

---

## **Efectos de la temperatura sobre las características físicas de granos actuales de *Chenopodium quinoa* Willd (quínoa)**

---

M Gabriela Aguirre<sup>1</sup>; Andrea Bertelli<sup>2</sup>; Agustina Alarcón<sup>2</sup>; María Domínguez<sup>2</sup>; Andrea Campy<sup>2</sup>; Florencia Carrasco<sup>2</sup>; Guadalupe Argañaraz<sup>2</sup> y Florencia Borsella<sup>2</sup>

### **Resumen**

La quínoa forma parte de la dieta de numerosas poblaciones andinas desde momentos prehispánicos hasta hoy y su consumo requiere la desaponificación de los granos mediante el escarificado y/o lavado. En Argentina se han registrado restos disecados y carbonizados de esta planta en distintos contextos arqueológicos. Teniendo esto en cuenta, el objetivo de este trabajo es describir el estado de preservación y los efectos de la temperatura sobre las características físicas de granos actuales de quínoa luego de ser sometidos a exposiciones térmicas controladas en laboratorio. Esta experimentación permite concluir que a bajas temperaturas, no se observan indicios macroscópicos de la acción del calor sobre los granos pero sí variaciones de tamaño, mientras que a mayores valores de temperatura el calor ocasiona modificaciones que se aprecian a simple vista. Estas observaciones alertan sobre la importancia de generar colecciones de referencia útiles al momento de realizar interpretaciones arqueológicas.

**Palabras clave:** *Chenopodium quinoa*. Quínoa. Arqueología experimental. Arqueobotánica.

### **Abstract**

The quinoa is part of the Andean population's diet since pre-Hispanic times until the present. Its consumption requires the desaponification by scarifying and/or washing the grains. Charred and dry preserved remains of this plant have been found in Argentine in different archaeological contexts. Considering this, the aim of this paper is to describe the preservation state and the effects of the temperature on the physical features of current quinoa grains after controlled thermal exposures in the laboratory. The results of this experimentation show that the macroscopic traces of heat on grains cannot be observed in low temperatures, but it is possible to see the variations of size, while higher temperature produces macroscopic alterations on the grains. These observations alert about the importance of useful reference collections in archaeological interpretations.

**Keywords:** *Chenopodium quinoa*. Quinoa. Experimental archaeology. Archeobotany.

---

<sup>1</sup> Cátedra de Bioarqueología. Facultad de Ciencias Naturales e IML. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Miguel Lillo 205. CP 4000. Tucumán. mgabaguirre@hotmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales e IML. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina

## INTRODUCCIÓN

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) forma parte de la dieta de distintas poblaciones andinas desde momentos prehispánicos hasta la actualidad, su cultivo se extiende desde el Norte de Colombia hasta el Sur de Chile siendo el rango altitudinal más óptimo entre los 2.500 a 3.800 msnm (Mujica y Jacobsen 2006).

Hunziker (1952) considera que su centro de origen fueron las montañas de Ecuador, Perú y Bolivia siendo *Chenopodium hircinum* la especie silvestre más afín y *Chenopodium quinoa* var. *melanospermum* (Ashpa Quinoa) un eslabón entre quínoa y *C. hircinum*. Actualmente existen cinco grupos principales de quínoa (Tagle y Planella 2002; Valencia Chamorro 2004): 1-del nivel del mar (Chile), 2-de valles andinos que crecen en los altos valles de Perú, Ecuador, este de Bolivia y sur de Colombia, en altitudes que varían entre los 2.100 y 3.900 msnm, 3-de altiplanos, propias de las altas montañas del sur de Perú, oeste de Bolivia, Norte de Chile y Argentina en alturas que sobrepasan los 3.600 msnm., 4-de salares (Bolivia) asociadas a salares del SO de Bolivia que crecen entre los 3.000 y 3.600 msnm y 5-de cejas de selva o yungas (Bolivia) adaptadas a cotas bajas, 1.800 y 2.300 msnm.

La riqueza nutritiva de sus granos reside en los carbohidratos, principalmente almidón, grasas y proteínas que contienen. La palatabilidad de los mismos disminuye si la saponina (glucósido) ubicada en el perisperma de la semilla no se elimina. De acuerdo a la cantidad de saponina, la quínoa se clasifica en: quínoa libre (0% de saponina), quínoa dulce (menos de 0.06% de saponina) y quínoa amarga (más de 0.16% de saponina) (Romo *et al.* 2006). Para obtener granos aptos para la alimentación humana, la desaponificación se lleva a cabo siguiendo diferentes métodos: escarificado, lavado o combinación de escarificado/lavado (Nieto y Vimos 1992) presentado cada uno de ellos ventajas y desventajas (Romo *et al.* 2006).

Desde el punto de vista arqueológico, en la Argentina se han registrado semillas, restos de panojas y tallos relacionados a distintos contextos de recuperación y cronología (Babot *et al.* 2013; Aguirre 2012; Caló 2010; Rodríguez *et al.* 2006; Gambier 2002; Hunziker 1943). Así, atendiendo a que las semillas arqueológicas de quínoa pueden preservarse disecadas o carbonizadas y que dentro de las prácticas de postcosecha actuales el tostado se lleva a cabo para obtener harinas (Romo *et al.* 2006), el objetivo de este trabajo es describir el estado de preservación y efectos de la temperatura sobre las características físicas de semillas actuales de quínoa, luego de ser sometidas a exposiciones térmicas controladas en laboratorio; para esto se diseñó un protocolo de experimentación a fin de que los resultados experimentales obtenidos brinden información macroscópica sobre los cambios que ocasiona el calor en las semillas y ayudar así, a diferenciar en el registro arqueológico a aquellos granos que pudieron estar en contacto con fuentes de calor en diversas tareas cotidianas de subsistencia.

## EXPERIMENTACIÓN Y CARPOLOGÍA

Para este estudio se optó por un abordaje experimental ya que se reconoce que en arqueología los experimentos tienen como finalidad descubrir, describir, explicar y predecir distintos aspectos relacionados a los vestigios arqueológicos (Nami 1991) y proveer un camino para examinar supuestos arqueológicos sobre el comportamiento humano en el

pasado (Coles 1979). Por otra parte, la arqueología experimental, en tanto rama de la arqueología, incluye la replicación, el análisis y/o la interpretación de materiales arqueológicos por medio de la experimentación científica (Ascher 1961).

De acuerdo a Scarano *et al.* (1994), las investigaciones científicas experimentales pueden sintetizarse en las siguientes formas: el estudio observacional controlado: “que consiste en la búsqueda de variadas situaciones para determinar si un fenómeno se produce uniformemente de la misma manera, si el mismo varía, o bien si tiene lugar sólo en algunos casos pero no en otros” (Scarano *et al.* 1994:192). Por otra parte, en los experimentos de campo el sistema experimental es “conscientemente seleccionado, estable y controlable; además se puede describir precisamente y variar dentro de cierta gama uno o varios factores” (Scarano *et al.* 1994:193). Por último, en los experimentos en sentido estricto, “el experimentador puede manipular a voluntad, aunque sólo dentro de determinados límites, ciertos aspectos de una situación (factores o variables) de los que supone que constituyen las condiciones para la aparición de los fenómenos estudiados” (Scarano *et al.* 1994:193).

Se reconocen diferentes estudios que han conjugado en el análisis de los carporestos, las vías experimentales, tafonómicas y arqueológicas. Así, se han diferenciado semillas silvestres de semillas cultivadas (Mangafa y Kotsakis 1996), se asignaron restos vegetales arqueológicos a niveles específicos (Planella *et al.* 2012), se distinguió semillas carbonizadas por procesos postdepositacionales (Sievers y Wadley 2008) y se generaron descripciones referidas a las alteraciones físicas y químicas que experimentan diferentes tipos de semillas en carbonizaciones bajo condiciones de laboratorio (Braadbaart *et al.* 2007). Por otra parte, distintos autores reconocen que en el proceso de carbonización son variables importantes la estructura, humedad de las semillas (Guarino y Sciarriello 2004; Gustafsson 2000), la temperatura y la duración de la exposición (Wright 2003). Estos dos últimos factores intervienen en la preservación o no de las plantas luego de una exposición térmica (Wright 2003).

## EXPERIMENTACIÓN

Para realizar esta investigación se tomó como referencia general el estudio de Wright (2003) quien experimentó en laboratorio con distintos tipos de semillas, entre ellas de *Chenopodium*. En el estudio que llevamos a cabo se utilizaron 140 granos de *Chenopodium quinoa* obtenidas en la localidad de Tilcara (Provincia de Jujuy, Argentina). Desde el punto de vista botánico, el fruto de la quinoa es un aquenio cubierto por el perigonio cuyo color puede ser verde, púrpura o rojo. El pericarpio está pegado a la semilla y presenta alvéolos, mientras que esta se presenta envuelta por el episperma que forma una membrana delgada. El embrión está integrado por los cotiledones y la radícula y constituye la mayor parte de la semilla envolviendo al perisperma como un anillo. Se pueden considerar tres tamaños de granos: tamaño grande de 2,2 mm a 2,6 mm; tamaño mediano de 1,8 mm a 2,1 mm y tamaño pequeño menor a 1,8 mm (Tapia *et al.* 1979). De acuerdo a Stikic *et al.* (2012) las semillas contienen un 10,87% de humedad, 17,41% de proteínas, 4,79 % de aceites, 10,32 % de fibras, 7,06 de cenizas y 49,55 % de almidón.

*Mediciones:* Las semillas fueron medidas con calibre marca Vernier a 0,02 mm de precisión antes y luego de ser expuestas al calor. Las medidas que se contemplaron fueron 3: D1 corresponde al ancho del grano, D2 al largo y E es el espesor (Fig. 1).

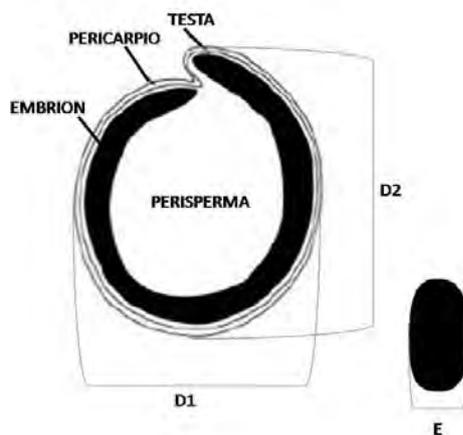


Figura 1: Medidas contempladas en este estudio y principales tejidos que integran el grano de quínoa. Tomado y modificado de Bruno y Whitehead (2003)

**Condiciones de carbonización:** La carbonización se realizó en mufla (Tecno Dalvo HM1) y se tuvieron en cuenta las siguientes variables: A-*Temperatura*. El rango considerado fue de 100°C a 700°C, a intervalos de 100°C. B-*Tiempo de exposición*. El tiempo fue constante y cada experimento se extendió durante 5 minutos. C-*Atmósfera*: Se buscó recrear dos tipos de atmósferas, una oxidante, es decir, un estado de aire con cantidades significativas de oxígeno, para esto se depositaron los granos sin ningún tipo de tratamiento en un crisol, mientras que para la atmósfera reductora o atmósfera sin cantidades significativas de oxígeno y otros vapores, las semillas se cubrieron con arena dentro del recipiente.

Luego de realizada la experiencia, las semillas se observaron bajo lupa binocular Arcano a 20x y 40x, se fotografiaron y los datos se tabularon. A partir de la observación macroscópica del material vegetal se definieron distintos estados de preservación para las semillas expuestas al calor:

- Estado no carbonizado: semillas que no presentan coloración negra.
- Estado tostado: semillas de color marrón.
- Estado carbonizado: semillas reducidas al estado de carbón, el material en su totalidad toma color negro.
- Estado ceniza: semillas reducidas a polvo producto de una combustión completa.

## RESULTADOS

En las Tablas 1 y 2 se sintetizan los resultados obtenidos al exponer los granos a diferentes temperaturas en una atmósfera reductora y oxidante respectivamente.

Atmósfera reductora											
Temperatura	Número de individuos recuperados/Parte anatómica	Forma	Peso		Tamaño						Estado de preservación
			inicial	final	inicial			Final			
					D1	D2	E	D1	D2	E	
100°C	10/ grano	lenticular	0,15	0,15	2,3	2,2	1,3	2,3	2,28	1,3	No carbonizado
200°C	10/ grano	lenticular	0,17	0,17	1,925	2,1	1,175	2,14	1,99	1,2	No carbonizado
300°C	10/ grano	lenticular	0,21	0,2	2,066	2,233	1,266	2,13	2,113	1,193	Tostado
400°C	x	masa de granos	0,17	0,15	2,333	2,366	1,4	x	x	x	Carbonizado
500°C	x	masa de granos	0,15	0,07	2,22	2,14	1,3	x	x	x	Carbonizado
600°C	x	masa de granos	0,15	0,04	2,12	2	1,28	x	x	x	Carbonizado
700°C	5 /embrión	curvo	0,17	0,15	2,34	2,1	1,3	x	x	x	Carbonizado

Tabla 1: Valores obtenidos para atmósfera reductora

Atmósfera oxidante											
Temperatura	Número de individuos recuperados/Parte anatómica	Forma	Peso		Tamaño						Estado de preservación
			inicial	final	inicial			Final			
					D1	D2	E	D1	D2	E	
100°C	10/ grano	lenticular	0,16	0,16	2,3	2,066	1,266	2,146	2,193	1,2	No carbonizado
200°C	10/ grano	lenticular	0,18	0,17	2,25	2,1	1,15	2,38	2,3	1,1	No carbonizado
300°C	10/ grano	lenticular	0,19	0,19	2,166	2,266	1,2	2,26	2,186	1,23	Tostado
400°C	x	masa de granos	0,17	0,15	2,333	2,333	1,26	x	x	x	Carbonizado
500°C	x	masa de granos	0,16	0,15	2,2	2,1	1,2	x	x	x	Carbonizado
600°C	x	masa de granos	0,17	0,14	2,32	2	1,3	x	x	x	Carbonizado
700°C	2 /embrion	curvo	0,17	0,15	2,18	2,2	1,24	x	x	x	Carbonizado/ceniza

Tabla 2: Valores obtenidos para atmósfera oxidante

Para el primer tipo de atmósfera se observa que entre los 100°C y 300°C se recuperó el total de los granos empleados en el experimento mientras que entre los 400°C y 600°C no es posible diferenciar claramente a cada individuo ya que los mismos se transformaron en una masa de granos carbonizados, por último, a los 700°C solo se recuperaron 5 embriones de los 10 granos considerados inicialmente. La forma lenticular característica de la Quínoa se mantuvo solamente hasta los 300°C. Así, los estados de preservación registrados son: no carbonizados entre 100°C-200°C, tostado a los 300°C y carbonizado de 400°- 700°C (Fig. 2).

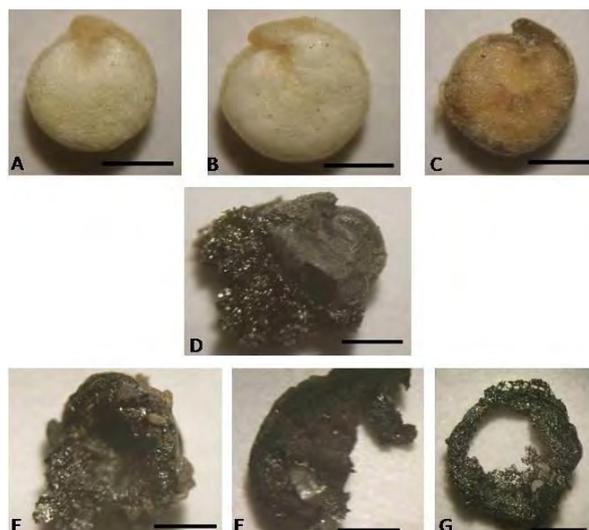


Figura 2: Granos con distintos grados de termoalteración. Atmósfera Reductora. A- granos expuestos a 100°C, B- granos expuestos a 200°C, C- granos expuestos a 300°C, D- granos expuestos a 400°C, E- granos expuestos a 500°C, F- granos expuestos a 600°C y G- granos expuestos a 700°C. A y B estado no carbonizado, C estado tostado, D a G estado carbonizado. Las barras equivalen a 1 mm

El peso y el tamaño de los granos también presentaron cambios. En cuanto al primero, a los 100°C y 200°C no hubo modificación del mismo, a los 300°C y 400°C el peso final se redujo levemente, a los 500°C y 600°C se redujo aproximadamente en un 60% mientras que a los 700°C el peso se redujo pero no significativamente ya que los restos carbonizados se encontraban pegados a las partículas minerales utilizadas para recrear la atmósfera reductora, por lo tanto, no se pudo realizar una correcta toma del peso de los embriones ya que la fragilidad de los mismos impidió la separación de los granos de arena.

Con respecto al tamaño de los granos estudiados podemos decir que a los 100°C el valor de D1 y E no presentó cambios mientras que el D2 aumento un 4%, a los 200°C la medición D1 se incrementó en un 11%, D2 y E en un 2%, a los 300°C D1 se incrementó en un 3%, D2 disminuyó en un 5% y E disminuyó en un 6%, entre los 400 C° y 700°C se presenta un cambio significativo ya que las muestras se carbonizaron totalmente por lo tanto no fue posible realizar las mediciones de tamaño luego de la exposición térmica (Fig. 3).

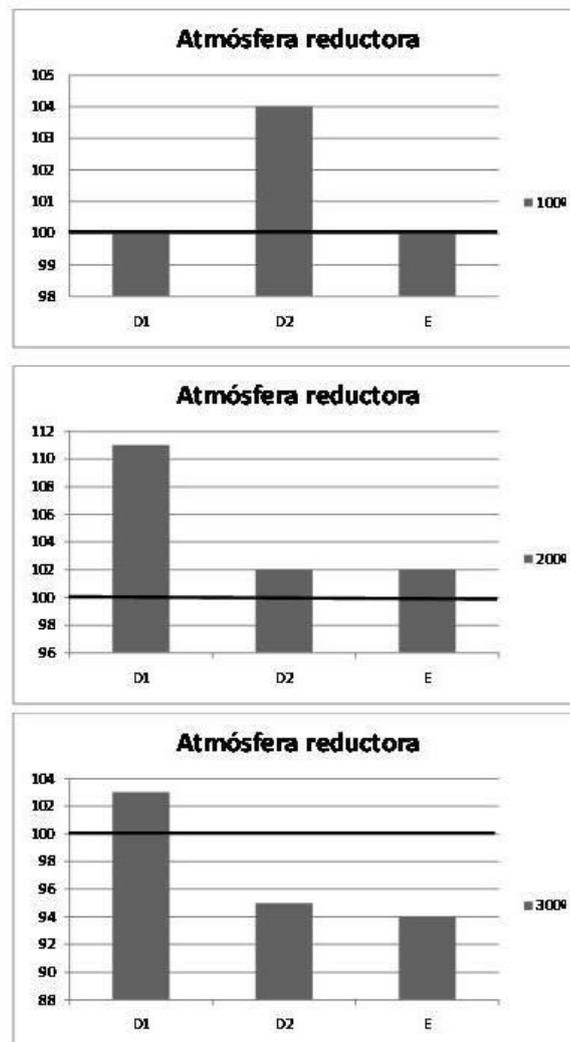


Figura 3: Valores promediados de D1, D2 y E obtenidos para la atmósfera reductora. En el eje vertical se indica el aumento, descenso o estabilidad de las medidas luego de la exposición térmica a 100°C, 200°C y 300°C

En relación a las muestras procesadas en atmósfera oxidante, entre los 100°C y 300°C se recuperó la totalidad de la muestra estudiada, entre 400°C y 600°C se registró una masa de granos y a los 700°C se recuperaron 2 embriones. En cuanto a la forma de los mismos, esta se mantuvo lenticular entre los 100°C y 300°C y a los 700°C se registra ceniza además de los restos carbonizados. El estado de preservación de estas muestras varía en: no carbonizado entre los 100°C y 200°C, tostado a los 300°C, carbonizado a los 400°C y 600° y carbonizado más ceniza a los 700°C (Fig. 4).



*Figura 4: Granos con distintos grados de termoalteración. Atmósfera Oxidante. A-granos expuestos a 100°C, B- granos expuestos a 200°C, C- granos expuestos a 300°C, D- granos expuestos a 400°C, E- granos expuestos a 500°C, F- granos expuestos a 600°C y G- granos expuestos a 700°C. A y B estado no carbonizado, C estado tostado D a G estado carbonizado. Las barras equivalen a 1 mm en A-F y a 2 mm en G*

En cuanto al peso, este se mantuvo sin cambios a los 100° y 300°C, se redujo a los 200° y entre los 400° a 700°C. Las dimensiones de las muestras indican que a los 100°C D1 disminuyó un 7%, D2 aumentó un 3% y E no se modificó, a los 200° D1 aumentó un 5%, D2 aumentó un 9% y E disminuyó un 5%. A los 300°C D1 aumentó un 4%, D2 disminuyó un 4% y el E aumentó un 2%. Entre los 400°C y 700°C la carbonización modificó las muestras impidiendo las mediciones (Fig. 5).

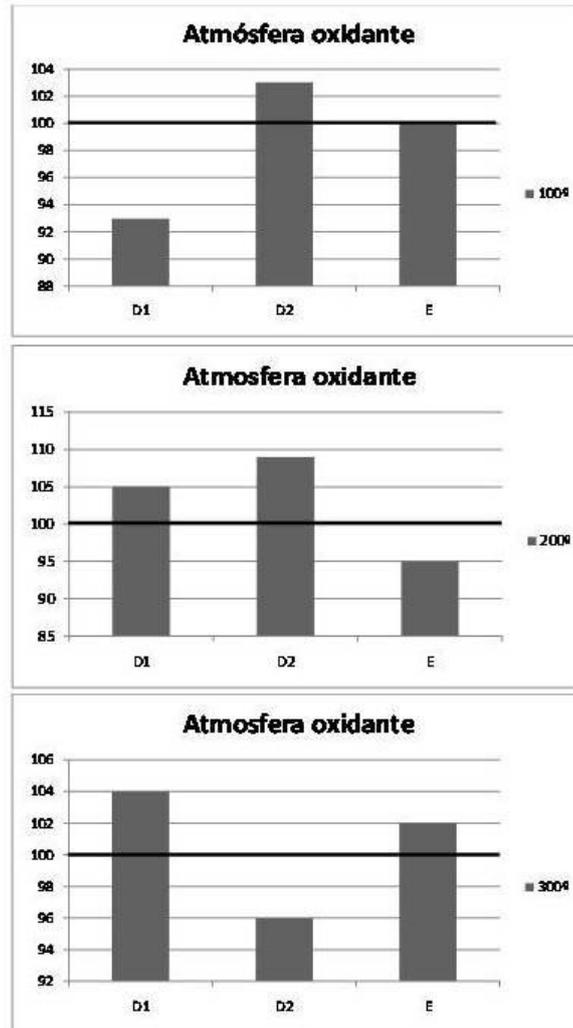


Figura 5: Valores promediado de D1, D2 y E obtenidos para la atmósfera oxidante. En el eje vertical se indica el aumento, descenso o estabilidad de las medidas luego de la exposición térmica a 100°C, 200°C y 300°C

Otras observaciones de tipo cualitativo para ambos tipos de atmósferas se relacionan con que entre los 100° y 200°C se observa un obscurecimiento del embrión el cual se torna de color marrón, a los 300°C los granos tostados muestran sectores donde el pericarpio es discontinuo (Fig. 4c), a los 400°C los granos reventaron quedando expuesto y carbonizado el perisperma (Fig. 4d) formado lo que se denominó anteriormente como masas de granos (Fig. 4e). Estos granos carbonizados han perdido su utilidad diagnóstica y la fragilidad de los mismos disminuye la probabilidad de recuperación en un contexto arqueológico, situación similar es la de los embriones recuperados a 700°C, los cuales, sin embargo, representan la única estructura anatómica que sobrevivió a la temperatura máxima estudiada.

En algunos granos de la muestra de 200°C de atmósfera oxidante, se observa que la cicatriz ventral de la unión del fruto con el receptáculo floral se dilató por el calor.

## DISCUSIÓN

Las exposiciones térmicas llevadas a cabo en dos tipos de condiciones de atmósfera permitieron registrar cuatro estados de preservación de los granos de quínoa. El estado no carbonizado se logró a las temperaturas más bajas (100°C-200°C), a escala macroscópica, los granos de este estado no presentan diferencias de color y forma como tampoco de peso con respecto a los granos sin tratamiento térmico. Para este estado solo se registraron diferencias entre el tamaño inicial y final de los granos, pero sobre este punto y sus implicancias volveremos más adelante. En tanto que el estado tostado (300°C) se asignó a semillas de color marrón que se presentan muy similares a granos de ecotipos de Quínoa de color marrón-café descritas por ejemplo, en el *Catálogo de Quínoa Real* (2004). En cuanto a los estados *carbonizado* y *ceniza*, la acción de la temperatura cambió totalmente la apariencia de los granos. Estos resultados nos motivan a plantear que a valores menores de 300°C la falta de una colección de referencia experimental puede llevar al investigador a confundir semillas disecadas naturalmente con semillas termoalteradas por el contacto directo o cercano a fuentes de calor. En este sentido, las variaciones observadas con respecto al cambio del color del embrión podrían ser una forma cualitativa de diferenciar semillas termoalteradas de semillas disecadas. Por otra parte, autores como Piqué i Hurta (1999) y Badal *et al.* (2003) mencionan que la carbonización ayuda en la preservación de los restos vegetales, principalmente si el proceso se detiene en la deshidratación y torrefacción (tostado) ya que este último permite conservar la morfología de los frutos lo cual hace posible la asignación taxonómica. Coincidimos con lo propuesto por estos autores pero destacamos que es importante además, contar con diversas muestras de referencia del taxón en estudio, principalmente cuando existe variabilidad en el color de los granos tal como ocurre con la quínoa ya que como se mencionó anteriormente, la deshidratación y el tostado pueden ocasionar cambios muy sutiles entre el material de referencia y el termoalterado. Por otra parte, consideramos que la propiedad conservativa de la carbonización es relativa, por lo menos para el caso de la quínoa, ya que experimentalmente hemos registrado cambios totales en los ejemplares carbonizados, estos han perdido sus rasgos diagnósticos y han adquirido una fragilidad que impidió la manipulación de los mismos en laboratorio, por esto, la supervivencia y recuperación de restos carbonizados de quínoa, requeriría a nuestro entender, contextos particulares o discretos de hallazgo, como por ejemplo ofrendas, enterratorios o presentarse depositados en el interior de contenedores de uso doméstico.

En cuanto a los datos morfométricos generados, solo es posible hacer inferencias hasta los 300°C ya que a mayor temperatura la apariencia de los granos se modificó completamente. La forma lenticular se mantuvo hasta la temperatura antes mencionada pero las medidas promediadas (D1, D2 y E) dieron resultados variables. El espesor no muestra tendencias ni relaciones directas con respecto al incremento de temperatura cada 100°C, en cambio si se observan similitudes en el comportamiento de D2 (largo) para ambas atmósferas y en D1 (ancho) para la atmósfera oxidante y reductora a partir de los 200°C. Esta variabilidad en cuanto a los datos métricos obtenidos presenta similitudes con lo observado por López (2010) quien registró bajo condiciones de carbonización, cuatro situaciones diferentes: aumentos del diámetro y espesor de los granos, disminución del diámetro y del espesor, variación solo del espesor y aumento del diámetro con disminución del espesor de los granos. A diferencia de esta autora, que solo trabajó con el rango 350°C-400°C, nuestros ensayos nos permitieron hacer un seguimiento de las variaciones morfométricas de los granos cada 100°C por lo cual consideramos que la tendencia y modificaciones

experimentales observadas con respecto a las medidas D2 y D1 se relacionan con la estructura anatómica del grano de quínoa. Así, se reconoce que el pericarpio representa el tejido más externo del fruto, seguido hacia adentro por la testa, endosperma, embrión y perisperma (Gallardo *et al.* 1997). El embrión ocupa el 34% de la superficie de la semilla y rodea al perisperma que representa el 60% de la superficie del grano, entre ambas estructuras no existen conexiones ni contactos vasculares (Gallardo *et al.* 1997). Los resultados obtenidos muestran que a los 100°C no hay modificaciones significativas en las dimensiones de los granos, entre los 200° y 300° C la medida D1 se incrementa y esto podría relacionarse con lo propuesto por Cauna *et al.* (2010) quienes para el tostado de *Chenopodium palidicaulle* (Cañahua) mencionan un aumento del índice de expansión de la semilla entre los 130° y 160°C ya que el calor expande y destruye la estructura cristalina de los gránulos del almidón que al igual que en quínoa se depositan en el perisperma. Luego, a partir de los 400°C o a valores inferiores próximos, hemos observado que se produciría el desgarramiento de los tejidos del grano en sentido longitudinal siendo el perisperma expulsado del interior de los mismos. De acuerdo a lo observado en laboratorio, la apertura longitudinal de los aquenios estaría favorecida por la ausencia de tejidos que conectan embrión y perisperma.

Luego de los ensayos realizados coincidimos con Wright (2003) al cuestionar el uso de la morfometría como herramienta para diferenciar individuos silvestres de domesticados, principalmente para quínoa, cuyos granos pueden agruparse en tres tamaños (Tapia *et al.* 1979). Este dato, entonces, introduce una mayor variabilidad al momento de tratar de ubicar un resto arqueológico de este taxón en la categoría domesticado o silvestre. Registramos experimentalmente que las variaciones de las medidas D1, D2 y E pueden llevar a ubicar a los granos termoalterados a bajas temperaturas, dentro de rangos de tamaño que no corresponden a los que naturalmente deberían tener. Estas complicaciones derivadas del uso de las medidas de diámetro de grano fueron planteadas inicialmente por Smith (1984) y luego por Eisentraut (1997) quienes reconocen la imposibilidad de diferenciar a partir del diámetro de la semilla, a las especies domesticadas de *Chenopodium* para América, al tiempo que sugieren para tal fin, el empleo de otro rasgo denominado grosor de la testa. Investigaciones posteriores como las de Bruno (2005, 2006) dieron resultados positivos al utilizar ese rasgo en la diagnosis silvestre-domesticado.

En cuanto al tiempo de exposición térmica, estudios efectuados por otros investigadores han considerado diferentes tiempos, Braadbaart *et al.* (2007) emplearon 60 minutos en sus estudios, Wright (2003) 5 y 50 minutos, López (2010) 50 minutos mientras que Mangafa y Kotsakis (1996) detuvieron los ensayos cuando las semillas estuvieron totalmente carbonizadas. En nuestro caso de estudio, el tiempo considerado (5 minutos) se estableció para poder realizar un seguimiento de las modificaciones físicas que experimentarían los granos cada 100°C. Al mantener el tiempo estable, consideramos que la temperatura es un factor importante en la carbonización como también la anatomía del taxón considerado, así, los tejidos que integran el grano de quínoa son suaves y constituidos por pocas capas que pueden eliminarse fácilmente, según Prego *et al.* (1998), por ejemplo, el pericarpio y la testa están integrados cada uno de ellos por solo dos capas de células, mientras que las células que forman el perisperma son delgadas, todo esto contribuye a que estos granos sean poco resistentes al calor por lo cual una exposición a mayores tiempos y altas temperaturas llevará a la desintegración de los individuos. En este sentido, hemos observado que el embrión ha sido la única estructura recuperada a 700°C y 5 minutos de exposición.

En esta supervivencia podría intervenir la composición química de los mismos ya que las paredes de sus células están formadas por proteínas y lípidos.

## CONCLUSIONES

La importancia de los trabajos experimentales reside en que permiten examinar supuestos arqueológicos y contribuir así, a la construcción de marcos de referencia acerca del comportamiento humano en el pasado (Ascher 1961, Coles 1979, Nami 1991). El objetivo planteado en esta investigación se abordó desde una perspectiva experimental y los resultados obtenidos se utilizaron para elaborar observaciones útiles para las investigaciones arqueológicas de los Andes meridionales, área geográfica donde pueden identificarse restos arqueológicos de *Chenopodium quinoa*.

Desde el punto de vista arqueológico, para nuestro país los contextos de hallazgo de quínoa reconocidos hasta el momento dan cuenta de restos no carbonizados (Babot *et al.* 2013, Rodríguez *et al.* 2006) y carbonizados de quínoa (Caló 2010), por lo cual los resultados obtenidos en este estudio pueden contribuir a aproximarnos a estimar los valores de temperatura a los que pudieron quedar expuestos los granos en un contexto sistémico.

Se concluye que en el proceso de carbonización son factores importantes el tamaño y anatomía del taxón estudiado y la temperatura y tiempo de exposición en tanto factores externos del proceso.

La experiencia realizada contribuye a percibir la importancia de generar colecciones de referencia experimentales en el marco de los estudios arqueobotánicos ya que estas permiten generar hipótesis de trabajo relacionadas a los factores naturales y sociales que ocasionaron las modificaciones externas que algunos restos vegetales pueden evidenciar.

A modo de cierre, consideramos que las muestras procesadas en este estudio experimental constituyen una colección de referencia realizada de manera sistemática que abre la necesidad de realizar a futuro, el análisis microscópico de estos granos procesados térmicamente.

## Agradecimientos

Al Instituto de Arqueología y Museo de Universidad Nacional de Tucumán por facilitar el uso de los equipos de laboratorio y a la Cátedra de Bioarqueología de la U. N. T. por brindar el espacio físico de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, M. G. (2012): *Recursos vegetales: uso, consumo y producción en la Puna meridional argentina (5000-1500 AP)*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, La Plata. Ms.
- ASCHER, R. (1961): "Experimental Archaeology". *American Anthropologist* 63 (4): 793-816.
- BABOT, M. P.; AGUIRRE, M. G. y HOCSMAN, S. (2013): "Aportes del sitio Punta de la Peña 9 (Puna de Catamarca) acerca del uso y producción prehispánica de Quinoa". En: *Libro de Resúmenes del Simposio Internacional Quinoa, Jujuy, Argentina*: 65-66. Talleres Gráficos de la UNJu.
- BADAL, E.; CARRIÓN, D.; RIVERA, D. y UZQUIANO, P. (2003): "La arqueobotánica en cuevas y abrigos: objetivos y métodos de muestreo". En: R. BUXÓ y R. PIQUÉ. (eds.): *La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas la gestión de los recursos vegetales y la transformación del paleopaisaje en el mediterráneo occidental*: 19-29. Museo d'Arqueologia de Catalunya, Barcelona.
- BRAADBAART, F.; WRIGHT, P. J.; VAN DER HORST, J. y BOON, J.J. (2007): "A laboratory simulation of the carbonization of sunflower achenes and seeds". *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 78: 316-327.
- BRUNO, M. (2005): "¿Domesticado o silvestre? resultados de la investigación de semillas de *Chenopodium Chiripa*, Bolivia (1500–100 A.C.)". *Textos Antropológicos* 15(2): 39-50.
- BRUNO, M. (2006): "A morphological approach to documenting the domestication of *Chenopodium* in the Andes". En M.A. ZEDER; D.G. BRADLEY; E. EMSHWILLER y B.D. SMITH (eds.): *Documenting domestication: new genetic and archaeological paradigms*: 32–45. Berkeley, University of California Press.
- BRUNO, M. y WHITEHEAD, W. (2003): "*Chenopodium* cultivation and formative period agriculture at Chiripa, Bolivia". *Latin American Antiquity* 14(3): 339-355.
- CALÓ, C. M. (2010): *Plantas útiles y prácticas cotidianas entre los aldeanos al sur de los Valles Calchaquíes (600aC-900 dC)*. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Ms.
- CAUNA, R.; LUNA MERCADO, G.; BRAVO PORTOCARRERO, R.; MAYTA HANCCO, J.; CHOQUE YUCRA, M. y IBÁÑEZ QUISPE, V. (2010): "Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua *Chenopodium pallidicaule* Aellen)". *CienciAgro* 2(1): 188-198.
- COLES, J. (1979): *Archaeology of experiment*. University of Cambridge.
- EISENTRAUT, P. (1997): "Lake Titicaca, studying *Chenopodium quinoa*. Evidence is found for an Andean domesticate". *Backdirt* 1997. Disponible en <http://www.sscnet.ucla.edu/ioa/backdirt/fall97/cheno.html> [Fecha de acceso 25 de noviembre de 2014]
- GALLARDO, M.; GONZÁLEZ, J. y PONESSA, G. (1997): "Morfología del fruto y semilla de *Chenopodium quinoa* Wild. *Chenopodiaceae*". *Lilloa* 39 (1): 71-80.
- GAMBIER, M. (2002): "Las Quinas: un nuevo sitio de la Cultura de La Aguada en San Juan". *Estudios Atacameños* 24: 83-88.
- GUARINO, C. y SCIARRILLO, R. (2004): "Carbonized seeds in a protohistoric house: results of hearth and house experiments". *Vegetation History Archaeobotany* 13: 65-70.

- GUSTAFSSON, S. (2000): "Carbonized Cereal Grains and Weed Seeds in Prehistoric Houses: an Experimental Perspective". *Journal of Archaeological Science* 27: 65-70.
- HUNZIKER, A. (1943): "Las especies alimenticias de *Amaranthus* y *Chenopodium* cultivadas por los indios de América". *Revista Argentina de Agronomía* 10 (4): 297-354.
- HUNZIKER, A. (1952): *Los pseudocereales de la agricultura indígena de América*. Acme Agency, Buenos Aires.
- MANGAFA, M. y KOTSAKIS, K. (1996): "A New Method for the Identification of Wild and Cultivated charred Grape Seeds". *Journal of Archaeological Science* 23: 409-418.
- MUJICA, A y JACOBSEN, S. E. (2006): "La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y sus parientes silvestres". En: M. MORAES R., B. ØLLGAARD, L. P. KVIST, F. BORCHSENIUS y H. BALSLEV (eds.): *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz: 449-457.
- NAMI, H. G. (1991): "Algunas reflexiones teóricas sobre arqueología y experimentación". *Shincal* 3(1): 151-168.
- NIETO, C. y VIMOS, C. (1992): "La quínoa, cosecha y poscosecha. Algunas experiencias en Ecuador". *Boletín Divulgativo* 224: 1-35.
- PLANELLA, M. T.; COLLAO-ALVARADO, K.; NIEMEYER, H. M. y BELMAR, C. (2012): "Morfometría comparada de semillas de *Nicotiana (Solanaceae)* e identificación de semillas carbonizadas provenientes de un sitio arqueológico en Chile central". *Darwiniana* 50(2): 207-217.
- PREGO, I.; MALDONADO, S. y OTEGUI, M. (1998): "Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*". *Annals of Botany* 82: 481-488.
- PROINPA, Fundación (2004): *Catálogo de Quínoa Real*. Fundación Mc Knight-Fundación PROINPA- MACIA-SINARGEAA.
- RODRÍGUEZ, M. F.; RÚGOLO DE AGRASAR, Z. E. y ASCHERO, C. A. (2006): "El uso de las plantas y el espacio doméstico en la Puna meridional argentina a comienzos del Holoceno Tardío. Sitio arqueológico Punta de la Peña 4, capa 3x/y". *Chúngara* 38(2): 253-267.
- ROMO, S.; ROSERO, A.; FORERO, C. y CERON, E. (2006): "Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa w*) variedad piartal en los andes colombianos. Primera parte". *Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 4(1): 112-125.
- SCARANO, E. R.; PUCCIARELLI, H. M.; CRIVOS, M. y PRATI, M. (1994): "Estado actual de la experimentación antropológica en Argentina". *Interciencia* 19(4): 191-195.
- SIEVERS, C. y WADLEY, L. (2008): "Going underground: experimental carbonization of fruiting structures under hearths". *Journal of Archaeological Science* 35 (2008) 2909-2917.
- SMITH, B.D. (1984): "*Chenopodium* as a Prehistoric Domesticated in Eastern North America: Evidence from Russell Cave, Alabama". *Science* 226:165-167.
- STIKIC, R.; GLAMOCLIIJA, D.; DEMIN, M.; VUCELIC-RADOVIC, B.; JOVANOVIC, Z.; MILOJKOVIC-OPSENICA, D.; JACOBSEN, S. E. y MILOVANOVIC, M. (2012): "Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa Willd.*) as an ingredient in bread formulations". *Journal of Cereal Science* 55: 132-138.

- TAGLE, B. y PLANELLA, M. T. (2002): *La Quínoa en la zona central de Chile. Supervivencia de una Tradición Prehispana*. Editorial IKU, Santiago, Chile.
- TAPIA, M.; GANDARILLAS, H.; ALANDIA, S.; ORTIZ, R.; OTAZU, V.; REA, J.; SALAS, B. y ZANABRIA, E. (1979): *La quínoa y la kañiwa*. Cultivos andinos. Editorial IICA. Bogotá.
- VALENCIA CHAMORRO, S. A. (2004): "Quinoa". En H. CORKE, C. WALKER y C. WRIGLEY (eds.): *Encyclopedia of Grain Science*: 4885-4892. Elsevier/CRC. Australia.
- WRIGHT, P. (2003): "Preservation or destruction of plant remains by carbonization?" *Journal of Archaeological Science* 30(5): 577-583.
-