

**ESTUDIO EN MICROSCOPIA ELECTRONICA DE LA MORFOLOGIA DE LOS ORGANOS DE LA QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd) Y DE LA CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) EN RELACION CON LA RESISTENCIA A LA SEQUIA**

Jacques DIZES<sup>1</sup>, Alejandro BONIFACIO<sup>2</sup>

1: ORSTOM, Francia.

2: IBTA, Bolivia.

## **I. INTRODUCCION**

La Quinoa (y más aún la Cañihua) es capaz de crecer en región semi árida (250 a 600 mm de lluvias), con un requerimiento de agua (ETP) la mayor parte del tiempo superior a las disponibilidades dado el carácter muy aleatorio de las precipitaciones.

Se podría pensar que esta propiedad se debe a una mejor capacidad de conservación del agua debido a un cierre rápido de los estomas, pero estos últimos están aún abiertos en la quinoa con un potencial hídrico foliar muy bajo, -40 bars contra -12 en la papa dulce por ejemplo. Mientras que se estableció que una planta es tanto más adaptada a la sequía cuanto su potencial hídrico se mantiene elevado durante la desecación, todo pasa en la quinoa como si persistiera a extraer el agua del suelo hasta casi el agotamiento completo de los recursos, incluso cierra sus estomas para evitar deshidratarse completamente esperando la próxima lluvia.

Las relaciones entre la conductancia estomática y el potencial hídrico fueron estudiadas por otro lado (Vacher *et al.*, 1990). Presentamos aquí un estudio en microscopía electrónica de la Quinoa y de la Cañihua con el objeto de precisar, aprovechando las informaciones tridimensionales que nos permite esta técnica, la anatomía de los diversos órganos de estas dos plantas ya bien estudiadas (1,2), insistiendo sobre las características morfológicas que permiten ver mejor los mecanismos fisiológicos que rigen su adaptación a las condiciones hídricas del Altiplano.

## **II. MATERIALES Y METODOS**

Las variedades estudiadas de Quinoa provienen de las colecciones de la estación experimental de Patacamaya, situada al sur del Altiplano boliviano, a 3800 m de altura.

Las observaciones fueron hechas en el Centro de Estudios Nucleares de CADARACHE (Francia), dentro del marco del laboratorio común CEA-ORSTOM-CIRAD y los recintos del laboratorio de Fisiología de las Interacciones Planta-Agua del Servicio de Radioagronomía.

Las muestras fueron sacadas de plantas, cultivadas en condiciones controladas, de 1 a 2,5 meses de edad, de hojas adultas, luego preparadas como se describe anteriormente (3)

Los recuentos de estomas se hicieron sobre fotos o en el microscopio óptico, sobre impresiones. Los cortes transversales y las superficies epidérmicas fueron observados con el microscopio electrónico JEOL JSM T20.

## **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. La flor y el fruto**

El stress hídrico es particularmente crítico durante el estado de desarrollo de los órganos de reproducción. Desde la antesis hasta el llenado del grano, se encuentran en la flor las vesículas que encontraremos posteriormente en las hojas (foto 1). A menudo en formación muy densa, se puede pensar que estas vesículas juegan localmente un papel en el estado hídrico de las inflorescencias.

El fruto es un aquenio que contiene un grano, pequeño en la quinoa (más o menos 2 mm, según las variedades) y minúsculo en la cañihua, de color entre blanco y negro, y de forma lenticular (foto 2). El grano germina rápidamente en presencia de agua (foto 3); el embrión va a encontrar en el perisperma la energía necesaria para el desarrollo muy rápido de la raicilla luego de los cotiledones (foto 4).

La superficie de los ostiolos abiertos con respecto a la superficie total (Poro area) es muy pequeña también, 0,16% en Real blanca por ejemplo; a comparar con las de *Vicia faba* (1%), del maíz (0,70%), de la cebada (0,65%) o de dicotiledoneas como el girasol (1,10%) o el tabaco (0,80%) (4).

Si no se observan pelos táctiles, la superficie del limbo y más particularmente la faz inferior en las variedades de las dos especies que hemos observado, está cubierta, sobre todo en las hojas tiernas, de una cantidad de vesículas infladas. Estas pueden ser fácilmente desprendidas o "reventadas", dejando entonces escapar su contenido. En el curso del stress hídrico, o durante las horas calientes del día, estas se desinflan por evaporación, como un globo, dejando un depósito sólido (foto 10). La composición de estos depósitos, así como de las secreciones que se han encontrado en el parenquima, resultados de los mecanismos de regulación de la salinidad no está completamente establecida; esta podría depender en parte de la composición química del suelo. En Atriplex, quenopodiacea halofila, una parte de los iones transportados en el xylema por el flujo transpiratorio, pasando por el citoplasma y los plasmodesmas de las células parenquimáticas, llega a las vesículas atadas a la epidermis y similares a las que hemos visto (5-6). Su diámetro puede alcanzar 100 micrones, es decir el quinto del espesor del limbo y su superficie proyectada más de 80% de la superficie foliar de las hojas tiernas.

Cuando las plantas se confrontan a condiciones hídricas difíciles, ciertas características que hemos notado al nivel del limbo les permiten crecer casi normalmente o, si el stress hídrico es considerable, conservar su integridad y esto es particularmente verdadero en las plantas tiernas, esperando tiempos mejores:

- Debido a su estructura externa, relieve muy accidentado, compuesto proporcionalmente de minúsculos estomas protegidos por enormes células epidérmicas, la epidermis, recubierta además de gran número de vesículas, transparentes o no, es capaz de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea la hoja y consecuentemente, disminuyendo la transpiración, atenúa los efectos del stress hídrico:

- \* en el curso de un largo período de sequía, alejando el momento donde se desarrollan los fenómenos irreversibles,

- \* en el transcurso del día, favoreciendo la utilización de la humedad nocturna que permanece muchas horas en la hoja, reduciendo por ello el déficit hídrico por reducción de la transpiración, disminución de la absorción de calor, y sin duda absorción del agua por la hoja humectada varias horas.

- las vesículas mismas, turgentes al inicio del día, contienen una solución de sal, que se evapora durante las horas calientes, dejando depósitos en forma de escamas. Después de la recuperación de la planta, se encuentran nuevamente vesículas turgentes, pero no podemos precisar si son recientes, y por lo tanto el fruto de nuevas secreciones, lo que implica una nueva evacuación de sales, o simplemente el resultado de la naturaleza higroscópica de las antiguas. Sea lo que fuere, se puede considerar que juegan un papel directo en la economía del agua de la planta y especialmente del agua llevada por la humedad nocturna (7).

- las secreciones salinas intervienen también al nivel del ajuste osmótico. Cuando se desarrolla un stress hídrico, normalmente hay una disminución del potencial debido a que la concentración de la solución de savia aumenta en la medida de la pérdida de agua, y es una de las causas del cierre estomático, pero este fenómeno está contrabalanceado en éstas por la acumulación de la sal en las vesículas, permitiendo el mantenimiento de cierta turgencia de la hoja, pero también de las células constrictoras y consecuentemente, la apertura de los estomas.

- Durante el stress hídrico, la pérdida de turgencia de la hoja provoca su enroscamiento en el sentido lateral, debido a la desimetría entre las células de la cara inferior de las nervaduras y las otras células de la epidermis (foto 9) y por un movimiento centrípeto de los bordes del limbo donde las nervaduras principales, generalmente 3, en relieve al nivel del peciolo, van difuminándose.

- La capa de cutícula, las vesículas que aislan la superficie, el relieve marcada de la epidermis, el color de las hojas, modificando el albedo, y la repartición homogénea de los estomas en las dos caras foliares, evitan un calentamiento letal durante las horas calientes del día (8), cuando no es raro notar

## 2. Interfaz suelo-planta: las raíces.

El sistema radicular, pivotante, de la quinoa (y de la cañihua) es mucho menos profundo que el de ciertas gramíneas tropicales, pero está muy ramificado y capaz de explorar un máximo de suelo y sobre todo de absorber el agua cuando el potencial hídrico del suelo está muy bajo, lo que implica un contacto continuo entre el suelo y la superficie radicular y también un gradiente de potencial.

Las semillas de quinoa y de cañihua son capaces de germinar muy rápidamente en presencia de humedad, la foto 2 fue tomada una hora después de que la semilla fue hundida en el algodón húmedo en caja de Petri; una hora y media después, la raicilla, estaba completamente salida (foto 3).

La semilla está cubierta de una cutícula y es por el hilum que esta absorbe la mayor parte del agua necesaria para la germinación (quinoa - Var. Chucapaca: 80% de germinación de las semillas puestas en contacto por el hilum con algodón empapado de agua al cabo de 8 horas, contra 0% en los testigos colocados sobre el flanco y que no germinarán sino al cabo de 14 horas).

Los cortes de raíces jóvenes de plantas cultivadas en buenas condiciones hídricas, muestran células de parenquima cortical notoriamente gruesas en lo que concierne la capa externa; aunque menos marcada esta particularidad se encuentra también en las raíces más viejas y esto tanto en las variedades dulces o amargas que en la Cañihua (foto 5).

## 3. El tallo

Un corte longitudinal de tallo muestra los diferentes tejidos (foto 7).

El parenquima cortical contiene cristales (foto 8) de sales de calcio, en particular de oxalato, y de anhídrido silícico (2).

Organo de sostenimiento así como también de transporte de los elementos nutritivos brutos o elaborados y del agua, el tallo está sometido también a los aleas climáticos, los tejidos de los que está formado deben soportar, a veces, potenciales hídricos muy bajos. Para que sobreviva la planta, el tallo debe entonces ser capaz ya sea de conducir los flujos de savia aún después de una interrupción momentánea de la continuidad hidráulica, o, evitar esta discontinuidad.

## 4. Interfaz planta-atmósfera: la hoja

El corte transversal del limbo de quinoa o de cañihua (foto 9) muestra la estructura anatómica típica de las plantas con el metabolismo en C3, con un parenquima palisádico con muchas capas de células dispuestas perpendicularmente a la epidermis, y un parenquima lagunoso, pero sin vaina perivascular. Como en el tallo, se encuentran en el parenquima cristales de formas y dimensiones diversas (foto 9).

La superficie de la cutícula a menudo está marcada de estrías (foto 11), orientadas de manera variable y correspondiendo a pliegues de la superficie, pero algunas variedades son casi lisas (foto 12). La superficie está constituida por células no diferenciadas con un contorno sinuoso envolviendo minúsculas células estomáticas.

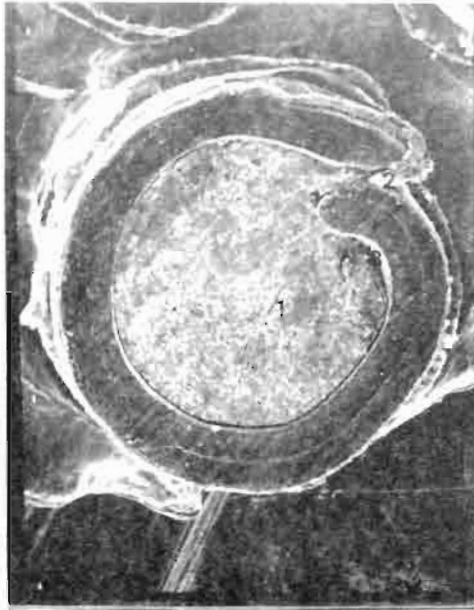
Los estomas (foto 11, 12) presentan dos células con forma de riñón dejando aparecer entre ellos el ostiolo arriba de la cámara subestomática. La cresta que asegura su cierre es bastante aparente. No hay células anexas. En las dos especies, los estomas se encuentran en las dos caras del limbo en número más o menos igual (hojas anfistomáticas). En la quinoa, en la cara superior, el índice estomático (3,4) varía entre  $18,9 \pm 1,1$  en la variedad Real blanca,  $18,2 \pm 1,2$  en la variedad Chucapaca y  $14,8 \pm 0,8$  en la descendencia F4 dulce de PATACAMAYA (medios de 20 conteos).

El tamaño del complejo estomático, en las condiciones en las cuales hemos cultivado las plantas, varía poco (en micrones, 31x20 en la variedad Chucapaca, 29x17 en la Real Kalaka, 30x18 en la Real blanca, 31x14 en la cañihua Lasta), es muy pequeño si se la compara al de las células epidérmicas que lo rodean ( $\pm 72,5 \times 42$ ). La relación de las superficies, en proyección, se establece entre 5,5 y 7, pero es aún más importante si se toma en cuenta el relieve.

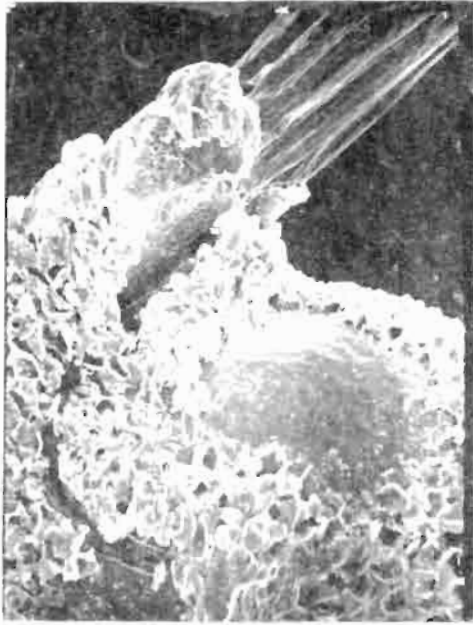
1



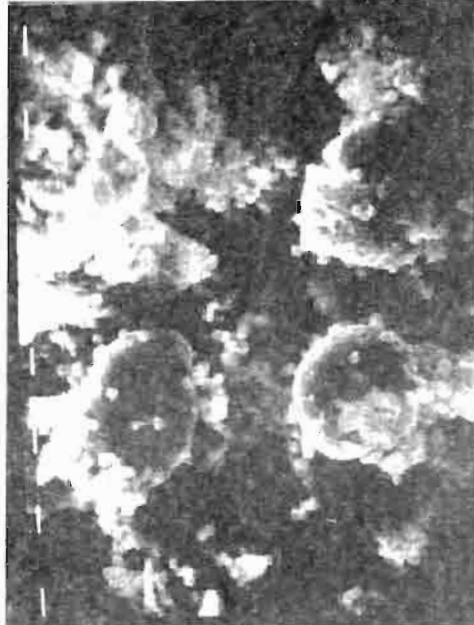
2



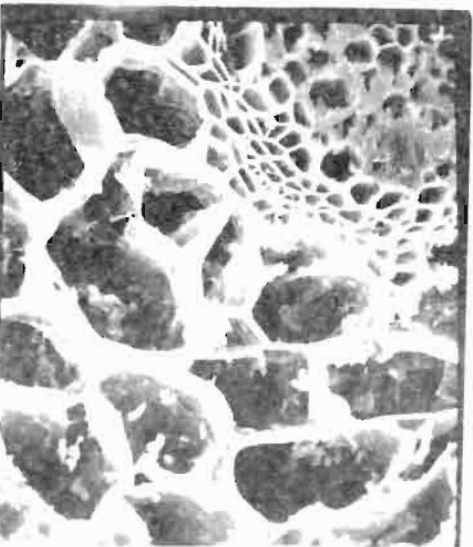
3



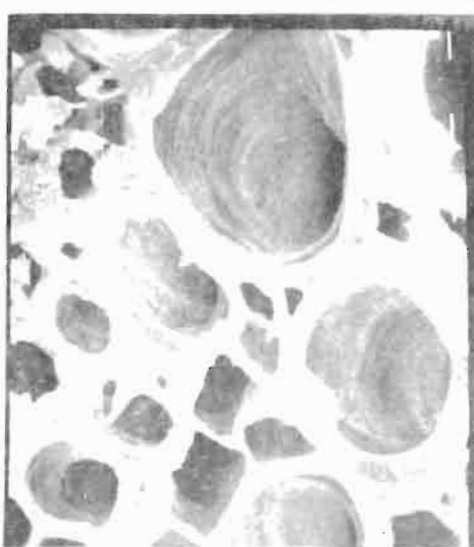
4



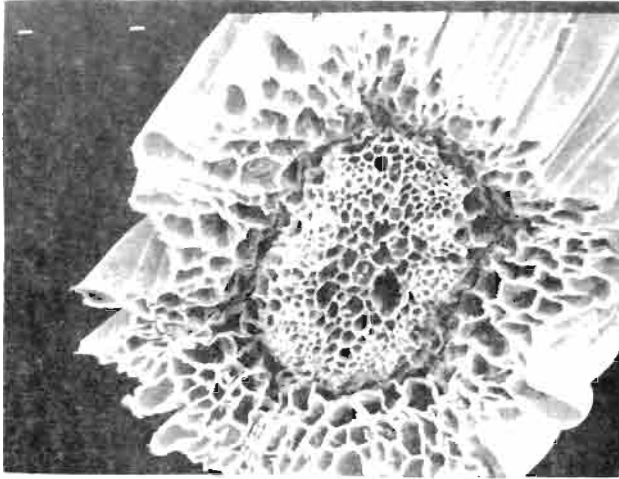
5



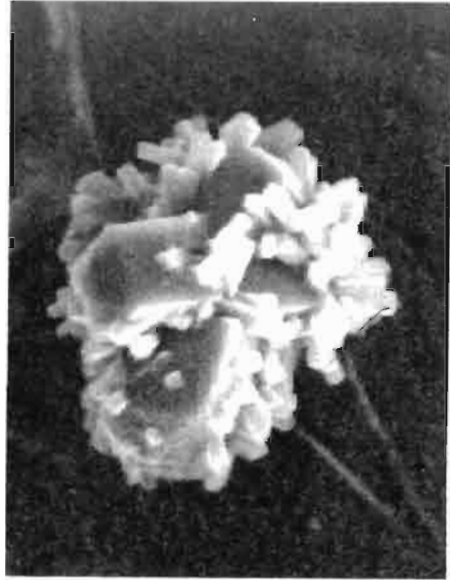
6



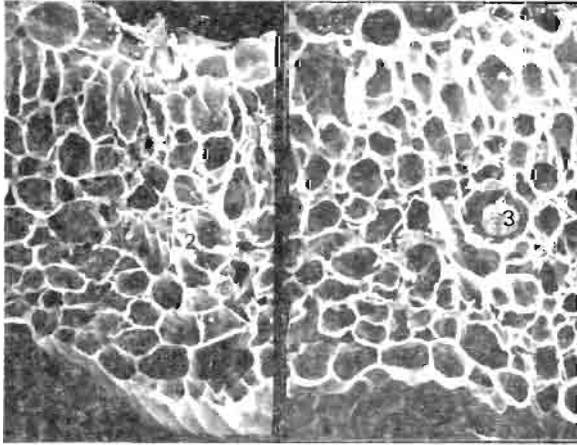
7



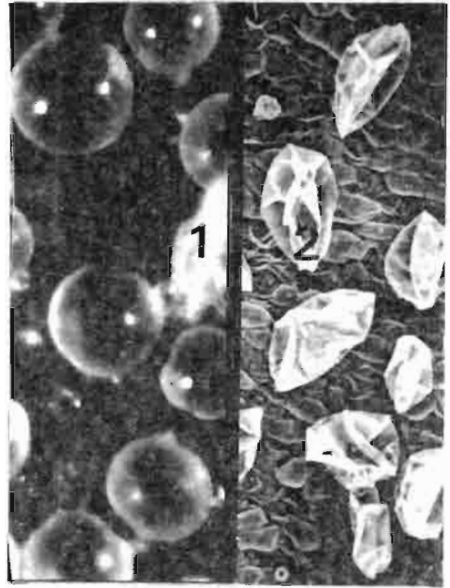
8



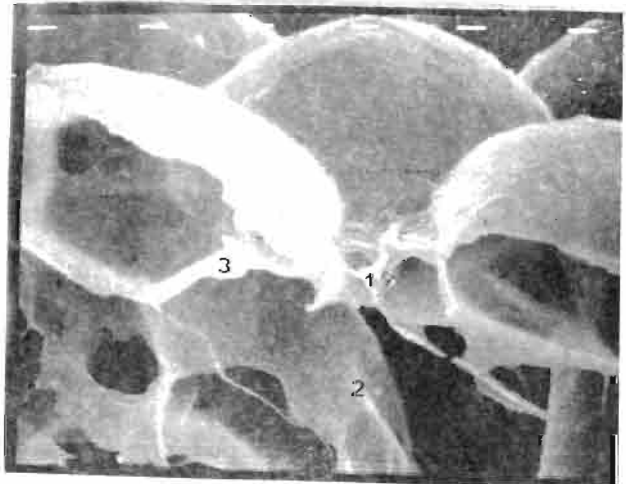
9



10



11



12

temperaturas de más de 40° C en el suelo durante muchas horas, absorbiendo las radiaciones infrarojas y ultravioletas para disipar el calor.

#### IV. CONCLUSIONES

Durante el desecamiento, el potencial hídrico de los tejidos de la quinoa (y de la cañihua) alcanza valores muy bajos, pero su contenido en agua permanece largo tiempo suficiente para evitar un nivel de ajaminiento irreversible.

Independientemente de los procesos metabólicos, las secreciones salinas, que intervienen al nivel del ajuste osmótico de las células estomáticas, el tamaño minúsculo y la implantación de los estomas, así como la presencia de vesículas en el limbo, que favorecen la humedad relativa de la atmósfera rodeando la hoja, el proceso de enrollamiento de las hojas influyen cada una a su manera en las reacciones de estas plantas afrontadas a los aleas hídricos. Esto les permite sobre todo, más que conservar el agua que poseen, aprovechar al máximo el poco de humedad disponible en los alrededores.

Además de la sequía, ciertas características morfológicas que hemos subrayado participan también en la adaptación de estas plantas a los otros riesgos climáticos, heladas, salinidad, luz; frecuentes en su medio habitual de vida.

#### V. BIBLIOGRAFIA

- ALWEY, N.W. 1989. Quinoa. *Biologist*. 36 (5): 267-274
- CAMEFORT, H. 1972, *Morphologie des végétaux vasculaires*. Doin, Editeurs. Paris.
- COLIN, M. WILLMER, 1988. *Stomata*. Longman Inc. New York.
- DE LA CRUZ, G., VALLADOLID, J. 1988. Clasificación de los cultivos andinos en plantas de fotosíntesis C3 y C4 de acuerdo a las características anatómicas del mesófilo de la hoja. Dans *Memorias del VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos*, Quito, Ecuador, 30 de Mayo - 2 de junio 1988 - INIAP, Quito. p. 471-473.
- ESPINDOLA CANEDO, G. 1986. Respuestas fisiológicas, morfológicas y agronómicas de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) al déficit hídrico. Thèse de maîtrise, Colegio de Postgraduados Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Chapingo, México.
- GANDARILLAS, A., GANDARILLAS SANTA CRUZ, H. 1986. Estructura anatómica de los órganos de la planta de Quinoa. Ministerio de Asunt. Camp. y Agropec. La Paz - Bolivia.
- GARCIA, M., VACHER, J., MORALES, D., HIDALGO, J. 1991. Comportamiento hídrico de 2 variedades de Quinoa. VII Congreso Internacional sobre cultivos andinos. La Paz - Bolivia, 4/8 de Febrero.
- LAFFRAY, D., LOUGUET, Ph. 1989. L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse. *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*. 1: 31-46.
- LÜTTGE, U., OSMOND, C.B. 1970. Ion absorption in *Atriplex* leaf tissue. III. *Aust. J. biol. Sci.* 23: 17-25.
- MAZAFAR, A., GOODIN, R.J. 1970. Vesiculated hairs: a mechanism for salt tolerance in *Atriplex halimus*. *Plant. Physiol.* 45: 62-65.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1989. *Lost Crops of the Incas*. National Academy Press, Washington, D.C.
- REPO-CARRASCO, R. 1988. Cultivos andinos. Importancia nutricional y posibilidades de procesamiento. Centro de estudios andinos Bartolomé de las Casas. Cusco. Perú
- RISI, J., and GALWEY, N.W. 1984. The *Chenopodium* Grains of the Andes: Inca Crops for Modern Agriculture. *Adv. Applied Biology*. 10: 145-216.