tamaño (FRT), forma (FRF), diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos (DIF), uniformidad del color (FRU), uniformidad de la superficie (FUS), anchura de la banda sin aquenios (BAN), posición de los aquenios (AQU), posición de la inserción del cáliz (ICA), diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ), porte de los sépalos (SEP), diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ), firmeza (FMZ), color de la pulpa excluido el corazón (PUL), color del corazón (COR) y cavidad (CAV).

Cuadro 2. Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos a la flor que presentaron variación en seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo.

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ²							
		UM0	UM1	UM2	UM4	UM8	UM9	VC1	VC2
Inflorescencia									
Número de flores	Bajo (≤ 5.9)	89	75	93	90	93	81	60	65
	Medio (6.0-11.9)	11	25	7	10	7	19	40	35
Flor									
Diámetro	Pequeña (≤ 20 mm)	36	22	45	63	62	88	93	72
	Media (21-30 mm)	64	78	55	37	38	10	7	28
	Grande (≥ 31 mm)	-	-	-	-	-	2	-	-
Disposición de los pétalos	Libre	18	10	78	10	5	66	35	21
	En contacto	21	6	15	32	27	29	42	23
	Solapada	61	84	7	58	68	5	23	56
Tamaño del cáliz en relación con la corola	Más Pequeño	22	38	30	17	7	10	23	9
	Tamaño idéntico	7	12	33	28	3	24	22	31
	Mayor	71	50	37	55	90	66	55	60
Anchura del pétalo en relación con su longitud	Moderadamente más corto (2-3 mm)	50	63	-	-	5	-	-	-
	Igual (± 1 mm)	50	37	100	100	95	100	100	98
	Moderadamente más largo (2-3 mm)	-	-	-	-	-	-	-	2

² UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

En cuanto a los caracteres relativos al fruto, se tiene la referencia de Höfer *et al.* (2012), cuyas coincidencias y diferencias con el presente ensayo se señalan a continuación:

1. FRT: el 67-88 % de individuos de todos los genotipos produjeron frutos de tamaño medio y un 4-16 % de individuos que produjeron frutos grandes. Los autores citados reportan 43 y 38 cultivares que presentaron frutos de tamaño pequeño y medio, respectivamente, y solamente dos cultivares que presentaron frutos muy grandes, en 108 cultivares evaluados.

2. FRF: cuatro de ocho genotipos presentaron del 56 al 88 % de individuos con FRF cónica, y cuatro presentaron del 43 al 83 % con FRF ovoide. Por su parte, los autores mencionados reportan un 28, 19, 17 y 14 % de cultivares con FRF cordiforme, cuneiforme, globosa-cónica y obloide, respectivamente.
3. FRU: en todos los casos hubo uniforme o muy leve irregularidad de FRU. Los autores de referencia encontraron 54 cultivares con esa misma nota.
4. Todos los genotipos lograron del 67 al 92 % de individuos con FUS uniforme o muy leve irregularidad, mientras que Whitaker *et al.* (2011) reportan FUS de 1.8-3.7 en escala de 1-5 (donde 5= mayor uniformidad), en 12 genotipos evaluados, incluyendo 'Festival', la cual presentó FUS de 3.0.
5. BAN: en todos los casos predominó una BAN estrecha, excepto en UM1 y UM9, que tuvieron un 66 y 58 % de individuos con BAN mediana, respectivamente. Los autores en cuestión reportan 29, 26, 34 y dos cultivares, con BAN ausente o muy estrecha, estrecha, mediana y ancha, respectivamente.
6. AQU: todos los genotipos presentaron del 71 al 95 % de individuos con AQU a la misma altura que la superficie del fruto, excepto UM1 y UM2 en los que 75 y 60 % de individuos tuvieron AQU debajo de la superficie del fruto; los autores ya citados obtuvieron la misma proporción de cultivares con AQU debajo, a la misma altura y por encima de la superficie del fruto.
7. ICA: todos los genotipos presentaron 54-89 % de individuos con ICA a la misma altura que el fruto, excepto UM1 que exhibió 59 % de individuos con ICA elevada. Höfer *et al.* (2012) obtuvieron la misma proporción de cultivares con ICA insertada, a la misma altura que el fruto y elevada.
8. FMZ: 81-97 % de individuos de todos los genotipos produjeron frutos predominantemente firmes, mientras que Höfer *et al.* (2012) reportan 106 cultivares con FMZ suave y sólo dos cultivares con la nota firme. Por su parte, Kirschbaum *et al.* (2010) reportan valores de 3.6-4.0 para firmeza del fruto, en una escala de 1-5, donde 5= muy firme, en frutos de 'Camarosa', mientras que Whitaker *et al.* (2011) lograron 1.4-4.4 de

firmeza del fruto en 12 genotipos evaluados, entre ellos 'Festival', para la cual registraron 2.8-3.8 de FMZ.

9. PUL: todos los genotipos presentaron 49-65 % de individuos con PUL rojo medio, excepto UM4 que tuvo 50 % de individuos con PUL rojo claro. Höfer *et al.* (2012) obtuvieron PUL blancos, rosa claro, rojo medio y rojo muy fuerte en seis, 32, 30 y dos cultivares, respectivamente.
10. CAV: en 53-78 % de individuos de cinco genotipos se registró CAV mediana, mientras que en UM1, UM2 y Festival, el 78, 57 y 67 % de individuos, respectivamente, produjeron frutos con CAV ausente o pequeña. Höfer *et al.* (2012) reportan 77 de 108 cultivares con CAV ausente o pequeña.

Una información más detallada de los caracteres relativos al fruto se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentaje de individuos de cada genotipo según el nivel de expresión de los descriptores morfológicos relativos al fruto que presentaron variación en seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo.

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ^z							
		UM0	UM1	UM2	UM4	UM8	UM9	VC1	VC2
Fruto									
Anchura en relación con su longitud	Igual (± 7 mm)	46	22	60	93	97	27	42	46
	Moderadamente más largo (8-15 mm)	54	66	38	7	3	68	56	51
	Mucho más largo (≥ 16 mm)	-	12	2	-	-	5	2	3
Tamaño	Pequeño (11-20 mm)	11	3	18	5	12	19	27	19
	Medio (21-30 mm)	82	81	72	88	80	76	67	77
	Grande (31-40 mm)	7	16	5	7	8	5	6	4
Forma	Cónica	68	-	88	39	56	5	65	37
	Cordiforme	4	-	5	3	2	-	5	-
	Ovoide	21	81	5	43	35	83	27	61
	Cilíndrica	4	-	2	-	-	-	3	2
	Romboide	3	19	-	8	-	12	-	-
	Obloide	-	-	-	5	2	-	-	-
Diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos	Globosa	-	-	-	2	5	-	-	-
	Ninguna o muy leve	89	78	75	83	83	85	90	84
	Leve	11	16	20	15	15	13	8	16
Uniformidad del color	Moderada	-	6	5	2	2	2	2	-
	Uniforme o muy leve irregularidad	86	94	92	80	92	69	92	96
	Ligeramente irregular	14	6	8	20	8	31	8	4

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Cuadro 3. (continuación)

Descriptor	Nivel de expresión	Genotipo ^z							
		UM0	UM1	UM2	UM4	UM8	UM9	VC1	VC2
Fruto									
Uniformidad de la superficie	Uniforme o muy leve irregularidad	89	84	87	67	88	92	83	86
	Ligeramente irregular	11	16	10	22	7	3	15	14
	Muy irregular	-	-	3	11	5	5	2	-
Anchura de la banda sin aquenios	Ausente o muy estrecha	11	3	17	3	3	-	7	4
	Estrecha	82	31	83	72	90	35	91	82
	Mediana	7	66	-	25	7	58	2	14
	Ancha	-	-	-	-	-	7	-	-
Posición de los aquenios	Debajo de la superficie	11	75	60	25	25	29	23	5
	A la misma altura que la superficie	89	25	40	75	75	71	77	95
Posición de la inserción del cáliz	Insertada	11	-	15	12	7	-	5	4
	A la misma altura que el fruto	71	41	82	66	83	54	88	89
	Elevada	18	59	3	22	10	46	7	7
Fruto									
Porte de los sépalos	Hacia arriba	54	25	45	32	52	12	30	21
	Hacia afuera	39	22	48	43	31	39	47	23
	Hacia abajo	7	53	7	25	17	49	23	56
Diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto	Mucho menor	4	-	-	-	-	-	-	-
	Ligeramente menor	-	6	22	17	27	19	8	3
	Tamaño idéntico	36	19	53	33	21	29	7	2
	Ligeramente mayor	39	44	23	42	35	34	40	46
	Mucho mayor	21	31	2	8	17	18	45	49
Firmeza	Firme	96	81	92	95	97	93	97	86
	Muy firme	4	19	8	5	3	7	3	14
Color de la pulpa excluido el corazón	Rojo anaranjado	-	-	-	2	-	-	-	-
	Rojo claro	46	41	35	50	27	41	38	16
	Rojo medio	50	53	55	41	65	49	55	63
	Rojo oscuro	4	6	10	7	8	10	7	21
Color del corazón	Blanco	-	-	3	2	-	-	2	-
	Rojo claro	32	63	59	72	55	47	65	33
	Rojo medio	68	37	38	26	45	53	33	67
Cavidad	Ausente o pequeña	43	78	57	47	20	37	30	67
	Mediana	53	22	41	53	78	61	65	33
	Grande	4	-	2	-	2	2	5	-

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas; VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

El análisis discriminante permitió proyectar el agrupamiento de los individuos de cada genotipo. Se formaron cinco subconjuntos de individuos. UM0, UM2 y UM4 constituyeron cada una un subconjunto, mientras que UM1 y UM8 se agruparon con 'Albion', y UM9 lo hizo con 'Festival' (Figura 1), según las distancias entre genotipos (Cuadro 1A).

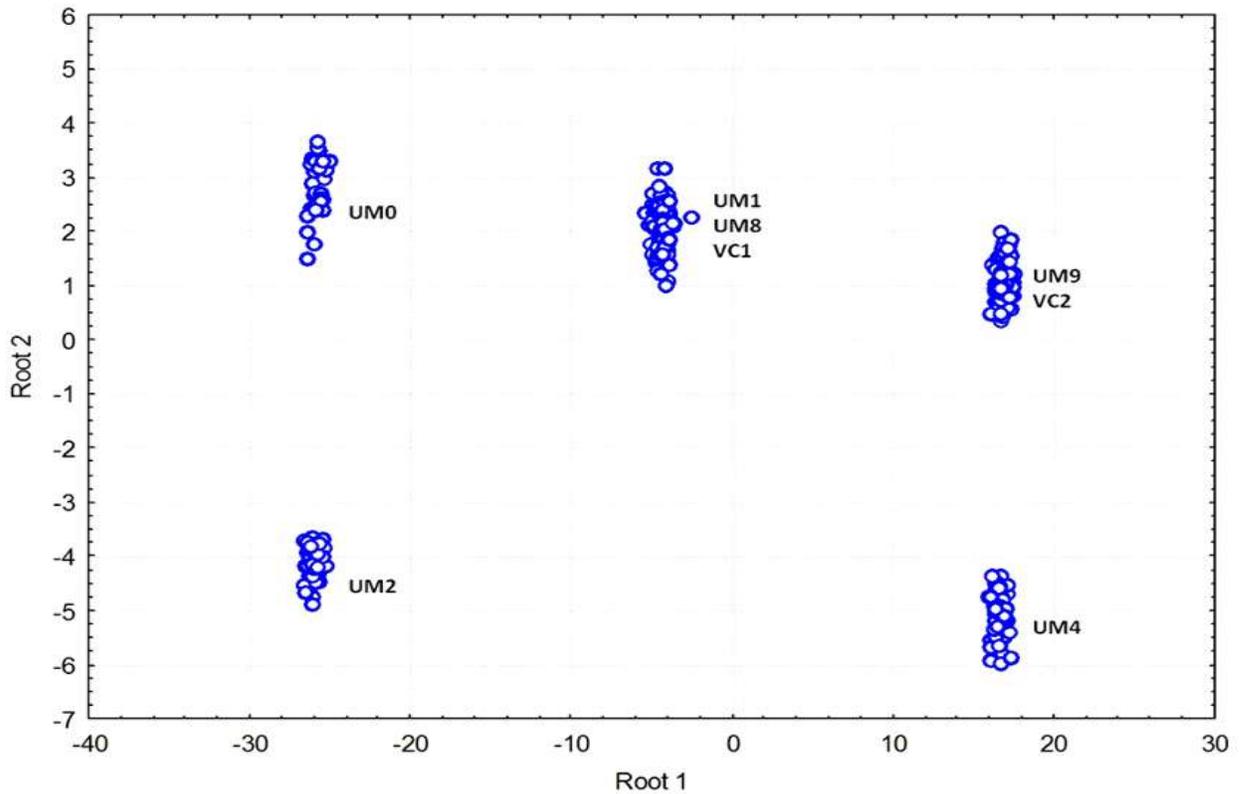


Figura 1. Distribución de seis selecciones avanzadas y dos variedades comerciales de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en las dos primeras raíces del análisis discriminante de 27 descriptores morfológicos utilizados en la caracterización de estos ocho genotipos en campo.

Los caracteres que más contribuyeron a la variación fueron: raíz 1: PIN, COR e ICA (valores negativos); BAN y PUL (valores positivos). Raíz 2: PAL, FRA, HBR y NES (valores negativos); TRI, PET, AQU y PEC (valores positivos) (Cuadro 4).

Los genotipos UM1, UM8 y Albion exhibieron PIN a la misma altura que el follaje, por lo cual estos tres genotipos formaron un grupo muy homogéneo. Por su parte, UM4, UM9 y Festival presentaron PIN por debajo del follaje, pero solamente UM9 y Festival formaron un grupo homogéneo, separado de UM4, debido al porte de los tricomas, que en los primeros es horizontal, mientras que en este último es ascendente. Lo mismo ocurrió con UM0 y UM2, los cuales comparten PIN por encima del follaje, pero difirieron en TRI.

Cuadro 4. Coeficientes estandarizados asociados a las primeras dos raíces del análisis discriminante de 480 individuos por 27 descriptores morfológicos, utilizados en la caracterización de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en campo.

Descriptor	Raíz 1	Raíz 2
Planta: Posición de la infrutescencia (PIN)	-1.041	0.035
Pecíolo: Porte de los tricomas (TRI)	0.049	1.012
Pétalo: Anchura en relación con la longitud (PAL)	0.016	-0.087
Foliolo terminal: Forma de la base (FFB)	-0.062	0.039
Flor: Disposición de los pétalos (PET)	0.065	0.148
Fruto: Anchura de la banda sin aquenios (BAN)	0.177	0.016
Fruto: Posición de los aquenios (AQU)	0.039	0.155
Pecíolo: Longitud (PEC)	-0.028	0.169
Fruto: Anchura en relación con la longitud (FRA)	-0.047	-0.066
Hoja: Brillo (HBR)	0.050	-0.076
Fruto: Forma (FRF)	-0.039	-0.022
Fruto: Cavidad (CAV)	0.001	0.096
Foliolo terminal: Anchura en relación con la longitud (FAL)	0.010	0.011
Planta: Número de estolones (NES)	-0.014	-0.060
Flor: Tamaño del cáliz en relación con la corola (CRL)	-0.010	0.070
Inflorescencia: Número de flores (INF)	0.026	-0.022
Fruto: Uniformidad del color (FRU)	-0.017	-0.034
Flor: Diámetro (FLD)	-0.060	0.045
Fruto: Color del corazón (COR)	-0.114	-0.003
Planta: Densidad del follaje (DEF)	-0.042	-0.027
Fruto: Posición de la inserción del cáliz (ICA)	-0.161	0.021
Fruto: Porte de los sépalos (SEP)	0.072	0.091
Fruto: Color de la pulpa (excluido el corazón) (PUL)	0.135	-0.031
Fruto: Firmeza (FMZ)	-0.046	0.024
Fruto: Tamaño (FRT)	-0.051	-0.033
Hoja: Tamaño (HTA)	-0.050	-0.034
Fruto: Diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ)	-0.073	0.013
Valor propio	272.518	7.816
Proporción de la varianza explicada	0.956	0.983

La variable **contenido de clorofila** también mostró diferencias significativas ($p = 0.0195$, Cuadro 3A). Así, los genotipos que exhibieron los valores más alto fueron UM4 y VC2 (40.80 y 41.51 SPAD, respectivamente), mientras que el valor más bajo lo obtuvo UM2 (34.38 SPAD)

(Cuadro 5). Estos resultados fueron más bajos comparados con los de Wu *et al.* (2009), quienes lograron hojas con un contenido de clorofila de 52.52-56.74 y de 40.85-44.74 SPAD en plantas de 'Toyonoka' expuestas a diferente intensidad y calidad de luz artificial, respectivamente. También resultaron más bajos que los de Murti *et al.* (2012), quienes lograron lecturas SPAD de 49.4 a 54.7 en genotipos con diferentes niveles de ploidía. Los presentes resultados fueron intermedios respecto a los de Sønsteby *et al.* (2009), quienes lograron hojas con un contenido de clorofila de 25 a 50 SPAD. Los resultados del presente experimento fueron también intermedios a los obtenidos por Savini *et al.* (2008), puesto que ellos reportaron valores de 0 a 50 SPAD en 'Camarosa'.

Cuadro 5. Área foliar y contenido de clorofila de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo. Promedios de tres mediciones.

Genotipo ^y	Área foliar (cm ²)	Contenido de clorofila (SPAD)
UM0	53.83 c ^z	36.79 ab
UM1	78.19 ab	37.14 ab
UM2	66.56 bc	34.38 b
UM4	85.61 a	40.80 a
UM8	81.79 ab	37.54 ab
UM9	79.92 ab	38.50 ab
VC1	54.71 c	38.49 ab
VC2	58.33 c	41.51 a

^y UM0 a UM9, selecciones avanzadas de fresa; VC1 y VC2, fresa 'Albion' y 'Festival', respectivamente.

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Se obtuvieron diferencias altamente significativas para la variable **número de frutos** ($p < 0.0001$; Cuadro 4A). Festival produjo el mayor (6.60) y UM0 el menor (2.70) número de frutos (Cuadro 6). Al igual que en el caso del estudio en invernadero, estos valores son bajos si se comparan con los mostrados en otros trabajos (Ara *et al.*, 2013; Dal Picio *et al.*, 2013; Frac *et al.*, 2009; Jamali *et al.*, 2011; Kamangar *et al.*, 2014; Kirschbaum *et al.*, 2010: 2-6, 1-19, 3.7-13.0, 5.98-15.7, 14.1-43.9, 3.1-10.0 frutos planta⁻¹, respectivamente). En estos trabajos citados, al igual que en el ensayo de invernadero, y en el presente estudio, se observó que el número de frutos varió según el genotipo y/o las condiciones de manejo.

Cuadro 6. Número de frutos, peso del fruto, rendimiento por planta y contenido de sólidos solubles (SST) del fruto de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo. Promedios de 17 cortes de fruta y 4 mediciones de SST.

Genotipo ^y	Número de frutos por planta	Peso del fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	SST del fruto (°Brix)
UM0	2.70 c ^z	7.99 b	21.80 c	9.24 ab
UM1	5.31 ab	9.02 ab	49.86 ab	8.05 b
UM2	5.34 ab	9.90 a	52.21 ab	9.41 a
UM4	5.42 ab	10.01 a	55.64 a	9.24 ab
UM8	5.49 ab	9.78 ab	53.33 a	9.64 a
UM9	5.16 ab	9.74 ab	52.26 ab	9.56 a
VC1	3.41 bc	9.07 ab	28.74 bc	10.02 a
VC2	6.60 a	9.97 b	53.86 a	9.30 ab

^y UM0,UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9: selecciones avanzadas de fresa; VC1 y VC2: variedades comerciales Albion y Festival, respectivamente.

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

En este ensayo el número de frutos que exhibió 'Albion' (VC1) fue de 3.41, mientras que Portz y Nonnecke (2009) registraron 7.86-11.30 frutos planta⁻¹ en esa misma variedad. Asimismo, el número de frutos que presentó 'Festival' (VC2) fue de 6.60, mientras que Ara *et al.* (2013) registraron dos frutos por planta, a los 60-80 días después del transplante, en plantas micropopagadas de esa misma variedad.

La variable **peso del fruto** también exhibió diferencias significativas ($p = 0.0021$, Cuadro 5A). UM4 y UM2 produjeron los frutos de mayor peso (10.01 y 9.90 g, respectivamente), mientras que UM0 y Festival produjeron los de menor peso (7.99 y 7.97 g, respectivamente) (Cuadro 6). Estos valores son bajos si se comparan con los obtenidos en los estudios de Bordonaba y Terry (2009) (15.49-23.68 g fruto⁻¹), Diamanti *et al.* (2012) (11.7-18.0 g fruto⁻¹), Jamali *et al.* (2011) (13.43-17.42 g fruto⁻¹), Kirschbaum *et al.* (2010) (31.7-39.3 g fruto⁻¹), Masny y Żurawicz (2009, 2010 y 2015) (7.56-16.42, 9.66-14.64 y 3.98-20.79 g fruto⁻¹, respectivamente), Portz y Nonnecke (2009) (5.23-12.03 g fruto⁻¹). Rho *et al.* (2010) (15-20 g fruto⁻¹), Rho *et al.* (2012) (10.6-18.4 g fruto⁻¹), Santos *et al.* (2009) (14.3-22.3 g fruto⁻¹), Shaw y Larson (2008) (14.9-24.8 g), Sonsteby *et al.* (2013) (11.5-17.5 g), Sonsteby y Heide (2008) (10.3-27.9 g), Whitaker *et*

al. (2011) (16.2-30.8 g) y Zorrilla-Fontanesi *et al.* (2011) (18.60-24.16 g fruto⁻¹).

Los resultados presentes son intermedios a los conseguidos por Cabilovski *et al.* (2014) (8.83-12.54 g fruto⁻¹), Casierra-Posada *et al.* (2011) (3.06-10.70 g fruto⁻¹), Dal Picio *et al.* (2013) (5.68-13.08 g fruto⁻¹), Frac *et al.* (2009) (5.88-9.76 g fruto⁻¹), Kamangar *et al.* (2014) (5.67-10.6 g fruto⁻¹) y Ozdemir *et al.* (2013) (7.6-15.7 g fruto⁻¹). Asimismo, son ligeramente superiores a los valores registrados por Pires *et al.* (2006) (7.0-8.5 g) en el cv Campinas IAC 2712.

El peso del fruto logrado por la variedad Albion (9.07 g) en este estudio resulta bajo si se compara con los que ha alcanzado en los estudios de Masny y Żurawicz (2010) (13.16 g fruto⁻¹) y los de Portz y Nonnecke (2009) (12.03 g fruto⁻¹). El peso del fruto logrado por la variedad Festival (9.97) resulta también bajo si se compara con los que ha alcanzado en los estudios de Ahsan *et al.* (2014) (14.3 g fruto⁻¹), Interiano *et al.* (2014) (\approx 7.2-18.4 g fruto⁻¹), MacKenzie *et al.* (2011) (\approx 8.5-22.0 g fruto⁻¹), Menzel y Smith (2014) 15-18 g fruto⁻¹), Santos *et al.* (2009) (14.9-21.45 g fruto⁻¹) y Whitaker *et al.* (2011) (22.4-24.1 g).

La variable **Rendimiento por planta** logró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$, Cuadro 6A). Las plantas de UM4, Festival y UM8 fueron las más rendidoras (55.64, 53.86 y 53.33 g planta⁻¹, respectivamente), mientras que las del genotipo UMO sólo produjeron 21.80 g planta⁻¹ (Cuadro 6). Al igual que en el experimento de invernadero, estos resultados son bajos si se comparan con los obtenidos en los estudios de Diamanti *et al.* (2012) (265.6-464.3 y 502.2-776.8 g planta⁻¹ en frutos comerciales y rendimientos totales, respectivamente), Frac *et al.* (2009) (499-626 g planta⁻¹), Jamali *et al.* (2011) (70.94-197.74 g planta⁻¹), Kamangar *et al.* (2014) (103-378 g planta⁻¹), Klamkowski y Treder (2008) (85.15-169.77 g planta⁻¹), Rahman *et al.* (2013) (52.0-737.7 g planta⁻¹) y Rho *et al.* (2010) (100-190 g planta⁻¹).

Los resultados aquí obtenidos, en general, superan los valores más bajos (17.29 y 32.8 g planta⁻¹) reportados por Höfer *et al.* (2012) y Rho *et al.* (2012), respectivamente, pero no alcanzan los valores más altos logrados por dichos autores (650 y 324 g planta⁻¹, respectivamente).

Los resultados presentes son superiores a los obtenidos por Ara *et al.* (2013) y Bosc *et al.* (2012) (8.56-19.43 y 6.5-35.8 g planta⁻¹, respectivamente).

El rendimiento alcanzado por 'Albion' (28.74 g planta⁻¹) en el presente estudio no logró superar los valores reportados en el estudio de Portz y Nonnecke (2009) (84.4-135.64 g planta⁻¹). Asimismo, el rendimiento logrado por 'Festival' (53.86 g planta⁻¹) no superó los valores reportados por Ahsan *et al.* (2014) (434 g planta⁻¹) y por Menzel y Smith (2014) (661-966 g planta⁻¹), fue intermedio a los valores registrados por MacKenzie *et al.* (2011) (\approx 20-120 g planta⁻¹), y superó los valores obtenidos por Ara *et al.* (2013) (8.56 g planta⁻¹).

Al igual que como en el ensayo de invernadero, las diferencias en cuanto a los caracteres productivos respecto a otros estudios pueden deberse a que en el presente experimento no se dio a las plantas un manejo intensivo con fines comerciales, sino que sólo se les aplicó una fertilización de mantenimiento que permitiera realizar la caracterización y poder comparar el comportamiento de las selecciones y variedades en condiciones homogéneas de manejo.

El **Contenido de sólidos solubles totales** (SST) exhibió diferencias significativas ($p = 0.0029$, Cuadro 7A). UM2, UM8, Albion y UM9 produjeron los frutos de mayor contenido de SST (9.41, 9.64, 9.56 y 10.02 °Brix, respectivamente), mientras que UM1 produjo los de menor (8.05 °Brix) (Cuadro 6). Estos resultados son similares a los reportados por Diamanti *et al.* (2012) (8.42-9.79 ° Brix). Asimismo, los presentes resultados son intermedios a los obtenidos por Bordonaba y Terry (2009) (8.57-11.63 °Brix), Masny y y Żurawicz (2009 y 2015) (7.57-11.98 y 7.86-12.52 °Brix, respectivamente) Ratsep *et al.* (2014) (8.0-12.8 °Brix) y Rho *et al.* (2010) (9-11 °Brix), y superan ligeramente a los registrados por Casierra-Posada *et al.* (2011) (6.35-9.67 °Brix), Josuttis *et al.* (2012) (5.8-10.4 °Brix), Martínez-Bolaños *et al.* (2008) (5.9-9.2 °Brix), Nishizawa *et al.* (2005) (5.4-9.9 °Brix), Ozdemir *et al.* (2013) (6.2-7.6 °Brix), Voca *et al.* (2008) (6.00-10.01 °Brix), Yu *et al.* (2011) (6.0-7.5 °Brix) y Zorrilla-Fontanesi *et al.* (2011) (7.07-9.79 °Brix).

En el presente trabajo 'Albion' exhibió 10.02 °Brix, lo cual coincide con los resultados de Masny y y Żurawicz (2010) (10.0 °Brix). Asimismo, 'Festival' logró 9.30 °Brix, mientras que Ahsan *et al.* (2014), Interiano *et al.* (2014), MacKenzie *et al.* (2011) y Whitaker *et al.* (2011) obtuvieron 12.6, 6.8-8.2, \approx 3.8-9.6 y 7.0-11.7 °Brix para esa misma variedad, respectivamente.

En general, las diferencias encontradas en los resultados de SST pueden deberse al

cultivar, al sistema de cultivo y a las condiciones climáticas, entre otros.

Al graficar la dinámica del rendimiento acumulado por planta se encontró que UM0 y ‘Albion’ registraron los valores más bajos de rendimiento acumulado (383.47 y 478.06 g planta⁻¹, respectivamente), mientras que las demás selecciones avanzadas, excepto UM1, se agruparon con ‘Festival’ (905.87 g planta⁻¹), con valores de rendimiento acumulado desde 857.31 hasta 932.18 g planta⁻¹, pero UM2 y UM4 superaron ligeramente a ‘Festival’ al obtener 913.16 y 932.18 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 2).

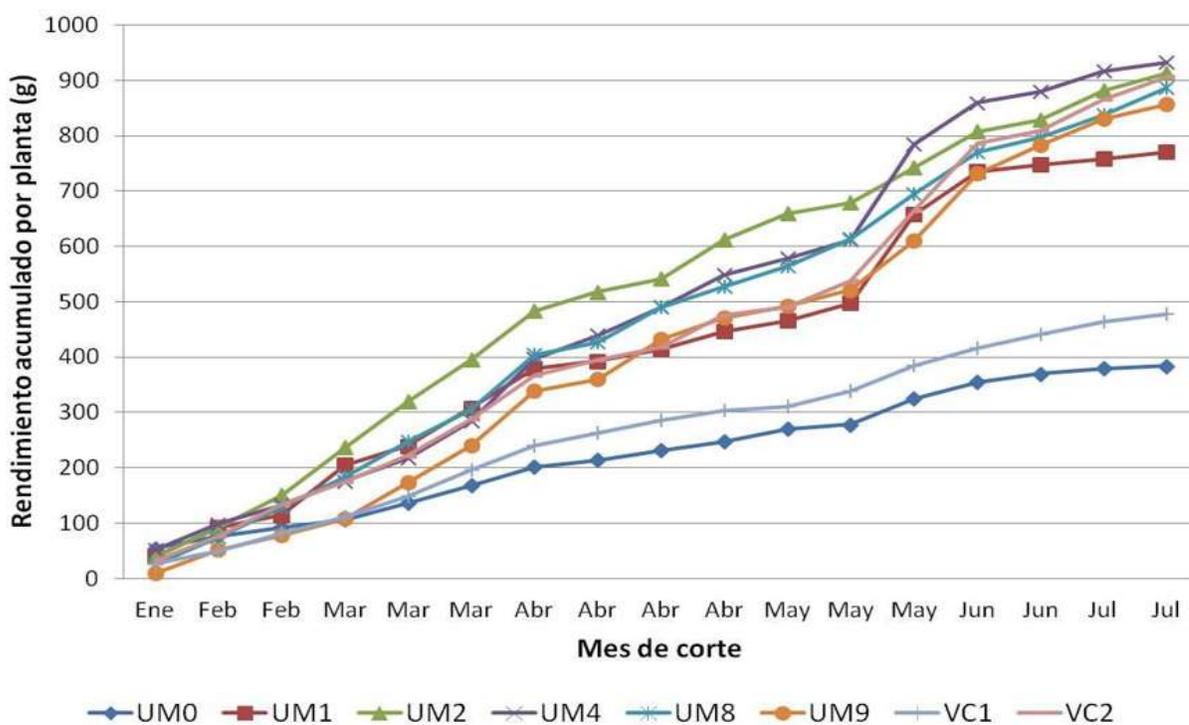


Figura 2. Dinámica del rendimiento acumulado por planta de seis selecciones avanzadas (UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9) y las variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) Albion (VC1) y Festival (VC2) evaluadas en campo.

Los presentes valores de rendimiento acumulado son superiores a los reportados por Bosc *et al.* (2012), Dal Picio *et al.* (2013), Pires *et al.* (2006), Sonsteby *et al.* (2013) y Sonsteby y Heide (2008) (202-3636, 177.4-488.2, 466.7-656.2, 100-550 y 110-675 g planta⁻¹, respectivamente), y son inferiores a los registrados por Kirschbaum *et al.* (2010) y Zorrilla-

Fontanesi *et al.* (2011) (818-1673 y 902.5-1,727.0 g planta⁻¹, respectivamente).

La variedad comercial Albion no logró adaptarse muy bien al sitio, lo cual se vio reflejado en su escaso follaje y bajo vigor, y en cuanto al rendimiento acumulado por planta, solamente superó a UM0. En efecto, al ubicar los ocho genotipos según el rendimiento acumulado, UM4 ocupa el primer lugar, 'Festival' el tercero y 'Albion' el séptimo.

2.4. Conclusiones

Las seis selecciones avanzadas y las dos variedades de fresa se agruparon, separadas completamente de TS, con el que coincidieron solamente en 15 de 48 descriptores.

Las seis selecciones avanzadas y las dos variedades fueron similares en el porte de planta, color del haz del pétalo y brillo del fruto, pero variaron en 27 caracteres morfológicos, de los cuales tres fueron relativos a la planta, seis a la hoja, cinco a la flor y 13 al fruto.

Las selecciones UM1 y UM8 se agruparon con 'Albion', la selección UM9 se agrupó con 'Festival', mientras que las selecciones UM0, UM2 y UM4 se agruparon independientemente una de la otra.

El porte de tricomas del peciolo y la posición de la infrutescencia fueron caracteres estables de mucha ayuda para diferenciar los genotipos.

El área foliar y el contenido de clorofila fueron variables según el genotipo.

La selección UM8 sobresalió de todos los demás genotipos por ser más productiva, con el mayor número de frutos, el mayor rendimiento y el mayor rendimiento acumulado por planta.

La selección UM4 tuvo el mayor peso del fruto, pero su aspecto no resultó muy atractivo.

Las selecciones UM8 y UM9 se proponen para que pasen a la siguiente etapa del programa de mejoramiento que consistirá en una evaluación semicomercial y se espera que al menos una de ellas se postule como nueva variedad.

2.5. Literatura Citada

- Ahsan, M. K., H. Mehraj, M. S. Hussain, M. M. Rahman, and AFM J. Uddin. 2014. Study on growth and yield of three promising strawberry cultivars in Bangladesh. *International Journal of Business, Social and Scientific Research* 1: 205-208.
- Ara, T., M.R. Karim, M.A. Aziz, R. Karim, R. Islam, and M. Hossain. 2013. Micropropagation and field evaluation of seven strawberry genotypes suitable for agro-climatic condition of Bangladesh. *African Journal of Agricultural Research* 8: 1194-1199.
- Bordonaba, J. G., and L. A. Terry. 2009. Development of a glucose biosensor for rapid assessment of strawberry quality: relationship between biosensor response and fruit composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 8220-8226.
- Bosc, J. P., D. Neri, F. Massetani, and A. Bardet. 2012. Relationship between plant architecture and fruit production of the short-day strawberry cultivar Gariguette. *Journal of Berry Research* 2: 105-111.
- Bradford, E., J. F. Hancock, and R. M. Warner. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135:102–107.
- Cabilovski, R., M. Manojlovic, D. Bogdanovic, N. Magazin, Z. Keserovic, and B. K. Sitaula. 2014. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) production: Impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture* 101: 67–74.
- Casierra-Posada, F., J. E. Peña-Olmos y A. F. Vargas-Martínez. 2011. Propiedades fisicoquímicas de fresas (*Fragaria* sp) cultivadas bajo filtros fotoselectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64: 6221-6228.
- Caulet, R. P., A. Morariu, D. Iurea, and G. Gradinariu. 2013. Growth and photosynthetic characteristics of two strawberry cultivars in response to furostanol glycosides treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 41: 231-237.
- Chandler, C. K. 2004. 'Strawberry Festival' strawberry plant. United States Plant Patent 14,739 (Obtenida el 27 de abril de 2004).
- Dal Picio, M., J. L. Andriolo, D. I. Jänisch, O. J. Schmitt, and M. A. Lerner. 2013. Fruit yield of strawberry stock plants after runner tip production by different cultivars. *Horticultura Brasileira* 31: 375-379.
- Diamanti, J., F. Capocasa, F. Balducci, M. Battino, J. Hancock, and B. Mezzetti. 2012. Increasing strawberry fruit sensorial and nutritional quality using wild and cultivated germplasm. *PLoS ONE* 7(10): e46470. doi:10.1371/journal.pone.0046470.
- Durner, E. F., E. B. Poling, and J. L. Mass. 2002. Recent advances in strawberry plug transplant

- technology. HortTechnology 12: 545-550.
- Frąc, M., P. Michalski, and L. Sas-Paszt. The effect of mulch and mycorrhiza on fruit yield and size of three strawberry cultivars. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 17: 85-93.
- Galleta, G. J. and J. L. Maas. 1990. Strawberry genetics. HortScience 25: 871-878
- Gaston, A., J. Perrotte, E. Lerceteau-Köhler, M. Rousseau-Gueutin, A. Petit, M. Hernould, C. Rothan, and B. Denoyes. 2013. PFRU, a single dominant locus regulates the balance between sexual and asexual plant reproduction in cultivated strawberry. Journal of Experimental Botany 64: 1837–1848.
- Höfer, M., R. Drewes-Alvarez, P. Scheewe, and C. Olbricht. 2012. Morphological evaluation of 108 strawberry cultivars – and consequences for the use of descriptors. Journal of Berry Research 2: 191-206.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ziracuaretiro, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16111. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16111.pdf> (último acceso: 12 de agosto de 2015).
- Jamali, B., S. Eshghi, and E. Tafazoli. 2011. Vegetative and reproductive growth of strawberry plants cv. 'Pajaro' affected by salicylic acid and nickel. Journal of Agricultural Science and Technology 13: 895-904.
- Josuttis, M., C. Carlen, P. Crespo, R. Nestby, T. B. Toldam-Andersen, H. Dietrich, and E. Krüger. 2012. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. Journal of Berry Research 2: 73-95.
- Kamangar, H., A. Rokhzadi, and S. Hesami. 2014. Evaluation of growth and morphological traits of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars under field conditions. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 4: 53-57.
- Kirschbaum, D. S. Kirschbaum, K. D. Larson, S. A. Weinbaum, and T. M. DeJong. 2010. Late-season nitrogen applications in high-latitude strawberry nurseries improve transplant production pattern in warm regions. African Journal of Biotechnology 9: 1001-1007.
- Klamkowski, K., and W. Treder. 2008. Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 16: 179-188.
- Li, H., R. Huang, T. Li, and K. Hu. 2010. Ability of nitrogen and phosphorus assimilation of seven strawberry cultivars in a northern Atlantic coastal soil. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Mackenzie, S. J., C. K. Chandler, T. Hasing, and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical

- production system. Hortscience 46: 1562–1566.
- Markwell, J., Osterman, J. C., Mitchell, J. L., 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photosynthesis Research 46: 467-472.
- Martínez-Bolaños, M., D. Nieto-Ángel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcázar, Ma. T. Martínez-Damián, H. Vaquera-Huerta y O. Carrillo-Mendoza. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura 14: 113-119.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2009. Yielding of new dessert strawberry cultivars and their susceptibility to fungal diseases in Poland. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 17: 191-202.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2010. Productive value of new foreign strawberry cultivars evaluated in 2007-2010. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 18: 273-282.
- Mazny, A. and E. Żurawicz. 2015. Season extension possibilities in two polish june-bearing strawberry cultivars. Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus 14: 115-127.
- Maureira C., M., A. Lavín A. y A. del Pozo L. 1996. Caracterización fenotípica y fenológica de siete accesiones chilenas de *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. Agricultura Técnica (Chile) 56: 201-210.
- Menzel, C. M. and L. Smith. 2014. The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment. New Zealand Journal of Crop & Horticultural Science 42: 60-75.
- Mookerjee, S., M. M. Mathey, Ch. E. Finnc, Z. Zhangd, and J. F. Hancock. 2013. Heat tolerance plays an important role in regulating remontant flowering in an F₁ population of octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa*). Journal of Berry Research 3: 151-158.
- Murti, R. H., H. Y. Kim, and Y. R. Yeoung. 2012. Morphological and anatomical characters of ploidymutants of strawberry. International Journal of Agriculture & Biology 14: 204-210.
- Neri, D., N. Sugiyama, and A. Inujima. 2005. Effects of organic residues on strawberry root growth. International Journal of Fruit Science 5: 127-137.
- Nishizawa, T., S. Nagasawa, Y. Mori, Y. Kondo, and Y. Sasaki. 2005. Characteristics of soluble sugar accumulation in commercially grown *Fragaria chiloensis*. HortScience 40: 1647-1648.
- Özdemir, E., N. Kaşka, K. Gündüz, and S. Serçe. 2013. Effects of short day conditioning, chilling and GA3 treatments to yield and fruit quality in strawberry plug transplants aiming early fruit production. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 41: 263-268.
- Pires, R. C. M., M. V. Folegatti; F. A. Passos, F. B. Arruda, and E. Sakai. 2006. Vegetative growth and yield of strawberry under irrigation and soil mulches for different cultivation environments. Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil.) 63: 417-425.

- Portz, D. N. and G. R. Nonnecke. 2009. Effect of removal of runners and flowers from day-neutral strawberries on time of harvest and total yields. Iowa State Research Farm Progress Reports. Disponible en: http://lib.dr.iastate.edu/farms_reports/328 (último acceso: 10 de agosto de 2015).
- Rahman, M. M., M. M. Rahman, M. M Hossain, M.A.K. Mian, and Q. A. Khaliq. 2013. Characterization and field performance of 15 strawberry germoplasm under Bangladesh conditions. SAARC Journal of Agriculture 11(2): 81-94.
- Rho, I. R., Y. S. Cho, J. W. Cheong, and H. J. Jeong. 2010. Effects of seed parents on varietal performance in strawberry. Korean Journal of Breeding Science 42: 374-380.
- Rho, I. R., J. G. Woo, H. J. Jeong, H. Y. Jeon, and C. Lee. 2012. Characteristics of F₁ hybrids and inbred lines in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne). Plant Breeding 131: 550-554.
- Santos, B. M., C. K. Chandler, M. Ramírez-Sánchez, and T.P. Salamé. 2009. Evaluation of Strawberry cultivars in Florida. International Journal of Fruit Science 9: 419-424.
- SAS Institute, 1999. The SAS system for windows. Release 8.0. SAS Institute. Cary, NC.
- Savini, G., V. Giorgi, E. Scarano, and D. Neri. 2008. Strawberry plant relationship through the stolon. Physiologia Plantarum 134: 421-429.
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2006. Strawberry plant named 'Albion'. United States Plant Patent 16,228 (Obtenida el 31 de enero de 2006).
- Shaw, D. V. and K. D. Larson. 2008. Performance of early-generation and modern strawberry cultivars from the University of California breeding programme in growing systems simulating traditional and modern horticulture. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 83: 648-652.
- Sønsteby A. and O. M. Heide. 2008. Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona. Scientia Horticulturae 119: 49-54.
- Sønsteby, A., N. Opstad, U. Myrheim, and O. M. Heide. 2009. Interaction of short day and timing of nitrogen fertilization on growth and flowering of 'Korona' strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae 123: 204-209.
- Sønsteby, A., N. Opstad, and O.M. Heide. 2013. Environmental manipulation for establishing high yield potential of strawberry forcing plants. Scientia Horticulturae 157: 65-73.
- StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- UPOV. 2012. Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Fresa. Código UPOV: FRAGA (*Fragaria* L.). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg022.pdf (Fecha de

acceso: 28/10/2012).

- Voća, S., N. Dobričević, V. Dragović-Uzelac, B. Duralija, J. Družić, Z. Čmelik, and M. S. Babojelić. 2008. Fruit quality of new early ripening strawberry cultivars in Croatia. *Food Technology and Biotechnology* 46: 292-298.
- Whitaker, V. M., T. Hasing, C. K. Chandler, A. Plotto, and E. Baldwin. 2011. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of university of Florida cultivars and advanced selections. *Hortscience* 46:553-557.
- Wood, C. W., Reeves, D. W., Himelrick, D. L., 1993. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. *Proceedings - Agronomy Society New Zealand* 23: 1-9.
- Wu, C. C., S. T. Hsu, M. Y. Chang, and W. Fang. 2011. Effect of light environment on runner plant propagation of strawberry. *In: Goto, E. and S. Hikosaka (eds) VI International Symposium on Light in Horticulturae. Acta Horticulturae* 907: 297-302.
- Yu, C., M. Ranieri, D. Lv, M. Zhang, M. T. Charles, R. Tsao, D. Rekika, and S. Khanizadeh. 2011. Phenolic composition and antioxidant capacity of newly developed strawberry lines from British Columbia and Quebec. *International Journal of Food Properties* 14: 59-67.
- Zorrilla-Fontanesi, Y., A. Cabeza, P. Domínguez, J. J. Medina, V. Valpuesta, B. Denoyes-Rothan, J. F. Sánchez-Sevilla, and I. Amaya. 2011. Quantitative trait loci and underlying candidate genes controlling agronomical and fruit quality traits in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Theoretical and Applied Genetics* 123: 755-778.

DISCUSIÓN GENERAL

El análisis por componentes principales en los dos experimentos del presente trabajo, reveló que las selecciones avanzadas y las variedades comerciales de fresa se agruparon en un solo conjunto de individuos, separado éste completamente del genotipo silvestre (TS), con el que no obstante fueron similares en 16 y 15 caracteres, en los experimentos de invernadero y campo, respectivamente.

Las selecciones avanzadas y variedades comerciales extranjeras no variaron en 21 caracteres, tanto en invernadero como en campo. El vigor de la planta (VIG), la diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos (DIF), el brillo del fruto (FRB), y la uniformidad de la superficie del fruto (FUS) presentaron variación en invernadero, no así en campo, mientras que el número de estolones (NES) y la longitud del peciolo (PEC) presentaron variación sólo en campo.

El análisis discriminante de las selecciones y variedades reveló que 27 de los 48 descriptores presentaron variación al interior y entre genotipos en ambos sitios de trabajo; sin embargo, de dichos descriptores morfológicos, en invernadero 2 fueron relativos a la planta, 5 a la hoja, 4 a la flor y 16 al fruto, mientras que en campo 3 fueron relativos a la planta, 6 a la hoja, 5 a la flor y 13 al fruto.

En cuanto a los caracteres relativos a la planta, en invernadero los genotipos variaron en densidad foliar (DEF) y vigor de la planta (VIG), mientras que en campo no variaron en VIG pero sí en DEF, posición de la infrutescencia (PIN) y número de estolones NES. En base a estas observaciones, PIN se puede considerar como un carácter estable, ya que no está influenciado por el ambiente.

En los caracteres relativos a la hoja, los genotipos variaron en: 1) tamaño de hoja (HTA): las hojas fueron generalmente pequeñas en invernadero, mientras que en campo lo fueron de tamaño medio; 2) anchura en relación con la longitud del foliolo terminal (FAL); 3)

forma de la base del foliolo terminal (FFB): en invernadero la mayoría de los genotipos presentaron una FFB redondeada, mientras que en campo predominó una FFB obtusa, este carácter sólo se comportó estable en ambos sitios en los genotipos UM8, UM9 y VC2; 4) longitud del peciolo (PEC): en invernadero predominó una longitud corta, mientras que en campo en más de la mitad de los genotipos predominó PEC de tamaño medio; 5) porte de pelos del peciolo (PEL): los resultados fueron similares en los genotipos que se evaluaron en ambos sitios de trabajo, por lo que este carácter puede considerarse como estable. Además de los caracteres anteriores, en campo los genotipos variaron en el brillo de la hoja (HBR).

En los caracteres relativos a la flor, los genotipos de ambos experimentos variaron en: 1) número de flores de la inflorescencia (INF); 2) diámetro de flor (FLD): en invernadero 11 de 12 genotipos tuvieron un FLD medio, mientras que en campo sólo 5 de 8 genotipos presentaron esa nota; 3) tamaño del cáliz en relación con la corola (CRL): en invernadero predominó la nota “más pequeño”, mientras que en campo predominó la nota “mayor”; 4) anchura del pétalo en relación con su longitud (PAL): en ambos sitios predominaron pétalos de igual ancho que largo. En campo, además de los caracteres anteriores, los genotipos variaron en la disposición de los pétalos (PET).

En los caracteres relativos al fruto, la variación en ambos experimentos ocurrió en: 1) anchura en relación con su longitud (FRA): en invernadero la mitad de genotipos, incluyendo las variedades comerciales, presentaron frutos moderadamente más largos que anchos, mientras que en campo 5 de 8 genotipos presentaron esa nota como la que más predominó; 2) tamaño (FRT): en invernadero la mitad de genotipos, incluyendo las variedades comerciales, presentaron frutos de tamaño medio, mientras que en campo esa nota fue la que predominó en todos los genotipos; 3) forma (FRF): las dos formas predominantes en ambos sitios fueron la cónica y la ovoide; 4) diferencia de forma entre los frutos terminales y los otros frutos (DIF): en ambos sitios predominó la nota “ninguna o muy leve” DIF; 5) uniformidad del color (FRU) y 6) uniformidad de la superficie (FUS): en ambos sitios predominó la nota “uniforme o muy leve irregularidad” para los dos caracteres; 7) anchura de la banda sin aquenios (BAN): en ambos sitios predominó una BAN estrecha; 8) posición de los aquenios (AQU): en invernadero la mitad de genotipos

produjeron frutos con AQU a la misma altura que la superficie, mientras que la otra mitad los produjeron debajo de la superficie; en campo la mayoría de genotipos presentaron un mayor porcentaje de individuos con AQU a la misma altura que la superficie del fruto; 9) posición de la inserción del cáliz (ICA): en ambos sitios predominó una ICA a la misma altura que el fruto; 10) porte de los sépalos (SEP): en invernadero predominó SEP “hacia arriba”, no así en campo, donde predominaron las notas “hacia afuera” y “hacia abajo”; 11) diámetro del cáliz en relación con el diámetro del fruto (FDZ): en invernadero la mayoría de genotipos presentaron FDZ ligeramente mayor, mientras que en campo sólo la mitad de genotipos presentaron esa nota; 12) firmeza (FMZ): en invernadero todas las selecciones avanzadas tuvieron frutos firmes y las variedades comerciales muy firmes, mientras que en campo predominaron los frutos firmes; 13) color de la pulpa excluido el corazón (PUL): en ambos sitios predominaron los frutos con PUL rojo medio; 14) color del corazón (COR): en invernadero predominó COR rojo medio, mientras que en campo predominó el rojo claro; 15) cavidad (CAV): en ambos sitios predominó una CAV mediana.

El brillo del fruto (FRB) presentó variación sólo en invernadero.

El análisis discriminante reveló que UM2 y UM4 se agruparon en invernadero, no así en campo, donde formaron grupos separados al igual que UM0. En invernadero las demás selecciones se agruparon junto con las dos variedades comerciales, mientras que en campo estas últimas se separaron en grupos distintos, pero agrupadas a su vez con otras selecciones. Así, ‘Albion’ formó un conjunto con UM1 y UM8, mientras que ‘Festival’ lo hizo con UM9. El carácter que más contribuyó a la variación en invernadero, aunque con valor negativo, fue PEL, mientras que en campo fue PIN. COR y PUL fueron caracteres que contribuyeron a la variación en ambos sitios de trabajo en la raíz principal y exhibieron prácticamente los mismos valores absolutos para ambos sitios.

Los valores que se obtuvieron en campo para la variable área foliar superaron desde 14.3 hasta 51.6 % a los que se registraron para los mismos genotipos en invernadero.

El contenido de clorofila no varió significativamente en invernadero, pero sí en campo;

sin embargo, UM0, UM1, UM2 y UM8 exhibieron valores de 0.7 a 9.3 % mayores en invernadero que en campo, mientras que UM4, UM9, Albion y Festival exhibieron valores de 0.3 a 8.2 % mayores en campo que en invernadero.

Los valores que se obtuvieron en campo para la variable número de frutos superaron desde 9.8 hasta 55.7 % a los que se registraron para los mismos genotipos en invernadero.

Los valores que se obtuvieron en campo para la variable peso del fruto, en la mayoría de genotipos superaron desde 8.5 hasta 29.1 % a los que se registraron para los mismos materiales en invernadero.

Los valores que se observaron en campo para la variable rendimiento por planta superaron de un 25.3 a 71.0 % a los que se obtuvieron para los mismos genotipos en invernadero; UM8 estuvo entre los más rendidores en ambos sitios de trabajo.

Los valores que se lograron en campo para la variable contenido de sólidos solubles totales (SST) superaron de 19.6 a 28.0 % en grados Brix a los que se registraron para los mismos genotipos en invernadero.

En cuanto al rendimiento acumulado, UM8 sobresalió de todos los demás genotipos por ser muy productivo en invernadero. En campo el comportamiento fue más uniforme entre los genotipos, excepto por UM0 y 'Albion'; éste último no se adaptó bien al sitio.

En general los genotipos evaluados en campo superaron desde 15.4 hasta 65.9 % en rendimiento acumulado a sus homólogos evaluados en invernadero. Esto pudo deberse a una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo del campo que en el sustrato empleado en invernadero.

PERSPECTIVAS

El cultivo de la fresa en México está en creciente demanda, según las estadísticas agropecuarias, las cuales indican que la superficie sembrada con este cultivo aumenta cada año al igual que la producción; sin embargo, el no contar con variedades generadas especialmente para las condiciones locales y que estén al alcance de los productores, encarece cada vez más los costos de producción por pago de regalías de variedades extranjeras introducidas, por lo que se hace necesario y urgente generar variedades propias.

Los alcances logrados con el presente estudio demuestran que es posible generar variedades locales si se cuenta con los progenitores adecuados y el apoyo de productores cooperantes para evaluar los segregantes, selecciones iniciales y selecciones avanzadas, que permitirán obtener finalmente uno o dos materiales promisorios, bien adaptados a las condiciones locales y que no representen un alto costo en el pago de regalías.

Otro aspecto importante a considerar es contar de preferencia con progenitores de uso libre, de fotoperiodo de día corto y neutro, y además incluir en el programa algunas variedades silvestres de la región; lo anterior sería para no tener restricciones al momento de cultivar y comercializar las nuevas variedades generadas.

En cuanto a la descripción varietal, se sugiere incluir en investigaciones posteriores otras variables relacionadas con el rendimiento y la calidad de frutos, tales como el número de inflorescencias por planta y el número total de flores por planta, así como la acidez titulable de frutos y la vida de anaquel.

Cuadro 2A. Ecuaciones lineales calculadas para estimar el área foliar por genotipo, de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero.

Genotipo ^z	Ecuación lineal ^y	Valor de R ²
UM0	AF = 1.1590 + 0.6842 * LxA	0.97
UM1	AF = -1.6887 + 0.7064 * LxA	0.95
UM2	AF = 1.1249 + 0.6628 * LxA	0.97
UM3	AF = 1.2985 + 0.6717 * LxA	0.97
UM4	AF = -26.1158 + 10.0323 * L	0.93
UM5	AF = 0.1508 + 0.7266 * LxA	0.97
UM6	AF = 0.9469 + 0.6724 * LxA	0.98
UM7	AF = -27.9197 + 10.1867 * L	0.90
UM8	AF = 1.1590 + 0.6842 * LxA	0.97
UM9	AF = 0.6448 + 0.6665 * LxA	0.98
VC1	AF = 2.3576 + 0.6562 * LxA	0.95
VC2	AF = -31.1438 + 10.5458 * L	0.90

^z UM0 a UM9: selecciones avanzadas. VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente

^y AF: área foliar. LxA: largo por ancho de hoja conocidos. L: largo de hoja conocido.

Cuadro 3A. Análisis de varianza para el parámetro área foliar de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de tres mediciones.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	11	965.2752	87.7523	2.99	0.0042
Error	48	1407.5921	29.3248		
Total	59	2372.8673			

Cuadro 4A. Análisis de varianza para el parámetro contenido de clorofila de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de cinco mediciones.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	11	3.8683	0.3517	0.89	0.5556
Error	48	18.9502	0.3948		
Total	59	22.8185			

Cuadro 5A. Análisis de varianza para el parámetro número de frutos de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de 20 cortes de fruta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	11	39.6313	3.6028	13.70	< 0.0001
Error	48	12.6254	0.2630		
Total	59	52.2567			

Cuadro 6A. Análisis de varianza para el parámetro peso del fruto de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de 20 cortes de fruta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	11	70.8679	6.4425	6.27	< 0.0001
Error	48	49.3478	1.0281		
Total	59	120.2157			

Cuadro 7A. Análisis de varianza para el parámetro rendimiento de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de 20 cortes de fruta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	11	443.7398	40.3400	3.59	0.0010
Error	48	539.8876	11.2477		
Total	59	983.6274			

Cuadro 8A. Análisis de varianza para el parámetro contenido de sólidos solubles de 10 selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en invernadero; promedio de siete mediciones.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	11	17.3192	1.5745	3.53	0.0011
Error	48	21.4118	0.4461		
Total	59	38.7310			

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE SEIS SELECCIONES AVANZADAS Y DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN CAMPO

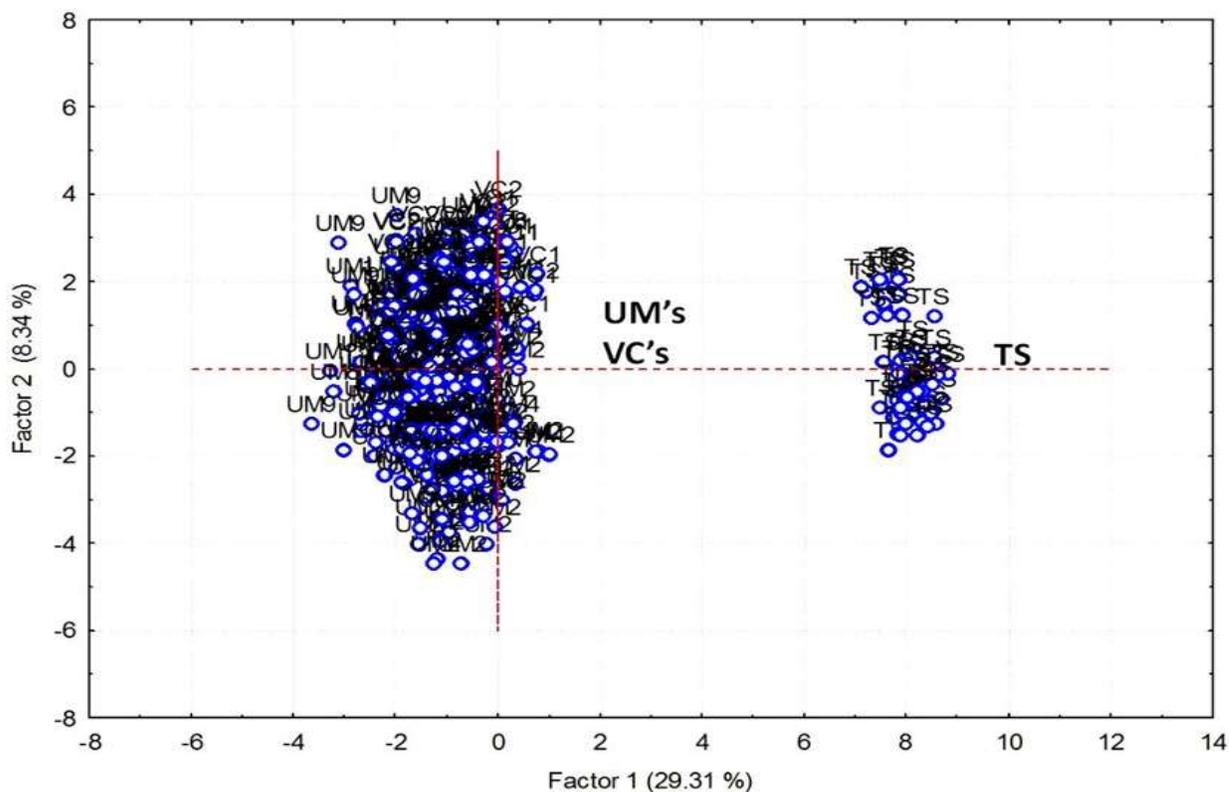


Figura 2A. Distribución de seis selecciones avanzadas (UM's) y dos variedades comerciales (VC's) de fresa, además de una variedad silvestre (TS) del género *Duchesnea* en los dos primeros componentes principales de 33 descriptores morfológicos. UM's: UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9; VC's: VC1 y VC2 (Albion y Festival, respectivamente).

Cuadro 9A. Distancias de Mahalanobis entre seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en en campo.

	UM0 ²	UM1	UM2	UM4	UM8	UM9	VC1	VC2
UM0	0.00							
UM1	463.49	0.00						
UM2	51.59	514.36	0.00					
UM4	1857.43	508.84	1824.37	0.00				
UM8	470.50	30.11	515.29	495.40	0.00			
UM9	1836.40	484.11	1865.38	38.18	471.75	0.00		
VC1	472.86	28.70	509.54	486.56	17.33	460.36	0.00	
VC2	1799.55	468.51	1842.61	40.92	452.83	15.34	438.46	0.00

² UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9: selecciones avanzadas. VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Cuadro 10A. Ecuaciones lineales calculadas para estimar el área foliar por genotipo, de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo.

Genotipo	Ecuación lineal	Valor de R ²
UM0	AF = -26.9488 + 8.1398 * A	0.67
UM1	AF = 2.8342 + 0.6378 * LxA	0.98
UM2	AF = 0.2098 + 0.6713 * LxA	0.97
UM4	AF = 2.9455 + 0.6540 * LxA	0.90
UM8	AF = 0.7488 + 0.6928 * LxA	0.98
UM9	AF = -1.8236 + 0.6833 * LxA	0.97
VC1	AF = 4.9339 + 0.5924 * LxA	0.93
VC2	AF = 0.1936 + 0.6762 * LxA	0.95

AF: área foliar. LxA: largo por ancho de hoja conocidos. L: largo de hoja conocido.

UM0, UM1, UM2, UM4, UM8 y UM9: selecciones avanzadas.

VC1 y VC2: variedades Albion y Festival, respectivamente.

Cuadro 11A. Análisis de varianza para el parámetro área foliar de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo; promedio de tres mediciones.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	7	5956.6845	850.9549	10.73	< 0.0001
Bloque	4	1647.2943	411.8236	5.19	0.0029
Error	28	2219.6725	79.2740		
Total	39	9823.6513			

Cuadro 12A. Análisis de varianza para el parámetro contenido de clorofila de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo; promedio de tres mediciones.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	7	179.9504	25.7072	2.94	0.0195
Bloque	4	3.3124	0.8281	0.09	0.9834
Error	28	245.0821	8.7529		
Total	39	428.3449			

Cuadro 13A. Análisis de varianza para el parámetro número de frutos de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo; promedio de 17 cortes de fruta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	7	54.9135	7.8448	6.49	0.0001
Bloque	4	26.1365	6.5341	5.40	0.0024
Error	28	33.8585	1.2092		
Total	39	114.9085			

Cuadro 14A. Análisis de varianza para el parámetro peso del fruto de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo; promedio de 17 cortes de fruta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	7	23.9357	3.4194	4.40	0.0021
Bloque	4	12.9184	3.2296	4.15	0.0092
Error	28	21.7806	0.7779		
Total	39	58.6347			

Cuadro 15A. Análisis de varianza para el parámetro rendimiento de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo; promedio de 17 cortes de fruta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	7	5924.6478	846.3783	6.50	0.0001
Bloque	4	4237.7268	1059.4317	8.14	0.0002
Error	28	3645.6303	130.2011		
Total	39	13808.0049			

Cuadro 16A. Análisis de varianza para el parámetro contenido de sólidos solubles de seis selecciones avanzadas y dos variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) evaluadas en campo; promedio de cuatro mediciones.

FV	GL	SC	CM	Fc	P > F
Genotipo	7	11.3226	1.6175	4.19	0.0029
Bloque	4	0.4346	0.1086	0.28	0.8875
Error	28	10.8106	0.3861		
Total	39	22.5678			