



Efecto de la época de aplicación del N y período de cosecha en la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch)

Effect of the N application season and harvest period on the production and quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch)

Raúl Cárdenas-Navarro; Luis López-Pérez* ; Philippe Lobit

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, km 9,5 Carretera Morelia, Zinapécuaro CP. 58880. Michoacán, México.

Received February 14, 2019. Accepted September 9, 2019.

Resumen

En este trabajo se evaluó el efecto de la época de aplicación del fertilizante nitrogenado y el período de cosecha sobre la producción y la calidad de frutos de fresa. Se plantaron fresas cv 'Camino real' en una parcela experimental en Morelia, México bajo condiciones de cielo abierto. Se aplicó 5 mM de N en el riego en distintas etapas fisiológicas del cultivo: crecimiento vegetativo (E1), entre el final de la primera fructificación e inicios de la segunda floración (E2) y sin nitrógeno (E3), durante el ciclo productivo. Se cosecharon los frutos rojos de cada planta y se evaluó la producción y parámetros de calidad. Se encontró que a medida que las aplicaciones fueron más tardías o no se aplicó N, disminuyen los frutos. El período de cosecha, influyó significativamente la producción y calidad del fruto. Las diferencias encontradas en los distintos períodos de cosecha estuvieron correlacionadas con las condiciones climáticas. La acidez, fenoles totales y sólidos solubles totales se correlacionaron positivamente con la radiación solar y temperatura. La concentración de antocianinas en los frutos es influenciada por ambos factores evaluados; lo cual podría ser de beneficio desde un punto de vista nutricional.

Palabras clave: condiciones climáticas; producción; sólidos solubles totales; fenoles totales; antocianinas.

Abstract

In this work the effect of the N fertilizer application season and the harvest period on the production and quality of strawberry fruits was evaluated. Strawberries cv 'Camino real' were planted an experimental plot in Morelia, Mexico under open field conditions. 5 mM of N was applied in the irrigation in different physiological stages of the crop: vegetative growth (E1), between the end of the first fruiting and the beginning of the second flowering (E2) without nitrogen (E3), during period from harvest. The red fruits of each plant were harvested and the production and quality parameters were evaluated. It was found that, the N application season modified the production, as the applications were later or N was not applied, the fruits decreased. The harvest period had an effect on the variables of production and fruit quality. The differences found in the different harvest periods were highly correlated with the climatic conditions. The acidity, total phenols concentration and total soluble solids were correlated positively with solar radiation and temperature. The concentration of anthocyanins was modified by both factors evaluated; which could be nutritionally benefic.

Keywords: climatic conditions; yield; soluble solid content total phenol; anthocyanin.

1. Introducción

El estado de Michoacán en México, es el principal productor de fresa a nivel

nacional y cuenta con la mayor superficie sembrada de este cultivo y el segundo en producción nacional (SIAP, 2017). El

How to cite this article:

Cárdenas-Navarro, R.; López-Pérez, L.; Lobit, P. 2019. Efecto de la época de aplicación del N y período de cosecha en la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). *Scientia Agropecuaria* 10(3): 337 – 345.

* Corresponding author

E-mail: lexquilax@yahoo.com.mx. (L. López-Pérez).

principal destino de la producción es la exportación a los Estados Unidos de América y preferentemente el consumo de los frutos es en fresco. Por lo que, además de la apariencia se busca un determinado tamaño y actualmente una buena calidad nutricional. Ante los requerimientos de calidad que los consumidores buscan en los frutos, es importante saber qué factores los modifican y principalmente aquellas que pueden ser relativamente controladas por los productores como el cultivar, las condiciones edafoclimáticas, sistema de cultivo, pero principalmente el manejo agronómico como la fuente, dosis y época de aplicación de la fertilización. El manejo del nitrógeno (N) es una cuestión clave en el cultivo de la fresa (Miltiadis y Aristotelis, 2016). El nitrógeno tiene un efecto crucial sobre varios parámetros de crecimiento de la fresa y en particular, en la distribución de la materia seca de la planta. De acuerdo con Breen y Martin (1981), los resultados de los estudios sobre el efecto de la fertilización N en el rendimiento de la fresa son contradictorios, ya que algunas veces, el aumento en el tamaño de la planta puede o no correlacionarse con un mayor rendimiento. Aunque la respuesta del N en la fresa, ha sido ampliamente estudiado, existe ahora un interés por evaluar el efecto del N ante los requerimientos de nuevos cultivares en los cuales en algunos de éstos los períodos de cosecha son más prolongados. Al ampliarse los períodos de cosecha, los frutos se desarrollarán bajo diferentes condiciones climáticas, las cuales se sabe que también condicionan la calidad de los frutos (Pineli et al., 2012; Gunduz y Ozdemir, 2014). Principalmente la temperatura, radiación y humedad relativa tienen un impacto significativo en la calidad química del fruto (Perez, 2016).

Las fresas contienen altos niveles de compuestos fenólicos y otros compuestos los cuales se sabe que proveen protección contra el daño por radicales libres y han sido asociados con la disminución de la incidencia y mortalidad de diversos tipos de cánceres y enfermedades coronarias

además de un sin número de beneficios para la salud (Fang, 2015; Cassidy, 2017). Muchos estudios han identificado un amplio rango de compuestos fenólicos en frutos de fresa (Aaby et al., 2007); sin embargo, las antocianinas cuantitativamente son las más importantes en los frutos maduros. Las antocianinas son las responsables del color rojo de los frutos y debido a su alta capacidad reductora, exhiben fuerte actividad antioxidante, por lo que su consumo puede proteger al organismo contra daños provocados por los radicales libres y la peroxidación de los lípidos (Tsai et al., 2002). Por otro lado, se tienen reportes que la fertilización puede modificar la concentración de antocianinas como compuestos fenólicos en los frutos de fresa. Así pues, tanto la producción como la calidad organoléptica y nutricional de los frutos de fresa puede ser modificada por la fertilización además de otros factores exógenos, así como parámetros medioambientales (Crespo et al., 2010).

Existe una necesidad de conocer más ampliamente como es que tanto la fertilización como el período de cosecha pueden afectar la producción y calidad de la fresa. Por lo que este trabajo tuvo como objetivo, evaluar cuatro diferentes épocas de aplicación del fertilizante N y diferentes períodos de cosecha sobre la producción y calidad nutricional de frutos de fresa.

2. Materiales y métodos

Condiciones experimentales y tratamientos

El experimento se estableció en una parcela agrícola del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Morelia Michoacán México (19° 45' 95" N, 101° 09' 16" O, 1900 m.s.n.m). El suelo es arcilloso, con un pH de 6,2, materia orgánica del 4,3% y N, P y K disponible de 108, 110 y 270 kg.ha⁻¹ respectivamente. Se registraron las condiciones meteorológicas (Tabla 1) del sitio experimental con una estación total (Davis Vantage Pro2), durante ocho meses que duró el experimento.

Tabla 1
Condiciones climáticas durante el experimento

Cosecha	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)	Radiación Solar (MJ m ⁻² d ⁻¹)	ET0 (mm)
P1	13,87	63,51	0,16	12,93	2,62
P2	11,76	78,29	2,54	8,39	1,39
P3	14,06	60,73	0,11	16,21	3,44
P4	13,59	68,22	5,42	15,66	2,92
P5	16,50	56,60	0,31	21,09	4,37
P6	16,37	49,86	0,00	21,14	4,47
P7	18,21	46,39	0,12	22,10	4,60
P8	18,02	43,42	0,14	21,92	5,13

El período de cosecha duró cinco meses y los frutos cosechados se agruparon por períodos (P). P1, a partir de los 102 días después de la siembra (dds), a los 118; P2, de los 121 a los 131 dds; P3, de los 146 a los 160 dds; P4, de los 163 a los 180 dds; P5, de los 206 a los 216 dds; P6, de los 229 a los 240 dds; P7, de los 268 a los 277 dds y P8, de los 289 a los 301 dds. En promedio durante los cinco meses que se cosecharon los frutos se tuvo en promedio 15,3 °C, 58,3%, 1,1 mm, 17,43 MJ m⁻² d⁻¹, y 3,6 mm de temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar y evapotranspiración respectivamente.

Se utilizaron para el experimento plantas de fresa cv. 'Camino Real', obtenida de viveros de California en Estados Unidos.

La plantación se estableció en subparcelas conformadas por cuatro surcos de 0,85 m de ancho por 4,4 m de largo a doble hilera y a una densidad de 10 plantas por metro. En estas subparcelas se aplicó de manera aleatoria la fertilización nitrogenada en forma de CaNO₃ a una concentración de 5 mM en el agua de riego. El tiempo de la aplicación del fertilizante correspondió a distintas etapas fenológicas del cultivo y fueron: la aplicación del fertilizante en etapa de crecimiento vegetativo (E1); entre el final de la primer fructificación e inicios de la segunda floración (E2) y sin aplicación de N (E3). El fertiriego se aplicó diariamente a partir de la etapa correspondiente mediante una cinta regante con goteros a 0,3 m de distancia y con un gasto de 1,6 L h⁻¹. Se monitoreó la duración del fertiriego con un detector de frente de humedad (Stirzaker, 2003), y los tiempos fueron de entre 20 y 40 minutos. La concentración de nitrógeno se mantuvo constante en todo momento. El área experimental útil de donde se cosecharon los frutos en estado maduro (rojo intenso), consistió en los dos surcos centrales de cada parcela experimental.

Muestreo de frutos y preparación de la muestra

De cada período de cosecha, se registró la cantidad de frutos producidos por planta, se pesaron individualmente y se dividieron en dos submuestras con igual cantidad de frutos. De una submuestra los frutos se homogenizaron utilizando un molino de café hasta obtener una pulpa homogénea que se mantuvo en refrigeración a -20 °C. Los frutos de la otra submuestra se liofilizaron (Liofilizadora Labconco), pulverizaron (molino Fritsch Pulverisette) y se almacenaron en un desecador. De este homogenizado se extrajeron los compuestos fenólicos, para esto en viales de 10 ml se

colocó 0,1 g de la muestra pulverizada y se les agregó 5 ml de una mezcla de metanol ácido clorhídrico (1:5 v/v). Se homogenizó en vortex y se sonicó durante 5 minutos; se volvió a homogenizar en vortex por 10 segundos y posteriormente se centrifugó a 5000 rpm por 10 minutos a 4 °C. El sobrenadante se extrajo con una pipeta paster y se filtró (Whatman, 0,45 µm) con la ayuda de un émbolo. El extracto se almacenó en viales de cristal a -80 °C hasta su análisis.

Análisis químico de frutos

Con la muestra de pulpa fresca y homogenizada, se determinó el pH (potenciómetro, Fisher Scientific); el contenido de sólidos soluble totales (SST) (Refractómetro digital Leica 7531L) y se expresó como °Brix, la acidez titulable (AT) se realizó mediante titulación con NaOH 0,1 N, hasta pH de 8,1 y los resultados se expresaron como meq de NaOH por gramo de pulpa. Cada determinación se realizó por triplicado. El contenido de fenoles totales fue determinado por el método Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965) con ligeras modificaciones. A 0,3 mL del extracto apropiadamente diluido, se le adicionaron 1,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu 2 N (1: 10 v/v diluido con agua destilada), se mezcló y se dejó reposar por 1 min en oscuridad. Después se le adicionó 1,2 mL de carbonato de sodio al 7,5% y se dejó reposar nuevamente por 2 horas a temperatura ambiente en oscuridad, posteriormente la absorbancia fue medida a 765 nm (espectrofotómetro UV-Vis Lambad 35 Perkin Elmer). Se preparó de igual modo una curva de calibración con concentraciones conocidas de ácido gálico para determinar la concentración de fenoles en las muestras con sus respectivos valores de absorbancia. Los valores fueron expresados como mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco de muestra. El total de antocianinas monoméricas (TAM), fue determinado por el método de diferencia de pH (Giusti y Wrolstad, 2001). El extracto fue apropiadamente diluido en un buffer 0,025 M de cloruro de potasio pH 1 y 0,4 M de acetato de sodio pH 4,5. Después de 15 minutos de reposo a temperatura ambiente, la absorbancia fue medida a 496 y 700 nm (espectrofotómetro UV-Vis Lambad 35 Perkin Elmer). El TAM se expresó como mg L⁻¹ de pelargonidina-3-glucósido de acuerdo a la siguiente expresión: Total antocianinas (mg/L) = $A \cdot PM \cdot FD \cdot 1000 / (\epsilon \cdot l)$; donde: A = (A510 - A700) pH 1,0 - (A510 - A700) pH 4,5; PM (Peso molecular) = 433,2 g/mol para

pelargonidina-3-glucósido; FD = factor de dilución; ϵ = 27300 coeficiente de extinción molar para pelargonidina-3-glucósido; l = longitud de paso de celda en cm; 1000 = factor de conversión de g a mg. Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de varianza de dos vías y pruebas de comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel de significancia de $P < 0,05$. Para las correlaciones se utilizó la prueba de Spearman. Los datos se procesaron utilizando el software SYSTAT 9,01 para Windows.

3. Resultados y discusión

Variables de producción

La producción de fruto maduros por planta fue influenciada por los factores evaluados ($P < 0,05$), en el tratamiento donde no se aplicó fertilización se obtuvo la menor producción de frutos; no se encontró diferencia significativa en la producción de frutos maduros entre la aplicación del fertilizante nitrogenado en etapa de crecimiento vegetativo y entre el primer periodo de fructificación y en promedio en estas etapas la producción fue un 8% mayor respecto al tratamiento sin fertilización (Tabla 2).

Tabla 2

Efecto de la época de aplicación del fertilizante N y el periodo de cosecha, en la producción de frutos de fresa cv Camino Real

Factor	Frutos maduros acumulados planta	Peso seco fruto (g)	Contenido de agua (g)
Cosecha			
P1	0,31 h	1,38 d	11,69 cd
P2	1,41 g	1,52 cd	12,98 bcd
P3	2,45 f	1,68 bcd	14,31 bc
P4	3,82 e	2,15 a	18,24 a
P5	6,01 d	1,89 ab	17,95 a
P6	8,74 c	1,78 bc	15,54 ab
P7	12,38 b	1,68 bcd	13,11 bcd
P8	16,33 a	1,40 d	10,93 d
Aplicación N			
E1	6,56 a	1,72 a	14,77 a
E2	6,32 a	1,71 a	14,35 a
E3	5,90 b	1,63 a	13,91 a
significancias			
Cosecha (C)	***	***	***
Aplicación (A)	***	ns	Ns
C x A	**	ns	Ns

P = Periodo de cosecha; E = época de aplicación del N; ** = Significancia $P < 0,001$; *** = Significancia $P < 0,0001$; ns = No significativo. Letras distintas en columnas indica diferencia estadística significativa.

Respecto al peso fresco de frutos, el análisis de varianza solo mostró efecto del factor época de cosecha ($p < 0,05$); sin embargo, se registraron los mayores pesos fresco en el tratamiento donde se aplicó la fertilización en etapa vegetativa (E1). El

mayor peso fresco de los frutos maduros se obtuvo entre el periodo de cosecha tres y cuatro, donde en promedio se cosecharon 21 gramos de frutos por planta (Figura 1).

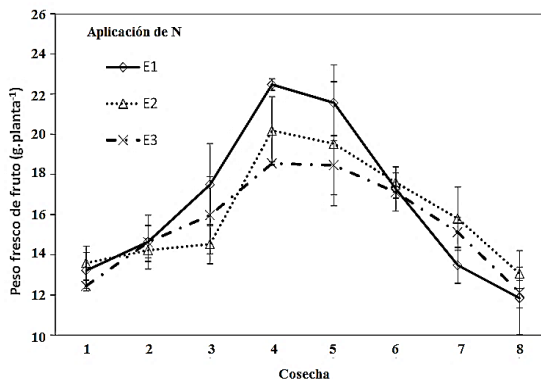


Figura 1. Efecto de la época de aplicación del fertilizante N y periodo de cosecha, en el peso fresco de frutos maduros en plantas de fresa cv Camino Real. E1, etapa de crecimiento vegetativo; E2, entre el final de la primera fructificación e inicios de la segunda floración; E3, sin aplicación de fertilizante. Barras verticales indican el error estándar.

Así mismo se observó un incremento en el peso de los frutos a partir de la tercera cosecha, siendo en promedio un 13% mayor que los cosechados en el mismo periodo en la etapa de la primera fructificación (E2) y sin fertilización (Tabla 2). El mismo patrón se registró respecto al peso seco de los frutos, donde solo se encontró efecto significativo del periodo de cosecha; el mayor peso seco de frutos (2 g en promedio), se registró en los periodos cuatro y cinco. En estos mismos periodos fue donde los frutos acumularon la mayor cantidad de agua 22 g en promedio. Se tiene varios reportes que mencionan que la fertilización nitrogenada en la fresa modificó el crecimiento vegetativo, pero no necesariamente la producción o calidad de los frutos (Albregts et al., 1991; Nestby, 1998). Por otro lado, a medida que pasaron los periodos de cosecha la producción aumentó. En este trabajo se agruparon los frutos por periodos de 15 días aproximadamente, en los cuales las condiciones ambientales donde se desarrollaron los frutos fueron variadas (Tabla 1). Así mismo se sabe que en el cultivo de la fresa, la calidad de los frutos está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas presentes durante su desarrollo (Ledesma et al., 2016; Perez, 2016; Sønsteby et al., 2017). Wang et al. (2016), mencionan que las condiciones climáticas donde se desarrollaron plantas de fresa, influyeron en su producción y mencionan que temperaturas bajas y altas humedades relativas, incrementaron la producción de frutos de fresa en el cv Albion.

En este trabajo, en el período donde se obtuvo la mayor producción y tamaño de frutos coincidió con el mes donde se presentó la mayor precipitación de toda la época de cosecha, así como una alta humedad relativa. Por otro lado, la disminución observada en la biomasa fresca y seca de los frutos a partir del período cuarto de cosecha, pudo deberse al incremento en la temperatura durante estos períodos. [Ledezma *et al.* \(2016\)](#) reportaron que altas temperaturas disminuyeron el tamaño de los frutos de fresa cvs. Nyoho y Toyonoka. Por otro lado, los valores de producción que se obtuvieron en este trabajo (16 frutos.plt⁻¹), fueron menores a los reportados en otros cultivares de fresa ([Vignolo *et al.*, 2011](#); [Pokhrel *et al.*, 2015](#)) pero mayores a otros ([Cárdenas-Navarro *et al.*, 2006](#)) aunque hay que considerar las condiciones de crecimiento en estos trabajos. Bajo nuestras condiciones, el hecho de encontrar la mayor producción de frutos maduros en los tratamientos donde se aplicó fertilización, pudo ser debido a la mayor disponibilidad de este nutriente por las plantas. Lo cual provocó, un mayor estatus nutricional y crecimiento vegetativo por lo cual, al momento de la floración y fructificación tuvieron una mayor fuente de producción de azúcares para abastecer una mayor cantidad de frutos. Caso que pudo no ocurrir en las plantas sin fertilización que probablemente mostraron déficit de este nutriente en etapas críticas del crecimiento vegetativo y fructificación. [Kachwaya y Chandel \(2015\)](#), reportaron que plantas de fresa cv Chandler fertigadas con una solución completa de NPK (150, 100,120 kg ha⁻¹), tuvieron el mayor crecimiento vegetativo respecto a plantas fertigadas con 1/3 de la dosis. El hecho de no haber encontrado diferencias significativas en la producción de frutos entre plantas fertigadas en etapa de crecimiento vegetativo y entre el final de la primer fructificación e inicios de la segunda floración, que son etapas donde se requiere de una mayor disponibilidad del fertilizante nitrogenado, pudo deberse a que el contenido de nitrógeno en el suelo pudo abastecer del suficiente nitrógeno requerido por las plantas en la etapa vegetativa para el caso cuando la fertilización se aplicó hasta la primer fructificación. [Albregts *et al.* \(1991\)](#), mencionan que las plantas de fresa no responden a la fertilización nitrogenada cuando los suelos han sido fertilizados adecuadamente en la fase de plantación. Además, [Nestby \(1998\)](#), menciona que la adición de nitrógeno en

etapas de fructificación no necesariamente incrementa la producción. Las diferencias encontradas en el peso fresco de los frutos maduros entre las épocas de aplicación del fertilizante N, pudo deberse a las diferencias de crecimiento de las plantas debido a su estatus nutricional entre plantas fertilizadas respecto a las no fertilizadas en los períodos de más alta producción de frutos. En el período de cosecha cuatro, el peso fresco de los frutos donde el nitrógeno se aplicó en etapa de crecimiento vegetativo (E1), fue 40% superior a lo registrado en los frutos donde no se aplicó fertilización. Para el peso seco y contenido de agua de los frutos, no se encontró diferencia respecto a la fertilización, en promedio los frutos registraron 1,6 y 14 g respectivamente. [Pokhrel *et al.* \(2015\)](#), no encontraron diferencia en el peso seco de frutos de fresa cv Sonata, bajo diferentes estrategias de fertilización orgánica. El hecho de encontrar efecto significativo en el factor época de cosecha, para el peso seco de frutos y contenido de agua, pudo deberse a las características propias del fruto como su tamaño y a las condiciones climáticas durante su desarrollo como anteriormente se ha mencionado. [Condori *et al.* \(2017\)](#), mencionan que la radiación solar y la temperatura representaron más del 41% de la varianza sobre el rendimiento.

Variables de calidad

Para las variables de calidad y químicas de fruto, el análisis de varianza solo mostró efecto significativo para el factor cosecha para todas las variables evaluadas. El factor época de aplicación del fertilizante N y su interacción con el factor cosecha sólo fue significativo para el contenido de antocianinas ([Tabla 3](#)).

En los frutos maduros el pH y la acidez titulable varió durante el periodo de cosecha, encontrándose que en las primeras tres cosechas se registraron los valores más bajos, siendo en el periodo tres donde se registraron los menores valor de pH y acidez (3,2 y 171,7, respectivamente).

Respecto a los sólidos solubles, el mayor valor se determinó en el último periodo de cosecha (P8), siendo un 16% mayor a lo registrado en el periodo dos donde se obtuvo la menor cantidad de sólidos solubles, resultando esta diferencia estadísticamente significativa.

La concentración total de fenoles varió durante todo el periodo de cosecha y estuvo entre 69,5 y 101,6 meq ác. gálico.

Tabla 3

Efecto de la época de aplicación del fertilizante N y el periodo de cosecha, en variables de calidad de frutos de fresa cv Camino Real

Factor	pH	AT (meq NaOH. g ⁻¹ pulpa)	SST (%)	Fenoles Totales (meq. ac. Gálico. g ⁻¹ peso seco fruto)	Pelargonidina-3- glucósido (mg L ⁻¹)
Cosecha					
P1	3,4 c	159,1 a	9,3 ab	76,7 cd	2,9 de
P2	3,3 d	167,5 a	8,4 b	69,5 d	1,4 e
P3	3,2 d	171,7 a	9,2 ab	101,6 a	9,5 a
P4	3,5 b	127,5 b	8,9 ab	58,5 e	4,3 cd
P5	3,5 b	130,8 b	9,0 ab	93,0 ab	3,3 cde
P6	3,6 ab	125,3 b	9,1 ab	87,1 bc	7,5 ab
P7	3,6 a	137,3 b	9,9 a	76,2 d	5,6 bc
P8	3,5 b	132,4 b	10,0 a	78,1 cd	2,2 de
Aplicación N					
E1	3,5 a	144,0 a	9,2 a	81,6 a	3,7 b
E2	3,5 a	142,5 a	9,2 a	78,3 a	4,2 b
E3	3,5 a	145,3 a	9,2 a	80,3 a	5,9 a
significancias					
Cosecha (C)	***	***	**	***	***
Aplicación (A)	Ns	ns	ns	ns	***
C x A	ns	ns	ns	ns	***

AT = Acidez titulable; SST = Sólidos solubles totales; * = Significancia P < 0,05; ** = Significancia P < 0,001; *** = Significancia P < 0,0001; ns = No significativo. Letras distintas en columnas indica diferencia estadística significativa.

La mayor concentración total de fenoles en los frutos se registró en la cosecha tres, la cual fue solo estadísticamente similar a lo determinado en la cosecha cinco. El menor valor se registró en la cosecha cuatro, siendo un 42% menor respecto a lo obtenido en la cosecha tres. Respecto a la época de aplicación del fertilizante N, no se encontró diferencia y en promedio se obtuvo 80 meq ac. Gálico (Tabla 3). La concentración de pelargonidin-3-glucósido fue la única variable de calidad química que fue modificada por los factores evaluados y su interacción. Respecto a la época de aplicación del fertilizante N, los frutos cosechados de plantas que no fueron fertilizadas fue donde se registró la mayor concentración de esta antocianina, resultando estadísticamente significativo respecto a lo encontrado en los frutos donde se aplicó fertilización. La concentración de pelargonidin varió durante los periodos de cosecha, en el periodo tres fue donde se registró la mayor concentración siendo estadísticamente similar, a lo encontrado en la cosecha seis y siendo un 84% superior respecto a lo registrado en el periodo dos, donde se encontró la menor concentración de la antocianina (Tabla 3). En cuanto a la interacción (CxA), las mayores concentraciones de pelargonidin-3-glucósido se obtuvieron durante la cosecha tres y seis (12,7 mg L⁻¹ en promedio), de frutos de plantas donde no se fertilizó (datos no mostrados). El pH de los frutos no se modificó por la época de aplicación del N y en promedio fue de 3,5. Sin embargo, el periodo de cosecha si modificó el pH encontrándose frutos más ácidos en las primeras cosechas; resultados similares han sido reportados por Cardeñosa *et al.* (2015) en frutos de fresa cv Primoris. Los valores de pH encontrados en este trabajo,

fueron similares a los reportados por Nin *et al.* (2018), en frutos de fresa cvs Regina delle Valli y Alpine, donde además mencionan que el valor del pH de los frutos fue afectado por la edad de la planta y las condiciones climáticas. La acidez titulable solo fue afectada por el periodo de cosecha. Al respecto Nin *et al.* (2018) mencionan que la acidez titulable de frutos de fresa, depende de la edad de la planta y el ciclo de cosecha estacional; y que las variaciones en los parámetros de calidad son fuertemente influenciadas por las condiciones climáticas. Watson *et al.* (2002), mencionan que la luz suplementaria y la temperatura pueden tener un impacto significativo en la calidad de los frutos de fresa. En nuestro caso los frutos más ácidos se encontraron en las primeras cosechas, los cuales coincidieron con las temperaturas más bajas presentes en el periodo de cosecha. Respecto a los SST en este trabajo en promedio se obtuvo 9% en los frutos maduros, valores similares han sido reportados para diferentes cultivares y bajo distintas condiciones de crecimiento y manejo (Petran *et al.*, 2017; Nin *et al.*, 2018). Los SST no fueron modificados por la época de aplicación del fertilizante nitrogenado, pero si por el periodo de cosecha. Petran *et al.* (2017) reportaron diferencia en los valores de los SST en frutos de diferentes cosechas. Así mismo, se menciona que las condiciones climáticas influyen en la concentración total de sólidos solubles. Pokhrel *et al.* (2015), encontraron que a mayores temperaturas la concentración de azúcares aumentó en frutos de fresa. En nuestro caso se encontró una correlación positiva significativa entre la temperatura media y la concentración de sólidos solubles totales (Tabla 4).

Tabla 4

Coefficiente de correlación (r) entre producción, biomasa fresca, variables climatológicas y características de calidad del fruto de plantas de fresa cv Camino Real

VARIABLES	Producción	pH	AT	SST	Fenoles totales	Pelargonidin-3-glucosido
Producción	-	0,66 ***	-0,56 ***	0,43***	0,48 ns	-0,43 ns
PFF	-0,20 ns	0,12 ns	-0,39 ***	-0,24 **	0,07 ns	0,14 ns
PSF	-0,10 ns	0,18 ns	-0,41 ***	-0,10 ns	0,00 ns	0,15 ns
AF	-0,21 ns	0,11 ns	-0,39 **	-0,25 *	0,08 ns	0,14 ns
RS	0,80 ***	0,75 ***	-0,66 ***	0,40 ***	0,34 **	0,22 *
T	0,88 ***	0,76 ***	-0,58 ***	0,45 ***	0,27 *	0,09 ns
P	-0,34 **	-0,11 ns	-0,10 ns	-0,30 **	-0,65 ***	-0,19 ns
HR	-0,6 ***	-0,68 ***	0,51 ***	-0,49 ***	-0,33 **	-0,19 ns
E	0,84 ***	0,70 **	-0,61 ***	0,44 ***	0,37 **	0,20 ns

PFF = Peso fresco frutos; PSF = Peso seco frutos; AF = Agua en frutos; RS = Radiación solar; T = Temperatura; P = Precipitación; HR = Humedad Relativa; E = Evapotranspiración; AT = Acidez titulable; SST = Sólidos solubles totales; * = Significancia p < 0,05; ** = Significancia p < 0,001; *** = Significancia p < 0,0001; ns = No significativo.

Es probable que este aumento en la temperatura ambiental ocasionara una mayor transpiración de los frutos y por consiguiente un aumento en la concentración de azúcares. Similares resultados han sido previamente reportados (Reganold *et al.*, 2010; Perez 2016). La concentración de fenoles totales no fue modificada por la aplicación del fertilizante N. Existen reportes en el cultivo de la fresa, donde se menciona que las concentraciones de N, no modificaron la concentración total de fenoles en los frutos, pero que la variación estacional si (Cardeñosa *et al.*, 2015). Las diferencias encontradas en la concentración de fenoles en los distintos períodos de cosecha, probablemente se debieron a las condiciones ambientales presentes durante la etapa de desarrollo del fruto. Cardeñosa *et al.* (2015), menciona que la concentración de fenoles entre las cosechas, se debió a la intensidad de luz y que cuando esta se incrementó, también lo hizo la concentración de fenoles totales. En nuestro caso, se encontró una correlación positiva significativa entre la concentración de fenoles totales y la radiación solar y temperatura (Tabla 4). Spayd *et al.* (2002), reportaron que en uvas expuestas al sol tuvieron más flavonoles que uvas expuestas a condiciones de sombra. El hecho de encontrar en los frutos una mayor concentración de pelargonidina en el tratamiento donde no se aplicó N, podría sugerir un déficit de este. A este respecto Winkel-Shirley (2002), mencionan que los flavonoides tienen un rol aparente en la defensa de la planta a situaciones de estrés. Así mismo, la concentración de antocianinas en los frutos de fresa varió en función de la época de cosecha. Cardeñosa *et al.* (2015), mencionan que la concentración total de antocianinas en frutos de fresa cv Primoris, dependió de la época del muestreo y que estas variaciones fueron resultado de las variaciones ambientales, principalmente la intensidad luminosa. Encontraron que un incremento en la

intensidad luminosa, aumentó la concentración de antocianinas; sin embargo, también reportan que, un exceso en la intensidad lumínica disminuye la concentración de antocianinas. Adicionalmente Pinelli *et al.* (2003), reportan que los meses con mayor fotoperíodo disminuyeron la concentración de antocianinas en frutos de fresa. En nuestro caso la concentración de antocianinas mostró una correlación positiva con la radiación solar (Tabla 4); sin embargo, se observó también que, radiaciones muy bajas o muy altas disminuyen la concentración de antocianinas. La disminución de las antocianinas en la época con la mayor radiación podría deberse a la degradación de este compuesto por la excesiva radiación (Pinelli *et al.*, 2003; Cardeñosa *et al.*, 2015).

No se encontró correlación entre parámetros de calidad y características de los frutos, a excepción de la acidez titulable que se correlacionó negativamente con la producción. El peso fresco y seco, contenido de agua de los frutos y los SST que se correlacionaron positivamente con la producción y negativamente con el peso fresco de los frutos. Se encontró que, principalmente, las variables de calidad química del fruto se correlacionaron con la mayoría de las variables ambientales, a excepción de la concentración de pelargonidin-3-glucosido que solo se correlacionó positivamente con la radiación solar. Los sólidos solubles y fenoles totales, se correlacionaron positivamente con la radiación solar, temperatura y evapotranspiración y negativamente con la precipitación y la humedad relativa. La AT se correlacionó negativamente con las variables ambientales a excepción de la humedad relativa (Tabla 4). Se sabe que las condiciones ambientales durante el crecimiento de los cultivos pueden modificar los niveles de azúcares, ácidos orgánicos y fenoles en frutos y vegetales (Pinelli *et al.*, 2012; Gunduz y Ozdemir, 2014; Perez, 2016).

4. Conclusiones

A medida que las aplicaciones fueron más tardías o no se aplicó N, hubo una disminución en la producción de frutos; sin embargo, esto no afectó su peso fresco. La producción y calidad del fruto es modificada por el período de cosecha y estuvieron altamente correlacionadas con las condiciones climáticas. La acidez, concentración de fenoles totales y sólidos solubles totales, fueron modificados por la radiación solar y temperatura. La concentración de la Pelargonidin-3-glucosido se incrementó cuando la aplicación del fertilizante fue en épocas más tardías o no se aplicó y en los períodos de mayor radiación solar. Es recomendable seguir realizando investigaciones sobre el efecto de las condiciones climáticas sobre la calidad de frutos de fresa.

ORCID

Luis López-Pérez  <https://orcid.org/0000-0002-7904-9039>

Referencias bibliográficas

- Aaby, K.; Ekeberg, D.; Skrede, G. 2007. Characterization of phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(11): 4395-4406.
- Albregts, E.E.; Clark, C.A.; Stanley, C.D.; Zazueta, F.S.; Smajstrla, A.G. 1991. Preplant fertilization of fruiting microirrigated strawberry. *Hortscience* 26(9): 1176-1177.
- Breen, P.J.; Martin, L.W. 1981. Vegetative and reproductive growth responses of three strawberry cultivars to nitrogen. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106(1): 266-272.
- Cárdenas-Navarro, R.; López-Pérez, L.; Lobit, P.; Ruiz-Corro, R.; Castellanos-Morales, V.C. 2006. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition* 29(9): 1699-1707.
- Cardeñosa, V.; Medrano, E.; Lorenzo, P.; Sánchez-Guerrero, C.M.; Cuevas, F.; Pradasa, I.; Moreno-Rojasa, J.M. 2015. Effects of salinity and nitrogen supply on the quality and health-related compounds of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* cv. Primoris). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(14): 2924-2930.
- Cassidy, A. 2017. Berry anthocyanin intake and cardiovascular health. *Molecular Aspects of Medicine* 61: 76-82.
- Condori, B.; Fleisher, D.H.; Lewers, K. 2017. Relationship of strawberry yield with microclimate factors in open and covered raised-bed production. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 60(5): 1511-1525.
- Crespo, P.; Bordonaba, J.G.; Terry, L.A.; Carlen, C. 2010. Characterisation of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chemistry* 122(1): 16-24.
- Fang, J. 2015. Classification of fruits based on anthocyanin types and relevance to their health effects. *Nutrition* 31:1301-1306.
- Giusti, M.M.; Wrolstad, R.E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. En: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., An, H., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Sporns, P. (eds.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F1.2.1-F1.2.13. John Wiley y Sons, New York, USA.
- Gunduz, K.; Ozdemir, E. 2014. The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars of strawberry. *Food Chemistry* 155: 298-303.
- Kachwaya, D.S.; Chandel, J.S. 2015. Effect of fertigation on growth, yield, fruit quality and leaf nutrients content of strawberry (*Fragaria x ananassa*) cv Chandler. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 85(10): 1319-1323.
- Ledesma, N.A.; Saneyuki-Kawabataba, S. 2016. Responses of two strawberry cultivars to severe high temperature stress at different flower development stages. *Scientia horticulturae (Amsterdam)* 211: 319-327.
- Miltiadis, I.; Aristotelis, P. 2016. Influence of nitrogen nutrition on yield and growth of an everbearing strawberry cultivar (cv. Evie II). *Journal of Plant Nutrition* 39(11): 1499-1505.
- Nestby, R. 1998. Effect of N-fertigation on fruit yield, leaf N and sugar content in fruits of two strawberry cultivars. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73(4): 563-568.
- Nin, S.; Petrucci, W.A.; Giordani, E.; Marinelli, C. 2018. Soilless systems as an alternative to wild strawberry (*Fragaria vesca* L.) traditional open-field cultivation in marginal lands of the Tuscan Apennines to enhance crop yield and producers' income. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 93(3): 323-335.
- Perez, C.Y. 2016. Composition of comercial strawberry cultivars and advanced selection as affected by season, harvest and postharvest storage. *Hortscience* 51(9): 1134-1143.
- Petran, A.; Hoover, E.; Hayes, L.; Poppe, S. 2017. Yield and quality characteristics of day-neutral strawberry in the United States Upper Midwest using organic practices. *Biological Agriculture and Horticulture* 33(2): 73-88.
- Pineli, L. de L.; Moretti, C.L.; Rodrigues, J.S.Q.; Ferreira, D.B.; Chiarello, M.D. 2012 Variations in antioxidant properties of strawberries grown in Brazilian savannah and harvested in different seasons. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(4): 831-838.
- Pinelli, P.; Galardi, C.; Mulinacci, N.; Vincieri, F.F.; Cimato, A.; Romani, A. 2003. Minor polar compound and fatty acid analyses in monocultivar virgin olive oils from Tuscany. *Food Chemistry* 80(3): 331-336.
- Pokhrel, B.; Holst, L.K.; Koefoed, P.K. 2015. Yield, quality, and nutrient concentrations of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. cv.

- 'Sonata') grown with different organic fertilizer strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63(23): 5578-5586.
- Reganold, J.P.; Andrews, P.K.; Reeve, J.R.; Carpenter-Boggs, L.; Schadt, W.C.; Alldredge, J.R.; Ross, C.F.; Davies, N.M.; Zhou, J. 2010. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *PLOS ONE* 5(10).
- SIAP. 2017. Citing Electronic Resources. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. Gobierno de México. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Singleton, V.L.; Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158.
- Sønsteby, A.; Roos, U.M.; Heide, O.M. 2017. Phenology, flowering and yield performance of 13 diverse strawberry cultivars grown under Nordic field conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil Plant Science* 67(3): 278-283.
- Spayd, S.E.; Tarara, J.M.; Mee, D.L.; Ferguson, J.C. 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.
- Stirzaker, R.J. 2003. When to turn the water off: scheduling micro-irrigation with a wetting front detector. *Irrigation Science* 22(3-4): 177-185.
- Tsai, P.J.; McIntosh, J.; Pearce, P.; Camden, B.; Jordan, B.R. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food Research International* 35(4): 351-356.
- Vignolo, G.K.; Fernandes, A.V.; Kunde, J.R.; Posser, S.A.; Correa, A.L. 2011. Pre-planting fertilization effects on strawberry fruit yield. *Ciência Rural* 41(10): 1755-1761.
- Wang, D.; Gabriel, M.Z.; Legard, D.; Sjulín, T. 2016. Characteristics of growing media mixes and application for open-field production of strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Scientia horticultrae (Amsterdam)* 198: 294-303.
- Watson, R.; Wright, C. J.; McBurney, T.; Taylor, A.J.; Linforth, R.S.T. 2002. Influence of harvest date and light integral on the development of strawberry flavour compounds. *Journal of Experimental Botany* 53(337): 2121-2129.
- Winkel-Shirley, B. 2002. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current Opinion in Plant Biology* 5(3): 218-223.