

La capa de células más externa de la raíz joven es la epidermis. Sin embargo, debe mencionarse que las células epidérmicas de la raíz no están cutinizadas como las del tallo. De manera que la epidermis puede servir como superficie de absorción. Inmediatamente detrás de la región de agrandamiento la mayoría de las células epidérmicas desarrollan una protuberancia piliforme en la superficie externa, consiguiendo con esto un enorme aumento en la superficie de absorción. Estas protuberancias llamadas pelos absorbentes, son en realidad extensiones de las células epidérmicas y, a medida que crecen hacia afuera, las células se hacen muy vacuoladas y el núcleo ocupa comúnmente una posición terminal en el pelo en crecimiento. A medida que el extremo de la raíz crece hacia adelante, se producen nuevos pelos absorbentes. Los pelos absorbentes más viejos se aplastan y mueren más o menos en la misma proporción que se producen los pelos nuevos y su período de actividad está usualmente limitado a unos cuantos días. En su crecimiento hacia afuera, los pelos penetran en el suelo, a una distancia máxima de cerca de 15 milímetros y se aplican apretadamente a la superficie de las partículas del suelo. La gran delicadeza de los pelos absorbentes hace prácticamente imposible sacar una planta del suelo sin destruir la mayoría de ellos, a menos que la planta se saque con un cepellón. En el trasplante de árboles y arbustos puede no resultar práctico tratar de preservar esta estrecha relación raíz-suelo. Por lo tanto, se debe confinar en la capacidad de la planta para desarrollar rápidamente superficies de absorción mediante la producción de nuevas raíces. En general, es cierto que cuanto menos se perturben las raíces, tanto mayor será la posibilidad de supervivencia, después del trasplante.

El patrón de maduración de los tejidos internos de la raíz ofrece algunos puntos de contraste interesantes con el del tallo. Aunque están involucrados los mismos tipos de células y de tejidos de-

ben notarse ciertas diferencias de disposición. Al principio de la maduración, se forma un círculo de cordones provasculares separados. En las gimnospermas y las angiospermas dicotiledóneas, una serie de cordones alternos se extiende hacia adentro y lateralmente, hasta que se encuentran en el centro y forman una figura radiada o en forma de estrella, como puede verse en una sección transversal. Entre los puntos de la estrella está situada la otra serie de cordones provasculares alternos. La figura en forma de estrella representa, por supuesto, una columna plegada. La maduración final comienza en los puntos de la estrella con la conversión de las células provasculares en traqueidas o elementos de los vasos, formando, al final, una columna sólida de xilema primario. Al mismo tiempo, la maduración de los restantes cordones provasculares forma xilema primario. En las angiospermas monocotiledóneas, el xilema primario está limitado, en líneas radiadas separadas de vasos. Se notará que la disposición alternada o radial del xilema primario y el floema primario está en contraste con la llamada disposición colateral vista en el tallo. Nótese también que en la raíz el xilema primario comienza su maduración en el margen externo de los cordones provasculares, mientras que en el tallo, comienza en el margen interno. En los sitios en los cuales el desarrollo del xilema primario se extingue hacia el centro, no hay médula.

Inmediatamente por fuera del tejido vascular primario hay una angosta zona de células parenquimáticas, llamada periciclo. A partir de esta capa, en sitios inmediatamente por fuera del xilema formado en primer término, se originan ramas de la raíz por acción meristemática localizada. Las nuevas ramas de la raíz, por lo tanto, se forman internamente y presionan hacia afuera a través de la corteza y de la epidermis. El origen de las ramas de la raíz podría compararse con el de las ramas del tallo. Debe recordarse que estas últimas se



forman superficialmente y la salida de las trazas rameales o foliares deja lagunas o aberturas en el cilindro vascular.

El periciclo de la raíz está separado de la corteza por una sola y casi completa capa de células pequeñas, la *endodermis*. Las células endodérmicas tienen, comúnmente, paredes radiales engrosadas y suberizadas. La endodermis, generalmente, se considera como la capa más interna de la corteza y se cree que su función está relacionada con el paso de sustancias absorbidas de la corteza a los elementos conductores del xilema, pero no se conoce cómo actúa. La corteza de la raíz es semejante a la del tallo, excepto en que, por lo común, no tiene cloroplastos. La epidermis, como hemos mencionado, es el tejido más externo y su función principal es como superficie de absorción.

El crecimiento secundario de las raíces se consigue por la acción de un cámbium vascular, que se forma en parte de células provasculares residuales en los senos entre los brazos del xilema primario y, en parte, de células del periciclo en el extremo de los brazos. La producción de xilema secundario comienza temprano en los senos y esta acción pronto redondea el círculo de cámbium. De manera que el floema y el xilema secundarios se producen como en los tallos leñosos. El crecimiento secundario continuado da como resultado la ruptura y la pérdida eventual de endodermis, corteza y epidermis.

El tejido del corcho se desarrolla a partir de un felógeno originado inicialmente en el periciclo y, posteriormente, del floema más antiguo. El corcho se raja y se desprende en la misma forma que en el tallo. De manera que, como resultado del crecimiento secundario, las raíces más viejas parecen tallos viejos con respecto a tipos y disposición de tejidos, aunque ciertos detalles del principio del desarrollo son diferentes.

La raíz emerge de la semilla en germinación como una estructura cilíndrica. Esta es la *raíz primaria*. Después de un período de crecimiento, se pueden producir pequeñas ramas de la raíz a partir del periciclo, por encima (detrás) de la zona de pelos absorbentes. Estas ramas de la raíz se llaman *raíces secundarias*; el término "secundario" se refiere en este caso al tiempo de su aparición. Las raíces secundarias producen pronto ramas y así, sucesivamente, hasta que se desarrolla un elaborado sistema radical. Si, durante este proceso, la raíz primaria permanece dominante sobre las demás, el sistema se describe como *sistema radical axonomorfo*. En algunas especies, la raíz primaria pierde muy pronto la dominancia por el crecimiento exagerado de varias raíces secundarias, todas las cuales son más o menos del mismo tamaño. El sistema radical, de esta manera, toma una apariencia esparcida y se conoce como *sistema radical fibroso*. Las raíces individuales de cualquiera de los dos sistemas pueden permanecer delgadas y hacerse delgadas y hacerse resistentes y leñosas por crecimiento secundario o pueden hacerse muy gruesas y carnosas. Las raíces de la zanahoria o la *Dahlia* son ejemplos de raíz axonomorfa carnosa y de raíz fibrosa carnosa, respectivamente.

Frecuentemente, se forman raíces de partes de la planta que no son las raíces primarias o sus ramas. Estas raíces son llamadas *raíces adventicias*. Las raíces adventicias pueden formarse en sitios altos del tallo y, como en la hiedra común, suministran a la planta los medios para trepar en superficies verticales. La propagación de plantas de ornato, como geranios, *Coleus* y muchas otras, es posible por la producción de raíces adventicias en la base de las estacas del tallo. La violeta africana es propagada, comúnmente, por hojas cortadas de las cuales se desarrollan raíces adventicias y yemas. Las raíces que se desarrollan de fragmentos de papa son también de origen adventicio, ya que el



tubérculo de la papa es un rizoma o tallo modificado. Muchas especies de gramíneas se diseminan ampliamente por el desarrollo de delgados rizomas, inmediatamente por debajo de la superficie del suelo y las raíces se originan adventiciamente en los nudos del rizoma. La papa es un rizoma, mientras que el camote es una raíz verdadera.

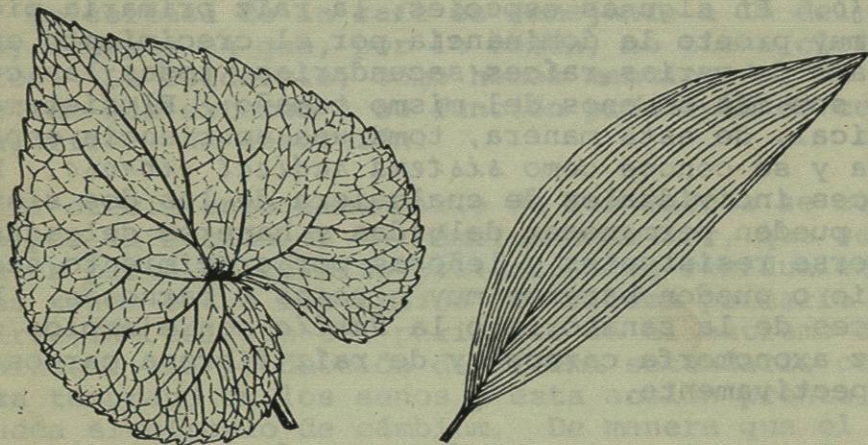


Fig. 2. Modelos comunes de nervaduras de las hojas: izquierda, palmatirreticulado; derecha, paralelo.

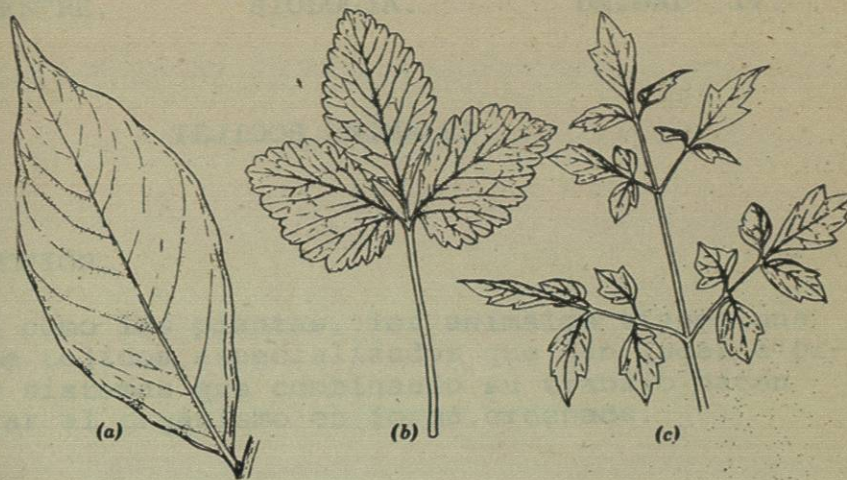


Fig. 3. Formas comunes de las hojas: a) simples, b) palmado compuesta; c) bipinnado compuestas.