

EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE 16 ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA ALCACHOFA DE TUDELA A LO LARGO DE SU DESARROLLO

MARCO, R.; CAVERO, R. Y. y LÓPEZ, M. L.

Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, 31080 Pamplona, España.

RESUMEN

MARCO, R.; CAVERO, R. Y. y LÓPEZ, M. L. (1997). Evolución del contenido de 16 elementos químicos en la alcachofa de Tudela a lo largo de su desarrollo. *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 10: 79-93.

En el presente trabajo se ha estudiado la concentración de 16 elementos químicos en la planta entera e inflorescencias de alcachofa de Tudela, muestreada a lo largo de su desarrollo, cultivada en dos parcelas distintas al aire libre y sobre suelo agrícola.

Hemos encontrado que todos los estadios de la planta se pueden reunir en cuatro grupos distintos atendiendo a las distribuciones de las concentraciones elementales: en el primer grupo aparecen los estadios vegetativos; en el segundo, las zuecas; en el tercero, las inflorescencias; y en el cuarto y último, la planta tomada. Además, la concentración elemental está altamente relacionada con el momento del muestreo de la planta.

Palabras clave: Composición elemental, estadios de desarrollo, alcachofa de Tudela.

SUMMARY

MARCO, R.; CAVERO, R. Y. and LÓPEZ, M. L. (1997). Evolution of content of 16 chemical elements in Tudela Artichoke alongside its development. *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 10: 79-93.



Key words: Chemical composition, development states, Tudela artichoke.

The aim of this paper was to study the chemical composition -B, N, Na, Mg, P, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Co, Zn, Br, Rb, W y Au- of the whole Tudela artichoke plant throughout its development; this plant was cultivated on agricultural soil on two different plots. We have found that all the plant's states can be grouped seen the elemental concentration distributions: On the first group we can see the vegetative states, on the second one, the "zuecas"; in the third one the buds and on the fourth the growing plant. Also, the elemental concentration in plant is highly correlated with the moment of the sample.


INTRODUCCIÓN

Siguiendo la línea de investigación de la aplicación del estudio multielemental a productos hortícolas de interés para Navarra (CAVERO y LÓPEZ, 1993; CAVERO *et al.*, 1992, 1993a y 1993b), damos a conocer los resultados de las concentraciones de 16 elementos químicos -B, N, Na, Mg, P, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Co, Zn, Br, Rb, W y Au- de la planta entera de alcachofa de Tudela, obtenidos mediante la aplicación de método Kjeldahl, espectroscopía de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo -AES/ICP-, fluorescencia de Rayos X -FRX- y análisis instrumental por activación con neutrones -INAA-. En un trabajo anterior (CAVERO *et al.* 1997) se ha realizado una revisión bibliográfica sobre la composición química de la alcachofa y se ha estudiado el contenido y evolución de 9 elementos químicos analizados por espectrofotometría -P-, fotometría de llama -K-, método Kjeldahl -N- y absorción atómica -Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn-; los resultados obtenidos indican que más de la mitad de la variación de las concentraciones de los nueve elementos queda explicada por los contenidos en N, P, Zn y Cu y que las alcachofas recogidas en distintas épocas tienen gran similitud en las concentraciones de los 9 elementos.

Con estos trabajos pretendemos conocer el catastro de los elementos químicos en la planta entera de alcachofa blanca de Tudela analizada a lo largo de su ciclo vital y desarrollada en las condiciones ordinarias de cultivo sobre suelo agrícola y al aire libre en dos parcelas distintas, así como de las inflorescencias -cogotes- recolectadas en tres épocas distintas del ciclo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las fechas y cantidad de material vegetal estudiado: plantas enteras de alcachofa de Tudela muestreadas a lo largo de su ciclo vital -A, zuecas de partida; B, planta tomada; C, planta en primera brotación; D, planta en estadio de roseta; E, planta en segunda brotación; F, planta en plena producción; y G, zuecas de llegada-, e inflorescencias, muestreadas en tres momentos diferentes -H, primeras alcachofas;



I, alcachofas de planta en plena producción y J, últimas alcachofas-; así como el tipo de suelo de las parcelas, los abonados y tratamientos fitosanitarios empleados; y el método seguido en la recogida, preparación y análisis del material quedan descritos en CAVERO *et al.*, 1997. Los protocolos de trabajo de cada técnica analítica empleada, método Kjeldahl, espectroscopía de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo -AES/ICP-, fluorescencia de Rayos X -FRX- y análisis instrumental por activación con neutrones -INAA- se describen en CAVERO y LÓPEZ, 1993.

Los resultados obtenidos mediante el análisis elemental se han interpretado con los siguientes procedimientos de análisis de datos:

1) Análisis general exploratorio de los datos de concentración: Componentes Principales.

2) Estudio de la concentración de los 16 elementos en cada uno de los estadios de la planta: Catastros de Concentraciones Elementales y ANOVA bifactoriales sin repetición.

3) Evolución de la concentración de cada elemento a lo largo de los estadios: estadística descriptiva -media y coeficiente de variación-, tests estadísticos -ANOVAS bifactoriales sin repetición y Análisis de Regresión-, Matrices de correlación y estudio de las relaciones entre parejas de elementos en la planta de Cadreita con parejas de elementos en la planta de Tudela.

RESULTADOS

A continuación presentamos los resultados de las concentraciones elementales determinadas por las distintas técnicas analíticas y los obtenidos del análisis de datos.

Análisis elementales.

En la Tabla 1 se recogen los datos de concentración elemental obtenidos por las distintas técnicas analíticas; así como la media y el coeficiente de variación calculados tanto en los distintos estadios del ciclo vital como en las inflorescencias "alcachofas" recogidas en tres momentos distintos. Las letras hacen referencia a los distintos muestreos de planta.

Tabla 1.- Evolución de las concentraciones y C.V. de elementos en los estadios.

Elemento	Parcela	Estadios fenológicos																Estadística				Alcachofas				Estadística		Técnica
		A	B	C	D	E	F	G	x	%cv	H	I	J	x	%cv	H	I	J	x	%cv								
ppm	B	1	8	17	13	12	10	1	8,86	68,19	6	7	6	6,33	9,12	6	7	6	6,33	9,12								
	Cadreta	1	1,70	2,86	2,67	2,49	2,07	1,28	2,04	32,73	3,80	3,11	2,06	2,99	29,30	3,80	3,11	2,06	2,99	29,30								
%	Tudela	1,20	1,64	3,01	2,71	2,51	1,60	1,33	2,00	36,30	3,70	2,87	2,04	2,87	28,92	3,70	2,87	2,04	2,87	28,92								
	Tudela	1,20	1,64	3,01	2,71	2,51	1,60	1,33	2,00	36,30	3,70	2,87	2,04	2,87	28,92	3,70	2,87	2,04	2,87	28,92								
Na	Cadreta	0,241	0,402	0,578	0,393	0,44	0,409	0,182	0,38	34,64	0,189	0,107	0,095	0,13	39,29	0,189	0,107	0,095	0,13	39,29								
	Tudela	0,241	0,387	0,323	0,416	0,366	0,313	0,414	0,366	0,313	18,01	0,203	0,113	0,131	31,96	0,203	0,113	0,131	0,15	31,96								
Mg	Cadreta	0,166	0,286	0,398	0,367	0,236	0,237	0,137	0,26	37,09	0,277	0,303	0,254	0,28	8,82	0,277	0,303	0,254	0,28	8,82								
	Tudela	0,166	0,216	0,238	0,24	0,25	0,173	0,168	0,21	17,98	0,253	0,298	0,27	0,27	8,80	0,253	0,298	0,27	0,27	8,80								
P	Cadreta	0,19	0,21	0,34	0,27	0,24	0,21	0,62	0,30	50,81	0,69	0,53	0,44	0,55	22,88	0,69	0,53	0,44	0,55	22,88								
	Tudela	0,19	0,22	0,42	0,35	0,30	0,22	0,22	0,27	31,07	0,64	0,51	0,37	0,51	26,65	0,64	0,51	0,37	0,51	26,65								
Cl	Cadreta	0,479	0,812	3,04	1,49	1,55	1,69	0,443	1,36	66,57	0,742	0,688	0,578	0,67	12,49	0,742	0,688	0,578	0,67	12,49								
	Tudela	0,479	0,825	2,25	1,66	1,75	1,93	0,503	1,34	54,01	0,787	0,648	0,566	0,67	16,75	0,787	0,648	0,566	0,67	16,75								
K	Cadreta	1,73	1,72	5,3	3,23	3,14	3,32	1,32	2,82	48,66	4,25	3,39	2,75	3,46	21,73	4,25	3,39	2,75	3,46	21,73								
	Tudela	1,73	1,19	4,53	3,09	2,92	2,56	1,68	2,44	50,00	3,72	2,81	2,54	3,02	20,45	3,72	2,81	2,54	3,02	20,45								
Ca	Cadreta	0,897	1,71	1,96	1,71	1,37	1,38	0,642	1,38	34,11	0,586	0,515	0,224	0,44	43,43	0,586	0,515	0,224	0,44	43,43								
	Tudela	0,897	1,31	1,63	1,69	1,42	1,3	0,844	1,30	25,26	0,552	0,331	0,292	0,39	35,80	0,552	0,331	0,292	0,39	35,80								
Mn	Cadreta	25,5	53,1	44,5	51,3	47,2	31,1	22,7	39,34	32,10	23,5	24,3	17	21,60	18,54	23,5	24,3	17	21,60	18,54								
	Tudela	25,5	42,5	51,8	53,3	41,8	26,2	24,3	37,91	33,05	23,5	22	17,6	21,03	14,58	23,5	22	17,6	21,03	14,58								
Fe	Cadreta	622	1450	597	878	669	380	372	709,71	52,13	56,7	58,3	33,8	49,60	37,63	56,7	58,3	33,8	49,60	37,63								
	Tudela	622	964	708	849	570	338	472	646,14	33,29	54,4	81,8	39,6	58,60	36,54	54,4	81,8	39,6	58,60	36,54								
Co	Cadreta	4,62	3,17	3,85	6,32	3,19	3,64	3,87	4,09	26,79	1,56	3,04	1,26	1,95	48,79	1,56	3,04	1,26	1,95	48,79								
	Tudela	4,62	2,01	3,19	3,28	2,83	5,21	3,29	3,49	31,03	1,56	4,37	1,39	2,44	68,59	1,56	4,37	1,39	2,44	68,59								
Zn	Cadreta	24,2	26,9	23,2	26,8	19,4	15	19,8	22,19	19,62	42,6	33,8	31,8	36,07	15,93	42,6	33,8	31,8	36,07	15,93								
	Tudela	24,2	23,2	25,7	20,8	21	12,7	12,8	20,06	26,31	35,9	27,9	28,9	30,90	14,11	35,9	27,9	28,9	30,90	14,11								
Br	Cadreta	2,22	4,87	22,2	15,9	16,1	20	5,66	12,94	58,38	5,13	5,13	4,82	5,03	3,56	5,13	5,13	4,82	5,03	3,56								
	Tudela	2,22	8,47	24,2	12,3	32,7	27,8	7,67	15,97	75,95	8,01	5,97	6,71	6,90	14,97	8,01	5,97	6,71	6,90	14,97								
Rb	Cadreta	3,37	9,66	6,09	5,39	5,16	4,23	2,86	5,25	42,91	4,5	3,23	2,9	3,54	23,84	4,5	3,23	2,9	3,54	23,84								
	Tudela	3,37	6,79	4,86	6,3	4,04	2,61	3,08	4,44	36,42	3,87	2,94	2,34	3,05	25,28	3,87	2,94	2,34	3,05	25,28								
W	Cadreta	13,2	25,3	22	31,7	22,6	16,5	19,4	21,53	28,01	6,8	5,02	5,59	5,80	15,66	6,8	5,02	5,59	5,80	15,66								
	Tudela	13,2	16,1	15	27,5	17,6	10,6	11,4	15,91	35,72	5,21	11,4	3,01	6,54	66,52	5,21	11,4	3,01	6,54	66,52								
Au	Cadreta	0,01	0,0552	0,0299	0,0562	0,025	0,0371	0,0521	0,04	46,24	0,0251	0,0148	0,00693	0,02	58,37	0,0251	0,0148	0,00693	0,02	58,37								
	Tudela	0,01	0,0154	0,0272	0,0168	0,0235	0,0183	0,0278	0,02	33,09	0,0151	0,0056	0,00429	0,01	70,82	0,0151	0,0056	0,00429	0,01	70,82								

Análisis de datos.

A continuación presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de los análisis estadísticos a los datos de concentración elemental.


1) Análisis general exploratorio de los datos de concentración.

Hemos realizado dos análisis de Componentes Principales: uno, para los 16 datos de concentración en las 10 muestras vegetales -7 estadios del ciclo vital y 3 muestras distintas de alcachofas- de la planta de Cadreita, y otro, para los datos homólogos de la planta de Tudela. Queremos ver cómo se agrupan las variables -elementos químicos- en torno a los componentes que explican la mayor parte de la varianza en nuestros dos conjuntos de datos -Tabla 2-.

Tabla 2.- Contribución de cada variable en los primeros componentes principales con la varianza y varianza acumulada que explica cada uno.

	CADREITA			TUDELA		
	1	2	3	1	2	3
B	0,28	-0,28	0,07	0,24	0,31	0,17
N	0,01	-0,46	-0,20	-0,03	0,45	-0,03
Na	0,33	-0,03	0,12	0,35	-0,08	-0,05
Mg	0,20	-0,34	-0,20	-0,13	0,36	-0,12
P	-0,23	-0,20	-0,19	-0,16	0,40	-0,02
Cl	0,27	-0,24	0,27	0,30	0,20	0,28
K	0,11	-0,47	0,11	0,05	0,42	0,19
Ca	0,34	0,02	-0,02	0,37	0,02	-0,02
Mn	0,32	0,04	-0,22	0,33	0,15	-0,21
Fe	0,26	0,26	-0,29	0,31	-0,11	-0,31
Co	0,20	0,20	0,12	0,09	-0,18	0,36
Zn	-0,17	-0,26	-0,50	-0,21	0,31	-0,25
Br	0,29	-0,15	0,30	0,23	0,13	0,43
Rb	0,25	0,04	-0,45	0,24	0,09	-0,49
W	0,30	0,18	-0,08	0,31	0,01	-0,22
Au	0,20	0,19	-0,28	0,27	0,00	0,16
Var	51,71	24,45	10,41	43,54	28,84	13,57
Var A	51,71	76,16	86,58	43,54	72,38	85,95

Los resultados obtenidos son los siguientes: en la planta de la parcela de Cadreita los tres primeros componentes explican el 86,58% de la variación en las concentraciones elementales a lo largo del ciclo de cultivo; el primer componente, que explica el 51,71% de la varianza, se apoya sobre los siguientes 8 elementos: B, Na, P, Cl, Ca, Mn, Co y W; el segundo componente, de importancia dos veces menor que el primero, se apoya sobre 5 elementos: B, N, Mg, K y Co; el tercer componente, que explica el 10,41% de la varianza, se apoya en 6 elementos: Cl, Fe, Zn, Br, Rb y Au. En la planta de la parcela de Tudela los tres primeros componentes explican el 85,95% de la variación observada en las concentraciones elementales originales; el



primer componente, que explica el 43,54% de la varianza, se apoya sobre 7 elementos: Na, Cl, Ca, Mn, Fe, W y Au; el segundo componente, de importancia 1,51 veces menor que el primero, explica el 28,84% de la varianza y se apoya sobre 6 elementos: B, N, Mg, P, K y Zn; y el tercer componente que explica el 13,57% de la varianza, se apoya en 3 elementos: Co, Br y Rb.

2) Estudio de la concentración de los 16 elementos en cada uno de los estadios de la planta.

Los Catastros de Concentraciones Elementales -Tabla 3- de cada estadio, son una enumeración de los rangos de concentración de los elementos químicos de una muestra. La concentración elemental, en ppm, se representa en la mitad de intervalos de concentración formados por múltiplos de 10; en esta forma de representar las concentraciones elementales interesa la potencia de 10 en que dicho elemento se encuentra más que la concentración puntual; así se pierde el detalle y se gana en simplificación que nos ayuda a la hora de hacer comparaciones. Debido a que la concentración de la mayoría de los elementos suelen estar en la misma clase de concentraciones en ambas plantas, hemos realizado un sólo catastro para cada estadio; en los casos en que las concentraciones difieren de clase especificamos la localidad de la planta, es decir, Fe_{Cad} significa el rango de concentración del Fe en la planta de Cadreita; Fe_{Tud}, el rango de concentración de Fe en la planta de Tudela. Dentro de cada rango de concentración los elementos aparecen ordenados alfabéticamente. Todos los estadios de la planta de alcachofa se pueden reunir en cuatro grupos atendiendo a la similitud en las distribuciones de las concentraciones elementales: el primer grupo está formado por los estadios vegetativos -C, planta en primera brotación; D, planta en estadio de roseta; E, planta en segunda brotación y F, planta en plena producción-; el segundo grupo por las zuecas, tanto iniciales -A- como finales -G-; el tercer grupo, por las alcachofas -H, I y J- y el cuarto grupo por B, planta tomada. Los cambios que se observan en la distribución elemental en las zuecas -estadios A y G-, planta tomada -B- y en las alcachofas -H, I y J- con respecto a los estadios vegetativos de la planta -C, D, E y F- es la disminución del rango de concentración de algunos elementos.



Tabla 3.- Catastros de concentraciones elementales de cada estadio.

10x	x=-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Estadio A			Au		B Br Co Rb	Mn W Zn	Fe	Ca Cl Mg Na P	K N	
Estadio B			Au		B Br Co Rb	Mn W Zn	FeTud	Cl Fe Cad Mg Na P	Ca K N	
Estadio C			Au		Co Rb	B Br Mn W Zn	Fe	Mg Na P	Ca Cl K N	
Estadio D			Au		Co Rb	B Br Mn W Zn	Fe	Mg Na P	Ca Cl K N	
Estadio E			Au		Co Rb	B Br Mn W Zn	Fe	Mg Na P	Ca Cl K N	
Estadio F			Au		Co Rb	B Br Mn W Zn	Fe	Mg Na P	Ca Cl K N	
Estadio G			Au		B Br Co Rb	Mn W Zn	Fe	Ca Cl Mg Na P	K N	
Alcachofas H			Au		B Br Co Rb W	Fe Mn Zn		Ca Cl Mg Na P	K N	
Alcachofas I		Au Tud	Au Cad		B Cad Br Co Rb W	B Tud Fe Mn Zn		Ca Cl Mg Na P	K N	
Alcachofas J		Au			B Br Co Rb W	Fe Mn Zn	Na Cad	Ca Cl Mg Na Tud	K N	

Leyenda: A, zuecas de partida; B, planta tomada; C, planta en primera brotación; D, planta en estadio de roseta; E, planta en segunda brotación; F, planta en plena producción; G, zuecas de llegada; H, primeras alcachofas; I, alcachofas de planta en plena producción y J, alcachofas de última producción.

Los resultados obtenidos en los 10 ANOVAS bifactoriales sin repetición, uno para cada estadio, tomando como factores las distintas concentraciones elementales -elementos- y las distintas localidades y realizados para ver si la concentración elemental de cada estadio es o no significativa según la localidad, aparecen en la Tabla 4. Respecto al factor elementos, las concentraciones en cada uno de los 10 estadios son muy significativas; respecto al factor localidad, éste es no significativo en los 10 estadios, es decir, las diferencias observadas en las concentraciones elementales entre cada uno de los estadios en la planta de Cadreita y su homólogo en la planta de Tudela son no significativas.

Tabla 4.- Resultados obtenidos en el ANOVA bifactorial sin repetición.

Estadios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Elementos	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Localidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

3) Evolución de la concentración de cada elemento a lo largo de los estadios.

La media de las concentraciones elementales -Tabla 1- a lo largo del ciclo vital -estadios de A a G- es más elevada en Cadreita en 14 de los 16 elementos -N, Na, Mg, P, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Co, Zn, Rb, W y Au-, que en Tudela, donde sólo es mayor en B y Br. Las alcachofas de Cadreita -H, I, J- tienen una media de concentración mayor para 9 elementos -N, Mg, P, K, Ca, Mn, Zn, Rb y Au- que las de Tudela; para el Cl las medias de las concentraciones son iguales en ambas parcelas y para 6 elementos -B, Na, Fe, Co, Br y W- son mayores en Tudela.

Respecto a la variación de las concentraciones -Tabla 1-, se observa que las concentraciones de cada elemento varían según la fase del ciclo. Si analizamos los coeficientes de variación (CV) de los elementos a lo largo del ciclo vital -estadios de A a G- observamos que 9 elementos -56,25 %- presentan un valor del CV similar, es decir, los CV difieren en menos de 10 unidades en las muestras de ambas parcelas, y 7 -43,75 %- lo presentan diferente -difieren en más de 10 unidades-. De los 9 elementos que presentan CV similares en ambas parcelas -Tabla 5-, 3 -Ca, Co y Zn- tienen CV bajos, 1 -B- lo tiene alto, y 5 -N, K, Mn, Rb y W- lo tienen medios. Es decir, la mayoría de los elementos -8- presentan CV bajos o medios.

Tabla 5.- Agrupación de los CV similares en el ciclo vital.

Bajos, CV < 30%	Medios, 30% < CV < 60%	Altos, CV > 60%
Ca, Co, Zn (3).	N, K, Mn, Rb, W (5).	B (1).

De los 7 elementos que presentan CV diferentes -Tabla 6- en las muestras de ambas parcelas, 2 -Na y Mg- tienen CV bajos, otros 2 -Cl y Br- los tienen altos, y 3 -

P, Fe, Au- los tienen medios ($30% < CV < 60%$), es decir, 5 elementos presentan CV bajos o medios.

Tabla 6.- Agrupación de los CV diferentes en el ciclo vital.

Bajos, CV < 30%	Medios, $30% < CV < 60%$	Altos, CV > 60%
Na, Mg (2).	P, Fe, Au (3).	Cl, Br (2).

Si analizamos los coeficientes de variación de los elementos en las alcachofas - H, I y J- observamos -Tabla 7- que para 12 elementos -75 %- los CV son similares en ambas parcelas y para 4 elementos -25 %- son diferentes. De los 12 elementos que presentan CV similares la mayoría, 9 elementos -B, N, Mg, P, Cl, K, Mn, Zn y Rb- tienen CV bajos y 3 -Na, Ca, Fe- los tienen medios. De los 4 elementos cuyos CV son diferentes en ambas parcelas, 1 elemento -Br- tiene CV bajo - $CV < 30%$ -, 1 elemento -Au- lo tiene alto - $CV > 60%$ - y 2 -Co, W- lo tienen medio - $30% < CV < 60%$ -

Tabla 7.- Agrupación de los CV similares en las alcachofas.

Bajos, CV < 30%	Medios, $30% < CV < 60%$
B, N, Mg, P, Cl, K, Mn, Zn, Rb (9).	Na, Ca, Fe (3).

En resumen, podemos decir que las variaciones de las concentraciones de la mayoría de los elementos -9 en el ciclo vital y 12 en las alcachofas- son similares en ambas plantas; además, estas variaciones medidas mediante el CV presentan valores bajos o medios, es decir, $CV < 60%$.

Tests estadísticos: ANOVA bifactoriales sin repetición y análisis de regresión. Hemos realizado 16 ANOVA bifactoriales sin repetición, uno para cada elemento, tomando como factor los estadios -los distintos muestreos realizados en planta- y las localidades -cada parcela- para ver si las diferencias en las concentraciones de cada elemento son significativas por estadios y/o por localidades. Los resultados obtenidos nos muestran que las variaciones en las concentraciones a lo largo del ciclo vital -Tabla 8- son muy significativas para 12 elementos -B, N, Na, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Rb y W-; significativas para 2 elementos -P y Co- y no significativas para otros 2 elementos -Mg y Au-; en total, los estadios son significativos para 14 de los 16 elementos estudiados.

Tabla 8.- Resultados obtenidos en el ANOVA bifactorial sin repetición.

Elementos	B	N	Na	Mg	P	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Co	Zn	Br	Rb	W	Au
Estadios	**	**	**	ns	*	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	ns
Localidad	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*

Leyenda: ns, $p > 0,05$; *, $p \leq 0,05$ y **, $p \leq 0,01$

El factor localidad -cultivada en una parcela u otra- da diferencias muy significativas para 2 elementos -B y K- y significativas para 3 -Zn, W y Au-; en total, el factor localidad es significativo para 5 de 16 elementos.

Además, nos interesa conocer qué tipo de relación guardan las concentraciones de cada elemento a lo largo de los distintos estadios en la planta de Cadreita y la planta de Tudela, para ello hemos realizado 16 regresiones tomando como variables la concentración de cada elemento en una planta con su homólogo en la otra planta. Las 16 correlaciones encontradas -Tabla 9- son positivas; de ellas 12, son muy significativas; 1, significativa; y 3, no significativas. Para la mayoría de los elementos -13 de 16, el 81,25%- las concentraciones elementales en la planta de Cadreita son similares -hasta los valores expresados por el coeficiente de determinación- a las concentraciones en la planta de Tudela.

Tabla 9.- % R^2 y r obtenidos en los análisis de regresión de cada elemento en la planta de Cadreita y en la de Tudela.

Elem	B	N	Na	Mg	P	Cl	K	Ca
R^2	89,92	95,48	65,20	35,28	44,43	88,25	95,99	91,56
r	0,95**	0,98**	0,81**	0,59	0,67*	0,94**	0,98**	0,96**

Elem	Mn	Fe	Co	Zn	Br	Rb	W	Au
R^2	86,99	88,66	31,13	81,49	74,28	74,90	76,14	33,77
r	0,93**	0,94**	0,56	0,90**	0,86**	0,86**	0,87**	0,58

Leyenda: ns, $p > 0,05$; *, $p \leq 0,05$ y **, $p \leq 0,01$

Matrices de correlación. Los resultados, resumidos, obtenidos en las dos matrices de correlación de 16×16 elementos: una para la planta de Cadreita y otra para la planta de Tudela para el estudio de qué relación hay entre cada uno de los elementos con cada uno de los demás aparecen en las tablas 10 y 11. En ellas mostramos las correlaciones significativas y omitimos las no significativas. En la Tabla 10 observamos la existencia de 36 correlaciones significativas en la planta de Cadreita, 34 positivas y 2 negativas (P-Ca y P-Fe); no aparecen correlaciones totales entre elementos siendo el coeficiente de correlación más elevado -0,96- el correspondiente a Ca-Na. Llama la atención el hecho de que el Zn no está correlacionado con ningún elemento, mientras que Ca y Na son los elementos que más correlaciones presentan.



Tabla 10.- Parejas de elementos correlacionados en la planta de Cadreita.

	B	N	Na	Mg	P	Cl	Ca	Mn	Fe	Co	W
Na	0,78**										
Mg	0,84**	0,66*									
Cl	0,90**		0,86**	0,67*							
K	0,74*	0,83**		0,75*		0,74*					
Ca	0,74*		0,96**		-0,66*	0,75*					
Mn	0,70*		0,83**					0,91**			
Fe			0,63*		-0,68*		0,77**	0,85**			
Br	0,88**		0,87**			0,92**	0,79**				
Rb			0,65*				0,74*	0,83**	0,85**		
W			0,76*				0,85**	0,87**	0,82**	0,73*	
Au									0,64*		0,79**

En la matriz de correlaciones para la planta de Tudela -Tabla 11- observamos la existencia de 32 correlaciones significativas y positivas. No hay correlaciones totales entre elementos siendo el coeficiente de correlación más elevado -0,92-, que corresponde a Na-Ca y N-P. Los elementos que más correlaciones presentan son Ca y Mn mientras que Co no está correlacionado con ningún otro.

Tabla 11.- Parejas de elementos correlacionados en la planta de Tudela.

	B	N	Na	Mg	P	Cl	Ca	Mn	Fe	Rb
Mg		0,75*								
P		0,92**		0,75*						
Cl	0,90**									
K	0,77**	0,84**			0,71*					
Ca	0,65*		0,92**			0,80**				
Mn	0,72*		0,75*			0,70*	0,90**			
Fe			0,80**				0,84**	0,82**		
Zn		0,68*		0,68*	0,79**					
Br	0,67*					0,87**				
Rb							0,67*	0,83**	0,81**	
W			0,74*				0,80**	0,84**	0,81**	0,73*
Au			0,70*				0,67*			

Comparando los resultados de las dos matrices -Tabla 12- se observa que el número de correlaciones encontradas es ligeramente mayor en la planta de Cadreita que en la de Tudela, y que existe un alto número de correlaciones positivas, 34 y 32 - 94,44% y 100%- en ambas plantas.



Tabla 12.- Número de correlaciones encontradas en cada planta.

	Posibles	Significativas					
		Totales	%	+	%	-	%
Cadreita	128	36	28,13	34	94,44	2	5,56
Tudela	128	32	25,00	32	100,00	0	0

Relaciones entre parejas de elementos en la planta de Cadreita y en la de Tudela. En la Tabla 13 aparecen indicadas las coincidencias existentes entre parejas de elementos correlacionados en la planta de Cadreita y en la de Tudela. Si nos fijamos en el número total de correlaciones por elemento que se mantienen, destacan Ca -7- y Mn -6- y que se pierden, destaca P -6-.

Tabla 13.- Coincidencias entre parejas de elementos correlacionados entre Cadreita y Tudela.

																	Totales por elem.		
	B	N	Na	Mg	P	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Co	Zn	Br	Rb	W	Au	0	+	Total
B																	2	5	7
N																	2	2	4
Na	0																5	4	9
Mg	0	+															5	1	6
P		0		0													6	0	6
Cl	+		0	0													4	3	7
K	+	+		0	0	0											3	2	5
Ca	+		+		0	+											3	7	10
Mn	+		+			0		+									1	6	7
Fe			+		0			+	+								2	5	7
Co																	1	0	1
Zn		0		0	0												3	0	3
Br	+		0			+		0									2	2	4
Rb			0					+	+	+							2	3	5
W			+					+	+	+	0			0			3	4	7
Au			0					0		0					0		4	0	4

Leyenda: +, elementos correlacionados en ambas parcelas; 0, elementos correlacionados significativamente en la planta de una parcela pero no en la otra.

Las correlaciones entre elementos que se mantienen en ambas plantas -Tabla 14- son 22, y se pierden, 24; todas las correlaciones entre elementos que se mantienen -22- en ambas plantas son del mismo signo, es decir, positivas.

Tabla 14.- Resumen de la coincidencias existentes entre parejas de elementos correlacionados en la planta de Cadreita y la de Tudela.

	Totales	+	%	-	%
Cadreita	36	34	94,44	2	5,56
Tudela	32	32	100,00	0	0
Mantienen	22	22	100,00	0	0

DISCUSIÓN

Si relacionamos los resultados de los análisis estadísticos realizados con los datos de las 16 concentraciones elementales analizadas a lo largo del ciclo de las plantas de ambas parcelas, observamos que:

1. La Tabla 1 y los Catastros de Concentraciones nos ponen de manifiesto un hecho común. Al estudiar la Tabla 1, se aprecia que en el ciclo vital, la planta en primera brotación -estadio C- y la planta en estadio de roseta -D- presentan un elevado número de elementos en concentraciones máximas: 6 -37,6% de los elementos- y 4 -25% de los elementos- respectivamente, mientras que las zuecas -estadios A y G- lo presentan en concentraciones mínimas: 4 -25%- y 3 -18,75%- respectivamente. Respecto a las inflorescencias, son las alcachofas primeras -estadio H- las que presentan el mayor número de elementos en concentraciones máximas: 3 -18,75%-, mientras que las alcachofas de última producción -estadio J- presentan el mayor número de elementos en concentraciones mínimas: 7 -43,75%-.. Si nos fijamos en los Catastros de Concentraciones Elementales, éstos nos corroboran los resultados obtenidos en el análisis anterior: se observa una disminución de rango de concentración para algunos elementos en las zuecas y en las alcachofas con respecto a los estadios vegetativos.

2. Los resultados de los siete tipos de análisis de datos: componentes principales, catastros de concentraciones elementales, ANOVA bifactoriales sin repetición para cada estadio, coeficientes de variación, ANOVA bifactoriales sin repetición para cada elemento, análisis de regresión y relaciones entre parejas de elementos corroboran el mismo hecho desde distintos puntos de vista. Así, a nivel de concentración elemental las plantas presentan un comportamiento similar a pesar de estar cultivadas en distintas condiciones edáficas.

De los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales podemos decir -Tabla 15- que: la media de la varianza explicada por el primer componente es del 47,62%; por el segundo, 26,64%; y por el tercero, 11,99%. Al primer componente contribuyen el 46,87% de los elementos; al segundo, el 34,37%; y al tercero, el 28,13%. Los elementos que tienen un comportamiento coincidente en ambas plantas son: en el primer componente, 5 de 16 -31,25% del total-: Na, Cl, Ca, Mn y W; en el

segundo, 4 de 16 -25%: B, N, Mg y K; y en el tercero, 2 de 16 -12,5%: Br y Rb. El total de coincidencias en los tres componentes son 11 elementos de 16 -68,75%-, es decir, ambas plantas tienen el mismo comportamiento elemental -porcentajes de elementos coincidentes altos -68,75%- a pesar de estar cultivadas en parcelas distintas.

Tabla 15.- Resumen de los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales.

Componentes	1	2	3	Suma
% de varianza explicada	47,62	26,64	11,99	86,25
% del nº de elementos que contribuyen	46,87	34,37	28,13	109,37
% del nº de elementos que coinciden	31,25	25,00	12,50	68,75

De los catastros de concentraciones elementales se deduce que ambas plantas presentan la mayoría de los elementos en la misma clase de concentración a pesar de haber sido cultivada en distintas parcelas.

Los 10 ANOVA bifactoriales sin repetición realizados uno para cada estadio nos siguen verificando este hecho, las diferencias observadas en las concentraciones elementales entre cada uno de los estadios de la planta de Cadreita y su homólogo en la planta de Tudela son no significativas -factor localidad no significativo-.

Analizando los coeficientes de variación -CV- de los 16 elementos se observa que éstos son coincidentes en un 56,25% en el ciclo vital y en un 75% en las alcachofas de ambas plantas. Datos que nos vuelven a corroborar el comportamiento elemental similar de las plantas independientemente de la parcela de cultivo.

Si nos fijamos en el resumen de los resultados de los ANOVA bifactoriales sin repetición -Tabla 16- observamos que las diferencias encontradas en las concentraciones elementales a lo largo de los distintos estadios son significativas para 14 elementos -87,5%-; en cambio las diferencias observadas en las concentraciones de cada elemento en cada localidad son no significativas para 11 de los 16 elementos -68,75%-. De nuevo se manifiesta el funcionamiento similar de las plantas cultivadas en distintas parcelas.

Tabla 16.- Número de elementos significativos y no significativos según estadio y localidad.

Significación	Estadio		Localidad	
	** , *	ns	** , *	ns
Nº elementos	14	2	5	11

Los análisis de regresión nos confirman el mismo hecho: para el 81,25% de los elementos las concentraciones son similares en ambas plantas.

Y por último, los resultados obtenidos al estudiar las relaciones entre parejas de elementos en la planta de Cadreita y en la de Tudela nos corroboran la misma idea: el número de correlaciones entre elementos que se mantienen en las plantas es elevado -22- y además, todas son positivas, luego el comportamiento elemental es similar en ambas plantas.

CONCLUSIONES

1. Todos los estadios de la planta de alcachofa se pueden reunir en cuatro grupos atendiendo a la similitud en las distribuciones de las concentraciones elementales: el primer grupo está formado por los estadios vegetativos -planta en primera brotación, planta en estadio de roseta, planta en segunda brotación y planta en plena producción-; el segundo grupo por las zuecas, tanto iniciales como finales; el tercer grupo, por las alcachofas -inflorescencias o cogotes-; y el cuarto grupo por la planta tomada.

2. Se manifiesta el funcionamiento similar de las plantas cultivadas en distintas parcelas: a la planta no le importa la localidad, y sin embargo su composición elemental está altamente relacionada con el momento de muestreo.

BIBLIOGRAFÍA

- CAVERO, R. Y. y LÓPEZ, M. L. (1993). Contenido y evolución de 68 elementos químicos en el sistema planta-suelo del cultivo del pimiento "Piquillo de Lodosa" en Navarra. *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 9: 1-252.
- CAVERO, R. Y.; LÓPEZ, M. L. y MARCO, R. (1993a). Singularidad química de la fase multiplicadora-diseminadora de Espermafitas: pimiento Piquillo de Lodosa. *Actas de las Jornadas conmemorativas del Prof. Losa España*. Burgos.189-193.
- CAVERO, R. Y.; BAUCCELLS, M.; LÓPEZ, M. L. y ROURA, M. (1993 b). Contenido y evolución de 7 elementos químicos en el pimiento Piquillo de Lodosa a lo largo de su desarrollo y de 26 en el suelo de cultivo por FRX. *Príncipe de Viana, supl. Ciencias*, 13: 27-36.
- CAVERO, R. Y.; ECHEVERRÍA, A.; IRIBARREN, F. y LÓPEZ, M. L. (1992). Contenido y evolución de 9 elementos químicos en pimiento del Piquillo a lo largo de su desarrollo. *Suelo y Planta*, 2: 231-242.
- CAVERO, R. Y.; MARCO, R.; LÓPEZ, M. L. y ECHEVERRÍA, A. (1997). Composición química de la Alcachofa de Tudela a lo largo de su desarrollo. *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 10: x-xx.