

ALCACHOFA DE TUDELA, *CYNARA SCOLYMUS* L., Y SUELO
DE CULTIVO ANALIZADOS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS
X (FRX)

CAVERO, R. Y.¹; LÓPEZ, M. L.¹; MARCO, R.¹; BAUCCELLS, M.² &
ROURA, M.²

¹ Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, 31080 Pamplona, España.

² Servicios Científico-Técnicos de la Universitat de Barcelona, c/ Lluís Solé i Sabarís, 1-3. Barcelona, España.

RESUMEN

CAVERO, R. Y.; LÓPEZ, M. L.; MARCO, R.; BAUCCELLS, M. y ROURA, M. (2000). Alcachofa de Tudela, *Cynara scolymus* L., y suelo de cultivo analizados por Fluorescencia de Rayos X (FRX). *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 13: 63-70.

En este trabajo presentamos la composición elemental analizada por Fluorescencia de Rayos X (FRX): a) de la planta entera de alcachofa de Tudela en cada uno de los estadios biológicamente significativos del ciclo agrícola: zuecas, planta tomada, planta en primera brotación, planta en estadio de roseta, planta en segunda brotación, planta en plena producción y zuecas obtenidas de la planta; b) de las inflorescencias de la alcachofa de Tudela en tres momentos distintos de su recolección; c) de las inflorescencias de otras tres variedades de alcachofa -INIA-D, "in vitro" y crisantem- cultivadas en Navarra; y d) del suelo de cultivo muestreado secuencialmente a lo largo del ciclo agrícola. La alcachofa se ha cultivado al aire libre en dos parcelas situadas en la Ribera Tudelana, Cadreita y Tudela. Tanto el suelo, el clima como las técnicas culturales son los idóneos aconsejados por el Instituto Técnico y de Gestión Agrícola y empleados desde antiguo por los

agricultores de la zona. Los análisis elementales se han realizado en los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona. Se han analizado 22 muestras de planta y 24 muestras de suelo. En planta se han obtenido 154 datos de concentraciones para 7 elementos -Na, Mg, P, S, Cl, K y Ca-; en suelo, 702 datos de concentraciones para 27 elementos -Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, Ce, W, Pb y Th -.

Palabras clave: Alcachofa, *Cynara scolymus* L, Variedades de alcachofa, Suelo de cultivo, Navarra, España, Composición elemental, FRX.

SUMMARY

CAVERO, R. Y.; LÓPEZ, M. L.; MARCO, R.; BAUCCELLS, M. y ROURA, M. (2000). Tudela Artichoke and its agricultural soil: elementary analysis by X Ray Fluorescence Spectrometry (FRX). *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 13: 63-70.

In this work we present the elemental composition, analysed X Ray Fluorescence Spectrometry (FRX): a) of Tudela artichoke whole plant, in each of the significative stages of its agricultural cycle: multiplying-dispersing stage -“zuecas”- rooting stage, sprouting stage, dormant stage during the winter time, renewing of the vegetative activity after winter -or second sprouting- and reproductive stage; b) of the culture soil secuencially sampled along the artichoke cultural cycle and c) of the artichoke inflorescences of this variety and of three more -INIA-D, “in vitro” and “crisantem”-, cultivated in Navarra. The artichoke has been cultivated in an open air culture in two plots located in the “Ribera Tudelana” in Navarra -Spain-. The soils, the climate, and the cultural methods for our culture have been the appropriate, following the advice of the Navarra Technique and Agricultural Management Institute and the tradition of local farmers. The elemental analyses have been made in the Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona. A total of 22 plant samples and 24 soil samples have been analysed. 154 reliable concentrations, for 7 plant elements -Na, Mg, P, S, Cl, K and Ca-, and 702 reliable concentrations, for 27 soil elements, -Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, Ce, W, Pb and Th - have been obtained.

Key words: Artichoke, *Cynara scolymus* L, Artichoke varieties, Culture soil, Navarra, Spain, Elemental composition, FRX.

INTRODUCCIÓN

En nuestro afán de conocer el mayor número posible de elementos químicos en los distintos estadios del ciclo de cultivo de la alcachofa de Tudela y en el suelo en el

que vive (CAVERO *et al.*, 1997 y 2000; LÓPEZ *et al.*, 2000; MARCO, 1999; MARCO *et al.*, 1997, 1998 y 1999) para, si es posible, caracterizar los distintos estadios del ciclo en base a su composición química, en este trabajo presentamos la composición elemental obtenida por Fluorescencia de Rayos X (FRX) en los Servicios Científico Técnicos de la Universidad de Barcelona.

Los muestreos se han realizado en dos parcelas distintas, Cadreita y Tudela, pertenecientes al Instituto Técnico y de Gestión Agrícola de Navarra, donde la alcachofa se ha cultivado siguiendo las técnicas culturales habituales de la zona. Concretamente se han tomado muestras de la planta entera y suelo de cultivo en siete estadios biológicamente significativos de la alcachofa: zuecas de partida, planta tomada, planta en primera brotación, planta en estadio de roseta, planta en segunda brotación, planta en plena producción y zuecas obtenidas de la planta. Además, se han muestreado y analizado las inflorescencias -cogotes- recolectadas en tres épocas distintas del ciclo, así como los cogotes de otras tres variedades de alcachofa -INIA-D, "in vitro" y crisantem-. El muestreo del suelo de cultivo se ha realizado simultáneamente al de las plantas. En este trabajo presentamos los datos de concentraciones para 7 elementos en planta y 27 en suelo obtenidos por FRX.

MATERIAL Y MÉTODO

El cultivo se ha realizado al aire libre en dos parcelas, Cadreita y Tudela, pertenecientes a la Ribera Tudelana. Tanto el bioclima -mediterráneo pluviestacional oceánico con termotipo mesomediterráneo y ombrotipo seco-, el suelo -Torrifluvent xérico en Cadreita y Camborthid en Tudela- como las prácticas agrícolas empleadas -laboreo, abonado, riego y tratamientos fitosanitarios- son los adecuados para el cultivo de la alcachofa (CAVERO *et al.* 1997; LÓPEZ *et al.*, 2000; MARCO, 1999).

La planta entera de Alcachofa de Tudela ha sido muestreada en siete estadios biológicamente significativos del ciclo de cultivo -Tabla 1-: zuecas de partida, planta tomada, planta en primera brotación, planta en estadio de roseta, planta en segunda brotación, planta en plena producción y zuecas obtenidas de la planta.

Tabla 1: Fechas y correspondencias de muestreos de planta y suelo.

Fecha	Estadio de la planta	Planta Tabla 2	Suelo Tabla 3
06-07-90	Zuecas de partida	A	n
30-08-90	Planta tomada	B	ñ
28-09-90			p
30-10-90	planta en primera brotación	C	q
30-11-90			r
31-12-90	planta en estadio de roseta	D	s
30-01-91			t
28-02-91	planta en segunda brotación	E	u
	Primer muestreo de alcachofas	H	u
01-04-91			v
02-05-91	planta en plena producción	F	w
	Segundo muestreo de alcachofas	I	w
	Alcachofa INIA-D	J	
	Alcachofa "in vitro"	K	
	Alcachofa "crisantem"	L	
31-05-91			x
14-06-91	Último muestreo de alcachofas	M	y
26-06-91			z
08-07-91	Zuecas de llegada	G	z

Además, se han muestreado las inflorescencias de esta variedad en tres momentos de la producción -al comienzo, a mitad y al final de su período de recolección comercial- y de otras tres variedades más: alcachofa "INIA-D", alcachofa "in vitro" y alcachofa "crisantem" recogidas a mitad de su periodo productivo.

El suelo de cultivo (MARCO, 1999) se ha muestreado con periodicidad mensual, para seguir la evolución de sus concentraciones elementales -Tabla 1-.

Las muestras tanto vegetales como edáficas se han secado, molturado y preparado para su análisis por Fluorescencia de Rayos X.

La técnica de Fluorescencia de Rayos X utiliza muestras sólidas, bien molidas a tamaño de grano adecuado y prensadas -pastillas-, o bien sometidas previamente a un proceso de fusión -perlas-. En este trabajo se han preparado pastillas para el análisis de las muestras vegetales y de los elementos minoritarios en las muestras de suelo, y perlas para el análisis de los elementos mayoritarios en suelo.

Las intensidades de fluorescencia se han medido con un espectrofotómetro Philips PW 1400, controlado por ordenador y equipado con un ánodo de Rh -pastillas de vegetales y perlas de suelo- y con ánodos de Rh y Au -pastillas de suelo-

como fuentes de excitación. Las condiciones de medida del espectrofotómetro, que dependen de la fuente de excitación empleada, se describen en la Tabla 2.

Tabla 2: Condiciones de medida del espectrofotómetro de FRX.

Fuente de excitación con ánodo de Au										
EL.	ORB.	COL	DET.	CRT	ORD	KV	MA	ANG	F+	F-
Ce	K	F	C	LIF220	1	70	40	14.390	0.30	0.30
Ga	K	F	FC	LIF200	1	50	50	38.920	1.00	0.00
Zn	K	F	F	LIF200	1	50	50	41.800	0.00	2.00
W	L	F	F	LIF200	1	50	50	43.020	1.10	0.00
Cu	K	F	FC	LIF200	1	60	50	45.030	2.00	0.00
Ni	K	F	FC	LIF200	1	60	50	48.670	2.00	2.00
Sn	K	G	C	LIF200	1	85	35	14.075	0.40	0.20
Co	KB	F	FC	LIF200	1	60	50	47.470	0.40	0.40

Fuente de excitación con ánodo de Rh										
EL.	ORB.	COL	DET.	CRT.	ORD.	KV	MA	ANG.	F-	F
Al	K	G	F	PET	1	40	65	145.120	0.00	4.20
P	K	G	F	Ge	1	40	65	141.040	3.20	0.00
K	K	G	FC	LIF200	1	40	65	136.690	5.00	0.00
Ca	K	F	FC	LIF200	1	40	65	113.090	0.00	3.30
S	K	G	F	Ge	1	40	75	110.690	4.00	0.00
Si	K	G	F	PET	1	40	65	109.210	0.00	4.00
Cl	K	G	F	Ge	1	50	60	92.760	4.00	0.00
Ti	K	F	F	LIF200	1	40	65	86.140	0.00	2.00
Mn	K	F	F	LIF200	1	40	65	62.970	2.00	2.00
Fe	K	F	FC	LIF200	1	60	50	57.520	0.00	2.00
Mg	K	G	F	OVONIX	1	40	65	22.100	1.60	1.60
Na	K	G	F	OVONIX	1	40	65	26.690	1.80	1.80
Ba	K	F	C	LIF220	1	65	40	15.600	1.20	0.40
Nb	K	F	C	LIF220	1	65	40	30.440	0.50	0.60
Zr	K	F	C	LIF220	1	65	40	32.010	0.90	1.20
Y	K	F	C	LIF220	1	65	40	33.900	0.90	0.90
Sr	K	F	C	LIF220	1	65	40	35.850	0.70	0.70
Rb	K	F	C	LIF220	1	65	40	37.990	1.60	1.60
Th	LI	F	C	LIF220	1	65	40	39.290	0.30	0.30
Pb	LBI	F	FC	LIF220	1	50	50	40.380	0.80	0.80
V	K	M	FC	LIF220	1	40	75	123.165	0.40	1.00

Leyenda: EL, elemento; ORB, orbital; COL, Colimador -F, fino, M, medio, G, grueso-; DET: detector -F flujo, C centelleo-; CRT, Cristal; ORD, orden óptico; KV, Kilovoltaje; MA, miliamperaje; ANG, ángulo. F+ y F-, Lectura de fondos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 46 muestras de campo, 22 vegetales y 24 de suelo se han obtenido un total de 856 datos de concentraciones expresadas en partes por millón ($\text{ppm} = \text{mg} \times \text{Kg}^{-1}$) que se recogen en las tablas 3 y 4.

En la primera columna de las tablas aparecen los elementos químicos ordenados según la tabla periódica; en la segunda, las dos localidades de muestreo, Cadreita y Tudela, alternativamente; en las siguientes columnas -A..M o n..z-, las

concentraciones, en partes por millón, de cada elemento en cada uno de los estadios estudiados en cada localidad.

Tabla 3: Concentraciones elementales en ppm=mg x Kg⁻¹ obtenidas en planta.

Eltos	Local	Estadios ciclo vital							Inflorescencias			Variedades		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	M	J	K	L
Na	Cad	2400	4000	5400	3500	3800	3400	1700	1600	800	800	900	1000	600
	Tud	2400	4200	3300	4000	3800	3500	3300	1700	1000	1200			
Mg	Cad	1500	2300	2600	1900	1700	1600	1100	2100	2300	2000	2200	2700	2600
	Tud	1500	1800	2300	1900	1700	1400	1500	1800	2200	1900			
P	Cad	1900	2100	3400	2700	2400	2100	2100	6900	5300	3500	4400	6200	5700
	Tud	1900	2200	4200	3500	3000	2200	2200	6400	5100	3700			
S	Cad	2000	2300	2400	2100	1900	1400	1400	1900	2000	1600	1800	2300	2400
	Tud	2000	1900	2500	2100	1800	1800	2000	1900	1900	1500			
Cl	Cad	2400	3600	11600	6100	6700	7000	2200	3400	3100	2700	3300	2500	3100
	Tud	2400	3600	10300	6700	7000	8400	2400	3300	2700	2500			
K	Cad	13800	12700	32600	23300	23600	23700	11000	35200	30000	25000	28200	27600	31900
	Tud	13800	11200	34400	26100	23700	21500	10600	32100	26800	23000			
Ca	Cad	9000	14400	12100	12400	10600	10200	7200	5300	4100	2500	3300	4400	3500
	Tud	9000	12500	12200	12500	10600	10300	9100	4800	3400	3000			

Se han obtenido 154 datos de concentraciones para 7 elementos en planta -Na, Mg, P, S, Cl, K y Ca-; y 702 datos de concentraciones para 27 elementos en suelo -Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, Ce, W, Pb y Th -. Si tenemos en cuenta López *et al.* (2000), vemos que en planta de los 7 elementos estudiados por FRX, 5 se resuelvan también por INAA -Na, Mg, Cl, K y Ca- y 2 -P y S- sólo son asequibles por FRX. Para éstos 5 elementos obtenidos por las dos técnicas, los datos de concentraciones dados por FRX son menores que los dados por INAA excepto en 3 estadios para el Na y 2 para el Ca.

Tabla 4. Concentraciones elementales en ppm=mg x Kg⁻¹ obtenidas en suelo.

Eltos	Local	Muestras												
		n	ñ	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
Na	Cad	3000	3000	3000	3100	3100	3200	3100	3100	3200	3000	3000	3000	3000
	Tud	2400	2600	2700	2600	2600	2600	2700	2500	2600	2600	2700	2600	2520
Mg	Cad	7100	7400	7100	7600	7500	7200	7600	7300	7500	7300	7400	7400	7200
	Tud	5100	6500	5900	5600	5100	4700	5900	5200	5200	5800	5900	5200	4500
Al	Cad	39300	40100	40700	40300	40200	40800	39500	39200	40200	39700	40300	40400	40400
	Tud	33900	41300	39904	39000	34500	35400	37700	35700	34800	39300	40500	37300	34000
Si	Cad	221500	217300	216700	217100	217900	218100	218300	218300	220900	218700	224200	221200	218300
	Tud	290300	281400	287300	291100	295000	294000	290800	290200	293600	294100	288800	289800	290800
P	Cad	480	570	590	590	590	550	500	440	550	520	500	520	550
	Tud	410	480	500	460	480	440	520	440	480	590	610	580	550
K	Cad	11000	11700	11600	11600	11700	11700	11400	11300	11300	11600	11400	11500	11700
	Tud	10800	13000	12400	12000	11200	11200	12200	11500	11200	12500	12800	11900	11100
Ca	Cad	137000	137300	137100	136500	137000	137200	136800	137000	135900	137400	138800	138000	137300
	Tud	82700	79700	79700	79500	79200	80000	76800	80200	80100	74000	74100	77200	80300
Ti	Cad	2900	2800	2800	2800	2800	2700	2800	2800	2900	2800	2800	2800	2700
	Tud	2900	3100	3000	2900	3200	3000	2900	3100	3000	3100	3200	3000	2900

Tabla 4. (continuación)

Eltos	Local	Muestras												
		n	ñ	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
V	Cad	59	61	61	60	60	60	60	59	59	60	59	58	58
	Tud	49	57	54	52	49	49	52	51	51	54	56	52	48
Mn	Cad	400	400	400	400	400	500	400	400	400	400	400	400	400
	Tud	200	300	300	300	200	200	300	300	200	300	300	300	300
Fe	Cad	19900	20600	20700	20700	20700	20800	20500	20300	20200	20400	20400	20550	20700
	Tud	19700	22800	21500	21300	19800	19700	21500	20400	20100	21600	22100	20900	19700
Co	Cad	20	15	14	16	13	15	15	17	14	16	14	14	13
	Tud	19	20	18	17	20	23	25	25	23	23	5526*	28	28
Ni	Cad	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	25
	Tud	20	22	22	21	20	19	21	20	20	22	23	22	20
Cu	Cad	15	16	15	16	16	15	15	15	15	16	15	16	16
	Tud	11	13	12	12	11	11	12	12	11	13	13	12	11
Zn	Cad	54	59	58	57	59	58	56	54	56	58	55	56	58
	Tud	42	50	47	45	43	43	46	45	43	47	49	46	42
Ga	Cad	9	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10	10	11
	Tud	8	10	10	10	8	8	9	9	8	10	10	9	8
Rb	Cad	75	78	78	80	78	81	77	77	76	78	74	76	78
	Tud	72	87	80	79	75	74	80	76	75	81	83	77	72
Sr	Cad	386	392	388	393	389	396	393	390	389	395	376	383	390
	Tud	188	199	191	186	184	185	186	190	187	181	187	185	183
Y	Cad	19	20	20	19	20	19	20	19	19	20	19	20	20
	Tud	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	21	20
Zr	Cad	178	172	177	178	167	174	178	180	177	177	174	172	170
	Tud	307	283	274	302	296	314	300	298	318	306	305	303	301
Nb	Cad	13	13	14	14	13	13	13	14	13	13	13	13	13
	Tud	14	15	14	14	15	15	15	15	14	15	19	17	15
Sn	Cad	1	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	3	3
	Tud	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	5	3	2
Ba	Cad	229	233	242	253	238	249	245	236	218	258	184	205	226
	Tud	268	297	268	274	280	257	290	282	278	268	294	272	250
Ce	Cad	46	45	49	53	44	46	48	45	42	48	39	43	48
	Tud	67	69	62	66	72	67	66	67	64	68	65	66	66
W	Cad	184	153	139	159	141	119	127	159	113	109	112	105	98
	Tud	198	194	205	167	254	263	282	283	251	285	612308*	314	314
Pb	Cad	20	21	18	22	19	20	17	19	20	20	16	17	19
	Tud	19	22	21	20	20	20	21	21	20	22	21	20	19
Th	Cad	6	7	8	7	5	7	7	6	6	8	8	7	6
	Tud	7	8	8	10	8	9	9	8	9	9	8	8	8

Llama la atención que las concentraciones de Cl son hasta la mitad menores que las dadas por INAA. Si comparamos las concentraciones de K obtenidas por Fotometría de Llama, Mg y Ca obtenidas por Absorción Atómica y P por Espectrofotometría (CAVERO *et al.*, 1997) con las de FRX, los resultados son similares: las concentraciones analizadas por FRX son menores excepto para el P que son más o menos iguales.

Por lo que respecta al suelo, de los 27 elementos resueltos por FRX, 16 elementos -Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Zn, Rb, Sr, Zr, Ce y Th- se analizan también por INAA (LÓPEZ *et al.*, 2000), mientras que 11 -Si, P, Ni, Cu, Ga, Y, Nb, Sn, Ba, W y Pb- sólo son asequibles por FRX. Para los 16 elementos obtenidos por las dos técnicas, FRX obtiene concentraciones menores en Na, Mg, K,

Mn y Zr y mayores en Co; para el resto de los elementos las concentraciones son mayores o menores en las distintas técnicas analíticas a lo largo del muestreo. Por ello podemos concluir que, a la hora de conocer la composición elemental de una planta o de un suelo, ambos métodos son complementarios y, debido a la no coincidencia de los resultados, es aconsejable indicar el método analítico utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

- CAVERO, R. Y.; LÓPEZ, M. L. y MARCO, R. (2000). La alcachofa. Composición química. *Investigación y Ciencia*, junio: 40-41.
- CAVERO, R. Y.; MARCO, R.; ECHEVERRÍA, A. y LÓPEZ, M. L. (1997). Composición química de la Alcachofa de Tudela a lo largo de su desarrollo. *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 10: 67-77.
- LÓPEZ, M. L.; CAVERO, R. Y.; MARCO, R. & BODE, P. (2000). Alcachofa de Tudela, *Cynara scolymus* L., y suelo de cultivo analizados por Análisis Instrumental por Activación con Neutrones (INAA). *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 13: 51-61.
- MARCO, R. (1999). *Alcachofa de Tudela y suelo agrícola: análisis multielemental*. Tesis Doctoral inédita.
- 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.
- MARCO, R.; CAVERO, R. Y. & LÓPEZ, M. L. (1998). Artichoke, *Cynara scolymus* L., a mediterranean culture: plant and soil elementary composition, a comparison. *Bocconea*. (En prensa).
- MARCO, R.; CAVERO, R. Y. & LÓPEZ, M. L. (1999). Comparación de la fase multiplicadora-diseminadora de pimiento del piquillo, alcachofa de Tudela y cardo de Peralta. *Publ. Bio. Univ. Navarra, Ser. Bot.*, 12: 39-44.

