

2. CLASIFICACIÓN Y MORFOLOGÍA

Rudy Rivas P.

2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y CITOGÉNÉTICA

La avena (*Avena* sp.) es una gramínea anual que pertenece a la clase *Monocotiledóneas*, familia *Poaceae* (alt. *Gramineae*, subfamilia *Pooideae*, tribu *Aveneae* y género *Avena* (GRIN, 2004). La principal diferencia morfológica con otros cereales de grano pequeño, como trigo y cebada, es que su inflorescencia es una panícula, conocida comúnmente como panoja. En ella se encuentran las principales características morfológicas que permiten distinguir las distintas especies y variedades de este género.

Respecto a clasificación y nomenclatura, existen diferencias de opinión entre los investigadores que estudian el género *Avena*. En este capítulo se utilizan los nombres taxonómicos comúnmente aceptados, de acuerdo a Leggett (1992).

En el género *Avena* se han descrito 31 especies diferentes que conforman tres series poliploide: diploide ($2n=2x=14$), tetraploide ($2n=4x=28$) y hexaploide ($2n=6x=42$), con número de cromosomas base que es siete (Thomas, 1992). En cada grupo se presentan especies cultivadas: las diploide *A. strigosa* Schreb y *A. brevis* Roth, de uso en alimentación animal y limitada importancia agrícola; la tetraploide *A. abyssinica* Hochst. cultivada en Etiopía; y el grupo más importante, que son las hexaploide *A. sativa* L. y *A. byzantina* C. Koch. (Holden, 1984).

Basándose en análisis de cariotipo y observaciones del apareamiento meiótico de híbridos inter e intraespecíficos, se han identificado cuatro genomas de *Avena* (A, B, C y D) y en la naturaleza se han encontrado las combinaciones genómicas AA, CC, AABB, AACC y AACDD (Li *et al.*, 2000).

La avena cultivada (*A. sativa* L.) es un alohexaploide natural que contiene tres genomas (A, C, y D). Esto sugiere que su evolución involucró dos etapas distintas. La primera, implicó la formación del tetraploide (AACC) por hibridación entre dos especies diploide (AA y CC) y posterior duplicación del número de cromosomas; luego por hibridación de este tetraploide con una tercera especie diploide (DD) se originó un hexaploide por duplicación de cromosomas del híbrido triploide resultante (Thomas, 1992).

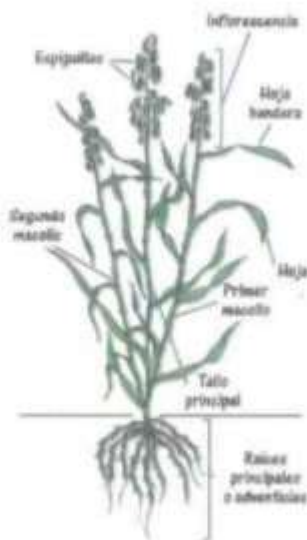
CLASIFICACIÓN Y MORFOLOGÍA

No obstante, aún no se ha establecido cuál de estas especies diploide contribuyeron a la formación de las especies poliploide. Li *et al.*, (2000) usando polimorfismos de minisatélites y microsátélites de ADN en trece especies representativas del género *Avena*, concluyen que está claro que las especies de avena cultivadas *A. sativa* y *A. byzantina* evolucionaron a partir de especies silvestres hexaploide. Sin embargo, aún se desconoce si el progenitor inmediato de las avenas cultivadas fue *A. sterilis* o *A. fatua*. La primera está distribuida más ampliamente y presenta una alta variabilidad en caracteres de interés para las avenas cultivadas, como resistencia a enfermedades, tolerancia al frío y otros, mientras que *A. fatua* es limitada en esta variabilidad.

Las especies de avena cultivadas en nuestro país presentan genomas con dos niveles de ploidía: la avena común (*Avena sativa* L.) y la avena de grano desnudo (*Avena nuda* L. syn. *Avena sativa* var. *nuda*) que son hexaploide ($2n = 6x = 42$) y la avena strigosa (*Avena strigosa* Schreb.) que es un tipo diploide ($2n = 2x = 14$). También se encuentra la avenilla (*Avena fatua* L.), hexaploide que es una maleza.

Mayores detalles sobre las claves taxonómicas del género *Avena* y descripción de cada una de las especies, se pueden encontrar en Leggett (1992), Oats online (2002) y Loskutov (2003).

2.2 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA



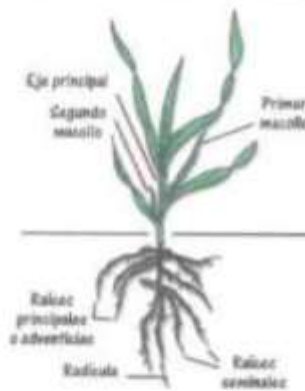
La planta de avena está formada de raíz, tallo, hojas y panoja. Cada panoja, a su vez, está formada de espiguillas y éstas de flores o flósculos que dan origen al grano (Coffman, 1977). Para describirla se utiliza una planta típica de *A. sativa* (Figura 2.1).

Figura 2.1 Representación esquemática de una planta de *Avena sativa*.

Fuente: Adaptado Falguenbaum y Mouat, 2003.

2.2.1 Raíz

La avena, al igual que otros cereales, tiene dos tipos de raíces, las seminales o primarias y las adventicias o principales (Figura 2.2). Las raíces seminales se forman a partir de la radícula durante la germinación del grano. Las raíces principales o adventicias emergen de la base del tallo o corona y crecen desde inicios de macolla hasta emergencia de la



panoja, por lo que también son denominadas permanentes. Las raíces difieren especialmente en número. En avenas de tipo tardío el sistema radicular es mucho más profuso que en las de tipo precoz (Bonnert, 1961; Coffman, 1977). Por otra parte, cada tallo secundario o macollo desarrolla su propio sistema de raíces adventicias, aparte del sistema radicular del tallo o eje principal.

Figura 2.2 Sistema radicular de la avena en estado de inicio de macolla.

Fuente: Adaptado Faiguenbaum y Mouat, 2003.

2.2.2 Tallo

El tallo o culmo, denominado comúnmente caña, es cilíndrico y formado por cuatro o cinco internudos huecos y por el mismo número de nudos compactos (Figura 2.3). El internudo es la sección del tallo comprendida entre dos nudos, denominándose pedúnculo al internudo superior que tiene como función sostener la panoja (Stanton, 1955). El tallo principal es el primero en formarse a partir del coleoptilo y los tallos secundarios o macollos aparecen sucesivamente mientras la planta se desarrolla.

En las distintas especies y variedades comerciales de avena el tallo puede diferenciarse por su diámetro, color, presencia o ausencia de pubescencia en los nudos, y donde el diámetro es muy influido por las condiciones ambientales. El color del tallo maduro en general



Figura 2.3 Tallo y sus partes principales.

CLASIFICACIÓN Y MORFOLOGÍA

es amarillo y bajo ciertas condiciones ambientales puede tomar una tonalidad rojiza. Los nudos pueden presentar mayor o menor pubescencia, que pueden estar sobre o bajo el área del nudo o en los bordes mismos de éste. En avenas cultivadas generalmente la pilosidad de los nudos es escasa o no existe (Coffman, 1977; UPOV, 1994).

El largo del tallo determina la altura de la planta, influido por la variedad y las condiciones edafoclimáticas. En avenas cultivadas las características del tallo son de importancia económica, puesto que si éste es demasiado alto y/o delgado en diámetro puede doblarse o quebrarse, lo que se denomina tendadura o acame (Stanton, 1955).

2.2.3 Hojas

Las hojas de la planta de avena son solitarias y sésiles. Se ubican a lo largo del tallo en forma alterna y opuesta. La hoja consta de vaina foliar, lámina foliar o limbo y ligula, que es un apéndice membranoso (Bonnert, 1961) (Figura 2.4).

La lámina foliar es alargada, plana, de ancho variable y nervadura paralela; el margen es liso y la punta aguda. La unión de la lámina con la vaina se denomina collar. En este punto la lámina es angosta con márgenes encorvados alrededor del tallo que se superponen para formar una depresión con forma de copa (Bonnert, 1961, citado por Coffman, 1977).

La lámina foliar se caracteriza por su ancho, disposición o ángulo de inserción respecto al tallo, presencia de cilios en sus márgenes y en algunas variedades, por el color. El ancho está influido por las condiciones ambientales (Stanton, 1961; Coffman, 1977).

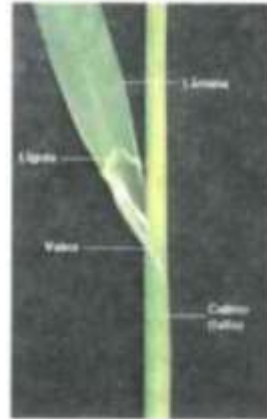


Figura 2.4 Partes de una hoja de avena.

En estados juveniles la lámina de la hoja de avena gira sobre su eje longitudinal en sentido levógiro (contrario al movimiento de las manecillas del reloj), que permite distinguirla del trigo y la cebada que lo hacen en sentido dextrógiro (en el mismo sentido al movimiento de las manecillas del reloj). Las aurículas (estípulas), que poseen las hojas de cebada, trigo y otros cereales, están ausentes en la avena (Stanton, 1961). Las hojas pueden presentar distintos niveles de cerosidad o glaucosidad, tanto en la vaina como en la lámina, que le da aspecto más o menos verde-azulado, típico de algunas variedades.

Sin embargo, dicha característica está influida por el ambiente, ya que se puede presentar de manera más acentuada en siembras tardías o temporadas más secas, como una reacción para evitar la excesiva pérdida de agua por parte de la planta.

La vaina foliar es un cilindro abierto. En plantas juveniles, la vaina de la hoja más antigua encierra al tallo y las hojas más jóvenes. En la madurez, cada vaina foliar encierra todo o parte del internudo superior siguiente al nudo en el que esta se origina, engrosando el tallo. Las vainas pueden diferir en longitud y presencia o ausencia de pubescencia (Collman, 1977).

2.2.4 Panoja

La panoja (Figura 2.5) está formada de un raquis central o principal que posee nudos desde los cuales se desarrollan los verticilos que constan de varios raquis secundarios. A partir de éstos, se originan los pedicelos que sostienen en su extremo las espiguillas que tienen un número variable de flores, de dos hasta siete, dependiendo de la especie y variedad. La conformación morfológica de la panoja le da un aspecto piramidal característico (Stanton, 1961; Collman, 1977).



Las panojas se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios. Según el largo de los raquis secundarios: en abiertas, cuando éstos son largos; y en compactas si éstos son cortos (Figura 2.6). También pueden ser: unilaterales, cuando los verticilos crecen hacia un solo lado; equilaterales, cuando crecen hacia todos los lados en disposición de una espiral alrededor del raquis; o sub-unilaterales, cuando unos pocos verticilos crecen hacia el lado opuesto a la mayoría. Otro criterio de clasificación de las panojas está relacionado con el ángulo de inserción de los raquis secundarios con respecto al raquis y pueden ser erectas, semierectas, horizontales (en ángulo cercano a 90°) o decumbentes (Stanton, 1961; UPOV, 1994).

Figura 2.5 Panoja típica y sus partes.

CLASIFICACIÓN Y MORFOLOGÍA



La presencia de cerosidad o glaucosidad en la panoja, también es una característica distintiva. La panoja mostrará una coloración más o menos azulada según posea más o menos cerosidad sobre la superficie de sus tejidos. A continuación se describe cada una de las estructuras de la panoja.

Figura 2.6 Panoja equilateral abierta y equilateral compacta.

a) La **espiquilla** (Figura 2.7 y 2.8) está compuesta por las glumas (brácteas) que cubren el antecio floral, conformado por tres o más flores en cada espiquilla. Las glumas están unidas al nudo terminal del pedicelo y encierran parcialmente a las flores sin estar adheridas a ellas (Coffman, 1977). El pedicelo une la espiquilla al raquis secundario de la panoja, y dependiendo de su longitud, la espiquilla puede tener una actitud erecta, si es corto, o pendulosa (colgante) si es más largo (UPOV, 1994).

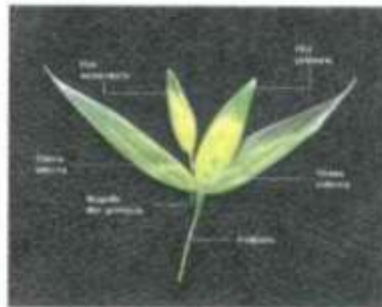
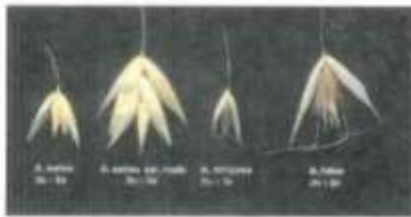


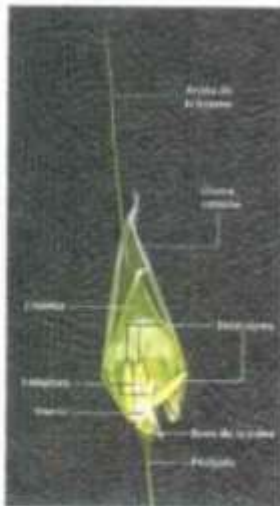
Figura 2.7 Espiguillas de tres especies del género *Avena*. **Figura 2.8** Espiguilla de *A. sativa* L.

Cada flor se dispone en forma alterna a partir del nudo de la raquilla de la flor inmediatamente inferior. Generalmente la primera y segunda flor son fértiles; no obstante en algunas variedades pueden llegar a producir semilla viable las tres flores. La avena silvestre *A. sterilis* L. puede producir hasta cuatro flores fértiles cuando existen condiciones óptimas de crecimiento.

En tanto, la espiguilla de la avena de grano desnudo (*A. nuda* L.) se diferencia de las de grano cubierto en que cada raquilla es mucho más larga y puede dar origen hasta ocho flores fértiles, siendo lo común entre tres a seis (Coffman, 1977).

La forma en que se separa la espiguilla del pedicelo en la madurez, que en realidad es la separación del grano inferior o primario del pedicelo, se denomina "desarticulación", característica de gran importancia taxonómica que establece la diferencia entre especies cultivadas y silvestres. Hay tres tipos de desarticulación: **abscisión**, cuando la separación resulta en una pronunciada cavidad o cicatriz en la base de la lemma, como en *A. fatua* y *A. sterilis*; **fractura**, cuando el tejido simplemente se quiebra de forma irregular sin quedar una cavidad en la base de la lemma, como en *A. sativa*; y **semiabscisión**, cuando la forma de separación es intermedia entre una abscisión parcial y una fractura (Coffman, 1977).

Las características de la raquilla de la flor que soporta a la flor inmediatamente superior han sido muy utilizadas en la clasificación de avenas, como también el largo y el ancho de este segmento, especialmente cuando es muy largo o muy corto (Coffman, 1977). En variedades cultivadas la longitud de la raquilla puede ser corta, media o larga; en tanto que su ancho se clasifica como angosta, media y ancha. Además, dicha estructura puede presentar surcos o hendiduras longitudinales, que pueden estar ausentes o ser más o menos pronunciadas. Estas observaciones se hacen en las espiguillas cuando los granos están maduros (UPOV, 1994).



b) Las flores. También llamadas ilósculos o florecillas, están cubiertas por estructuras de consistencia dura o brácteas, que son la lemma y la palea, las cuales forman la "cáscara del grano" en la madurez. (Figura 2.9). Cada flor posee tres estambres, un pistilo y dos lodículos. Cada estambre está compuesto de un filamento y una antera. El pistilo está formado por el ovario, un estilo bifido y un estigma plumoso (Kaufman y Brock, 1992). La avena es una especie autógama y como tal, las anteras liberan el polen antes de la apertura de las flores, existiendo raramente polinización cruzada (Kaufman y Brock, 1992).

Figura 2.9 Flor de *A. sativa* L.

En la madurez, los granos de una espiguilla se separan entre sí por la ruptura de la raquilla, lo que se denomina comúnmente "separación de las florecillas" o disyunción (Stanton, 1955). La disyunción puede ser por fractura distal, como en *A. sativa*; por fractura basal, como en *A. sterilis* y *A. byzantina*; por abscisión, como en *A. fatua*, y por semiabscisión, cuando algunas florecillas en la misma panoja se separan por abscisión y otras por fractura (Coffman, 1977).

c) **El grano.** El fruto maduro de la avena es una cariósipide o grano rodeado por dos cubiertas protectoras altamente silicadas, la lemma (cubierta dorsal) y la palea (cubierta ventral), denominadas en conjunto "cáscara" (Figura 2.10). En las avenas de grano desnudo, al contrario de las de grano cubierto, la cáscara no está adherida al grano.

Las características de la lemma en el grano maduro tienen un importante valor taxonómico en la descripción de especies y variedades comerciales, puesto que varía en cuanto a presencia o ausencia de arista, color, longitud, pubescencia y pilosidad en su base, entre otras (UPOV, 1994).

Para describir la presencia o ausencia de arista o barba en una especie o variedad de avena se utilizan tres categorías: ausentes, cuando ningún grano posee arista; débilmente aristada, cuando sólo algunos granos la presentan; y fuertemente aristada, cuando todos o la mayoría de los granos poseen arista (IPGRI, 1985). Generalmente las especies silvestres o malezas son fuertemente aristadas, en tanto que las especies cultivadas presentan aristas débiles o ausentes. La eliminación de la arista es uno de los objetivos del mejoramiento genético moderno, ya que su presencia afecta la calidad industrial. La forma de la arista tiene mayor importancia para distinguir entre especies que entre variedades (Stanton, 1961; IPGRI, 1985) y se clasifican en tres tipos: retorcida-geniculada, retorcida-subgeniculada y recta.

El color de la lemma es una característica muy utilizada por todos los investigadores en la clasificación de las avenas (Stanton, 1961). Los colores principales son: blanco, amarillo, café, gris y negro (UPOV, 1994). En general las avenas cultivadas actualmente poseen granos de color blanco o amarillo y sus combinaciones.

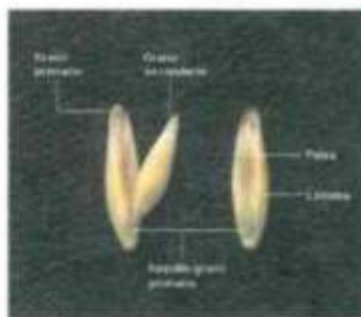


Figura 2.10 Grano de *A. sativa* L. con sus cubiertas.

La lemma, según su longitud, se clasifica en: muy corta, corta, media, larga y muy larga. En variedades comerciales, se usa como patrón de comparación la longitud de la lemma de variedades conocidas (UPOV, 1994).

La presencia de pubescencia en el dorso de la lemma se describe como presente (pubescente) y ausente (o glabra). En la mayoría de las avenas cultivadas la lemma es glabra o con escasa pubescencia, y en especies silvestres la lemma es muy pubescente (Stanton, 1961). Tanto las aristas como la pubescencia en la lemma cumplen un rol importante en la propagación de semilla en especies silvestres.

La pilosidad en la base de la lemma también es una característica importante, usada principalmente para describir variedades cultivadas. La pilosidad basal se describe de acuerdo a las siguientes categorías: ausente o muy escasa, escasa, moderada, profusa y muy profusa. También se clasifican según su longitud (UPOV, 1994).

Al remover la lemma y la palea, se puede observar el grano desnudo o cariopse, compuesto en general (desde el exterior al interior del grano) por el pericarpo, las capas de aleurona y subaleurona del endosperma, el endosperma y el germen o embrión (Kaufman y Brock, 1992). Extornamente en la cariopse se puede distinguir el embrión en la parte basal; el escutelo, sobre el embrión; el cepillo (conjunto de pelos del extremo distal del grano); profusos tricomas que cubren su superficie y, en la cara ventral, el surco o hendidura (Figura 2.11). Las características morfológicas de la cariopse tienen poco valor para identificar variedades (Stanton, 1955).

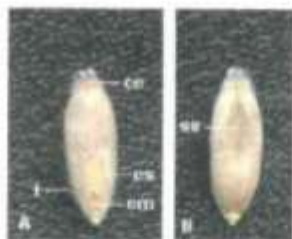


Figura 2.11 Grano sin cubiertas (cariopse propiamente tal) de *A. sativa* L.

A. Vista dorsal: cepillo (ce), escutelo (es), tricomas o pelos (tr) y embrión (em).

B. Vista ventral: surco ventral (sv).

LITERATURA CITADA

- Bonnett, O. T. 1961. Morphology and development. p. 41-74. *In*: F. A. Coffman (ed.), Oats and oat improvement. Agron. Monogr. 8. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Coffman, F. A. 1961. Origin and history. p. 15-40. *In*: F. A. Coffman (ed.), Oats and oat improvement. p. 15-40. Agron. Monogr. 8. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Coffman, F. A. 1977. Oat history, identification and classification. 356 p. USDA Tech. Bull. 1516. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC, USA.
- Fainguenbaum, H. y Mouat, P. 2003. Biología de cultivos anuales. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Disponible en: http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/. Leído el 7 de septiembre de 2003.
- GRIN. 2004. Online database. Germplasm Resources Information Network. USDA, ARS, National Genetic Resources Program, National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Available at: http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/tax_searchsp.pl Accessed 16 January 2004.
- Holden, J. H. W. 1984. Oats. p. 86-90. *In*: N. W. Simmonds (ed.) Evolution of crop plants. Longman Inc., New York, USA.
- IPGRI. 1985. Oats descriptors. 21 p. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.
- Kaufman, P., and T. G. Brock. 1992. Structural development of the oat plant. p 53-75. *In*: H. G. Marshall and M. E. Sorrells (eds.), Oat science and technology. Agron. Monogr. 33. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Legget, J. M. 1992. Classification and speciation in *Avena*. p. 29-53. *In*: H. G. Marshall and M. E. Sorrells (eds.), Oat science and technology. Agron. Monogr. 33. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Li, Ch. D., B. G. Rossnagel, and G. Scoles. 2000. Tracing the phylogeny of the hexaploid oat *Avena sativa* with satellite DNAs. *Crop Sci.* 40:1763-1768.
- Loskutov, I., 2003. Inter- and intraspecific systematics of genus *Avena* L. N.I. Vavilov Institute of Plant Industry. Available at: <http://www.vir.nw.ru/avena/syst.htm> Accessed 11 December 2003.
- Oats online. 2002. *Avena* taxonomy. Available at: <http://pas.byu.edu/Faculty/enj/oatsite/mainpg.htm> Accessed 13 October 2003.

- Stanton, T. R. 1955. Oat identification and classification. 206 p. USDA Tech. Bull. 1100. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, USA.
- Stanton, T. R. 1961. Classification of *Avena*. p. 75-111. *In*: F. A. Coffman (ed.). Oats and oat improvement. p. 75-111. Agron. Monogr. 8. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Thomas, H. 1992. Cytogenetics of *Avena*. p. 473-507. *In*: H. G. Marshall and M. E. Sorrells (eds.). Oat science and technology. Agron. Monogr. 33. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- UPOV. 1994. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Oats. 21 p. International Union for the Protection of New Varieties of Plants, Geneva, Switzerland.