

## 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

Horacio E. Alvarado-Raya<sup>1§</sup>, Edilberto Avitia-García<sup>2</sup> y Ana María Castillo-González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Preparatoria Agrícola. Carretera México- Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Fitotecnia. Carretera México- Texcoco km 38.5. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. (anasofiacasg@hotmail.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: horacio\_alvarado@hotmail.com.

#### Resumen

En México aumenta el interés por el cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y existen nichos con potencial para su producción, para los cuales se deben generar paquetes tecnológicos. Uno de los sistemas utilizados en la producción de frambuesa son las plantaciones multianuales y es importante definir la densidad de caña adecuada para maximizar el rendimiento y calidad de fruto. Este estudio se realizó en 2008 en el Valle de México para determinar el efecto de la densidad de caña sobre el rendimiento, calidad de fruto y crecimiento vegetativo de la frambuesa roja productora de otoño ‘Autumn Bliss’. El objetivo principal fue definir la densidad de caña con el mayor rendimiento por área. Se analizaron cuatro tratamientos en una plantación en seto con edad de dos años (10, 20, 30 y 40 cañas m<sup>-2</sup>). Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones distribuidas bajo un diseño de bloques completos al azar. No hubo efecto de la densidad de caña sobre el inicio de la cosecha, el cual se observó el 19 de mayo de 2008, ni tampoco sobre el periodo de cosecha que fue de 54 días. El tratamiento con 40 cañas.m<sup>-2</sup> tuvo rendimientos de 1.99 kg m<sup>-2</sup>, lo que resultó en un rendimiento estimado por hectárea superior a la media nacional. La calidad y dimensiones del fruto no se vieron afectados por la máxima densidad de caña. Se concluye que para el Valle de México, una densidad de 40 cañas m<sup>-2</sup> es recomendable para plantaciones multianuales

#### Abstract

Interest for raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivation has increased in Mexico, and there are niches with potential for its production for which technological packages must be generated. One of the systems used in raspberry production is the multi-annual plantation, and it is also important to define the cane density to maximize yield and fruit quality. This study was done in 2008 in the Valley of Mexico in order to determine the effect of the cane density on the yield, fruit quality and vegetative development of ‘Autumn Bliss’ red raspberry. The main objective was to define the cane density with the highest yield per area. Four treatments were analyzed in a hedge plantation for two years (10, 20, 30 and 40 canes m<sup>-2</sup>). Each treatment had four repetitions distributed under a design of random complete blocks. The cane density had no effect at the beginning of the harvest, observed on May 19, 2008, nor during the harvest period which lasted for 54 days. The treatment with 40 canes m<sup>-2</sup> had yields of 199 kg m<sup>-2</sup>, which resulted in an estimated yield per hectare superior to the national measure. It is therefore concluded that for the Valley of Mexico, a density of 40 canes m<sup>-2</sup> is advisable for multi-annual hedge plantations as they ensure the highest yields per surface without downgrading the fruit quality attributes or the vegetative growth of the cane.

\* Recibido: octubre de 2015  
Aceptado: enero de 2016

en seto porque aseguran los mayores rendimientos por superficie sin demeritar los atributos de calidad de fruto ni el crecimiento vegetativo de la caña.

**Palabras clave:** *Rubus idaeus*, calidad de fruto, componentes de rendimiento, fenología, periodo de cosecha.

## Introducción

El interés en el cultivo de frambuesa en México se ha incrementado en los últimos años. La superficie plantada con este cultivo aumentó en 520% en la década pasada, incrementándose de 196 hectáreas cultivadas en el año 2000 a 1 216 hectáreas cultivadas en el año 2010. Los principales estados productores de esta frutilla son Jalisco, Michoacán y Baja California (SIAP, 2011). Este incremento en la superficie plantada de frambuesa en México se explica por el aumento en las importaciones de la frutilla en Estados Unidos de América; país que, aun siendo el cuarto productor de frambuesa a nivel mundial, también es el tercer importador de esta frutilla (FAOSTAT, 2011). En 2009, México se ubicó como el primer proveedor de frambuesa a EE. UU., siendo principalmente fruta producida en invierno.

Debido a la estacionalidad de la producción en los principales países productores de frambuesa y la constante demanda de la fruta a lo largo del año, en Estados Unidos de América se genera un déficit de producto en la época estival. Los principales países productores de frambuesa son la Federación Rusa, Serbia, Polonia y Estados Unidos de América, los cuales en 2009 produjeron 71.2% del total de esta frutilla en el mundo (FAOSTAT, 2011). Estos países tienen inviernos severos y la producción de frambuesa se limita al verano y el otoño, siendo la primavera la época de crecimiento vegetativo. Contrario a la producción estacional de frambuesa, en Estados Unidos la demanda de esta frutilla es continua, generándose un déficit de producto en la época estival que eleva los precios de la frutilla hasta los \$120 000.00 por tonelada durante esta época (Pritts *et al.*, 1999).

El estado de México tiene las condiciones para la producción de frambuesa de invierno. En 2010, este estado reportó 26.5 ha plantadas con este cultivo, lo que lo ubicó en el cuarto estado con mayor superficie plantada de frambuesa, incluso por arriba de Chihuahua que reportó 20 ha en ese año (SIAP, 2011). La producción de frambuesa en el estado de México se

**Keywords:** *Rubus idaeus*, fruit quality, harvest period, phenology, yield components.

## Introduction

The interest in raspberry cultivation in Mexico has increased in the past few years. The surface area planted with this culture increased 520% in the past decade, increasing from 196 hectares cultivated in the year 2000 to 1 216 hectares cultivated in the year 2010. The main states that produce this fruit are: Jalisco, Michoacán and Baja California (SIAP, 2011). This increase in the surface area planted with raspberry in Mexico can be explained through the increase of this fruit's import to the United States; a country that, even as the fourth raspberry producer worldwide, is also the third importer of this fruit (FAOSTAT, 2011). In 2009, Mexico stood as the first raspberry supplier to the United States, this fruit being mainly produced during winter.

Due to the production seasonality of the main raspberry producing countries and to the constant demand of the fruit throughout the year, a product deficit is generated in the United States in the summer season. The main raspberry producing countries are the Russian Federation, Serbia, Poland, and the United States, which in 2009 produced 71.2% of the total amount of this fruit in the world (FAOSTAT, 2011). These countries have severe winters and the production of raspberry is limited to summer and fall, with spring being the time of the year for vegetative growth. Contrary to seasonal raspberry production, the demand of this fruit in the United States is continuous, with a product deficit in the summer season which elevates the prices of the fruit up to \$120 000.00 per ton during this time of year (Pritts *et al.*, 1999)

The State of Mexico has the correct conditions for raspberry production during the winter season. In 2010, this state reported 26.5 ha planted with this culture, which placed the State of Mexico as the fourth state with the largest raspberry planted surface area, even above Chihuahua, which reported 20 ha this year (SIAP, 2011). Raspberry production in the State of Mexico is based on perennial plantations for which it is necessary to generate ecological packages that make efficient use of resources, time and space.

The cane density is one of the yield components of raspberry in a perennial plantation. The selection of the adequate cane density in a plantation is important given that the

basa en sistemas con plantaciones perenes para los cuales es necesario generar paquetes tecnológicos que hagan eficiente el uso de recursos, el tiempo y el espacio.

La densidad de cañas es uno de los componentes de rendimiento de frambuesa en una plantación perene. La selección de la densidad adecuada de cañas en una plantación es importante ya que las cañas de una planta de frambuesa pueden competir entre sí por carbohidratos almacenados en la raíz para su crecimiento inicial, disminuyendo así el número de frutos por caña y el rendimiento por caña (Alvarado-Raya *et al.*, 2007). Además, la competencia entre cañas en producción que se genera en plantaciones en altas densidades puede resultar también en una disminución del rendimiento por caña (Oliveira *et al.*, 2007); sin embargo, el mayor número de cañas puede compensar este decremento al resultar en mayores rendimientos por área (Vanden Heuvel *et al.*, 2000; Nes *et al.*, 2008), sin afectar el tamaño de fruto (Darnell *et al.*; 2006). En resumen, la elección adecuada de la densidad de caña en una plantación de frambuesa es determinante para asegurar un rendimiento adecuado por caña y por área.

La densidad de caña en una plantación de frambuesa también es un factor importante para hacer más eficiente su manejo. Por un lado, las altas densidades de caña por área pueden resultar en competencia por luz, agua y nutrientes, lo cual a su vez puede resultar en una disminución del potencial productivo de la planta, afectando negativamente la ventaja que una plantación con alta densidad de cañas tiene sobre aquella con menor número de cañas por área (Martin and Nelson, 1986). Las altas densidades de caña también provocan el sombreado de la parte inferior de éstas, con lo que se reduce su potencial productivo; además, se dificulta la circulación del aire, y se imposibilita la penetración adecuada de los agroquímicos, aumentando así la incidencia de enfermedades (Goulart and Demchak, 1993).

Aunque comercialmente se recomiendan 10 a 15 cañas  $m^{-2}$ , dependiendo del vigor del cultivar y la fertilidad del suelo (Menzies y Brien, 2002), se han estudiado densidades de 5, 10, 15 y 20 cañas  $m^{-2}$  dentro de invernaderos, obteniendo los mejores rendimientos por área y la mejor calidad frutos en las densidades de 10 y 15 cañas  $m^{-2}$  (Oliveira *et al.*, 2004); también se han estudiado densidades de 9, 16, 23 y 30 cañas  $m^{-2}$  a la intemperie y se encontraron los mayores rendimientos por área con 30 cañas  $m^{-2}$  (Vanden Heuvel *et al.*, 2000). El presente estudio es parte de una investigación que tiene como objetivo conocer la densidad de caña adecuada para maximizar el rendimiento por área de frambuesa.

canes of a raspberry plant can compete among themselves for the carbohydrates stored in the root, mainly for their initial growth, thus decreasing the number of fruit per cane and the yield of each cane (Alvarado-Raya *et al.*, 2007). Furthermore, the competition between canes in production that arises in plantations of high densities could also result in a decrease of yield per cane (Oliveira *et al.*, 2007); however, the highest number of canes could compensate this decrease by producing more yield per area (Vanden Heuvel *et al.*, 2000; Nes *et al.*, 2008), without affecting the size of the fruit (Damell *et al.*, 2006). In short, the adequate selection of cane density in a raspberry plantation is important in order to ensure the adequate yield per cane and per area.

The cane density in a raspberry plantation is also an important factor in order to make its handling more efficient. On one hand, the high cane densities per area could result in the competition for light, water and nutrients, which at the same time could result in the decrease of the productive potential of the plant, negatively impacting the advantages of a plantation with high cane density over those with a lower number of canes per area (Martin and Nelson, 1986). The high cane densities also cause the shading of the bottom part of the hedge which reduces their productive potential. In addition, it obstructs air circulation and makes it impossible for the agrochemicals to properly infiltrate the plant, thus increasing the incidence of illnesses (Goulart and Demchak, 1993).

Even though it is commercially recommended to have 10 to 15 canes  $m^{-2}$ , depending on the strength of the crop and the fertility of the soil (Menzier and Brien, 2002), the following densities have been studied: 5, 10, 15 and 20 canes  $m^{-2}$  in greenhouses, obtaining the best yield per area and the best fruit quality in the 10 and 15 canes  $m^{-2}$  (Oliveira *et al.*, 2004); other densities have also been studied such as 9, 16, 23 and 30 canes  $m^{-2}$  in outdoor installations and the highest yields per area were found with 30 canes  $m^{-2}$  (Vanden Heuvel *et al.*, 2000). This study is part of an investigation that aims to find the adequate cane density in order to maximize the yield per area of the raspberry.

## Materials and methods

This experiment was done in 2008 in the San Martín experimental field of the Universidad Autónoma Chapingo, which is located in the Valley of Mexico at a latitude of 19°

## Materiales y métodos

Este experimento se realizó durante 2008 en el campo experimental San Martín de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual se ubica en el Valle de México a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste y a una altitud de 2 250 msnm. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2010) reporta, como promedio de 30 años (1971 a 2000), una temperatura mínima promedio de 7.8 °C y una temperatura máxima promedio de 25 °C. En 2008, la temperatura más baja durante el periodo de crecimiento fue de -1.8 °C y la más alta fue de 30.8 °C, registradas el 8 de marzo y el 10 de mayo, respectivamente (Figura 1), y las temperaturas promedio máxima, media y mínima, fueron similares a las reportadas por el SMN en 2010 (Cuadro 1).

Manejo de la plantación. Se usaron plantas del cultivar 'Autumn Bliss' de dos años de edad en una plantación en seto. Se trabajó con un seto de plantas orientada norte-sur. El seto fue de 36 m de longitud y 1.20 m de ancho. Las cañas del ciclo productivo 2007, se podaron al ras del suelo el 17 de febrero de 2008, para iniciar con el ciclo productivo 2008. Las plantas se regaron por riego rodado una vez por semana, excepto en la época de lluvia (mayo-julio) cuando se dependió de la precipitación. La fertilización fue química mediante una fórmula de 100-50-50 dividida en dos épocas: a mediados de marzo, al inicio de la época de crecimiento vegetativo (50-50-50) y al final de la cosecha (50-0-0). Las malezas emergidas entre los setos (calles) se controlaron mecánicamente cuando alcanzaron una altura de 20 cm. La principal plaga que se presentó durante la fase de campo fue *Macroductylus* spp. (frailecillo), el cual se controló mediante aspersiones quincenales de Foley (1.5 ml L<sup>-1</sup>) durante la época de mayor infestación que fue de mayo a julio.

29° north and a longitude of 98° 53' west and an altitude of 2 250 meters above sea level. The National Weather Service (NWS, 2010) reports an average of 30 years (1971 to 2000), an average minimum temperature of 7.8 °C and an average maximum temperature of 25 °C. In 2008, the lowest temperature during the growth period was 1.8 °C and the highest was 30.8 °C, registered on March 8 and May 10, respectively (Figure 1), and the maximum, medium and minimum average temperatures were similar to the ones reported by the NWS in 2010 (Table 1).

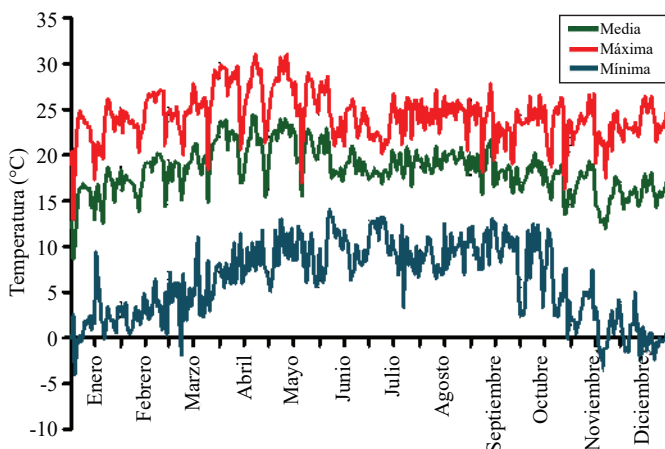


Figura 1. Marcha de la temperatura en el valle de Texcoco durante 2008 (estación meteorológica del Colegio de Posgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México).

Figure 1. Temperature progress in the Valley of Texcoco during 2008 (weather station of the Colegio de Posgraduados, Montecillo Campus, Texcoco, State of Mexico).

Plantation management. Two year old plants from the 'Autumn Bliss' culture were used in a hedge plantation. The work was done with a hedge of plants that was oriented from

Cuadro 1. Temperaturas promedio mensuales y precipitación mensual y total durante el período de crecimiento en 2008 de frambuesa roja productora de otoño 'Autumn Bliss' en el valle de Texcoco (estación meteorológica del Colegio de Posgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México).

Table 1. Average monthly temperatures and monthly and total precipitation during the growth period in 2008 of the fall red raspberry 'Autumn Bliss' in the Valley of Texcoco (weather station of the Colegio de Posgraduados, Montecillo Campus, Texcoco, State of Mexico).

Temperatura (°C)	F	M	A	M	J	J	A	X
Mínima	2.8	4.9	8	9.3	9.7	10	9.3	7.8
Media	17.8	19.3	21.1	21.5	19.2	18.7	19.4	19.6
Máxima	24.6	25.2	27.3	27.1	24.3	23.5	24.6	25.2
Precipitación (mm)	1.9	7.5	73.6	24	82	83.4	67.5	339.9

Tratamientos y arreglo del experimento. A principio de mayo de 2008 se hizo un raleo de primocañas para establecer las densidades consideradas en el estudio. En este raleo, las primocañas menos vigorosas se podaron al ras del suelo y se dejaron solo aquellas con un vigor uniforme. Se estudiaron cuatro densidades de cañas (10, 20, 30 y 40 cañas m<sup>-2</sup>). Cada densidad de caña se consideró como un tratamiento. El seto de plantas se dividió en cuatro bloques de 8 m de longitud cada uno; en cada bloque se distribuyeron al azar los cuatro tratamientos, cada tratamiento en una parcela de 2 m de longitud y 1.20 m de ancho. Cada parcela fue considerada como una unidad experimental, pero las variables respuesta se midieron en el metro lineal ubicado en el centro de la parcela.

Registro de variables respuesta. Las cañas de cada unidad experimental se cosecharon manualmente del 19 de mayo al 11 de julio de 2008. La recolección de frutos fue tres veces por semana y en cada recolección se pesaron los frutos cosechados para obtener el rendimiento por área de cada parcela. El 9 de junio, época en la que se observó el pico máximo de cosecha, se determinó, además del peso por fruto, las dimensiones de fruto (largo y ancho), el contenido de sólidos solubles totales, el pH y la acidez por titulación con NaOH.

Para determinar las dimensiones de fruto se utilizó un vernier digital; los grados Brix se determinaron con refractómetro digital (ATAGO; PAL-1); el pH se determinó con un potenciómetro digital (Conductronic PH10) y la titulación se realizó mediante goteo del NaOH con pipeta graduada. Un mes después del fin de cosecha, se determinaron las dimensiones finales de la caña, para lo cual se eligieron al azar tres cañas por parcela experimental y se midió su longitud desde la base, el número de nudos totales y el diámetro de caña a la altura de 10 cm sobre el suelo.

Análisis de datos. Los datos se analizaron en el programa SAS 9.0 (SAS Inst. Inc., Cary, NC) bajo un modelo de bloques completos al azar. Para conocer la significancia de los tratamientos, se utilizó el procedimiento ANOVA y las medias se separaron por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Para conocer las interrelaciones entre los componentes de rendimiento se realizó un análisis de senderos (Carey, 1998), con el cual se partieron los efectos de correlación en efectos directos e indirectos. Para determinar relaciones entre densidad de caña y el resto de los componentes de rendimiento, se determinaron los coeficientes estandarizados de regresión mediante la especificación STB en el

north to south. The hedge was 36 m long and 1.20 meters wide. The canes of the 2007 productive cycle were cut to ground level on February 17, 2008 in order to start the 2008 productive cycle. The plants were watered by wheel move irrigation once a week, except in the rainy season (May-July) when their watering depended on precipitation. The plant fertilization was chemical, using a 100-50-50 formula divided in two periods: mid-March, at the beginning of the vegetative growth period (50-50-50) and at the end of the harvest (50-0-0). The undergrowth between the hedges (streets) was mechanically controlled when it reached a height of 20 cm. The main plague that was presented during the field phase was *Macrodactylus* spp. (frailecillo), which was controlled through the biweekly sprinkling of Foley (1.5 ml liter<sup>-1</sup>) during the period of higher infestation; this was from May to July.

Treatments and conditions of the experiment. At the beginning of May 2009, a thinning of primocanes was done in order to establish the densities considered in the study. The less strong primocanes were cut to ground level and only those with uniform strength were left. Four cane densities were studied (10, 20, 30 and 40 canes m<sup>-2</sup>). Each cane density was considered a treatment. The hedges were divided into four blocks, 8 m long each one; the four treatments were randomly distributed in each block, each treatment in a parcel of 2 m long and 1.20 m wide. Each parcel was considered an experimental unit, but the response variables were measured in the lineal meter located at the center of the parcel.

Record of response variables. The canes of each experimental unit were manually harvested from May 19 to July 11, 2008. The collection of fruit was done three times per week and in each collection the fruit was weighed in order to obtain the yield per area of each parcel. On June 9, in which the maximum harvest peak was observed, it was determined, besides the fruit weight, the dimensions of the fruit (length and breadth), the content of total soluble solids, the pH and the acidity through titration with NaOH.

In order to determine the dimensions of the fruit, a digital Vernier was used. The Brix levels were determined with a digital refractometer (ATAGO; PAL-1), the pH was determined with a digital potentiometer (Conductronic PH10) and the titration was done through the dripping of NaOH with a graduated pipette. The final dimensions of the

subcomando MODEL para PROC REG. Las interrelaciones entre los componentes de rendimiento dependientes a densidad de caña se determinaron mediante el cálculo y suma de los efectos directos e indirectos entre las variables dependientes (componentes de rendimiento) y la variable independiente (densidad de caña).

## Resultados y discusión

Periodo de cosecha. A diferencia de Oliveira *et al.* (2004), quienes encontraron que las altas densidades de caña retrasan la iniciación de flores y, consecuentemente, la fructificación en las cañas de frambuesa ‘Autumn Bliss’, en nuestro estudio la densidad de cañas no afectó el inicio de la época de cosecha, la cual se observó el 19 de mayo de 2008 (92 días después de la poda de cañas) en todos los tratamientos, excepto en el de 20 cañas m<sup>-2</sup> que se empezó a cosechar dos días después (Figuras 2 y 3). Hoover *et al.* (1989), indican que varios factores tienen efecto sobre el tiempo de cosecha para un mismo cultivar de frambuesa en diferentes regiones, entre ellos la acumulación de calor, la nubosidad, el manejo de la plantación y la diferencia de temperaturas entre la noche y el día. Sonstebly y Heide (2009) demostraron la interacción entre la temperatura y el fotoperiodo en la inducción floral de frambuesa ‘Polka’, un cultivar productor de otoño descendiente de ‘Autumn Bliss’, y sugieren que esta interacción afecta de manera general a los cultivares productores de otoño.

Esta interacción entre temperatura y fotoperiodo implica que las yemas de frambuesas productoras de otoño tienden a entrar en letargo en los días cortos y requieren temperaturas arriba de 20 °C para revertir ese efecto, mientras florecen sin problemas en los días largos sin importar la temperatura. Oliveira y sus colaboradores crecieron ‘Autumn Bliss’ a finales de verano y durante el otoño, cuando los días se están haciendo más cortos. En ese caso, la acumulación de calor pudo convertirse en un factor determinante para la iniciación floral al igual que otros factores como la tasa fotosintética, la cual fue mayor en las cañas que se encontraban a menor densidad que en aquellas que se encontraban a mayor densidad (Oliveira *et al.*, 2004); en este sentido, se sabe la importancia de los carbohidratos “actuales” (de reciente síntesis en las hojas) para la formación de flores en frambuesa (Alvarado-Raya *et al.*, 2007; Darnell *et al.*, 2008).

cane were determined a month after the end of the harvest. For this, three canes were randomly chosen per experimental parcel and their longitude was measured from the base, the number of total knots and the diameter of the cane at a height of 10 cm above the ground.

Data analysis. The information was analyzed in the SAS 9.0 program (SAS Inst. Inc., Caru, NC) under a random complete block model. In order to know the significance of the treatments, the ANOVA procedure was used and the measures were divided using the Tukey test ( $\alpha=0.05$ ).

In order to know the interrelations of the yield components, a path analysis was done (Carey, 1998). With this, the correlation in direct and indirect effects was divided. The standardized regression coefficients were determined through the STB specification in the MODEL subcommand for PROC REG in order to determine the relations between cane density and the rest of the yield components. The interrelations among yield components dependent on the cane density were determined through the calculation and addition of the direct and indirect effects divided by the dependent variables (yield components) and the independent variable (cane density).

## Results and discussion

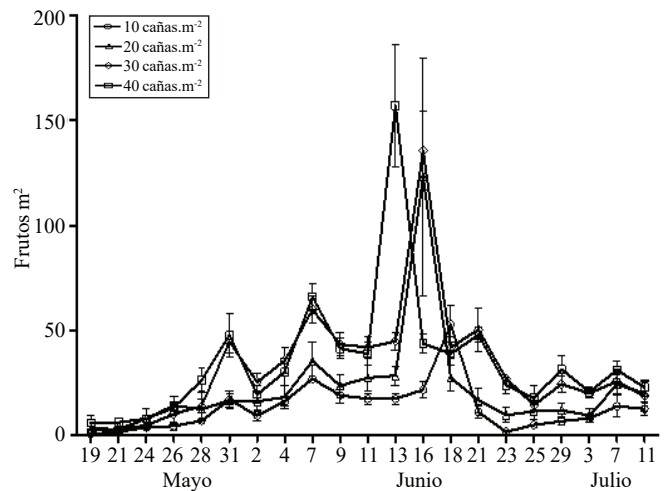
Harvest period. Unlike Oliveira *et al.* (2004), who found that the high cane densities delay the bloom of flowers and, consequently, the bearing of fruit in ‘Autumn Bliss’ raspberry canes, our study found the cane density did not affect the beginning of the harvest season, which was observed on May 19, 2008 (92 days after the trimming of the canes) in all treatments, with the exception of the parcel with 20 canes m<sup>-2</sup> which was harvested two days later (Figures 2 and 3). Hoover *et al.* (1989) indicate that several factors have an effect on the harvest time for the same raspberry crop in different regions, among these is the accumulation of heat, cloudiness, plantation management and the temperature difference between night and day. Sonstebly and Heide (2009) showed the interaction between the temperature and the photoperiod in the blooming of ‘Polka’ raspberry, a fall producer descendant of ‘Autumn Bliss’, and suggest that this interaction generally affects fall cultures.

La falta de efecto de la densidad de caña en el inicio de cosecha en plantas de frambuesa crecidas en el verano también fue observada por Myers (1993), quien cultivó plantas del cultivar productor de otoño 'Heritage' durante marzo a agosto en dos diferentes sitios dentro del estado de Georgia, EUA., y con tres diferentes distancias iniciales dentro de la línea de plantación (25, 50 y 100 cm entre plantas).

El inicio de cosecha después de establecido el experimento (plantación o poda de cañas) en nuestro caso (92 días) fue por mucho adelantado a aquel observado por Myers (1993) en 'Heritage' en Georgia, EUA. (150 días), Oliveira *et al.* (2004) en 'Autumn Bliss' en Portugal (120 días) y Parra-Quezada *et al.* (2008), en 'Autumn Bliss' en Chihuahua, México (120 días). En nuestro experimento, se requirieron de 1 198 unidades calor (UC) para el inicio de cosecha después de la poda de cañas en febrero y fue por mucho menor a las 2 900 UC requeridas por Oliveira y sus colaboradores después de podar las cañas al ras de suelo en julio. Esta diferencia puede ser explicada por la interacción temperatura-fotoperiodo mencionada anteriormente (Sonstebly y Heide, 2009). Ahora, aunque Myers (1993) y Parra-Quezada *et al.* (2008) no indican la acumulación de calor requerida para el inicio de cosecha, la diferencia de información a este respecto puede deberse, entre otros factores ambientales, a la marcha de la temperatura y el tiempo necesario para acumular el calor en los diferentes sitios experimentales.

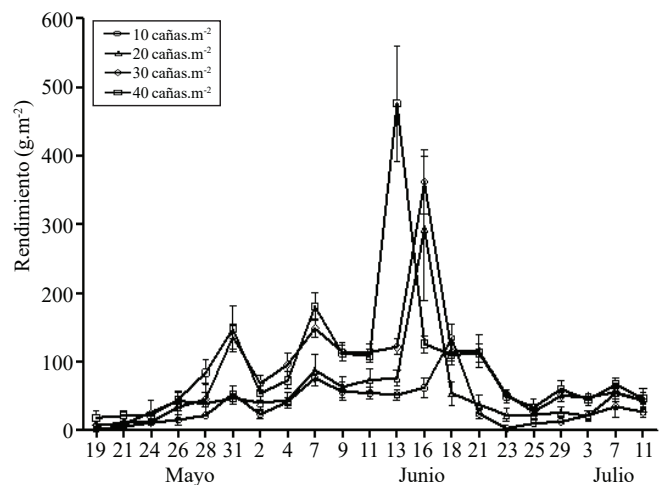
La duración del periodo de cosecha en este experimento también fue diferente a aquella reportada en otros estudios. La cosecha de frutos se dio por concluida el 11 de julio de 2008 en los cuatro tratamientos, después de una reducción evidente en el número de frutos que hizo irregular la cosecha de las unidades experimentales. Las diferencias en densidad de caña no afectaron el comportamiento general del periodo de cosecha: se inició con un incremento sostenido en el rendimiento por área con pequeños picos en la primera y segunda semana de junio hasta observar un pico de cosecha evidente en la segunda y tercera semana de junio (Figura 3).

Parra-Quezada *et al.* (2008) registraron un periodo de cosecha de agosto a octubre para 'Autumn Bliss' en Chihuahua, México; su periodo de cosecha fue de aproximadamente 84 días. Myers (1993) reportó un periodo de cosecha del 12 de agosto al 4 de noviembre (85 días) para 'Heritage'. En nuestro estudio, el periodo de cosecha fue de 54 días; es decir, un mes más corto que en Chihuahua, México y que en Georgia, EUA, lo cual es ventajoso considerando los



**Figura 2. Rendimiento (frutos  $m^{-2}$ ) en cuatro densidades de caña de frambuesa roja productora de otoño 'Autumn Bliss' en una plantación en hilera bajo un sistema multianual en el valle de México. La barra representa el error estándar del promedio de cuatro repeticiones.**

**Figure 2. Yield (fruit  $m^{-2}$ ) in four cane densities of the fall red raspberry 'Autumn Bliss' in a row plantation under a multi-annual system in the Valley of Mexico. The bar represents the standard error of the average of four repetitions.**



**Figura 3. Rendimiento (gramos  $m^{-2}$ ) en cuatro densidades de caña de frambuesa roja productora de otoño 'Autumn Bliss' en una plantación en hilera bajo un sistema multianual en el valle de México. La barra representa el error estándar del promedio de cuatro repeticiones.**

**Figure 3. Yield (grams  $m^{-2}$ ) in four cane densities of the fall red raspberry 'Autumn Bliss' in a row plantation under a multi-annual system in the Valley of Mexico. The bar represents the standard error of the average regarding repetitions.**

This interaction between temperature and photoperiod implies that the buds of fall raspberries tend to drop into lethargy during shorter days and require temperatures above 20 °C to revert this effect, while they bloom without a problem during longer days

costos por jornal que se invierten en el período de cosecha, una de las actividades más demandantes de jornales en la producción de frambuesa.

Rendimiento y calidad de fruto. Desde el inicio de cosecha, se obtuvieron más frutos por área con las mayores densidades de caña (Figura 2), lo cual resultó en rendimientos por área significativamente superiores en las densidades de 30 y 40 cañas m<sup>2</sup> comparadas con las densidades de 10 y 20 cañas m<sup>2</sup> (Cuadro 2). Contrariamente, el número de frutos por caña se vio afectado negativamente por la densidad de caña (Figura 5).

**Cuadro 2. Respuesta en los componentes de rendimiento de frambuesa productora de otoño ‘Autumn Bliss’ a la densidad de caña.**

**Table 2. Response in the yield components of the fall raspberry ‘Autumn Bliss’ to cane density.**

Cañas m <sup>-2</sup>	Frutos caña <sup>-1</sup>	Frutos m <sup>-2</sup>	G caña <sup>-1</sup>	G m <sup>-2</sup>
10	27.1	271b <sup>z</sup>	74.4	744b
20	22.9	457.2b	56.8	1135.1b
30	22.8	685a	59.3	1778.5a
40	18.4	735.2a	49.8	1993.3a
DMS	10.8	212.7	27.2	522.9

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

Aunque esta relación no se expresó de manera significativa en los rendimientos por caña de cada tratamiento, estos mostraron una tendencia a disminuir conforme se incrementa la densidad de caña (Cuadro 2), resultando en un comportamiento similar del rendimiento por caña. Uno de los componentes de rendimiento de la frambuesa es la densidad de cañas y tiene un efecto lineal significativo sobre el rendimiento por área (Gundersheim and Pritts, 1991; Vanden Heuvel *et al.*, 2000). Trabajos previos han mostrado que el incremento en la densidad de cañas resulta en un incremento en el rendimiento por área pero tiene efecto negativo en el número de frutos por caña y consecuentemente en el rendimiento por caña (Vandel Heuvel *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2004; Darnell *et al.*, 2006). Al respecto, los carbohidratos de la raíz son importantes tanto para el crecimiento como para la formación de flores de las cañas (Oliveira *et al.*, 2007; Darnell *et al.*, 2008); el mayor número de cañas por área de manera constante durante el crecimiento activo y durante el período de formación de flores pueden resultar en competencia entre cañas por esos carbohidratos de reserva, disminuyendo así el número de flores diferenciadas y consecuentemente el número de frutos por caña (Darnell *et al.*, 2008).

El rendimiento por hectárea estimado con una densidad de 40 cañas m<sup>2</sup> para este estudio es de 19.9 t ha<sup>-1</sup>, el cual está por arriba de la media nacional (16.2 t ha<sup>-1</sup>), así como de la media

no matter the temperature. Oliveira and his collaborators grew ‘Autumn Bliss’ at the end of summer and during fall when the days were becoming shorter. In this case, the accumulation of heat could have turned into a determining factor for the blooming of the plants as well as other factors such as the photosynthetic rate, which was higher in the canes with a lower density than those with a higher density (Oliveira *et al.*, 2004). In this sense, the importance of the “current” carbohydrates (of recent synthesis in the leaves) for the formation of flowers in raspberry is known (Alvarado-Raya *et al.*, 2007; Darnell *et al.*, 2008).

The lack of an effect on the cane density at the beginning of the harvest for raspberry plants grown in summer was also observed by Myers (1993), who cultivated ‘Heritage’ fall crops during March to August in two different locations in Georgia, USA, and with three different initial distances within the line of plantation (25, 50 and 100 cm between plants).

The beginning of the harvest after having established the experiment (plantation or trimming of the canes) in our case (92 days) was much earlier than that observed by Myers (1993) in ‘Heritage’ in Georgia, USA (150 days), Oliveira *et al.* (2004) in ‘Autumn Bliss’ in Portugal (120 days), and Parra-Quezada *et al.* (2008) in ‘Autumn Bliss’ in Chihuahua, Mexico (120 days). In our experiment, 1 198 heat units (HU) were required for the beginning of the harvest after the trimming of canes in February, far less than the 2 900 HU required by Oliveira and his collaborators after trimming the canes to ground level in July. This difference could be explained by the interaction of temperature-photoperiod mentioned before (Sonstebly and Heide, 2009). Even though Myers (1993) and Parra-Quezada *et al.* (2008) do not indicate the accumulation of heat required for the beginning of the harvest, the difference of information in this regard could be due, among other environmental factors, to the progress of the temperature and the time necessary for the accumulation of heat in the different experimental sites.



estatal de Hidalgo (18.7 t ha<sup>-1</sup>), Jalisco (14.3 t ha<sup>-1</sup>) y Michoacán (15.8 t ha<sup>-1</sup>), los cuales son los principales estados productores de frambuesa en México; y solo por debajo de Baja California que tiene un rendimiento de 29 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2011).

La calidad de fruto no fue afectada por los cambios en la densidad de caña (Cuadro 3). Los valores obtenidos en este estudio para pH, SST y Acidez fueron similares a los reportados para otros cultivares de frambuesa roja (Vanden Heuvel *et al.*, 2000; Darnell *et al.*, 2006). Al respecto, Darnell *et al.* (2006) no encontraron diferencias en los SST y la acidez de frutos de frambuesa 'Heritage' (productora de otoño) y 'Tulamen' (productora de verano) al comparar distancias de 25 y 50 cm dentro de la línea de plantación; los autores sugieren que no hubo diferencia en la capacidad fotosintética de las plantas, independientemente de la distancia de plantación.

### Cuadro 3. Efecto de la densidad de caña en la calidad y dimensiones del fruto de frambuesa productora de otoño 'Autumn Bliss'.

Table 3. Effect of cane density on the quality and dimensions of the fall red raspberry 'Autumn Bliss'.

Densidad (cañas m <sup>-2</sup> )	pH	SST (°Brix)	Acidez (%)	Acidez/ SST	Largo (mm)	Ancho (mm)	Cono (mm)	Peso (g)
10	3.15	8.21	1.42	5.87	18.5	18.5	8.7	2.75
20	3.17	8.67	1.37	6.32	17.3	18.9	8.3	2.65
30	3.15	8.56	1.42	6	16.3	17.9	8	2.65
40	3.17	8.01	1.4	5.65	17.6	18	8.3	2.7
DMS	0.06	0.98	0.25	1.51	2.4	1.8	0.9	0.28

Peso de fruto. El peso de fruto no fue afectado por las diferentes densidades de plantación estudiadas (Cuadro 3, Figura 5). Resultados similares obtuvieron Gundersheim and Pritts (1991) al comparar densidades de 4, 6, 8 y 12 cañas por planta en frambuesa purpura [(*Rubus occidentalis* x *R. idaeus*) x *R. idaeus*] 'Royalty', al igual que Nes *et al.* (2008) al comparar 6, 8 y 10 cañas por metro lineal en frambuesa roja 'Glen Ample'. De acuerdo con Gundersheim and Pritts (1991), el tamaño de fruto disminuye significativamente solo cuando hay deficiencias en el suministro de humedad, minerales y luz. En este experimento, el suministro de agua y minerales fue uniforme para todos los tratamientos y el nulo efecto de los tratamientos sobre el tamaño de fruto sugiere que el incremento desde 10 hasta 40 cañas m<sup>-2</sup> no logró disminuir drásticamente estos recursos, así como tampoco afectó el suministro de luz.

Aunque los tratamientos no afectaron el peso de fruto, si hubo un decremento sostenido de esta variable durante el periodo de cosecha (Figura 4). Este decremento del peso de fruto fue estadísticamente significativo ( $p \leq 0.0001$ ) y resultó en un

The duration of the harvest period in this experiment was also different than those reported in other studies. The fruit harvest was deemed completed on July 11, 2008 for the four treatments, after an evident reduction in the number of fruits that had irregular experimental units in the harvest. The differences in cane density did not affect the general behavior of the harvest period: it was initiated with a sustained increase in the yield per area with small peaks in the first and second weeks of June until observing an evident harvest peak in the second and third weeks of June (Figure 3).

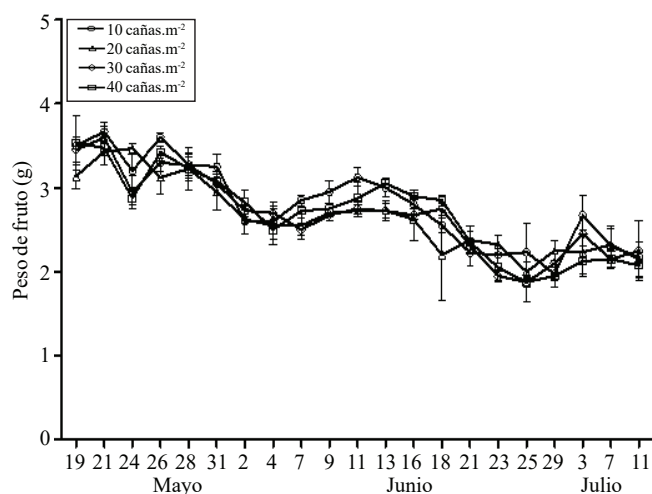
Parra-Quezada *et al.* (2008) recorded a harvest period from August to October for 'Autumn Bliss' in Chihuahua, Mexico; their harvest period was approximately 84 days. Myers (1993) reported a harvest period from August 12 to November 4 (85 days) for 'Heritage'. In our study, the

harvest period was 54 days; it was one month shorter than the harvest in Chihuahua, Mexico and Georgia, USA, which is advantageous considering the wages per day invested in the harvest period, one of the most demanding activities in raspberry production.

Yield and fruit quality. From the start of the harvest, more fruit per area was obtained with the highest cane densities (Figure 2), which resulted in significantly superior yields per area in the 30 and 40 cane densities m<sup>-2</sup> compared to the 10 and 20 cane densities m<sup>-2</sup> (Table 2). Conversely, the number of fruits per cane was negatively affected by the cane density (Figure 5).

Even though this relation was not significantly expressed in the yields per cane of each treatment, these showed a tendency to decrease as the cane density increases (Table 2), resulting in a similar behavior in the yield per cane. One of the yield components of raspberry is the cane density and it has a significant linear effect on the yield per area (Gundersheim

fruto mayor al inicio de la cosecha (3.5 g; 21 de mayo) que en el pico de cosecha (2.9 g; 11 de junio) y, este último, mayor que aquel al final de la cosecha (2.2 g; 11 de julio). La disminución en el peso de fruto de frambuesa conforme avanza el periodo de cosecha ha sido reportada por otros investigadores (Remberg *et al.*, 2010; Sonstebj y Heide, 2010). Privé *et al.* (1993) encontraron que en frambuesa, el tamaño de fruto junto con el número de frutos y el rendimiento son las características más afectadas por el ambiente y que el tamaño de fruto tiene una interacción positiva con la temperatura del suelo al final de la época de cosecha, la temperatura del aire durante la diferenciación floral, la longitud del día (días largos) y el suministro de agua durante todo el periodo de crecimiento; pero además, estos factores tuvieron efectos diferenciados que dependieron de la época de desarrollo del cultivo y el cultivar, lo cual genera una interacción muy compleja entre el peso de fruto y el ambiente.



**Figura 4. Peso de fruto de frambuesa roja productora de otoño ‘Autumn Bliss’ durante el periodo productivo en cuatro diferentes densidades de planta en una plantación en hilera bajo un sistema multianual en el valle de México.** La barra representa el error estándar del promedio de cuatro repeticiones.

**Figure 4. Weight of the fall red raspberry ‘Autumn Bliss’ during the productive period in four different plant densities in a row plantation under a multi-annual system in the Valley of Mexico.** The bar represents the standard error of the average of four repetitions.

**Crecimiento vegetativo.** La planta de frambuesa presenta varias cañas compartiendo el mismo sistema de raíces, unas de ellas en etapa de crecimiento vegetativo intenso y otras en floración y fructificación. La raíz es fuente importante de carbohidratos para el crecimiento inicial de la caña (Alvarado-Raya *et al.*, 2007). En este experimento, el

and Pritts, 1991; Vanden Heuvel *et al.*, 2000). Previous works have shown that the increase in cane density results in an increase in the yield per area but has a negative effect on the number of fruits per cane and consequently on the yield per cane (Vandel Heuvel *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2004; Darnell *et al.*, 2006). Therefore, the root carbohydrates are important both to the growth and to the blooming of flowers in the canes (Oliveira *et al.*, 2007; Darnell *et al.*, 2008). The highest number of canes per area in a constant manner during the active growth and during the flower formation period could result in the competition between canes for these reserve carbohydrates, thus decreasing the number of flowers and consequently the number of fruits per cane (Darnell *et al.*, 2008).

The yield per hectare estimated with a density of 40 canes m<sup>-2</sup> for this study is 19.9 t h<sup>-1</sup>, which is above the national average (16.2 t h<sup>-1</sup>), as well as the state average of Hidalgo (18.7 t h<sup>-1</sup>), Jalisco (14.3 t h<sup>-1</sup>) and Michoacán (15.8 t h<sup>-1</sup>), which are the main raspberry producing states in Mexico, and are only below Baja California which has a yield of 29 t h<sup>-1</sup> (SIAP, 2011).

The fruit quality was not affected by the changes in the cane density (Table 3). The values obtained in this study for pH, SST and acidity were similar to the ones reported for other cultures of red raspberry (Vanden Heuvel *et al.*, 2000; Darnell *et al.*, 2006). In this regard, Darnell *et al.* (2006) did not find any differences in the SST and in the acidity of ‘Heritage’ raspberry fruit (fall) and ‘Tulamen’ (summer) when comparing distances of 25 and 50 cm within the plantation line. The authors suggest that there was no difference in the photosynthetic capacity of the plants, regardless of the plantation distance.

**Fruit weight.** The fruit weight was not affected by the different densities of plantations studied (Table 3, Figure 5). Similar results were obtained by Gundersheim and Pritts (1991) when comparing cane densities of 4, 6, 8 and 12 per purple raspberry plant [(*Rubus occidentalis* x *R. idaeus*) x *R. Idaeus*] ‘Royalty’, as well as Nes *et al.* (2008) when comparing 6, 8 and 10 canes per lineal meter in red raspberry ‘Glen Ample’. According to Gundersheim and Pritts (1991), the size of the fruit decreases significantly only when there are deficiencies in the provisions of humidity, minerals and light. In this experiment, the supply of water and minerals was uniform for all treatments and the nonexistent effect of the treatments on the size of the fruit suggest that the increase from 10 to 40 canes m<sup>-2</sup> did not manage to drastically reduce these resources, and it did not affect the provision of light.

tratamiento con 10 cañas.m<sup>2</sup> resultó en cañas más vigorosas que los tratamientos con 20, 30 y 40 cañas m<sup>2</sup> (Cuadro 4), lo cual sugiere una menor competencia por carbohidratos de la raíz en las primeras etapas de crecimiento de la caña con las menores densidades. Resultados similares fueron reportados por Oliveira *et al.* (2004), quienes encontraron que la longitud y el diámetro de caña de frambuesa 'Autumn Bliss' disminuyen linealmente al incrementar la densidad desde 8 hasta 32 cañas por metro de hilera.

Even though the treatments did not affect the fruit weight, there was a sustained decrease of this variable during the harvest period (Figure 4). This decrease in fruit weight was statistically significant ( $p \leq 0.0001$ ) and resulted in a larger fruit at the beginning of the harvest (3.5 g; May 21) than at the peak of the harvest (2.9 g; June 11) and, thus, bigger than the one at the end of the harvest (2.2 g; July 11). Decrease in the raspberry fruit weight as the harvest period progresses has been reported by other researches (Remberg *et al.*, 2010;

#### Cuadro 4. Efecto de la densidad de cañas en las dimensiones de la caña fructificante de la frambuesa roja productora de otoño 'Autumn Bliss'.

Table 4. Effect of the cane density on the dimensions of the fruit cane of the fall red raspberry 'Autumn Bliss'.

Densidad (cañas.m <sup>2</sup> )	Longitud (cm)	Diámetro basal <sup>z</sup> (cm)	Número de nudos
10	106.3a <sup>y</sup>	1.3a	8.6
20	84.9b	1b	8.9
30	78.3b	0.8b	9
40	86.2b	0.9b	9.8
DMS	12.1	0.3	2.5

<sup>z</sup>Diámetro a los 10 cm sobre el nivel del suelo; <sup>y</sup>Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Interrelaciones entre componentes de rendimiento. El análisis de senderos permite analizar las interrelaciones entre los componentes de rendimiento considerados en este estudio (Figura 5). Mediante este análisis, se observa que la densidad de caña afecta el rendimiento de frambuesa por cuatro caminos, uno es el efecto directo que tiene de manera positiva sobre el rendimiento por área ( $p \leq 0.001$ ). Otro camino es el efecto indirecto que tiene sobre el rendimiento por área, el cual se observa desde densidad de caña hasta frutos por área ( $p \leq 0.001$ ) y de frutos por área a rendimiento por área ( $p \leq 0.001$ ). Otro camino es el efecto directo y negativo que la densidad de caña tiene sobre el rendimiento por caña ( $p \leq 0.05$ ).

En el diagrama de interrelaciones también resalta, por un lado, que no hay relación significativa entre el rendimiento por caña y el rendimiento por área, resultando más importante el número de cañas por área para el rendimiento de frambuesa. Por otro lado, el tamaño de fruto es la única variable en este estudio que no se relaciona con el resto de los componentes de rendimiento. Al respecto, Venden Heuvel *et al.* (2000) reportan un efecto negativo ( $p \leq 0.01$ ) de la densidad de cañas sobre el tamaño de fruto y lo explican por una reducción en la penetración de luz en el dosel. En el mismo sentido, Gundersheim and Pritts (1991) encontraron que la densidad de cañas no afecta el tamaño de fruto cuando se asegura un adecuado nivel de humedad, minerales y luz para la planta. En este experimento, la falta de relación entre

Sonstebly y Heide, 2010). Privé *et al.* (1993) found that when it came to raspberries, the size of the fruit along with the number of fruit and the yield are the characteristics most affected by the environment and that the size of the fruit interacts positively with the temperature of the soil at the end of the harvest season, the temperature of the wind during the floral differentiation, the length of the day (longer days) and the water supply during the entire growth period. However, these factors also had different effects that depended on the season of development of the culture and the crop, which generates a very complex interaction between the fruit weight and the environment.

Vegetative growth. The raspberry plant presents several canes which share the same root system, one of them in intense vegetative growth and another in bloom and bearing fruit. The root is an important source of carbohydrates for the initial growth of the cane (Alvarado-Raya *et al.*, 2007). In this experiment, the treatment with 10 canes m<sup>2</sup> resulted in stronger canes than those in the treatments with 20, 30 and 40 canes m<sup>2</sup> (Table 4), which suggests a lesser competition for root carbohydrates in the first growth stages of the canes with lesser densities. Similar results were reported by Oliveira *et al.* (2004), who found that the longitude and the diameter of the raspberry cane 'Autumn Bliss' lineally decreases when increasing the density from 8 to 32 canes per row meter.

la densidad de caña y el tamaño de fruto, permiten inferir que el suministro de agua, minerales y luz para la planta no se vio afectado por las densidades de caña estudiadas.

## Conclusiones

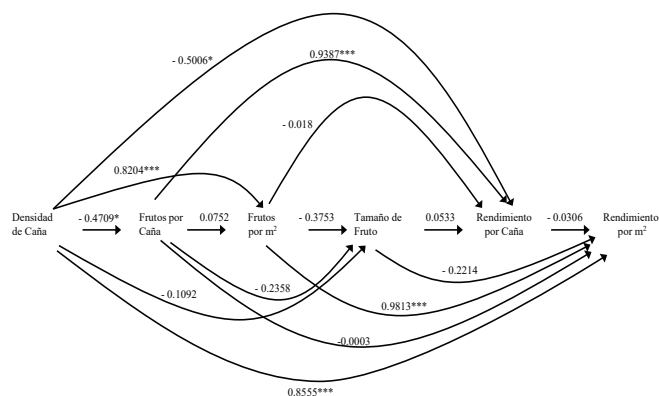
La densidad de cañas en frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) productora de otoño del cultivar Autumn Bliss producida en condiciones del Valle de México determina el rendimiento de frambuesa por dos caminos directos: relacionándose positivamente con el rendimiento por área y relacionándose negativamente con el rendimiento por caña. Este último, no afecta el rendimiento por área, por lo que es más importante la cantidad de cañas por área para determinar el rendimiento.

Las características del fruto, incluido su peso, dimensiones, SST, pH y acidez, así como el inicio y fin del período de cosecha no fueron afectadas por las cuatro densidades de caña consideradas en este estudio. Las mayores densidades de caña resultaron en mayores rendimientos por área. Si se consideran las 20 t ha<sup>-1</sup> estimadas para la densidad de 40 cañas m<sup>-2</sup>, lo cual implica un rendimiento por arriba de la media nacional, se puede recomendar esta densidad de caña para plantaciones en seto en el Valle de México.

## Literatura citada

- Carey, G. 1998. Multiple regression and path analysis. <http://psych.colorado.edu/~carey/Courses/PSYC7291/handouts/pathanal2.pdf>.
- Darnell, R. L.; Alvarado-Raya, H. E. and Williamson, J. G. 2008. Root pruning effects on growth and yield of red raspberry. *HortSci.* 43:681-684.
- FAO Statistics Division (FAOSTAT). 2011. [faostat.fao.org](http://faostat.fao.org) (consultado marzo, 2012).
- Gundersheim, N. A. and Pritts, M. P. 1991. Pruning practices affect yield, yield components and their distribution in 'Royalty' purple raspberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:390-395.
- Hoover, E.; Luby, J. and Bedford, D. 1989. Yield components of primocane-fruited red raspberries. *Acta Hort.* 183:163-166.
- Martin, L. W. and Nelson, E. 1986. Effects of between-row spacing and training method on yield and plant characteristics of mechanical harvested 'Meeker' red raspberry. *Acta Hort.* 183:167-172.
- Menzies, R. and Brien, J. 2002. Raspberry growing in NSW. Agfact H3.1.46. NSW Agriculture. [http://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0020/140249/raspberry-growing-in-nsw.pdf](http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/140249/raspberry-growing-in-nsw.pdf).

Interrelation between yield components. The analysis of rows allows us to analyze the interrelation between yield components considered in this study (Figure 5). Through this analysis, it can be observed that the cane density affects the raspberry yield in four ways. The first is the direct positive effect on the yield area ( $p \leq 0.001$ ). The next way is the indirect effect that it has on the yield per area, which can be observed from the cane density to the fruit per area ( $p \leq 0.001$ ) and the fruit per yield per area ( $p \leq 0.001$ ). The last is the direct and negative effect that the cane density has on the yield per cane ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 5. Diagrama de interrelaciones entre componentes de rendimiento y el efecto de la densidad de caña en frambuesa productora de otoño 'Autumn Bliss'. \*\*\*,\*\*\* significativo a  $p \leq 0.05$ ,  $0.01$ ,  $0.001$ , respectivamente (basado en Gundersheim and Pritts, 1991).**

**Figure 5. Diagram of interrelationships between component performance and the effect of density raspberry cane production autumn 'Autumn Bliss'. \*, \*\*, \*\*\* Significant the  $p \leq 0.05$ ,  $0.01$ ,  $0.001$ , respectively (based on Gundersheim and Pritts, 1991).**

In the interrelations diagram, on one hand it is highlighted that there is no significant relation between the yield per cane and the yield per area, making the number of canes per area more important for the yield of raspberry. On the other hand, the size of the fruit is the only variable in this study that does not relate to the rest of the yield components. In this regard, Venden Heuvel *et al.* (2000) report a negative effect ( $p \leq 0.01$ ) of the cane density on the size of the fruit and explain it with a reduction in the penetration of light in the canopy. Similarly, Gundersheim and Pritts (1991) found that cane density does not affect the fruit when an adequate level of humidity, minerals and light is ensured for the plant. In this experiment, the lack of relation between the cane density and the size of the fruit allows us to infer that the supply of water, minerals and light for the plant has not been affected by the cane densities that were studied.

- Nes, A.; Hageberg, B.; Haslestad, J. and Hegelund, R. 2008. Influence of cane density and height on productivity and performance of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivar 'Glen Ample'. *Acta Hort.* 777:231-235.
- Oliveira, P. B.; Oliveira, C. M. and Monteiro, A. A. 2004. Pruning date and cane density affect primocane development and yield of 'Autumn Bliss' red raspberry. *HortSci.* 39:520-524.
- Parra-Quezada, R. A.; Acosta-Rodríguez, G. F. and Arreola-Ávila, J. G. 2005. Crecimiento y producción de zarzamora cv. Cheyenne con cubiertas orgánicas. *Terra Latinoam.* 23:233-240.
- Parra-Quezada, R. A.; Ramírez-Legarreta, M. R.; Jacobo- Cuellar, J. L. and Arreola-Ávila, J. G. 2008. Fenología de la frambuesa roja 'Autumn Bliss' en Guerrero, Chihuahua, México. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 14:91-96.
- Pritts, M. P.; Laughans, R. W.; Withlow, T. H.; Kelly, M. J. and Roberts, A. 1999. Winter raspberry production in greenhouses. *HortTechnol.* 9:13-15.
- Privé, J. P.; Sullivan, J. A.; Proctor, J. T. A. and Allen, O. B. 1993. Climate influences vegetative and reproductive components of primocane-fruited red raspberry cultivars. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 118:393-399.
- Remberg, S. F.; Sonsteby, A.; Aaby, K. and Heide, O. M. 2010. Influence of postflowering temperature on fruit size and chemical composition of glen ample raspberry (*Rubus idaeus* L.). *J. Agric. Food Chem.* 58:9120-9128.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.gob.mx>.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2010. Normales climatológicas 1971-2000. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/mex/normal15170.txt>.

## Conclusions

The density in fall red raspberry canes (*Rubus idaeus* L.) from the Autumn Bliss culture and grown in the conditions of the Valley of Mexico determines the raspberry yield in two direct ways: positively relating to the yield per area and negatively relating to the yield per cane. The latter does not affect the yield per area, which makes the quantity of canes per area more important for the determination of the yield.

The characteristics of the fruit, including weight, dimensions, SST, pH and acidity, as well as the beginning and end of the harvest period, were not affected by the four cane densities considered in this study. The highest cane densities had more yield per area. If the 20 h<sup>-1</sup> estimated for the density of 40 canes m<sup>-2</sup> are considered, implying a yield above the national average, this cane density could be recommended for hedge plantations in the Valley of Mexico.

*End of the English version*



- Sonsteby, A. and Heide, O. M. 2010. Earliness and fruit yield and quality of annual-fruited red raspberry (*Rubus idaeus* L.): effects of temperature and genotype. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 85:341-349.