
PÉRDIDAS EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE ECOTIPOS SELECCIONADOS DE AJO CAUSADAS POR INFECCIONES NATURALES DE MEZCLAS DE VIRUS

Luis Pérez-Moreno, Martha J. Navarro-León, Rafael Ramírez-Malagón, Briseida Mendoza-Celedón, Héctor G. Núñez-Palenius y Ma. Fabiola León-Galván

RESUMEN

En este trabajo se planteó determinar el efecto de la infección viral sobre el rendimiento y calidad del ajo en el ciclo otoño-invierno 2009-2010 y realizar las respectivas comparaciones con el ciclo de cultivo previo evaluado (otoño-invierno 2008-2009). Se evaluaron 12 ecotipos seleccionados de ajo y se analizaron las siguientes variables: a) severidad e incidencia de virosis; b) peso, diámetro y altura de bulbo; c) rendimiento y número de bulbillos por bulbo. Se detectó por ELISA la presencia de LYSV, OYDV, SLV, GCLV e IYSV, a los 71, 120 y 147

días después de la siembra. Las frecuencias de los virus detectados fueron: LYSV con 100, 100 y 100%; OYDV con 50, 75 y 77%; SLV con 19, 30 y 0%; GCLV con 100, 97 y 92%; e IYSV con 0, 3 y 22%, en la primera, segunda y tercera fechas de muestreo, respectivamente. Los ecotipos seleccionados de ajo 4, 3 y 2 rindieron 38,9; 38,7 y 38,1t·ha⁻¹; el peso promedio de bulbo fue de 82,7; 73,4 y 74,0g/bulbo; y el número de bulbillos por bulbo fue de 12,6; 12,0 y 12,2 respectivamente.

Introducción

El ajo (*Allium sativum* L.) es originario de Asia Central y se extendió en tiempos prehistóricos por toda la región del Mediterráneo, de donde fue traído a América. Esta hortaliza ocupa el segundo lugar en importancia en el ámbito mundial dentro de las especies del género *Allium*, después de la cebolla (*Allium cepa* L.), con una producción mundial de 22.561.298 toneladas y un rendimiento promedio de 17,1t·ha⁻¹ para el 2010 (FAOSTAT, 2012a). Para el mismo año, México fue considerado el quinto país productor de ajo en el continente americano después de EEUU,

Argentina, Brasil y Perú (FAOSTAT, 2012a), y ubicándose como el sexto principal país exportador de ajo a nivel mundial después de China, Argentina, España, Holanda e India (FAOSTAT, 2012b). Asimismo, en el año 2010 los diez principales países productores fueron China, India, Corea del Sur, Egipto, Rusia, Myanmar, Etiopía, EEUU, Bangladesh y Ucrania (FAOSTAT, 2012a). En México la principal área productora de ajo se localiza en la parte centro-norte del país, donde destacan los estados de Zacatecas, Guanajuato, y Aguascalientes. En los años 2008, 2009 y 2010 el estado de Guanajuato fue el segundo

productor con una superficie cosechada de 889ha, 1380,5ha, y 922ha; y con un volumen de producción de 8047,2t (9,05t·ha⁻¹), 14850,8t (10,76t·ha⁻¹) y 7877,1t (8,54t·ha⁻¹), respectivamente (SIAP, 2010), destinando alrededor del 50% a la exportación y el otro 50% al consumo interno (Pérez *et al.*, 2004).

Los virus ocasionan distintas enfermedades en las especies del género *Allium*. En las plantas de ajo, esas enfermedades son provocadas por diversos virus que se presentan de manera simple o en forma de complejos, y su eliminación es sumamente complicada, porque los virus del ajo se acumulan en los

bulbos y la propagación de éstos es de tipo asexual o reproducción vegetativa. Se ha descrito que el complejo viral está constituido por más de ocho especies pertenecientes a los géneros potyvirus, carlavirus y allexivirus, y éstos producen una enfermedad denominada como mosaico del ajo (Cafrune *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2010). El mosaico del ajo es una enfermedad ampliamente distribuida en todas las áreas productoras de ajo en el mundo, es causada por un complejo de virus, siendo los más importantes los géneros potyvirus, carlavirus y allexivirus, y pueden causar pérdidas seve-

PALABRAS CLAVE: Ajo / *Allium sativum* L. / Frecuencia Viral / Producción / Serología / Virus Fitopatógenos /

Recibido: 30/09/2012. Modificado: 22/05/2013. Aceptado: 29/05/2013.

Luis Pérez-Moreno. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad de Guadalajara, México. Maestro en Ciencias en Fitopatología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas, CINVESTAV-IPN, México. Profesor-Investigador, Universidad de Guanajuato (UGTO), México. Dirección: Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Campus Irapuato-Salamanca,

UGTO. Km 9 carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Guanajuato. C.P. 36500, México. e-mail: luispm@ugto.mx

Martha J. Navarro-León. Ingeniera Agrónoma y Maestra en Protección Vegetal de Hortalizas, UGTO, México. Asistente de Investigación, DICIVA-UGTO, México.

Rafael Ramírez-Malagón. Ingeniero Agrónomo, UGTO, México. Maestro en Biología de Plantas y Doctor en Biotecnología de Plantas, CINVESTAV,

México. Profesor-Investigador, DICIVA, UGTO, México.

Briseida Mendoza-Celedón. Ingeniera Agrónoma, UGTO, México. Maestría en Estadística, COLPOS, México. Profesora-Investigadora, DICIVA-UGTO, México.

Héctor G. Núñez-Palenius. Biólogo, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Maestría en Biología de Plantas, CINVESTAV-IPN, México. Ph.D. en Horticultura, University of Florida, EEUU.

Profesor-Investigador, DICIVA-UGTO, México.

Ma. Fabiola León-Galván. Ingeniera Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya, México. Maestra en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y Doctora en Ciencias en Biología Molecular, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, México. Profesora-Investigadora, DICIVA-UGTO, México.

YIELD AND QUALITY LOSSES OF SELECTED GARLIC ECOTYPES CAUSED BY MIXED NATURAL VIRUS INFECTIONS

Luis Pérez-Moreno, Martha J. Navarro-León, Rafael Ramírez-Malagón, Briseida Mendoza-Celedón, Héctor G. Núñez-Palenius and Ma. Fabiola León-Galván

SUMMARY

The aim of this work was to determine the viral infection effect on yield and quality of garlic selected ecotypes in the fall-winter 2009-2010 cycle and to make the corresponding comparisons with a previous crop cycle (fall-winter 2008-2009). Twelve selected garlic ecotypes were evaluated and analyzed for the following variables: a) virus severity and incidence, b) weight, diameter and height bulb, c) yield and number of bulbils per bulb. LYSV, OYDV, SLV, GCLV and IYSV

presence, was detected by ELISA test at 71, 120 and 147 days after sowing. Detected frequencies were 100, 100 and 100% for LYSV; 50, 75 and 77% for OYDV; 19, 30 and 0% for SLV; 100, 97 and 92% for GCLV; and 0, 3 and 22% for IYSV at the first, second and third sampling dates, respectively. The selected garlic ecotypes 4, 3 and 2 yielded 38.9, 38.7 and 38.1t·ha⁻¹, the average weight was 82.7, 73.4 and 74.0g/bulb, and the number of bulbils per bulb was 12.6, 12.0 and 12.2, respectively.

PERDAS EM RENDIMENTO E QUALIDADE DE ECÓTIPOS SELECIONADOS DE ALHO CAUSADAS POR INFECÇÕES NATURAIS DE MISTURAS DE VÍRUS

Luis Pérez-Moreno, Martha J. Navarro-León, Rafael Ramírez-Malagón, Briseida Mendoza-Celedón, Héctor G. Núñez-Palenius e Ma. Fabiola León-Galván

RESUMO

Neste trabalho se procura determinar o efeito da infecção viral sobre o rendimento e qualidade do alho no ciclo outono-inverno 2009-2010 e realizar as respectivas comparações com o ciclo de cultivo previamente avaliado (outono-inverno 2008-2009). Avaliaram-se 12 ecótipos selecionados de alho e se analisaram as seguintes variáveis: a) severidade e incidência de víruses; b) peso, diâmetro e altura de bulbo; c) rendimento e número de bulbilhos por bulbo. Detectou-se por ELISA a presença de LYSV, OYDV, SLV, GCLV e IYSV, aos 71, 120 e 147

dias após plantação. As frequências dos vírus detectados foram: LYSV com 100, 100 e 100%; OYDV com 50, 75 e 77%; SLV com 19, 30 e 0%; GCLV com 100, 97 e 92%; e IYSV com 0,3 e 22%, na primeira, segunda e terceira data de amostra, respectivamente. Os ecótipos selecionados de alho 4, 3 e 2 renderam 38,9; 38,7 e 38,1t·ha⁻¹; o peso médio de bulbo foi de 82,7; 73,4 e 74,0g/bulbo; e o número de bulbilhos por bulbo foi de 12,6; 12,0 e 12,2 respectivamente.

ras de rendimento (Perotto *et al.*, 2010).

Los carlavirus: virus latente de la escalonia (*Shallot latent virus*; SLV) y virus latente común del ajo (*Garlic common latent virus*; GCLV), han sido reportados infectando ajo en varios continentes (Van Dijk 1993; Barg *et al.*, 1994; Tsuneyoshi *et al.*, 1998; Nieto *et al.*, 2004); sin embargo, hasta ahora no se ha determinado su efecto en el rendimiento del ajo (Perotto *et al.*, 2010).

Tradicionalmente, las mayores pérdidas económicas en el rendimiento de ajo se atribuyen a la presencia de los potyvirus: virus del enanismo amarillo de la cebolla (*Onion yellow dwarf virus*; OYDV) y al virus rayado amarillo del puerro (*Leek yellow stripe virus*; LYSV). En presencia de OYDV y de LYSV, el peso de bulbo se redujo el 69% y

54%, respectivamente (Cana-velli *et al.*, 1998; Lot *et al.*, 1998; Lunello *et al.*, 2007). Messiaen *et al.* (1981), reportaron reducciones del 25 al 50% en el rendimiento de ajo por efecto de los virus y dependiendo del cultivar sembrado. Las plantas de ajo infectadas por virus pueden reducir más del 45% el número de bulbillos por bulbo, comparado con los producidos por plantas sanas (Havranek, 1974). El LYSV afecta la germinación de los bulbillos y además reduce la altura y el número de hojas de las plantas de ajo, lo cual se traduce en una reducción del rendimiento (Lunello *et al.*, 2007). La contribución al daño total, evaluado como el rendimiento y calidad del bulbo de ajo, de cada uno de los virus individuales de la mezcla no había sido estudiada en México, salvo en el caso del grupo

potyvirus (OYDV y LYSV; Pérez y Rico, 2004; Ramírez *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2008) y del grupo carlavirus (GCLV y SLV; Pérez *et al.*, 2008). Recientemente, Pérez *et al.* (2010) comprobaron que el complejo viral reduce hasta un 50% el rendimiento y hasta un 30% el peso de los bulbos, cuando la frecuencia de varios virus es elevada, principalmente la de LYSV, OYDV, GCLV, SLV e IYSV.

Es ampliamente conocido que la infección por complejos virales disminuye el rendimiento y calidad del ajo; sin embargo, es sumamente importante conocer si esas disminuciones ocurren a lo largo de los diferentes ciclos agrícolas para el ajo y con la misma intensidad durante varios años. Por ejemplo, Pérez *et al.* (2008, 2010) demostraron que la presencia de virus disminuía el rendimiento y la cali-

dad de los bulbos de ajo. Por lo anteriormente planteado, los objetivos del presente estudio fueron, por un lado, determinar el efecto de la infección natural por virus sobre el rendimiento y calidad en ecotipos seleccionados de ajo y, por el otro, conocer las frecuencias de presencia de los diversos virus que infectaron las plantas de ajo en el ciclo otoño-invierno 2009-2010, así como realizar las respectivas comparaciones con lo previamente reportado en la literatura para la región del Bajío en México y en otras partes del mundo.

Materiales y Métodos

Material genético de ajo

Se denomina 'ecotipo seleccionado de ajo' a una mezcla física constituida por diversos materiales genéticos, los cua-

les comparten características semejantes, tales como su lugar de origen y su respuesta fenotípica a la presencia de virus. Para el presente trabajo se evaluaron 10 ecotipos seleccionados de ajo de plantas sin síntomas de varios sitios, a saber: 1) 'Monte Cristo 2, Los Rodríguez', de San Miguel de Allende; 2) 'Tabla 1, El Ramillete', 3) 'Tabla 2, El Ramillete' y 4) 'Tabla 3, El Ramillete', de San Luis de La Paz, en la zona norte del estado de Guanajuato; 5) 'Santa Teresa Tabla 3, Valtierra' y 6) Santa Teresa Tabla 4, Valtierra', de Salamanca; y 7) 'Pozo Alto 1, El Pato', 8) 'Pozo Alto 2, El Pato', 9) 'Laurel 1, El Pato' y 10) 'Bodegas, El Pato', de Salamanca, en la zona centro del estado de Guanajuato. Además, se evaluaron dos ecotipos seleccionados que mostraban síntomas de enfermedad: 1) mezcla 1 de varios predios, y 2) mezcla 2 de varios predios, los cuales presentaron múltiples síntomas presuntivos de virosis, tales como enchinamiento y/o enrollamiento, mosaico, deformación de hojas, amarillamiento y ampollamiento, bandeado y enanismo. Los 12 ecotipos seleccionados evaluados fueron del ajo tipo Taiwán y sus bulbos se cultivaron en el ciclo otoño-invierno 2008-2009, cosechándose en marzo 2009.

Área de estudio y ciclo de cultivo

La evaluación de los 12 ecotipos seleccionados de ajo se realizó en el Rancho San Pablo, municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato, México, localizado en 21°17'5"N y 100°30'5"O, a una altura de 2035msnm (www.sanluisdelapaz.com/mexico/localizacion). La temperatura media anual en 2009 fue de 16,3°C y en 2010 fue de 15,4°C. La temperatura mínima promedio anual en 2009 fue de 7,7°C (1,4 a 13,5) y en 2010 fue de 7,1°C (-2,6 a 14,1). La precipitación media anual fue de 303,4 y 512,0mm en 2009 y 2010, respectivamente ([\[clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/historicos.aspx\]\(http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/historicos.aspx\)\). La siembra se realizó el 09/10/2009. Los 12 ecotipos seleccionados se sembraron en parcelas individuales de cinco surcos de 6m de largo y 1m de ancho, a doble hilera.](http://</p></div><div data-bbox=)

Análisis estadístico

El diseño experimental aplicado fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La comparación múltiple de medias se hizo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Antes de realizar el análisis de varianza para las variables evaluadas, se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk y la de Cochran para verificar si las variables evaluadas cumplían los supuestos de normalidad y homocedasticidad del análisis de varianza.

Variables analizadas

Severidad de virosis. Calificada en una escala de 1 a 5, donde 1: plantas sin síntomas de virosis, 2: ligeros síntomas de virosis, 3: síntomas regulares de virosis, 4: síntomas fuertes de virosis, y 5: síntomas intensos de virosis.

Incidencia de virosis en función de síntomas externos (%). En cada unidad experimental se contaron las plantas totales y las plantas que manifestaban síntomas de virosis, a los 71, 120 y 147 días después de la siembra (dds). Para determinar la incidencia de virosis se dividió el número de plantas con síntomas virales entre el número de plantas totales.

Peso (g), diámetro (cm) y altura (cm) promedio de bulbo. Al momento de la cosecha de cada ecotipo seleccionado, se pesaron y midieron 10 bulbos por cada una de las tres repeticiones, y se calculó el peso, diámetro y altura promedios.

Rendimiento de bulbo (t·ha⁻¹). Este se obtuvo después de arrancar las plantas y colocarlas apretadamente contiguas cubriendo los bordes de cada lote cosechado, con suelo seco

(proceso al que se conoce como enchufado) durante 21 días, después de los cuales se desechó el follaje y la raíz, y se pesaron únicamente los bulbos de la parcela útil.

Número promedio de bulbillos por bulbo. Al momento de la cosecha y de cada ecotipo seleccionado, se desgranaron 10 bulbos por cada una de las tres repeticiones, y se contaron los bulbillos por bulbo, y con esto se calculó el promedio.

Por otra parte, se evaluó la presencia de los siguientes potyvirus: virus rayado amarillo del puerro (LYSV) y virus enanismo amarillo de la cebolla (OYDV); de los carlavirus: virus latente de la escalonia (SLV) y virus latente común del ajo (GCLV); y del tospovirus: virus manchado amarillo del iris (*Iris yellow spot virus*; IYSV). Para detectar los virus presentes en las muestras de follaje de ajo se recurrió a la técnica ensayo de inmunoadsorción enzimática (ELISA).

Fechas de evaluación y colectas

Se realizaron muestreos en tres fechas (71, 120 y 147 dds) para detectar los virus en las plantas de ajo. La muestra a evaluar para ELISA consistió de una hoja de cada una de cinco plantas de la parcela experimental. Dependiendo del ecotipo seleccionado sembrado, las plantas podían presentar síntomas presuntivos de una virosis o ser asintomáticas. El experimento consistió de 36 parcelas o unidades experimentales, a cada una de las cuales se les realizaron tres muestreos para un total de 108 muestras. Los tejidos foliares se colocaron en bolsas de plástico y se mantuvieron a -20°C hasta su procesamiento.

Análisis de las muestras

Las muestras foliares se procesaron en el Laboratorio de Fitopatología, DICIVACIS, Universidad de Gua-

najuato, México. La presencia de los virus se corroboró mediante el ensayo de inmunoadsorción enzimática de doble anticuerpo (DAS; Clark y Adams, 1977; Cruz y Frías, 1997). Para la evaluación de los virus LYSV, OYDV, GCLV, IYSV y SLV se utilizaron los kits de Agdia Inc. (Elkhart, IN, EEUU); los cuatro primeros virus se conjugaron con la enzima fosfatasa alcalina, mientras que el último se conjugó con la enzima peroxidasa. Los controles positivo y negativo (extracto de hojas de cebolla) fueron de Agdia Inc. El valor de absorbencia se determinó en un espectrofotómetro BIO-RAD Modelo 3550-UV, a una longitud de onda de 405nm para los virus LYSV, OYDV, GCLV y IYSV y de 655nm para el virus SLV.

Evaluación de resultados y determinación del límite de detección

Las lecturas de cada muestra se hicieron por duplicado y el valor medio de cada par fue registrado. El valor del control sano se calculó en base al promedio de los dos valores de absorbencia del testigo sano (negativo) para cada virus. Como criterio para determinar el límite de detección se usó el valor medio de densidad óptica del control negativo más 0,05, y todo valor mayor a este límite se consideró positivo (SARH, 1994; citado por Cruz y Canseco, 1995).

Resultados y Discusión

Efectos de virus individuales y complejos en las características agronómicas

Los resultados de las pruebas de Shapiro-Wilk y Cochran confirmaron que las variables cumplieron los supuestos del análisis de varianza (datos no presentados). El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para los ecotipos seleccionados de ajo de las variables severidad e in-

TABLA I
 PROMEDIOS DE SEVERIDAD, INCIDENCIA, PESO, DIÁMETRO Y ALTURA DE BULBO, RENDIMIENTO
 Y NÚMERO DE BULBILLOS POR BULBO DE 12 ECOTIPOS SELECCIONADOS DE AJO (*Allium sativum* L.),
 CICLO OTOÑO-INVIERNO 2009-2010

ES	S Fecha 1	S Fecha 2	S Fecha 3	I Fecha 1	I Fecha 2	I Fecha 3	Peso de bulbo (g)	Diámetro de bulbo (cm)	Altura de bulbo (cm)	R (t·ha ⁻¹)	Nº bulbillos bulbo
1	1,0 d	1,3 c	1,3 f	9,5 g	15,7 d	15,7 def	70,8 abc	4,9 ab	6,2 ab	35,5 ab	12,7 a
2	1,2 cd	1,8 b	2,2 cd	17,5 defg	24,8 d	34,3 cde	74,0 abc	4,9 ab	6,1 ab	38,1 a	12,2 a
3	1,0 d	1,0 d	1,5 ef	11,6 fg	19,0 d	25,7 cdef	73,4 abc	4,7 ab	6,2 ab	38,7 a	12,0 a
4	1,0 d	1,2cd	1,8 de	15,5 efg	15,3 d	36,7 cd	82,7 a	5,0 ab	5,9 b	38,9 a	12,6 a
5	1,1 cd	1,0 d	1,3 f	9,3 g	8,1 d	14,8 ef	72,7 abc	4,8 ab	6,0 b	29,1 ab	12,6 a
6	1,1 cd	1,0 d	1,2 f	14,8 efg	9,4 d	9,4 f	74,8 abc	4,9 ab	6,0 b	29,3 ab	11,3 a
7	1,5 bcd	1,2 cd	1,5 ef	23,4 def	14,6 d	17,8 def	81,7 ab	5,2 a	6,2 ab	30,4 ab	11,0 a
8	1,5 bcd	2,0 b	2,6 bc	25,1 de	44,1 bc	44,1 c	60,4 bc	4,7 ab	5,8 b	25,0 b	9,9 a
9	1,6 bc	1,3 c	1,6 ef	30,1 cd	26,5 cd	31,0 cde	68,1abc	4,8 ab	6,0 ab	29,9 ab	10,0 a
10	1,8 b	2,0 b	2,7 b	39,0 c	53,3 b	67,5 b	54,6 c	4,4 ab	5,6 b	25,0 b	10,8 a
11	1,8 b	2,0 b	2,7 b	55,2 b	59,9 b	69,3 b	67,7 abc	4,8 ab	7,0 a	26,7 b	11,3 a
12	3,2 a	3,2 a	4,2 a	98,7 a	92,5 a	100,0 a	57,4 c	4,2 b	5,4 b	26,1 b	11,9 a
X	1,49	1,61	2,09	29,14	31,93	38,89	69,89	4,82	6,06	31,109	11,52

ES: Ecotipo seleccionado de ajo. 1: Mezcla sana de varios predios, 2: localidad El pato 1, 3: localidad El pato 2, 4: localidad El pato 3, 5: localidad Santa Teresa 1, 6: localidad Santa Teresa 2, 7: localidad Monte Cristo, 8: localidad El ramillete 1, 9: localidad El ramillete 2, 10: localidad El ramillete 3, 11: mezcla enferma 1 de varios predios, 12: mezcla enferma 2 de varios predios.

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a $P \leq 0,05$.

S: severidad de la infección, I: incidencia de virosis, R: rendimiento de bulbo. Fecha 1: 17/12/2009, Fecha 2: 30/01/2010, Fecha 3: 27/02/2010.

cidencia de virosis a los 71, 120 y 147 dds, con coeficientes de variación del 9,4; 5,1; 5,9; 15,1; 17,0 y 13,7% respectivamente, para peso y altura de bulbo, y para rendimiento, con coeficientes de variación del 10,7; 5,8 y 11,2% respectivamente (datos no presentados).

Al realizar la separación de medias entre ecotipos seleccionados para incidencia y severidad de virosis por medio de la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) se observó que los ecotipos seleccionados que presentaron menor incidencia y severidad de virosis en las tres fechas de evaluación fueron los ecotipos seleccionados 1 al 7, con valores de 8,1 a 36,7% y de 1,0 a 2,2 respectivamente para incidencia y severidad, en comparación con el ecotipo seleccionado 12, el cual presentó valores de 92,5 a 100,0% y de 3,2 a 4,2 (Tabla I). La incidencia y severidad de la virosis en el cultivo de ajo está asociada a insectos vectores, los que incluyen áfidos que transmiten potyvirus y carlavirus, y trips que transmiten tospovirus (Cafrune *et al.*, 2006; Hogenhout *et al.*, 2008).

La localidad donde se realizó el estudio se caracteriza

por tener un clima templado con una temperatura media de 16,33°C, condición que favorece el incremento de las poblaciones de insectos vectores y explica la incidencia y severidad de virosis en los ecotipos seleccionados de ajo seleccionados de plantas asintomáticas. Los ecotipos seleccionados 1, 3, 4, 5 y 6 presentaron menor severidad sintomática de virosis, lo que se acompañó de un mayor rendimiento; mientras que los ecotipos seleccionados 8, 10, 11 y 12 mostraron un nivel de severidad mayor (Tabla I). Más aún, en el ecotipo seleccionado 12, que fue el que mostró la mayor carga viral al inicio del cultivo, posiblemente los insectos vectores incrementaron su carga viral, dando como resultado un incremento de 200 a 300% en el grado de severidad y en la incidencia de virosis, con respecto a plantas de los ecotipos seleccionados cuyas hojas no mostraron síntomas virales (Tabla I). Estos resultados coinciden con los reportados por Cafrune *et al.* (2006), Lunello *et al.* (2007) y Pérez *et al.* (2010).

La incidencia viral presentó una tendencia de incremento conforme fueron avanzando las fechas de muestreo,

siendo mayor en la tercera fecha; esto debido probablemente a la acumulación de virus en los ecotipos seleccionados, lo cual coincide con lo reportado previamente en trabajos similares por Cafrune *et al.* (2006). En algunos casos se detectó una disminución de la frecuencia viral en la segunda fecha de muestreo, lo cual concuerda con lo reportado por Pérez *et al.* (2010), quienes atribuyen la disminución a los mecanismos de defensa propios de la planta. Considerando que este estudio se realizó bajo condiciones de campo y que todos los ecotipos seleccionados de ajo estuvieron expuestos a la infección viral natural durante el desarrollo del cultivo, se muestra que la incidencia y la severidad viral afectan directamente el rendimiento y calidad del ajo, reflejado en peso, diámetro y altura de bulbo. Por ello en la Tabla I se observa que los ecotipos seleccionados 2, 3 y 4, con rendimientos superiores a 38,0t·ha⁻¹, también, son de los que presentan los mayores valores para peso de bulbo: 74,0; 73,4 y 82,7g, diámetro de bulbo: 4,9; 4,7 y 5,0cm, y altura de bulbo: 6,1; 6,2 y 5,9cm, respectivamente, debido a que están dentro del

grupo de ecotipos seleccionados que tuvieron menor incidencia y severidad de virosis. En cambio, los ecotipos seleccionados 8, 10 y 12, con rendimientos entre 25,0 y 26,1t·ha⁻¹, son los que presentaron los valores menores para peso de bulbo: 60,4; 54,6 y 57,4g, diámetro de bulbo: 4,7; 4,4 y 4,2cm, y altura de bulbo: 5,8; 5,6 y 5,4cm, respectivamente, debido a que están dentro del grupo de ecotipos seleccionados que tuvieron mayor incidencia y severidad de virosis, lo que implica una disminución promedio del 33% en el rendimiento en los ecotipos seleccionados 8, 10 y 12, en comparación con los ecotipos seleccionados 2, 3 y 4.

La selección de bulbos y bulbillos más grandes para ser usados para la siembra reduce indirectamente la presencia de los virus en las generaciones posteriores del cultivo de ajo, ya que los bulbos más grandes muestran un menor título viral (Pérez *et al.*, 2010); por lo tanto, el uso de bulbos grandes y pesados para la siembra aumenta el rendimiento del ajo, debido a que se incrementa el vigor de las plantas y el tamaño del bulbo cosechado (Walkey y An-

till, 1989; Walkey, 1990; Verbeek *et al.*, 1995; Lot *et al.*, 1998.; Ramírez *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2008). Sin embargo, con el uso de esta práctica, el costo de la semilla y como consecuencia los costos de producción se incrementan de igual forma.

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que las plantas de ajo infectadas de manera natural por los virus presentan menor peso, diámetro, altura y rendimiento de bulbo en comparación con las plantas de ajo no infectadas. Resultados similares ya habían sido reportados por Messiaen *et al.* (1981), Conci *et al.* (2002, 2003), Cafrune *et al.* (2006), Lunello *et al.* (2007), Perotto *et al.* (2010) y Pérez *et al.* (2010), al evaluar el efecto de los virus sobre las características agronómicas en diferentes materiales de ajo, localidades y ambientes.

Detección por ELISA de los virus presentes en ecotipos seleccionados

Diversas frecuencias de infección se observaron para los distintos tipos de virus infectando a los ecotipos seleccionados de ajo en las tres fechas de muestreo (Figura 1). Para la primera fecha de

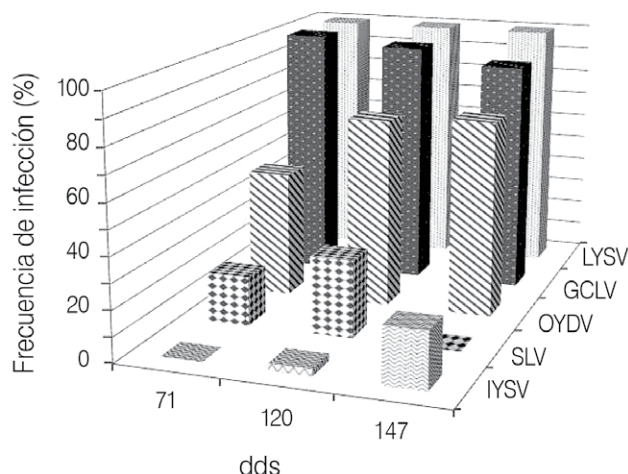


Figura 1. Frecuencia (%) de infección en tres fechas de muestreo por los virus LYSV, GCLV, OYDV, SLV e IYSV en follaje de 12 ecotipos seleccionados de ajo, ciclo otoño-invierno 2009-2010. dds: días después de sembrado.

muestreo (71 dds), las frecuencias de infección encontradas, de manera ascendente, fueron 0; 19,4; 50,0; 100 y 100% para IYSV, SLV, OYDV, GCLV y LYSV, respectivamente. Una situación similar en el patrón de las frecuencias encontradas para las dos siguientes fechas de muestreo se pudo observar claramente, ya que para la segunda fecha de muestreo (120 dds) las frecuencias de infección encontradas, de manera ascendente, fueron 2,8; 30,5; 75,0; 97,2 y 100%

para IYSV, SLV, OYDV, GCLV y LYSV, respectivamente. Finalmente, para la tercera fecha de muestreo (147 dds) las frecuencias de infección encontradas fueron 22,2; 0,0; 77,7; 91,6 y 100% para los mismos virus. Estos resultados coinciden con los de Smekalova *et al.* (2010) quienes reportaron la presencia de los potyvirus OYDV y LYSV, así como los carlavirus GCLV y SLV en germoplasma de ajo, con frecuencias de 65 a 83%. Asimismo, concuerdan con lo descrito

por Klukackova *et al.* (2007) para OYDV y GCLV donde las frecuencias fueron de 75,4 y 99,6% respectivamente; sin embargo, los resultados difieren para LYSV y SLV ya que las frecuencias reportadas fueron de 31,2 y 81,1%, respectivamente. Eventualmente, las diferencias entre los resultados obtenidos en este estudio y los reportados por Klukackova *et al.* (2007) se pueden atribuir a las distintas poblaciones de insectos vectores presentes en las localidades evaluadas, así como a las diferentes condiciones climáticas y al material genético de ajo evaluado.

El aumento en el rendimiento de los ecotipos seleccionados de ajo con bajo título viral podría estar relacionado con el hecho de que las plantas asintomáticas pudieran tener mayor capacidad que las plantas infectadas por virus para transportar los hidratos de carbono a través del floema hacia las hojas, raíces y bulbos, eventos que han sido observados en plantas de melón y de remolacha azucarera (Shalitin y Wolf, 2000; Watson y Watson, 2008) y podría estar ocurriendo también en las plantas de ajo. Por otra parte, en la Tabla II se observa que los ecotipos seleccionados 2 y 4,

TABLA II
DETECCIÓN DE VIRUS EN TEJIDO FOLIAR DE 12 ECOTIPOS SELECCIONADOS DE AJO COLECTADOS A 71, 120 Y 147 DÍAS DE LA SIEMBRA, POR MEDIO DE ELISA Y RENDIMIENTO EN EL CICLO OTOÑO-INVIERNO 2009-2010

Ecotipo de ajo seleccionado	Virus															F	R (t·ha ⁻¹)
	LYSV			OYDV			SLV			GCLV			IYSV				
	71 ^z	120	147	71	120	147	71	120	147	71	120	147	71	120	147		
1	+++	+++	+++	-+	+++	+++	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	---	27	35,51 ab
2	+++	+++	+++	---	---	++-	---	---	---	+++	+++	+++	---	---	---	20	38,17 a
3	+++	+++	+++	+++	+++	++-	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	+-	29	38,77 a
4	+++	+++	+++	-+	---	---	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	+-	21	38,93 a
5	+++	+++	+++	---	-++	+++	---	--+	---	+++	+++	+++	---	---	---	24	29,11 ab
6	+++	+++	+++	+-	+++	-++	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	--+	+-	30	29,33 ab
7	+++	+++	+++	+-	+++	+++	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	+-	30	30,45 ab
8	+++	+++	+++	+++	+++	+++	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	+-	30	25,08 b
9	+++	+++	+++	+-	+++	+++	---	--+	---	+++	+-	+-+	---	---	---	25	29,98 ab
10	+++	+++	+++	-+	-++	+-	---	--+	---	+++	+++	+-	---	---	---	22	25,00 b
11	+++	+++	+++	-+	-++	+-+	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	--+	26	26,79 b
12	+++	+++	+++	+-	+++	+++	--+	--+	---	+++	+++	+++	---	---	---	28	26,13 b
Totales +	36	36	36	18	27	28	7	11	0	36	35	33	0	1	8		

Los símbolos + y - representan resultados positivos o negativos de las tres repeticiones.

F: frecuencias de los virus presentes en las tres fechas de muestreo, para cada ecotipo seleccionado. R: rendimiento.

presentan solamente dos y una lecturas positivas, respectivamente, del virus OYDV durante las tres fechas de detección, lo que podría explicar los mayores rendimientos de estos ecotipos seleccionados, ya que el OYDV es uno de los virus que con mayor severidad atacan al ajo (Dovas *et al.*, 2001); sin embargo, el ecotipo seleccionado 3, con un total de ocho lecturas positivas para OYDV, indujo un rendimiento similar a los ecotipos seleccionados 2 y 4, lo que no permite concluir que una limitada presencia de este virus sea la única causa de los mayores rendimientos; sino que seguramente también pudieron haber influido otros factores, tales como la carga genética presente en cada ecotipo seleccionado.

En cuanto a la frecuencia total de virus en los ecotipos seleccionados de ajo, se puede observar que los virus LYSV, OYDV, SLV, GCLV e IYSV se detectaron en 108, 73, 18, 104 y 9 muestras (sumas del total de las lecturas positivas en las tres fechas para cada virus), de un total de 540 muestras, respectivamente (Tabla II). Por otra parte, al analizar la frecuencia de virus en los ecotipos seleccionados 2, 3 y 4 sanos y el ecotipo seleccionado 12 enfermo (sumas en filas de las tres fechas para los cinco virus), se detectó la presencia de los virus en 20, 29, 21 y 28 de un total de 45 muestras, respectivamente (Tabla II). De esto se puede inferir que la ausencia o la presencia de un título viral bajo permite la expresión de un rendimiento mayor en los ecotipos seleccionados de ajo. Por ejemplo, los ecotipos seleccionados 2, 3 y 4 asintomáticos produjeron 38,1; 38,7 y 38,9t·ha⁻¹, respectivamente; mientras que el ecotipo seleccionado 12 enfermo, tuvo un rendimiento de 26,1t·ha⁻¹ (Tabla II). Estos resultados son similares a los reportados por otros autores, como es el caso de Lot *et al.* (1998),

quienes compararon los rendimientos de ajo libre de los virus OYDV y LYSV contra material de propagación comercial y observaron que la infección simultánea de ambos virus causó una pérdida del rendimiento, de ~50%, atribuible a la infección de los virus. Asimismo, Perotto *et al.* (2010) evaluaron el efecto del complejo viral sobre el peso de los bulbos, en ajo sano y enfermo del cultivar de ajo Blanco-IFFIVE, detectando que el peso de bulbo del ajo libre de virus fue 137% mayor. Los mismos autores evaluaron durante el cuarto ciclo de cultivo el rendimiento de un cultivar de ajo libre de virus comparado con el de un cultivar infectado de manera natural por un complejo viral (potyvirus, carlavirus y allexivirus), encontrando que el rendimiento en el cultivar de ajo originalmente libre de virus fue un 22% mayor comparado con el cultivar de ajo infectado por el complejo viral, lo que concuerda con los presentes resultados.

Conclusiones

Las frecuencias de los virus detectados a los 71, 120 y 147 días después de la siembra fueron: LYSV con 100, 100 y 100%; OYDV con 50, 75 y 77%; SLV con 19, 30 y 0%; GCLV con 100, 97 y 92%; y finalmente IYSV con 0, 3 y 22%.

Los ecotipos seleccionados de ajo que produjeron los mayores rendimientos, mayores pesos de bulbo y menor número de bulbillos por bulbo fueron el 4, el 3 y el 2 con 38,9; 38,7 y 38,1t·ha⁻¹; 82,7; 73,4 y 74,0g/bulbo; y 12,6; 12,0 y 12,2 bulbillos por bulbo, respectivamente. El ecotipo 12 enfermo, por su parte, tuvo un rendimiento, peso promedio de bulbo y número de bulbillos por bulbo de 26,1t·ha⁻¹; 57,4g/bulbo y 11,9 bulbillos por bulbo, respectivamente.

Los resultados mostraron la presencia de complejos virales y la importancia de

los mismos sobre el rendimiento del cultivo de ajo, por lo que es necesario tomar medidas de prevención, iniciando con el uso de semilla libre de virus, además de llevar a cabo un manejo integrado para controlar los insectos vectores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Javier Usabiaga Arroyo, Javier Usabiaga González, Teresa de Jesús Castillo y Esteban Macías Padilla, de Grupo "U", por las facilidades para el establecimiento y conducción del experimento en sus terrenos, en El Rancho San Pablo, San Luis de la Paz, Gto., México; a la Universidad de Guanajuato, México, por el apoyo para la realización de esta investigación y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG) por el financiamiento parcial para la realización de esta investigación bajo el Convenio N° 06-16-k117-23. Finalmente, agradecemos a la Rectoría del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato y al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) 2012, por el apoyo económico brindado en la contribución para la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Barg E, Lesemann DE, Vetten HG, Green SK (1994) Identification, partial characterization and distribution of viruses infecting *Allium* crops in south and south-east Asia. *Acta Hort.* 358: 251-258.
- Cafrune EE, Balzarini M, Conci VC (2006) Changes in the concentration of an *Allexivirus* during the crop cycle garlic cultivars. *Plant Dis.* 90: 1293-1296.
- Canavelli A, Nome SF, Conci VC (1998) Efecto de distintos virus en la producción de ajo (*Allium sativum*) rosado paraguayo. *Fitopatol. Bras.* 23: 354-358.
- Clark MF, Adams AN (1977) Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay

for the detection of plant viruses. *J. Gen. Virol.* 34: 475-483.

- Conci VC, Lunello P, Buraschi D, Italia RR, Nome SF (2002) Variations of *Leek yellow stripe virus* concentration in garlic and its incidence in Argentina. *Plant Dis.* 86: 1085-1088.
- Conci VC, Cafrune EE, Lunello P, Canavelli A, Nome SF, Bracamonte R, Alochis P, Perotto C (2003) *Incidencia de los Virus en la Producción de Ajo y su Control*. www.inta.gov.ar/ediciones/idia/horticola/ajo03.pdf (Cons. 10/01/2010).
- Cruz FM, Canseco RO (1995) *Notas sobre la Técnica DAS-ELISA*. Dirección General de Sanidad Vegetal. México. pp. 1-12.
- Cruz FM, Frías TGA (1997) *Guía Ilustrada de la Prueba de Inmunoabsorción con Enzimas Ligadas para la Detección de Fitopatógenos*. Centro Nacional de Referencia de Diagnóstico Fitosanitaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, México. pp. 1-23.
- Dovas C, Hatziloukas E, Salomon R, Barg E, Shibolet YM, Katis N (2001) Incidence of viruses infecting *Allium* spp. in Greece. *Eur. J. Plant Pathol.* 107: 677-684.
- FAOSTAT (2012a) Statistics Division. Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>
- FAOSTAT (2012b) Statistics Division. Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx> Florida, USA. (Cons. 22/09/2012).
- Havranek P (1974) The effect of virus disease on the yield of common garlic. *Ochrana Roslin* 8: 291-298.
- Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE, Redinbaugh MG (2008) Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annu. Rev. Phytopathol.* 46: 327-59.
- Klukackova J, Navratil M, Duchoslav M (2007) Natural infection of garlic (*Allium sativum* L.) by viruses in the Czech Republic. *J. Plant Dis. Protect.* 114: 97-100.
- Lot H, Chevelon V, Souche S, Dellecolle B (1998) Effects of onion yellow dwarf virus and leek yellow stripe virus on symptomatology and yield loss of three French garlic cultivars. *Plant Dis.* 82: 1381-1385.
- Lunello P, Di Rienzo J, Conci VC (2007) Yield loss in garlic

- caused by *Leek yellow stripe virus* Argentinean isolate. *Plant Dis.* 91: 153-158.
- Messiaen CM, Youcef BM, Beyries A (1981) Rendement potentiel et tolerance aux virus chez l'ail (*Allium sativum* L.). *Agronomie* 1: 759-762.
- Nieto AM, Conci VC, Conci LR (2004) Nucleotide sequence of the 3' region of a *carlavirus* from Argentinian garlic mosaic. 4th Int. ISHS Symp. on Edible Alliaceae (ISEA). (21-26/04/2004). Beijing China. Abstr. 103.
- Pérez ML, Rico JE (2004) Identificación de Virus Fitopatógenos en Cultivos Hortícolas de Importancia Económica en el Estado de Guanajuato, México. 1^a ed. Universidad de Guanajuato. México. 143 pp. 119-127.
- Pérez ML, Santiago GD, Rico JE, Ramírez MR, Mendoza CB (2008) Efecto de virus sobre características agronómicas y calidad del ajo (*Allium sativum* L.), en el estado de Guanajuato, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 26: 40-48.
- Pérez ML, Navarro LMJ, Ramírez MR, Mendoza CB (2010) Impacto e identificación de los virus fitopatógenos sobre rendimiento y calidad del ajo (*Allium sativum* L.), en el Estado de Guanajuato, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 28: 97-110.
- Pérez ML, Rodríguez AA, Sánchez PJR (2004) Efecto de *Coniothyrium minitans* Campbell en esclerocios de *Sclerotium cepivorum* Berk. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22: 429-434.
- Perotto M C, Cafrune EE, Conci VC (2010) The effect of additional viral infections on garlic plants initially infected with *Allexiviruses*. *Eur. J. Plant Pathol.* 126: 489-495.
- Ramírez MR, Borodanenko A, Pérez ML, Salinas GJ (2006) Differential organ infection studies, potyvirus elimination, and field performance of virus-free garlic plants produced by tissue culture. *Plant Cell Tiss. Org.* 86: 103-110.
- SIAP (2010) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.siap.gob.mx (Cons. 05/04/2010).
- Shalitin D, Wolf S (2000) *Cucumber Mosaic Virus* infection affects sugar transport in melon plants. *Plant Physiol.* 123: 597-604.
- Smekalova K, Stavlikova H, Dusek K (2010) Distribution of viruses in the Garlic Germplasm Collection of the Czech Republic. *J. Plant Pathol.* 92: 273-274.
- Tsuneyoshi T, Matsumi T, Deng TC, Sako I, Sumi S (1998) Differentiation of *Allium carlavirus* isolated from different parts of the world based on the viral coat protein sequence. *Arch. Virol.* 143: 1093-1107.
- Van Dijk P (1993) *Carlavirus* isolates from cultivated *Allium* species represent three viruses. *Neth. J. Plant Pathol.* 98: 233-257
- Verbeek M, Van Dijk PM, Van Well A (1995) Efficiency of eradication of four viruses from garlic (*Allium sativum*) by meristem tip culture. *Eur. J. Plant Pathol.* 101: 231-239.
- Walkey DGA (1990) Virus diseases. In Rabinowitch HD; Brewster JL (Eds.) *Onion and Allied Crops*. Vol II. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 191-212.
- Walkey DGA, Antill DN (1989) Agronomic evaluation of virus-free and virus-infected garlic (*Allium sativum* L.). *J. Hort. Sci.* 64: 53-60.
- Watson L, Watson S (2008) The effect of infection with beet yellows and beet mosaic viruses on the carbohydrate content of sugar-beet leaves, and on translocation. *Ann. Appl. Biol.* 38: 276-288.