UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) BAJO TÚNEL DE POLIETILENO Y CAMPO ABIERTO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS HORTOFRUTICOLAS

PRESENTA

DIEGO ARMANDO AGUIRRE MACÍAS

CUAUHTÉMOC, CHIH., MAYO DE 2020

TÍTULO DE LA TESIS:

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) BAJO TÚNEL DE POLIETILENO Y CAMPO ABIERTO

ÁREA DE INVESTIGACIÓN

FISIOLOGÍA VEGETAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, certifican que han leído y recomiendan a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas la aceptación de la tesis de Maestría titulada "**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) BAJO TÚNEL DE POLIETILENO Y CAMPO ABIERTO"**

Realizada por: **DIEGO ARMANDO AGUIRRE MACÍAS**

Como cumplimiento parcial de los requerimientos para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS**

Ratifican que las firmas son verdaderas:

Dr. Damián Aarón Porras Flores
Director
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Director de Tesis

MC. Ramón Saúl Luján Aguirre
Secretario de Investigación y posgrado
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

Dr. José de Jesús Ornelas Paz
Co-Director

Dr. Juan Luis Jacobo Cuéllar
Asesor

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Asesor

21 Mayo 2021
Fecha

Dra. Mayra Cristina Soto Caballero
Asesor

Cd Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

The undersigned certify that they have read, and recommend to the Agrotechnological Sciences for acceptance, a Master´s thesis entitled: **"PRODUCTION AND QUALITY ON RASPBERRY (*Rubus idaeus* L.) UNDER POLYETHYLENE TUNNEL AND OPEN FIELD"**

Submitted by: **DIEGO ARMANDO AGUIRRE MACÍAS**

In partial fulfillment of the requirements of the degree of **MASTER OF SCIENCE**

Ratify that signatures are real:

Dr. Damián Aarón Porras Flores
Department Chair
Agrotechnological Sciences Department

Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Major-Professor

MC. Ramón Saúl Luján Aguirre
Chairman of Research and Graduate Studies
Agrotechnological Science Department

Dr. José de Jesús Ornelas Paz
Major-Professor

Dr. Juan Luis Jacobo Cuéllar
Advisor

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Advisor

21 Mayo 2021
Fecha

Dra. Mayra Cristina Soto Caballero
Advisor

Cd Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico UACH-CA-17 HORTOFRUTICULTURA**, han fungido como parte integral en la asesoría de **DIEGO ARMANDO AGUIRRE MACÍAS** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de investigación "**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) BAJO TÚNEL DE POLIETILENO Y CAMPO ABIERTO"**

Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Colaborador

21 Mayo 2021
Fecha

Dr. Juan Luis Jacobo Cuéllar
Colaborador

Cd Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico UACH-CA-114 MICROBIOLOGÍA APLICADA Y PARASITOLOGÍA EN HORTICULTURA**, han fungido como parte integral en la asesoría de **DIEGO ARMANDO AGUIRRE MACÍAS** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de investigación "**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) BAJO TÚNEL DE POLIETILENO Y CAMPO ABIERTO**"

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Integrante

21 Mayo 2021
Fecha

Cd Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico UACH-CA-11 FRUTALES DE ZONA TEMPLADA**, han fungido como parte integral en la asesoría de **DIEGO ARMANDO AGUIRRE MACIAS** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de investigación "**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) BAJO TÚNEL DE POLIETILENO Y CAMPO ABIERTO"**

Dra. Mayra Cristina Soto Caballero
Colaboradora

21 de mayo del 2021
Fecha

Cd Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Autónoma de Chihuahua a través de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas ext. Cuauhtémoc por sus instalaciones, equipo, personal y docentes.

- Al Dr. Rafael Ángel Parra Quezada por su tiempo, apoyo y asesoría durante el trabajo.

- Al Dr. Juan Luis Jacobo Cuéllar por su disposición, asesoría, tiempo y apoyo en el análisis de información.

- A las Dras. Nora Aideé Salas y Mayra Cristina Soto por su apoyo en el laboratorio.

- Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y al Dr. José de Jesús Ornelas Paz por permitirme realizar algunas determinaciones en su laboratorio.

- A Angélica Gutiérrez por su disposición, apoyo, tiempo y asesoría en el CIAD.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS i
ÍNDICE GENERAL ii
ÍNDICE DE CUADROS v
ÍNDICE DE FIGURAS vi
RESUMEN vii
ABSTRACT viii
I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1 Antecedentes 3
2.2 Producción 5
2.2.1 Producción mundial 5
2.2.2 Producción nacional 7
2.1 Ventanas de mercado 10
2.2 Cultivares 12
2.2.1 Cultivares bianuales o de verano 12
2.2.1.1 Producción forzada con cultivares bianuales 14
2.2.2 Cultivares anuales o de otoño 18
2.2.2.1 Desface de la producción con cultivares anuales 19
2.3 Descripción y parámetros de calidad de fruto 23
2.3.1 Color y firmeza 24
2.3.2 Peso y forma 25
2.3.3 Azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos 26
2.3.4 Compuestos fenólicos 28
2.4 Producción de frutales en ambientes protegidos 29
2.4.1 Túneles de polietileno 30
2.5 Parámetros climáticos modificados en ambientes protegidos 31
2.5.1 Radiación solar 31

2.5.2 Temperatura ambiental 34
2.5.2 Humedad relativa 37
III. MATERIALES Y MÉTODOS 39
3.1. Área experimental 39
3.2. Material vegetativo 39
3.3. Tratamientos 39
3.4. Variables agronómicas 42
3.4.1 Humedad relativa 42
3.4.2 Temperatura ambiental 42
3.4.3 Horas y días grado desarrollo 42
3.4.4 Radiación fotosintéticamente activa 43
3.5 Eventos biológicos 43
3.5.1 Emergencia de cañas, crecimiento vegetativo y floración 43
3.5.2 Floración y periodo de producción 43
3.6 Variables de rendimiento 44
3.6.1 Número de frutos parciales y acumulados 44
3.6.2 Rendimiento parcial y acumulado 44
3.6.3 Peso medio del fruto 44
3.7 Componentes morfológicos y de rendimiento 44
3.8 Calidad de fruto 45
3.8.1 Color 45
3.8.2 Firmeza 45
3.8.3 Sólidos solubles totales 45
3.8.4 Acidez titulable 45
3.9 Fitoquímicos 46
3.9.1 Obtención de los extractos 46
3.9.2 Fenoles individuales 47
3.9.3 Azúcares y ácidos orgánicos individuales 47
3.10 Análisis estadístico 48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50
4.1. Variables agronómicas 50
4.1.1 Humedad relativa 50
4.1.2 Temperatura ambiental 54

4.1.3 Horas y días grado desarrollo 61
4.1.4 Radiación fotosintéticamente activa 64
4.2 Eventos biológicos 67
4.2.1 Emergencia de cañas, crecimiento vegetativo y floración 67
4.2.2 Crecimiento vegetativo de cañas 71
4.3 Variables de rendimiento 77
4.3.1 Número de frutos parciales y acumulados 77
4.3.2 Rendimiento parcial y acumulado 81
4.3.3 Peso medio de fruto 85
4.4 Componentes morfológicos y de rendimiento 87
4.5 Calidad de fruto 90
4.5.1 Color 90
4.5.2 Firmeza 91
4.5.3 Sólidos solubles totales 91
4.5.4 Acidez titulable 92
4.5.5 Compuestos fenólicos 92
4.5.6 Azúcares y ácidos orgánicos individuales 100
V. CONCLUSIONES 108
VI. LITERATURA CITADA 109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro número **Título** **Pagina**

Cuadro 1. Algunos cultivares bianuales 17
Cuadro 2. Algunos cultivares anuales 23
Cuadro 3. Contenido nutrimental del fruto de frambuesa 27
Cuadro 4. Propiedades fisicoquímicas del suelo. 40
Cuadro 5. Características de la lombricomposta 40
Cuadro 6. Resumen de temperaturas mensuales por tratamiento. 61
Cuadro 7. Calor efectivo acumulado y oscilación térmica mensual 63
Cuadro 8.Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para la emergencia de cañas de frambuesa ‘Heritage’ 70
Cuadro 9. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para el crecimiento vegetativo de cañas de frambuesa ‘Heritage’ 76
Cuadro 10. Crecimiento vegetativo de cañas de frambuesa ‘Heritage’ bajo dos condiciones de manejo y horas grado desarrollo acumuladas 77
Cuadro 11. Eventos biológicos en frambuesa ‘Heritage’ 77
Cuadro 12. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para el número de frutos de frambuesa ‘Heritage’ acumulados. 80
Cuadro 13. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para rendimiento de frambuesa ‘Heritage’ acumulado. 84
Cuadro 14. Componentes de rendimiento y morfología en cañas de frambuesa ‘Heritage’. 89
Cuadro 15. Atributos de calidad en frutos de frambuesa ‘Heritage’. 92
Cuadro 16. Contenido de compuestos fenólicos en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo en mg/100 g de peso fresco. 99
Cuadro 17. Contenido de azúcares en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de producción en mg/100 g de peso fresco 106
Cuadro 18. Contenido de ácidos orgánicos en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo en mg/100 g de peso fresco 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura número **Título** **Pagina**

Figura 1. Principales países productores de frambuesa (2017) 6
Figura 2. Superficie destinada a producción de frambuesa en México 8
Figura 3. Evolución del rendimiento medio (t ha^{-1}) de frambuesa en México 9
Figura 4. Principales estados productores de frambuesa en México 9
Figura 5. Humedad relativa bajo dos condiciones de manejo en frambuesa 'Heritage'.. 53
Figura 6. Temperaturas y oscilación térmica presentadas en el ciclo 2019. 60
Figura 7. Niveles de radiación fotosintéticamente activa en 3 alturas sobre el dosel de frambuesa 'Heritage' en el ciclo 2019. 67
Figura 8.- Número de cañas de frambuesa ‘Heritage’ por tratamiento, ajustado con el modelo ‘Weibull’ bajo dos condiciones de manejo.. 70
Figura 9. Proporción del crecimiento de cañas de frambuesa ‘Heritage’ ajustado con el modelo ‘Weibull’ bajo dos condiciones de manejo.. 76
Figura 10. Número de frutos (por m^{-1} lineal) de frambuesa ‘Heritage’ por cosecha parcial bajo dos condiciones de manejo durante el periodo de producción..... 78
Figura 11. Frutos de frambuesa ‘Heritage’ acumulados ajustados con el modelo ‘Weibull’ bajo dos condiciones de manejo.. 80
Figura 12. Rendimiento de frambuesa ‘Heritage’ por cosecha parcial bajo dos condiciones de manejo durante el periodo de producción..... 81
Figura 13. Rendimiento de frambuesa ‘Heritage’ acumulado ajustado con el modelo ‘Weibull’ bajo dos condiciones de manejo.. 84
Figura 14. Peso promedio de fruto (g) de frambuesa ‘Heritage’ por cosecha parcial bajo dos condiciones de manejo durante el periodo de producción. 86
Figura 15. Área foliar promedio por caña en frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo.. 90

RESUMEN

Los túneles de polietileno representan una alternativa interesante para adelantar el periodo de fructificación, además de mejorar la productividad en frambuesa. En el presente trabajo se cultivó frambuesa 'Heritage' bajo dos tratamientos (túnel y exterior), se capturó información de clima, morfología de la planta, rendimiento y calidad de fruto. Los resultados indicaron que dentro del túnel la temperatura máxima se incrementó, mientras que la radiación solar (PAR) se redujo. La emergencia de cañas se adelantó 14 días dentro del túnel y, además, presentaron mayor longitud. La floración y el inicio de cosecha se adelantó 11 y 14 días, respectivamente, respecto al cultivo al exterior. El rendimiento al exterior y en el túnel fue de 3.1 y 4.2 kg m^{-1}, respectivamente. El peso medio de fruto osciló entre 2.7 y 2.8 g, no encontrando diferencias significativas entre método de cultivo. El color, firmeza y sólidos solubles totales de la fruta dependió del método de cultivo. El análisis de compuestos fenólicos reveló que la fruta presentó 3 antocianinas principales; cianidina 3-soforósido, cianidina 3-glucósido y cianidina 3-(2-glucosilrutinósido). El contenido de estas antocianinas, así como de ácido elágico, ácido clorogénico y catequina fue menor en los frutos producidos bajo el túnel. La fructosa y glucosa fueron los azúcares más abundantes, seguido por la sacarosa, la cual se observó a menores concentraciones en la fruta cultivada al exterior. El ácido orgánico más abundante fue el cítrico, independientemente del método de cultivo. La fruta cultivada bajo túnel presentó un menor contenido de ácido ascórbico. Se concluye que los túneles de polietileno representan una estrategia interesante en zonas templadas para adelantar el periodo de fructificación y aumentar el rendimiento. Sin embargo, la cubierta plástica tiene implicaciones en la composición fitoquímica de la fruta con ligeras reducciones en compuestos fenólicos y ácido ascórbico.

(**Palabras clave:** Túnel de polietileno, rendimiento, compuestos fenólicos, azúcares, ácidos orgánicos)

ABSTRACT

Polyethylene tunnels represent an interesting alternative to advance the fruiting period, in addition to improving the productivity of the raspberry. In the present work 'Heritage' raspberry was grown under two treatments (tunnel and outdoor), information on climate, plant morphology, yield and fruit quality was captured. The results indicated that, inside the tunnel, the maximum temperature increased, while the solar radiation (PAR) decreased. The emergence of canes was 14 days before in the tunnel and, in addition, they were longer. Flowering and the beginning of the harvest were 11 and 14 days earlier, respectively, compared to growing outdoors. The yield outside and in the tunnel was 3.1 and 4.2 kg m^{-1}, respectively. The average weight of the fruit ranged between 2.7 and 2.8 g, not finding significant differences between the cultivation method. The color, firmness, and total soluble solids of the fruit depended on the cultivation method. Analysis of phenolic compounds revealed that the fruit contained 3 main anthocyanins; cyanidin 3-sophoroside, cyanidin-3-glucoside and cyanidin 3-(2-glucosylrutinoside). The content of these anthocyanins, as well as ellagic acid, chlorogenic acid and catechin was lower in the fruits produced in the tunnel. Fructose and glucose were the most abundant sugars, followed by sucrose, which was observed in lower concentrations in fruits grown outdoors. The most abundant organic acid was citric, regardless of the cultivation method. The fruit grown in the tunnel presented a lower content of ascorbic acid. It is concluded that polyethylene tunnels represent an interesting strategy in temperate zones to advance the fruiting period and increase yield. However, the plastic cover has implications on the phytochemical composition of the fruit with slight reductions in phenolic compounds and ascorbic acid.

(**Key Words:** Polyethylene tunnel, yield, phenolic compounds, sugars, organic acids).

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado en el estado de Chihuahua un creciente interés en la investigación referente a la adaptación, producción y calidad de pequeños frutos conocidos como “berries”, entre ellos el arándano (*Vaccinium Corymbosum* L.) (Cera-Campos *et al.,* 2019), zarzamora (*Rubus* spp. L. subgénero *Rubus* Watson) (Moreno-Robles *et al.,* 2019) y frambuesa (*Rubus Idaeus* L.) (Frias-Moreno *et al.,* 2019). Esto como parte de un proceso de evaluación de especies frutícolas alternas al manzano, aprovechando la cercanía geográfica y diversidad climática de la región norte de México con Estados Unidos y Canadá, países que tienen alto consumo de berries pero que no abastecen la demanda interna de estas frutas frescas. Además, los atractivos precios que alcanzan estas especies en el mercado internacional, las convierten en especies frutícolas altamente rentables. La región norte de México también puede complementar ventanas libres de producción respecto a las zonas subtropicales y tropicales del país. La producción de frambuesa prácticamente se ha duplicado en las últimas dos décadas a nivel mundial (Palonen *et al.,* 2017) a raíz de un aumento en la demanda, de fruta fresca y procesada (Zorenc *et al.,* 2017; Żurawicz *et al.,* 2018), debido al alto contenido de fitoquímicos presentes en el fruto, los cuales se presentan propiedades antioxidantes, previenen y reducen la incidencia de enfermedades cardiovasculares y diversas formas de cáncer (Skrovankova *et al.,* 2015). México se ha colocado como el segundo productor a nivel mundial de frambuesa (FAOSTAT, 2017), donde los estados de Jalisco, Michoacán y Baja California, son los que por su ubicación geográfica y clima abastecen el mercado de exportación durante los meses de octubre a mayo, cuando los precios son superiores. El cultivo de frambuesa en ambientes protegidos, especialmente bajo túneles de polietileno, podría representar una alternativa para el cultivo de frambuesa en Chihuahua. Este sistema de cultivo actualmente se utiliza en climas subtropicales, tropicales, templados y fríos para la producción de frutales de alto valor económico, incluyendo frambuesas (Hanson *et al.,* 2011; Lang, 2009; Pitsioudis *et al.,* 2009; Zaar *et al.,* 2016). El uso de estos túneles permite aprovechar mayores ventajas de producción y comercialización en

relación con la producción a campo abierto. La ventaja más interesante radica en la posibilidad de manipular el ciclo vegetativo para extender o dirigir parte de la producción a ventanas de mercado con precios superiores (Aman *et al.,* 2018; Black *et al.,* 2019; Janke *et al.,* 2017; Lang *et al.,* 2016; Pritts, 2006). En zonas templadas con estaciones climáticas bien definidas, se ha reportado que los túneles de polietileno en conjunto con manejos adicionales permiten aumentar el rendimiento y mantener o mejorar algunos atributos de calidad, además de ser alternativa para extender el periodo de fructificación al final o bien inducir precocidad al inicio de la temporada en relación a la producción a cielo abierto (Black *et al.,* 2019; Oliveira *et al.,* 2002; Pritts, 2016; Yao *et al.,* 2011). Lo cual permitiría introducir un porcentaje de la fructificación en fechas tempranas alcanzando un mejor precio de mercado, permitiendo ampliar y destinar mayor tiempo del periodo libre de heladas a producción de fruta en relación a la producción convencional de campo abierto, que para el caso del estado de Chihuahua se reporta desde las primeras semanas de agosto hasta finales de octubre (Parra-Quezada *et al.,* 2008). En México, los túneles de polietileno son utilizados principalmente en el sur del país, mientras que en la región norte la información disponible es inexistente, ya que los trabajos anteriores sobre el cultivo de frambuesa se reportan bajo condiciones de campo abierto. Es necesario conocer el efecto de la implementación de túneles de polietileno en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto, especialmente en la concentración de fitoquímicos en el fruto. Lo anterior plantea la posibilidad de extender el periodo de fructificación de frambuesa en el estado de Chihuahua, lo que representaría una ventaja interesante de mercado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

La frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) forma parte de un diverso grupo de especies pertenecientes al género *Rubus,* el cual se encuentra distribuido en diversas áreas en todo el mundo, y del que la zarzamora y la frambuesa representan los miembros más importantes económicamente (Hummer *et al.,* 2019). El subgénero *Idaeobatus* dentro del cual se encuentra la frambuesa roja, se distribuye principalmente en el norte de Asia, aunque también es posible encontrarlo en algunas regiones de Australia, África, Europa y en América del Norte (Kempler *et al.,* 2012).

Casi todas las especies de frambuesa son diploides (2n = 14), aunque algunas pueden ser triploides e incluso tetraploides (Thompson, 1997). A nivel mundial representa un importante frutal en climas fríos y templados (Heide *et al.,* 2011; Stavang *et al.,* 2015). Su cultivo y consumo se ha realizado por más de 500 años, principalmente en regiones frías del hemisferio norte (Dale, 1989).

Se considera una planta perenne, con tendencia a formar estructuras productivas en forma de seto. Botánicamente pertenece a la familia de las *Rosáceas* (Handley *et al.,* 1989) y al género *Rubus*, dentro del cual, tres especies tienen importancia comercial; frambuesas de fruto rojo (*Rubus idaeus* L.), de fruto negro *(Rubus occidentalis* L.) y la zarzamora (*Rubus* spp. L. subgénero *Rubus* Watson), con la cual presenta similitud, sin embargo, la forma de diferenciarlas es mediante características morfológicas y mediante las características de sus frutos, siendo la frambuesa de fácil desprendimiento del receptáculo floral al momento de la cosecha, debido a que se generan puntos de abscisión entre las drupelas y el receptáculo, mientras que en las zarzamoras permanecen adheridas al mismo al momento de la cosecha (Kempler *et al.,* 2012).

En algunas zonas de América del norte estas especies se denominan “zarzas”, término que hace referencia a espina, una de las principales características en la morfología de las plantas en la mayoría de los cultivares.

En el siglo XIX se introdujeron a América del Norte un gran número de cultivares comerciales provenientes de Inglaterra, originando una rápida distribución, además, con el paso del tiempo fueron seleccionados los materiales más sobresalientes para la generación de nuevos cultivares mejor adaptados a las condiciones edafoclimáticas de dichas zonas.

En las últimas décadas su cultivo ha tomado gran importancia en climas subtropicales y tropicales, debido a la posibilidad de abastecer los principales mercados de fruta fresca del hemisferio norte de manera continua, esto es posible por la ausencia de heladas y cultivares de bajo requerimiento de frío o cultivares de primocaña, así como diversos manejos agronómicos que permiten la manipulación del ciclo de crecimiento y de fructificación (Strik *et al.,* 2007).

La importancia de este frutal a nivel mundial se debe a su agradable sabor y propiedades nutricionales, así como a las amplias posibilidades de consumo, que incluyen al fruto fresco y a una amplia gama de productos procesados (Darnell *et al.,* 2006). Además, en los últimos años se le han atribuido propiedades benéficas sobre el organismo humano, debido a su amplia riqueza de metabolitos secundarios, entre los que destacan los polifenoles y ácido elágico, los cuales presentan efectos positivos sobre la salud principalmente en el combate y prevención de enfermedades cardiovasculares y diversas formas de cáncer (Skrovankova *et al.,* 2015).

Actualmente, las principales frambuesas cultivadas pertenecen a variedades de fruto rojo (*Rubus idaeus* L.), y en menor proporción las de fruto negro *(Rubus occidentalis* L.*)*. También existen variedades de frutos púrpuras (*Rubus neglectus)* que resultaron del cruce entre frambuesas de fruto rojo y negro, así como variedades de fruto amarillo, una mutación de frambuesas rojas y negras (Finn *et al.,* 2008). Una demanda en constante crecimiento, el alto contenido de fitoquímicos en el fruto, asociados con efectos benéficos sobre el organismo en la prevención y combate de diversos tipos de enfermedades, así como altos precios en el mercado, ha despertado el interés en varias zonas agrícolas con la finalidad de evaluar su adaptación para posteriormente establecer cultivos a nivel comercial.

2.2 Producción

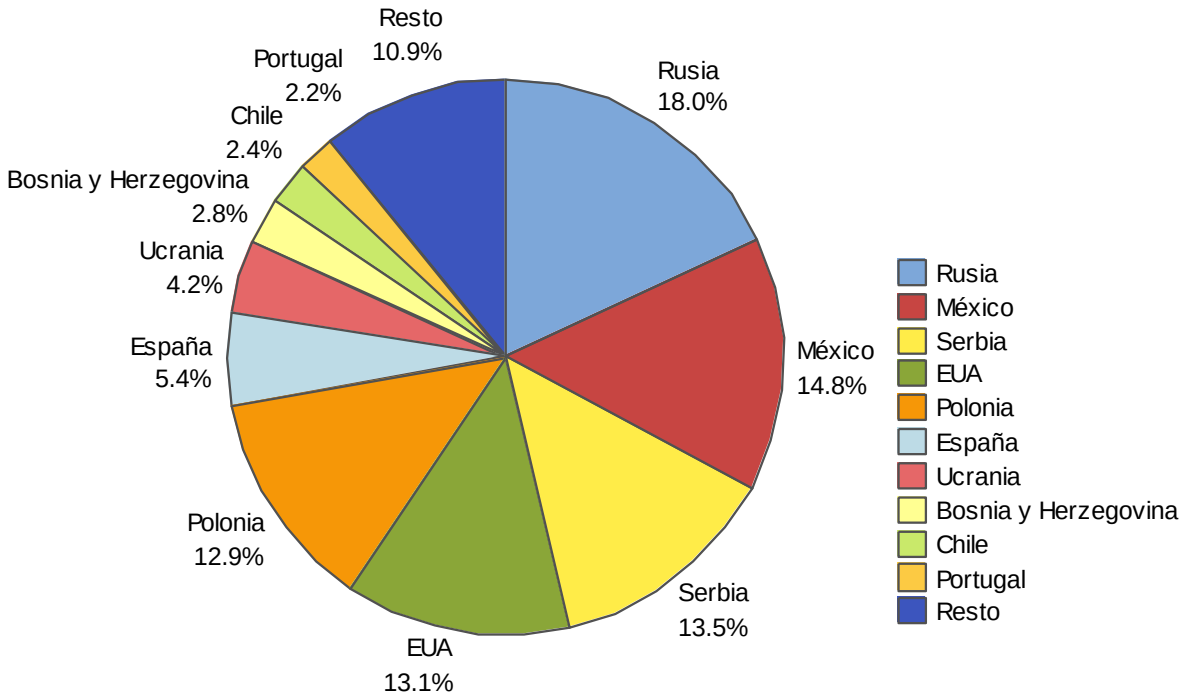
2.2.1 Producción mundial

La mayor parte de la producción de frambuesa a nivel mundial se genera en países europeos, donde la Federación Rusa es el principal productor de esta frutilla con más de 146,000 toneladas, volumen que representa una aportación del 18 % de la producción mundial. Otros países europeos importantes en cuanto a producción de frambuesas son Serbia, Polonia, España, Ucrania, Bosnia y Herzegovina y Portugal (Figura 1), de los cuales solo Serbia y Polonia aportan más del 10 % de la producción mundial (FAOSTAT, 2017). Es importante destacar que, dentro de la producción europea, Rusia destaca como el principal productor de frambuesa a pesar de tener climas muy fríos, por lo que su producción se encuentra limitada a la temporada de verano. Solo países actualmente importantes en agricultura protegida como España y Portugal, tienen posibilidades de producir fruta fuera de estación y abastecer al mercado en época invernal (Oliveira *et al.,* 1996; Oliveira *et al.,* 1998). Algunos de estos países presentan regiones con inviernos benignos e infraestructura (invernaderos, túneles) que permite extender la producción de fruta y abastecer mercados locales.

En el continente americano destacan en la producción de frambuesa países del hemisferio norte, como México, que se posicionó en 2018 como el segundo mayor productor a nivel mundial, aportando entre el 14 y 15 % de la producción mundial (Figura 1). México es también el principal exportador en contra estación de este frutal debido a que su cultivo se encuentra principalmente establecido en regiones subtropicales y tropicales y su cercanía a EUA, uno de los principales mercados de esta fruta. Estados Unidos de América ocupa el cuarto lugar en cuanto a producción de frambuesa, aportando el 13 % del volumen global generado (Figura 1). La producción se obtiene principalmente en los estados de Oregón, Washington y California. Este último presenta clima benigno en invierno por lo que parte de su producción se obtiene en época invernal, además algunos estados en la costa este

de EUA también participan en la aportación nacional, en especial Nueva York, Michigan, Pensilvania y Ohio (Finn *et al.,* 2008).

En el resto de América solo hay reportes de producción en Chile y últimamente en Canadá (FAOSTAT, 2017), aunque la aportación de ambos países no supera el 5 % del total mundial. En Canadá el cultivo se ha impulsado en algunas provincias como Columbia Británica, Quebec y Ontario, para satisfacer la demanda interna y reducir las importaciones e incluso para exportación a ciertos mercados de la unión americana. De estos países cabe resaltar que Chile, así como cualquier otro país del hemisferio sur que incursione en el cultivo, tiene la capacidad de ofertar fruta cuando es invierno en el hemisferio norte, sin embargo, la corta vida de anaquel, los altos costos de transporte, así como la lejanía con los mercados puede ser un inconveniente, además de competir con países con climas tropicales o subtropicales más cercanos a los principales mercados de consumo.



Fuente: FAOSTAT, 2017

Figura 1. Principales países productores de frambuesa (2017)

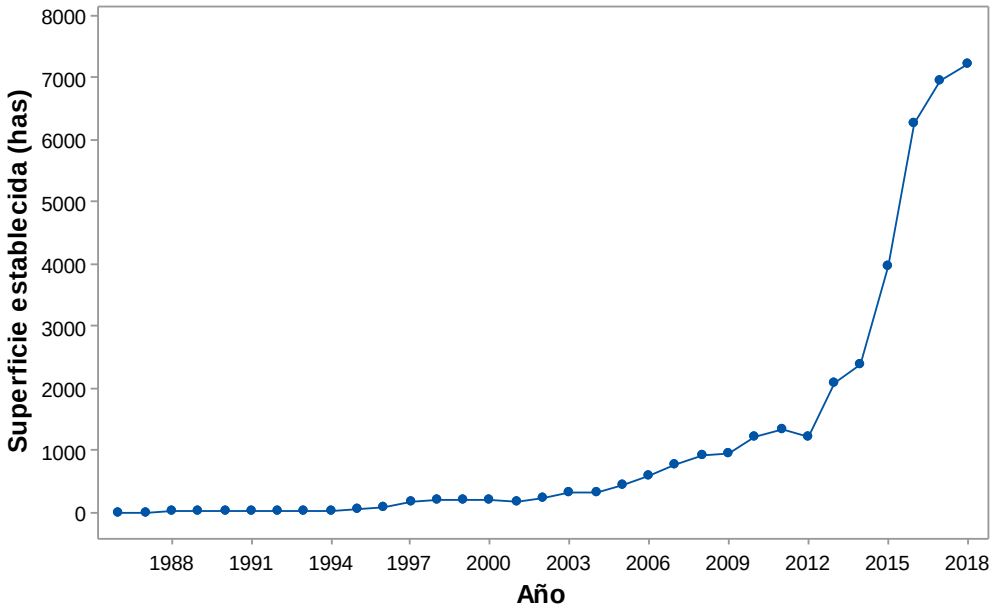
2.2.2 Producción nacional

En México se introdujeron cultivares de frambuesa en 1974 a través la Universidad Autónoma Chapingo, en el estado de México, siendo el Colegio de Postgraduados quien evaluó algunos de los primeros materiales, posteriormente el cultivo se extendió a otros estados de la república.

Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, (2018), para el año de 1986 se contaba con una superficie de apenas 2 hectáreas en el valle de México, para 1990 se establecieron plantaciones en el estado de Baja California con superficie total de 22 hectáreas (Figura 2).

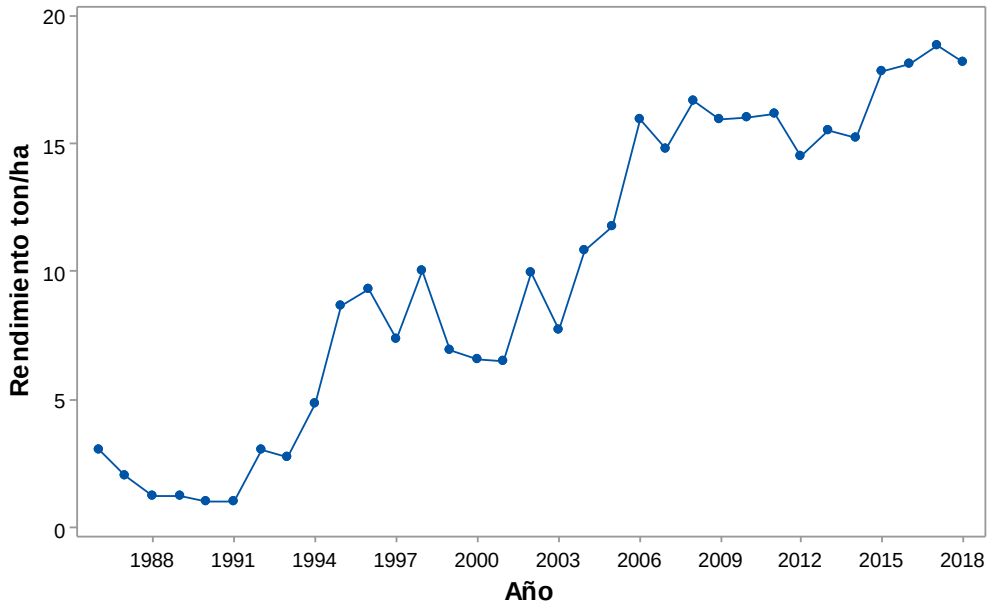
En el estado de Chihuahua se reportó una superficie establecida entre los años de 1997 al 2014, posiblemente con fines demostrativos del cultivo, ya que mediante cultivares de primocaña, esta especie evade por completo las heladas tardías de la zona presentándose como una alternativa para la diversificación de la fruticultura de la región (Parra-Quezada *et al.,* 2008). Junto con Baja California y Baja California Sur, son los únicos estados del norte de México en los que se ha evaluado producción. En Baja California la producción se realiza principalmente en las zonas costeras del estado, en el municipio de Ensenada y en el Valle de San Quintín, donde las temperaturas rara vez bajan de cero grados centígrados. Además, estos estados están incursionando en el cultivo orgánico de frambuesa. La superficie cultivada se incrementó de 22 a 196 hectáreas entre los años 1990 y 2000. Para 2010 se incrementó a 1,216 has. Actualmente se reporta un total de más de 7000 hectáreas establecidas (SIAP, 2018) (Figura 2). De manera similar en la Figura 3, se observa el comportamiento en el rendimiento medio nacional, el cual comenzó con rendimientos por hectárea de entre 1 a 10 t ha^{-1} entre los años de 1986 a 2003, y a partir del 2004 se observa una tendencia ascendente en el rendimiento medio nacional por hectárea, esto debido a las innovaciones en el cultivo, introducción de cultivares con mayor potencial de rendimiento entre otros factores. Actualmente se producen 18 t ha^{-1} en promedio.

México se colocó como el segundo productor a nivel mundial en el 2017 (FAOSTAT, 2017). Sin embargo, solo tres estados contribuyen significativamente a la producción nacional, la cual se reporta en más de 130,000 toneladas en el 2018 (SIAP, 2018). Jalisco es el principal productor de frambuesa con más de 91,000 toneladas, lo que representa una aportación de más del 70 % en relación con el total nacional, seguido por Michoacán y Baja California con más de 23 y 14,000 toneladas, lo que representa contribuciones del 18 y 10.9 % respectivamente respecto a la producción nacional (SIAP, 2018) (Figura 4). La exportación de frambuesa mexicana, principalmente a EUA durante la época invernal, la diversificación de mercados y la atractiva rentabilidad de esta especie ha llevado a buscar nuevas áreas potenciales para la producción de este frutal (Alvarado-Raya *et al.,* 2016).



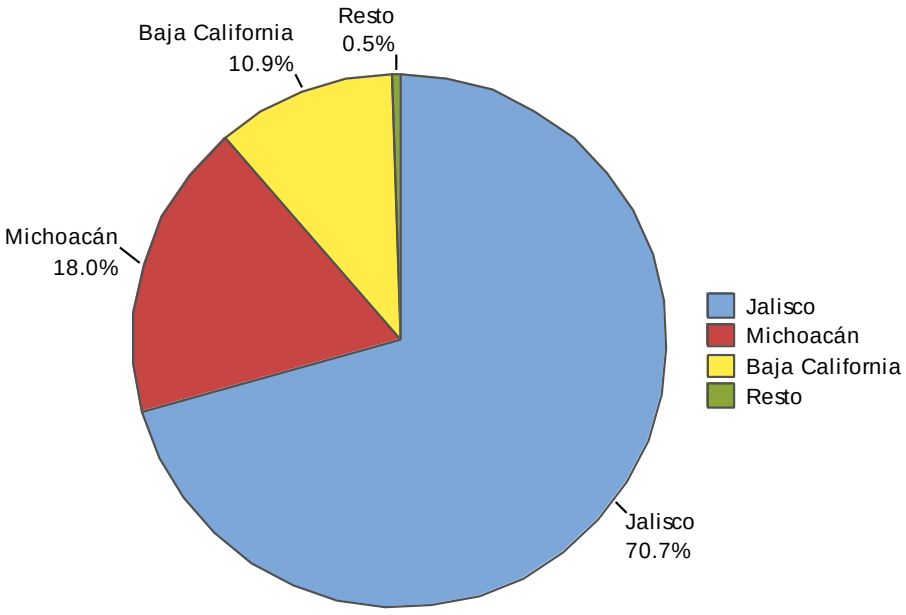
Fuente: SIAP, 2018

Figura 2. Superficie destinada a producción de frambuesa en México



Fuente: SIAP, 2018

Figura 3. Evolución del rendimiento medio (t ha^{-1}) de frambuesa en México



Fuente: SIAP, 2018

Figura 4. Principales estados productores de frambuesa en México

2.1 Ventanas de mercado

La mayoría de estos frutos alcanzan un elevado precio en el mercado por lo que, lamentablemente no se encuentran al alcance de todos los sectores económicos de la población. Además, las tradiciones, costumbres y temas culturales influyen en el desconocimiento de los beneficios a la salud y sus cualidades culinarias, lo cual limita el consumo nacional y origina que la mayor parte de la producción se destine a la exportación hacia los mercados del hemisferio norte.

Es importante mencionar que, en algunos de los países del hemisferio norte, algunas de estas berries son frutos comunes dentro de la cultura popular, además, cabe resaltar que gran parte de la clase económica con mayor poder adquisitivo se encuentra en estos países, por lo que la demanda y consumo mundial se concentra en estas regiones. De igual manera, los principales países productores se encuentran en el hemisferio norte. Una particularidad de la gran mayoría de las regiones productoras radica en que su producción está restringida a un periodo libre de heladas y por la estacionalidad de los cultivares, entre otros factores, mientras que la demanda de fruta en el mercado es prácticamente continua a lo largo del año, con incrementos en algunas fechas, especialmente en la época invernal cuando los precios se encuentran al alza debido a la poca oferta del producto. Debido a lo anterior, solo algunas regiones del hemisferio norte con ambientes propicios para su producción más allá de los meses de octubre introducen fruta en estos mercados de alto valor económico. En la actualidad la demanda de fruta fresca no abastecida, representa una alternativa de mercado altamente rentable (Cantuarias-Avilés *et al.,* 2014; Kuchler *et al.,* 2016).

En estas regiones, la incorporación de una amplia gama de cultivares de bajo requerimiento de frío, diferentes hábitos de fructificación, manejos agronómicos, uso de infraestructuras y manejos de producción forzada, con la aplicación de sustancias químicas-hormonales, son capaces de obtener fruta en esa ventana de mercado invernal con atractivos precios y su visión de producción se enfoca principalmente en la exportación.

En contra parte, los países del hemisferio sur, particularmente Chile y Perú, también han incursionado en el cultivo de algunas de estas berries, principalmente en arándano debido a su capacidad de ofertar fruta en contra estación, sin embargo, la introducción de algunas de estas berries se ha realizado apenas hace algunos años, por lo que aún no compiten con otros países que tienen mayor tiempo de haberlos incorporado, tal es el caso de México, el cual se ha posicionado como un importante actor en la producción de zarzamora y frambuesa a nivel mundial, y se pronostica que también lo haga en el mediano y largo plazo en el cultivo de higo (*Ficus carica* L.), otra especie con mercados potenciales que actualmente se encuentran en exploración (Mendoza-Castillo *et al.,* 2019).

Para el caso específico de la frambuesa, los precios comienzan a incrementarse desde el otoño hasta principios y mediados de primavera, que es cuando las áreas de producción, particularmente en EUA y la mayoría de las regiones tradicionales del hemisferio norte cuentan con una capacidad limitada de producir fruta por lo que los precios se disparan y requieren importar grandes cantidades de fruta. Derivado de lo anterior, las fechas de salida al mercado son muy importantes, los objetivos primarios en los que se deben de centrar las actuales y nuevas regiones destinadas al cultivo de estas berries, son tener la capacidad de abastecer fruta para el consumo en fresco producida en los periodos invernales, para esto se deben conocer parámetros climáticos y características propias de las variedades, por ejemplo, el tiempo de crecimiento de las primocañas hasta el comienzo de cosecha, expresado en calor acumulado y en cultivares de floricaña, los requisitos de frío y calor por etapa fenológica, para lograr programar los cultivos en función de la época en la que se quiera salir al mercado. En regiones del norte del país, como es el caso del estado Chihuahua, donde el cultivo a nivel experimental indicó que los cultivares de primocaña evaden las heladas tardías (Parra-Quezada *et al.,* 2008). Se deben explorar alternativas de manejo que permitan la producción de fruta de manera continua durante el periodo libre de heladas. Además de realizar evaluaciones agroeconómicas de las tecnologías y sistemas de producción que permitan extender el periodo de fructificación más allá del periodo libre de heladas en zonas con potencial.

2.2 Cultivares

2.2.1 Cultivares bianuales o de verano

También se denominan cultivares de floricaña, en estos materiales el crecimiento vegetativo, floración, fructificación y senescencia se completa en dos ciclos o estaciones (Heide *et al.,* 2011; Hudson, 1959). En la primera estación ocurre el crecimiento del brote (primocaña), más tarde llamado “caña”, el cual se origina a partir de yemas ubicadas en la corona o bien de yemas en el sistema radicular. Estos brotes inician su crecimiento vegetativo al momento que se reanudan las temperaturas cálidas de primavera y se ralentiza cuando las temperaturas comienzan a disminuir gradualmente a comienzos de otoño, lo cual detiene el crecimiento tal y como sucede en los materiales de otra especie *Rubus*, la zarzamora floricaña (Takeda *et al.,* 2002).

En ese momento las yemas axilares de la caña comienzan a diferenciar de vegetativas a reproductivas en un proceso conocido como diferenciación, para el caso de estos materiales también se le denomina “transición de caña primocaña a caña floricaña” (Funt *et al.,* 2013). Williams, (1960), indica que en el cultivar ‘Malling Promise’ las cañas pueden crecer y mantener sus yemas vegetativas de manera continua permaneciendo a una temperatura de 21 °C bajo fotoperiodos de 9 y 16 horas sin embargo, cuando la temperatura alcanza los 10 °C el crecimiento se detiene y comienza la diferenciación floral independientemente de la duración del fotoperiodo, más tarde se confirmó el mismo resultado en el cultivar ‘Glen Ample’ el cual produjo un crecimiento continuo sin diferenciación floral permaneciendo a 18 °C incluso en fotoperiodos cortos (Sønsteby *et al.,* 2008).

Una vez que se detiene el crecimiento y caen las hojas, la caña comienza a lignificarse para resistir las bajas temperaturas del invierno, por lo que es recomendable suspender el riego y la fertilización principalmente nitrogenada a comienzos del otoño con la finalidad de favorecer la lignificación de cañas, después ingresa en ecodormancia y posteriormente a endodormancia, donde requiere de frío que varía según la variedad.

Una vez completos los requerimientos de frío, debe acumular calor para reanudar el metabolismo y dar origen a la brotación, estas cañas floricañas de dos años, florecen y fructifican en el verano siguiente después de su establecimiento. Mientras tanto, por debajo del nivel del suelo varias yemas en la base de la corona o bien en el sistema radicular se convertirán en nuevas cañas primocañas mientras las cañas floricañas se encuentran en fructificación completando de esta manera el ciclo (Dale, 1989). Al producir fruta, las cañas floricañas mueren y deben eliminarse a ras de suelo mediante poda.

En estos cultivares hay una coexistencia de cañas primocañas y floricañas, las cuales compiten por luz, agua y nutrientes. En ausencia de cañas floricañas, se emite un mayor número de primocañas y de la misma manera, al existir pocas cañas vegetativas, el rendimiento de las floricañas es mayor (Waister *et al.,* 1977). Esto es importante al momento de elegir el sistema de tutoreo de las cañas para facilitar la cosecha y poda.

Se ha encontrado que las plantas de frambuesa pasan por un periodo de juvenilidad, durante la cual no se pueden inducir a formar inflorescencias. Williams, (1960), observó que las plantas de la variedad 'Malling Promise' requieren alcanzar 15 nudos antes de formar inflorescencias, posteriormente esto se confirmó en la variedad 'Glen Ample'. Estas plantas responden a las bajas temperaturas con el cese del crecimiento, reanudándolo después de pasar por este periodo pero sin formar inflorescencias (Sønsteby *et al.,* 2008). En algunos brotes tardíos se forma una especie de roseta al ser expuestas a bajas temperaturas.

Dale *et al.,* (2003), mencionan que los cultivares de frambuesa de floricaña pueden ser refrigerados hasta completar su requerimiento de frío y posteriormente inducirlos a fructificación de manera temprana en el año en ambientes protegidos. Una de estas técnicas denominada caña larga consiste en producir floricañas de calidad en campo y posteriormente almacenarlas en refrigeración, lo cual permite producir fruta con materiales floricaña en ambientes protegidos como invernaderos o túneles de polietileno. Generalmente la plantación se realiza en macetas o contenedores, programando varias cosechas para satisfacer la demanda de fruta fresca a lo largo

del año (Sønsteby *et al.,* 2009b). Resultados con esta técnica han arrojado rendimientos ≥ a 3 kg por caña larga. Para lograr estos rendimientos la arquitectura de las cañas es clave, producción de cañas fuertes y vigorosas de al menos 2 metros de longitud en campo, con suficientes yemas, número y longitud de laterales donde la mayoría de las yemas emitan brotación (Sønsteby *et al.,* 2009b; Sønsteby *et al.,* 2013). Debido a la necesidad de pasar por un periodo de reposo invernal y producir fruta hasta el segundo año después de la plantación, la incorporación de estos cultivares en ambientes cálidos para producción de fruta, es nula o inexistente para el caso de frambuesa. Hasta hace unos años estos cultivares eran la base en la producción mundial de zarzamora, específicamente con la variedad 'Tupy' en ambientes subtropicales y tropicales, pero gracias a la introducción de la característica de producción de primocaña a los cultivares de zarzamora en la Universidad de Arkansas (Clark *et al.,* 2005; Clark *et al.,* 2011; Clark *et al.,* 2016), nuevos cultivares de zarzamora primocaña de origen privado con mayor calidad de fruta como 'Dasha', 'Catherine' y 'Elvira' entre otros, están desplazando las plantaciones de 'Tupy'.

2.2.1.1 Producción forzada con cultivares bianuales

En las plantas con centros de origen en áreas templadas con cambios marcados de temperatura entre las estaciones del año, las etapas fenológicas se presentan en momentos definidos. Cuando las temperaturas comienzan a descender a partir del otoño, las plantas comienzan a disminuir su metabolismo e ingresan a un estado latente, también llamado dormancia o endodormancia, lo cual les brinda una protección ante las bajas temperaturas del otoño e invierno. Este proceso es una adaptación de las especies para sobrevivir durante largos periodos de tiempo que presentan condiciones desfavorables (Liu *et al.,* 2019) y se caracteriza por la interrupción temporal del crecimiento, la detención del crecimiento celular, reducción de la actividad metabólica y respiratoria de los meristemos (Campoy *et al.,* 2011; Fan *et al.,* 2010).

Lang, (1987), clasificó varios tipos de estados de inactividad como paradormancia, ecodormancia y endodormancia. Durante la paradormancia, el crecimiento está

influenciado por reguladores de crecimiento que se originan fuera de la yema e inhiben a las mismas, generalmente a las yemas laterales. Este estado está relacionado con la dominancia apical en varias especies frutales. La endodormancia es una adaptación de las especies templadas a las condiciones desfavorables, principalmente a la baja temperatura originada por el otoño e invierno, lo que les ha permitido prosperar en estas áreas (Liu *et al.,* 2019). En esta etapa, el crecimiento de las yemas esta reprimido por factores endógenos del brote (inhibidores, hormonas, etc.) y en este estado las plantas son insensibles a temperatura favorable para su crecimiento (Rohde *et al.,* 2007), ya que primero se requiere de la acción de bajas temperaturas lo cual permite que las yemas superen esta etapa. Generalmente se han propuesto temperaturas entre 0 y 7 °C (Luedeling, 2012), cuya intensidad varía según la especie y variedad. Generalmente los cultivares de frambuesa primocaña presentan bajos requerimientos de frío lo que ha permitido su introducción en climas cálidos, tras cumplir con este requisito, la brotación se verá inhibida por condiciones desfavorables, principalmente temperatura que aun pueda prevalecer, a esta etapa se le conoce como ecodormancia (Lang, 1987). Además, las plantas deben acumular calor para reanudar la actividad metabólica, estos requisitos de calor, o periodo de temperatura cálida, también varía según el cultivar (Fan *et al.,* 2010). Actualmente la metodología de días grado de desarrollo se emplea para cuantificar la acumulación de calor efectivo, otro método más preciso cuando se tiene información de temperaturas horarias es la cuantificación de horas grado desarrollo (Anderson *et al.,* 1986; Gu, 2016).

Muchas especies frutales requieren bajos requisitos de frío, por lo que al introducirlos en zonas donde se cumplan rápidamente pueden brotar antes de que existan condiciones apropiadas de temperatura o alto riesgo de ocurrencia de heladas tardías en primavera. En contra parte, las especies o variedades que presentan altos requisitos de frío y se introducen en zonas donde no pueden ser cubiertos por las condiciones climáticas, estas plantas brotan de manera tardía e irregular. En áreas subtropicales o tropicales donde la acumulación de frío es muy baja o nula, la etapa de endodormancia se considera un obstáculo importante para la producción económica de frutales templados y es en estas regiones donde es

necesario implementar manejos para compensar la baja acumulación de frío. El más claro ejemplo de esto se puede observar en la producción mexicana de zarzamora, mediante este tipo de manejos la producción mexicana de zarzamora floricaña se extiende de octubre hasta mayo para el mercado de exportación (Strik *et al.,* 2007), lo que ha convertido a México dentro de los principales países productores de zarzamora en contra estación en el mundo.

En el caso de frambuesa, la mayoría de los cultivares introducidos en estas regiones son de fructificación primocaña y no requieren de altos requerimientos de frío para producir fruto en los nudos superiores (Pritts, 2008). En el caso del cultivar 'Heritage' se menciona que los requisitos de frío son de alrededor de 250 horas (Muratalla-Lúa *et al.,* 2013) sin embargo, el resto de los nudos permanecerán inactivos y si se quisieran aprovechar, se deben aplicar manejos de forzado una vez cosechados los nudos superiores, aunque por lo general en la mayoría de las regiones se realiza poda al ras de suelo tras la cosecha para obligar a que se originen nuevas primocañas.

Para la implementación del manejo forzado, se requiere detener el crecimiento de la caña, lo cual se logra mediante una poda de despunte que además promueve el crecimiento de cargadores laterales y estimula la diferenciación de yemas florales (sazonado). Una vez detenido el crecimiento de las cañas se procede a defoliarlas mediante la aplicación de sustancias desecantes, generalmente se emplea una mezcla de urea al 5 %, sulfato de amonio al 20%, sulfato de cobre pentahidratado al 2 %, citrolina al 2% y 5 ppm de Revent 500 (Thidiazuron). Después de unas semanas se estimula la brotación mediante la aplicación de reguladores de crecimiento (Thidiazuron, Cianamida hidrogenada y AG_3). Normalmente a los 3 meses después de la defoliación ya se tienen los primeros frutos (Galindo-Reyes *et al.,* 2004; Strik *et al.,* 2012). Después de la cosecha, se eliminan las cañas a nivel de suelo y se repite el proceso (3-4 años), después se renueva la plantación mediante una poda total al ras.

Actualmente la aplicación de promotores de brotación como la cianamida hidrogenada es utilizada para homogenizar y promover la brotación de estas

especies lo que asegura una producción rentable. La información sobre los mecanismos de acción de la cianamida hidrogenada y otros promotores de brotación aún es desconocida, sin embargo, se sabe que la expresión y actividad de la enzima catalasa se inhibe y los niveles de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) aumentan dentro de la yema lo que desencadena la brotación de la misma (Shulman *et al.,* 1983). En Brasil se están realizando aplicaciones de extractos de ajo (*Allium sativum* L.) y aceite mineral como una alternativa orgánica a los productos sintéticos, con resultados similares a la cianamida hidrogenada (Leonel *et al.,* 2016). Algunos cultivares de frambuesa bianual se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Algunos cultivares bianuales

Cultivares					
Cultivares de fruto rojo	Temporada de cosecha	Cultivares de fruto negro	Temporada de cosecha	Cultivares de fruto púrpura	Temporada de cosecha
Prelude	Temprana	Bristol	Temprana	Brandywine	Media
Nova	Temprana	Jewel	Media	Glen coe	Media
Glen Ample	Media	Macblack	Tardía	Royalty	Tardía
Willamette	Media				
Cascade Harvest	Media				
Killarney	Media				
Tulameen	Tardía				
Cascade Delight	Tardía				
Encore	Tardía				
Meeker	Tardía				

2.2.2 Cultivares anuales o de otoño

También se denominan de primocaña y al igual que los cultivares de floricaña tienen un marcado patrón de crecimiento en climas templados y difieren de los anteriores en que en éstos todo el ciclo de las cañas (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y senescencia) se lleva a cabo durante el mismo ciclo o estación de crecimiento (Carew *et al.,* 2000). Otra diferencia importante respecto al grupo anterior es su bajo requerimiento de frío, lo cual permite cultivarlas desde ambientes templados hasta tropicales. La aparición de las cañas o brotes se origina a partir de yemas en el sistema radicular o bien en porciones de cañas a nivel de suelo (Pritts, 2008).

En estos materiales la floración se ha observado a partir de la segunda semana de julio en Guerrero, Chihuahua, México, en el cultivar 'Autumn Bliss' (Parra-Quezada *et al.,* 2008), evadiendo las heladas tardías de la zona y debido a esto la fructificación se desarrolla durante el verano hasta comienzos del otoño cuando las temperaturas comienzan a descender. Una característica interesante de estos materiales es que la fructificación ocurre en la parte superior de la caña, aproximadamente de 1/2 a 1/3 la longitud de la caña (Crandall, 1995; Jennings, 1988) y tras esto, esa porción de la caña muere, el resto permanece inactiva y la floración se desencadena en la primavera siguiente, tras la exposición a bajas temperaturas, es decir; los materiales anuales poseen también un comportamiento floricaña (Xu, 2016), siendo esta otra diferencia importante respecto a los materiales bianuales, donde la caña emite floración en gran porcentaje de sus yemas. Lo anterior abre la posibilidad de obtener dos cosechas con estos materiales, el sistema de cosecha simple (SCS) o bien sistema de cosecha doble (SCD). En el SCS, una vez emitida la fructificación en la punta de la caña se realiza una poda al ras de suelo para estimular la aparición de nuevas cañas, mientras que el SCD se realiza una poda de despunte que consiste en eliminar la parte que emitió fruto y se obtienen dos cosechas, una en cañas despuntadas del ciclo anterior, la cual es bajo algunas circunstancias de menor calidad y menor rendimiento, y la otra cosecha se produce en la punta de las nuevas cañas que emergen (Galindo-Reyes *et al.,* 2006).

Se podría decir que es una variante de la producción de caña larga, con la excepción del protocolo bajo el cual se producen las cañas largas. Sin embargo, debido a la menor calidad de fruta, coexistencia entre cañas primocañas y floricañas, así como un aumento en los costos, lo más común es que las plantaciones se manejen como un cultivo anual produciendo fruta solo en la punta de las primocañas.

Estos materiales debido a sus bajos requerimientos de frío se utilizan en áreas subtropicales y tropicales donde la acumulación de frío es muy baja o nula. Pritts, (2008) menciona que estos materiales presentan una serie de ventajas en comparación con los cultivares de floricaña entre las cuales destacan su bajo requerimiento de frío, poseen un periodo de fructificación más largo que los cultivares de floricaña, la poda puede realizarse al ras de suelo con lo que se reducen los costos de producción, esta poda también puede romper el ciclo de vida de algunas plagas y enfermedades asociadas al cultivo, no existe problema por las bajas temperaturas en invierno que pueden presentar algunas zonas, ya que no hay presencia de cañas en esa época si se poda al ras de suelo, y al producir fruto la misma estación de crecimiento conjuntamente con los precios y moderados rendimientos se favorece la rápida recuperación económica.

En los últimos años se le ha prestado atención a este tipo de cultivares en todo tipo de climas, debido al hábito de crecimiento y fructificación, ya que el manejo agronómico es más simple y en la mayoría de los casos los costos de operación disminuyen por la posibilidad de realizar poda mecánica al ras de suelo, existe una menor presión de plagas y enfermedades, lo que reduce el uso de pesticidas y facilita la fertilización (Xu, 2016).

2.2.2.1 Desface de la producción con cultivares anuales

Sin lugar a duda la producción fuera de la estación de especies frutales de alto valor, entre ellas especies del género *Rubus*, representa una ventaja económica potencial principalmente para mercados de fruta en fresco. Lo anterior ha conducido a la investigación de prácticas y manejos que permitan la factibilidad económica de su realización (Oliveira *et al.,* 1996).

Para el caso de cultivares de primocaña en ambientes cálidos o tropicales, esta producción se realiza sin problema, mientras que en ambientes templados con estaciones climáticas bien definidas se realizan diversas prácticas y manejos para lograr este objetivo.

Actualmente se han evaluado algunas prácticas que permiten retrasar el periodo de cosecha o bien manipularlo completamente en latitudes al norte con estaciones bien definidas, por ejemplo, en el norte de Europa se utilizan cultivares de floricaña de alta calidad producidos en campo abierto, para posteriormente refrigerarlos y después producir fruta en ambientes protegidos como túneles o invernaderos de polietileno, esta técnica se conoce como producción de caña larga (Dijkstra *et al.,* 1993; Sønsteby *et al.,* 2013).

En algunas regiones costeras de California y otras regiones, estos manejos se aplican a primocañas las cuales han sido podadas a media altura tras cosechar la fruta de los nudos superiores y tras refrigerarlas se logran obtener dos cosechas con la posibilidad de manipular la fecha de salida al mercado mediante la fecha de refrigeración y la salida nuevamente a campo de estas cañas.

El despunte de cañas antes de que inicie la floración es una práctica interesante ya que elimina dominancia apical permitiendo estimular el desarrollo de laterales, así mismo se limita la longitud de la planta (Himelrick *et al.,* 2001). Esto permite que la floración y fructificación evadan altas temperaturas u otros factores adversos, ya que retrasa dichos eventos a los meses extremos del año, además es posible que se incremente el rendimiento por nuevos puntos de fructificación (laterales) y permite retrasar el evento de floración por un par de semanas, por lo que esa práctica se ha evaluado con la finalidad de mover las fechas de floración y fructificación tanto en zarzamora como en frambuesa (Strik *et al.,* 2007).

Zorenc *et al.,* (2017), evaluaron fechas de despunte en materiales de frambuesa primocaña ‘Amira’ y ‘Polka’ cultivadas en Eslovenia (46 ° 10 ’ N, 14 ° 41 ’ E), debido a que la época de floración coincidió con altas temperaturas de verano, y observaron que la fecha de despunte (18 de mayo y 2 de junio) tuvo efecto en la fecha de cosecha con respecto al control sin despunte, retrasando de entre 11 y 21 días

dependiendo de la fecha de despunte, mientras que los parámetros de calidad y rendimiento no se vieron afectados. Ellos concluyeron que esta práctica permite retrasar la época de floración y, por ende, mover ligeramente la época de cosecha.

Una variante más severa que los despuntes, consiste en podar las cañas completamente a ras de suelo en diferentes fechas, esta práctica se conoce como poda de verano con lo cual se reinicia el crecimiento de brotes nuevos que florecerán y fructificarán en función de la tasa de crecimiento y desarrollo según la época de poda, esta práctica se recomienda para zonas con inviernos benignos, donde las temperaturas permitan el crecimiento y diferenciación floral hasta septiembre y octubre (Oliveira *et al.,* 1992). La intensidad y calidad de luz, temperatura ambiental y de suelo después de la fecha de poda se consideran como los factores limitantes (Oliveira *et al.,* 1996).

De manera similar, Parra-Quezada *et al.,* (2007), evaluando la fecha y tipo de poda en frambuesa roja 'Malling Autumn Bliss' en Guerrero Chihuahua (28 ° 33 ' N, 107 ° O), observaron que la floración inició la segunda semana de junio en podas tempranas o sin poda, mientras que la poda tardía al ras de suelo el 15 de mayo retrasó el evento de floración hasta el mes de agosto para dar inicio a cosecha en el mes de septiembre sin afectar el peso de fruto, sin embargo mencionan que el número de cañas fue menor así como el de inflorescencias, además estas cañas pueden ser afectadas por heladas tempranas en el mes de noviembre.

Por otra parte, Oliveira *et al.,* (1996), evaluaron fechas de poda de verano (2,16 y 31 de julio y 15 y 30 de agosto) en el cultivar "Autumn Bliss" bajo túnel de polietileno en la costa Suroeste de Portugal, latitud 37 ° N a una altitud de 40 msnm, y observaron que la poda tardía, en el mes de agosto, retrasó la cosecha hasta febrero y abril, época con excelentes ventanas de comercialización, sin embargo, esta poda tardía se tradujo en un gasto de carbohidratos por parte de la planta y las condiciones de crecimiento (radiación y temperaturas) fueron menores por lo cual la longitud de la caña, área foliar y rendimiento se vio reducido.

En latitudes al norte estos manejos se deben realizar bajo estructuras protegidas como invernaderos o túneles de polietileno que permitan extender el periodo libre

de heladas (PLH) para iniciar con el manejo de manera programada con la finalidad de obtener fruta durante el mayor tiempo posible durante el PLH y de esta manera poder competir con otras regiones. Incluso se debe evaluar la implementación de estos cultivares en invernaderos climatizados y realizar análisis económicos para determinar la viabilidad económica de su implementación.

Actualmente muchas regiones en estas latitudes han evaluado esta posibilidad debido a los altos precios que llega a alcanzar la fruta en estas épocas invernales, no solo en frambuesa, sino además en otras especies frutales (Black *et al.,* 2019; Li *et al.,* 2019; Pritts, 2016). En casos donde no se incorporen fuentes de calor suplementaria, la protección de la estructura retrasa el ingreso de las plantas a dormancia debido a que ofrece una protección por sí sola, 2 °C en promedio (Janke *et al.,* 2017), ante bajas temperaturas, gracias a esto los descensos de temperatura a niveles de congelación se logran retrasar y se aprovecha esa fruta tardía que al exterior es dañada junto con las plantas tras las primeras heladas. En el Cuadro 2 se incluyen algunos cultivares de frambuesa anual.

Cuadro 2. Algunos cultivares anuales

Cultivares					
Cultivares de fruto rojo	Temporada de cosecha	Cultivares de fruto amarillo	Temporada de cosecha	Cultivares de fruto negro	Temporada de cosecha
Polana	Muy temprana	Fall Gold	Media	Niwot	Media
Polka	Temprana	Anne	Tardía		
Autumn Britten	Temprana	Double Gold	Tardía		
Joan J	Temprana				
Caroline	Media				
Autumn Bliss	Media				
Himbo Top	Media				
Crimson Treasure	Tardía				
Heritage	Tardía				
Josephine	Tardía				
Crimson Night	Tardía				
Crimson Giant	Tardía				
Nantahala	Tardía				

2.3 Descripción y parámetros de calidad de fruto

El fruto de frambuesa es el resultado de todas las drupelas formadas después de la fertilización de cada ovario presentes en la flor, las cuales se adhieren a un receptáculo cónico. Cada drupa o drupela es un fruto completo, por lo que el fruto de frambuesa es en realidad un fruto compuesto o polidrupa. Estos frutos individuales se mantienen unidos mediante pubescencias epidérmicas (Bobinaitė *et*

al., 2016; Graham *et al.,* 2018). Al momento de ser cosechados los frutos de frambuesa, el receptáculo floral permanecerá unido a la planta, por lo cual las drupelas alrededor del fruto forman una cavidad al centro del mismo (Wang *et al.,* 2009). De no realizarse una correcta polinización se obtendrán frutos de menor calibre debido a la falta de drupelas, lo que le brinda un aspecto deforme de la fruta.

Los frutos maduran después de 30 a 40 días después de la polinización, siendo las condiciones climáticas, principalmente temperatura, además del genotipo, lo que definirá el periodo de maduración. Por ejemplo, Parra-Quezada *et al.,* (2008), indican un periodo de cosecha de flor a fruto de entre 33 a 36 días para el cultivar 'Autumn Bliss' en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. Una vez alcanzada la madurez, los frutos se desprenden fácilmente del receptáculo cónico ya que se genera una zona de absición entre las drupelas y el receptáculo.

La cosecha por lo regular se realiza muy temprano por las mañanas o bien por las tardes, esta labor se realiza diariamente con al menos un corte, sin embargo, se puede llegar a dar el caso que se tengan que realizar múltiples cosechas al día.

Estas frutas son extremadamente frágiles, por lo que se debe evitar una manipulación excesiva. También presentan una vida de anaquel relativamente corta debido a sus altas tasas de respiración y pérdida de firmeza (Stavang *et al.,* 2015; Wang *et al.,* 2009; Yang *et al.,* 2020). Lo más recomendable es realizar la cosecha de frutos semi-maduros, con una coloración rosa pálido. Frutos con tonalidades más intensas estarán entre maduros y sobre maduros, acortando la vida de anaquel del fruto (Stavang *et al.,* 2015). Regularmente este tipo de frutos muy maduros se clasifican en categorías más bajas, por lo que no son aptos para el mercado en fresco ni entran a exportación.

2.3.1 Color y firmeza

El color es el primer atributo que observa el consumidor al momento de juzgar la calidad de la fruta (de Ancos *et al.,* 1999). El color del fruto está relacionado con el contenido y composición de las antocianinas presentes en el fruto (Mazur *et al.,* 2014b; Stavang *et al.,* 2015). Para los frutos de frambuesa, principalmente son

glicosilados de cianidina y pelargonidina (García-Viguera *et al.,* 1998; Salinas-Moreno *et al.,* 2009). Dependiendo del tipo de frambuesa, el contenido de antocianinas varía, para frambuesas de fruto amarillo y naranja el contenido es bajo, en frambuesas rojas el contenido es entre medio y alto, mientras que los cultivares de fruto negro suelen ser ricos en antocianinas (Weber *et al.,* 2008). En la mayoría de las regiones el principal criterio para cosechar los frutos se basa en la observación visual de una coloración rojiza uniforme a lo largo del fruto. Sin embargo, es necesario definir una metodología numérica que se adapte al trabajo de campo y permita cosechar frutos de manera homogénea en su punto óptimo de madurez, especialmente cuando se realizan trabajos en la determinación de fitoquímicos (Yang *et al.,* 2020). El color reportado como °hue en diversos cultivares fluctúa entre 15 a 30 (de Ancos *et al.,* 1999; Maro *et al.,* 2014).

La firmeza de la fruta también representa un importante componente de calidad, principalmente en el mercado de fruta fresca ya que las mayores pérdidas de fruta se originan debido al ablandamiento y pérdida de firmeza de la fruta. Lo anterior vuelve susceptible a la fruta al ataque de hongos, especialmente moho gris (*Botrytis cinérea*) (Simpson *et al.,* 2017). Conforme se avanza en la maduración, la firmeza disminuye atribuido a la expansión de la fruta, la hipodermis y la epidermis del mesocarpio se distienden y las drupelas tienden a desprenderse del receptáculo (Zheng *et al.,* 2010). En postcosecha, Tezotto-Uliana *et al.,* (2018) indican que la tasa de respiración, producción de etileno, pérdida de peso e incidencia de patógenos se redujo cuando la fruta se almacenó a 0 °C en frambuesa ‘Autumn Bliss’. Permitiendo preservar los parámetros de calidad hasta por 12 días. La pérdida de firmeza tanto en campo como en postcosecha se debe al aumento de la actividad de las enzimas pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) (Anthon *et al.,* 2002).

2.3.2 Peso y forma

El peso y la forma de la fruta constituye un importante rasgo que influye en el atractivo de la fruta. Gracias a los programas de mejoramiento genético se ha

logrado obtener frutas de mayor calibre. Los primeros cultivares liberados presentaban un peso inferior a 2 g. Mientras que en la actualidad el peso promedio de la fruta de variedades patentadas actuales es entre 5 a 6 g. También se prefieren las frutas alargadas y cónicas respecto a las frutas cortas y anchas. El peso promedio de los frutos dependerá principalmente de la genética y por el manejo agronómico, por lo general está entre 2.5 y 5.6 g, e incluso algunos cultivares bajo ciertas circunstancias pueden exceder los 10 g. En frambuesa 'Heritage' se reporta peso de fruto desde ≤ a 2 g hasta ≥ 3 g. Considerando que es una variedad liberada hace más de 50 años (Ourecky *et al.,* 1969), frutas por encima de los 2 g se pueden considerar aceptables dentro de mercados locales.

2.3.3 Azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos

Los azúcares y ácidos orgánicos son importantes componentes que definen las propiedades sensoriales de la fruta. En primera instancia el contenido de estos compuestos depende de la genética de cada cultivar, posteriormente las condiciones de cultivo y las prácticas de manejo contribuirán positiva o negativamente en el contenido final (Zheng *et al.,* 2019).

Entre los principales azúcares que contiene el fruto de frambuesa podemos mencionar, glucosa, sacarosa y fructosa (Wang *et al.,* 2009). También se ha indicado que la fructosa es el azúcar más abundante en frutos de frambuesa (Wang *et al.,* 2005). Los sólidos solubles totales reportados en frutos de frambuesa están entre 9 y 13 % (de Ancos *et al.,* 1999; Milivojevic *et al.,* 2011).

Los ácidos orgánicos se sintetizan tanto en las mitocondrias mediante el ciclo de Krebs y en menor medida en los glioxisomas en el ciclo del glioxilato (Zheng *et al.,* 2019). Los niveles de acidez afectan la percepción de la calidad de la fruta, ya que pueden enmascarar la dulzura por lo que el parámetro acidez/sólidos solubles es un parámetro importante (Lyon *et al.,* 1993). Usualmente la relación azúcar/acidez se reporta entre 4 y 7 (Forney *et al.,* 2015; Palonen *et al.,* 2017).

También, la proporción de ácidos orgánicos presentes en el fruto respecto a los azúcares es importante, ya que se ha indicado por ejemplo que, el ácido cítrico puede enmascarar la percepción de la sacarosa (Bonnans *et al.,* 1993). Entre los principales ácidos orgánicos que contiene el fruto de frambuesa, desatacan el ácido cítrico, el cual es el predominante, representando alrededor del 75 % (Forney *et al.,* 2015), además de contener otros ácidos como el málico, tartárico, oxálico y fumárico (Skrovankova *et al.,* 2015; Wang *et al.,* 2009). También contiene ciertos minerales y algunas vitaminas (ácido ascórbico, ácido fólico). El contenido nutrimental se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido nutrimental del fruto de frambuesa

Análisis proximal		Minerales		Vitaminas	
Agua (g)	85.75	Calcio (mg)	25	Vitamina C (mg)	26.2
Energía (kcal)	52	Hierro (mg)	0.69	Tiamina (mg)	0.032
Proteina (g)	1.2	Magnesio (mg)	22	Riboflavina (mg)	0.038
Lípidos totales (g)	0.65	Fosforo (mg)	29	Niacina (mg)	0.598
Carbohidratos (g)	11.94	Potasio (mg)	151	Vitamina B5 (mg)	0.329
Fibra (g)	6.5	Sodio (mg)	1	Vitamina B6 (mg)	0.055
Azúcares	4.42	Zinc (mg)	0.42	Vitamina B9 (μg)	21
Sacarosa (g)	0.2	Cobre (mg)	0.09	Colina (mg)	12.3
Glucosa (g)	1.86	Manganeso (mg)	0.67	Luteína y zeaxantina (μg)	136
Fructosa (g)	2.35	Selenio (μg)	0.2	Vitamina E (mg)	0.87
				Vitamina K (μg)	7.38
				* Vitamina A (μg)	2

* Equivalentes de actividad de retinol (por cada 100 g) tomado de Rao *et al.,* (2010)

2.3.4 Compuestos fenólicos

Los fitoquímicos o fitonutrientes son compuestos presentes en el reino vegetal generalmente en plantas superiores, estos compuestos son sintetizados como parte del proceso metabólico ya que desempeñan funciones biológicas no esenciales, es decir, que no representan compuestos vitales para el crecimiento y desarrollo de las pantas (Adams *et al.,* 2019). Sin embargo, presentan un rol sumamente importante en la adaptación y defensa a diversos entornos desfavorables causados por factores bióticos y abióticos (Santino *et al.,* 2013; Zhu, 2016), así mismo intervienen indirectamente en otros procesos de suma importancia como la polinización y dispersión de semillas. Por lo general se encuentran en bajas concentraciones principalmente en las vacuolas de las células (Nielsen *et al.,* 2019).

Dentro de la gran diversidad de fitoquímicos que sintetizan las plantas, los polifenoles o compuestos fenólicos representan uno de los grupos de metabolitos secundarios más estudiados debido a su importancia fisiológica y morfológica dentro del reino vegetal, además de los benéficos que aportan a la salud humana en la prevención y combate de enfermedades cardiovasculares, e incluso algunos tipos de cáncer (Skrovankova *et al.,* 2015).

En los últimos años se ha observado un creciente interés en la investigación referente al contenido de fitoquímicos presentes en diversas clases de frutos, particularmente en frutos rojos o “berries” como la frambuesa, debido a que estos son una importante fuente de algunas de las clases más importantes de fitoquímicos, particularmente de antocianinas y elagitaninos (De Souza *et al.,* 2014; Määttä-Riihinen *et al.,* 2004). Dichos compuestos tienen la propiedad de inhibir los radicales libres causantes del daño por oxidación celular, lo que a su vez ocasiona algunas de las enfermedades patológicas más comunes en la actualidad (Valko *et al.,* 2007). Por lo que, algunos de los efectos positivos en la salud humana del consumo regular de berries entre ellas la frambuesa, se han atribuido a su alto contenido de antocianinas (Veberic *et al.,* 2015). La concentración de estos compuestos en plantas y frutos está íntimamente ligada a factores genéticos,

condiciones ambientales y de manejo, a las cuales estuvo expuesta la planta, así como los manejos posteriores a la cosecha, etc. (Anttonen *et al.,* 2005).

Mullen *et al.,* (2002), reportaron 11 antocianinas en frutos de frambuesa 'Glen Ample', siendo la cianidina 3-soforósido la de mayor abundancia, también es posible encontrar algunas otras tales como, cianidina-3- (2G-glucosilrutinósido), cianidina-3-glucósido, cianidina-3-rutinósido, pelargonidina-3-soforósido, pelargonidina-3-(2G-glucosilrutinósido) y pelargonidina-3-glucósido (Spanos *et al.,* 1987). Además, algunas variedades contienen altos contenidos de elagitaninos, compuestos que por medio de hidrólisis liberan ácido elágico (Rommel *et al.,* 1993), el cual posee importantes propiedades antimicrobianas, antivirales, ayuda en la prevención y combate de enfermedades cardiovasculares e incluso algunos tipos de cáncer (García-Niño *et al.,* 2015; Zhang *et al.,* 2014). Otros compuestos fenólicos comúnmente encontrados son catequina, quercetinas y algunos ácidos fenólicos.

2.4 Producción de frutales en ambientes protegidos

Para la producción de especies frutales bajo ambientes protegidos se requiere un conjunto de factores que conduzcan a una viabilidad tanto económica como ecológica, entre ellos, uno de los principales requisitos es que exista un mercado potencial y especies de alto valor económico que justifique los costos adiciones de la estructura (Lang, 2009; Rubauskis *et al.,* 2013).

Lo anterior permite un rápido retorno económico y en años recientes algunas regiones templadas del hemisferio norte se han interesado en aplicar estos manejos debido a los atractivos precios que alcanzan algunas especies de frutos en época invernal, siendo las especies comúnmente producidas bajo estas condiciones son frutales perenes semi-leñosos con buen precio de mercado, entre ellas destacan la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Garcia *et al.,* 2017; Gu *et al.,* 2017), zarzamora (*Rubus* L. subgénero *Rubus* Watson) (Fernandez *et al.,* 2010; Pritts, 2016), arándano (*Vaccinium Corymbosum* L.) (Li *et al.,* 2019; Retamal-Salgado *et al.,* 2015), cereza (*Prunus avium* L.) (Lang *et al.,* 2011; Zhang *et al.,* 2017), higo (*Ficus carica* L.) (Mendoza-Castillo *et al.,* 2019) y frambuesa (*Rubus Idaeus* L.) (Dale *et*

al., 2005; Hanson *et al.,* 2019a), donde la fresa quizá sea la que cuenta con mayor superficie de producción bajo estas condiciones a nivel mundial. Los principales sistemas de protección utilizados son invernaderos y túneles de polietileno, y debido que estos últimos presentan un menor costo y pueden adaptarse a diferentes condiciones ambientales han tomado gran auge en los últimos años.

2.4.1 Túneles de polietileno

Un túnel de polietileno está constituido por una estructura fija o móvil que puede variar en composición, desde arcos metálicos de diferentes calibres, hasta de tubos de cloruro de polivinilo (PVC), los cuales se instalan directamente sobre el suelo. Prácticamente es un invernadero temporal que puede ser desmontado, sin calefacción, ni fuentes de energía y generalmente se ventila de forma pasiva. Debido a su bajo costo en relación a los invernaderos, éstos pueden ser instalados en grandes superficies (Janke *et al.,* 2017).

El uso de túneles de polietileno está adquiriendo popularidad en climas fríos y templados para prolongar la temporada de producción, e incrementar los rendimientos y la calidad. Comúnmente se emplean en frutas y verduras de alto valor así como en flores de corte (Blomgren *et al.,* 2007; Janke *et al.,* 2017).

Estas estructuras ofrecen un control mínimo sobre el microclima, principalmente en la temperatura y humedad, parámetros que se regulan mediante la ventilación que ofrecen las paredes laterales y las frontales (Xu, 2016), ya que carecen de electricidad, sistemas de calefacción o enfriamiento y equipos de iluminación. Se pueden denominar como estructuras solares pasivas, dependiendo de la radiación solar para calentarse (Bushway *et al.,* 2008).

Entre los beneficios que proporcionan se encuentran la protección contra condiciones ambientales desfavorables (bajas temperaturas y lluvias en época de cosecha), favorecen una temperatura del suelo ligeramente superior y más estable a la que se registra en el exterior, incrementan la eficiencia de los recursos y superficie respecto al campo abierto, protegen al cultivo de plagas y aves (Lamont, 2005), además de que permiten la posibilidad de extender los periodos de oferta e

incluso programarlos en función de la ubicación geográfica y especie que se desee manejar (Janke *et al.,* 2017).

La ventilación se basa en la abertura de las paredes laterales o frontales y como se mencionó anteriormente carecen de sistemas de calefacción, sin embargo, es común introducir calentadores a base de alguna fuente de energía como gas, electricidad o algún otro combustible a finales de otoño y a comienzos de primavera para minimizar el efecto negativo de las bajas temperaturas que afectan al cultivo desarrollado en su interior. El riego generalmente es mediante algún sistema presurizado, donde simultáneamente se puede suministrar la nutrición. Generalmente se consideran estructuras económicas, aunque esto está en función de la región, distribuidores y materiales de los que este fabricada. En determinados casos son opciones rentables para la producción de frutas, verduras y flores de corte de alto valor (Hecher *et al.,* 2014). En regiones templadas el uso de túneles puede extender el crecimiento y fructificación de diversos cultivos mediante el control de la oscilación térmica brindando un ambiente más cálido, algo similar ocurre en condiciones tropicales (protección ante la lluvia, etc.). El establecimiento de los cultivos dentro de estos túneles generalmente se da en suelo fijo, aunque puede emplearse contenedores si fuera necesario hacerlo. Las dimensiones de los túneles varían según las necesidades y pueden ir desde 1.2 metros de ancho hasta 9 o más y de 6 a 90 metros de largo. Otra característica importante de estas estructuras es que no están equipadas para soportar cargas de nieve, aunque pueden modificarse y adaptarse para minimizar este problema. Por otro lado, estructuras de grandes dimensiones pueden ser susceptibles a fuertes vientos.

2.5 Parámetros climáticos modificados en ambientes protegidos

2.5.1 Radiación solar

En el exterior la radiación solar recibida por los cultivos presenta una distribución desigual en el dosel del cultivo, es decir la parte superior-exterior recibe los niveles más altos en comparación con la parte exterior e interior de la parte media y baja del dosel, por lo que las hojas superiores interceptan una gran cantidad de radiación,

la cual, dependiendo de la intensidad, puede contribuir a la fotosíntesis o bien causar fotoinhibición (Muraoka *et al.,* 1998), mientras que el follaje de estratos inferiores o al interior del dosel apenas y contribuye a la fotosíntesis, actuando principalmente como sumideros de carbohidratos (Hemming *et al.,* 2006). Sin embargo, en campo abierto la mayoría de las plantas reciben más luz solar de la que realmente pueden usar para la fotosíntesis, como resultado, se produce fotoinhibición y todos los efectos negativos conjuntos.

La radiación solar recibida al exterior proviene del sol en línea recta, mientras que la radiación solar difusa proviene de diversas direcciones tras haber sido desviada por las nubes, topografía o bien por el plástico traslúcido de los invernaderos y túneles de polietileno. Por lo que, en sistemas protegidos, la radiación total se reduce y difunde hacia los cultivos del interior. Esta radiación solar difusa se distribuye de manera más uniforme a todo el dosel, lo que conduce a incrementos en la fotosíntesis y, en consecuencia, aumentos en el crecimiento y calidad de la fruta. Por ejemplo, en pimiento se demostró que el emplear materiales de cobertura que favorecen la difusión de la radiación del verano en invernadero, incrementó el rendimiento entre un 5 y 6 % (Hemming *et al.,* 2006). Dueck *et al.,* (2012) mencionan que la radiación difusa incrementó el rendimiento en tomate entre 8 y 11 %, justificando este incremento al aumento en el peso medio del fruto (5-8 g), lo cual se debió posiblemente a un incremento en la fotosíntesis por la luz difusa y reducciones en fotoinhibición. Retamal-Salgado *et al.,* (2015) evaluando arándano bajo túneles de polietileno, encontraron una reducción en la radiación fotosintéticamente activa en un 25 % mientras que, la radiación difusa se incrementó en más de 150 %, la conductancia estomática aumento 42 y 99 % y el rendimiento fue 44 % superior en relación con las plantas de exterior. Además se ha encontrado que las hojas bajo luz difusa suelen ser más grandes (Hemming *et al.,* 2008).

Por lo tanto, las cubiertas plásticas reducen la cantidad de radicación fotosintéticamente activa (PAR) por sus siglas en inglés (Photosynthetically active radiation, 400-700 nm), entre un 20 a 30 % en comparación a la radiación en áreas sin cubierta plástica (Cowan *et al.,* 2014). Dependiendo de la ubicación geográfica,

bajo túneles de polietileno se ha observado una reducción de la luz, desde 21 % hasta un 47-50 % para clima soleado y nublado respectivamente (Rohloff *et al.,* 2004).

A medida que los niveles de radiación (PAR) incrementan al exterior, la fotosíntesis también incrementa hasta saturarse por el exceso de radiación, por otro lado, la frambuesa es una planta de metabolismo C3, originaria de zonas templadas y algunos autores han estimado que el punto de saturación se alcanza con niveles de radiación relativamente bajos (Pritts, 2002), en frambuesa 'Titan' se encontró entre los 500 a 700 µmol m^{-2} s^{-1} (Fernandez *et al.,* 1994), básicamente igual a los 500 a 750 µmol m^{-2} s^{-1} requeridos en el cultivar primocaña 'Autumn Britten' (Landry, 2011).

Jiao *et al.,* (2019) observaron en tomate bajo invernadero que las plantas bajo alto DVP (Déficit de presión de vapor) + baja concentración de CO_2 (ambiente), requieren 1622 µmol m^{-2} s^{-1} para la saturación, pero al disminuir el déficit de presión de vapor (DPV) con la misma concentración de CO_2 el punto de saturación disminuye a 1438 µmol m^{-2} s^{-1}, es decir se requiere menos luz. Al enriquecer con CO_2, y disminuir el DPV se puede utilizar mayor luz (1868 µmol m^{-2} s^{-1}), lo anterior es uno de los principios en sistemas de alta tecnología e invernaderos de techo retráctil. Por lo tanto, los cambios en los niveles de radiación junto con prácticas adicionales bajo túneles de polietileno pueden conducir a una mejora en la fotosíntesis en relación con los cultivos al exterior donde los niveles de luz excedan el punto de saturación.

En cuanto al efecto de la radiación solar sobre la calidad de la fruta, se indica que las plantas expuestas a mayores cantidades de radiación solar acumulan mayor contenido de azúcares. Jogaiah *et al.,* (2012), indican que el contenido de sólidos solubles fue superior en uvas 'Norton' expuestas a la luz solar respecto a las frutas sombreadas. También indican, que el contenido de acidez fue superior en la fruta sombreada debido posiblemente al incremento de ácido málico. Aunque esto posiblemente dependerá del genotipo y su interacción con el medio ambiente. Los azúcares en el fruto dependen principalmente del suministro de carbohidratos procedentes de la fotosíntesis (Zheng *et al.,* 2019), estos azúcares de translocación

suelen ser sacarosa, verbascosa, rafinosa, estaquiosa, sorbitol y manitol entre otros (Yamaki, 2010). En el fruto y por medio de varias enzimas, hay una conversión de estos azúcares en otras moléculas, esto constituye otro factor importante que influye en la composición final de los azúcares en la fruta (Zheng *et al.,* 2019).

Por otra parte, la cantidad y calidad de luz, son factores que determinan la biosíntesis de antocianinas, ya que este es un proceso dependiente de la luz actuando como una señal que desencadena la síntesis en determinadas especies (Ubi *et al.,* 2006). Los autores anteriores Ubi *et al.,* (2006), también señalan que la luz UV B y las bajas temperaturas (17 °C) presentaron un rol estimulante en la síntesis de antocianinas en la piel de frutos de manzana de los cultivares ‘Iwai',' Sansa', 'Tsugaru', 'Homei-Tsugaru', y 'Akane, los factores anteriores indujeron la expresión de genes implicados en la biosíntesis de antocianinas especialmente; *MdCHS* (chalcona sinatsa), *MdANS* (antocianidina sintasa) y pUFGluT (UDP-glucosa: flavonoide 3-O-glucosil-transferasa). Por su parte, Spayd *et al.,* (2002), indican que la exposición a la radiación solar de las bayas de uva variedad ‘Merlot’ aumentó las concentraciones de los glucósidos de quercetina, kaempferol y miricetina. También informan que las bayas expuestas a la radiación solar presentaron concentraciones hasta 10 veces mayores de flavonoles totales en comparación a las bayas sombreadas. Por lo tanto, una baja incidencia de luz puede ocasionar frutos con menor intensidad de color, afectando la calidad de algunas frutas.

2.5.2 Temperatura ambiental

En climas tropicales y subtropicales los túneles de polietileno actúan principalmente como una protección física en contra de la precipitación y fenómenos naturales que pudieran reducir la calidad de los frutos de manera directa o indirecta, y en menor medida ayudan a regular la temperatura ambiental, mientras que en zonas frías y templadas la principal función consistiría, además de las anteriores, en reducir los altos niveles de radiación y moderar la temperatura ambiental del interior, especialmente en los extremos del año.

Debido a que estas estructuras modifican el clima del interior de manera pasiva (radiación, ventilación natural), están altamente influenciados por el entorno climático exterior, por lo que se debe analizar estas condiciones para planear su manejo y conocer las prácticas que se deberán realizar durante el ciclo. La cubierta de polietileno que recubre las estructuras (invernaderos, túneles, etc.) transmite gran parte de la radiación solar, limitando la transferencia térmica por convección y radiación al exterior, esto genera que la energía captada se retenga y se acumule el calor y en consecuencia las temperaturas al interior aumentan (Orzolek, 2017).

De esta manera se aprovecha el efecto invernadero para incrementar las temperaturas ambientales y de suelo respecto al exterior. En zonas templadas con inviernos ligeros, estructuras como túneles de polietileno se emplean para aprovechar este principio, sin embargo, debido a que son estructuras de baja tecnología el control de temperatura se realiza abriendo las paredes frontales y laterales para favorecer la ventilación. Esto se puede realizar de manera manual o automatizada. La temperatura que se alcanza al interior de estas estructuras dependerá en gran medida de la ubicación y nivel de radiación recibida en diferentes épocas del año, por lo que en ocasiones las plantas pueden estar expuestas a temperaturas por arriba de la óptima, de igual manera, la baja temperatura nocturna al interior puede ser similar o inferior que al exterior si no se cuenta con sistemas de calefacción. Según Rawson, (1992), mientras más rápido se acumula temperatura o grados térmicos, más rápido progresa el desarrollo vegetativo, es en parte por lo que los cultivos al interior muestran tasas de crecimiento más rápidas que los cultivos al exterior.

El incremento de la temperatura al interior de estas estructuras puede atenuarse, además de incrementar la humedad relativa mediante el uso de sistemas de nebulizado (Katsoulas *et al.,* 2001). A sí mismo, la temperatura junto con radiación solar y DPV influirán en las tasas de fotosíntesis del cultivo, por lo que este parámetro no es independiente ya que a lo largo del día existen muchas ‘temperaturas optimas’. Esto ocasiona que la acumulación de horas y días grado de

crecimiento sea superior respecto al exterior. Para evitar el exceso de calor, la ventilación es clave, principalmente se realiza abriendo paredes laterales.

La relación entre temperatura y la calidad de fruta es un proceso complejo que impacta sobre diversos atributos de calidad. En cuanto al contenido de azúcares, se ha reportado tanto incrementos como decrementos dependiendo del cultivar y temperatura. Uleberg *et al.,* (2012), observaron reducciones de fructosa, glucosa y sacarosa cuando la temperatura incremento de 12 a 18 °C en arándano.

En cuanto al contenido de antocianinas, se conoce que la alta temperatura es un factor importante que determina el contenido final de estos compuestos en las plantas. También se ha indicado, que la expresión génica de las enzimas implicadas en la biosíntesis de antocianinas se ve afectada a causa de altas temperaturas (Mori *et al.,* 2007; Schwartz *et al.,* 2009). Mientras que temperaturas frescas promueven la acumulación de antocianinas mediante la alteración de la transcripción de genes implicados en la biosíntesis (Dela *et al.,* 2003).

Mori *et al.,* (2007), sugieren que las antocianinas en frutos de uva 'Cabernet Sauvignon se reducen bajo altas temperaturas (35 °C) debido a degradación y a una inhibición de la transcripción del ARNm de los genes biosintéticos. Dela *et al.,* (2003) indican que los niveles de transcripción de dos enzimas clave en la vía de la síntesis de antocianinas, disminuyeron hasta un 50 % después de someter a altas temperaturas (39/18 °C) a yemas de rosa variedad 'Jaguar', las enzimas afectadas fueron la chalcona sintasa (CHS) y dihidroflavonol reductasa (DFR), sugiriendo que la reducción de la transcripción disminuye el contenido de antocianinas. Schwartz *et al.,* (2009), cultivaron 11 selecciones de granada en dos ubicaciones en Israel y determinaron la calidad de fruto, observando que los frutos de la mayor parte de las selecciones cultivadas en la región con temperaturas más frescas presentaron mayores contenidos de antocianinas en relación con la ubicación más cálida. Ellos, Schwartz *et al.,* (2009), también indican que los frutos de procedentes de la región con temperaturas más frescas, contenían mayores cantidades de ácido cítrico respecto a la ubicación cálida. Sugiriendo que el aumento de la temperatura disminuyó la producción de citrato.

2.5.2 Humedad relativa

El manejo de la humedad relativa es un concepto importante para lograr rendimientos y plantas de alta calidad, sin control de humedad, los altos niveles pueden conducir a la pérdida de la calidad del cultivo debido a mayor facilidad de daño por enfermedades fúngicas, deficiencias nutrimentales (calcio), hojas blandas y delgadas entre otros.

Las condiciones de alta humedad pueden obstaculizar la polinización en varias especies hortofrutícolas, ya que los granos de polen tienden a permanecer en el interior o adherirse (apelmazarse) en las anteras dificultando su dispersión. Por otro lado, condiciones demasiado secas en combinación con temperaturas moderadas ocasionan valores de DPV (déficit de presión de vapor) demasiado altos, lo que puede provocar estrés hídrico en la planta. En condiciones de campo abierto la humedad relativa es difícil de manejar ya que se complica mantenerla dentro de rangos aceptables, principalmente en zonas áridas y secas donde la humedad relativa es demasiado baja. En estas condiciones se produce un alto DPV que hasta cierto punto mejora la transpiración y el flujo de agua a través del xilema y con ello la absorción de nutrientes minerales a las hojas. Cuando se exceden los valores de DVP en combinación con alta radiación solar se generan condiciones que conducen a altas tasas de transpiración que pueden llegar a superar a la absorción de agua.

A diferencia de campo abierto, en estructuras protegidas o semi protegidas, uno de los métodos más eficientes para incrementar la humedad relativa es utilizar sistemas de enfriamiento evaporativo, basados en la conversión del calor sensible en calor latente mediante la evaporación del agua suministrada directamente a la atmósfera mediante nebulizadores o aspersores (Katsoulas *et al.,* 2001).

La humedad relativa más alta tiene efectos positivos en los cultivos hasta ciertos rangos. Por ejemplo Lu *et al.,* (2015), indican mayor contenido de materia seca, tasas de crecimiento superiores, mayores tasas de fotosíntesis neta, mayor conductancia estomática, mayor densidad de estomas lo que conduce a rendimientos por planta ligeramente superiores en tomate ‘Kanby’. En tomate

‘Jinpeng’ bajo invernadero se indica que el incremento de la humedad relativa (<DPV) bajo condiciones de CO_2 normales, incrementa la densidad (mm^{-2}) así como la anchura y longitud de los estomas, además el contenido relativo de agua y el potencial hídrico de la hoja se mejoraron debido a una moderación de la fuerza de transpiración. Lo anterior conduce a incrementos en la concentración de CO_2 intracelular, la tasa de fotosíntesis y el rendimiento final (Jiao *et al.,* 2019; Zhang *et al.,* 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área experimental

El trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo 2019 en Cuauhtémoc, Chihuahua, México. El sitio se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, de la Universidad Autónoma de Chihuahua, situado a 28° 24' 40.8" de latitud N y 106 ° 52 ' 53.7 " de longitud oeste, con una altitud de 2048 msnm, clasificado con un clima según Köppen modificado por García, (1981), como BS1 Kw (w)(e´), que corresponde a un clima semi-seco templado con lluvias en verano.

3.2. Material vegetativo

El material vegetativo para la propagación se obtuvo de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Se utilizó el cultivar de frambuesa 'Heritage', el cual es un cultivar de primocaña liberado en 1969 por la Estación Experimental de Agricultura de New York, en Geneva, NY, EUA (Ourecky *et al.,* 1969). Este cultivar es ampliamente utilizado como referencia entre cultivares de primocaña con fines de consumo en fresco (Bobinaitė *et al.,* 2016).

El sistema radicular se desinfectó mediante una solución del bactericida AGRIMYCIN (80 mg lt^{-1}) y posteriormente se homogenizó en función del diámetro y longitud, almacenándose bajo refrigeración en bolsas plásticas negras hasta la plantación, para lo cual se utilizaron raíces ausentes de daños, de entre 10 a 15 cm de longitud con un grosor de entre 2 a 4 mm (Hudson, 1954).

3.3. Tratamientos

Antes de la aplicación de los tratamientos se realizó un análisis de suelo, el cual consistió en una muestra compuesta por 12 submuestras dentro del área de trabajo (24 m^2) en un rango de profundidad de 0-30 cm. Debido a la superficie tan pequeña, aspecto visual y próximos los tratamientos, el suelo se consideró homogéneo. Los parámetros químicos del suelo se determinaron mediante la metodología de Brucina para nitratos NO_3, el método de Olsen y Bray para fósforo (Bray *et al.,* 1945; Olsen,

1954) y el método de Walkley y Black para materia orgánica (Walkley *et al.,* 1934). Además, previo a la plantación se aplicó una mezcla de lombricomposta y tierra de monte a razón de 9 kg m^{-2}, ambos análisis de realizaron en los laboratorios de suelos de UNIFRUT (Cuadro 4 y 5).

Cuadro 4. Propiedades fisicoquímicas del suelo.

Propiedades		Suelo
CE dS/m		0.67
pH 1:2 H_2O		7.54
Materia orgánica %		2.44
% Arena		44.61
% Limo	Franco	34
% Arcilla		21.39
NO_3 Kg ha^{-1}		46.81
P (ppm)		27.26
K (ppm)		828
Ca (ppm)		7468
Mg (ppm)		1458
Na (ppm)		80
Fe (ppm)		18.8
Zn (ppm)		3.54

Cuadro 5. Características de la lombricomposta

Propiedades	Lombricomposta
CE dS/m	1.4
pH	6.72
Materia orgánica %	34.08
N total (%)	1.33
P Total (%)	0.39
K Total (%)	0.21
Ca Total (%)	1.33
Mg Total (%)	0.29

Se aplicaron dos tratamientos, el tratamiento 1 (T1), consistió en una plantación a campo abierto (Testigo) mediante un camellón de 20 por 0.8 m de largo y ancho, respectivamente (16 m^2), a través de esquejes de raíz el 2 de marzo de 2019.

El segundo tratamiento (T2) consistió en una plantación similar a la testigo, pero establecida bajo un túnel de 3 metros de ancho por 20 m de largo, cubierto con plástico de polietileno lechoso calibre 720 con 30 % de sombra y protección UV, este tratamiento permaneció cubierto desde el inicio de la plantación hasta el final del experimento. Las hileras se orientaron norte-sur.

Las paredes laterales del túnel se abrieron por las mañanas para disipar el exceso de calor y permitir la ventilación y fueron cerradas por las tardes durante el periodo de marzo y abril. Después el túnel permaneció abierto constantemente, hasta octubre cuando fueron cerradas las paredes laterales nuevamente, de igual manera cuando hubo presencia de fuertes vientos también se bajó el plástico de la ventana lateral en función de la dirección del viento.

El sistema de riego en cada tratamiento se realizó mediante una línea de riego en cada condición con goteros cada 20 centímetros, los riegos se realizaron tres veces por semana con una duración de dos horas, posteriormente en la etapa de fructificación el riego se realizó diariamente con una duración de una hora en cada tratamiento. También se colocaron aspersores al exterior de las paredes laterales del túnel con la finalidad incrementar la humedad relativa durante el periodo de mayor insolación del día.

La fertilización se llevó a cabo mediante aplicaciones semanales de fertilizante orgánico Greenback (7.5-5-7.5) y Ballorg (1-1.8-2-12-1+ microelementos) a partir del mes de mayo hasta octubre a razón de 8.6 ton ha^{-1}.

Para el sistema de entrenamiento de las cañas se colocó una espaldera de hilo de tres niveles para conducir verticalmente las cañas cuanto alcanzaron los 50 cm de altura. El control de maleza se realizó de manera manual y mecánica durante el ciclo. Como prevención ante plagas se aplicó un repelente orgánico a base de extracto de ajo asperjado sobre el follaje de las plantas a una dosis de 5 ml por litro.

3.4. Variables agronómicas

3.4.1 Humedad relativa

Se registró el valor máximo y mínimo diario durante el ciclo mediante un termohigrómetro (Fisher Scientific Traceable Humidity/Temperature, EUA).

3.4.2 Temperatura ambiental

Se registró a intervalos horarios en cada tratamiento a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo), mediante un termohigrómetro USB registrador de datos (Elitech Technology, Milpitas, CA, EUA).

3.4.3 Horas y días grado desarrollo

Los valores de temperatura horaria se utilizaron para el cálculo de horas grado desarrollo según las ecuaciones siguientes;

$$GDH = F\frac{Tu-Tb}{2}\left(1 + COS\left(\pi + \pi * \frac{Th-Tb}{Tu-Tb}\right)\right) \qquad (1)$$

$$GDH = F(Tu-Tb)\left(1 + COS\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} * \frac{Th-Tu}{Tc-Tu}\right)\right) \quad (2)$$

Donde Th representa la temperatura horaria, Tb la temperatura base, Tu la temperatura optima, Tc la temperatura crítica y F es un factor de estrés considerado con un valor de 1. Los valores de Tb, Tu y Tc se establecieron en 4, 25 y 36 °C. La ecuación 1 se utilizó para las temperaturas horarias entre Tb y Tu, la ecuación 2 se utilizó para las temperaturas horarias entre Tu y Tc como indica Anderson *et al.,* (1986). Los días grado desarrollo se calcularon utilizando las temperaturas máximas y mínimas diarias mediante el método de seno simple propuesto por la Universidad de Davis, California, EUA.

3.4.4 Radiación fotosintéticamente activa

Se determinaron valores mensuales a medio día mediante un ceptómetro (AccuPar Modelo LP-80; Decagon Devices, Pullman, WA, EUA), los valores al exterior se compararon con los reportados por la estación climática 'Quintas Lupitas' y con ellos se estimó la radiación horaria diaria mensual para ambas condiciones y estratos según el porcentaje de sombreo de la película plástica y el valor reportado por la estación, al final se reporta el valor máximo del promedio mensual (Mavi *et al.,* 2005). Considerando;

$$Radiación\ solar = \frac{W}{m^2} \longrightarrow PAR \longrightarrow \frac{\mu mol}{m^2 * s}$$

$$1\frac{W}{m^2} \longrightarrow 2.02\frac{\mu mol}{m^2 * s}$$

3.5 Eventos biológicos

3.5.1 Emergencia de cañas, crecimiento vegetativo y floración

En cada tratamiento se registró la emergencia de brotes y el crecimiento vegetativo en 2 flujos de cañas (abril y mayo), utilizando 20 cañas dentro de cada tratamiento y flujo de cañas. Para ello se marcaron 20 cañas y se monitoreo el crecimiento semanalmente durante la estación de crecimiento. Considerando una caña como repetición.

3.5.2 Floración y periodo de producción

En cada uno de los flujos de cañas se determinó el inicio y fin de floración y de cosecha, al observar la primera y última inflorescencia, así como la primer y última cosecha, calculando las horas grado desarrollo requeridas y acumuladas para cada evento.

3.6 Variables de rendimiento

3.6.1 Número de frutos parciales y acumulados

El número de frutos parciales representa la cantidad de frutos en cada cosecha a lo largo del ciclo realizadas en cada una de las cañas muestreadas por flujo, así como su estimación por metro lineal derivado del rendimiento por metro. El número de frutos acumulados representa la suma del número de frutos por cosecha parcial

3.6.2 Rendimiento parcial y acumulado

El rendimiento parcial representa cada una de las cosechas a lo largo del ciclo realizadas en cada una de las cañas muestreadas por flujo (20 repeticiones), así como su estimación por metro lineal derivado del número de cañas productivas por metro al final en la temporada, al contabilizar el número de cañas por metro en 5 puntos dentro de la hilera. El rendimiento acumulado es la suma de las cosechas parciales.

3.6.3 Peso medio del fruto

Para estimar el peso medio del fruto se dividió el rendimiento parcial por metro entre su número de frutos cosechados.

3.7 Componentes morfológicos y de rendimiento

En cada uno de los flujos de cañas analizados, se contó el número de frutos por caña, además al final del ciclo se determinó el número de nudos totales, nudos con inflorescencias, el número de hojas por caña, el área foliar, mediante un integrador de área foliar (LI-COR 3000C Lincoln, Nebraska, EUA), el diámetro basal al final de la caña y la longitud total tras remover las cañas mediante una poda al ras de suelo al final del ciclo.

3.8 Calidad de fruto

Para los análisis de calidad de fruto, se consideró una cosecha mensual, para ello el rendimiento total por tratamiento se dividió en 4 subgrupos de fruta (repeticiones) la cual fue cosechada en madurez comercial al mostrar una coloración roja intensa de manera uniforme.

3.8.1 Color

El color se cuantificó mediante un colorímetro (Konica Minolta CM-600D, Japón), el cual registró los valores L*, *a** y *b**. Lo anterior se determinó en dos puntos sobre el eje ecuatorial de cada fruto, en cuatro repeticiones de 10 diez frutos cada una. Los valores se presentan en ° Hue, el cual fue calculado mediante h= arctan (b*/a*).

3.8.2 Firmeza

La firmeza del fruto se determinó mediante un texturómetro (Texture Analizer CT3 Brookfield Engineering Laboratories, MA, EUA), con un punzón de punta plana de 2 mm, el cual comprimió el fruto 2 mm a una velocidad de 0,5 mm s^{-1}, registrando la fuerza máxima necesaria para deformar el fruto. Los resultados se expresaron en g de fuerza.

3.8.3 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles (% Brix) se determinaron con el jugo procedente de la maceración de 10 frutos por repetición mediante un refractómetro (ATAGO DR-A1, Japón).

3.8.4 Acidez titulable

Del jugo procedente de la maceración de 10 frutos por repetición, se tomó 1 ml de jugo de la fruta el cual se diluyó en 9 ml de agua destilada. Posteriormente, se agregaron 2 gotas de fenolftaleína como indicador y la titulación se realizó con hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N hasta observar el cambio de coloración,

registrando el gasto en ml. El resultado se expresó en mg de ácido cítrico por cada 100 ml de jugo, mediante la siguiente ecuación:

$$\%\ de\ acidez = \frac{Volumen\ NaOH * 0.1N * 0.064}{Volumen\ de\ muestra} * 100$$

3.9 Fitoquímicos

3.9.1 Obtención de los extractos

Para la obtención de los extractos requeridos para la determinación de antocianinas individuales y fenoles, se utilizaron las muestras de fruta mensuales (4 sub-muestras). Los frutos de cada submuestra se homogenizaron mediante un procesador de alimentos hasta formar un puré. Posteriormente se pesaron 3 g de puré por repetición en tubos de propileno Beckman y se homogenizaron en un Ultra Turrax (IKA T18 Basic Ultra Turrax, Wilmington, EUA) con 20 mL de acetona al 70 %, conteniendo un 0.1 % de ácido trifluroacético. El tejido adherido al generador del homogenizado se recuperó con 20 mL de acetona al 70 % acidificada. El resto del puré se identificó y almaceno a -20 °C.

Las muestras resultantes se sonicaron durante 5 minutos en un sonicador (BRANSON 1510) y luego se filtró a través de papel filtro. Se utilizaron 40 mL de acetona al 70 % acidificada para completar la extracción de compuestos fenólicos.

Finalizado el filtrado, se recuperó la muestra y se colocó en un matraz bola previo a ser concentrado a presión reducida en un rotoevaporador (Labconco Rotary evaporator) a una temperatura de 40°C. El extracto evaporado se recuperó y aforó a 50 mL con agua desionizada acidificada (0.1 % de ácido trifluroacético).

Finalmente, la muestra se filtró a través de una membrana de polietileno con un tamaño de poro de 0.20 µm (Millipore Corp. Millipore Corp. Massachusetts, EUA) colocando 2 mL de extracto en viales sellados con parafilm, identificados y almacenadas en el ultracongelador a -20 °C hasta su posterior análisis.

3.9.2 Fenoles individuales

Del extracto descrito anteriormente se inyectaron 20 µL de muestra en un sistema de cromatografía líquida de alta resolución (CLAR) Agilent Serie 1200 (Agilent; California, EUA), equipado por un desgasificador al vacío (G1322A), una bomba cuaternaria (G1311A) y un detector UV-Vis con arreglo de diodos (G1315D). La separación de compuestos fenólicos se realizó en una columna Zorbax Eclipse XBD-C18 (5.0 µm, 4.6 x 150mm: Agilent, (EUA) a 30 °C. La fase móvil estuvo compuesta por ácido acético al 2 % (solvente A) y acetonitrilo (solvente B), de acuerdo al gradiente siguiente: 100 de A al min 0, 93 % de A al min 12, 89 % de A al min 20, 86 % de A al min 35, 84 % de A al min 36, 82 % de A al min 41, 76 %, de A al min 48,70 % de A al min 54, 65 % de A al min 59, 50 % de A al min 65, 15 % de A al min 70, 15 % de A al min 75, 5 % de A al min 80, 5 % de A al min 90 y 100 % de A al min 95. El flujo de la fase móvil fue 1 mL/min. Los picos observados en las muestras fueron identificados considerando sus espectros y tiempos de retención y se determinó su concentración mediante curvas de calibración con estándares de alta pureza de cada compuesto.

3.9.3 Azúcares y ácidos orgánicos individuales

Para la obtención de los extractos se utilizó el puré de cada muestra, del cual se tomaron 2 g en tubos de propileno Beckman y se homogenizaron en un Ultra Turrax (IKA T18 Basic Ultra Turrax, Wilmington, EUA) con 20 mL de agua desionizada. El tejido adherido al generador se recuperó con 20 mL de agua desionizada.

La muestra resultante se sonicó durante 2 minutos en un sonicador (BRANSON 1510) y luego se sometió a centrifugación a 20,000 *xg* durante 10 minutos a 5 °C. El sobrenadante se recuperó y se filtró a través de una membrana de polietileno con un tamaño de poro de 0.20 µm (Millipore Corp. Millipore Corp. Massachusetts, EUA),

colocando 2 mL de extracto en viales, los cuales se sellaron con parafilm y se almacenaron en un ultracongelador a -20 °C, hasta su posterior análisis.

Para el análisis de azúcares, se inyectaron 20 µL del extracto en un sistema de HPLC (Varian Inc., Walnut Creek, CA, EE. UU.), compuesto por una bomba ternaria (Sistema de suministro de solvente Modelo 9012), un detector UV / Vis (Modelo 9050) y un detector de índice de refracción (Modelo Star 9040). La fase móvil (sistema isocrático) fue agua a un flujo de 1 mL / min. La separación de azúcares se realizó en una columna SUGAR SC (8.0 × 300 mm, 6 µm) (SHODEX, Japón) a 70 °C. La columna estuvo dotada de una pre-columna SUGAR SC-LG (6.0 × 50 mm, 10 µm) (SHODEX, Japón). Se utilizaron estándares para la identificación y cuantificación de los azúcares.

Para el análisis de ácidos orgánicos, se inyectaron 20 µl del extracto en el sistema cromatográfico descrito anteriormente, pero ahora conectado a un detector UV-Vis. La separación de los ácidos orgánicos se realizó en una columna Aminex HPX-87H (7.78 × 300 mm), dotada de una pre-columna Bio-Rad (4.6 × 30 mm). La separación se efectuó a 60 °C empleando H_2SO_4 5 mM y acetonitrilo como fase móvil (90:10, %, v/v) a un flujo de 0.4 mL/min. Los ácidos orgánicos se monitorearon a 210 y 260 nm**.** Se utilizaron estándares para la identificación y cuantificación de los ácidos.

3.10 Análisis estadístico

En el presente trabajo se evaluaron dos tipos de producción de frambuesa: bajo túnel y campo abierto. En cada una de las dos condiciones se obtuvo diferente número de repeticiones de acuerdo con la variable por analizar. La información generada se analizó con el paquete estadístico SAS versión 3.6, la prueba “t de Student” y la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) como prueba de medias. Para modelar la dinámica de emergencia, crecimiento de cañas y la producción de frutos acumulados, así como el rendimiento por m^{-1} se utilizó el modelo Weibull citado por Pennypacker *et al.,* (1980) en su versión integrada (Ramírez-Legarreta *et al.,* 2008);

$$y = 1 - e\left[\left(\frac{t}{b}\right)c\right]$$

donde *y* es la proporción de la emergencia, crecimiento, frutos acumulados o rendimiento; *b* es un estimador de los rangos anteriores en su forma inversa (1/b), *c* es un parámetro de función de forma de la curva con ausencia de unidades, y *t* es la medida del tiempo en este caso en días julianos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables agronómicas

4.1.1 Humedad relativa

La humedad relativa máxima presentó valores ligeramente superiores bajo el túnel, mientras que la humedad relativa mínima fue ligeramente superior al exterior (Figura 5). Algunos trabajos no han observado grandes diferencias en la humedad relativa entre cultivo bajo túnel y al exterior (Zhao *et al.,* 2009), aunque quizá esto dependa de las características del túnel entre otros factores.

En general, la humedad relativa máxima promedio fue de 55 % al exterior y del 58 % bajo el túnel, mientras que la humedad relativa mínima promedio osciló entre el 14 y 10 % respectivamente (Figura 5). Estos resultados concuerdan con Retamal-Salgado *et al.,* (2015) quienes encontraron que la humedad relativa mínima fue más baja dentro del túnel en cultivo de arándano utilizando un túnel con dimensiones similares a las de este trabajo. Por otro lado, es posible que la humedad relativa a intervalos horarios sea ligeramente superior bajo la condición protegida hasta el momento que se alcanza la humedad relativa mínima del día. A pesar de lo anterior, también se enfatiza en la necesidad de incrementar los niveles de humedad relativa, especialmente en sincronía con las horas de mayor temperatura, así como monitorear y controlar los niveles de abatimiento de humedad en el suelo para asegurar una óptima disponibilidad de agua. A sí mismo, en este punto de monitoreo de humedad de suelo se debe dar seguimiento a los niveles de nutrientes en la solución del suelo, así como el pH y conductividad eléctrica.

La humedad relativa mínima se produce en las horas de mayor insolación (11-15 horas), es decir; muestra un comportamiento opuesto a la temperatura, por lo que esta humedad relativa baja a pesar de la reducción en los niveles de luz (Figura 7), y en combinación con la alta temperatura dentro del túnel pueden provocar una alta transpiración y demanda de agua durante este periodo. Mientras no exista un déficit o abatimiento de humedad en el suelo esto se puede considerar favorable hasta

cierto punto, pues a través de transpiración se promueve que la planta absorba nutrientes de la solución del suelo favoreciendo su crecimiento.

Este efecto se denomina déficit de presión de vapor (DPV) y está en función de la humedad relativa y de la temperatura; sin embargo, cuando la humedad relativa disminuye fuera de ciertos rangos, los valores de DPV aumentan pudiendo ocasionar un incremento en los niveles de ácido abscísico (ABA) regulados por una rápida expresión génica, generándose un cierre estomático como una respuesta a una deshidratación (McAdam *et al.,* 2016; Xie *et al.,* 2006). Este efecto conduce a una reducción en la fotosíntesis y absorción de nutrientes y a un incremento en la fotoinhibición. Lo anterior se debe a que tras el cierre estomático se limita el ingreso de CO_2, debido a la sincronización existente entre la pérdida de vapor de agua e ingreso de CO_2 a la hoja.

Bajo condiciones exteriores la humedad relativa es demasiado baja, característica propia de zonas áridas y semi áridas, por lo que se pueden alcanzar valores de DPV relativamente altos durante gran parte del año, hasta comienzos de la época de precipitación. Esta condición puede afectar el equilibrio hídrico en diferentes momentos de la fenología de la planta, lo que da como resultado una disminución de la tasa fotosintética (Sinclair *et al.,* 2017) y a largo plazo, posiblemente puede generar un impacto negativo en la productividad ya que los componentes morfológicos clave de rendimiento pueden verse comprometidos. Se podría suponer que al exterior hay periodos durante el día donde la fotosíntesis es baja además de lapsos con fotoinhibición, aspecto que podría minimizarse en condiciones protegidas. Zaar *et al.,* (2016) encontraron una disminución en la tasa de fotosíntesis a partir de mediodía con recuperación hacia la tarde en frambuesa ‘Erika’, lo que respaldan la idea que al exterior se produce una combinación de factores que afectan la tasa fotosintética, alta radiación solar, temperaturas moderadas, baja humedad relativa y niveles de CO_2 bajos (300-400 ppm).

En términos generales la humedad relativa debe manejarse para obtener niveles de DPV entre 0.4 a 1.6 kPa para mantener los estomas abiertos y suficientes niveles de traspiración que permitan un flujo continuo de nutrientes de la solución del suelo

hacia los puntos de crecimiento y una suficiente captura de CO_2, minimizando los periodos de baja fotosíntesis. Por lo tanto, el concepto de humedad relativa bajo una condición protegida o semi protegida es mucho más fácil de manejar en relación con los cultivos al exterior lo que traería múltiples beneficios. Es posible que los niveles de humedad relativa bajo el túnel, en combinación con la disminución de radiación solar e incremento de la temperatura, favorezcan la conductancia estomática y quizá la anatomía y organización de los estomas en comparación con las plantas del exterior principalmente en la parte inicial del ciclo, aspecto que deberá analizarse con la toma de información en conceptos fisiológicos de la planta.

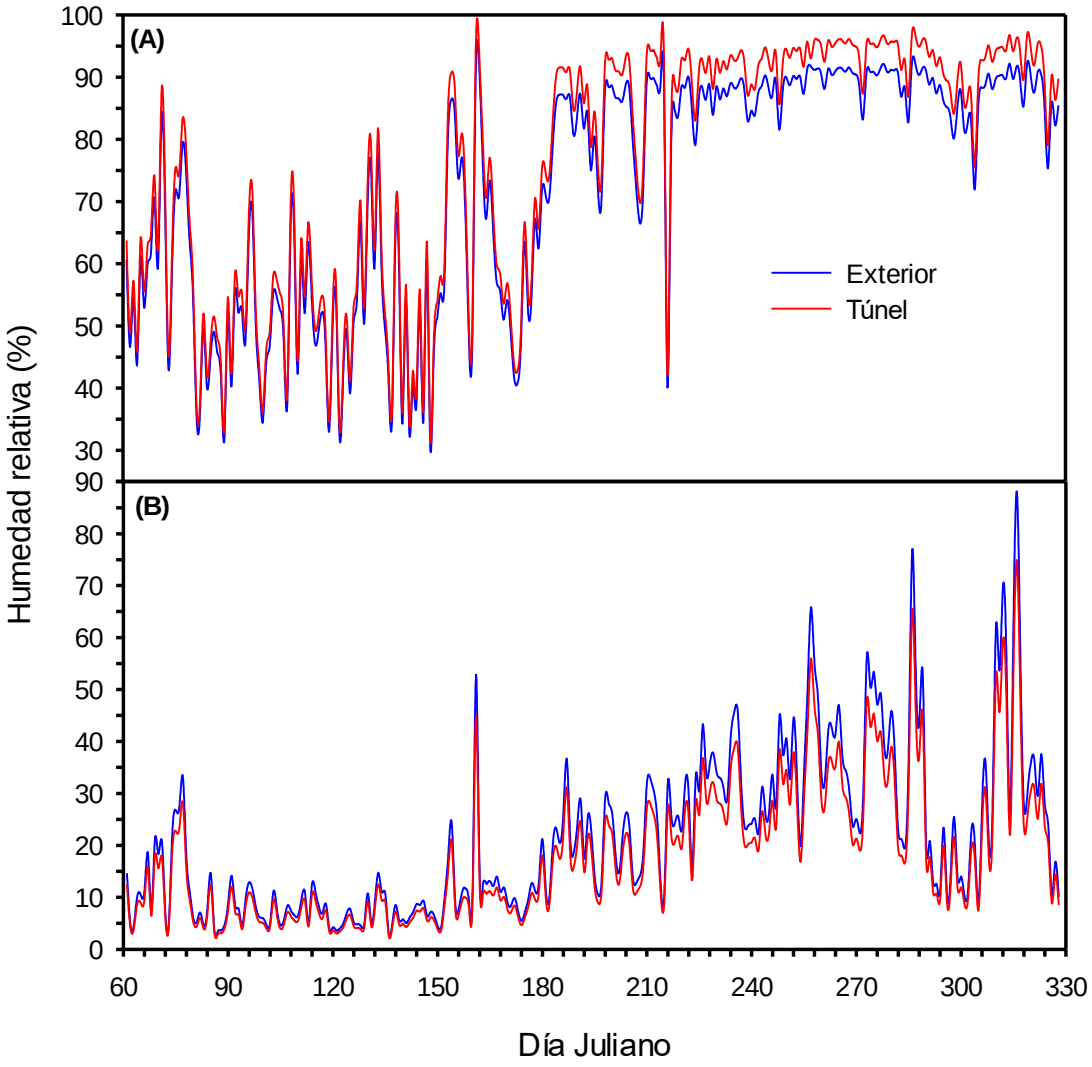


Figura 5. Humedad relativa bajo dos condiciones de manejo en frambuesa 'Heritage'. (A) HR Máxima, (B) HR Mínima.

4.1.2 Temperatura ambiental

En la Figura 6 y Cuadro 6 se presentan las temperaturas y oscilación térmica mensuales registradas durante el ciclo 2019 para ambos tratamientos.

La temperatura promedio presentó valores muy similares que fue desde 11.7 a 22.6 °C para túnel y de 11.3 a 21.9 °C al exterior, esto a pesar del incremento en la temperatura máxima la cual fue de 25.3 a 33.9 °C bajo el túnel a diferencia del exterior donde fue de 20.2 a 30.3, es decir un incremento de 3.6 a 5.1 °C. Bajo el túnel las temperaturas mínimas se redujeron ligeramente, oscilando entre 1.5 y 13.2 °C, mientras que al exterior variaron de 2.5 a 13.4 °C, es decir; se presentó un ligero efecto de inversión térmica al interior del túnel. El periodo con las temperaturas máximas más altas ocurrió durante los meses de junio a agosto para túnel y exterior, épocas con mayor insolación.

Algunas estructuras de agricultura protegida no cuentan con la capacidad de retener el calor acumulado durante el día para amortiguar las bajas temperaturas nocturnas, esto origina un fenómeno de inversión térmica el cual se ha reportado ocurre con mayor frecuencia cuando las noches son despejadas (Mesmoudi *et al.,* 2012) y según Montero *et al.,* (2013) esto se debe a que bajo la cubierta plástica se pierde mayor radiación infrarroja que la que se recibe de la atmósfera, agudizándose cuando el aire que se enfría lentamente en el interior se estanca e inmoviliza debido a poca ventilación en noches sin presencia de vientos sobre todo si se cierran las paredes laterales por la tarde. Espinal-Montes *et al.,* (2015) recomiendan que cuando la temperatura mínima al exterior se pronostique cercana a 0 °C y no se cuente con sistemas de calor suplementario o ventilación, es conveniente mantener abiertas las paredes laterales para evitar que la temperatura mínima al interior sea más fría que al exterior.

También se ha propuesto utilizar películas plásticas capaces de bloquear una parte de la radiación infrarroja, así como colocar cubiertas adicionales a base de polipropileno para minimizar el efecto de las bajas temperaturas (Both *et al.,* 2007; Wien *et al.,* 2009). También se puede usar una doble cubierta plástica con este fin.

Sin embargo, en épocas del año cuando se presenten descensos marcados de temperatura por debajo de 0 °C, será necesario adicionar calor suplementario para minimizar el daño por heladas al interior.

El último evento en el cual la temperatura descendió por debajo de 0 °C, ocurrió el día juliano 84 y 113 para campo abierto y túnel respectivamente, siendo la temperatura mínima alcanzada al exterior y bajo túnel de - 0.5 °C y -2.3 °C respectivamente (Figura 6C). Al momento de la ocurrencia de este último descenso de temperatura las cañas bajo la condición de túnel promediaban una longitud de 8 cm, mientras que al exterior las cañas apenas eran visibles sobre la superficie del suelo (Figura 9). A pesar de la temperatura de -2.3 °C al interior, las cañas no mostraron daños exteriores visuales y continuaron su crecimiento vegetativo hasta alcanzar la etapa de floración.

Debido a que los cultivares de frambuesa primocaña se han adoptado principalmente en climas cálidos carentes de heladas (Pritts, 2008), existe poca información sobre la temperatura mínima que pueden tolerar en etapas iniciales de crecimiento vegetativo. Es posible que el porte de las cañas, el cual se encontraba cercano al suelo, la corta duración del descenso de temperatura y las condiciones en el agua interna y los solutos en los tejidos de la caña, favorecieran su tolerancia a esta baja temperatura. A pesar de que el túnel prolongó la ocurrencia de heladas respecto al exterior, la etapa fenológica de las cañas no condujo a daños visuales.

A partir del día juliano 121 y 122 se observó un incremento paulatino en la temperatura mínima para ambos ambientes, a partir de esta fecha la temperatura mínima superó los 0 °C (Figura 6C). En cultivares de frambuesa anual (primocaña) la inducción, diferenciación y floración ocurre en la punta de las cañas de la estación en curso y posteriormente avanza hacia los nudos inmediatos inferiores, hasta aproximadamente un 30 - 50 % del total de nudos de la caña (Parra-Quezada *et al.,* 2008). A diferencia de los cultivares de bianuales (floricaña), no requieren bajas temperaturas para promover la inducción floral; sin embargo, también se ha informado que temperaturas por debajo a 4 °C tienen un efecto positivo en cultivares primocaña de zarzamora y frambuesa, entre ellos el cultivar de frambuesa ‘Heritage’

(Lopez-Medina *et al.,* 1999; Takeda, 1993). Dichos informes indican que la acumulación de frío previo a la emergencia de cañas incide en la velocidad de emergencia y disminuye el tiempo requerido para iniciar la floración. Por otro lado, Contreras *et al.,* (2019a), observaron que las plantas de frambuesa primocaña 'Heritage' en etapas tempranas de crecimiento (4 hojas expandidas), son expuestas a temperaturas frías (2 °C), el tiempo para alcanzar la antesis disminuye, mientras que el número de laterales con inflorescencia, la tasa de crecimiento (altura) y el número de nudos aumenta. Dichos autores atribuyen este comportamiento a un efecto de vernalización. Entendido como un mecanismo de adaptación principalmente en condiciones de clima templado, es decir, que se requiere un estímulo de bajas temperaturas durante el periodo de crecimiento para favorecer el número de yemas florales (Chouard, 1960).

En *Arabidopsis thaliana* y algunos cereales se ha demostrado que el proceso de floración es regulado por mecanismos internos, como la edad de la planta y el nivel de giberelinas, mientras que algunos mecanismos externos comprenden la temperatura y el fotoperiodo, así como la oscilación térmica, lo que implica una amplia red de genes (Blázquez *et al.,* 2000). Horvath, (2009), indicó que en *Arabidopsis thaliana* la floración se induce mediante tratamientos con bajas temperaturas lo que ocasiona el silenciamiento del gen FLOWERING LOCUS (FLC), además se ha demostrado que en diferentes especies el tratamiento con bajas temperaturas reprime la expresión de genes específicos que inactivan o reducen la floración (Koskela *et al.,* 2017).

Por lo tanto, el grado de floración en cultivares anuales o primocañas estará en función de la interacción genotipo ambiente. Por ejemplo, en frambuesa 'Heritage' un cultivar primocaña ampliamente utilizado en diferentes regiones del mundo el grado de floración depende de las condiciones climáticas específicas de cada región.

Contreras *et al.,* (2019b), expusieron plantas de frambuesa variedad 'Heritage' en etapa de crecimiento a bajas temperaturas nocturnas durante 0,15 y 30 noches, demostrando que esta exposición incrementó el número de laterales fructíferas y,

por ende, el número de flores totales con potencial de convertirse en frutos cosechables. El incremento fue de entre 26 y 47 % (23 a 28 flores adicionales) cuando se expusieron durante 30 noches por periodos de 9 horas (270 horas de frío) y concluyeron que las bajas temperaturas nocturnas con oscilación térmica marcada entre el día y la noche podría propiciar la diferenciación de un mayor número de yemas y acortar el periodo vegetativo. También indicaron que el gen implicado en la floración (RiTFL1) se expresó en las plantas testigo, mientras que en las plantas tratadas con frío nocturno se reprimió, permitiendo una mayor floración.

En este trabajo, debido a la inversión térmica dentro del túnel, las temperaturas nocturnas fueron ligeramente más frías respecto al exterior (Figura 6C). De manera similar, el número de horas por debajo de 2 y 4 °C se incrementó bajo la condición del túnel durante el periodo de crecimiento vegetativo de las cañas, principalmente al comienzo del ciclo. En el Cuadro 7, se observa que la oscilación térmica fue superior prácticamente durante todo el ciclo bajo el túnel, aspecto que podría haber contribuido a una mayor cantidad de frutas (flores) y laterales de mayor longitud como se presenta en el Cuadro 14, coincidiendo por lo indicado por Contreras *et al.,* (2019b), aspecto que deberá analizarse en diferentes ciclos con temperaturas cambiantes.

Por otra parte, la primera helada registrada en la temporada ocurrió el día juliano 299, este evento ocasionó descensos de - 3.45 °C y - 4.4 °C bajo túnel y al exterior. Cabe mencionar que la noche del día juliano 298 se colocaron algunos mecheros dentro de la condición protegida y a pesar de que no se contrarrestaron los descensos de temperatura por debajo de 0 °C, el efecto de inversión térmica que se estuvo presentando durante la temporada se logró reducir ya que la temperatura mínima en esta condición fue de - 3.45 °C en relación a los - 4.4 °C que se presentaron al exterior, es decir se logró ofrecer una protección de 1 °C en relación al exterior. Temperaturas ≤ - 2 °C se consideran el umbral mínimo en algunos frutales templados a la cual los órganos florales sufren un daño irreversible. Takeda *et al.,* (2016) mencionan que los daños a los órganos florales en zarzamora, un

cultivo similar y perteneciente al mismo género que la frambuesa roja, son evidentes e irreversibles cuando la planta se expone a temperaturas de entre -2.5 y -3 °C por un lapso de una hora.

El descenso de temperatura registrado el día juliano 299 de - 4.4 °C en el exterior y - 3.45 °C al interior del túnel, ocasionó daños en frutos maduros e inmaduros, frutos en crecimiento, botones florales y flores abiertas en las plantas ubicadas al exterior, mostrando la clásica coloración negruzca causada por frío, dando por finalizado el periodo de cosecha en esta condición. Mientras que bajo la condición de túnel con la temperatura de - 3.45 °C, se detectaron daños en flores abiertas y botones próximas a abrir, pero no en frutos que se encontraban en crecimiento. Esto permitió que los frutos que no fueron dañados por esta primera helada se siguieran cosechando de manera más aislada dentro de la condición de túnel conforme alcanzaron su madurez hasta el día juliano 315, es decir, 16 días adicionales en relación con el exterior, pero con cosechas más aisladas que solo representaron el 5.8 % del rendimiento total (Figura 13). Esto indica que es necesario introducir fuentes de energía para calentar el túnel durante los lapsos de menor temperatura si se quiere extender la época de cosecha y analizar las ventajas o desventajas económicas de su implementación.

Por otro lado, la temperatura óptima para el cultivo de frambuesa se reporta entre los 16 a 24 °C, aunque algunos cultivares como 'Polka' se desempeñan de manera óptima a temperaturas de 30 °C (Sønsteby *et al.,* 2009b). Aunque la temperatura 'optima' estará en función de otros parámetros (concentración de CO_2, humedad relativa, radiación solar). La importancia de la temperatura radica en que los procesos metabólicos de la planta están modulados por los valores de este parámetro, en especial la fotosíntesis la cual es una reacción catalizada por varias enzimas altamente sensibles a la temperatura.

En relación con la temperatura y su influencia con la asimilación de CO_2 y la conductancia estomática, Stafne *et al.,* (2001) trabajando con frambuesa 'Heritage' indican niveles de asimilación de CO_2 de entre 6.1 a 3.79 µmol m^{-2} s^{-1} a una temperatura de 20 y 35 °C, es decir una reducción del 38 % debido a que la

conductancia estomática se reduce de 214 a 137 mmol m^{-2} s^{-1}, una reducción del 36 %, lo anterior indica un cierre parcial de estomas, aunque esto puede minimizarse si se manejan parámetros como el déficit de presión de vapor, radiación y concentración de CO_2.

Múltiples informes indican un incremento en el rendimiento por planta bajo condiciones de túneles plásticos, aspecto que podría deberse a un mejor espacio temporal en los procesos clave como transpiración y absorción de CO_2 al contar con mayor cantidad de horas con factores climáticos favorables en comparación con los cultivos al exterior. Kimura *et al.,* (2020), hacen hincapié en considerar la variabilidad espacio temporal de la fotosíntesis en relación con los factores climáticos y fisiológicos estrechamente implicados, especialmente en estructuras protegidas o semi protegidas, lo anterior con la finalidad de brindar un entorno a los cultivos en el cual expresen su máximo potencial, es decir algunos conceptos de clima deben ser cambiantes a lo largo del día según el nivel de otros factores implicados.

Mientras que algunos procesos como la floración y polinización son sensibles a las altas temperaturas, por lo que deberán regularse las temperaturas extremas en este periodo de tiempo para evitar este tipo de detalles, lo que pudiera dar origen a frutos deformes o dobles, por otro lado es posible que las temperaturas alcanzadas dentro del túnel (hasta 5 °C más alta que al exterior) no representen inconveniente siempre y cuando sea posible regular la humedad relativa y evitar abatimientos de humedad en el suelo, en casos extremos se deberá regular la temperatura mediante ventilación o bien malla sombra considerando datos fisiológicos tomados en la propia planta.

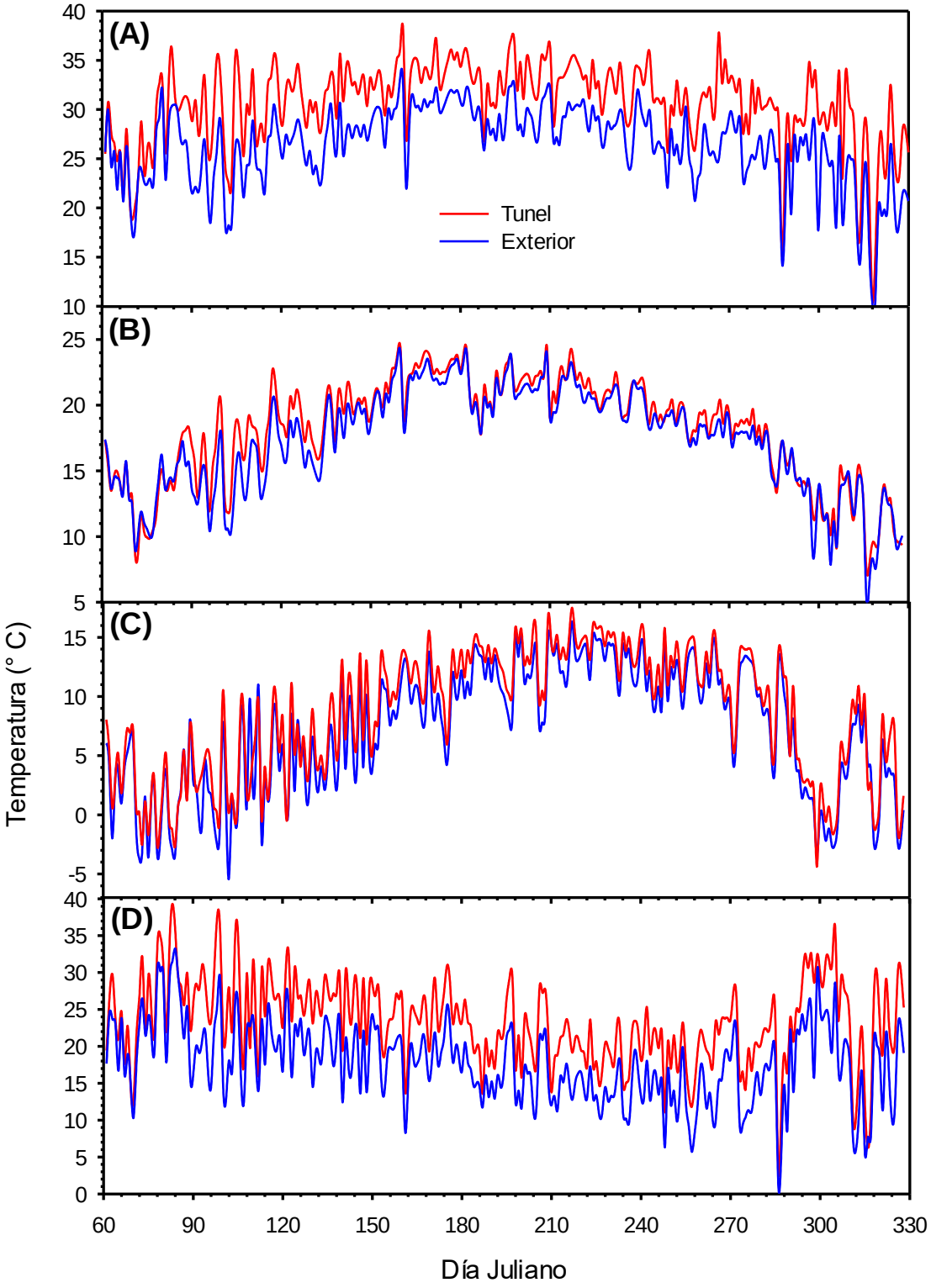


Figura 6. Temperaturas y oscilación térmica, (A) máxima, (B) media, (C) mínima y (D) oscilación térmica presentadas en el ciclo 2019.

Cuadro 6. Resumen de temperaturas mensuales por tratamiento.

	Temperatura máxima		Temperatura promedio		Temperatura mínima	
Mes	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior
Marzo	27.5 ± 0.7 cd	25.0 ± 0.6 de	13.7 ± 0.5 d	13.6 ± 0.4 d	1.5 ± 0.6 d	2.5 ± 0.6 d
Abril	29.8 ± 0.7 c	24.2 ± 0.6 e	16.9 ± 0.5 cd	14.8 ± 0.5 d	2.8 ± 0.7 d	4.2 ± 0.6 cd
Mayo	31.9 ± 0.3 abc	27.0 ± 0.3 d	19.3 ± 0.2 bc	17.9 ± 0.3 c	5.2 ± 0.5 cd	6.9 ± 0.6 c
Junio	33.9 ± 0.4 a	30.3 ± 0.3 bc	22.6 ± 0.2 a	21.9 ± 0.2 ab	9.6 ± 0.3 bc	11.5 ± 0.3 b
Julio	33.0 ± 0.4 ab	29.1 ± 0.3 cd	21.5 ± 0.2 ab	21.0 ± 0.2 ab	12.0 ± 0.4 ab	13.4 ± 0.3 ab
Agosto	33.0 ± 0.3 ab	28.8 ± 0.3 cd	21.3 ± 0.2 ab	20.8 ± 0.2 b	13.2 ± 0.2 ab	14.5 ± 0.2 a
Septiembre	30.9 ± 0.4 bc	26.1 ± 0.4 de	19.0 ± 0.1 bc	18.4 ± 0.1 c	11.0 ± 0.4 b	12.0 ± 0.4 ab
Octubre	29.2 ± 0.6 cd	24.5 ± 0.6 de	15.3 ± 0.4 d	14.8 ± 0.5 d	5.8 ± 0.9 cd	7.0 ± 0.9 c
Noviembre	25.3 ± 1.1 de	20.2 ± 0.9 f	11.7 ± 0.5 e	11.3 ± 0.5 e	3.0 ± 0.7 d	4.5 ± 0.8 cd
Probabilidad						
Fuente de variación						
Condición (A)[x]	< 0.0001		0.003		0.0001	
Mes (B)	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	
A x B[y]	0.0138		0.0849		0.9992	
C.V %[z]	9.2	11.8	20.9	21.6	61.5	52.0

[x] Representa la condición de manejo del cultivo (túnel o exterior). [y] Representa la interacción de la temperatura entre condición y mes. [z] Representa el coeficiente de variación. Valores representan la media de la temperatura diaria mensual ± el error estándar. Letras diferentes entre temperaturas indican diferencias significativas (Prueba de Tukey 95 %, $p \leq 0.05$).

4.1.3 Horas y días grado desarrollo

El concepto de unidades calor o tiempo térmico se ha empleado como valor de referencia en la descripción de la fenología y desarrollo de los cultivos. Lo anterior se debe a que los eventos biológicos de los organismos presentan relación con la temperatura. Las plantas requieren acumular calor para pasar de una etapa fenológica a otra (Elnesr *et al.,* 2013).

En resumen, los conceptos de días y horas grado desarrollo, (GDD y GDH) por sus siglas en inglés, tienen la función de calcular la energía térmica recibida por el cultivo durante un periodo de tiempo de desarrollo y crecimiento (McMaster *et al.,* 1997).

En la mayoría de los informes donde se emplean estructuras como túneles de polietileno para inducir precocidad al inicio o bien extender la temporada de fructificación, se indica que esto se logra debido a que dichas estructuras retienen

el calor y aumentan la temperatura al interior, lo que permite que la brotación inicie más temprano y por ende todas las etapas fenológicas se adelanten en relación con el exterior. Por ejemplo Li *et al.,* (2019), informan que la acumulación de días grado desarrollo en el cultivo de arándano siempre fue más alto en la condición protegida en relación al exterior, debido a que el procedimiento de cálculo solo emplea la temperatura media mensual, y como se ha informado antes, los túneles de polietileno incrementan las temperaturas del interior en relación al exterior. Al calcular los días grado desarrollo mediante el método de seno simple horizontal, se obtiene la misma tendencia que reportan en dicho informe (Cuadro 7), sin embargo, al realizar el cálculo de calor mediante el método de horas grado desarrollo propuesto por Anderson *et al.,* (1986), la tendencia es contraria, debido a que este procedimiento contempla además de la temperatura base, un umbral máximo y temperatura óptima. Con esta metodología el calor efectivo es menor en cada mes del ciclo (Cuadro 7) debido a que bajo la condición protegida se presentaron lapsos en los que la temperatura supera tanto la temperatura óptima, como el umbral máximo (Figura 6A), de igual manera en la Figura 6D se observa que el recorrido diario entre la temperatura mínima y máxima diaria, el cual es superior bajo el túnel debido al incremento en las temperaturas del interior, similar a lo reportado en informes anteriores en el cultivo de arándano (Li *et al.,* 2019).

Debido a que se ha propuesto que el cálculo de calor efectivo es más preciso mediante GDH en comparación a GDD, en informes anteriores de diversos cultivos bajo túneles de polietileno, el calor efectivo probablemente sea ligeramente superior o incluso menor bajo túneles de polietileno en relación con el exterior, dependiendo del cultivo, ubicación geográfica época del año y capacidad de regulación de temperaturas. Sin embargo, a pesar del menor calor efectivo bajo la condición de túnel, las plantas de la condición protegida fueron más precoces, comenzando la brotación y crecimiento más temprano. Además, el tamaño de caña y otras variables morfológicas fueron superiores en relación con las plantas del exterior. Dichos eventos se presentaron bajo la condición de túnel cuando en términos de calor efectivo existió una menor acumulación en relación con el exterior. Los resultados de GDH indican que bajo el túnel se presentó una reducción del 31.1 % respecto al

exterior, contrario con los días grado desarrollo los cuales fueron 9.6 % superiores al interior del túnel respecto al exterior en el mismo periodo de tiempo (Cuadro 7). Es posible que la cantidad de calor recibido tenga una baja relación con el estado de la planta, además este concepto únicamente se basa en la temperatura sin considerar la variación en el tiempo de otros conceptos climáticos importantes.

Cuadro 7. Calor efectivo acumulado y oscilación térmica mensual por tratamiento

	Horas grado desarrollo		Días grado desarrollo		Oscilación térmica	
Mes	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior
Marzo	5817 ± 1.3 de	6330 ± 1.4 d	331.7± 0.3 de	304.9 ± 0.3 d	26.0 ± 1.1 a	22.6 ± 1.0 b
Abril	6714 ± 1.3 cd	7474 ± 1.3 cd	381.0 ± 0.4 de	313.2 ± 0.4 d	27.0 ± 0.97 a	22.6 ± 0.7 b
Mayo	6974 ± 1.2 cd	9288 ± 1.2 b	452.3 ± 0.3 cd	403.4 ± 0.3 de	26.7 ± 0.55 a	20.2 ± 0.6 b
Junio	7351 ± 1.2 cd	9384 ± 0.9 ab	533.3 ± 0.2 b	506.7 ± 0.2 b	24.3 ± 0.63 ab	20.0 ± 0.6 b
Julio	8726 ± 1.0 bc	10,689 ± 0.8 a	573.2 ± 0.2 ab	534.2 ± 0.1 b	21.1 ± 0.76 b	18.7 ± 0.6 bc
Agosto	8809 ± 1.0 bc	10,967 ± 0.7 a	591.7 ± 0.1 a	546.2 ± 0.1 ab	19.8 ± 0.51 b	15.6 ± 0.4 c
Septiembre	8486 ± 1.0 bc	10,249 ± 0.9 a	508.2 ± 0.3 b	452.0 ± 0.1 cd	20.0 ± 0.73 b	14.3 ± 0.7 c
Octubre	6680 ± 1.2 cd	7955 ± 1.2 c	427.8 ± 0.4 de	370.1 ± 0.1 de	23.4 ± 1.2 ab	13.8 ± 1.1 c
Noviembre	3785 ± 1.4 e	4024 ± 1.3 de	252.7 ± 0.5 d	206.8 ± 0.5 d	22.3 ± 1.5 b	18.1 ± 1.2 bc
Totales	52,583 b	76,360 a	4,024 a	3,637.5 b	210.6 a	165.9 b
Probabilidad						
Fuente de variación						
Condición (A)[x]	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	
Mes (B)	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	
A x B[y]	0.0003		0.388		0.663	
C.V %[z]	25.7	26.2	23.4	26.8	24.2	30.0

[x] Representa la condición de manejo del cultivo (túnel o exterior). [y] Representa la interacción entre la condición y mes. [z] Representa el coeficiente de variación. Valores representan la media de la temperatura diaria mensual ± el error estándar. Letras diferentes entre temperaturas indican diferencias significativas (Prueba de Tukey 95 %, $p \leq 0.05$).

4.1.4 Radiación fotosintéticamente activa

Los valores de radiación fotosintéticamente activa (PAR) se muestran en la Figura 7. Bajo la condición exterior, la radiación recibida en el estrato inferior inicialmente fue similar a la del estrato medio (mayo) y conforme se avanzó en la temporada los niveles recibidos fueron disminuyendo debido al crecimiento y competencia entre cañas y al incremento en la superficie foliar lo que originó mayor cantidad de sombreo dentro del dosel hasta mantenerse estables durante el periodo de agosto a octubre. A partir del mes de agosto los niveles de radiación en el estrato inferior fueron similares a los recibidos bajo la condición de túnel en el mismo estrato. Los niveles recibidos al exterior pasaron de los 1929 µmol m^{-2} s^{-1} en mayo a los 180 µmol m^{-2} s^{-1} en el mes de octubre, lo que significa un 90 % de reducción, mientras que bajo la condición de túnel los niveles pasaron de los 340 µmol m^{-2} s^{-1} a los 201 µmol m^{-2} s^{-1} en el mismo periodo de tiempo, lo que implica una reducción del 41 %, mucho menor a la registrada al exterior posiblemente a niveles de radiación difusa más constantes bajo la condición de túnel tal y como se ha reportado en investigaciones previas.

La radiación recibida en el estrato medio se comportó de manera similar con valores que oscilaron entre los 2037 y 551 µmol m^{-2} s^{-1} y de 611 a 360 µmol m^{-2} s^{-1} en el periodo de mayo a octubre, lo que equivale a reducciones del 73 y 41 % bajo las condiciones del exterior y bajo túnel, sin embargo, en este estrato se observaron diferencias significativas prácticamente durante todo el periodo de evaluación a excepción del mes de octubre.

La radiación en el estrato superior del dosel, la cual no está influenciada por ningún tipo de sombreo excepto el causado por la cubierta plástica, presentó diferencias significativas durante todo el periodo de evaluación entre las dos condiciones. Los valores máximos se observaron en el periodo mayo-junio bajo ambas condiciones, sin embargo, bajo la condición de túnel los niveles presentaron reducciones en los valores registrados a través del periodo de evaluación del 33 %, los cuales pasaron de los 793 a los 530 µmol m^{-2} s^{-1} a comparación del exterior donde pasaron de 2144 a los 1377 µmol m^{-2} s^{-1}, lo que representa una reducción del 35 % lo cual se debe a

la disminución en la radiación solar recibida en la región conforme se ingresa al periodo otoño-invierno. Sin embargo, a pesar de esta reducción entre los diferentes estratos del dosel entre ambas condiciones, los niveles de radiación en la parte superior bajo el túnel son suficientes para el proceso de fotosíntesis, mientras que al exterior los niveles son suficientemente altos como para causar efectos negativos en las plantas del exterior, otro dato a resaltar es que incluso a partir del periodo de octubre es posible obtener niveles de radiación suficientes para la producción de frambuesa bajo condiciones protegidas, siempre y cuando se realice una correcta elección de las propiedades de la cubierta plástica sin tener que incurrir en aportaciones adicionales de iluminación a excepción de largos periodos con condiciones nubladas. También es posible que la cantidad de luz en las horas extremas del día (mañana y tarde) limiten la fotosíntesis bajo el túnel durante ciertas épocas y condiciones del año. Además, la reducción en radiación se estima que también contribuya a reducir la temperatura foliar de las plantas al interior del túnel aspecto que deberá analizarse, esta posible reducción de temperatura foliar conduciría a una disminución del DPV lo que puede tener consecuencias favorables en la apertura estomática, ya que como se describió anteriormente los altos valores de DPV promueven el cierre de los estomas y disminución de las tasas de fotosíntesis.

Algunos informes indican que el punto de saturación esta entorno a los 500 a 750 µmol m^{-2} s^{-1} (Fernandez *et al.,* 1994; Landry, 2011), por lo que al exterior todo el periodo se presenta un exceso de luz en la parte superior del dosel, la cual según Sønsteby *et al.,* (2013), mientras reciba los niveles necesarios de luz, la planta desarrolla de manera adecuada, dichos autores cultivaron frambuesa bianual en altas densidades encontrando niveles de entre 300 a 800 µmol m^{-2} s^{-1} en la parte superior del dosel. Percival *et al.,* (1996), en 'Heritage' indica niveles de luz para la saturación > 600 µmol m^{-2} s^{-1}, aunque este estará influenciado por los niveles de radiación, temperatura ambiental entre otros factores. De igual forma Xu, (2016), indica una mayor incidencia de radiación al exterior con niveles de entre 1200 a 1600 µmol m^{-2} s^{-1} en el estrato superior del dosel, mientras que bajo el túnel los valores oscilaron entre 800 a 1200 µmol m^{-2} s^{-1}, en este caso los niveles de radiación

recibidos en la parte superior oscilaron durante todo el ciclo entre los 500 a 750 µmol m^{-2} s^{-1}. (Figura 7).

Otro dato que mencionar, es que la superficie de área foliar por caña bajo el túnel fue 1.35 veces superior respecto al exterior, lo que indica hojas más grandes y delgadas, esto se ha observado en varios cultivos bajo cubiertas y es una respuesta que permite a los cultivos contar con una mayor superficie para una mayor interceptación de luz (Gimenez *et al.,* 2002). Por otro lado Xu, (2016), indica que la fotosíntesis fue de entre 51 % mayor en dos cultivares de frambuesa anual bajo túnel y aunque la tasa fotosintética por hoja es menor, la tasa fotosintética aumenta en la caña debido a un incremento en el área foliar total, es decir la tasa fotosintética reducida se sobre compensa debido al incremento en área foliar total.

Medina *et al.,* (2002), indican una reducción de PAR hasta del 65 % (480 vs 1300 µmol m^{-2} s^{-1}) al sombrear los árboles de naranja 'Pera' bajo invernadero, con lo cual demostraron que el rendimiento fotosintético de naranjas cultivadas en invernadero se puede mejorar al reducir los niveles de PAR incidente y consecuentemente la temperatura de la hoja. Los efectos favorables de estas alteraciones del microclima en los cítricos mejoraron la apertura estomática adecuada para el intercambio de gases y redujeron la fotoinhibición.

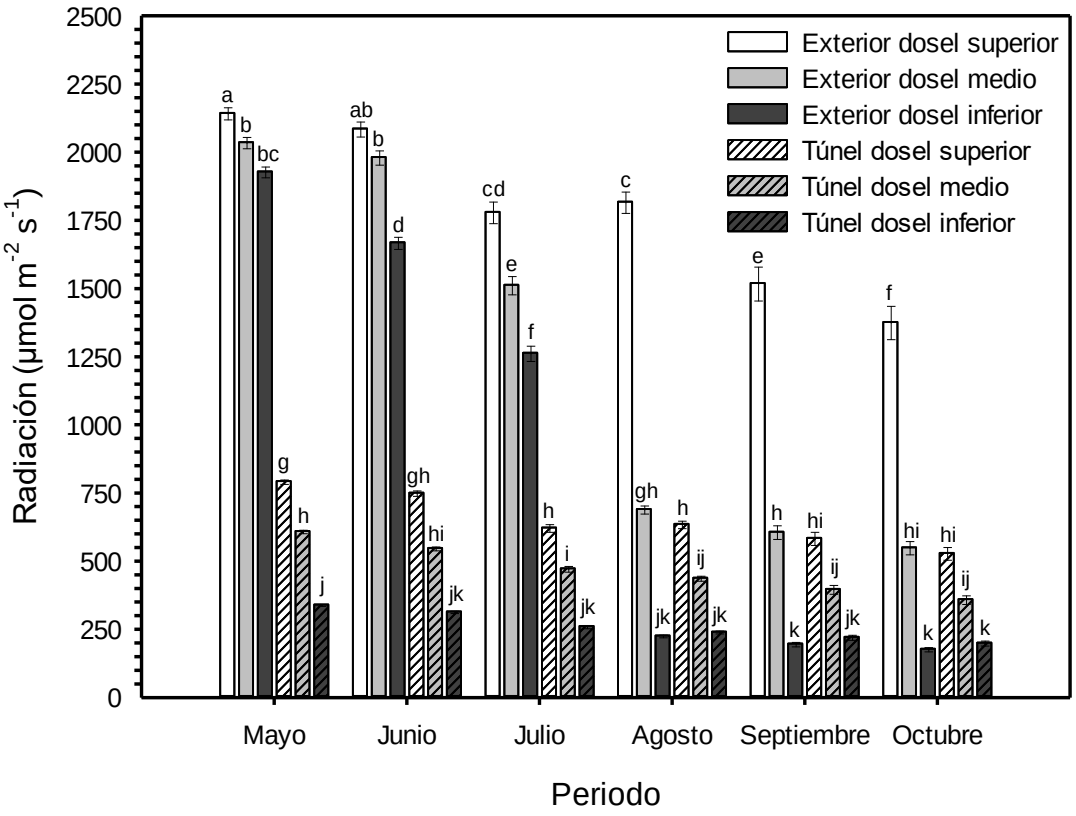


Figura 7. Niveles de radiación fotosintéticamente activa en 3 alturas sobre el dosel de frambuesa 'Heritage' en el ciclo 2019. Valores representan la media del valor más alto de radiación fotosintéticamente activa diario mensual ± el error estándar. Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas (Prueba de Tukey 95 %, $p \leq 0.05$).

4.2 Eventos biológicos

4.2.1 Emergencia de cañas, crecimiento vegetativo y floración

La tasa de emergencia de cañas ajustada al modelo 'Weibull' presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) según la condición de manejo, siendo mayor bajo el túnel respecto al exterior presentando valores de pendiente de 9.1E-03 y 8.72E-03 para túnel y campo abierto respectivamente (Figura 8) y coeficientes de variación menores al 7 % (Cuadro 8).

Un aspecto clave observado fue que la emergencia de las cañas comenzó más temprano en el ciclo bajo la condición de túnel, ya que el 5 % de la emergencia se obtuvo al día juliano 69, mientras que al exterior ocurrió al día juliano 83, un adelanto de 14 días, lo que representa una acumulación de calor efectivo expresado como horas grado desarrollo de 2,670 bajo el túnel contra 5,107 del exterior. Conforme se avanzó en el ciclo, la emergencia tiende a incrementarse alcanzando el 50 % en el día juliano 104 y 110, 6 días de diferencia con un calor acumulado de 8,440 y 10,960, mientras que el 95 % se alcanzó en los días 130 y 129, con una acumulación de calor de 15,810 y 16,830 bajo túnel y al exterior respectivamente. La precoz emergencia de cañas bajo el túnel posteriormente se vería reflejado en un adelanto en la tasa de crecimiento, floración y fructificación.

Esta etapa puede estar controlada por la temperatura del suelo, las reservas de carbohidratos y cantidad de yemas potenciales presentes en las raíces utilizadas en la plantación, partiendo de que se utilizó sistema radicular similar para el establecimiento del huerto, es posible que una menor oscilación térmica en el estrato de suelo (temperatura más estable), bajo el túnel propiciara el adelanto en la emergencia de cañas por lo que es necesario que este parámetro se siga evaluando en plantaciones donde el sistema radicular se encuentre previamente establecido debido a su carácter perenne (Sønsteby *et al.,* 2009a).

En plantaciones de 2 o más años se podría utilizar como estrategia la fecha de colocación del plástico en estructuras donde pueda ser removido tras el término del ciclo, lo anterior con la finalidad de manipular la fecha de emergencia de las nuevas cañas, buscando una emergencia más temprana respecto al exterior. En Guerrero, Chihuahua, la emergencia de cañas se observó a comienzos de mayo con el cultivar de frambuesa primocaña ‘Autumn Bliss’, es decir 30 días después de la plantación utilizando plántulas (Parra-Quezada *et al.,* 2008).

Considerando el periodo libre de heladas disponible en la región, lo más conveniente es adelantar la fecha de emergencia de cañas para comenzar con el periodo de fructificación más temprano y extenderlo hasta las primeras heladas en

el mes de octubre o incluso más allá con el uso de estructuras de agricultura protegida.

Otro aspecto relevante en la emergencia de cañas radica en que a lo largo del ciclo de producción el sistema radicular emite constantemente nuevas cañas (flujos) conforme se va estableciendo y expandiendo en el suelo, por lo que para maximizar el rendimiento por unidad de suelo y caña, se debe explorar la densidad correcta de cañas bajo cada condición y manejo agronómico específicos a cada región (Alvarado-Raya *et al.,* 2016). Este es otro concepto relevante ya que bajo el túnel la disminución de luz a partir del estrato medio y la mayor área foliar por caña puede conducir a una mayor competencia entre cañas, por lo que manejar correctamente los flujos a lo largo de un periodo más largo es un aspecto importante.

Bajo las condiciones de manejo especificas presentadas en este trabajo, el uso de túneles de polietileno adelantó la emergencia de cañas en una plantación nueva originada a partir de esquejes de raíz, esto permitiría comenzar más temprano la tasa de crecimiento de las primeras cañas respecto al exterior.

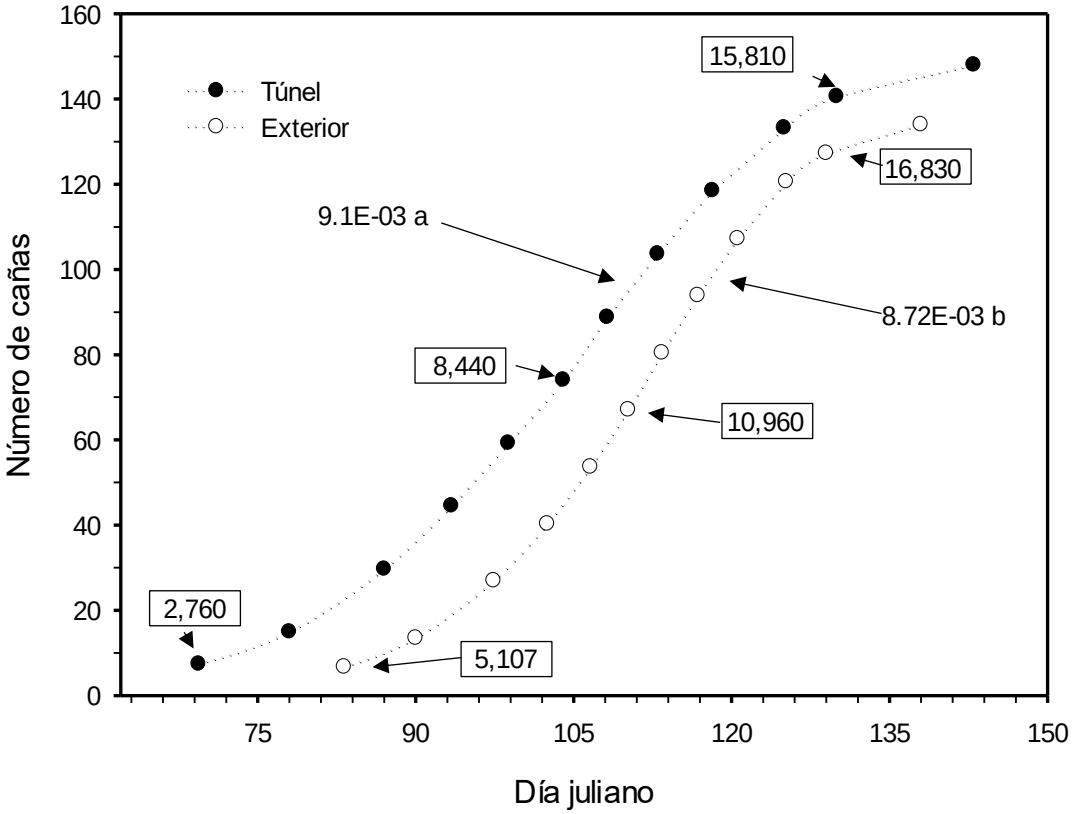


Figura 8.- Número de cañas de frambuesa 'Heritage' por tratamiento, ajustado con el modelo 'Weibull' bajo dos condiciones de manejo. Valores en ascenso dentro de recuadros indican las horas grado desarrollo acumuladas para la emergencia del 5,50 y 95 % de cañas. Trazos con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 8.Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para la emergencia de cañas de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo.

Condición	Modelo Weibull $Y = 1 - e^{[-(t/b)^c]}$	Indicadores del ajuste del modelo			
		Pendiente (1/b)	Pr > F	R^2 (%)	C.V (%)[x]
Túnel	$Y = 1 - e^{[-(t/109.9)^{6.44}]}$	9.1E-03 a	<0.0001	99.3	6.31
Exterior	$Y = 1 - e^{[-(t/114.6)^{9.31}]}$	8.72E-03 b	<0.0001	99.5	6.82

La emergencia de cañas se obtiene sustituyendo en la ecuación el valor de t que representa el día juliano a partir del inicio hasta el final de emergencia de cañas. [x] Representa el coeficiente de variación (%). Valores en columna pendiente con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.2.2 Crecimiento vegetativo de cañas

Se evaluaron dos flujos de crecimiento vegetativo de cañas, en el primer flujo la tasa del crecimiento vegetativo fue estadísticamente mayor en las plantas bajo túnel (Figura 9). Ya que el crecimiento inició a partir del día juliano 110 con una acumulación de 11,070 horas grado y finalizó en el día 197 a las 27,665 horas grado acumuladas. El crecimiento del primer flujo bajo el túnel requirió de 87 días y se acumularon 16,596 horas grado desarrollo. En contra parte, el crecimiento del primer flujo al exterior comenzó en el día juliano 121 con una acumulación de calor de 15,350 horas grado, es decir 11 días de después que bajo el túnel y finalizó al día juliano 217 con una acumulación de 40,060 horas grado, lo que indica un periodo de crecimiento de 96 días o 24,710 horas grado.

La tasa de crecimiento del segundo flujo bajo el túnel fue similar estadísticamente a la observada para el primer flujo del exterior ya que comenzó el día juliano 123 pero con una acumulación de 14,020 horas grado, finalizando al día juliano 217 con 32,825 horas grado, lo que indica un periodo de crecimiento de 94 días o 18,805 horas grado. Por otra parte, el segundo flujo al exterior comenzó su crecimiento hasta el día juliano 143 con 21,170 horas grado y terminó en el día 234 con una acumulación de 46,010 horas grado, lo que representa un periodo de crecimiento de 91 días o 24,840 horas grado (Cuadro 10). Obteniendo coeficientes de determinación superiores al 96 % y coeficientes de variación menores al 6 % (Cuadro 9).

Lo anterior indica que bajo el túnel las primeras cañas en emerger alcanzaron su longitud final antes que las del exterior, para posteriormente comenzar con la etapa de floración, lo que generó un inicio de cosecha más temprano en la temporada. En cuanto al periodo destinado al crecimiento, no hay mucha diferencia ya que osciló entre los 94 y 91 días, sin embargo, la acumulación de calor si presentó diferencias con una acumulación de 24,775 y 17,700 horas grado para el exterior y túnel respectivamente.

En el estado de Utah mediante la incorporación de túneles se observó un adelanto en el crecimiento de frambuesas primocañas 'Caroline' y 'Josephine' lo que condujo a una fructificación más temprana en relación al exterior, con fecha de cosecha el 30 de julio bajo el túnel en comparación del 25 de agosto al exterior (Black *et al.,* 2019).

Otra cosa que observar es que bajo el túnel es posible manejar una mayor cantidad de flujos, debido a que hay posibilidad de obtener flujos tempranos en la temporada, por lo que en función del periodo promedio requerido para el crecimiento más la cosecha, se debe establecer un manejo del número de flujos de cañas para destinar mayor tiempo del periodo libre de heladas a la producción de fruta, ajustando el manejo nutricional y fitosanitario. También se estima que los túneles de polietileno tendrían potencial para adelantar el periodo de producción al inicio de la temporada con mayor facilidad en lugar de extenderlo hacia al final del ciclo incurriendo en menores costos de energía, además los cultivares de primocaña tienen la ventaja de ofrecer una segunda cosecha el siguiente año si se realiza una poda a media caña tras la cosecha de la parte superior, lo anterior podría emplearse como estrategia para adelantar aún más la cosecha la próxima temporada y tener un periodo de fructificación más largo en función de la capacidad de operación (Pritts *et al.,* 2009). Otra opción es utilizar ambos tipos de cultivares (primocaña y floricaña) principalmente en cultivos en contenedores que permitan la movilidad de las macetas dentro y fuera del túnel.

Adicionalmente, la longitud final del primer flujo de cañas bajo ambas condiciones presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ya que mientras el primer flujo bajo el túnel alcanzó una longitud de 119 cm, al exterior solo fue de 100 cm, el segundo flujo bajo el túnel alcanzó la mayor longitud de los 4 flujos analizados con 156 cm y al exterior, el segundo flujo originado en el día juliano 143 fue el que alcanzó la longitud máxima bajo esta condición (125 cm) (Cuadro 10). Considerando el número total de nudos por caña, el cual presentó ligeras diferencias significativas (Cuadro 10) es posible que la longitud del entrenudo se haya visto afectada, incrementando en las cañas bajo la condición de túnel, lo que explicaría en mayor medida el

incremento en la longitud final, lo anterior ocasionado por la reducción de la radiación solar recibida bajo el túnel (Figura 7).

La longitud de la caña es un parámetro importante, Orhan *et al.,* (2006) indican que cañas de 118 cm en Erzurum, Turquía en frambuesa 'Heritage', facilitaron la recolección de fruta y promovieron la calidad de la misma, además, cañas con mayor número de nudos se relacionan con vigor y calidad de yemas para permitir una segunda cosecha el próximo ciclo.

Durante el periodo de crecimiento vegetativo la temperatura media fue similar bajo ambas condiciones de entre los 20.4 a 20.9 °C, la temperatura mínima debido a la inversión térmica registrada bajo el túnel, ocasionó que durante este periodo fuera de 8.6 a 11.3 9 °C bajo túnel y exterior respectivamente, mientras que la temperatura máxima bajo el túnel fue superior que al exterior con valores de 32.7 y 28.8 °C. La temperatura máxima y mínima presentó diferencias durante el periodo de crecimiento, esto ocasionó que la oscilación térmica también fuese superior bajo la condición de túnel con valores de 23.7 y 17.4 °C. Algunos informes indican que algunos grupos de las plantas responden positivamente a esta oscilación térmica en una mejora en el crecimiento vegetativo, longitud del entre nudo, longitud de la planta, ramificación lateral, alargamiento del peciolo y del pedúnculo floral (Myster *et al.,* 1995), en un parámetro conocido inicialmente como 'termoperiocidad' y posteriormente denominado 'termomorfogénesis' (Erwin *et al.,* 1989) , es decir que el crecimiento en determinados cultivos es mayor cuando existe una marcada oscilación o fluctuación térmica entre la temperatura diurna y nocturna a que si desarrollan bajo temperaturas constantes, además los niveles de la intensidad de luz, calidad y duración del fotoperiodo también influyen de manera conjunta.

Los efectos que origina la fluctuación térmica posiblemente estén relacionados con la concentración de giberelinas endógenas dentro del tallo, ya que, bajo fluctuaciones negativas, la concentración de giberelina GA_1 fue menor a las plantas expuestas a fluctuaciones positivas o iguales a cero en *Cumpunulu isophyllu* (Erwin et al., 1989).

Lo que podría explicar parcialmente la mayor longitud de cañas alcanzada entre el túnel y el exterior. Una vez que las cañas alcanzan su longitud máxima el crecimiento se detiene para comenzar con el periodo de floración. En el Cuadro 11 se observa el comienzo de floración en función de la condición de manejo, bajo el túnel la floración inició el 19 de junio, mientras que al exterior se presentó hasta el día 3 de julio, lo que representa 14 días de adelanto bajo el túnel además, es importante mencionar que el evento de floración inicia en la parte terminal y avanza lentamente (Sønsteby *et al.,* 2009a), aunado a que existen cañas en diferente estado vegetativo las cuales aparecen en tiempos distintos, la floración se extiende durante todo el ciclo (Parra-Quezada *et al.,* 2008).

El inicio de cosecha bajo el túnel se registró el 16 de julio mientras que al exterior comenzó el 31 de julio, manteniéndose los 14-15 días de adelanto que se observaron en la etapa anterior, lo anterior indica un periodo de flor a fruto de entre 27 a 28 días bajo el túnel y al exterior respectivamente (Cuadro 11). Por último, el fin de cosecha y floración está determinado por las primeras heladas, ya que como se mencionó antes el periodo de floración se extiende durante todo el ciclo, el 25 de octubre se registró el primer descenso de temperatura, el cual afecto la floración y la fruta en maduración de las cañas al exterior, bajo el túnel el daño fue menor permitiendo que se siguieran realizando cosechas más aisladas hasta el 11 de noviembre (Cuadro 11). La época de cosecha al exterior fue similar a lo reportado anteriormente para la región, comenzando la floración entre la primer y segunda semana de julio para dar comienzo a la cosecha en la primer semana de agosto, finalizando entre la tercer y última semana de octubre con la ocurrencia de las primeras heladas tardías (Parra-Quezada *et al.,* 2008).

Lo anterior indica que el cultivar de frambuesa primocaña ‘Heritage’ bajo las condiciones climáticas y de manejo agronómico específicas en la región de Cuauhtémoc Chih, desarrolla tarde en el ciclo ya que el inicio de cosecha se presenta desde finales de julio y comienzos de agosto, extendiéndose hasta las primeras heladas, lo que representa un periodo de cosecha de 86 días, mientras que bajo el túnel fue de 118 días, es aproximadamente un mes adicional de cosecha

en relación al exterior con mayor potencial de extenderlo al comienzo de la temporada tal y como indica Zaar *et al.,* (2016).

Con lo anterior se evidencia que el uso de estructuras protegidas o cambios en el manejo agronómico permitiría adelantar el ciclo para dedicar mayor tiempo a la producción de fruta fresca, tal y como se reporta en algunas regiones frías del hemisferio norte donde el manejo bajo plástico también ha permitido adelantar y extender el periodo de fructificación en variedad de pequeños frutos, desde fresas, arándanos, zarzamoras y frambuesas entre otros productos hortofrutícolas de alto valor económico alcanzando a introducir fruta en ventanas de alto precio (Thompson *et al.,* 2009). Bradish *et al.,* (2015) informan un periodo de fructificación en frambuesas anuales (primocañas) al exterior y bajo túneles en tres ubicaciones diferentes en Carolina del norte, Piedmont Research Station, al exterior el periodo de cosecha es de 105 días y bajo túnel de 129, en Mountain Horticultural Crops Research Station, al exterior es de 97 días y bajo túnel de 111, mientras que en Upper Mountain Research Sation al exterior de 104 y bajo túnel de 114 días.

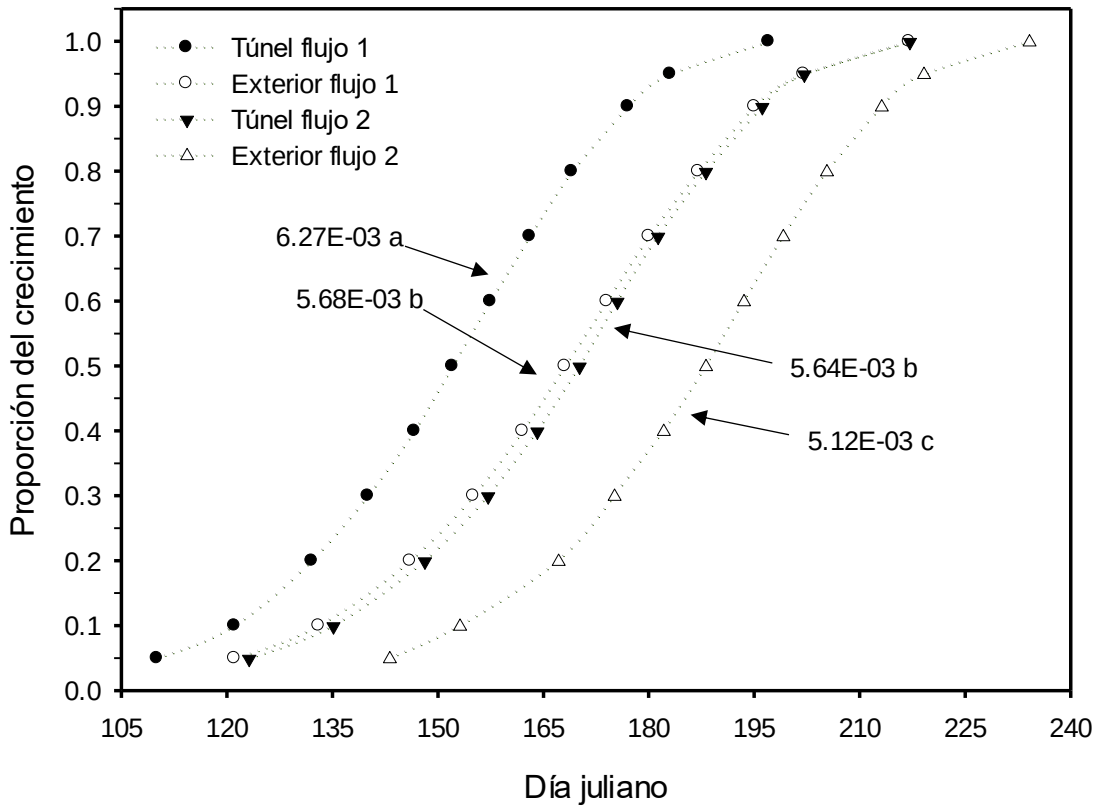


Figura 9. Proporción del crecimiento de cañas de frambuesa 'Heritage' ajustado con el modelo 'Weibull' bajo dos condiciones de manejo. Trazos con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 9. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para el crecimiento vegetativo de cañas de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo.

Flujo por condición	Modelo Weibull $Y = 1 - e^{[-(t/b)^c]}$	Indicadores del ajuste del modelo			
		Pendiente (1/b)	Pr > F	R^2 (%)	C.V (%)[x]
Túnel flujo 1	$Y = 1 - e^{[-(t/154.9)^{7.99}]}$	6.27E-03 a	<0.0001	96.9	4.53
Exterior flujo 1	$Y = 1 - e^{[-(t/176.1)^{8.04}]}$	5.68E-03 b	<0.0001	99.4	5.88
Túnel flujo 2	$Y = 1 - e^{[-(t/177.4)^{8.41}]}$	5.64E-03 b	<0.0001	98.9	2.41
Exterior flujo 2	$Y = 1 - e^{[-(t/195.3)^{9.43}]}$	5.12E-03 c	<0.0001	96.9	4.46

La proporción del crecimiento vegetativo se obtiene sustituyendo en la ecuación el valor de t que representa el día juliano a partir del inicio hasta el final de crecimiento de las cañas. [x] Representa el coeficiente de variación (%). Valores en columna pendiente con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 10. Crecimiento vegetativo de cañas de frambuesa ‘Heritage’ bajo dos condiciones de manejo y horas grado desarrollo acumuladas

Flujo por condición	Longitud de caña (cm)	Horas grado desarrollo acumuladas para el crecimiento vegetativo		
		5 %	50 %	95 %
Túnel flujo 1	119 a	11,070	19,900	27,665
Exterior flujo 1	100 b	15,350	28,380	40,060
Túnel flujo 2	156 a	14,020	24,165	32,825
Exterior flujo 2	125 b	21,170	34,800	46,010

Valores en columna longitud de caña con letras diferentes indican diferencias significativas entre flujo ($p \leq 0.05$).

Cuadro 11. Eventos biológicos en frambuesa ‘Heritage’ bajo dos condiciones de manejo

Condición	Inicio de floración	Termino de floración	Inicio de cosecha	Termino de cosecha	Periodo de flor a fruto	Periodo de cosecha (días)
Túnel	19-jun (24,308)	11-nov (61,429)	16-jul (31,517)	11-nov (61,429)	27 días	118
Exterior	03-jul (33,515)	25-oct (71,238)	31-jul (43,168)	25-oct (71,238)	28 días	86

Valores entre paréntesis indican las horas grado desarrollo acumuladas desde la plantación hasta el comienzo de cada evento.

4.3 Variables de rendimiento

4.3.1 Número de frutos parciales y acumulados

Los frutos de frambuesa desarrollan y maduran continuamente durante la estación lo que conlleva realizar múltiples cosechas parciales a lo largo de la temporada. En la Figura 10 se observa el comportamiento de las cosechas las cuales van desde los 13 a los 16 frutos por m^{-1} como mínimo al comienzo de la cosecha, hasta los 108 y 117 bajo túnel y exterior. El promedio de frutos cosechados a lo largo del ciclo por m^{-1} bajo ambas condiciones es muy similar y va de los 65 a 67 frutos m^{-1}. Además, se observan periodos marcados donde existe una mayor cantidad de frutos, en especial al exterior. Esto se debe al desarrollo de frutos entre los diversos flujos de cañas. Hacia el final del ciclo se observó una tendencia a disminuir el número de frutos, sin embargo, al exterior aun existía gran cantidad de flores así como de frutos en maduración que no se alcanzaron a cosechar por lo que el cultivar

'Heritage' podría considerarse de cosecha media a tardía (Hanson *et al.,* 2011; Pritts *et al.,* 2009). Similarmente Strik *et al.,* (2008) observaron que las zarzamoras primocañas 'Prime-Jan' y 'Prime-Jim' cultivadas en Oregón EUA, aun presentaban flores y frutas inmaduras en el mes de octubre que no se alcanzaron a cosechar a cielo abierto. Lo mismo se reporta en frambuesas primocañas cultivadas al exterior en Grands Rapids Minnesota las cuales no alcanzaron a cosecharse completamente (Yao *et al.,* 2011). Lo anterior tendría implicaciones sobre el método de producción, así como de la correcta elección de los cultivares en cada región específica y del control del número de cañas durante la temporada, a sabiendas que existen cañas que no tendrán el tiempo para fructificar o hacerlo completamente.

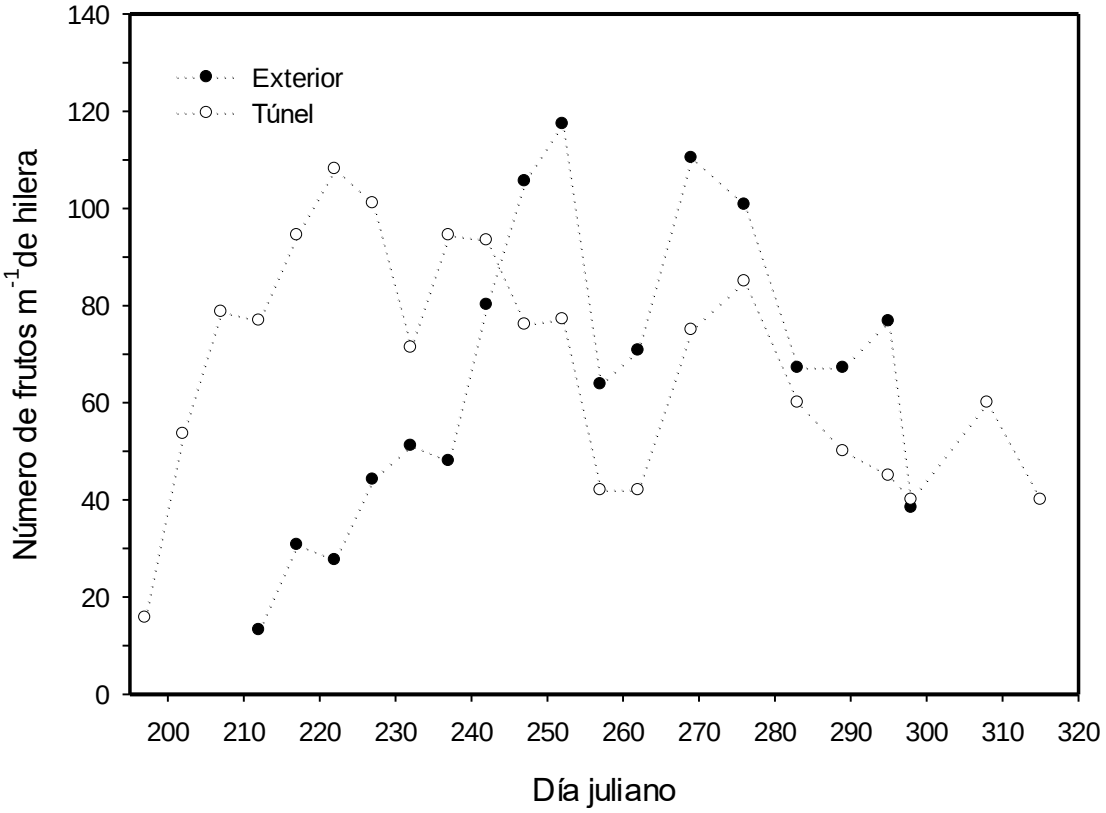


Figura 10. Número de frutos (por m^{-1} lineal) de frambuesa 'Heritage' por cosecha parcial bajo dos condiciones de manejo durante el periodo de producción.

La tasa de frutos acumulados de frambuesa se observa en la Figura 11. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo superior bajo el túnel, con valores de pendiente de 3.90E-03 y 3.76E-03 para túnel y exterior, y coeficientes de variación menores al 9 % (Cuadro 12).

La acumulación del 5 % de los frutos se alcanzó a las 27,300 y 42,800 horas grado, lo que corresponde a los días julianos 175 y 208 para túnel y campo abierto, respectivamente, a las 44,600 y 59,200 horas grado que corresponden a los días julianos 244 y 258 para túnel y campo abierto respectivamente ocurrió el 50 % de la acumulación de frutos.

Por otra parte, el 95 % se dio a las 59,100 y 70,400 horas grado, lo que corresponde a los días 294 y 291 para túnel y campo abierto respectivamente. Cuando se cosechó el 5 % de los frutos al exterior, en el mismo periodo de tiempo bajo el túnel se había cosechado el 18 %, es decir un 13 % más gracias a la precocidad ofrecida por el túnel. Por otra parte, cuando se cosechó el 100 % de frutos al exterior, bajo túnel era del 98 %, lo que indica que el número de frutos que se cosecharon durante el periodo que se extendió la cosecha hacia el final del ciclo bajo el túnel solo representó el 2 % del total cosechado. El total de frutos cosechados fue de 1,113 y 1480 por m^{-1} al exterior y bajo túnel, lo que indica un incremento del 24 % en el número de frutos cosechados entre el exterior y el túnel, debido posiblemente a una mejor arquitectura productiva en las cañas bajo el túnel. Este efecto se ha observado en otros cultivares de frambuesa.

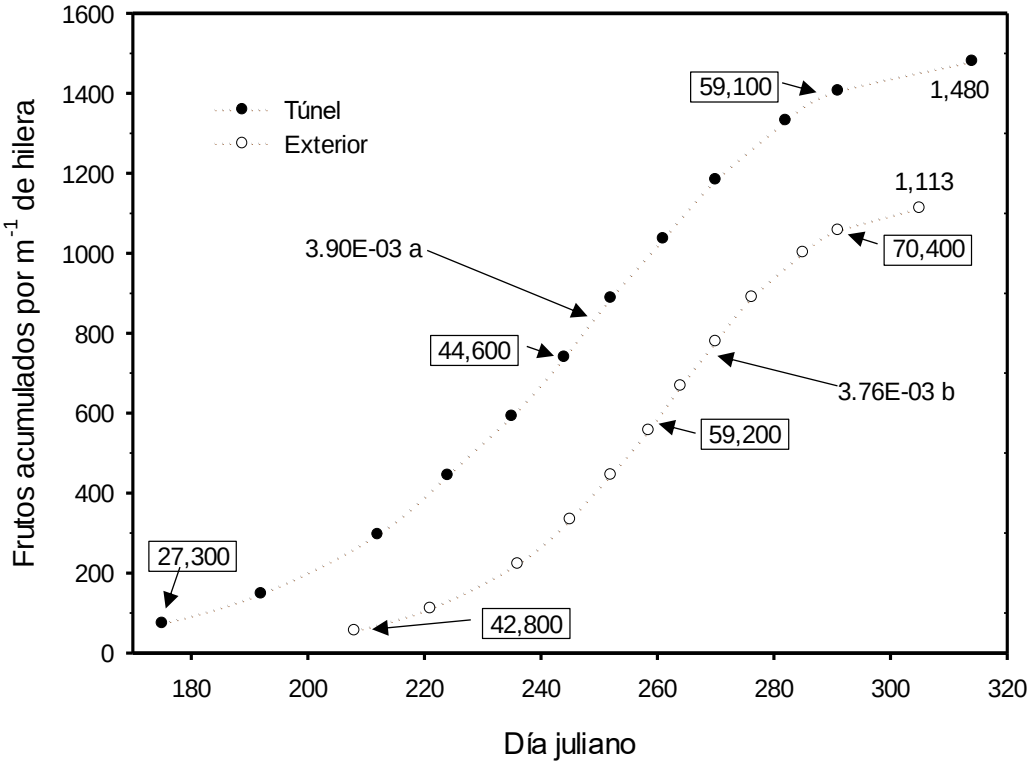


Figura 11. Frutos de frambuesa 'Heritage' acumulados ajustados con el modelo 'Weibull' bajo dos condiciones de manejo. Valores en ascenso dentro de recuadros indican las horas grado desarrollo acumuladas para la acumulación del 5,50 y 95 % de frutos. Trazos con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Nota: La estimación del modelo Weibull modifica ligeramente el periodo de cosecha, el cual fue del día 212 al 298 al exterior y del 197 al 315 bajo el túnel.

Cuadro 12. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para el número de frutos de frambuesa 'Heritage' acumulados bajo dos condiciones de manejo.

Condición	**Modelo Weibull** $Y = 1 - e^{[-(t/b)^c]}$	**Indicadores del ajuste del modelo**			
		Pendiente (1/b)	**Pr > F**	**R^2 (%)**	**C.V (%)^x**
Túnel	$Y = 1 - e^{[-(t/256.0)^{7.86}]}$	3.90E-03 a	<0.0001	97.6	8.55
Exterior	$Y = 1 - e^{[-(t/265.9)^{12.28}]}$	3.76E-03 b	<0.0001	99.1	6.86

El número de frutos acumulados se obtiene sustituyendo en la ecuación el valor de t que representa el día juliano a partir del inicio hasta el final de la cosecha. ^{x} Representa el coeficiente de variación (%). Valores en columna pendiente con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.3.2 Rendimiento parcial y acumulado

El rendimiento parcial por m^{-1} sigue una tendencia muy similar a la observada a la de frutos por cosecha parcial (Figura 12). El rendimiento va desde los 35 a los 60 g por m^{-1} al exterior y túnel, respectivamente, al comienzo de la cosecha, incrementándose a través de tiempo. El rendimiento más alto alcanzado por cosecha parcial bajo túnel fue de 293 g por m^{-1} y el periodo donde se encuentran los rendimientos más altos es entre los días julianos 207 al 257, lo que representa de entre las 34,000 a 48,000 horas grado. Por otra parte, al exterior el rendimiento más alto por cosecha fue de 379 g por m^{-1}, mientras que el periodo con mayores rendimientos se encuentra entre los días 242 y 276, con una acumulación de entre 53,000 a 65,000 horas grado desarrollo.

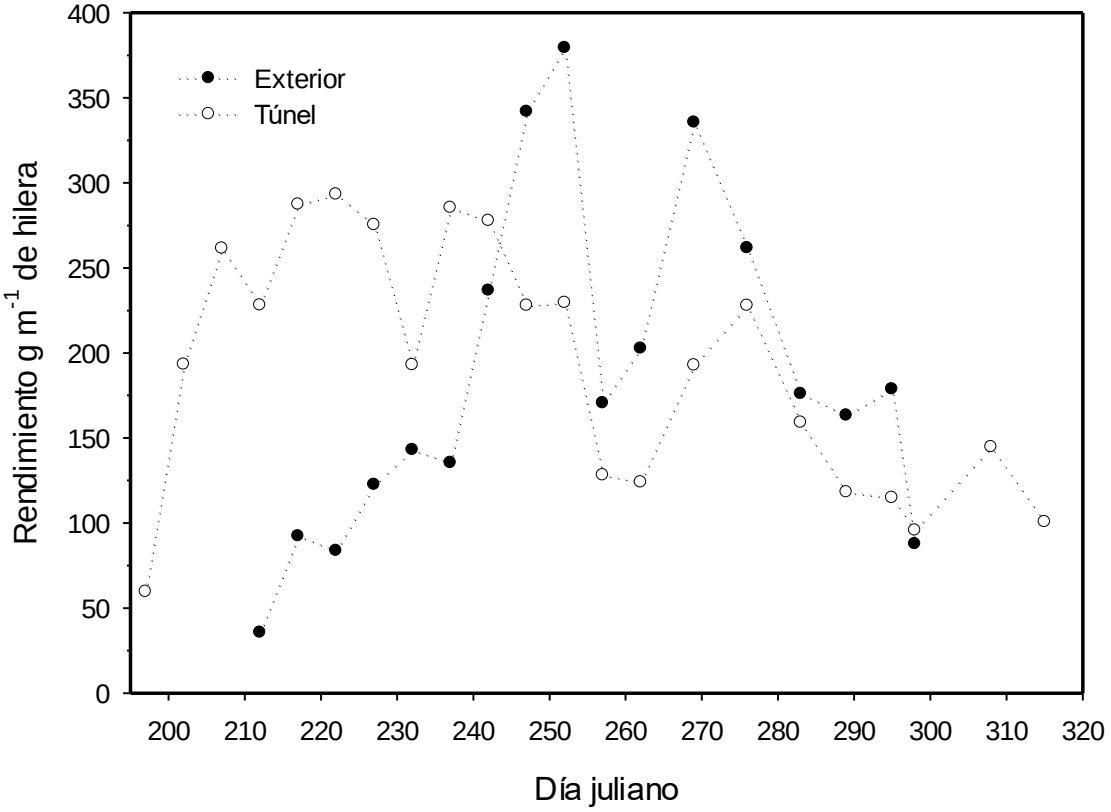


Figura 12. Rendimiento de frambuesa 'Heritage' por cosecha parcial bajo dos condiciones de manejo durante el periodo de producción.

La tasa de rendimiento acumulado (Figura 13) presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre condiciones con pendientes de 3.95E-03 y 3.72E-03 y coeficientes de variación menores al 9 % para túnel y exterior respectivamente (Cuadro 13).

El 5 % del rendimiento se obtuvo al día juliano 176 y 210, con una acumulación de 25,900 y 42,800 horas grado bajo túnel y al exterior, es decir, 34 días antes bajo el túnel, en este caso el 5 % del rendimiento al exterior representa 157 g por m^{-1}, mientras que bajo el túnel al mismo periodo de tiempo el rendimiento fue de 843 g por m^{-1}, lo que representa 5 veces más debido a un incremento en el rendimiento total bajo el túnel.

Por otro lado, el 50 % del rendimiento se alcanzó a los días 241 y 282 con acumulación de 43,800 y 58,600 horas grado bajo túnel y al exterior. En este caso, el volumen fue de 2,111 y 1,574 g, mientras que el 95 % se alcanzó en los días 291 y 287 con 58,100 y 69,400 horas grado para túnel y exterior.

Comparando el rendimiento obtenido en el mismo periodo de tiempo que al exterior, este fue de 3,287 bajo túnel y 3,145 g por m^{-1} al exterior, es decir una diferencia de 142 g por m^{-1}, lo cual se puede explicar debido al incremento en el número de frutos obtenidos por caña bajo la condición protegida (Cuadro 14), lo anterior indica que el periodo que se logró extender bajo el túnel es responsable de un incremento de 930 g por m^{-1}, donde un 9 % de este incremento se obtuvo hacia final del ciclo lo que representa 84 g por m^{-1}, mientras que el rendimiento obtenido al comienzo de la temporada representa el 91 % del incremento, es decir de 846 g por m^{-1}. Lo anterior demuestra que la condición protegida en este trabajo presentó potencial para adelantar el periodo de producción y este adelanto incrementa el rendimiento total en mayor medida que el rendimiento alcanzado en la extensión al final de la temporada.

En resumen, tanto la precocidad como la extension del periodo de fructificación se vio aumentada 45 días bajo el túnel. Algunos informes indican que la implementación de túneles de polietileno permitió extender 3 semanas el periodo de fructificación en zarzamora primocaña (solo colocando el túnel hacia final del ciclo) en Oregón, EUA, una región con fecha de última y primera helada en 14 de abril y

25 de octubre (Thompson *et al.,* 2009). En el norte de Minnesota, EUA, se logró extender el periodo de fructificación en frambuesas de primocaña por 4 semanas solo al final del ciclo, una zona que presenta la última y primera helada el 19 de mayo y 22 de septiembre (Yao *et al.,* 2011). En Michigan, EUA, Hanson *et al.,* (2011) observaron un adelanto de una semana en el comienzo del periodo de cosecha.

El rendimiento total obtenido al final del ciclo presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) con valores de 4,217 y 3,145 g por m^{-1} bajo túnel y al exterior, lo que representa un rendimiento estimado de 15.06 y 11.23 t ha^{-1} en un espaciamiento de hileras de 2.8 m (Cuadro 14). El incremento en el rendimiento obtenido bajo el túnel representa un 34 % más en relación con el exterior. Trabajos realizados en otras zonas templadas utilizando túneles de polietileno indican ligeros incrementos bajo túnel en relación al exterior, por ejemplo, un incremento promedio de dos temporadas del 8.65 % con un rendimiento por m^{-1} de 1.87 kg en el cultivar 'Josephine' y un incremento del 28.9 % en el cultivar 'Caroline' con un rendimiento por m^{-1} de 3.03 kg (Black *et al.,* 2019). En Michigan, EUA, Hanson *et al.,* (2011) indican rendimientos de 2.5 kg al exterior y de 5.5 kg m^{-1} bajo túnel en el cultivar 'Heritage', un incremento del 120 % bajo la condición protegida, lo que bajo su sistema de producción equivale a rendimientos de 9 y 22 ton ha^{-1}, además de suprimir algunas enfermedades. En Quebec, Canadá, Xu *et al.,* (2014), en el cultivar 'Polka' reportan incrementos de 2.4 veces respecto al exterior en cultivos en macetas, con rendimientos de 1,207 y 2,955 kg por m^{-1}.

Milivojevic *et al.,* (2011), indican rendimientos en frambuesa 'Heritage' cultivada a campo abierto en Serbia desde 4 hasta 13 kg m^{-1} sin embargo, no indican el número de cañas por metro.

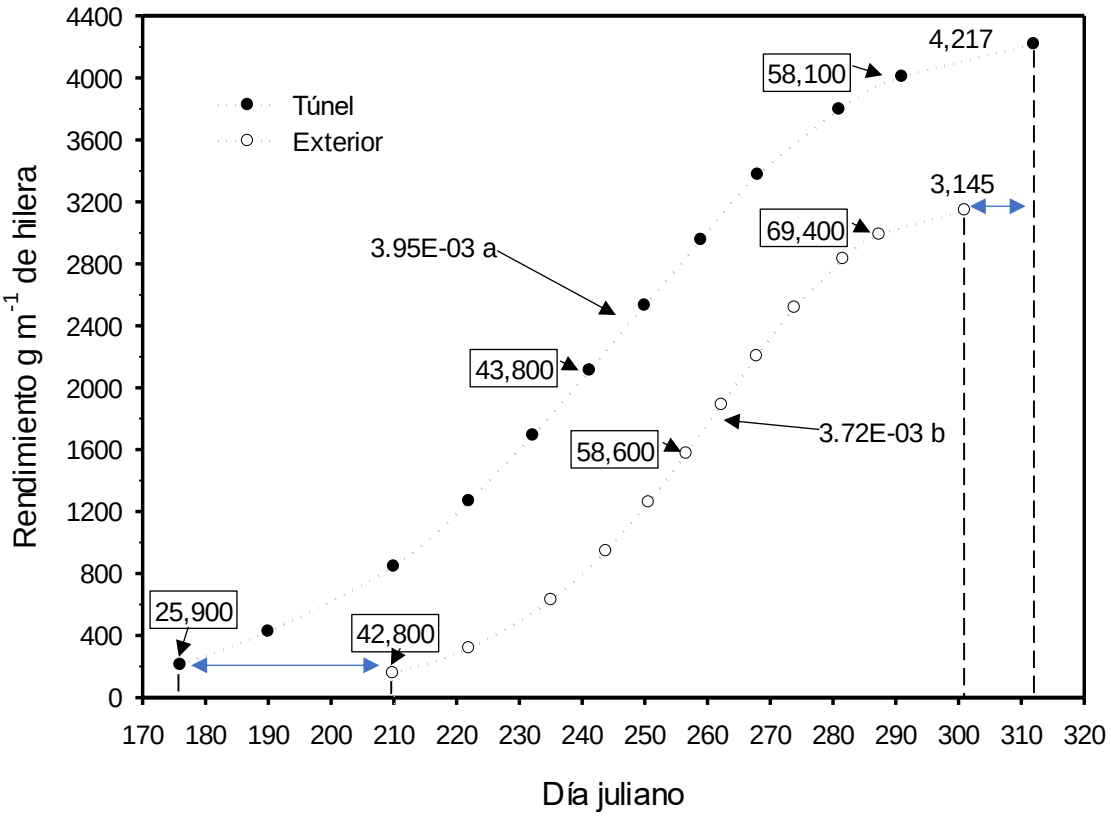


Figura 13. Rendimiento de frambuesa 'Heritage' acumulado ajustado con el modelo 'Weibull' bajo dos condiciones de manejo. Valores en ascenso dentro de recuadros indican las horas grado desarrollo acumuladas para la emergencia del 5,50 y 95 % de cañas. Trazos con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Nota: La estimación del modelo Weibull modifica ligeramente el periodo de cosecha, el cual fue del día 212 al 298 al exterior y del 197 al 315 bajo el túnel.

Cuadro 13. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para rendimiento de frambuesa 'Heritage' acumulado bajo dos condiciones de manejo.

Condición	Modelo Weibull $Y = 1 - e^{[-(t/b)^c]}$	Indicadores del ajuste del modelo			
		Pendiente (1/b)	Pr > F	R^2 (%)	C.V (%)[x]
Túnel	$Y = 1 - e^{[-(t/252.9)^{7.99}]}$	3.95E-03 a	<0.0001	97.8	8.01
Exterior	$Y = 1 - e^{[-(t/263.7)^{12.85}]}$	3.72E-03 b	<0.0001	99.0	7.09

El rendimiento acumulado se obtiene sustituyendo en la ecuación el valor de t que representa el día juliano a partir del inicio hasta el final de la cosecha. [x] Representa el coeficiente de variación (%). Valores en columna pendiente con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.3.3 Peso medio de fruto

El peso medio del fruto bajo la condición de túnel inicialmente estuvo por encima de los 3 g, con un peso máximo de 3.8 g y conforme avanzó la temporada de cosecha, el peso medio disminuyó gradualmente. El menor peso de fruto bajo el túnel fue de 2.4 g. Al exterior, el peso medio comenzó con 2.7 g, mientras que el peso máximo alcanzado fue de 3.2 g y el mínimo de 2.3 g hacia finales de la temporada. Al exterior hay una clara tendencia a disminuir el peso medio del fruto (Figura 14).

Bajo la condición de túnel se presentó una mayor oscilación en el peso medio de fruto, en promedio 0.9 g en relación a los 0.4 g del exterior, lo cual provocó que el peso medio de todo el ciclo fuera similar bajo ambos manejos (2.9 y 2.8 g, túnel y exterior), lo anterior indica que bajo la condición de túnel se podrían obtener frutos de mayor calibre, lo que implica contar con mayor control sobre las principales variables que influyan en la oscilación del mismo, mientras que al exterior el peso máximo alcanzable ronda entre los 3 y 3.2 g (Figura 14). La mayoría de los frutos obtenidos bajo túnel presentaban buen aspecto visual, ausente de deformaciones, y a pesar de que se observaron varias especies de polinizadores naturales tales como abejas (*Apis mellifera* L), abejorros (*Bombus* spp), entre otros, también se observó en menor medida algunos frutos deformes o dobles, debido principalmente a una polinización deficiente y posiblemente a las altas temperaturas en las horas de mayor insolación del día, ya que se sabe que la viabilidad y receptividad de los óvulos a los granos de polen disminuyen a temperaturas de 29 a 35 °C en algunas especies de *Rubus* (Stanton *et al.,* 2007), por lo que este aspecto deberá considerarse en objetivos de extension de temporada al final del ciclo con la consecuente disminución de polinizadores naturales, aunque se ha descrito que los abejorros (*Bombus* spp.) tienen actividad de vuelo incluso a 5 °C.

Algunos trabajos con diversas frutas, incluyendo zarzamoras, indican que los frutos bajo túnel son de mayor calibre que los obtenidos al exterior (Thompson *et al.,* 2009). En Michigan, EUA, Hanson *et al.,* (2011), encontraron ligeros incrementos en el peso de fruto cultivados bajo túnel respecto al exterior en cultivares de primocaña de frambuesa como ‘Heritage’, para el cual reportan peso medio desde

los 1.6 a 2.3 g, inferior a lo encontrado en este trabajo donde el peso osciló entre los 2.3 a 3.2 g, mientras que bajo el túnel los mismo autores indican pesos de 2.1 a 2.5 g. Otros cultivares donde se mejoró el peso fueron ‘Autumn Britten’ ‘Caroline’ y ‘Nova’. Milivojevic *et al.,* (2011), reportan un peso medio de fruto en ‘Heritage’ de entre 2.2 a 3.1 g, muy similar a lo encontrado en este trabajo. de Ancos *et al.,* (1999), indican un peso de fruta de 2.08 g para ‘Heritage’. En Turquía, para el mismo cultivar se reporta un peso promedio de 2.5 a 2.3 g (Çekiç *et al.,* 2010; Tosun *et al.,* 2009). Mientras que en China, Yang *et al.,* (2020), indican un peso de entre 1 a 1.5 g en frutos de frambuesa ‘Heritage’. Cuando la planta está en la etapa productiva las hojas cercanas a los laterales de fructificación se convierten en la fuente principal de carbohidratos para los sumideros o frutos en desarrollo.

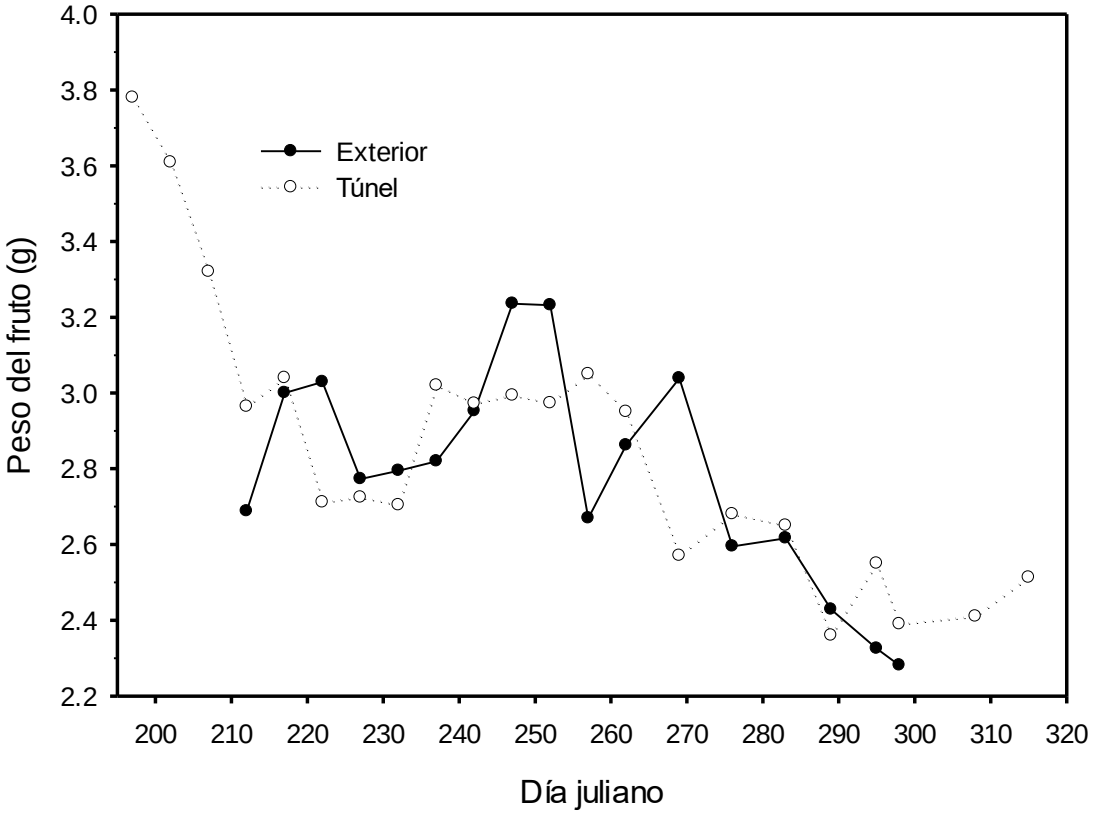


Figura 14. Peso promedio de fruto (g) de frambuesa ‘Heritage’ por cosecha parcial bajo dos condiciones de manejo durante el periodo de producción.

4.4 Componentes morfológicos y de rendimiento

El rendimiento promedio por caña presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre condición de manejo, siendo superior bajo el túnel con valores de 301 y 242 g por caña^{-1}, lo que representa una diferencia de 59 g. Dicha diferencia fue debida posiblemente a un incremento en la longitud del crecimiento de las laterales fructíferas, lo que se tradujo en mayor cantidad de frutos por caña que fue en promedio de 105 a 85, ya que como se observa ni el peso medio del fruto, ni el número de nudos con inflorescencia presentaron diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$) (Cuadro 14).

El número de frutos por caña varía según la ubicación y condiciones de manejo, por ejemplo, Milivojevic *et al.,* (2011) indican de entre 50 a 86 frutos por caña y un rendimiento de 107 a 265 g en el cultivar 'Heritage', similar a lo encontrado en este trabajo. Algunos informes encontraron ligeros incrementos en el peso medio del fruto en frambuesas primocaña 'Caroline', 'Joan J' y 'Polana' cultivadas bajo túneles, respecto al exterior (Yao *et al.,* 2011). Sin embargo, el incremento en el rendimiento por caña se debe a una mejora en la arquitectura productiva por caña (laterales). Esta mejora en la arquitectura se ha encontrado en múltiples informes de cultivo de frambuesa bajo cubierta obteniendo laterales con mayor longitud y mayor cantidad de inflorescencias (Sønsteby *et al.,* 2009b). Por otro lado, algunos cultivares de frambuesa anual, han respondido de manera positiva al incremento en la temperatura de crecimiento reflejado en mayor cantidad de frutos por lateral y en general una mayor cantidad de frutos cosechados por caña (Sønsteby *et al.,* 2010).

El número de hojas, el diámetro basal y el número de cañas por m^{-1} tampoco presentaron diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$). Sin embargo, el área foliar por caña si presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$), con un incremento del 35 % bajo el túnel respecto al exterior (Figura 15), lo que indica hojas con mayor lámina foliar. Xu (2016) reporta un incremento de área foliar en frambuesa anual 'Polka' cultivada bajo túnel, 1.6 veces mayor con aproximadamente 0.8 a 0.9 m^2 bajo túnel y de 0.4 a 0.5 al exterior, lo anterior se debe a una mayor lámina foliar posiblemente ocasionado con la reducción en los niveles de radiación fotosintéticamente activa

presentados bajo la condición de túnel (Figura 7). Esta respuesta permite a la planta interceptar mayor cantidad de luz (Gimenez *et al.,* 2002). Se ha informado que la tasa de fotosíntesis disminuye ligeramente por unidad de área foliar, pero se incrementa en la caña completa debido a que el incremento en el área foliar por caña ya que sobre compensa la disminución por área (Xu, 2016). Otros frutales como fresas bajo túneles también han encontrado mayor área foliar respecto al exterior (Kadir *et al.,* 2006). Jiao *et al.,* (2019), observaron mayor área foliar en plantas de tomate 'Jinpeng' con bajo DVP, además de mayor densidad, longitud y ancho de estomas. Lo anterior podría contribuir a mayor absorción de CO_2 al contar con mayor área de intercambio de gases y proporcione más materia prima para la fotosíntesis. Por otro lado, Medina *et al.,* (2002), indican que la reducción de PAR en los cultivos al interior de estructuras con películas plásticas reduce la temperatura de hoja con lo cual se logra reducir el DVP y la fotoinhibición, favoreciendo la apertura estomática y el intercambio de gases pudiendo tener impacto sobre el rendimiento.

El rendimiento estimado es solo en las cañas de un año (primocañas), considerando la mayor longitud de cañas alcanzada baja el túnel (Figura 9) debido a un incremento en la longitud del entrenudo y el número de nudos latentes que permanecen sin fructificar la primer temporada, es conveniente analizar el manejo realizando una poda a media altura eliminando la porción de caña que fructificó, para analizar la posibilidad de obtener una segunda cosecha en la caña (floricaña) la siguiente temporada, lo cual podría ofrecer una fructificación más temprana cubriendo ventanas de fructificación que con el manejo de poda al ras son complicadas, además de extender el periodo de fructificación ya que esta cosecha podría traslaparse con la cosecha en las nuevas cañas del año en curso (primocañas).

El rendimiento estimado por ha^{-1} es aceptable considerando que la gestión nutricional y fitosanitaria fue orgánica. Actualmente los principales productores de frambuesa orgánica a cielo abierto son los estados de Baja California y Michoacán con rendimientos al exterior por ha de 18 y 14 t ha^{-1}, por lo que se estima que bajo

cubiertas plásticas sea mayor (SIAP, 2018). La gestión de producción orgánica de fruta está tomando relevancia debido a que la sociedad exige cada vez con mayor frecuencia alimentos saludables libres de pesticidas y con bajo impacto ambiental (Hargreaves *et al.,* 2008), lo anterior se refleja en varias investigaciones en diferentes ubicaciones, por ejemplo Hanson *et al.,* (2016), observaron rendimientos bajo túnel de 7 a 15 ton ha^{-1} usando cultivares anuales 'Polka' y' Joan J' en Michigan, EUA, además notaron una tendencia a la baja en el rendimiento del año 1 en los años posteriores en comparación con el rendimiento del primer año, mismo fenómeno que observó Frias-Moreno *et al.,* (2019) en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua, quienes indican un rendimiento inicial de 2.35 kg por m^{-1} y posteriormente, en el segundo año, una caída en el rendimiento a 1.30 kg por m^{-1}, lo que indicaría que la gestión nutricional debe ir acompañada de un incremento en la fertilidad del suelo que permita la rápida disponibilidad de nutrientes provenientes de la fuente orgánica. Además, cuando se realiza una poda a media caña para una doble cosecha el siguiente ciclo, los rendimientos se incrementan. Hanson *et al.,* (2019b) reportaron rendimientos de 12 a 19 ton ha^{-1} de frambuesa orgánica cuando se realiza doble cosecha.

Cuadro 14. Componentes de rendimiento y morfología en cañas de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo.

	Rendimiento (g caña $^{-1}$)	Número de frutos/caña	Peso de fruto (g)	Nudos totales	Nudos con flor	Número de hojas	Diámetro basal de caña (mm)	Número de cañas (m^{-1})	Rendimiento estimado (t/ha^{-1})[x]
Túnel	301.1 a	105 a	2.8 a	34 a	15 a	26 a	12.4 a	14 a	15.06 a
Exterior	242.0 b	85 b	2.7 a	32 b	14 a	24 a	12.6 a	13 a	11.23 b

[x] Estimado a partir de la densidad y rendimiento de caña por m $^{-1}$ a 3571 metros lineales de hilera por ha^{-1} (marco de plantación de 2.8x1m). Valores en columnas con letras diferentes indican diferencias significativas entre condiciones ($p \leq 0.05$).

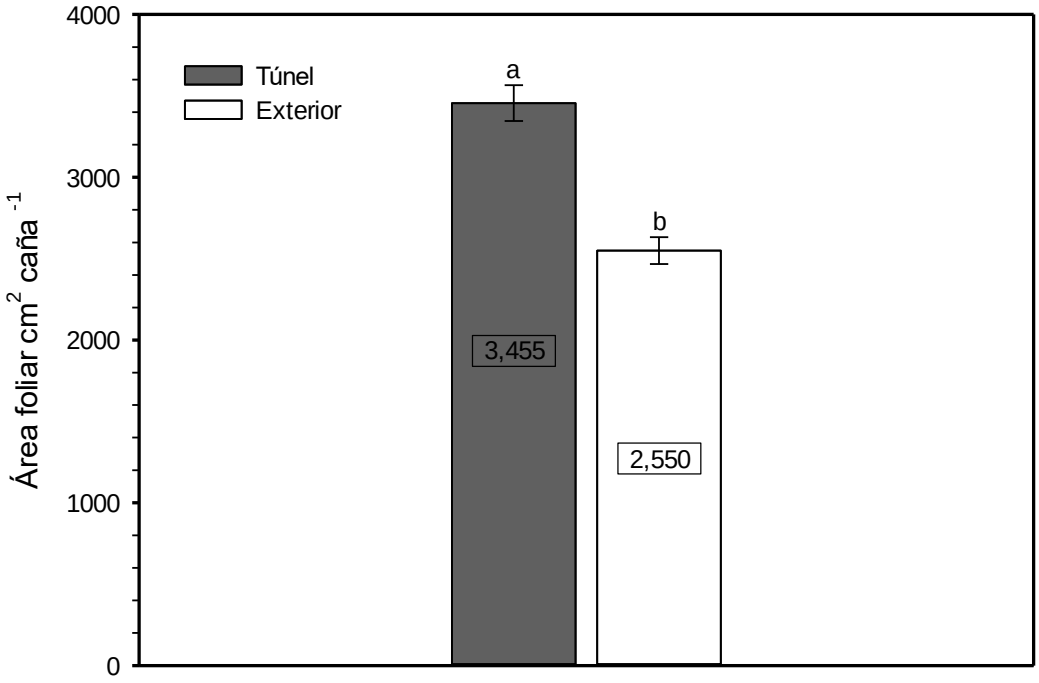


Figura 15. Área foliar (cm^2) promedio por caña en frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo. Valores representan la media de 40 repeticiones ± error estándar. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.5 Calidad de fruto

4.5.1 Color

Uno de los principales parámetros de calidad es el color, el cual se relaciona con la composición y contenido de antocianinas presentes en el fruto las cuales dan origen a una amplia gama de colores (Melo *et al.,* 2000), en este caso la típica coloración roja de las frambuesas. Los niveles de color expresados en °hue se muestran en el Cuadro15, encontrado diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. En el exterior se observó el valor más alto (28.5 °hue), en comparación con el cultivo bajo el túnel (27.7 °hue). Los frutos fueron cosechados en madurez comercial (frutos semi-maduros). Algunos informes indican valores de color en °hue para frambuesa 'Heritage' de 30.74 °hue (de Ancos *et al.,* 1999). En Turquía se reporta un valor de color de 26 °hue para frambuesa 'Heritage' (Çekiç *et al.,* 2010).

4.5.2 Firmeza

Los frutos de frambuesa son altamente perecederos, por tanto presentan una corta vida postcosecha (Han *et al.,* 2004), es por ello que deben cosecharse en un estado semi maduro para que alcancen a llegar al consumidor final.

La firmeza en frutos de frambuesa es un componente prioritario en los programas de mejoramiento genético pues se buscan frutas que no se desmoronen debido a una mala cohesión entre las drupelas, además de formar parte de un importante atributo de calidad organoléptica (Sousa *et al.,* 2007).

En este caso, la firmeza obtenida en frutos de frambuesa presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, disminuyendo ligeramente bajo el túnel respecto al exterior (Cuadro 15). Sin embargo, la firmeza encontrada es ligeramente superior bajo ambos tratamientos a la indicada por Bañados *et al.,* (2001) en Chile para una amplia variedad de cultivares incluido 'Heritage', al igual que Maro *et al.,* (2014) en Brasil. Lo anterior indica que las drupelas de la fruta presentan suficiente cohesión, así como suficiente número de drupelas, ya que se ha indicado que entre mayor es el número de drupelas, mayor es la firmeza final de la fruta.

4.5.3 Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles reportado en el cultivar 'Heritage' en otras ubicaciones es similar a lo obtenido en este trabajo, sin embargo, se recalca que tanto la ubicación como las prácticas de manejo influye en los parámetros de calidad. Orhan *et al.,* (2006) reportan un contenido de sólidos solubles entorno a los 11.5 grados brix en frambuesa 'Heritage', ligeramente superior a lo aquí encontrado (Cuadro 15). Milivojevic *et al.,* (2011) reportan un contenido de sólidos solubles de 12.2 a 13.2, de Ancos *et al.,* (1999) con valores de 9.8 en Cáceres, España, en Turquía entre 11.4 y 11.5 (Çekiç *et al.,* 2010; Tosun *et al.,* 2009). En el norte de Grecia, Pantelidis *et al.,* (2007) reporta un contenido de sólidos sólubles de entre 8 a 10, en China Yang *et al.,* (2020) reportan entre 10 y 11 para frutos de frambuesa 'Heritage'.

4.5.4 Acidez titulable

Tanto el contenido de sólidos solubles totales como la acidez titulable se utilizan como indicadores de la calidad sensorial del fruto (Mattheis *et al.,* 1999). En el presente trabajo se obtuvo una acidez titulable de frutos de 1.87 a 1.89 sin diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 15). Orhan *et al.,* (2006) reporta una acidez titulable de 1.37, de Ancos *et al.,* (1999) 1.76 en 'Heritage', en Turquía Tosun *et al.,* (2009) reportan 1.55, en China Yang *et al.,* (2020) indican entre 1.9 y 2.1. También es conocido que el ácido cítrico es el predominante en frutos de frambuesa (Wang, 2003).

Cuadro 15. Atributos de calidad en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo.

Tratamiento	Color (hue°)	Firmeza (g fuerza)	Sólidos Solubles (°Brix)	Acidez titulable (% ácido cítrico)
Túnel	27.7 ± 0.13 b	90.2 ± 0.23 b	10.2 ± 0.08 a	1.87 ± 0.02 a
Exterior	28.5 ± 0.14 a	91.2 ± 0.25 a	10.0 ± 0.06 b	1.89 ± 0.02 a

Valores en columnas con letras diferentes indican diferencias significativas entre condiciones ($p \leq 0.05$). Valor representa la media ± el error estándar. Muestreo de fruta en septiembre.

4.5.5 Compuestos fenólicos

Similar a lo indicado por de Ancos *et al.,* (1999) en frambuesa 'Heritage', las frambuesas analizadas contuvieron tres antocianinas principales, cuya concentración varió con la cosecha y la condición de producción (túnel o exterior) (Cuadro 16). Las antocianinas que se encontraron en mayor concentración fueron la cianidina 3- soforósido y cianidina 3-glucósido. En trabajos previos se ha encontrado que estas antocianinas son importantes compuestos fenólicos en frambuesas rojas (Anttonen *et al.,* 2005) mientras que la cianidina 3-(2-glucosilrutinósido) se encontró en menores cantidades, similar a lo reportado por Anjos *et al.,* (2020), en los cultivares 'Tulameen' y 'Kweli' en Portugal. La contribución individual de cada antocianina respecto al total bajo el túnel fue del 45.4 al 46.2 % para la cianidina 3-soforósido, del 40.9 al 42.9 % para la cianidina 3

glucósido, mientras que la cianidina 3-(2glucosilrutinósido) representó del 11.6 al 12.8 % del total de antocianinas. La contribución de estos compuestos al contenido total de antocianinas al exterior fue del 40.8- 45.4 %, 42.6-45.5 % y del 11.8-13.6 %, respectivamente (Cuadro 16).

Así mismo, se observó un menor contenido de antocianinas en las primeras cosechas, aumentando ligeramente a la mitad de la temporada, con una ligera tendencia a incrementarse hacia el final del ciclo, especialmente bajo el túnel posiblemente atribuido a una reducción de las temperaturas nocturnas (Cuadro 6).

Para el caso de la cianidina 3- soforósido, los valores más bajos se obtuvieron al comienzo del ciclo bajo ambos tratamientos (julio y agosto). El contenido bajo el túnel fue de 20.38 y al exterior de 22.73 mg/100 g de peso fresco, mientras que el contenido más alto de todo el ciclo se obtuvo bajo el túnel en el mes de noviembre, con 34.46 mg/100 g y al exterior ocurrió a mitad de la temporada (septiembre) con 28.87 mg/100 g (Cuadro 16). de Ancos *et al.,* (1999), reportan un contenido de cianidina 3- soforósido en frambuesa 'Heritage' de 21.91 mg/100 g, similar a lo encontrado en este trabajo, mientras que Yang *et al.,* (2020), indican contenidos de entre 1.46 y 15.04 mg/100 g, aumentando conforme avanza la maduración de la fruta.

Por otro lado, Anjos *et al.,* (2020), en frambuesa 'Tulameen' bajo cultivo orgánico reportan contenidos muy similares de esta antocianina con 32.6 mg/100 g, encontrando mayor contenido bajo cultivo fertilizado de manera convencional (60.8 mg/100 g). También se observa un ligero incremento en el contenido de esta antocianina bajo el túnel especialmente en noviembre mientras que en el resto del periodo el contenido no sufrió cambios significativos ($p \geq 0.05$) similar a lo reportado por Bradish *et al.,* (2015) en los cultivares 'Autumn Britten', 'Caroline' y 'Nantahala'.

La cianidina 3- glucósido muestra un comportamiento similar donde los contenidos más bajos se obtuvieron al comienzo de la temporada con valores bajo el túnel y al exterior de 20.38 y 21. 33 mg/100 g ambos en el mes de agosto, mientras que el mayor contenido bajo ambos tratamientos se obtuvo a mitad de la temporada (septiembre) con 29.67 mg/100 g y tendencia a volver a incrementarse en el mes

de noviembre (30.49 mg/100 g) bajo el túnel, y de 32.17 mg/100 g al exterior. Previamente se ha reportado contenidos de cianidina 3- glucósido en frambuesa 'Heritage' en torno a los 14 mg/100 g (de Ancos *et al.,* 1999). Otros estudios indican un contenido de entre 2.88 y 11.59 mg/100 g (Yang *et al.,* 2020). En otros cultivares de frambuesas como ´Tulameen' se reportan contenidos que van desde los 9.9 a los 30 mg/100 g y en ''Kweli' de entre 20.5 a 31.3 mg/100 g bajo manejos de producción orgánica y convencional respectivamente (Anjos *et al.,* 2020). Zaar *et al.,* (2016), observaron contenidos de esta antocianina en frambuesa 'Erika' de entre 5 y 6 mg/100 g.

En este trabajo, los contenidos de cianidina 3- glucósido bajo el túnel disminuyeron ligeramente en relación al exterior principalmente en el periodo agosto-septiembre, considerando que el periodo de flor a fruto fue de 27 a 28 días, la fruta desarrolló bajo temperaturas máximas moderadamente altas (Cuadro 6), similar a lo reportado por Bradish *et al.,* (2015), quienes indican que las altas temperaturas disminuyeron el contenido de esta antocianina en frambuesas 'Autumn Britten', 'Caroline' y 'Nantahala' cultivadas bajo túnel debido a un efecto negativo sobre las enzimas responsables de su biosíntesis, además indican que las temperaturas nocturnas moderadamente frescas podrían tener influencia positiva sobre la acumulación de estos compuestos en determinados cultivares (Bradish *et al.,* 2012).

La cianidina 3-(2-glucosilrutinósido), al igual que las antocianinas anteriores, presentó los menores contenidos al comienzo de la temporada en el mes de agosto con valores de 5.52 y 5.94 mg/100 g de peso fresco bajo túnel y al exterior, respectivamente, mientras que bajo el túnel el mayor contenido se alcanzó en el mes de noviembre (9.59 34 mg/100 g) y al exterior a mitad de temporada (septiembre) con 9.67 mg/100 g. Así mismo se observaron ligeras reducciones no significativas bajo el túnel durante agosto y octubre, no a si durante el mes de septiembre (Cuadro 16). Yang *et al.,* (2020), reportan un contenido de entre 0.37 y 7.98 mg/100 g de esta antocianina mientras que en otros cultivares de frambuesa, como 'Tulameen' se ha reportado un contenido de 4.90 mg/100 g (Anjos *et al.,* 2020). Zaar *et al.,* (2016), indican un contenido de entre 5 y 6 mg/100 g en

frambuesa ‘Erika’ en Alemania sin diferencias significativas entre la producción bajo túnel o el exterior.

El total de antocianinas bajo el túnel fue menor en los meses iniciales de cosecha, en julio y agosto (51.82 y 47.44 mg/100 g), similar al exterior donde en el mes de agosto se observó el menor contenido (50 mg/100 g.). Bajo el túnel el contenido total de antocianinas fue incrementando hasta alcanzar el valor máximo en el mes de noviembre (74.54 mg/100 g.), mientras que al exterior el valor máximo se alcanza en septiembre (70.71 mg/100 g). En general, se observó una ligera reducción en el contenido total de antocianinas bajo el túnel respecto al exterior inicialmente y hacia finales del ciclo ocurre lo contrario, quizá debido a las temperaturas frescas nocturnas. La reducción de antocianinas durante el periodo agosto y septiembre puede deberse a las temperaturas cálidas (Cuadro 6), ya que se ha indicado que la expresión génica de las enzimas implicadas en la biosíntesis de antocianinas se ve afectada a causa de altas temperaturas (Mori *et al.,* 2007; Schwartz *et al.,* 2009). Mientras que temperaturas frescas promueven la acumulación de antocianinas mediante la alteración de la transcripción de genes implicados en la biosíntesis (Dela *et al.,* 2003). de Ancos *et al.,* (1999), indica un contenido total de antocianinas en frambuesa ‘Heritage’ de 35.91 mg/100 g, donde únicamente detectó dos antocianinas. (cianidina 3- soforósido y cianidina 3- glucósido). Yang *et al.,* (2020), por su parte, indican un contenido total de antocianinas de entre 5.6 a 45.5 mg/100 g. En otros cultivares de frambuesas rojas como ‘Tulameen’ y ´Kweli’ se reportan contenidos de antocianinas bajo una fertilización orgánica de 50.2 y 93.6 mg/100 g (Anjos *et al.,* 2020). Por otra parte, Zaar *et al.,* (2016), indican menor contenido de antocianinas bajo el túnel respecto al exterior en frambuesa ‘Erika’ con valores de entre 30 a 35 mg/100 g. Las ligeras reducciones en el contenido total de antocianinas bajo el túnel puede explicarse debido a la menor cantidad y bloqueo de luz (UV) que ejerce la cubierta plástica, tal como suponen Kassim *et al.,* (2009) en frambuesas rojas.

En cuanto al ácido elágico el contenido fue muy similar entre ambos tratamientos, siendo en el mes de julio bajo el túnel cuando se observó el mayor contenido con

3.11 mg/100 g. El contenido bajo el túnel osciló entre 1.78 y 3.11 mg/100 g con tendencia a disminuir hacia el final del ciclo, mientras que al exterior el contenido varió entre los 2.4 y 2.66 mg/100 g. Yang *et al.,* (2020), indican contenidos de ácido elágico de entre 2.74 y 2.9 mg/100 g siendo valores muy similares a los encontrados en este trabajo. Igualmente, Bobinaitė *et al.,* (2012) reporta en múltiples variedades contenidos de ácido elágico desde 2.0 a 5.5 mg/100 g de peso fresco. Se ha determinado que el ácido elágico libre solo es una pequeña parte de la reserva total de ácido elágico en los frutos de frambuesa, ya que los elagitaninos son la fuente principal fuente de ácido elágico tras liberación por hidrólisis ácida (Rommel *et al.,* 1993). Los principales elagitaninos encontrados en las frambuesas son la sanguiina H-6 y lambertianina C (Bobinaitė *et al.,* 2012). Al consumir alimentos con elagitaninos, el tracto gastrointestinal humano puede hidrolizarlos para liberar ácido elágico (Landete, 2011).

El contenido de catequina, al igual que el ácido elágico se comportó de manera similar bajo ambos tratamientos con contenidos bajo el túnel que van de los 7.08 a 8.37 mg/100 g, mientras que al exterior fueron de 7.99 a 8.86 mg/100 g. Yang *et al.,* (2020) indican un contenido entre 0.1 mg/100 g. El ácido clorogénico presentó un contenido bajo el túnel de 1.92 a 2.56 mg/100 g, mientras que al exterior el contenido osciló entre los 1.79 a 2.39 mg/100 g. Yang *et al.,* (2020), indican un contenido de 0.07 a 0.09 mg/100 g, mientras que en otros cultivares como ‘Tulameen’ se reporta entre 1.9 y 3.0 mg/100 g.

Se conoce que varios factores climáticos como la intensidad y tipo de luz, y las temperaturas influyen en la síntesis de varias clases de metabolitos secundarios (Jaakola *et al.,* 2010), por lo que las condiciones climáticas generadas, especialmente un aumento en la temperatura máxima y menores niveles de radiación propician una reducción en la síntesis de determinadas clases de fitoquímicos tal y como se ha reportado previamente (Bradish *et al.,* 2012; Kassim *et al.,* 2009). Posiblemente la reducción en determinadas clases de compuestos fenólicos se debe tanto a las modificaciones en las condiciones climáticas al interior a causa de la composición y propiedades de las películas plásticas empleadas en

túneles e invernaderos, ya que la mayoría cuenta con aditivos para ofrecer protección ante rayos UV. Previamente se ha reportado que las plantas responden ante la luz ultravioleta desencadenando la activación de determinados genes responsables en la biosíntesis de flavonoides ya que estos actúan como fotoprotectores (Shirley, 1996). La luz se ha catalogado como uno de los componentes más importantes en la pigmentación de diversos órganos en las plantas. Dong *et al.,* (1998), encontraron que los pétalos de manzana 'Royal Gala' bajo condiciones carentes de luz UV antes de la antesis, eran completamente blancos en relación con los sí expuestos, tras permitir la incidencia de la luz UV estos retornaban a su color característico atribuyendo que esta clase de luz incidía directamente sobre la biosíntesis de antocianinas.

Josuttis *et al.,* (2010), indican reducciones significativas en el contenido de la antocianina cianidina 3-glucósido en fresas de los cultivares 'Elsanta' y 'Everest' cultivadas bajo película plástica con protección UV, respecto a los frutos obtenidos de campo abierto y películas plásticas sin bloqueo, además un análisis de componentes principales indica influencia del bloqueo UV, en este trabajo el contenido de cianidina 3-glucósido disminuye ligeramente bajo túnel en relación al exterior (Cuadro 16). Otros resultados por dicho autor también indican que la fecha de muestreo influye en el contenido de antocianinas, resultado de las condiciones que prevalecen en cada fecha previa de muestreo a la que está expuesta la fruta hasta la madurez. Otros compuestos fenólicos influenciados por el bloqueo de luz UV en fresas, fueron la quercetina 3-glucorónido con reducciones hasta del 85 % en relación con las frutas de campo abierto, al igual que el kaempferol 3-glucósido y el kaempferol 3-glucurónido con reducciones atribuidas al bloqueo de luz UV.

Compuestos precursores de las quercetinas y cianidinas como la dihidroquercetina y el eriodctyol en la ruta de biosíntesis de los flavonoides se cree están influenciados por genes a consecuencia de la disminución de luz UV, no así para otros compuestos (Josuttis *et al.,* 2010).

Spayd *et al.,* (2002), indican que la exposición al sol en bayas de uva 'Merlot' incrementan las concentraciones de antocianinas en la piel. Por otro lado, la

temperatura también afecta la síntesis de fitoquímicos, al respecto Wang *et al.,* (2001), al cultivar fresas 'Earliglow' y 'Kent' indican que la actividad antioxidante se incrementa en los frutos obtenidos de plantas bajo temperaturas de 30/22 °C día y noche respectivamente, debido al incremento en el contenido compuestos fenólicos entre ellos la antocianina cianidina 3-glucósido, mientras que Mazur *et al.,* (2014a), indican que la cianidina 3-soforósido se incrementó cuando las temperaturas disminuyeron. Schwartz *et al.,* (2009), evaluaron la calidad de fruto en múltiples selecciones de granada cultivada en dos ubicaciones diferentes en Israel, indicando que el contenido de antocianinas fue superior en la ubicación con temperaturas menos cálidas respecto a la ubicación con las temperaturas más altas. También indican que el color se redujo atribuido a la menor síntesis de antocianinas.

Por otra parte, se ha indicado que el contenido de fenoles está relacionado con la cantidad de luz, ya que un excede de luz afecta la capacidad de las enzimas fotosintéticas y puede dañar las celular, por lo que se ha propuesto que el incremento de fenoles representa una respuesta a condiciones de estrés lumínico (Spitaler *et al.,* 2008).

Cuadro 16. Contenido de compuestos fenólicos en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo en mg/100 g de peso fresco.

Compuesto	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior
Cianidina 3-soforósido	20.38 ± 0.83 c	---	21.54 ± 0.56 c	22.73 ± 0.47 c	29.55 ± 0.67 b	28.87 ± 0.37 b	30.07 ± 0.95 b	27.41 ± 0.22 b	34.46 ± 0.82 a	--
Cianidina 3-glucósido	25.0 ± 0.48 c	---	20.38 ± 0.52 c	21.33 ± 0.24 c	29.67 ± 0.39 ab	32.17 ± 0.52 a	27.78 ± 0.91 b	27.68 ± 0.23 b	30.49 ± 0.44 ab	---
Cianidina 3-(2-glucosilrutinósido)	6.44 ± 0.39 c	---	5.52 ± 0.15 c	5.94 ± 0.06 c	7.82 ± 0.11 b	9.67 ± 0.18 a	7.29 ± 0.25 bc	7.66 ± 0.04 b	9.59 ± 0.25 a	---
Total antocianinas	51.82	---	47.44	50	67.04	70.71	65.14	62.75	74.54	---
Ácido elágico	3.11 ± 0.10 a	---	2.35 ± 0.05 b	2.66 ± 0.04 ab	2.40 ± 0.23 ab	2.52 ± 0.11 ab	2.16 ± 0.09 b	2.40 ± 0.12 ab	1.78 ± 0.31 b	---
Catequina	8.19 ± 0.33 ab	---	8.37 ± 0.08 ab	8.86 ± 0.23 a	7.08 ± 0.13 b	7.99 ± 0.16 ab	7.68 ± 0.22 b	8.02 ± 0.05 ab	7.54 ± 0.44 b	---
Ácido clorogénico	1.98 ± 0.03 bc	---	2.19 ± 0.05 ab	2.39 ± 0.10 ab	1.92 0.07 bc	1.79 ± 0.03 c	1.98 ± 0.11 bc	2.12 ± 0.06 b	2.56 ± 0.08 a	---
Total	65.1	---	60.35	63.91	78.44	83.01	76.96	75.29	87.42	---

Valores en filas con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Valores representan la media de 4 repeticiones ± el error estándar

4.5.6 Azúcares y ácidos orgánicos individuales

La fruta analizada presentó sacarosa, glucosa y fructosa como los 3 principales azúcares. La contribución individual de cada azúcar al total bajo el túnel fue del 7 al 11 % para la sacarosa, del 39.6 al 42.3 % para la glucosa y del 49.2 al 50.5 % para la fructosa. Por otro lado, para el exterior la aportación individual de cada azúcar fue del 5.2 al 5.6 % para la sacarosa, del 43.7 al 44.4 % para la glucosa y del 50.3 al 50.6 % para la fructosa. (Cuadro 17).

En lo que respecta al contenido de sacarosa se observó una tendencia bajo el túnel a presentar un contenido superior en todas las fechas analizadas, especialmente en julio, septiembre y octubre. El menor contenido bajo el túnel se registró en el mes de noviembre con 139.7 mg/100 g y el valor más alto se registró en septiembre con 675.5 mg/100 g, mientras tanto al exterior el menor contenido fue de 202.6 mg/100 g en agosto, alcanzando el mayor contenido en 316.9 mg/100 g en septiembre y disminuyendo nuevamente en octubre. Bajo el túnel el contenido de sacarosa se incrementó en un 20.58, 113.15 y 89.95 % durante los meses de agosto, septiembre y octubre respectivamente (Cuadro 17). Esta reportado que esta azúcar es una de las principales que se trasloca vía floema en las plantas desde las hojas (fuentes), hasta los puntos en crecimiento como meristemos, raíces, tallos, flores y frutos (sumideros). Posteriormente cada azúcar procedente de la fotosíntesis se convierte en varios azúcares una vez en la fruta por medio de varias enzimas, por ejemplo, la invertasa convierte la sacarosa en glucosa y fructosa, o en fructosa y glucosa mediante la enzima sacarosa sintasa, sorbitol deshidrogenasa convierte el sorbitol en fructosa o glucosa. La rafinosa y la estaquiosa se convierten en galactosa, glucosa y fructosa por la α-galactosidasa y la invertasa. La sacarosa translocada en la fruta generalmente se descompone en glucosa, fructosa o UDP glucosa por la sacarosa sintasa o invertasa, luego la sacarosa fosfato sintasa funciona activamente para re-sintetizar la sacarosa en la fruta (Yamaki, 2010).

Adicionalmente se ha encontrado que la sacarosa también actúa como un compuesto señal, comunicando información entre diferentes partes de la planta en

relación con las condiciones exteriores (Koch, 1996). Por ejemplo, Rosales *et al.,* (2007) en tomate 'Naomi' indican una reducción de sacarosa cuando se presentó una combinación de alta radiación y temperatura, por el contrario el contenido de fructosa, glucosa y almidón se incrementó por acción de la sacarosa sintasa, sugiriendo que el aumento de la actividad enzimática de la sacarosa sintasa contribuye a los mecanismos de defensa antioxidante al suministrar precursores (glucosa y fructosa) de compuestos antioxidantes con el fin de minimizar la acumulación de especies reactivas de oxígeno (EROS) y así reducir el daño celular. Según los resultados de azúcares (Cuadro 17), tanto los contenidos de fructosa y glucosa son superiores en campo abierto donde si bien la temperatura máxima fue ligeramente menor, la radiación fue hasta 3 veces superior respecto al interior del túnel.

Por otra parte, el contenido de glucosa presentó un comportamiento inverso al de la sacarosa ya que bajo el túnel el contenido disminuyó en todas las fechas analizadas, además, se observa una ligera tendencia a incrementarse hacia final de la temporada, bajo el túnel el contenido osciló entre 1,453.9 en el mes de agosto a 1,841.4 mg/100 g en el mes de noviembre, mientras que al exterior fue de 1,710.2 en septiembre a 2039.9 mg/100 g en octubre. La reducción que presentó el túnel respecto al exterior fue del 15.72, 7.58 y 13.13 % durante el periodo de agosto a octubre (Cuadro 17).

La fructosa por su parte también presentó contenidos ligeramente superiores al exterior respecto al túnel especialmente en el mes de agosto, y al igual que la glucosa, también se observa una tendencia a incrementarse hacia final del ciclo bajo ambos tratamientos; bajo el túnel el contenido osciló entre 1,722.9 en agosto a 2,199.5 en el mes de octubre, mientras que al exterior fue de 1,955.9 en agosto a 2,356.6 mg/100 g en octubre. La reducción que presentó bajo túnel respecto al exterior en el contenido de fructosa fue del 11.91, 6.78 y 6.66 % durante el periodo de agosto a octubre (Cuadro 17). Se ha reportado que la fructosa es más dulce que la glucosa o la sacarosa, la concentración de esta azúcar es un rasgo organoléptico deseable en los frutos ya que la mayoría de los consumidores prefieren frutas más

dulces (Wang *et al.,* 2009). En cuanto a los ácidos orgánicos, bajo el túnel el contenido fue menor prácticamente en todas las fechas (Cuadro 18) lo que podría compensar la menor cantidad de fructosa, ya que un fruto percibido como dulce no necesariamente debe tener altos contenidos de azúcar, es decir que puede contener niveles más bajos de ácidos orgánicos (Mikulic-Petkovsek *et al.,* 2015).

La literatura indica diferentes contenidos de azucares, por ejemplo, Wang, (2003) indica concentraciones de 3,320, 2,140 y 680 mg/100 g de peso fresco de fructosa, glucosa y sacarosa en el cultivar de frambuesa 'Heritage' producido en Beltsville, Maryland, EUA. En Turquía se ha reportado concentraciones similares (3,510, 2430 y 1,020 mg/100 g) (Çekiç *et al.,* 2010) y (3,448, 2,666 y 1,091 mg/100 g) (Kafkas *et al.,* 2008). En frambuesa primocaña 'Autumn Bliss' Wang *et al.,* (2005), observaron la misma tendencia entre la concentración de los azúcares, donde la fructosa es la predominante, siendo 1.8 veces más dulce que la sacarosa (Doty, 1976). Por lo tanto, la concentración de cada uno de los azúcares tiene un impacto sobre el sabor y percepción final de la fruta (Yamaki, 2010). Mikulic-Petkovsek *et al.,* (2012), como niveles de referencia en frambuesas cultivadas reporta un contenido de glucosa de 2,120 mg/100 g, 2,420 mg/100 g de fructosa, mientras que no indica contenido de sacarosa. En variedades más recientes por ejemplo ´Polka' se indica un contenido de 4,700 a 4,800 mg/100 g de fructosa, de 1,400 a 1,900 mg/100 g para glucosa y de 3,500 a 5,800 mg/100 g de sacarosa bajo manejo orgánico, aunque el manejo (orgánico vs convencional) no tuvo efectos significativos en la composición, en este caso el contenido de sacarosa es similar a la fructosa (Ponder *et al.,* 2020).

La acumulación de azúcares en frutos de frambuesa implica la movilización de las reservas de almidón desde el sistema radicular, cañas y de la translocación de carbohidratos desde la hoja. Estos fotosintatos (azúcares producidos por la fotosíntesis) se transportan a sitios de crecimiento activo donde se necesitan azúcares para apoyar el crecimiento de nuevos tejidos. Mientras tanto, Yamaki, (2010), menciona que los foto asimilados en el fruto dependen en mayor medida de los traslocados desde las hojas vía floema. En este caso las frutas representan

fuertes sumideros de fotosintatos y esta es la fuerza que influye en el grado de translocación.

Por lo tanto, las concentraciones de azúcar varían a lo largo del desarrollo de la fruta según el suministro vía floema, los cambios en el metabolismo de la fruta entre otros. Algunos trabajos indican un incremento en el contenido de azúcares con variables como la proporción hoja: fruto cuando esta se incrementa. También se indica que plantas con mayor área foliar pueden una mayor capacidad fotosintética y con una carga de frutos especifica pueden tener niveles más altos de determinados azúcares (Zhou *et al.,* 2000). En este caso las plantas bajo el túnel presentaron una mayor carga de frutas (Cuadro 14), por lo tanto, existieron mayores sitios de demanda de fotosintatos lo que podría haber contribuido en el menor contenido de azúcares.

En cuanto al contenido de ácidos orgánicos, el ácido cítrico fue el predominante en frutos de frambuesa 'Heritage' (Cuadro 18), el cual varió según la fecha y condición de manejo, además de disminuir ligeramente el contenido bajo el túnel respecto al exterior. El mayor contenido se obtuvo durante el mes de agosto al exterior (2196.3 mg/100 g.) para posteriormente disminuir hacia finales de temporada en octubre (1942.3 mg/100 g), bajo el túnel los mayores contenidos se obtuvieron durante el periodo septiembre y octubre (1890.5 y 1957.8 mg/100 g) y los niveles más bajos se observaron al comienzo de temporada en julio y agosto (1541.9 y 1600.7 mg/100 g). Lo anterior indica que el ácido cítrico representó entre el 77.1 y 83.2 % del contenido total de ácidos bajo el túnel, mientras que al exterior fue del 78.8 al 81.5 %. Otros informes reportan que el ácido cítrico representa aproximadamente el 90 %, con un contenido de 1,782.02 mg/100 g (de Ancos *et al.,* 1999). En frambuesa 'Polka' se reporta un contenido de ácido cítrico desde los 1380 a 1830 mg/100 g, ligeramente inferior aunque es un cultivar más reciente que 'Heritage' (Ponder *et al.,* 2020). Mikulic-Petkovsek *et al.,* (2012) como referencia a frambuesas cultivadas reporta un contenido de 1080 mg/100 g de ácido cítrico.

De manera similar algunos informes indican contenido de otros ácidos orgánicos en frutos de frambuesa 'Heritage' como el succínico con valores de 101.29 mg/100 g,

0.27 mg/100 g de ácido fumárico, de ácido ascórbico de 21.26 mg/100 g (de Ancos *et al.,* 1999), mientras que en este trabajo se encontraron valores de entre 164.14 a 315.57 mg/100 g bajo el túnel y de 227.87 a 239.45 mg/100 g al exterior, es decir contenidos superiores en ácido succínico, contenidos de ácido fumárico de entre 0.61 a 1.02 mg/100 g bajo el túnel además de observarse diferencias estadísticas entre ambas condiciones donde al exterior se obtuvieron mayores contenidos que van desde los 1.13 a 1.29 mg/100 g.

En lo que respecta al ácido ascórbico en la mayor parte del periodo de evaluación se encontraron diferencias significativas entre el túnel y al exterior, donde en este último se obtuvieron contenidos que oscilaron entre 42.06 y 47.26 mg/100 g de peso fresco contra contenidos bajo el túnel entorno a los 38.39 a 40.93 mg/100 g.

Diversos autores indican diferentes contenidos, resaltando la variación generada por el sitio, cultivar y condiciones climáticas. Por ejemplo, Tosun *et al.,* (2009) en Turquía indica un contenido de 24 mg/100 g en frambuesa 'Heritage' aunque no se indica el sistema de producción utilizado, al igual que Pantelidis *et al.,* (2007) con un contenido entre 31 y 32 mg/100 g. Por su parte Kazimierczak *et al.,* (2016) en Polonia en los cultivares de frambuesa primocaña 'Polka' y 'Polana' indican contenidos de 41 mg/100 g, sin diferencias entre cultivo orgánico y convencional. Ochoa *et al.,* (1999) indican contenidos desde los 16 a los 28 mg/100 g en diversos cultivares, mientras que en 'Heritage' reportan 21. 9 mg/100 g. En el cultivar 'Polka' se reportan contenidos desde los 25 a 32.8 mg/100 g, sin diferencias entre sistemas orgánico y convencional (Ponder *et al.,* 2020). Schwartz *et al.,* (2009). En cuanto al ácido cítrico, algunos autores indican que los frutos de procedentes de regiones con temperaturas más frescas contenían mayores cantidades de ácido cítrico respecto a la ubicación cálida. Sugiriendo que el aumento de la temperatura disminuyó la producción de citrato. Esto coincide con el contenido de ácido cítrico encontrado bajo la cubierta plástica, donde las temperaturas fueron más cálidas al interior del túnel (Cuadro 6).

Otros informes también han observado una ligera reducción en el ácido ascórbico bajo túneles de polietileno respecto al exterior, por ejemplo Zaar *et al.,* (2016), en

frambuesa ‘Erika’ con valores entorno a los 20.8 a 21.4 mg/100 g. Tamaoki *et al.,* (2003) mencionan que el contenido de vitamina C de la planta está bajo la influencia de factores ambientales y especialmente la luz, algunos informes indican que los niveles de luz influyen sobre la expresión génica que participa en la síntesis de ácido ascórbico (Dowdle *et al.,* 2007). También el incremento de luz puede promover el contenido de vitamina C a través de una mayor acumulación de azúcar lo que desencadena una mayor síntesis de vitamina C, ya que los azúcares son importantes sustratos para la biosíntesis de vitamina C (Wheeler *et al.,* 1998).

En otros frutos como el tomate, Lester, (2006), indica que los frutos procedentes de invernadero presentaron contenidos más bajos de azúcares y vitamina C que los que se cultivan al aire libre, posiblemente debido a la menor intensidad de luz provocado por la cubierta plástica. En este trabajo, la cantidad de luz recibida al exterior es casi 3 veces superior (Figura 7), así mismo la cantidad de fructosa y glucosa, y en general el contenido total de azúcares fue superior. También se ha indicado que los bajos niveles de sacarosa en frutos de tomate puede indicar un aumento de la actividad enzimática de la sacarosa sintasa la cual contribuye a los mecanismos de defensa antioxidante al suministrar azúcares precursores (glucosa y fructosa) de compuestos antioxidantes con el fin de minimizar la acumulación de especies reactivas de oxígeno (EROS) y así reducir el daño celular (Rosales *et al.,* 2007). En brócoli, Nishikawa *et al.,* (2005), indican que el aumento del contenido de sacarosa mejora la expresión de genes involucrados en la biosíntesis del ácido ascórbico. Por otra parte otros autores indican que la luz es el factor más importante que regula el contenido de vitamina C de la fruta (Massot *et al.,* 2010).

Por lo tanto la reducción de ácido ascórbico en los frutos es un factor importante sobre la calidad bioactiva de la fruta procedente de ambientes protegidos debido a las amplias propiedades sobre la salud de este compuesto (Lester, 2006; Naidu, 2003).

El total de ácidos orgánicos es superior al exterior durante todo el periodo de evaluación con valores que van desde 2,464.3 a 2,692.26 mg/100 g, con tendencia a disminuir hacia el mes de octubre, mientras que bajo el túnel disminuyen

aproximadamente entre un 9.71 a 18.7 % con valores que oscilan entre los 2,001.88 a 2,430.58 mg/100 g, alcanzando el mayor contenido en el mes de octubre. de Ancos *et al.,* (1999), indican un total de ácidos orgánicos en frambuesa 'Heritage' de 2083.04 mg/100 g, muy similar a lo encontrado en el presente trabajo y menores a los indicados por Ponder *et al.,* (2020) en el cultivar 'Polka' con contenidos desde los 1430 a1880 mg/100 g.

Cuadro 17. Contenido de azúcares en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de producción en mg/100 g de peso fresco

Compuesto	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior
Sacarosa	528.1 ± 12.04 b	---	244.3 ± 5.66 de	202.6 ± 5.33 e	675.5 ± 13.53 a	316.9 ± 10.32 c	495.6 ± 4.06 b	260.9 ± 4.86 d	139.7 ± 4.82 f	--
Glucosa	1507.7 ± 16.96 de	---	1453.9 ± 20.1 e	1725.1 ± 11.3 c	1580.46 ± 9.14 d	1710.2 ± 28.5 c	1771.9 ± 21.4 bc	2039.9 ± 14.6 a	1841.4 ± 36.5 b	---
Fructosa	1884.4 ± 20.2 de	---	1722.9 ± 26.2 e	1955.9 ± 16.1 cd	1875.5 ± 16.3 de	2012.1 ± 34.9 cd	2199.5 ± 74.0 ab	2356.6 ± 18.2 a	2123.9 ± 50.3 bc	---
Total	3920.38	---	3421.31	3883.71	4131.57	4039.32	4467.19	4657.59	4105.11	---

Valores en filas con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Valores representan la media de 4 repeticiones ± el error estándar

Cuadro 18. Contenido de ácidos orgánicos en frutos de frambuesa 'Heritage' bajo dos condiciones de manejo en mg/100 g de peso fresco

Ácido	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior	Túnel	Exterior
Oxálico	2.88 ± 0.11 b	---	3.35 ± 0.12 ab	2.72 ± 0.14 b	1.73 ± 0.08 c	3.72 ± 0.19 a	2.22 ± 0.03 bc	2.83 ± 0.05 b	1.29 ± 0.08 c	--
Tartárico	17.2 ± 1.1 bc	---	8.6 ± 0.5 d	18.1 ± 0.26 b	14.4 ± 1.1 c	21.66 ± 0.62 a	16.91 ± 0.80 bc	15.46 ± 0.36 bc	10.95 ± 0.74 cd	---
Ascórbico	39.40 ± 1.22 c	---	40.93 ± 0.49 bc	46.47 ± 0.57 ab	38.61 ± 0.48 c	47.26 ± 2.02 a	39.68 ± 1.64 c	42.06 ± 1.53 abc	38.39 ± 0.35 c	---
Quínico	165.02 ± 6.32 d	---	143.97 ± 2.97 e	188.06 ± 1.44 c	161.74 ± 5.36 d	194.20 ± 1.03 c	201.88 ± 2.33 bc	229.74 ± 2.39 a	209.29 ± 1.37 b	---
Succínico	233.28 ± 9.16 b	---	203.72 ± 12.36 b	239.45 ± 3.32 b	164.14 ± 1.97 c	227.87 ± 2.03 b	211.07 ± 13.56 b	230.78 ± 3.70 b	315.57 ± 5.18 a	---
Fumárico	0.70 ± 0.01 c	---	0.61 ± 0.002 c	1.16 ± 0.02 ab	1.01 ± 0.007 b	1.29 ± 0.07 a	1.02 ± 0.02 b	1.13 ± 0.02 ab	0.96 ± 0.01 b	---
Cítrico	1,549.1 ± 65.2 d	---	1,600.7 ± 29.3 cd	2,196.3 ± 13.4 a	1,890.5 ±14.7 b	2,020.6 ± 15.6 b	1,957.8 ± 41.6 b	1,942.3 ± 18.0 b	1,704.6 ± 26.2 c	---
Total	2,007.58	---	2,001.88	2,692.26	2,272.13	2,516.6	2,430.58	2,464.3	2,281.05	---

Valores en filas con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Valores representan la media de 4 repeticiones ± el error estándar.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados anteriores se concluye que el uso de cubiertas plásticas en el cultivo de frambuesa en la región de Cuauhtémoc Chih, adelanta y extiende ligeramente el periodo de crecimiento y de cosecha. Además, se mejoran algunos rasgos productivos importantes en la arquitectura de caña, lo que origina un mayor rendimiento bajo esta condición de cultivo. También se observó que bajo la cubierta plástica se requiere aún más que al exterior, contar con un estricto control sobre la densidad de cañas con la finalidad de reducir el sombreo y competencia entre las mismas. En cuanto a la calidad de fruto, aunque no hay cambios exteriores significativos, el contenido de algunos compuestos bioactivos importantes para la salud humana, entre ellos algunas clases de fenoles y ácido ascórbico disminuyen ligeramente en los frutos obtenidos bajo la cubierta en relación a los de campo abierto.

VI. LITERATURA CITADA

Adams, Z., J. Ehlting, and R. Edwards (2019). The regulatory role of shikimate in plant phenylalanine metabolism. *Journal of theoretical biology* 462:158-170.

Alvarado-Raya, H. E., E. Avitia-García, and A. M. Castillo-González (2016). Producción de frambuesa 'Autumn Bliss' con diferentes densidades de caña en el Valle de México* Production of 'Autumn Bliss' raspberry with different cane densities in the Valley of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(1):17-29.

Aman, A., S. Sinha, and R. Rajan (2018). Potentiality of protected cultivation in fruit crops: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(2):3557-3560.

Anderson, J., E. Richardson, and C. Kesner (1986). Validation of Chill Unit and Flower Bud Phenology Models for'Montmorency'Sour Cherry. *Acta Horticulturae* 184:71-78.

Anjos, R., F. Cosme, A. Gonçalves, F. M. Nunes, A. Vilela, and T. Pinto (2020). Effect of agricultural practices, conventional vs organic, on the phytochemical composition of 'Kweli'and 'Tulameen'raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Food Chemistry*:126833.

Anthon, G. E., Y. Sekine, N. Watanabe, and D. M. Barrett (2002). Thermal inactivation of pectin methylesterase, polygalacturonase, and peroxidase in tomato juice. *Journal of agricultural and food chemistry* 50(21):6153-6159.

Anttonen, M. J., and R. O. Karjalainen (2005). Environmental and genetic variation of phenolic compounds in red raspberry. *Journal of Food Composition and Analysis* 18(8):759-769.

Bañados, M., J. Zoffoli, A. Soto, and J. González (2001). Fruit firmness and fruit retention strength in raspberry cultivars in Chile. *Acta Horticulturae*:489-493.

Black, B. L., T. Maughan, C. Nolasco, and B. Christensen (2019). Advancing Primocane-fruiting Raspberry Production in the Intermountain West Using Spring Protection. *HortScience* 54(3):476-479.

Blázquez, M. A., and D. Weigel (2000). Integration of floral inductive signals in *Arabidopsis*. *Nature* 404(6780):889-892.

Blomgren, T., and T. Frisch (2007). High Tunnels: using low-cost technology to increase yields, improve quality, and extend the season. University of Vermont Center for Sustainable Agriculture. Vermont. 47-50.

Bobinaitė, R., P. Viškelis, and P. R. Venskutonis (2012). Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. *Food Chemistry* 132(3):1495-1501.

Bobinaitė, R., P. Viškelis, and P. R. Venskutonis. 2016. Chemical composition of raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. In *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*: Elsevier, 713-731.

Bonnans, S., and A. Noble (1993). Effect of sweetener type and of sweetener and acid levels on temporal perception of sweetness, sourness and fruitiness. *Chemical senses* 18(3):273-283.

Both, A.-J., E. Reiss, J. Sudal, K. Holmstrom, C. Wyenandt, W. Kline, and S. Garrison (2007). Evaluation of a manual energy curtain for tomato production in high tunnels. *HortTechnology* 17(4):467-472.

Bradish, C., P. Perkins-Veazie, G. Fernandez, G. Xie, and W. Jia (2012). Comparison of flavonoid composition of red raspberries (*Rubus idaeus* L.) grown in the southern United States. *Journal of agricultural and food chemistry* 60(23):5779.

Bradish, C. M., G. G. Yousef, G. Ma, P. Perkins-Veazie, and G. E. Fernandez (2015). Anthocyanin, carotenoid, tocopherol, and ellagitannin content of red raspberry cultivars grown under field or high tunnel cultivation in the Southeastern United States. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 140(2):163-171.

Bray, R. H., and L. Kurtz (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science* 59(1):39-46.

Bushway, L. J., M. P. Pritts, and D. T. Handley (2008). Raspberry and blackberry production guide for the Northeast, Midwest, and Eastern Canada. NRAES-35. Ithaca, New York.

Campoy, J., D. Ruiz, and J. Egea (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Scientia Horticulturae* 130(2):357-372.

Cantuarias-Avilés, T., S. R. d. Silva, R. B. Medina, A. F. G. Moraes, and M. F. Alberti (2014). Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 36(1):139-147.

Carew, J. G., T. Gillespie, J. White, H. Wainwright, R. Brennan, and N. H. Battey (2000). The control of the annual growth cycle in raspberry. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75(5):495-503.

Çekiç, Ç., and M. Özgen (2010). Comparison of antioxidant capacity and phytochemical properties of wild and cultivated red raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* 23(6):540-544.

Cera-Campos, J. I., J. L. Jacobo-Cuellar, M. J. Rodriguez-Roque, R. Á. Parra-Quezada, M. C. Soto-Caballero, R. Perez-Leal, and O. Cruz-Alvarez (2019). Vegetative growth and quality of blueberry fruit cultivated in Chihuahua, Mexico. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(2):450-457..

Chouard, P. (1960). Vernalization and its relations to dormancy. *Annual Review of Plant Physiology* 11(1):191-238.

Clark, J. R., J. N. Moore, J. Lopez-Medina, C. Finn, and P. Perkins-Veazie (2005). Prime-Jan'(APF-8') andPrime-Jim'(APF-12') Primocane-fruiting Blackberries. *HortScience* 40(3):852-855.

Clark, J. R., and P. Perkins-Veazie (2011). 'APF-45'primocane-fruiting blackberry. *HortScience* 46(4):670-673.

Clark, J. R., and A. Salgado (2016). 'Prime-Ark® Traveler'Primocane-fruiting Thornless Blackberry for the Commercial Shipping Market. *HortScience* 51(10):1287-1293.

Contreras, E., J. Grez, J. A. Alcalde, D. Neri, and M. Gardella (2019a). Effect of low temperature in the first development stage for five red raspberry genotypes. *Horticultural Science* 46(1):9-16.

Contreras, E., J. Grez, S. Sánchez, J. A. Alcalde, D. Neri, and M. Gambardella (2019b). Low night temperatures during the early growth phase enhance flowering in primocane shoots of red raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Journal of Berry Research* 9(3):499-514.

Cowan, J. S., C. A. Miles, P. K. Andrews, and D. A. Inglis (2014). Biodegradable mulch performed comparably to polyethylene in high tunnel tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(9):1854-1864.

Crandall, P. C. 1995. *Bramble production. The management and marketing of raspberries and blackberries. The Haworth Press, Binghamton, New York, USA, p. 213.*

Dale, A. (1989). Productivity in Red Raspberries. *Horticultural Reviews* 11:185-228.

Dale, A., S. Pirgozliev, E. King, and A. Sample (2005). Scheduling primocane-fruiting raspberries (*Rubus idaeus* L.) for year-round production in greenhouses by chilling and summer-pruning of canes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80(3):346-350.

Dale, A., A. Sample, and E. King (2003). Breaking dormancy in red raspberries for greenhouse production. *HortScience* 38(4):515-519.

Darnell, R. L., H. E. Alvarado, J. G. Williamson, B. Brunner, M. Plaza, and E. Negrón (2006). Annual, off-season raspberry production in warm season climates. *HortTechnology* 16(1):92-97.

de Ancos, B., E. Gonzalez, and M. P. Cano (1999). Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A* 208(1):33-38.

De Souza, V. R., P. A. P. Pereira, T. L. T. Da Silva, L. C. de Oliveira Lima, R. Pio, and F. Queiroz (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food chemistry* 156:362-368.

Dela, G., E. Or, R. Ovadia, A. Nissim-Levi, D. Weiss, and M. Oren-Shamir (2003). Changes in anthocyanin concentration and composition in 'Jaguar'rose flowers due to transient high-temperature conditions. *Plant Science* 164(3):333-340.

Dijkstra, J., and A. Scholtens. 1993. Growing early and late raspberries in containers. Paper read at VI International Symposium on Rubus and Ribes 352.

Dong, Y.-H., L. Beuning, K. Davies, D. Mitra, B. Morris, and A. Kootstra (1998). Expression of pigmentation genes and photo-regulation of anthocyanin biosynthesis in developing Royal Gala apple flowers. *Functional Plant Biology* 25(2):245-252.

Doty, T. (1976). Fructose sweetness: a new dimension. *Cereal Foods World* 21:62-63.

Dowdle, J., T. Ishikawa, S. Gatzek, S. Rolinski, and N. Smirnoff (2007). Two genes in *Arabidopsis thaliana* encoding GDP-L-galactose phosphorylase are required for ascorbate biosynthesis and seedling viability. *The Plant Journal* 52(4):673-689.

Dueck, T., J. Janse, T. Li, F. Kempkes, and B. Eveleens (2012). Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. *Acta Horticulturae* (956):75-82.

Elnesr, M. N., A. A. Alazba, and A. A. Alsadon (2013). An arithmetic method to determine the most suitable planting dates for vegetables. *Computers and electronics in agriculture* 90:131-143.

Erwin, J. E., R. D. Heins, and M. G. Karlsson (1989). Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum*. *American Journal of Botany* 76(1):47-52.

Espinal-Montes, V., I. L. L. Cruz, A. R. Aguilar, E. R. Kriuchkova, and A. R. Arias (2015). Determinación de los gradientes térmicos nocturnos en un invernadero usando dinámica de fluidos computacional. *Agrociencia* 49(3):233-247.

Fan, S., D. G. Bielenberg, T. N. Zhebentyayeva, G. L. Reighard, W. R. Okie, D. Holland, and A. G. Abbott (2010). Mapping quantitative trait loci associated with chilling requirement, heat requirement and bloom date in peach (*Prunus persica*). *New Phytologist* 185(4):917-930.

FAOSTAT, F. (2017). Disponible online: http://www. fao. org/faostat/en/# data. *QC (Accesado en Agosto 2018)*.

Fernandez, G., and M. Pritts (1994). Growth, Carbon Acquisition, and Source-Sink Relationships inTitan'Red Raspberry. *HortScience* 29(4): (4), 248b-248.

Fernandez, G. E., and J. R. Ballington (2010). Performance of primocane-fruiting experimental blackberry cultivars in the Southern Appalachian Mountains. *HortTechnology* 20(6):996-1000.

Finn, C., and J. Hancock. 2008. Raspberries. In *Temperate Fruit Crop Breeding*, edited by H. J. F. (eds). Dordrecht: Springer, 359-392.

Forney, C. F., A. R. Jamieson, K. D. M. Pennell, M. A. Jordan, and S. A. Fillmore (2015). Relationships between fruit composition and storage life in air or controlled atmosphere of red raspberry. *Postharvest Biology and Technology* 110:121-130.

Frias-Moreno, M. N., G. I. Olivas-Orozco, G. A. Gonzalez-Aguilar, Y. E. Benitez-Enriquez, A. Paredes-Alonso, J. L. Jacobo-Cuellar, N. A. Salas-Salazar, D. L. Ojeda-Barrios, and R. Á. Parra-Quezada (2019). Yield, Quality and Phytochemicals of Organic and Conventional Raspberry Cultivated in Chihuahua, Mexico. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(2):522-530.

Funt, R. C., and H. K. Hall. 2013. *Raspberries*, Vol. 23, *CROP PRODUCTION SCIENCE IN HORTICULTURE SERIES*. UK: Cabi, 282.

Galindo-Reyes, M., V. González-Hernández, A. Muratalla-Lúa, R. Soto-Hernández, and M. Livera-Muñoz (2004). Producción forzada en zarzamora ‘Comanche’mediante reguladores de crecimiento. *Rev. Chapingo S. Hort* 10(2):205-209.

Galindo-Reyes, M. A., V. A. González-Hernández, A. López-Jiménez, P. Sánchez-García, R. M. Soto-Hernández, and A. Muratalla-Lúa (2006). Sistemas de manejo para producir dos o tres cosechas por año en frambuesa roja en clima templado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(1).

García-Niño, W. R., and C. Zazueta (2015). Ellagic acid: Pharmacological activities and molecular mechanisms involved in liver protection. *Pharmacological Research* 97:84-103.

García-Viguera, C., P. Zafrilla, F. Artés, F. Romero, P. Abellán, and F. A. Tomás-Barberán (1998). Colour and anthocyanin stability of red raspberry jam. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78(4):565-573.

García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México (DF): Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 46-59 pp*.

Garcia, M., T. Ernst, D. Johnson, and D. Dickey (2017). Strawberry cultivar performance in high tunnels under sustainable and organic production practices in three climatic regions of Arkansas. *Acta horticulturae* (1156):549-554.

Gimenez, C., R. Otto, and N. Castilla (2002). Productivity of leaf and root vegetable crops under direct cover. *Scientia Horticulturae* 94(1-2):1-11.

Graham, J., and C. Simpson. 2018. Developmental Transitions to Fruiting in Red Raspberry. In *The Genomes of Rosaceous Berries and Their Wild Relatives*, edited by T. Hytönen, J. Graham and R. Harrison. Cham: Springer International Publishing, 199-212.

Gu, S. (2016). Growing degree hours-a simple, accurate, and precise protocol to approximate growing heat summation for grapevines. *International journal of biometeorology* 60(8):1123-1134.

Gu, S., W. Guan, and J. E. Beck (2017). Strawberry cultivar evaluation under high-tunnel and organic management in North Carolina. *HortTechnology* 27(1):84-92.

Han, C., Y. Zhao, S. Leonard, and M. Traber (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria× ananassa*) and raspberries (Rubus ideaus). *Postharvest Biology and Technology* 33(1):67-78.

Handley, D., and M. Pritts (1989). Bramble production guide. *Ithaca, New York: Northeast Regional Agricultural Engineering Service. NRAES-35. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca, NY. 189p*.

Hanson, E., B. Crain, and K. Hanson (2019a). Response of Potted Red Raspberry Cultivars to Double-cropping under High Tunnels. *HortScience* 54(11):1972-1975.

Hanson, E., B. Crain, and J. Moses (2019b). Cropping on primocanes and floricanes increases yields of organic raspberries in high tunnels. *HortScience* 54(3):459-462.

Hanson, E., T. Marks, and R. Isaacs (2016). Organic high tunnel production of raspberries in a humid region. *Acta horticulturae* (1133):259-262.

Hanson, E., M. Von Weihe, A. C. Schilder, A. M. Chanon, and J. C. Scheerens (2011). High tunnel and open field production of floricane-and primocane-fruiting raspberry cultivars. *HortTechnology* 21(4):412-418.

Hargreaves, J., M. S. Adl, P. R. Warman, and H. V. Rupasinghe (2008). The effects of organic amendments on mineral element uptake and fruit quality of raspberries. *Plant and soil* 308(1-2):213-226.

Hecher, E. A. D. S., C. L. Falk, J. Enfield, S. J. Guldan, and M. E. Uchanski (2014). The economics of low-cost high tunnels for winter vegetable production in the Southwestern United States. *Horttechnology* 24(1):7-15.

Heide, O., and A. Sønsteby (2011). Physiology of flowering and dormancy regulation in annual-and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.)–a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86(5):433-442.

Hemming, S., T. Dueck, J. Janse, and F. van Noort (2008). The Effect of Diffuse Light on Crops. *Acta Horticulturae* 2008(801):1293-1300.

Hemming, S., N. van de Braak, T. Dueck, R. Jongschaap, and A. Marissen (2006). Filtering natural light by the greenhouse covering using model simulations-more production and better quality by diffuse light. *Acta Horticulturae* 711:105-110.

Himelrick, D. G., R. C. Ebel, F. M. Woods, B. S. Wilkins, and J. A. Pitts (2001). Effect of primocane topping height and lateral length on yield of 'Navaho'blackberry. *Small Fruits Review* 1(2):95-101.

Horvath, D. (2009). Common mechanisms regulate flowering and dormancy. *Plant Science* 177(6):523-531.

Hudson, J. (1954). Propagation of Plants by Root Cuttings: I. Regeneration of Raspberry Root Cuttings. *Journal of Horticultural Science* 29(1):27-43.

Hudson, J. (1959). Effects of Environment on Rubus Idaeus L.: I. Morphology and Development of the Raspberry Plant. *Journal of Horticultural Science* 34(3):163-169.

Hummer, K. E., K. A. Williams, and J. M. Bushakra. 2019. North American crop wild relatives of temperate berries (*Fragaria L., Ribes L., Rubus L., and Vaccinium* L.). In *North American Crop Wild Relatives, Volume 2*: Springer, 283-327.

Jaakola, L., and A. Hohtola (2010). Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. *Plant, cell & environment* 33(8):1239-1247.

Janke, R. R., M. E. Altamimi, and M. Khan (2017). The use of high tunnels to produce fruit and vegetable crops in North America. *Agricultural Sciences* 8(7):692-715.

Jennings, D. L. 1988. *Raspberries and blackberries: their breeding, diseases and growth*: Academic press.

Jiao, X.-C., X.-M. Song, D.-L. Zhang, Q.-J. Du, and J.-M. Li (2019). Coordination between vapor pressure deficit and CO 2 on the regulation of photosynthesis and productivity in greenhouse tomato production. *Scientific reports* 9(1):1-10.

Jogaiah, S., K. R. Striegler, E. Bergmeier, and J. Harris (2012). Influence of cluster exposure to Sun on fruit composition of 'Norton'grapes (*vitis estivali*s michx) in Missouri. *International Journal of Fruit Science* 12(4):410-426.

Josuttis, M., H. Dietrich, D. Treutter, F. Will, L. Linnemannstöns, and E. Krüger (2010). Solar UVB response of bioactives in strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch. L.): a comparison of protected and open-field cultivation. *Journal of agricultural and food chemistry* 58(24):12692-12702.

Kadir, S., E. Carey, and S. Ennahli (2006). Influence of high tunnel and field conditions on strawberry growth and development. *HortScience* 41(2):329-335.

Kafkas, E., M. Özgen, Y. Özoğul, and N. Türemiş (2008). Phytochemical and fatty acid profile of selected red raspberry cultivars: A comparative study. *Journal of Food Quality* 31(1):67-78.

Kassim, A., J. Poette, A. Paterson, D. Zait, S. McCallum, M. Woodhead, K. Smith, C. Hackett, and J. Graham (2009). Environmental and seasonal influences on red raspberry anthocyanin antioxidant contents and identification of quantitative traits loci (QTL). *Molecular nutrition & food research* 53(5):625-634.

Katsoulas, N., A. Baille, and C. Kittas (2001). Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agricultural and forest meteorology* 106(3):233-247.

Kazimierczak, R., E. Hallmann, K. Kowalska, and E. Rembiałkowska (2016). Biocompounds content in organic and conventional raspberry fruits. *Acta Fytotechnica et Zootechnica* 18(5):40-42.

Kempler, C., H. Hall, and C. E. Finn. (2012). Raspberry. In *Fruit Breeding. Handbook of Plant Breeding*, Vol. *Vol 8*. Boston, MA: Springer, 263-304.

Kimura, K., D. Yasutake, K. Koikawa, and M. Kitano (2020). Spatiotemporal variability of leaf photosynthesis and its linkage with microclimates across an environment-controlled greenhouse. *Biosystems Engineering* 195:97-115.

Koch, K. (1996). Carbohydrate-modulated gene expression in plants. *Annual review of plant biology* 47(1):509-540.

Koskela, E. A., T. Kurokura, T. Toivainen, A. Sønsteby, O. M. Heide, D. J. Sargent, S. Isobe, L. Jaakola, H. Hilmarsson, and P. Elomaa (2017). Altered regulation of TERMINAL FLOWER 1 causes the unique vernalisation response in an arctic woodland strawberry accession. *New Phytologist* 216(3):841-853.

Kuchler, F., and C. Arnade (2016). Consumers' welfare and off-season produce imports. *European Review of Agricultural Economics* 43(4):585-608.

Lamont, W. J. (2005). Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 15(3):477-481.

Landete, J. (2011). Ellagitannins, ellagic acid and their derived metabolites: a review about source, metabolism, functions and health. *Food research international* 44(5):1150-1160.

Landry, G.-A. (2011). Influence de bâches plastiques réfléchissantes, du mode de palissage et de la densité de tiges sur le rendement de framboisiers remontants (cv.'Autumn Britten') cultivés sous grands tunnels. *M.Sc. thesis, Université Laval. Québec, Canada*:49-56.

Lang, G. (1987). Endo-, para-and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *Hortic. Sci.* 22:271-277.

Lang, G.A, T. Valentino, H. Demİrsoy, and L. Demİrsoy (2011). High tunnel sweet cherry studies: innovative integration of precision canopies, precocious rootstocks, and environmental physiology. *Acta Horticulturae* (903):717-723.

Lang, G. A. (2009). High tunnel tree fruit production: The final frontier? *HortTechnology* 19(1):50-55.

Lang, G. A., L. Sage, and T. Wilkinson (2016). Ten years of studies on systems to modify sweet cherry production environments: retractable roofs, high tunnels, and rain-shelters. *Acta horticulturae* (1130):83-90.

Leonel, S., D. Segantini, M. Tecchio, R. Ferreira, J. Souza, and M. Auricchio (2016). Garlic extract and hydrogen cyanamide on'Tupy'blackberry bud sprouting, flowering and harvest. *Australian Journal of Crop Science* 10(9):1375-1380.

Lester, G. E. (2006). Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, β-carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. *HortScience* 41(1):59-64.

Li, T., and G. Bi (2019). Container Production of Southern Highbush Blueberries Using High Tunnels. *HortScience* 54(2):267-274.

Liu, J., and S. Sherif (2019). Combating Spring Frost With Ethylene. *Frontiers in plant science* 10:1408.

Lopez-Medina, J., and J. N. Moore (1999). Chilling enhances cane elongation and flowering in primocane-fruiting blackberries. *HortScience* 34(4):638-640.

Lu, N., T. Nukaya, T. Kamimura, D. Zhang, I. Kurimoto, M. Takagaki, T. Maruo, T. Kozai, and W. Yamori (2015). Control of vapor pressure deficit (VPD) in greenhouse enhanced tomato growth and productivity during the winter season. *Scientia Horticulturae* 197:17-23.

Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: a review. *Scientia Horticulturae* 144:218-229.

Lyon, B., J. Robertson, and F. Meredith (1993). Sensory Descriptive Analysis of cv. Cresthaven Peaches-Maturity, Ripening and Storage Effects. *Journal of food science* 58(1):177-182.

Määttä-Riihinen, K. R., A. Kamal-Eldin, and A. R. Törrönen (2004). Identification and quantification of phenolic compounds in berries of Fragaria and Rubus species (family Rosaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(20):6178-6187.

Maro, L. A. C., R. Pio, M. N. S. Guedes, C. M. P. d. Abreu, and P. H. A. Moura (2014). Environmental and genetic variation in the post-harvest quality of raspberries in subtropical areas in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy* 36(3):323-328.

Massot, C., M. Génard, R. Stevens, and H. Gautier (2010). Fluctuations in sugar content are not determinant in explaining variations in vitamin C in tomato fruit. *Plant Physiology and Biochemistry* 48(9):751-757.

Mattheis, J. P., and J. K. Fellman (1999). Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest biology and technology* 15(3):227-232.

Mavi, H., and J. Graeme (2005). Agrometeorology; principals and applications of climate studies in agriculture, international book distributing company. *Lucknow, India*.

Mazur, S., A. Sønsteby, A. Nes, A. Wold, A. Foito, S. Freitag, S. Verrall, D. Stewart, and O. Heide (2014a). Effects of post-flowering environmental variation along an altitudinal gradient on chemical composition of 'Glen Ample'red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Eur J Hortic Sci* 79:267-277.

Mazur, S., A. Sønsteby, A. B. Wold, A. Foito, S. Freitag, S. Verrall, S. Conner, D. Stewart, and O. Heide (2014b). Post-flowering photoperiod has marked effects on fruit chemical composition in red raspberry (*Rubus idaeus*). *Annals of applied biology* 165(3):454-465. DOI:

McAdam, S. A., F. C. Sussmilch, and T. J. Brodribb (2016). Stomatal responses to vapour pressure deficit are regulated by high speed gene expression in angiosperms. *Plant, cell & environment* 39(3):485-491.

McMaster, G. S., and W. Wilhelm (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and forest meteorology* 87(4):291-300.

Medina, C. L., R. P. Souza, E. C. Machado, R. V. Ribeiro, and J. A. Silva (2002). Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Scientia Horticulturae* 96(1-4):115-125.

Melo, M. J., M. C. Moncada, and F. Pina (2000). On the red colour of raspberry (Rubus idaeus). *Tetrahedron Letters* 41(12):1987-1991.

Mendoza-Castillo, V. M., J. Pineda-Pineda, J. M. Vargas-Canales, and E. Hernández-Arguello (2019). Nutrition of fig (Ficus carica L.) under hydroponics and greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition* 42(11-12):1350-1365.

Mesmoudi, K., S. Bougoul, and P. Bournet (2012). Thermal performance of an unheated greenhouse under semi-arid conditions during the night. *Acta horticulturae* (952):417-424.

Mikulic-Petkovsek, M., V. Schmitzer, A. Slatnar, F. Stampar, and R. Veberic (2012). Composition of sugars, organic acids, and total phenolics in 25 wild or cultivated berry species. *Journal of food science* 77(10):C1064-C1070.

Mikulic-Petkovsek, M., V. Schmitzer, A. Slatnar, F. Stampar, and R. Veberic (2015). A comparison of fruit quality parameters of wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) growing at different locations. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(4):776-785.

Milivojevic, J. M., M. D. Nikolic, J. J. D. Maksimovic, and D. D. Radivojevic (2011). Generative and fruit quality characteristics of primocane fruiting red raspberry cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35(3):289-296.

Montero, J., P. Muñoz, M. Sánchez-Guerrero, E. Medrano, D. Piscia, and P. Lorenzo (2013). Thermal performance of an unheated greenhouse under semi-arid conditions during the night shading screens for the improvement of the night-time climate of unheated greenhouses. *Span. J. Agric. Res* 11:32-46.

Moreno-Robles, N. E., J. L. Jacobo-Cuellar, R. Pérez-Leal, M. J. Rodriguez-Roque, R. Á. Parra-Quezada, N. Orduño-Cruz, and O. Cruz-Alvarez (2019). Vegetative Growth, Flowering and Attributes of Physicochemical Quality in Blackberry 'Tupy'Fruits Grown in Chihuahua, Mexico. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(3):980-986.

Mori, K., N. Goto-Yamamoto, M. Kitayama, and K. Hashizume (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of experimental botany* 58(8):1935-1945.

Mullen, W., J. McGinn, M. E. Lean, M. R. MacLean, P. Gardner, G. G. Duthie, T. Yokota, and A. Crozier (2002). Ellagitannins, flavonoids, and other phenolics in red raspberries and their contribution to antioxidant capacity and vasorelaxation properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(18):5191-5196.

Muraoka, H., A. Takenaka, Y. Tang, H. Koizumi, and I. Washitani (1998). Flexible leaf orientations of Arisaema heterophyllum maximize light capture in a forest understorey and avoid excess irradiance at a deforested site. *Annals of botany* 82(3):297-307.

Muratalla-Lúa, A., D. Jaen-Contreras, and L. Arévalo-Galarza (2013). La producción de frambuesa y zarzamora en México. *Agroproductividad* 6(5):3-13.

Myster, J., and R. Moe (1995). Effect of diurnal temperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops—a mini review. *Scientia Horticulturae* 62(4):205-215.

Naidu, K. A. (2003). Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutrition journal* 2(1):7.

Nielsen, E., M. E. E. Temporiti, and R. Cella (2019). Improvement of phytochemical production by plant cells and organ culture and by genetic engineering. *Plant Cell Reports* 38(10):1199-1215.

Nishikawa, F., M. Kato, H. Hyodo, Y. Ikoma, M. Sugiura, and M. Yano (2005). Effect of sucrose on ascorbate level and expression of genes involved in the ascorbate biosynthesis and recycling pathway in harvested broccoli florets. *Journal of Experimental Botany* 56(409):65-72.

Ochoa, M., A. Kesseler, M. Vullioud, and J. Lozano (1999). Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: storage effect on composition and color. *LWT-Food Science and Technology* 32(3):149-153.

Oliveira, P. B., L. Fonseca, and A. Monteiro. 1992. Influence of summer pruning on winter production of primocane fruiting red raspberries under protected cultivation in mild winter climates. Paper read at III International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates 357.

Oliveira, P. B., L. Lopes-da-Fonseca, and A. Monteiro (2002). Combining different growing techniques for all year round red raspberry production in Portugal. *Acta horticulturae* (585):545-553.

Oliveira, P. B., C. M. Oliveira, L. Lopes-da-Fonseca, and A. A. Monteiro (1996). Off-season production of primocane-fruiting red raspberry using summer pruning and polyethylene tunnels. *HortScience* 31(5):805-807.

Oliveira, P. B., C. M. Oliveira, P. V. Machado, L. Lopes-da-Fonseca, and A. A. Monteiro (1998). Improving off-season production of primocane-fruiting red raspberry by altering summer-pruning intensity. *HortScience* 33(1):31-33.

Olsen, S. R. 1954. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*: United States Department Of Agriculture; Washington.

Orhan, E., A. Esitken, S. Ercisli, M. Turan, and F. Sahin (2006). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae* 111(1):38-43.

Orzolek, M. 2017. *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture*. Second ed: Elsevier, 107-116.

Ourecky, D. K., and G. L. Slate (1969). Heritage, a new fall bearing red raspberry. *NY State Agr Exp Sta Res Circ*.

Palonen, P., A. Pinomaa, and T. Tommila (2017). The influence of high tunnel on yield and berry quality in three floricane raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae* 214:180-186.

Pantelidis, G. E., M. Vasilakakis, G. A. Manganaris, and G. Diamantidis (2007). Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food chemistry* 102(3):777-783.

Parra-Quezada, R. Á., V. M. Guerrero-Prieto, and J. G. Arreola-Avila (2007). Efecto de fecha y tipo de poda en frambuesa roja'Malling autumn Bliss'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(2).

Parra-Quezada, R. Á., M. R. Ramírez-Legarreta, J. L. Jacobo-Cuellar, and J. G. Arreola-Avila (2008). Fenología de la frambuesa roja'Autumn Bliss' en Guerrero, Chihuahua, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 14(1):91-96.

Pennypacker, S., H. Knoble, C. Antle, and L. Madden (1980). A flexible model for studying plant disease progression. *Phytopathology* 70(3):232-235.

Percival, D. C., J. Proctor, and M. Tsujita (1996). Whole-plant net CO_2 exchange of raspberry as influenced by air and root-zone temperature, CO2 concentration, irradiation, and humidity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121(5):838-845.

Pitsioudis, F., W. Odeurs, and P. Meesters (2009). Early and late production of raspberries, blackberries and red currants. *Acta Horticulturae* (838):33-38.

Ponder, A., and E. Hallmann (2020). The nutritional value and vitamin C content of different raspberry cultivars from organic and conventional production. *Journal of Food Composition and Analysis* 87:103429.

Pritts, M.P. (2006). High tunnels for late fall raspberries. *NY Fruit Quarterly* 14:3-5.

Pritts, M.P. (2008). Primocane-fruiting raspberry production. *HortScience* 43(6):1640-1641.

Pritts, M.P. (2016). Growing blackberries in a cold climate using high tunnels. *Acta horticulturae* 1133(1133):263-268.

Pritts, M.P., L. McDermott, K. Demchak, E. Hanson, C. Weber, A. Both, G. Loeb, and C. Heidenreich (2009). High tunnel raspberries and blackberries. *New York Fruit Quarterly* 17(3):13-16.

Pritts, M. P. (2002). From plant to plate: how can we redesign Rubus production systems to meet future expectations? *Acta horticulturae* (585):537-543.

Ramírez-Legarreta, M. R., J. L. Jacobo-Cuéllar, A. A. Gardea-Béjar, and R. Á. Parra-Quezada (2008). Modelo de desarrollo floral en manzanos [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. domestica (Borkh) Mansf.] red delicious y golden delicious como herramienta de toma de decisiones en el manejo integrado de enfermedades. *Revista mexicana de fitopatología* 26(2):153-163.

Rao, A. V., and D. M. Snyder (2010). Raspberries and human health: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(7):3871-3883.

Rawson, H. (1992). Plant responses to temperature under conditions of elevated CO_2. *Australian Journal of botany* 40(5):473-490.

Retamal-Salgado, J., R. M. Bastías, R. Wilckens, and L. Paulino (2015). Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in blueberry'O'Neal'. *Chilean journal of agricultural research* 75(3):291-297.

Rohde, A., and R. P. Bhalerao (2007). Plant dormancy in the perennial context. *Trends in plant science* 12(5):217-223.

Rohloff, J., R. Nestby, J. A. Folkestad, and T.-H. Iversen (2004). Influence of rain cover cultivation on taste and aroma quality of strawberries (*Fragaria ananassa* Duch.). *Journal of Food Agriculture and Environment* 2:74-82.

Rommel, A., and R. E. Wrolstad (1993). Influence of acid and base hydrolysis on the phenolic composition of red raspberry juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41(8):1237-1241.

Rosales, M. A., M. M. Rubio-Wilhelmi, R. Castellano, N. Castilla, J. M. Ruiz, and L. Romero (2007). Sucrolytic activities in cherry tomato fruits in relation to temperature and solar radiation. *Scientia Horticulturae* 113(3):244-249.

Rubauskis, E., M. Skrīvele, S. Ruisa, and D. Feldmane. 2013. Effects of Voen cover on the growth and yield of two sweet cherry cultivars. Paper read at Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences.

Salinas-Moreno, Y., G. Almaguer-Vargas, G. Peña-Varela, and R. Ríos-Sánchez (2009). Ácido elágico y perfil de antocianinas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 15(1):97-101.

Santino, A., M. Taurino, S. De Domenico, S. Bonsegna, P. Poltronieri, V. Pastor, and V. Flors (2013). Jasmonate signaling in plant development and defense response to multiple (a) biotic stresses. *Plant cell reports* 32(7):1085-1098.

Schwartz, E., R. Tzulker, I. Glazer, I. Bar-Ya'akov, Z. Wiesman, E. Tripler, I. Bar-Ilan, H. Fromm, H. Borochov-Neori, and D. Holland (2009). Environmental conditions affect the color, taste, and antioxidant capacity of 11 pomegranate accessions' fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(19):9197-9209.

Shirley, B. W. (1996). Flavonoid biosynthesis:'new'functions for an 'old'pathway. *Trends in plant science* 1(11):377-382.

Shulman, Y., G. Nir, L. Fanberstein, and S. Lavee (1983). The effect of cyanamide on the release from dormancy of grapevine buds. *Scientia Horticulturae* 19(1-2):97-104.

SIAP,2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/. (Consultado en diciembre 2019).

Simpson, C. G., D. W. Cullen, C. A. Hackett, K. Smith, P. D. Hallett, J. McNicol, M. Woodhead, and J. Graham (2017). Mapping and expression of genes associated with raspberry fruit ripening and softening. *Theoretical and applied genetics* 130(3):557-572.

Sinclair, T. R., J. Devi, A. Shekoofa, S. Choudhary, W. Sadok, V. Vadez, M. Riar, and T. Rufty (2017). Limited-transpiration response to high vapor pressure deficit in crop species. *Plant Science* 260:109-118.

Skrovankova, S., D. Sumczynski, J. Mlcek, T. Jurikova, and J. Sochor (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International journal of molecular sciences* 16(10):24673-24706.

Sønsteby, A., and O. Heide (2010). Earliness and fruit yield and quality of annual-fruiting red raspberry (Rubus idaeus L.): Effects of temperature and genotype. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 85(4):341-349.

Sønsteby, A., and O. M. Heide (2008). Environmental control of growth and flowering of *Rubus idaeus* L. cv. Glen Ample. *Scientia Horticulturae* 117(3):249-256.

Sønsteby, A., and O. M. Heide (2009a). Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in the annual (primocane) fruiting raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivar 'Polka'. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(4):439-446.

Sønsteby, A., U. Myrheim, N. Heiberg, and O. M. Heide (2009b). Production of high yielding red raspberry long canes in a Northern climate. *Scientia Horticulturae* 121(3):289-297.

Sønsteby, A., J. Stavang, and O. Heide (2013). Production of high-yielding raspberry long canes: The way to 3 kg of fruit per cane. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 88(5):591-599.

Sousa, M. B., W. Canet, M. D. Alvarez, and C. Fernández (2007). Effect of processing on the texture and sensory attributes of raspberry (cv. Heritage) and blackberry (cv. Thornfree). *Journal of Food Engineering* 78(1):9-21.

Spanos, G. A., and R. E. Wrolstad (1987). Anthocyanin pigment, nonvolatile acid, and sugar composition of red raspberry juice. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 70(6):1036-1046.

Spayd, S. E., J. M. Tarara, D. L. Mee, and J. Ferguson (2002). Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture* 53(3):171-182.

Spitaler, R., A. Winkler, I. Lins, S. Yanar, H. Stuppner, and C. Zidorn (2008). Altitudinal variation of phenolic contents in flowering heads of Arnica montana cv. ARBO: a 3-year comparison. *Journal of chemical ecology* 34(3):369-375.

Stafne, E. T., J. R. Clark, and C. R. Rom (2001). Leaf gas exchange response of'Arapaho'blackberry and six red raspberry cultivars to moderate and high temperatures. *HortScience* 36(5):880-883.

Stanton, M. A., J. C. Scheerens, R. C. Funt, and J. R. Clark (2007). Floral competence of primocane-fruiting blackberries Prime-Jan and Prime-Jim grown at three temperature regimens. *HortScience* 42(3):508-513.

Stavang, J. A., S. Freitag, A. Foito, S. Verrall, O. M. Heide, D. Stewart, and A. Sønsteby (2015). Raspberry fruit quality changes during ripening and storage as assessed by colour, sensory evaluation and chemical analyses. *Scientia Horticulturae* 195:216-225.

Strik, B. C., and C. Finn (2012). Blackberry production systems-a worldwide perspective. *Acta horticulturae* 946(946):341-347..

Strik, B. C., J. R. Clark, C. E. Finn, and M. P. Bañados (2007). Worldwide blackberry production. *HortTechnology* 17(2):205-213.

Strik, B. C., J. R. Clark, C. E. Finn, and G. Buller (2008). Management of primocane-fruiting blackberry to maximize yield and extend the fruiting season. *Acta horticulturae* 777:423-428.

Takeda, F. 1993. Chilling affects flowering of primocane-fruiting'Heritage'red raspberry. Paper read at VI International Symposium on Rubus and Ribes 352.

Takeda, F., and D. Glenn (2016). Susceptibility of blackberry flowers to freezing temperatures. *European Journal of Horticultural Science* 81(2):115-121.

Takeda, F., B. C. Strik, D. Peacock, and J. R. Clark (2002). Cultivar differences and the effect of winter temperature on flower bud development in blackberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127(4):495-501.

Tamaoki, M., F. Mukai, N. Asai, N. Nakajima, A. Kubo, M. Aono, and H. Saji (2003). Light-controlled expression of a gene encoding L-galactono-γ-lactone dehydrogenase which affects ascorbate pool size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science* 164(6):1111-1117.

Tezotto-Uliana, J. V., N. D. Berno, A. C. S. Gómez, and R. A. Kluge (2018). Evaluación del comportamiento poscosecha de Frambuesas en diferentes condiciones de almacenamiento refrigerado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 19(1).

Thompson, E., B. C. Strik, C. E. Finn, Y. Zhao, and J. R. Clark (2009). High tunnel versus open field: management of primocane-fruiting blackberry using pruning and tipping to increase yield and extend the fruiting season. *HortScience* 44(6):1581-1587.

Thompson, M. (1997). Survey of chromosome numbers in *Rubus* (*Rosaceae: Rosoideae*). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84(1):128-164.

Tosun, M., S. Ercisli, H. Karlidag, and M. Sengul (2009). Characterization of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes for their physicochemical properties. *Journal of Food Science* 74(7):C575-C579.

Ubi, B. E., C. Honda, H. Bessho, S. Kondo, M. Wada, S. Kobayashi, and T. Moriguchi (2006). Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: effect of UV-B and temperature. *Plant Science* 170(3):571-578.

Uleberg, E., J. Rohloff, L. Jaakola, K. Trôst, O. Junttila, H. Häggman, and I. Martinussen (2012). Effects of temperature and photoperiod on yield and chemical composition of northern and southern clones of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(42):10406-10414.

Valko, M., D. Leibfritz, J. Moncol, M. T. Cronin, M. Mazur, and J. Telser (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology* 39(1):44-84.

Veberic, R., A. Slatnar, J. Bizjak, F. Stampar, and M. Mikulic-Petkovsek (2015). Anthocyanin composition of different wild and cultivated berry species. *LWT-Food Science and Technology* 60(1):509-517.

Waister, P., M. Cormack, and W. Sheets (1977). Competition between fruiting and vegetative phases in the red raspberry. *Journal of Horticultural Science* 52(1):75-85.

Walkley, A., and I. A. Black (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science* 37(1):29-38.

Wang, C. Y. (2003). Maintaining postharvest quality of raspberries with natural volatile compounds. *International Journal of Food Science & Technology* 38(8):869-875.

Wang, S. Y., C.-T. Chen, and C. Y. Wang (2009). The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. *Food Chemistry* 112(3):676-684.

Wang, S. Y., and W. Zheng (2001). Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *Journal of agricultural and food chemistry* 49(10):4977-4982.

Wang, S. Y., and W. Zheng (2005). Preharvest application of methyl jasmonate increases fruit quality and antioxidant capacity in raspberries. *International journal of food science & technology* 40(2):187-195.

Weber, C., P. Perkins-Veazie, P. Moore, and L. Howard (2008). Variability of antioxidant content in raspberry germplasm. *Acta horticulturae* 777:493-498.

Wheeler, G. L., M. A. Jones, and N. Smirnoff (1998). The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. *Nature* 393(6683):365-369.

Wien, H., and M. Pritts (2009). Use of high tunnels in the Northeastern USA: adaptation to cold climates. *Acta Horticulturae* 807(807):55-60.

Williams, I. (1960). Effects of environment on *Rubus idaeus* LV Dormancy and flowering of the mature shoot. *Journal of Horticultural Science* 35(3):214-220.

Xie, X., Y. Wang, L. Williamson, G. H. Holroyd, C. Tagliavia, E. Murchie, J. Theobald, M. R. Knight, W. J. Davies, and H. O. Leyser (2006). The identification of genes involved in the stomatal response to reduced atmospheric relative humidity. *Current Biology* 16(9):882-887.

Xu, Q., A. (2016). Growth and yield of red raspberries cultivated under open field condition vs. high tunnel or rain shelter in the northern canadian climate. Doctorate Thesis. *Université Laval*:180 pp.

Xu, Q., A. Gosselin, Y. Desjardins, Y. Medina, and L. Gauthier (2014). Red raspberries production under high tunnel, umbrella-like structure and open field under northern Canadian climate. *Acta Horticulturae* (1037):771-776.

Yamaki, S. (2010). Metabolism and accumulation of sugars translocated to fruit and their regulation. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 79(1):1-15.

Yang, J., J. Cui, J. Chen, J. Yao, Y. Hao, Y. Fan, and Y. Liu (2020). Evaluation of physicochemical properties in three raspberries (*Rubus idaeus*) at five ripening stages in northern China. *Scientia Horticulturae* 263:109146.

Yao, S., and C. J. Rosen (2011). Primocane-fruiting raspberry production in high tunnels in a cold region of the upper Midwestern United States. *HortTechnology* 21(4):429-434.

Zaar, A., H. Dietrich, and E. Krüger. 2016. Influence of varying plastic films on plant and fruit performance of primocane raspberry 'Erika'. *Acta Horticulturae* (1133):291-297.

Zhang, D., J. Wang, H. Wei, H. Cui, X. Zong, D. Zhu, X. Chen, L. Xu, and Q. Liu (2017). semi-automatic, multi-span, plastic greenhouse with double heat sources for growing sweet cherry. *Acta horticulturae* 1161(1161):205-212.

Zhang, D., Z. Zhang, J. Li, Y. Chang, Q. Du, and T. Pan (2015). Regulation of vapor pressure deficit by greenhouse micro-fog systems improved growth and productivity of tomato via enhancing photosynthesis during summer season. *PloS one* 10(7):e0133919.

Zhang, H.-M., L. Zhao, H. Li, H. Xu, W.-W. Chen, and L. Tao (2014). Research progress on the anticarcinogenic actions and mechanisms of ellagic acid. *Cancer biology & medicine* 11(2):92.

Zhao, X., and E. E. Carey (2009). Summer production of lettuce, and microclimate in high tunnel and open field plots in Kansas. *HortTechnology* 19(1):113-119.

Zheng, D., and G. Hrazdina (2010). Cloning and characterization of an expansin gene, RiEXP1, and a 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene, RiACS1 in ripening fruit of raspberry (Rubus idaeus L.). *Plant Science* 179(1-2):133-139.

Zheng, J., C. Huang, B. Yang, H. Kallio, P. Liu, and S. Ou (2019). Regulation of phytochemicals in fruits and berries by environmental variation—Sugars and organic acids. *Journal of food biochemistry* 43(6):e12642.

Zhou, L., D. A. Christopher, and R. E. Paull (2000). Defoliation and fruit removal effects on papaya fruit production, sugar accumulation, and sucrose metabolism. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125(5):644-652.

Zhu, J.-K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell* 167(2):313-324.

Zorenc, Z., R. Veberic, D. Koron, and M. Mikulic-Petkovsek (2017). Impact of raspberry (Rubus idaeus L.) primocane tipping on fruit yield and quality. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 45(2):417-424.

Żurawicz, E., M. Studnicki, J. Kubik, and K. Pruski (2018). A careful choice of compatible pollinizers significantly improves the size of fruits in red raspberry *(Rubus idaeus* L.). *Scientia Horticulturae* 235:253-257.