NITRATOS, OXALATOS Y ALCALOIDES EN DOS ETAPAS FENOLÓGICAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) EN RIEGO Y TEMPORAL

NITRATES, OXALATES AND ALKALOIDS IN TWO PHENOLOGICAL STAGES OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd) IN IRRIGATED AND RAINFED CONDITIONS

Arturo Gutiérrez-Larrazabal[1], Marcos Soto-Hernández[3], Cándido López-Castañeda[1]*, Germán D. Mendoza-Martínez[2], Armando García-Velázquez[1] y Ma. Carmen Mendoza-Castillo[1]

[1]Programa en Genética, [2]Programa en Ganadería, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Tel. 01 (595) 952- 0200 Ext. 1587, correo electrónico: clc@colpos.mx [3]Programa en Botánica, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
* *Autor para correspondencia*

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar 10 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y una variedad de quelite cenizo (*Chenopodium album* L.), de diferente color de planta y producción de materia seca en la parte aérea, por su contenido de nitratos y oxalatos en planta completa (NPC, OPC), en hojas (NH, OH) y en tallos (NT, OT), y la presencia de alcaloides en planta completa en las etapas de botón floral y floración en condiciones de riego y temporal o secano en Montecillo, Edo. de México. El contenido de NPC, NH y NT fue 1935, 513 y 1422 mg kg^{-1} de MS en botón floral y 1385, 474 y 911 mg kg^{-1} de MS en floración, y el contenido de OPC, OH y OT fue 3.01, 2.2 y 0.81 % en botón floral y 2.55, 1.99 y 0.55 % en floración en promedio de las variedades en riego y temporal. El contenido de NPC, NH y NT fue más bajo en las variedades de planta rosa (NPC=1773, NH= 461 y NT= 1312 mg kg^{-1} de MS) en botón floral y en las variedades de planta rosa (NPC=1360, NH=476 y NT=884 mg kg^{-1} de MS) y verde (NPC=1253, NH=406 y NT=847 mg kg^{-1} de MS) en floración, mientras que el contenido de OPC, OH y OT fue más bajo en las variedades de planta rosa (OPC=2.93, OH=2.14 y OT=0.79 %) y verde (OPC=2.89, OH=2.13 y OT=0.76 %) en botón floral y variedades de planta rosa (OPC=2.48, OH=1.96 y OT=0.52 %) y verde (OPC=2.51, OH=1.96 y OT=0.55 %) en floración. Se detectó la presencia de alcaloides en la planta completa en las etapas de botón floral y floración en riego y en temporal, con mayores tendencias en condiciones de temporal.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa*, *Ch. album*, nitratos, oxalatos, alcaloides, secano.

SUMMARY

The objective of the present study was to characterize a group of 10 varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and one variety of wild quinoa (*Chenopodium album* L.) with different color of plant and above-ground dry matter (DM) production by the content of nitrates and oxalates in the whole plant (NWP and OWP), leaves (NL and OL) and stems (NS and OS), and the presence of alkaloids in the whole plant at blooming and flowering in irrigated and rainfed conditions at Montecillo, State of México. Averaged over varieties and environments, NWP, NL and NS were 1935, 513 y 1422 mg kg^{-1} of DM at blooming and 1385, 474 and 911 mg kg^{-1} of DM at flowering, and OWP, OL and OS were 3.01, 2.2, 0.8 % at blooming and 2.55, 1.99, and 0.55 % at flowering. NWP, NL and NS were lower in plants of pink color (NWP=1773, NL=461 and NS=1312 mg kg^{-1} of DM) at blooming, and plants of pink color (NWP=1360, NL=476 and NS=884 mg kg^{-1} of DM) and plants of green color (NWP=1253, NL=406 and NS=847 mg kg^{-1} of DM) at flowering, whereas OWP, OL and OS were lower in plants of pink color (OWP=2.93, OL=2.14 and OS=0.79 %) and plants of green color (OWP=2.89, OL=2.13 and OS=0.76 %) at blooming and plants of pink color (OWP=2.48, OL=1.96 and OS=0.52 %) and plants of green color (OWP=2.51, OL=1.96 and OS=0.55 %) at flowering. Presence of alkaloids was detected in the whole plant at blooming and flowering in irrigated and rainfed conditions, with a greater tendency in rainfed conditions.

Index words: *Chenopodium quinoa*, *Ch. album*, nitrates, oxalates, alkaloids, rainfed.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo que en su región de origen se utiliza principalmente para la producción de semilla, pero también ha sido estudiado como forraje por sus características nutritivas; en México, estudios realizados para evaluar su adaptación, producción de materia seca y calidad forrajera, han demostrado que la quinua tiene alto potencial de uso en la producción pecuaria (Bañuelos *et al*., 1995). No obstante sus características agronómicas y nutritivas, esta especie acumula en sus tejidos compuestos detrimentales de la calidad como oxalatos, nitratos y saponinas (Fontúrbel, 2003), los que pueden incrementarse cuando los cultivos sufren deficiencias de humedad, como ocurre en pastos forrajeros (Barker y Caradus, 2001).

Recibido: 4 de Abril del 2003.
Aceptado: 19 de Noviembre del 2004.

En una quinua silvestre (*Chenopodium album* L.) se estudió el contenido de nitratos y saponinas en muestras testigo, muestras lavadas y muestras sometidas a cocción, y se concluyó que con un tratamiento térmico se puede obtener un producto adecuado para elaborar alimentos balanceados, ya que si bien en las muestras testigo había un compuesto tóxico no identificado que causó la muerte de todos los organismos en los que se realizó la prueba, con el tratamiento de cocción desaparecía dicha sustancia (Arellano *et al.,* 1998); resultados similares fueron observados por Rankins y Smith (1991) en coquia (*Kochia scoparia* Schrad.), en la que identificaron la presencia de alcaloides a los que se les atribuyó la muerte de los organismos vivos utilizados en su ensayo. La similitud entre estos resultados, sugiere que la sustancia tóxica desconocida observada en quinua silvestre puede ser un alcaloide, como se ha demostrado en la quinua cultivada que presenta saponinas o alcaloides en la testa de su semilla que causan un sabor muy amargo (Fontúrbel, 2003).

La remoción de las sustancias detrimentales de la calidad del forraje por medio de lavado o cocción puede incrementar significativamente el costo de producción, lo que sería incosteable para la producción pecuaria. En cambio, el uso de materiales genéticos con alta acumulación de materia seca, altos niveles de digestibilidad y proteína cruda como los observados en quinua (Bañuelos *et al.*, 1995), podrían ser útiles para la obtención de variedades con bajos niveles de estas sustancias o bien eliminarlas a través del mejoramiento genético, y permitiría obtener forraje de buena calidad a bajo costo (Hill y Hiatt, 1998; Stephen, 1999; Fontúrbel, 2003), accesible a todos los niveles de producción pecuaria (Castler y Vogel, 1999).

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar un grupo de variedades de quinua por su producción de materia seca en la parte aérea y su contenido de nitratos y oxalatos en la planta completa, hojas y tallos, y la presencia de alcaloides en la planta completa en las etapas de botón floral y floración en riego y temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Los materiales genéticos se clasificaron por el color de planta en la etapa de floración en condiciones de riego, en tres grupos de variedades: verde (VV), rosa (VR) y púrpura (VP). Con el fin de estudiar la variación en el contenido de nitratos y oxalatos, y detectar la presencia de alcaloides en el laboratorio, se seleccionaron dos variedades de alta producción de materia seca en la parte aérea (AMSPA) y dos variedades de baja producción de materia seca en la parte aérea (BMSPA), dentro de cada grupo de color de planta. En el grupo VV se incluyeron las variedades 21 y 34 de AMSPA y las 15 y 44 de BMSPA; en el grupo VR se incluyeron las variedades 33 y 41 de AMSPA y las 12 y 17 de BMSPA; y en el grupo VP se consideraron las variedades 37 y 40 de AMSPA y la 31 de BMSPA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características agronómicas de las variedades analizadas en cada grupo de color de planta en la etapa de floración para el experimento de riego en el ciclo Invierno-Primavera, 2000-2001. Montecillo, Edo. de México.

Variedades	Genealogía	MSPA (t ha^{-1})	AP (cm)	DAF
Color verde				
21 de AMSPA	Quelite cenizo	9.4	152	96
34 de AMSPA	04-05-0334	8.4	160	96
15 de BMSPA	YU-116	5.5	139	88
44 de BMSPA	03-07-598	5.5	153	97
Color rosa				
33 de AMSPA	04-03-1644	8.6	162	98
41 de AMSPA	03-07-699	8.1	163	104
17 de BMSPA	YU-93	5.8	148	93
12 de BMSPA	03-08-091	5.6	135	88
Color púrpura				
37 de AMSPA	Rosada de Junín	7.6	153	99
40 de AMSPA	Kancolla	7.5	152	104
31 de BMSPA	Amarilla de Maranganí	6.3	150	100

AMSPA= Alta materia seca en la parte aérea; BMSPA =Baja materia seca en la parte aérea; MSPA= Materia seca en la parte aérea; AP= Altura de planta; DAF= Días a floración.

Obtención y preparación de las muestras

Se tomaron muestras de planta completa, hojas y tallos de cinco plantas de cada unidad experimental en las etapas de botón floral y floración, en cada unidad experimental de los experimentos en riego (R) (ciclo Invierno-Primavera, 2000-2001) y secano o temporal (T) (ciclo de Verano, 2001) conducidos en Montecillo, Edo. de México (19º 29´ LN, 98º 53´ LW y 2250 msnm). Las muestras así colectadas en el campo se secaron en una estufa de circulación de aire forzado (modelo RIOSSA, HS 82) a 40 ºC durante 72 h hasta peso constante; posteriormente, las muestras se molieron con un molino (modelo UD Corporation, Ciclon Sample Mill) provisto con una criba de 1 mm de diámetro y así obtener partículas de tamaño adecuado para el análisis químico.

Análisis de laboratorio

Las muestras se llevaron al laboratorio de Fitoquímica del Programa en Botánica, Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, y se analizaron por triplicado para la planta completa, hojas y tallos en las etapas de botón floral y floración.

El contenido de nitratos se determinó por el método de Cataldo *et al.* (1975) y el de oxalatos por el método de Day y Underwood, adaptado por Alcántar y Sandoval

(1999); el análisis de alcaloides se hizo por el método descrito por García-Mateos *et al*. (1996) en las variedades 21 y 15 de planta verde, 33 y 17 de planta rosa, 37 y 31 de planta púrpura.

Variables determinadas

Contenido de nitratos (mg kg^{-1} de MS) en planta completa (NPC), en hojas (NH) y en tallos (NT), contenido de oxalatos (%) en planta completa (OPC), en hojas (OH) y en tallos (OT), y presencia de alcaloides en planta completa (APC).

Diseño experimental y análisis estadístico

Las 11 variedades utilizadas para el presente estudio se aletorizaron bajo un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones y la unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de ancho. Con los datos de cada variable se realizó un análisis de varianza y se calculó la diferencia significativa honesta (DSH) o de Tukey ($P<0.05$) para la comparación de medias en forma combinada e individual de los experimentos en riego y en temporal, mediante el programa Statistical Analysis System para Windows, Versión 8.0 (SAS, V8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de nitratos en planta completa, hojas y tallos en la etapa de botón floral

El contenido de nitratos en planta completa (1935 mg kg^{-1} de MS), en hojas (513 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (1422 mg kg^{-1} de MS) en promedio de variedades y experimentos en riego y en temporal (Cuadro 2), fue inferior a los límites permisibles de nitratos en los forrajes, de acuerdo con el Consejo de Investigación Agrícola (Agricultural Research Council, ARC, 1980). Con base en los estudios realizados hasta esa fecha, el Consejo concluyó que contenidos de nitratos de 3000 a 5000 mg kg^{-1} de MS pueden ser admisibles sin grandes riesgos para el consumo animal. Así los contenidos de nitratos registrados en planta completa, hojas y tallos entre los grupos de color de planta, pueden considerarse como no tóxicos. No obstante, el grupo de variedades de color de planta rosa tuvo menor concentración de nitratos en planta completa (1773 mg kg^{-1} de MS), en hojas (461 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (1312 mg kg^{-1} de MS) que los grupos de color de planta verde y púrpura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de nitratos en planta completa (NPC), en hojas (NH) y en tallos (NT) de quinua para los diferentes grupos de color de planta (GCP) y variedades (VAR) en la etapa de botón floral, en forma combinada e individual para los experimentos en riego (R) (Invierno-Primavera, 2000-2001) y temporal (T) (Verano, 2001). Montecillo, Edo. de México.

GCP/VAR	Forma combinada			Experimento en R			Experimento en T		
	NPC	NH	NT	NPC	NH	NT	NPC	NH	NT
	(mg kg^{-1} de MS)			(mg kg^{-1} de MS)			(mg kg^{-1} de MS)		
Color verde									
21 AMSPA	1695	508	1187	925	258	668	2465	759	1706
34 AMSPA	2111	506	1605	1704	426	1277	2519	586	1933
15 BMSPA	1892	476	1415	1123	302	821	2661	651	2010
44 BMSPA	2034	655	1378	1427	449	978	2641	862	1779
Media	**1933**	**536**	**1396**	**1295**	**359**	**936**	**2571**	**714**	**1857**
Color rosa									
33 AMSPA	1844	438	1406	1297	197	1100	2392	680	1713
41 AMSPA	1988	488	1500	1233	235	998	2743	741	2003
17 BMSPA	1700	474	1226	927	288	639	2473	660	1814
12 BMSPA	1559	445	1114	1044	273	772	2074	617	1457
Media	**1773**	**461**	**1312**	**1125**	**248**	**877**	**2420**	**674**	**1746**
Color púrpura									
37 AMSPA	2138	651	1487	1659	482	1178	2617	820	1797
40 AMSPA	1946	443	1504	1469	315	1154	2424	572	1853
31 BMSPA	2378	556	1821	2142	455	1686	2614	658	1957
Media	**2154**	**550**	**1604**	**1756**	**417**	**1339**	**2551**	**683**	**1869**
Media general	**1935**	**513**	**1422**	**1359**	**335**	**1024**	**2511**	**691**	**1820**
DSH ($P \leq 0.05$)[¶]	685	128	626	194	28	180	250	285	300
C V (%)	6.4	9.7	8.2	3.5	2	4.3	6.7	10.2	8.8

[¶]Valor de DSH para la comparación de medias entre variedades; DSH_{NPC} = 77; DSH_{NH} = 31; DSH_{NT} = 74; para la comparación de medias en forma combinada y entre experimentos, respectivamente; C V = Coeficiente de variación.

Las variedades 21 y 12 fueron las que tuvieron el menor contenido de nitratos en planta completa; las variedades 21, 34, 33, 41, 40, 15, 17 y 12 fueron las que tuvieron el menor contenido de nitratos en hojas; las variedades 21 y 12 mostraron la menor concentración de nitratos en tallos. Por tanto, las variedades sobresalientes por su menor contenido de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos, fueron las variedades 21 de color de planta verde y alta materia seca en la parte aérea y la 12 de color de color de planta rosa y baja materia seca en la parte aérea (Cuadro 2); ninguna de estas dos variedades rebasó el límite de 2000 mg kg^{-1} de MS, establecido por Elgersma *et al*. (2001).

El contenido de nitratos en tallos, en promedio de variedades y de experimentos en riego y en temporal, fue 64 % mayor que el contenido de nitratos en hojas; en riego el contenido de nitratos en tallos fue 67 % y en temporal 62 % más alto que en hojas (Cuadro 2). Un mayor contenido de nitratos en tallos que en hojas también fue observado en las plantas de una pradera de sorgo-pasto Sudán en Texas, EE. UU. (Elgersma *et al.*, 2001). Por otro lado, el contenido de nitratos en planta completa fue 46 % mayor en el experimento en temporal que en riego, lo que se atribuye a los periodos de insuficiencia hídrica ocurridos durante la etapa de botón floral y que causaron estrés en las plantas, ya que tal estrés favorece la acumulación de nitratos en la planta (McCreery *et al*., 1966; Primavesi, *et al*., 2001).

En riego el contenido de nitratos en planta completa (1359 mg kg^{-1} de MS), en hojas (335 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (1024 mg kg^{-1} de MS), en promedio de variedades (Cuadro 2), fue menor a los niveles establecidos como tóxicos en plantas forrajeras (1500 mg kg^{-1} de MS) por Fushimi *et al*. (2001) y (2000 mg kg^{-1} de MS) por Elgersma *et al*. (2001). En los tres grupos de color de planta, la concentración de nitratos fue menor que los niveles de toxicidad establecidos para el contenido de nitratos en la materia seca (Elgersma *et al.*, 2001); en los grupos verde y rosa el contenido de nitratos en planta completa (1295 y 1125 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (936 y 877 mg kg^{-1} de MS) fue menor que el grupo de color de planta púrpura, mientras que en el contenido de nitratos en hojas (248 mg kg^{-1} de MS) el valor más bajo se registró en las variedades de color de planta rosa. Las variedades 21 de planta verde alta materia seca en la parte aérea y la variedad 17 de planta rosa y baja materia seca en la parte aérea, tuvieron menor contenido de nitratos en planta completa que el resto de los materiales genéticos; la variedad 33 de color de planta rosa y alta materia seca en la parte aérea fue la que tuvo la menor concentración de nitratos en hojas; y las variedades 21, 17 y 12 fueron las de menor contenido de nitratos en tallos.

El contenido de nitratos en planta completa (2511 mg kg^{-1} de MS) en condiciones de temporal (Cuadro 2) fue más alto que el límite de toxicidad establecido por Elgersma *et al*. (2001) y Fushimi *et al*. (2001), pero más bajo que el establecido por la ARC (1980); no obstante, el contenido de nitratos en hojas (691 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (1820 mg kg^{-1} de MS) fue menor que el establecido por Elgersma *et al*. (2001). En temporal destacó el grupo de variedades de color de planta rosa por presentar el menor contenido de nitratos en planta completa (2420 mg kg^{-1} de MS), en hojas (674 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (1746 mg kg^{-1} de MS), en comparación con los grupos verde y púrpura. La variedad 12 destacó por presentar el más bajo contenido de nitratos en planta completa; el menor contenido de nitratos en hojas se observó en la variedad 40 y el menor contenido de nitratos en tallos se registró en las variedades 21 y 12. Es decir, el grupo de variedades rosa mostró menor acumulación de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos, y dentro de este grupo la variedad 12 tuvo el menor contenido de nitratos en planta completa y en tallos, que las otras variedades del grupo rosa.

El mayor contenido de nitratos observado en temporal en relación con riego, puede deberse al estrés hídrico a que estuvieron sujetas las plantas en temporal, lo que favoreció la acumulación de nitratos en sus tejidos (McCreery *et al.*, 1966; Primavesi *et al.*, 2001), y redujo la productividad del cultivo y su calidad forrajera (Desai y Washko, 1982).

Contenido de nitratos en planta completa, hojas y tallos en la etapa de floración

Los contenidos de nitratos en planta completa (1385 mg kg^{-1} de MS), en hojas (474 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (911 mg kg^{-1} de MS), en promedio de variedades y experimentos en riego y en temporal (Cuadro 3), fueron menores a los establecidos como límites tóxicos (Fushimi *et al.*, 2001; Elgesma *et al.*, 2001; ARC, 1980). Los grupos de variedades verde y rosa tuvieron los menores contenidos de nitratos en planta completa (1253 y 1360 mg kg^{-1} de MS), en hojas (406 y 476 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (847 y 884 mg kg^{-1} de MS) que el grupo de color púrpura. La variedad 21 de planta verde y alta materia seca en la parte aérea tuvo el más bajo contenido de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos. La acumulación de nitratos en tallos fue 48 % mayor que en hojas, en promedio de variedades y experimentos en riego y temporal; en riego 37 % y en temporal fue 51 % más alto que el contenido de nitratos en hojas, respectivamente (Elgersma *et al.*, 2001).

Cuadro 3. Contenido de nitratos en planta completa (NPC), en hojas (NH) y en tallos (NT) de quinua para los diferentes grupos de color de planta (GCP) y variedades (VAR) en la etapa de floración, en forma combinada e individual para los experimentos en riego (R) (Invierno-Primavera, 2000-2001) y temporal (T) (Verano, 2001). Montecillo, Edo. de México.

GCP/VAR	Forma combinada			Experimento en R			Experimento en T		
	NPC	NH	NT	NPC	NH	NT	NPC	NH	NT
	(mg kg^{-1} de MS)			(mg kg^{-1} de MS)			(mg kg^{-1} de MS)		
Color verde									
21 AMSPA	674	217	457	457	169	288	893	266	627
34 AMSPA	1470	499	971	543	193	350	2398	805	1593
15 BMSPA	1374	450	924	459	146	313	2291	755	1536
44 BMSPA	1494	457	1037	291	118	173	2698	797	1901
Media	**1253**	**406**	**847**	**437**	**156**	**281**	**2069**	**655**	**1414**
Color rosa									
33 AMSPA	1434	509	925	547	207	340	2322	811	1511
41 AMSPA	1417	502	915	465	180	285	2369	823	1546
17 BMSPA	1364	466	898	504	168	336	2223	763	1460
12 BMSPA	1226	429	797	679	233	446	1773	624	1149
Media	**1360**	**476**	**884**	**548**	**197**	**351**	**2171**	**755**	**1416**
Color púrpura									
37 AMSPA	1529	568	961	645	344	301	2414	793	1621
40 AMSPA	1768	537	1231	914	322	592	2622	752	1870
31 BMSPA	1492	582	910	1098	476	622	1887	688	1199
Media	**1596**	**562**	**1034**	**885**	**380**	**505**	**2307**	**744**	**1563**
Media general	**1385**	**474**	**911**	**600**	**232**	**368**	**2172**	**716**	**1456**
DSH (P< 0.05)¶	364	171	264	602	284	105	552	258	582
C V (%)	10.4	14	11.3	6.1	7.9	7	6.3	8.9	9.9

¶Valor de DSH para la comparación de medias entre variedades; $DSH_{NPC} = 90$; $DSH_{NH} = 42$; $DSH_{NT} = 65$; para la comparación de medias en forma combinada y entre experimentos, respectivamente; C V = Coeficiente de variación.

En las plantas crecidas con riego, el contenido de nitratos en planta completa (600 mg kg^{-1} de MS), en hojas (232 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (368 mg kg^{-1} de MS), fue más bajo que el limite inferior reportado como tóxico en forrajes para la alimentación del ganado (Fushimi *et al.*, 2001; Elgersma *et al.*, 2001). También en esta condición los grupos de color de planta verde y rosa presentaron menor acumulación de nitratos en planta completa (437 y 548 mg kg^{-1} de MS), en hojas (156 y 197 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (281 y 351 mg kg^{-1} de MS), que el grupo de color púrpura. Las variedades 21, 41, 15 y 44 presentaron menor contenido de nitratos en planta completa y en hojas, que el resto de materiales genéticos; la variedad 17 tuvo el más bajo contenido de nitratos en hojas y la variedad 44 el más bajo contenido de nitratos en tallos. Es decir los grupos de color verde y rosa, y en particular la variedad 44 de planta verde y de baja materia seca en la parte aérea, tuvieron el menor contenido de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos, que en ningún caso excedieron los niveles de toxicidad como forraje (Elgersma *et al.*, 2001).

También en la etapa de floración los contenidos de nitratos en planta completa (2171 mg kg^{-1} de MS), en hojas (716 mg kg^{-1} de MS) y en tallos (1456 mg kg^{-1} de MS) registrados en temporal fueron mayores que los de riego (Cuadro 3), aunque tales niveles no se consideran peligrosos para el ganado (ARC, 1980; Elgersma *et al.*, 2001). El contenido de nitratos en planta completa y en tallos fue menor en los grupos verde y rosa, y el grupo verde tuvo el menor contenido de nitratos en hojas (Cuadro 3). Entre variedades destaca la variedad 21 de planta verde y alta materia seca en la parte aérea por tener el menor contenido de nitratos en planta completa y en hojas entre todas la variedades; la misma variedad 21 y las variedades 12 de planta rosa y 31 de planta púrpura y baja materia seca en la parte aérea tuvieron el menor contenido de nitratos en tallos.

El contenido de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos en la etapa de floración en temporal fue 72, 68 y 75 % mayor que en riego; estas diferencias entre las plantas de riego y de temporal se atribuyen a la menor acumulación de materia seca en la parte aérea ocurrida en temporal, lo que propició mayor concentración de nitratos por unidad de materia seca (Elgersma *et al.*, 2001), debido a la

menor disponibilidad de humedad en temporal (Primavessi *et al.*, 2001).

Contenido de oxalatos en planta completa, hojas y tallos en la etapa de botón floral

El contenido de oxalatos en planta completa (3.01 %), en hojas (2.2 %) y en tallos (0.81 %), en promedio de todas las variedades y de experimentos en riego y en temporal (Cuadro 4), presentaron niveles más bajos que el nivel considerado como tóxico para rumiantes (4.5 %) en coquia en la etapa de botón floral (Karachi *et al.*, 1988). Los contenidos de oxalatos en planta completa (2.89 y 2.93 %), en hojas (2.13 y 2.14 %) y en tallos (0.76 y 0.79 %) fueron menores en los grupos de variedades verde y rosa que en los de color púrpura, y menores que los determinados por Karachi *et al.* (1988). Las variedades 21, 34, 33, 41, 15, 44, 17 y 12 tuvieron menor acumulación de oxalatos en planta completa que el resto de las variedades. Las variedades 21, 33, 41, 15, 44, 17 y 12 tuvieron el menor contenido de oxalatos en hojas; las variedades 34, 33, 41, 15, 44 y 17 presentaron el más bajo contenido de oxalatos en tallos, sin exceder los límites permitidos de oxalatos en forrajes (Karachi *et al.*, 1988). Los grupos de color de planta verde y rosa, y las variedades 33 y 41 de planta rosa y alta materia seca en la parte aérea, 15 y 44 de planta verde y alta materia seca en la parte aérea, y la 17 de planta rosa y baja materia seca en la parte aérea, presentaron los menores contenidos de oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos.

Contrariamente a lo observado en nitratos, el contenido de oxalatos en hojas fue 63 % superior al contenido de oxalatos en tallos, en promedio de variedades y experimentos en riego y en temporal; en riego el contenido de oxalatos en hojas fue 61 % y en temporal 65 % más alto que en tallos, respectivamente (Cuadro 4). Este resultado es similar al obtenido en un experimento de coquia en el que se determinó que la acumulación de oxalatos fue mayor en hojas que en tallos (Coxworth *et al.*, 1988; Karachi *et al,.* 1988).

Cuadro 4. Contenido de oxalatos en planta completa (OPC), en hojas (OH) y en tallos (OT) de quinua para los diferentes grupos de color de planta (GCP) y variedades (VAR) en la etapa de botón floral, en forma combinada e individual para los experimentos en riego (R) (Invierno-Primavera, 2000-2001) y temporal (T) (Verano, 2001). Montecillo, Edo. de México.

GCP/VAR	Forma combinada			Experimento en R			Experimento en T		
	OPC	OH	OT	OPC	OH	OT	OPC	OH	OT
	(%)			(%)			(%)		
Color verde									
21 AMSPA	2.90	2.05	0.85	2.70	2.00	0.70	3.10	2.10	1.00
34 AMSPA	3.00	2.25	0.75	3.10	2.30	0.80	2.90	2.20	0.70
15 BMSPA	2.83	2.10	0.73	2.70	2.00	0.70	2.95	2.20	0.75
44 BMSPA	2.83	2.10	0.73	2.85	2.15	0.70	2.80	2.05	0.75
Media	**2.89**	**2.13**	**0.76**	**2.84**	**2.11**	**0.73**	**2.94**	**2.14**	**0.80**
Color rosa									
33 AMSPA	2.88	2.13	0.75	2.85	2.05	0.80	2.90	2.20	0.70
41 AMSPA	3.03	2.20	0.83	2.90	2.10	0.80	3.15	2.30	0.85
17 BMSPA	2.83	2.08	0.75	2.75	2.00	0.75	2.90	2.15	0.75
12 BMSPA	3.00	2.15	0.85	3.25	2.30	0.95	2.75	2.00	0.75
Media	**2.93**	**2.14**	**0.79**	**2.94**	**2.11**	**0.83**	**2.93**	**2.16**	**0.76**
Color púrpura									
37 AMSPA	3.25	2.35	0.90	3.30	2.30	1.00	3.20	2.40	0.80
40 AMSPA	3.20	2.35	0.85	3.25	2.25	1.00	3.15	2.45	0.70
31 BMSPA	3.35	2.40	0.95	3.45	2.35	1.10	3.25	2.45	0.80
Media	**3.27**	**2.37**	**0.90**	**3.33**	**2.30**	**1.03**	**3.20**	**2.43**	**0.77**
Media general	**3.01**	**2.20**	**0.81**	**3.01**	**2.16**	**0.85**	**3.00**	**2.23**	**0.78**
DSH ($P < 0.05$)[¶]	0.24	0.20	0.11	0.46	0.30	0.13	0.27	0.23	0.15
C V (%)	3.1	3.5	5.1	3.9	4.6	3.7	2.1	2.0	6.4

[¶]Valor de DSH para la comparación de medias entre variedades; $DSH_{OPC} = 0.06$; $DSH_{OH} = 0.05$; $DSH_{OT} = 0.03$; para la comparación de medias en forma combinada y entre experimentos, respectivamente, C V = Coeficiente de variación.

El contenido de oxalatos en planta completa (3.01 %), en hojas (2.16 %) y en tallos (0.85 %) en la etapa de botón floral en riego, en promedio de todas las variedades (Cuadro 4), fue menor que los niveles establecidos como tóxicos (Karachi *et al.*, 1988; Coxworth *et al.*, 1988). Los grupos de variedades verde y rosa tuvieron menor contenido de oxalatos en planta completa (2.84 y 2.94 %), en hojas (2.11 y 2.14 %) y en tallos (0.73 y 0.83 %), respectivamente, que el grupo de variedades púrpura (Cuadro 4). Las variedades 21 de planta verde, 33 y 41 de planta rosa y alta materia seca en la parte aérea, 15 y 44 de planta verde y 17 de planta rosa y baja materia seca en la parte aérea, tuvieron menor contenido de oxalatos en planta completa que las demás variedades; y las variedades 21, 33, 15 y 17 tuvieron menor acumulación de oxalatos en hojas; las variedades 21, 34, 33, 41, 15, 44 y 17 fueron las que acumularon menos oxalatos en tallos. Las variedades más destacadas por sus bajos contenidos de oxalatos fueron la 21 de planta verde, 33 de planta rosa y alta materia seca en la parte aérea, 15 de planta verde y la 17 de planta rosa y baja materia en la parte aérea, cuyos valores estuvieron por debajo de los límites de toxicidad (Karachi *et al.*, 1988).

Los contenidos de oxalatos en planta completa (3 %), en hojas (2.23 %) y en tallos (0.78 %) en la etapa de botón floral, en temporal y en promedio de variedades (Cuadro 4), fueron similares a los observados en riego; por tanto, dichos niveles también se encuentran dentro de los limites permisibles en forrajes (Karachi *et al.*, 1988). Entre grupos de color de planta los de planta verde y rosa mostraron contenidos más bajos de oxalatos en planta completa (2.94 y 2.93 %) y en hojas (2.14 y 2.16 %), respectivamente, que el grupo de color púrpura; la acumulación de oxalatos en tallos (0.78 %) fue similar en todos los grupos. Las variedades 34, 33, 15, 44, 17 y 12 acumularon menos oxalatos en planta completa; las variedades 21, 34, 33, 15, 44, 17 y 12 fueron las de menor contenido de oxalatos en hojas; los materiales 34, 33 y 40 presentaron el menor contenido de oxalatos en tallos. En resumen, las variedades 34 de planta verde y 33 de planta rosa y alta materia seca en la parte aérea fueron las que tuvieron menor contenido de oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos.

Contenido de oxalatos en planta completa, hojas y tallos en la etapa de floración

En la época de floración, el contenido de oxalatos en planta completa (2.55 %), en hojas (1.99 %) y en tallos (0.55 %), en promedio de variedades y de experimentos en riego y temporal fueron menores que los observados en botón floral, y por tanto inferiores al límite considerado como tóxico para los animales domésticos (Karachi *et al.*, 1988). Los grupos de colores de planta verde y rosa mostraron los contenidos más bajos de oxalatos en planta completa (2.51 y 2.48 %), en hojas (1.96 %) y en tallos (0.55 y 0.52 %). Las variedades 33 y 15 tuvieron el contenido más bajo de oxalatos en planta completa; la variedad 33 también fue la más baja en hojas; y las variedades 33, 15 y 17 fueron las mejores en tallos. Destaca así la variedad 33 de planta rosa y alta producción de materia seca en la parte aérea por su menor acumulación de oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos.

Al igual que en la etapa de botón floral, en la etapa de floración la concentración de oxalatos en hojas fue 72 % mayor que el contenido de oxalatos en tallos, en promedio de variedades y condiciones de riego y temporal; en riego la acumulación de oxalatos en hojas fue 73 % y en temporal fue 72 % mayor que en tallos, respectivamente.

En riego, los contenidos de oxalatos en planta completa (2.55 %), en hojas (2 %) y en tallos (0.55 %) en floración (Cuadro 5) fueron menores que los niveles tóxicos (Karachi *et al.*, 1988). Los grupos de variedades verde y rosa tuvieron menos oxalatos en planta completa (2.51 y 2.46 %) y en hojas (1.95 y 1.96 %), y en tallos (0.5 %); el contenido más bajo se detectó en el grupo de planta rosa. Las mejores variedades fueron: 21, 33, 41, 15 y 17 en planta completa; las variedades 21, 33 y 15 tuvieron la más baja acumulación de oxalatos en hojas; y las variedades 34, 33, 41, 15, 17, 12 y 31 fueron las de menor contenido de oxalatos en el tallo. Destacaron entonces las variedades 33 de planta rosa y alta materia seca en la parte aérea, y 15 de planta verde y baja materia seca en la parte aérea por tener el menor contenido de oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos, con niveles inferiores al de toxicidad considerado por Karachi *et al.* (1988).

En temporal los contenidos de oxalatos fueron similares a los observados en riego. La acumulación de oxalatos en planta completa (2.51 y 2.5 %) y en tallos (0.54 %) fue menor en los grupos de variedades verde y rosa, y el contenido de oxalatos en hojas (1.99 %) fue similar para los tres grupos de color de planta (Cuadro 5). En la condición de temporal destacaron las variedades 44 de color verde y 12 de color rosa y baja materia seca en la parte aérea, por tener la menor acumulación de oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos, dentro de los límites admitidos de oxalatos en la materia seca (Karachi *et al.*, 1988).

Cuadro 5. Contenido de oxalatos en planta completa (OPC), en hojas (OH) y en tallos (OT) de quinua para los diferentes grupos de color de planta (GCP) y variedades (VAR) en la etapa de floración, en forma combinada e individual para los experimentos en riego (R) (Invierno-Primavera, 2000-2001) y temporal (T) (Verano, 2001). Montecillo, Edo. de México.

GCP/VAR		Forma combinada			Experimento en R			Experimento en T		
		OPC	OH	OT	OPC	OH	OT	OPC	OH	OT
		(%)			(%)			(%)		
Color verde										
21	AMSPA	2.55	1.95	0.60	2.55	1.95	0.60	2.55	1.95	0.60
34	AMSPA	2.59	2.02	0.58	2.58	2.03	0.55	2.60	2.00	0.60
15	BMSPA	2.38	1.90	0.48	2.30	1.80	0.50	2.45	2.00	0.45
44	BMSPA	2.53	1.98	0.55	2.60	2.00	0.60	2.45	1.95	0.50
Media		**2.51**	**1.96**	**0.55**	**2.51**	**1.95**	**0.56**	**2.51**	**1.98**	**0.54**
Color rosa										
33	AMSPA	2.33	1.83	0.50	2.15	1.65	0.50	2.50	2.00	0.50
41	AMSPA	2.50	1.95	0.55	2.50	2.00	0.50	2.50	1.90	0.60
17	BMSPA	2.53	2.03	0.50	2.55	2.05	0.50	2.50	2.00	0.50
12	BMSPA	2.58	2.05	0.53	2.65	2.15	0.50	2.50	1.95	0.55
Media		**2.48**	**1.96**	**0.52**	**2.46**	**1.96**	**0.50**	**2.50**	**1.96**	**0.54**
Color púrpura										
37	AMSPA	2.65	2.05	0.60	2.65	2.05	0.60	2.65	2.05	0.60
40	AMSPA	2.80	2.10	0.70	2.85	2.15	0.70	2.75	2.05	0.70
31	BMSPA	2.60	2.08	0.53	2.65	2.15	0.50	2.55	2.00	0.55
Media		**2.68**	**2.08**	**0.61**	**2.72**	**2.12**	**0.60**	**2.65**	**2.03**	**0.62**
Media general		**2.55**	**1.99**	**0.55**	**2.55**	**2.00**	**0.55**	**2.55**	**1.99**	**0.56**
DSH ($P< 0.05$)[¶]		0.34	0.20	0.09	0.30	0.17	0.09	0.23	0.10	0.13
C V (%)		9.8	6.3	5	7	8.3	3.9	2.6	3.2	5.9

[¶]Valor de DSH para la comparación de medias entre variedades; $DSH_{OPC} = 0.08$; $.DSH_{OH} = 0.08$; $DSH_{OT} = 0.02$; para la comparación de medias en forma combinada y entre experimentos, respectivamente; C V = Coeficiente de variación.

Presencia de alcaloides en planta completa en las etapas de botón floral y floración

Aunque el método de análisis utilizado para la detección de alcaloides fue cualitativo, se pudo establecer que en la condición de temporal la presencia de alcaloides fue mayor que en riego. Las placas cromatográficas en temporal (Figura 1a) revelaron áreas de mayor tamaño e intensidad de color naranja, característico de alcaloides, que las de riego (Figura 1b). Estos resultados podrían atribuirse a que las plantas sometidas a condiciones de estrés, llegan a acumular cantidades importantes de metabolitos secundarios como los alcaloides, para protegerse de sus depredadores y preservar su especie, a costa de su productividad (Goodwin y Mercer, 1990; Wink, 1998). Si bien no se puede concluir con certeza, que la quinua contenga alcaloides en cantidades que puedan causar daños por toxicidad en los animales, como presumiblemente ocurrió al alimentar ratas con muestras de quinua sin procesar (Arellano *et al.*, 1998), se puede indicar que la muerte de las ratas no se debió únicamente a la presencia de los antinutrientes detectados, sino que existía algún otro factor termolábil limitante del aprovechamiento nitrogenado, que pudo ser responsable de la mortalidad de los organismos vivos utilizados en la prueba. Otros investigadores (Fontúrbel, 2003) señalan que las semillas maduras de quinua presentan altas concentraciones de saponinas o alcaloides que les dan un fuerte sabor amargo, por lo que es razonable suponer que los alcaloides estén presentes en tallos y hojas de las plantas de quinua en etapas fenológicas previas a la maduración de la semilla.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Lic. Gabriel Santoyo Resendiz, su apoyo técnico para la presentación de las figuras en el texto.

CONCLUSIONES

Los análisis químicos detectaron variabilidad genética significativa entre grupos de color de planta y variedades para el contenido de nitratos y oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos en las etapas de botón floral y floración en promedio de riego y temporal, así como en cada condición de riego y temporal.

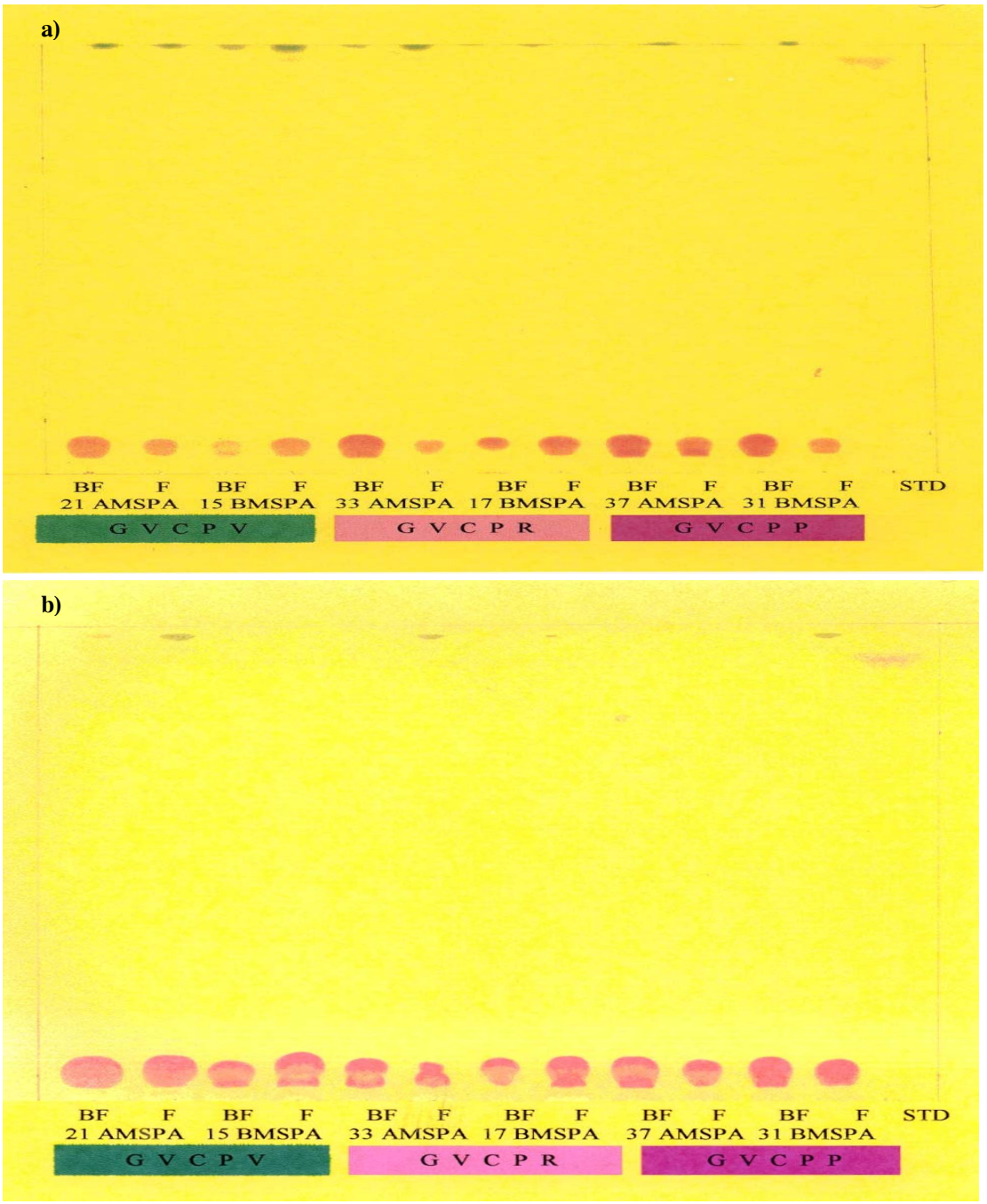


Figura 1. Cromatografía en capa fina para detectar la presencia de alcaloides en los grupos de variedades de color de planta verde (GVCPV), rosa (GVCPR) y púrpura (GVCPP) de alta (AMSPA) y baja producción de materia seca en la parte aérea (BMSPA), en las etapas de botón floral (BF) y floración (F) en riego (a) y temporal o secano (b). Montecillo, Edo. de México.

El grupo de variedades de color de planta rosa tuvo menor contenido de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos que los grupos de variedades verde y púrpura en la etapa de botón floral, mientras que los grupos de variedades rosa y verde tuvieron menor contenido de nitratos en planta completa, en hojas y en tallos en la etapa de floración, en promedio de riego y temporal, y en forma individual de los experimentos en riego y en temporal.

Los grupos de variedades rosa y verde tuvieron menor contenido de oxalatos en planta completa, en hojas y en tallos, en promedio de riego y temporal, y en la condición

de riego en las etapas de botón floral y floración; en planta completa y en hojas en la etapa de botón floral, y en planta completa y en tallos en floración en la condición de temporal.

La variedad 21 de planta verde y de alta producción de materia seca en la parte aérea tuvo el menor contenido de nitratos en hojas, en tallos y en planta completa en la etapa de botón floral y floración, en promedio de riego y temporal.

La variedad 33 de planta rosa y de alta producción de materia seca en la parte aérea, mostró el menor contenido de oxalatos en hojas, en tallos y en planta completa en las etapas de botón floral y floración, tanto en riego como en temporal.

Se detectó preliminarmente la presencia de alcaloides en la planta completa en las etapas de botón floral y floración en riego y en temporal, con mayores tendencias en condiciones de temporal.

BIBLIOGRAFÍA

Agricultural Research Council (ARC) (1980) The nutrient requirements of ruminant livestock. *In:* Technical Review of the Agricultural Research Council Working Party. Fharnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux. 180 p.

Alcántar G G, M Sandoval V (1999) Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. pp:74-76.

Arellano de M L, S Fenández, N Lúquez, N E Sánchez de, G Albarracín, J Luco, S Mucciarelli (1998) *Chenopodim album* L. caracterización química-biológica. *In*: Simposio Iberoamericano sobre Proteínas para Alimentos. M Muzquiz, C Burbano, C Cuadrado, M M Pedrosa (eds). Madrid. pp:129-136.

Bañuelos T O, G D Mendoza, J L Rodríguez-Ontiveros, A Muñoz (1995) Evaluación forrajera de 18 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Montecillo, México. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 12:71-79.

Barker D J, J R Caradus (2001) Adaptation of forage species to drought. *In*: Abiotic Constrains to Forage Production from Grassland. XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brazil. 11-21 de Febrero de 2001. pp:241-246.

Cataldo D A, M Haroon, L F Schrader, V L Youngs (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicilic acid. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 6 (1):71-80.

Castler M D, K P Vogel (1999) Accomplishments and impact from breeding for increased forage nutritional value. Crop Sci. 39:12-20.

Coxworth E, J A Kernan, K Sosulki, D Green (1988) Effect of stage of maturity on yield, fed value and constituents of kochia forage grown on saline soil. *In:* Saskatchewan Research Council. Canada. Coxworth E, D Green, J A Kernan (eds). Technical Bulletin No. 221. pp:127-147.

Desai S N, J B Wasko (1982) Forage evaluation of four summer annuals at four harvest stages under different nitrogen levels. Production and nutritive value. J. Maharashtra Agric. Univ. 7:19-22.

Elgersma A, I Y Tecle, T Provin (2001) Nitrate accumulation in a sorgum-sudangrass hybrid as influenced by nitrogen fertilization. *In:* Forage Quality. XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brazil. 11-21 de Febrero de 2001. pp:380-381.

Fontúrbel RF (2003) Problemática de la producción y comercialización de *Chenopodium quinoa* W. (Chenopodiaceae), debido a la presencia de saponinas. Ciencia Abierta 21:1-10.

Fushimi A, Y Tamura, K Matoba (2001) Comparison of nitrate contents for reed canarygrass and orchardgrass in large amounts of compound fertilization. *In:* Soil Fertility and Plant Nutrition. XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brazil. 11-21 de Febrero de 2001. pp:172-173.

García-Mateos R, B Lucas, M Zendejas, M Soto-Hernández, M Martínez, A. Sotelo (1996) Variation of total nitrogen, non-protein nitrogen content, and types of alkaloids at different stages of development in *Erythrina americana* seeds. J. Agric. Food Chem. 44:2987-2991.

Goodwin T W, E I Mercer (1990) Introduction to Plant Biochemistry. Pergamon Press, 2a Ed. pp:480-527.

Hill N S, E E Hiatt (1998) Value added forage improvement. Is it time to change our objetives? J. Animal Sci. Vol. 76, Suppl. 2. pp:12-12.

Karachi M, H E Kiesling, R D Pieper, G M Southward, R E Kirksey (1988) Nutritive and toxic properties of *Kochia scoparia* (L.) Schrad. Herbage under Varied Agronomic and Grazing Systems. Bulletin 731, Agricultural Experiment Station, New Mexico State University, Las Cruces, N.M. U.S.A. pp:1-22.

McCreery R A, S M Hojatti, E R Beaty (1966) Nitrates in annual forages as influenced by frequency and height of clipping. Agron. J. 58:381-382.

Primavesi O, A C Primavesi, L A Correa, H Cantarella, A G Silva (2001) Soil nitrate level variation under intensive nitrogen fertilized coastcross pasture. *In:* Soil Fertility and Plant Nutrition. XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brazil. 11-21 de Febrero de 2001. pp:195-196.

Rankins D L Jr, G S Smith (1991) Nutritional and toxicological evaluation of kochia hay (*Kochia scoparia*) fed to lambs. J. Animal Sci. 69:2925-2931.

Stephen A F (1999) Economical evaluation of forage quality gains-past and future. Crop Sci. 39:21-27.

Wink M (1998) Chemical ecology of alkaloids. *In:* Alkaloids: Biochemistry, Ecological and Medicinal Applications. M F Roberts, M Wink (eds). Plenum Press, New York. pp:265-300.