

RAICES ANDINAS

Contribuciones al conocimiento y a la capacitación

IV. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)

Caracterización y conservación de germoplasma

15

Inducción de floración en el cultivo de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

*Steen Randers Knudsen¹, Michael Hermann²,
Fausto Dos Santos³, Marten Sorensen¹*

Introducción

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) es parte de una sorprendente variedad de raíces y tubérculos cuyo cultivo está fuertemente limitado al área de los andes sudamericanos. [Junto con el yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. y Endl.) H. Robinson), y la achira (*Canna edulis* Ker-Gawler)]. Esta planta aún es cultivada por los agricultores de bajos recursos económicos en los valles templados. Frecuentemente la

¹The Royal Veterinary Agricultural University, Copenhagen, Denmark.

² International Potato Center, Lima, Perú.

³Centro Nacional de Pesquisa de Hortalizas- EMBRAPA, Brasilia, Brasil.

arracacha se cultiva junto con café (*Coffea* spp. L.), maíz (*Zea mays* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) o bananas (*Musa* spp. L.), más en algunas ocasiones se pueden hallar pequeñas parcelas de monocultivo (Hodge, 1954; obs. pers., 1998).

Se estima que este cultivo ocupa un lugar secundario en la dieta de cerca de 80 a 100 millones de personas en América del Sur (Hermann, 1997). A pesar de haber sido introducida repetidamente fuera de su habitat nativo de los andes, no ha logrado establecerse como un cultivo comercial, a excepción de las tierras altas en la región sur de Brasil, donde se cultiva más arracacha que en cualquier país andino.

La arracacha pertenece a la subfamilia apiioidea de las umbelíferas y es además un pariente cercano de la zanahoria (*Daucus carota* L.), la pastinaca (*Pastinaca sativum* L.) y el apio (*Apium graveolens* L.). Sin embargo, en contraste con estas plantas del viejo mundo se propaga vegetativamente.

Ha sido mencionada por muchos años como un cultivo de valor económico potencial y con posibilidades de expansión (Hodge, 1954; National Research Council, 1989), sin embargo, se conoce muy poco de su biología y en particular, la esterilidad frecuentemente hallada en sus flores se ha convertido en un impedimento para realizar mejoras en las variedades.

Floración

Es raro observar floración en arracacha en condiciones de cultivo en el área andina (Hodge, 1954; Bristol, 1988; Hermann, 1997), pero es muy frecuente hallarla en los estados sureños de Brasil (Zanin y Casali, 1984; Santos, 1997) y en las colecciones de germoplasma peruano (Arbizu, com. pers. 1998; Blas, com. pers. 1998; Lizarraga, com. pers. 1998; Meza, com. pers. 1998; obs. pers. 1998). A partir de estas observaciones se han derivado varias sugerencias con respecto a los factores involucrados en la inducción de la floración en arracacha.

Hodge (1954) asegura que el hecho de no encontrar floración en los cultivos de arracacha se debe a que ésta se cosecha mucho tiempo antes de que las plantas lleguen a la "madurez de floración". Bristol (1988) menciona que la floración ocurre cerca del final de la estación o cuando la planta está por llegar a la madurez. Las observaciones de estos autores sugerirían que la floración en arracacha depende de la edad. Esta hipótesis puede ser parcialmente sustentada por las observaciones realizadas en la Universidad del Cusco y en un valle cercano, donde florecieron plantas de 20 a 24 meses de edad entre los 12 y 13 meses después del tiempo de cosecha. En este caso la floración estaba asociada con un período precedente de baja temperatura.

Zanin y Casali (1984) observaron floración en arracacha al sur del Brasil asociada con días cortos y temperaturas bajas dos a tres meses antes de la floración. Estas observaciones llevaron a sugerir que las bajas temperaturas y los fotoperíodos cortos inducen floración. Otro autor, Hígita (1970), asegura que un período de baja temperatura induce a la floración. Para probar esta hipótesis, Bajaña (1994) condujo un experimento con temperaturas bajas (de 5-8 °C) y altas (12-15 °C) durante la noche bajo condiciones

de fotoperíodo corto (10 h) y largo (15 h). El experimento incluyó 10 genotipos de Perú, Ecuador y Brasil; de 160 plantas evaluadas florecieron 15, todas ecuatorianas. De un genotipo florecieron 56 % de las plantas evaluadas y los otros dos genotipos respondieron con floración del 19 % de plantas cada uno. Los tratamientos tuvieron diferencias significativas en favor al fotoperíodo corto (93 % de las plantas en floración) y de la temperatura nocturna baja (66 % de las plantas en floración), pero aparentemente no hubo interacciones entre la longitud del día y la temperatura de la noche.

Una tercera hipótesis, asegura que el estrés hídrico o deshidratación/desecación puede ser un factor inductor. Esta hipótesis se deriva de las observaciones realizadas por el Dr. F. dos Santos a lo largo de varios años al sur del Brasil. El Dr. Santos ha observado la floración en arracacha después de períodos de sequía seguidos por lluvia, pero debido a que el período de sequía está asociado con bajas temperaturas y días cortos, estos factores no pueden ser separados. Más aún, Hermann (1997) ha recogido observaciones similares de granjeros ecuatorianos que aseguran haber observado floración asociada con períodos de sequía.

Para probar esta hipótesis Bajaña (1994) realizó un experimento colateral: removió las raíces reservantes y las hojas de 18 plantas maduras y las deshidrató hasta cerca de un 35 % de pérdida de peso. Sólo cinco plantas sobrevivieron al tratamiento luego de ser replantadas, de las cuales cuatro plantas florecieron. Otro experimento conducido por Hermann (1997) utilizando el mismo material clonal de Bajaña (1994), apoya la hipótesis de que el estrés hídrico o la deshidratación tiene un factor inductor. El experimento incluyó la deshidratación de varias plantas maduras hasta un 20-30% de pérdida de peso después de lo cual el 90 % de las plantas replantadas florecieron.

Materiales y métodos

Lugar de los experimentos. Los experimentos fueron realizados en la estación experimental del CIP de San Ramón, Perú, 75°21'17''O, 11°7'12''S, 800 m de altitud, entre el 20 de mayo y el 9 de octubre de 1998.

Las plantas fueron cultivadas en macetas plásticas cuadradas de 100 mm (1l) utilizando el sustrato (Promix BX). Antes de sembrarse, los colinos fueron rociados con un fungicida (Benlate 1g/l) y fueron plantados en el sustrato cubriéndose entre un tercio a la mitad de ellos. Luego de sembrados, las macetas fueron puestas en el exterior bajo un techo transparente. Las macetas fueron envueltas con papel de aluminio para reflejar la luz directa del sol y disminuir la excesiva temperatura en el sustrato. Las plantas fueron regadas a necesidad para mantener la humedad apropiada en el sustrato.

Fuente del material vegetal. Se obtuvieron seis accesiones de plantas de 11 meses de edad de la colección de campo del CIP en Oxapampa (75°24'00''O, 10°34'30''S, 1826 m de altitud). Las accesiones seleccionadas provinieron de diferentes partes del Perú y eran lo más distintas posible unas de otras, por ejemplo, basados en la caracterización morfológica y molecular (Blas, 1996). Las accesiones utilizadas fueron ARB 5180, ABS 5497, ABS 5501, ABS 5516, ABS 5517 y ABS 5527.

Preparación del material vegetal. Las plantas fueron defoliadas, desenterradas y tanto las raíces reservantes como los colinos fueron separados de la cepa. Se seleccionaron entre 50-80 colinos de 10-15 plantas de cada accesión. Para medir el grado de deshidratación/desección lo más exacto posible y para prevenir la infección (con hongos) del colino, se removió la base del peciolo de los colinos y luego se pesaron. Aquellos con un peso entre 25-75 g fueron descartados.

Tratamientos. Los colinos de cada genotipo fueron distribuidos al azar en los cuatro tratamientos. Debido a la falta de material vegetal un mayor número de colinos fueron asignados a los tratamientos dos y cuatro a expensas de los tratamientos uno y tres.

Los cuatro tratamientos incluidos fueron:

1. **Testigo** (a temperatura ambiental). Colinos plantados al inicio de los tratamientos de deshidratación.
2. **Deshidratación.** Los colinos fueron deshidratados a la sombra a temperatura y humedad de ambiente en la sombra.
3. **Tratamiento frío/tibio.** Los colinos fueron almacenados en una bandeja dentro de una bolsa plástica para prevenir la deshidratación y fueron tratados como los colinos deshidratados en el ambiente frío/tibio.
4. **Deshidratación en el ambiente frío/tibio.** Los colinos fueron deshidratados bajo temperaturas con variaciones más pronunciadas que los colinos deshidratados en el exterior.

Los tratamientos dos y cuatro fueron sembrados cuando los colinos alcanzaron el nivel de deshidratación requerido, del 35-40% de pérdida de peso. El tratamiento tres fue plantado al mismo tiempo que el tratamiento cuatro. Los colinos de los tratamientos c y d continuaron en el tratamiento frío/tibio hasta que brotaron.

Descripción del desarrollo de la planta. Para poder describir el crecimiento y desarrollo de la planta se midieron las variables siguientes todos los días:

Días desde la siembra hasta: Brote, brote mayor de 5 cm, primer nudo visible, estigmas (o estilo) visibles en todas las primeras tres umbelas desarrolladas, la salida de polen en las tres primeras umbelas.

Además, se midieron las siguientes variables:

Número de Umbelas: umbelatas por umbelas, flores hermafroditas y masculinas por umbelata por las tres primeras umbelas, nudos, ramas del tallo.

Al final se midió: la altura total a la terminación, la altura de la primera umbela y el diámetro basal del tallo.

Resultados

Respuestas de floración a los tratamientos. Tres de las seis accesiones florecieron, todas con un grado diferente de respuesta. La accesión ABS 5516 tuvo el mayor porcentaje de plantas en floración (88 %), las accesiones ABS 5527 y ABS 5501 tuvieron el 41 y 20 % respectivamente. Como se ilustra en la Figura 1, el número de plantas por tratamiento no fue el mismo debido a la limitación de material vegetal y a la pudrición de los colinos después de la siembra.

No sólo los colinos deshidratados florecieron. También mostraron buena floración aquellos con el tratamiento frío/tibio para las accesiones ABS 5516 y ABS 5527.

Sin embargo, se obtuvo la mejor respuesta en floración en el tratamiento de deshidratación donde el 63 % del tratamiento dos y el 57 % del tratamiento cuatro florecieron en contraste con el 34 % del tratamiento tres y el 43 % de los colinos testigo.

Desarrollo de las plantas. La Tabla 1 describe el desarrollo fenológico de los colinos en días después de la siembra. Se especifica el tiempo en días después de la siembra en los diferentes estadios de desarrollo. La tabla incluye sólo datos de los colinos que desarrollaron tallos generativos. Los colinos dentro del mismo tratamiento brotaron generalmente al mismo tiempo sin importar si más adelante florecieron o no. Aquellos colinos que no formaron tallos generativos continuaron produciendo hojas a partir tanto del meristema apical y de uno o dos meristemas laterales. Como se ilustra en la Tabla 1, los colinos del grupo testigo brotaron, desarrollaron hojas y tallos generativos en menor cantidad. Después del primer nudo se hizo evidente que el nivel de crecimiento era aproximadamente el mismo para todas las accesiones y tratamientos.

No hubo diferencia significativa en los niveles de crecimiento entre las accesiones sujetas a los mismos tratamientos. En general, hay menos observaciones del estadio de "liberación o salida de polen" (Tabla 1) debido a la falta de liberación de polen. Por lo tanto, estos valores promedios están basados en menos observaciones que las otras variables.

Las plantas en floración desarrollaron flores hermafroditas y masculinas reproductivas, pero sólo algunas liberaron polen y nunca se observó la formación de semillas. Además, la producción de néctar fue muy baja y rara vez observada.

Las primeras flores que alcanzaron la formación de anteras fueron las flores hermafroditas de las umbeletas periféricas. Las flores expusieron los estilos mientras se abría la umbela; tres a cinco días después se levantaron las anteras y se liberó el polen (Tabla 1). Las flores masculinas liberaron el polen dos a tres días después que las flores bisexuales. El proceso de floración para una umbela demoró cerca de una semana desde la exposición de los primeros estilos hasta la liberación del polen por las últimas flores masculinas. Al momento de la liberación del polen los pétalos se separan y caen y luego de la liberación del polen se caen las anteras.

Tabla 1. Estadios de desarrollo de las plantas, expresados en días después de la siembra (sólo las plantas que florecieron)

Tratamiento Estadio de desarrollo	Control			Tratam. Frio/Tib.			Deshid Frio/Tib.			Deshid exterior			
	Nº de obs.	Media	Dev.Est.	Rango	Media	Dev.Est.	Rango	Media	Dev.Est.	Rango	Media	Dev.Est.	Rango
ABS 5501		0			0			3			10		
Brote		-			-			0			12	2.5	10-15
Brote de 5 cm		-			-			21	6.5	17-30	29	5.7	24-41
1 ^{er} nudo visible		-			-			39	15.3	30-60	40	2.9	37-42
Estilo visible 1 ^{ra} umb.		-			-			48	0.71	47-48	50	5.4	43-56
Lib. de polen 1 ^{ra} umb.		-			-			53	0.71	52-54	52	6.1	45-62
Estilo visible 2 ^{da} y 3 ^{ra} umb.		-			-						62	6.6	56-69
Lib. de polen 2 ^{da} y 3 ^{ra} umb.		-			-						65	3.5	63-66
ABS 5516		9			9			15			16		
Brote		29	3.1	21-33	7	3.2	4-10	8	3.8	3-10	17	5.5	11-27
Brote de 5 cm		41	3.6	33-43	17	0	17	19	4.2	15-32	26	5.4	17-40
1 ^{er} nodo visible		51	3.4	50-56	27	3.5	23-34	23	5.4	16-36	31	5.4	24-40
Estilo visible 1 ^{ra} umb.		59	4.8	54-67	42	4.4	36-51	36	5.8	29-49	43	6.0	34-55
Lib. de polen 1 ^{ra} umb.		62	5.7	58-67	46	4.4	41-55	40	5.8	33-52	48	4.5	40-55
Estilo visible 2 ^{da} y 3 ^{ra} umb.		69	4.4	65-76	52	4.7	50-60	42	6.5	36-49	55	7.1	50-68
Lib. de polen 2 ^{da} y 3 ^{ra} umb.		-			59	2.9	56-63	45	4.7	42-54	60	2.9	58-63
ABS 5527		4			1			5			15		
Brote		25	4.6	21-29	0	-		17	6.6	10-25	13	2.6	10-17
Brote de 5 cm		50	7.1	43-60	20	-		34	7.1	23-41	30	6.1	21-39
1 ^{er} nodo visible		67	4.7	63-74	27	-		40	6.9	27-45	36	6.1	24-41
Estilo visible 1 ^{ra} umb.		82	5.6	77-90	37	-		54	8.3	41-62	47	5.6	36-52
Lib. de polen 1 ^{ra} umb.		85	3.8	82-89	43	-		55	8.1	46-61	53	5.8	42-60
Estilo visible 2 ^{da} y 3 ^{ra} umb.		89	2.0	87-91	47	-		55	7.7	50-61	58	6.5	48-67

Diferencias morfológicas. Se contó el número de flores hermafroditas y masculinas para las tres primeras umbelas desarrolladas; el porcentaje de flores hermafroditas para las tres umbelas se presenta en la Tabla 2.

En general sólo las tres primeras umbelas desarrolladas produjeron un número significativo de flores. El dato para la tercera umbela se calcula en base a un número menor de observaciones con respecto a la primera y segunda umbelas, debido a la falta de desarrollo de la tercera umbela en algunas plantas.

En el caso de la accesión ABS 5516 el testigo del control y del tratamiento frío/tibio produjeron un número significativamente menor de flores hermafroditas con respecto a los colinos deshidratados; en el caso de la accesión ABS 5527 se observó la misma tendencia del testigo. Para el grupo testigo de la accesión ABS 5516 con respecto a la producción en porcentaje de flores hermafroditas se obtuvo un resultado muy bajo y variable: la desviación estándar (DS) en las umbelas dos y tres son bastante altas. No se observó diferencias significativas entre los dos tratamientos de deshidratación en ninguna de las accesiones. Sin embargo hubo una diferencia considerable en el porcentaje de flores hermafroditas donde la accesión ABS 5527 produjo un 27 %, la ABS 5516 produjo 14 % y la ABS 5501 sólo un 6 %. En la Tabla 3 se muestra el número total de flores por accesión, por tratamiento para las tres umbelas. No hubo diferencias significativas en el número total de flores producidas por tratamiento para cada una de las accesiones ABS 5516 y ABS 5527 ó entre estas dos accesiones. La accesión ABS 5501 produjo un número de flores significativamente más bajo que cualquiera de las dos accesiones. El número de observaciones por tratamiento es igual a lo presentado en la Tabla 2.

Las segundas umbelas de las accesiones ABS 5516 y ABS 5527 tendieron a producir más flores que las otras umbelas, y las primeras umbelas produjeron el menor número de flores. En el caso de la accesión ABS 5501 se presentó una situación opuesta.

VARIABLES MEDIDAS AL FINAL DEL EXPERIMENTO. En la Tabla 4 se presentan las variables medidas al final del experimento, es decir cuando todas las plantas han detenido su crecimiento.

Como se ve en la Tabla 4, los valores para la accesión ABS 5501 son los más bajos a excepción del diámetro del tallo. Los valores más altos se presentan para la accesión ABS 5516. En la mayoría de los casos los valores para la accesión ABS 5501 son significativamente menores que para las accesiones ABS 5516 y ABS 5527.

Tabla 2. Porcentaje de flores hermafroditas por umbela y número de observaciones. Se indican la media y la desviación estándar (Desv. Est.)

Tratamiento	Umbela 1			Umbela 2			Umbela 3			Promedio					
	obs.	Media	Dev.Est.	obs.	Media	Dev.Est.	obs.	Media	Dev.Est.	Media	Dev.Est.				
ABS 5501	obs.	0		obs.	0		obs.								
Testigo		-			-			-							
Tratamiento		-			-			-							
Frío/tibio		-			-			-							
Deshidratación	3	7%	1.3%	Nsd	3	0%	-	Nsd	-	4%	3.9%	Nsd			
Frío/tibio		-			-			-							
Deshidratación	10	6%	5.5%		5	7%	5.9%		-	6%	5.6%				
exterior															
<i>Promedio</i>		<i>6%</i>	<i>4.9%</i>	<i>Nsd</i>		<i>5%</i>	<i>5.9%</i>			<i>6%</i>	<i>4.9%</i>	<i>a</i>			
ABS 5516															
Testigo	9	15%	2.3%	ab	9	3%	3.7%	a	3	6%	6.9%	Nsd	8%	6.9%	a
Tratamiento	9	14%	4.6%	a	8	12%	3.9%	b	8	7%	5.0%		11%	5.2%	a
Frío/tibio		-				-				-				-	
Deshidratación	15	17%	2.7%	b	15	19%	8.0%	c	12	13%	8.7%		17%	6.9%	b
Frío/tibio		-				-				-				-	
Deshidratación	16	17%	4.4%	b	14	17%	8.0%	c	12	11%	8.9%		15%	7.6%	b
exterior															
<i>Promedio</i>		<i>16%</i>	<i>3.7%</i>	<i>a</i>		<i>14%</i>	<i>8.5%</i>	<i>b</i>		<i>10%</i>	<i>8.0%</i>	<i>c</i>	<i>14%</i>	<i>7.3%</i>	<i>b</i>
ABS 5527															
Testigo	4	13%	4.8%	a	3	27%	4.6%	Nsd	3	23%	6.4%	ab	21%	8.1%	a
Tratamiento	1	26%	-	ab	1	24%	-		1	24%	-	(a)	25%	1.1%	ab
Frío/tibio		-				-				-				-	
Deshidratación	5	27%	3.4%	b	2	29%	2.6%		2	31%	3.1%	bc	28%	3.2%	b
Frío/tibio		-				-				-				-	
Deshidratación	15	28%	5.0%	b	14	28%	5.2%		12	28%	6.6%	c	28%	5.5%	b
exterior															
<i>Promedio</i>		<i>25%</i>	<i>7.0%</i>	<i>Nsd</i>		<i>28%</i>	<i>4.7%</i>			<i>28%</i>	<i>6.2%</i>		<i>27%</i>	<i>6.2%</i>	<i>c</i>

Las muestras con letras diferentes indican una diferencia significativa del al menos un nivel del 5%.

Tabla 3. Número total de flores en las tres primeras umbelas. Se muestran la media y la desviación estándar (Desv. Est.)

Tratamiento	Umbela 1		Umbela 2		Umbela 3		Total					
	Media	Dev.Est.		Media	Dev.Est.	Media	Dev.Est.	Media	Dev.Est.			
ABS 5501	0			0								
Testigo	-			-		-						
Tratamiento	-			-		-						
Frío/tibio												
Deshidratación	146.3	16.7	Nsd	103.7	25.0	Nsd	-	264.7	25.7	Nsd		
Frío/tibio												
Deshidratación	139.4	29.4		112.1	33.5		-	195.8	32.3			
exterior												
<i>Promedio</i>	<i>141.0</i>	<i>26.5</i>	<i>a</i>	<i>109.0</i>	<i>25.8</i>	<i>b</i>	<i>-</i>	<i>211.7</i>	<i>63.1</i>	<i>a</i>		
ABS 5516												
Testigo	178.1	18.9	ab	222.0	76.9	Nsd	149.3	27.5	Nsd	449.9	119.3	Nsd
Tratamiento	201.8	58.5	a	230.5	66.9		187.0	66.9		572.9	197.2	
Frío/tibio												
Deshidratación	161.7	19.4	b	198.4	48.7		186.0	46.7		480.0	117.6	
Frío/tibio												
Deshidratación	181.1	19.6	ab	188.7	70.6		200.3	54.4		488.2	175.1	
exterior												
<i>Promedio</i>	<i>178.4</i>	<i>32.4</i>	<i>a</i>	<i>218.5</i>	<i>64.1</i>	<i>b</i>	<i>188.1</i>	<i>52.3</i>	<i>a</i>	<i>493.9</i>	<i>154.5</i>	<i>b</i>
ABS 5527												
Testigo	133.7	11.2	a	155.7	19.9	Nsd	132.3	50.0	Nsd	347.0	142.9	Nsd
Tratamiento	168.0	-	(b)	252.0	-		228.0	-		648.0	-	
Frío/tibio												
Deshidratación	151.0	8.0	B	209.5	24.6		192.0	21.2		312.1	214.1	
Frío/tibio												
Deshidratación	152.0	12.5	B	206.5	51.3		197.3	59.0		479.3	166.3	
exterior												
<i>Promedio</i>	<i>149.4</i>	<i>13.4</i>	<i>Nsd</i>	<i>201.5</i>	<i>49.0</i>		<i>187.6</i>	<i>57.3</i>		<i>431.9</i>	<i>183.8</i>	<i>b</i>

Las muestras con letras diferentes indican una diferencia significativa del al menos un nivel del 5%.

Tabla 4. Variables medidas al final del experimento. Se muestran la media y la desviación estándar (Dev. Est.).

Variable	Control		Tratamiento Frio/tibio				Deshidratación Frio/tibio		Deshidratación exterior		Promedio del Clon				
	Media	Dev.Est.	Media	Dev.Est.	Media	Dev.Est.	Media	Dev.Est.	Media	Dev. Est					
ABS 5501															
Ramas	-		-		1.3	0.6	0.6	0.5	Ns	0.8	0.6	a			
Umbelas	-		-		2.0	1.0	1.9	1.0	Ns	1.9	1.0	a			
Nudos	-		-		5.3	0.5	4.6	0.7	Ns	4.8	0.7	a			
Altura total	-		-		106.0	5.7	a	85.0	9.7	b	88.5	12.1	a		
Altura a la 1ª Umbela	-		-		106.0	5.7	a	80.0	10.6	b	83.2	12.4	a		
Diámetro del tallo	-		-		6.8	0.1	a	5.2	0.9	b	5.5	1.0	ab		
ABS 5516															
Ramas	1.2	0.7	A	1.9	0.3	b	1.8	1.0	b	1.8	0.7	b	1.7	0.8	b
Umbelas	3.7	1.4		4.7	1.0		4.5	1.6		4.5	1.7	Ns	4.4	1.5	b
Nudos	5.7	0.5	A	5.4	0.5	ab	5.1	0.3	b	5.2	0.5	b	5.3	0.7	c
Altura total	117.0	17.7		111.2	17.2		116.0	14.4		117.4	19.0	Ns	115.8	16.2	b
Altura a la 1ª Umbela	102.3	10.8		95.4	13.5		92.0	13.0		97.2	13.2	Ns	96.1	12.9	b
Diámetro del tallo	5.3	0.8	A	5.5	0.6	a	5.8	0.5	b	5.9	0.6	b	5.7	0.6	a
ABS 5527															
Ramas	1.5	0.5	Ab	2.0	-	(a b)	0.8	1.1	a	1.9	0.7	b	1.7	0.9	b
Umbelas	2.7	1.1	A	5.0	-	(b)	2.7	1.4	a	4.5	1.2	b	3.9	1.5	b
Nudos	5.0	0.7		5.0	-		4.7	1.4		4.8	1.0	Ns	4.8	1.0	b
Altura total	70.0	14.1	A	125.0	-	(b)	98.6	14.9	b	118.2	16.2	b	105.3	23.9	b
Altura a la 1ª Umbela	71.25	8.5	A	100.0	-	(b)	88.7	14.4	b	97.8	15.0	b	89.6	19.2	b
Diámetro del tallo	4.4	0.6	A	5.7	-	(b)	5.6	0.4	b	5.4	0.7	b	5.3	0.8	b

Las muestras con letras diferentes indican una diferencia significativa del al menos un nivel del 5%.

El número de ramas desarrolladas a partir del tallo fue significativamente más bajo para las plantas testigo de la accesión ABS 5516, raramente desarrollaron más de una rama por tallo. Además el tratamiento 4 para la accesión ABS 5527 llevó al desarrollo de menos ramas comparado con los otros tratamientos.

El testigo tiene la tendencia de producir un número total menor de umbelas, a pesar de tener un período de crecimiento más largo.

La altura del tallo se midió como la altura total y la altura hasta la primera umbela. En el caso de la accesión ABS 5527, las plantas control fueron significativamente más cortas que las plantas tratadas, mientras que para el caso de la accesión ABS 5516 no hay diferencias entre los tratamientos y el testigo. La altura total y la altura de la primera umbela es casi idéntica para la accesión ABS 5501.

Discusión

Desarrollo de las plantas. El tiempo desde la siembra hasta la floración fue diferente entre las tres accesiones: la accesión ABS 5516 creció más rápido que las otras dos. Esta diferencia se notó de manera más pronunciada en el caso del grupo testigo pero también se halló una diferencia considerable en los colinos deshidratados en el ambiente frío/tibio. La diferencia se determinó al inicio del período de crecimiento, luego de la exposición del primer nudo las plantas generalmente desarrollaron al mismo nivel. Se observó un patrón similar en el taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) donde el tiempo desde la siembra a la primera floración difiere entre cultivares, y el número promedio de días requerido desde la emergencia de flores hasta la formación de las anteras fue prácticamente similar en todos los cultivares (Pardales, 1981).

La diferencia en el nivel de crecimiento de las tres accesiones puede ser correlacionada con la diferencia en la duración del cultivo. Meza (1995) reporta diferencias en la duración del cultivo entre las accesiones de arracacha. El nivel de crecimiento se determina por la actividad fisiológica. Según observaron Hadley y Yapp (1993), esta actividad varía entre clones.

Variación de la floración entre accesiones. Las diferencias observadas en la floración muestran que no todas las accesiones respondieron de la misma manera a los tratamientos: sólo tres de las seis accesiones florecieron. El mayor porcentaje de plantas en floración lo presentó la accesión ABS 5516 seguido por las accesiones ABS 5527 y ABS 5501. Un experimento colateral similar al que presentamos fue llevado a cabo por Knudsen (1998) en el cual incluyó 180 colinos y 96 coronas de un clon donde no se presentó floración. Se llevó a cabo otro experimento en la Universidad de Cajamarca en 1998 donde se incluyeron 240 colinos de una accesión. Los colinos fueron deshidratados por períodos de cero, 15, 30 y 45 días. Ninguno de los colinos mostró signos de formación de flores durante los once meses de crecimiento (Seminaro, com. pers., 1998), por lo tanto, no todas las accesiones responden de la misma manera a los tratamientos de deshidratación.

Varios autores han reportado diferencias en la floración entre accesiones de arracacha. Bajaña (1994) reportó floración en tres de diez accesiones en respuesta a fotoperíodos largos. Plasencia y Huertas (1986) observaron floración espontánea en 41 de 52 accesiones y, en 1996, Blas (com. pers. 1998), observó florecer espontáneamente 15 accesiones de un total de 66. Arbizu (com. pers. 1998) ha hecho observaciones similares por años en la colección de germoplasma del CIP, más aún, las observaciones personales incluyen observaciones en la diferenciación de flores en cuatro colecciones de arracacha peruana.

En otros cultivos que se propagan vegetativamente es común encontrar clones que no florecen o que florecen con diferente intensidad como en el caso del taro (*Colocasia esculenta*) (Pardales 1981), el ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) (Rousi *et al.*, 1986), el yam (*Dioscorea* spp.) (Degras, 1993), ajo (*Allium sativum*) (Pooler y Simon, 1993) y yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) H. Robinson (Grau y Rea 1997).

La mayoría de las observaciones en arracacha y otros cultivos propagados vegetativamente se hacen en plantas con floración espontánea y no como una respuesta al tratamiento para inducir floración. Sin embargo, estas observaciones indican una diferencia en la capacidad de floración entre accesiones. Esto está apoyado por las observaciones con respecto al germoplasma del CIP donde especialmente dos accesiones, ABS 5516 y ABS 5526, fueron reportadas por florecer varias veces durante el período 1996 a 1998.

Degras (1993) concluye en el caso del yam que la diferencia en floración entre clones está causada por factores ecológicos y genéticos. Rousin *et al.* (1986) y Pooler y Simon (1993) mencionan que el factor más fuerte para la diferencia en la floración entre los clones de ulluco y ajo es la diferencia genética.

En contraste con la situación en los Andes, se encuentra una floración más pronunciada en Brasil, donde la floración es más común y se está convirtiendo en un problema (Santos 1997). El material vegetal del Brasil consiste en un sólo clon del cual se desarrollan las diferentes variedades por polinización cruzada de las plantas con floración espontánea. Debido al alto grado de heterocigocidad en arracacha ha sido posible crear una gran variedad de fenotipos nuevos a partir de este clon. Sin embargo, al utilizar propagación sexual, el mejorador selecciona automáticamente para la floración, la formación de semillas y las características deseables (producción, color de raíz y resistencia), tal vez sin darse cuenta de la selección para la floración. Es más, las plantas que no florecen no son utilizadas en el mejoramiento y los genes de floración se ven favorecidos y expresados durante los programas de mejoramiento y en las nuevas variedades.

Variación de la floración entre y dentro de los tratamientos. Se esperaba que sólo los colinos deshidratados florecieran. Sin embargo, para el caso de las accesiones ABS 5516 y ABS 5527, los colinos testigo y los tratados en frío/tibio también florecieron. Aún más, se esperaba que el nivel de deshidratación tuviera algún efecto en la floración, pero se observó que no tiene ningún efecto en la floración en las accesiones ABS 5516 y ABS 5527. Por el contrario, la accesión ABS 5501 responde positivamente al aumento de la deshidratación. Un promedio general muestra una disminución en las respuesta de floración cuando la deshidratación excede el 40 %.

Bradford y Hsiao (1982) afirman que las respuestas fisiológicas de las plantas frente a la deficiencia de agua aumentan con la severidad y la duración del estrés. Si el periodo de estrés se prolonga, hay mayor tiempo para que los efectos iniciales provoquen respuestas secundarias. En el caso del presente estudio parece que esto sólo es aplicable para la accesión ABS 5501. No obstante, la respuesta secundaria (pudrición) fue pronunciada en los colinos de la accesión ABS 5516 deshidratados en el exterior.

No se esperaba la floración de los colinos testigo. Los colinos en este grupo demoraron más en brotar y la floración fue inducida durante el período comprendido entre la siembra y el brotamiento. Los colinos testigo pasaron por cierto estrés hídrico después de la defoliación hasta que enraizaron, ya que la temperatura era alta y no podían obtener agua hasta que desarrollaron raíces, aproximadamente 14 días después de la siembra.

La diferencia intraclonal en la floración dentro de los tratamientos respectivos está más pronunciada en las accesiones ABS 5501 y ABS 5527. Las diferentes respuestas dentro de los tratamientos indican que el material no era homogéneo. Plasencia y Huertas (1986) hicieron observaciones similares, no todos los colinos de la misma accesión florecieron, la mayor parte de los colinos de las accesiones, 2-3 florecieron de un total de 15. Más aún se observó que los colinos centrales florecieron con mayor frecuencia que los periféricos. Meza y Lizárraga (com. pers. 1998) apoyan esta observación, sin embargo, Camera (1992) no encontró esta correlación. En el presente estudio se desconoce el origen de los cornos, puede ser que parte de la variación se deba a este factor, sin embargo, al mismo tiempo esta situación parece no ser posible ya que no se encontró variación en la accesión ABS 5516.

Una diferencia intraclonal con respecto a la floración ha sido hallada en ajo (Pooler y Simon (1993) y en clones de cactus del este (Britton et Rose spp.) cultivados bajo condiciones subóptimas (Boyle, 1995). Estas observaciones indican que el tratamiento no era óptimo y que influyeron otros factores diferentes al estrés hídrico.

La diferencia esperada en la floración entre tratamientos no es obvia, una explicación posible es que los tratamientos no incluyeron el diseño óptimo. Se encontró que la plasticidad en los factores de inducción de la floración es muy grande. Bernier (1986) reporta que hay diferentes factores que pueden inducir floración en plantas bajo condiciones que no son las óptimas como, por ejemplo, fotoperiodos largos para plantas de días cortos y altas temperaturas en lugar de la vernalización. Esto indica que el medio ambiente debió tener alguna influencia en la floración por lo que no sólo florecieron los colinos deshidratados.

Comparando la floración en las tres accesiones no hay una indicación clara de cuál es el tratamiento óptimo realizado. Parece que el tratamiento de deshidratación tuvo un efecto positivo comparado con el control. De las accesiones del presente estudio se informó que sólo una de ellas había florecido antes del estudio (ABS 5501), por lo tanto el tratamiento y el medio ambiente debieron tener alguna influencia.

Tomando en cuenta que en el Cusco florecieron plantas de dos años de edad después de un período seco de cuatro meses, el estrés hídrico tuvo que estar relacionado de alguna manera.

Influencia del medio ambiente en la floración. Colinos provenientes de Oxapampa, fueron sembrados dos a tres semanas después de la cosecha en la estación experimental del CIP en Huancayo, para mantener la colección de germoplasma. Se informó que algunas de las accesiones florecieron en octubre (Arbizu com. pers. 1998), sin embargo, ninguna de las accesiones de este experimento floreció en Huancayo. Se visitó la colección de germoplasma en Huancayo en mayo de 1998, aquí se observaron las plantas en floración. No obstante, sólo dos de las accesiones que se vieron florecer en esa época volvieron a florecer en octubre (observación personal, 1998).

El hecho de que los colinos con el mismo origen no hayan florecido en otro ambiente, nos hace preguntarnos si el medio ambiente tiene influencia en la inducción de la floración, ya que Huancayo tiene clima más frío que San Ramón. El excesivo calor en San Ramón pudo tener una influencia negativa en la inducción de la floración de algunas de las accesiones y positiva en la floración de otras.

En 1996, Blas (com. pers. 1998), como se mencionó anteriormente, observó que 15 de un total de 66 accesiones florecieron espontáneamente en diferentes medio ambientes (Lima y Huancayo). Se observó que la floración fue mayor en Huancayo, donde hay una menor temperatura diurna en promedio con respecto a Lima. Estas observaciones, en combinación con los resultados del presente estudio indican que la temperatura tiene de hecho un efecto en la inducción de la floración y el desenvolvimiento de las plantas. Por consiguiente, se requiere de una temperatura moderada durante el periodo de estrés y crecimiento. Si la temperatura es muy alta, las plantas mueren debido al deterioro o su desenvolvimiento no es el óptimo.

Flores. El porcentaje de flores hermafroditas varía considerablemente entre clones, la accesión ABS 5527 presenta un mayor porcentaje de flores bisexuales con respecto a las otras dos accesiones. Hermann (1997) da como un rango normal un porcentaje de 15-25 % de flores bisexuales, pero también informó sobre una accesión que tenía cerca de 85-90 % de flores bisexuales. En el presente experimento, el porcentaje de flores varió entre 6 y 28 %.

Los dos tratamientos de deshidratación tendieron a producir mayor número de flores bisexuales con respecto al control y a las plantas en el tratamiento frío/tibio, por consiguiente, la deshidratación influyó en el número de flores hermafroditas y en consecuencia en el potencial de semillas. El número de observaciones disminuye desde la umbela 1-3. Además, la desviación estándar aumenta indicando una gran variación entre plantas.

El número total de flores por planta en la accesión ABS 5501 es parcialmente bajo, debido al poco desarrollo de la tercera umbela. El número de flores fue generalmente muy bajo para esta accesión. El número total de flores por planta no difiere mucho entre las otras dos accesiones, aunque la accesión ABS 5516 produjo más flores que la accesión ABS 5527. Rousi *et al.* (1986) informaron sobre una diferencia genética relacionada a la diferencia en el número de flores en accesiones de ulluco. Novita *et al.* (1996) realizaron observaciones similares con respecto a la producción de flores entre los clones de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).

Umbelas y umbeletas. Las plantas del presente experimento no produjeron tantas umbelas como las reportadas por Bajaña (1994) y Hermann(1997), quienes informaron acerca de más de 30 umbelas por brote generativo. Por observación personal se informó hasta de 20 umbelas o brotes generativos. La diferencia se debe probablemente a la longitud del periodo de crecimiento, que parece haber sido influenciado por el medio ambiente en el presente experimento. Parece que las altas temperaturas tuvieron un efecto negativo en el desenvolvimiento de la planta. La temperatura promedio en San Ramón fue alta (21-30 °C) comparada con las condiciones normales de crecimiento.

El número de umbeletas varió entre 7 y 12, la primera umbela produce menos umbeletas que las otras dos umbelas. Bajaña (1994) y Hermann (1997) observaron situaciones similares: 7-11 y 8-14 respectivamente.

Variables medidas al final del experimento. Las variables indican una clara diferencia entre las accesiones; ABS 5501 tiene los menores valores en todas las variables medidas; ABS 5516 parece ser la más vigorosa ya que tiene los valores más altos de todas las accesiones. Además, la deshidratación en el ambiente frío/tibio parece dar valores más altos que la deshidratación en el exterior a pesar de que esta situación no se presenta en el caso del porcentaje de flores bisexuales.

Todas las diferencias morfológicas y de respuesta pueden ser debidas a la variabilidad genética. Sin embargo, no se puede asegurar si las diferencias morfológicas descritas son expresiones de las diferencias reales entre accesiones, debido a que los factores medio ambientales pueden haber tenido un efecto negativo, o las diferencias se puedan deber a que los tratamientos no fueron óptimos para algunas de las accesiones.

Producción de semillas. No se produjeron semillas en el presente estudio, probablemente debido a las altas temperaturas y la baja humedad, como lo observó Hermann (1997). Estas condiciones medio ambientales causaron la desecación del estilo y las anteras. Maza (com. pers1998) informa que las plantas cultivadas en la Universidad del Cusco produjeron pocas semillas, mientras que las que se cultivan en un valle cercano donde la humedad es mayor y las temperaturas son menores, producen un número elevado de semillas. Arbizu (com. pers. 1998) observó la formación de semillas en Huancayo, en octubre de 1998; observaciones personales similares se hicieron en Huancayo en mayo de 1998. Aparentemente, la temperatura tiene influencia en la producción de semillas.

Conclusiones

No se puede hacer un protocolo final de inducción de la floración en arracacha a partir del presente estudio.

La deshidratación de los colinos pareció tener un efecto positivo para algunas accesiones y un efecto negativo o negligente en otras. La amplia diferencia en la facultad de florecer entre las accesiones en floración indica que algunas están más dispuestas a florecer que otras, lo que podría deberse a la diferencia genética entre accesiones.

Al parecer, la deshidratación no es la única variable que juega un papel influyente en la floración, también tiene efecto la temperatura. La temperatura elevada durante el presente experimento tuvo un efecto negativo en la liberación de polen y la producción de semillas.

Los tratamientos de deshidratación tienen un efecto positivo en la producción de flores bisexuales en todas las accesiones.

Hay diferencias morfológicas claras entre las accesiones. La accesión ABS 5516 es la más vigorosa y tiene los valores más altos en todas las variables medidas, excepto en el porcentaje de flores bisexuales.

Referencias bibliográficas

- Bajaña, D.F. 1994. Efectos de factores ambientales sobre la floración de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). Thesis, Licenciado Biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Biologías, Quito, Ecuador. 116 p.
- Boyle, T.H. 1995. Flowering response of easter cactus clones at optimal and supraoptimal temperatures. *HortScience* 30, 3: 613-616.
- Bradford, K.J.; T.C. Hsiao. 1982. Physiological responses to moderate water stress. In: *Physiological Plant Ecology II, Water relations and carbon assimilation*. Lange, O.L., N.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Zeiger (eds). p. 263-324.
- Bristol, M.L. 1988. Edible Arracacha of the Sibundoy. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 16, 63: 1107-1110.
- Câmara, F.L.A. 1992. Enraizamento e produção de mandiocinha-salsa em função da posição do propagulo na touceira. *Horticultura Brasileira* 10, 1: 42.
- Degras, L. 1993. The growth and development of yams. In: *The yam. A tropical root crop*. Coste, R. (ed.). The Macmillian Press Ltd., London. p. 130-181.
- Grau, A.; J. Rea. 1997. Yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. and Endl.) H. Robinson). In: *Andean roots and tubers: Aphia, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Hermann, M. and J. Heller (eds.). 21 Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. p. 199-242.
- Hadley, P.; J.H.H. Yapp. 1993. Measurement of physiological parameters with respect to yield. International workshop on conservation, characterisation and utilisation of cocoa genetic resources in the 21st Century – Proceedings. 13-17 Sep. 1992. St. Augustine, Trinidad. pp. 121-138 (summary).
- Hall, M.R. 1987. Short duration pre-sprouting enhances sweet potato plant production. *Hort. Science* 22, 2: 314.
- Hermann, M. 1997. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). In: M. Hermann and J. Heller (eds.). *Andean roots and tubers: Aphia, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Institute of Plant

- Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. p. 75-172.
- Higuira, F. 1970. Arracacha. Programa Nacional de Hortalizas y Frutales. Horticultura. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, Bogotá, Colombia. p. 45-48.
- Hodge, W.H. 1954. The edible Arracacha - a little known root crop of the Andes. *Economic Botany* 8: 195-221.
- Meza, G. 1995. Variedades nativas de virraca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Cusco. Centro de Investigaciones en Cultivos Andinos, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Peru. 14 p.
- National Research Council. 1989. Arracacha. In: Lost crops of the Incas. Little known plants of the Andes with promise for world wide cultivation. National Academy Press. Washington. p. 46-55.
- Novita, L., A. Hatana and Suharsono. 1996. Cross compatibilities among orange-flesh sweet potato clones. *Hayati* 3, 2: 37-42 (Summary).
- Pardales, J.R. 1981. Floral morphology and biology, fruit and seed set, seed germination and seedling development of taro. *Annals of Tropical Research* 3: 169-176.
- Plasencia, G.; V. Huertas. 1986. Estudio fisiológico de la floración premature 52 clones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). In: Anales de V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos, Puno, Peru, 10-14 Marzo 1986. p. 231-232.
- Pooler, M.R.; P.W. Simon. 1993. Garlic flowering in response to clone, photoperiod, growth temperature and cold storage. *HortScience* 28, 11: 1085-1086.
- Rousi, A.; J. Salo; R. Kalliola; P. Jokela; L. Pietila ;M. Yil-Rekola. 1986. Variation patterns in ulluco (*Ullucus tuberosus* - Basellaceae), a supposedly asexual Andean tuber crop. *Acta Horticulturae* 182: 145-152.
- Santos, F.F. 1997. Utilização de mudas juvenis e do pre-enraizamento no impedimento da floração em mandioquinha-salsa. Informe Agropecuário, Belo Horizonte 19, 190: 27-34.
- Zanin, A.C.W; V.W.D. Casali. 1984. Efeitos climáticos sobre da mandioquinha-salsa. Informe Agropecuário, Belo Horizonte 10, 120: 13-15.