4. Ecofisiología y comportamiento productivo

Alexander Rebolledo Roa[1], *Andrea Durán*[2], *Nubia Rocío Labrador*[2].

4.1. Introducción

En Colombia se cultiva comercialmente la pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. *ex* Vaupel) Moran. La producción de pitaya amarilla es determinada por la estacionalidad, con dos cosechas principales al año, una de febrero a marzo y la otra de julio a agosto, por lo que hay épocas de sobreoferta y épocas de escasez. Aunque esto ha ido variando en los últimos años debido a cambios en las condiciones climáticas. Esta particularidad del cultivo de pitaya amarilla se ha tratado de resolver cultivando la fruta en diferentes zonas altitudinales, para extender la producción a un período más largo en el año. Los cultivos de Tolima son los primeros en entrar en cosecha, seguidos por los de Valle del Cauca y Cundinamarca y, por último los de Boyacá. Estos resultados apoyan un aspecto fundamental, que es el conocimiento de la regulación que efectúa el ambiente en los procesos de crecimiento y desarrollo de la especie para generar opciones de manejo.

Muchas especies de cactáceas presentan modificaciones fisiológicas y morfológicas que les permiten adaptarse a condiciones de temperatura y sequía extremas, como por ejemplo, un desierto. Este grupo de plantas denominadas CAM fijan CO_2 en forma de malato, solamente durante la noche cuando la temperatura desciende y la humedad relativa del aire es mayor que durante el día y por lo tanto la pérdida de agua por evapotranspiración es mínima. El malato se almacena en tejido parenquimático de almacenamiento, con grandes vacuolas. Es por esta constitución anatómica que una gran parte de las plantas CAM son suculentas y tienen una gran cantidad de parénquima hídrico, a fin de almacenar agua y malato (Smith y Wood, 1998).

1 I.A., Ph.D. Fisiología. Investigador, Corpoica, C.I. Palmira.
2 Ingenieras Agrónomas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

De acuerdo con la experiencia que en la práctica han adquirido los productores de pitaya amarilla, las zonas adecuadas para el cultivo se encuentran entre 1.400 y 1.700 msnm, con temperaturas que fluctúan entre 14 y 26°C. También se hace referencia al tipo de suelo de textura suelta con un pH entre 5,5 y 6,5, con altos contenidos de materia orgánica y pendientes del 50%. Sin embargo, estas condiciones pueden variar ligeramente entre las diferentes zonas altitudinales (Anónimo, 2010).

Las condiciones que se describen no presentan un soporte científico que documente la influencia de los parámetros ambientales sobre la producción del cultivo. Se parte del conocimiento empírico de los productores para generar conocimiento científico que permita caracterizar las zonas agroecológicas apropiadas para el cultivo. Esto implica una caracterización detallada de los factores ambientales que determinan los procesos de floración, abscisión, cuajado, crecimiento y desarrollo del fruto.

4.2. Desarrollo fenológico

La fenología es el estudio de los ciclos anuales de crecimiento de las plantas y cómo estas responden a cambios en el ambiente. Por ejemplo, en botánica los estudios fenológicos hacen referencia al desarrollo vegetativo, momento de emergencia de flores, secuencia de la floración y fructificación. Los estudios sobre fenología se convierten en un herramienta clave para programar prácticas de manejo del cultivo, relacionadas con la aparición de plagas y enfermedades, programación de fechas de siembra, planes de fertilización de acuerdo al estado de desarrollo del cultivo, etc.

Algunos parámetros ambientales influyen sobre la velocidad de crecimiento de las plantas. El desarrollo vegetativo del cultivo de pitaya amarilla desde el establecimiento presenta variaciones en función del piso térmico. A 1.011 msnm se puede prolongar hasta 11 meses, donde predomina una temperatura media de 25°C, humedad relativa del 80% y precipitación media anual de 1.127 mm, con dos picos máximos en los meses de abril y noviembre (Figura 15A). A 1.600 msnm el desarrollo vegetativo se extiende hasta 18 meses, con condiciones de temperatura media de 20°C, humedad relativa de 84% y precipitación media anual de 1.500 mm, con picos máximos en los meses de marzo y octubre (Figura 15B).

El material de siembra para el establecimiento del cultivo son estacas de un metro de altura. Bajo condiciones de Palmira, a 1.011 msnm, con una temperatura media de 25°C, humedad relativa del 70% y precipitación media anual de 1.127 mm con dos picos máximos en los meses de abril y noviembre, la fase vegetativa del cultivo se desarrolló en 11 meses, desde el establecimiento hasta la aparición de los primeros botones florales.

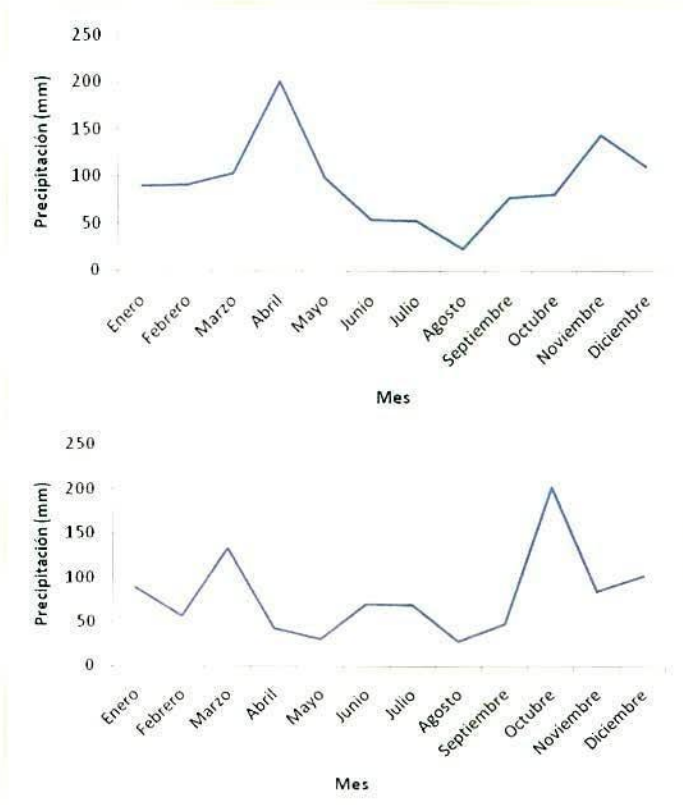

Figura 15. Comportamiento de la precipitación bajo condiciones de (**arriba**) Palmira ubicado a 1.011 msnm y (**abajo**) Río Frío ubicado a 1.600 msnm.

Se puede presentar dificultad en establecer la polaridad de la estaca al momento de la siembra. Si no se tiene precaución y se hace la siembra invertida, las raíces aparecen en la parte superior, después de unos días aparecen raíces en el extremo que tiene contacto con el suelo; esta es una característica de las cactáceas hemi-epífitas que tienen cladodios articulados como *Selenicereus* e *Hylocereus*. Esta característica también se debe a la plasticidad genética de estas plantas, lo que les permite responder a cambios ambientales, indicando que es una especie poco domesticada y en condiciones silvestres emite raíces adventicias para sostenerse en rocas o árboles, en correspondencia con la característica de planta trepadora. Como criterio para la siembra de las estacas, se tuvo en cuenta la polaridad del cladodio opuesta a la zona donde se forma el brote ya sea vegetativo o reproductivo (Figura 16). El desarrollo del brote vegetativo presenta diferencias en cuanto a forma y color, en relación con los brotes reproductivos. En él se observan bracteas pero con una apariencia aplanada y alargada, las cuales dan origen posteriormente a las aristas del nuevo cladodio en crecimiento (Figura 16 B y C).

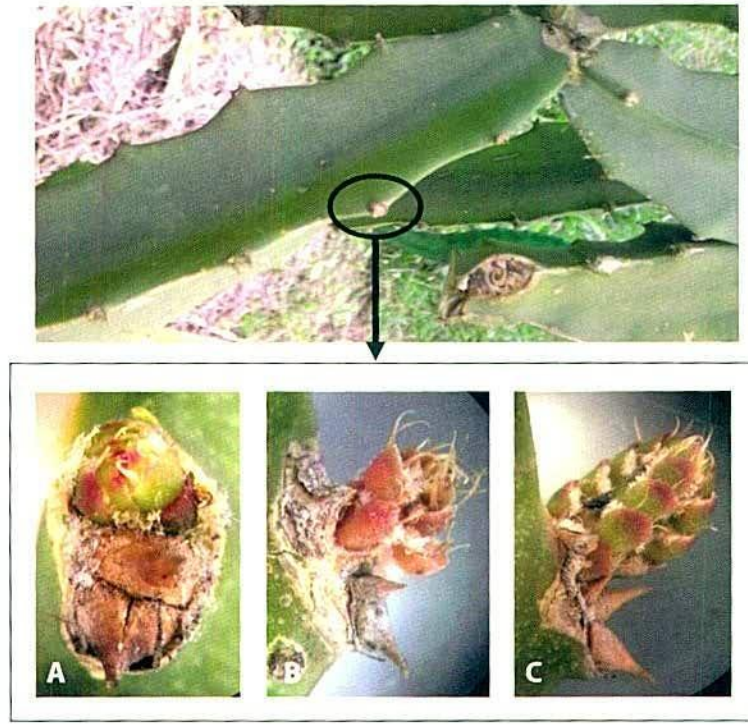

Figura 16. Polaridad de la espina opuesta a la zona de formación de un brote vegetativo, indicando la posición de siembra de la estaca. (**A**) Brote vegetativo recién formado (**B** y **C**) Inicio de formación de aristas del nuevo cladodio. Fotos: A. Rebolledo

El desarrollo del nuevo brote reproductivo inicia con la formación de un abultamiento en la parte superior de las areolas o región próxima a las espinas opuestas a la que determina la polaridad del cladodio. El color rojizo y forma redondeada del abultamiento formado, se convierte en la primera característica morfológica que indica que se dará origen a un brote reproductivo. En adelante, el brote continúa el crecimiento con la formación de brácteas aplanadas, dando una apariencia globosa (Figura 17).

Como factor inductor de la floración, se encuentra asociada posiblemente la precipitación. Este hecho puede implicar que en el año se presenten dos cosechas principales en los meses de marzo y octubre asociados a los picos máximos de precipitación. Al integrar los parámetros ambientales registrados en la localidad de Palmira con el inicio de la formación del brote reproductivo (Figura 18), se observa que después de un periodo seco de aproximadamente 17 días, se presenta un pico de precipitación de 30 mm y 20 días después, hay una manifestación visible del brote reproductivo. Este comportamiento coincide con el reporte hecho para pitaya por Clavijo *et al.* (2001).

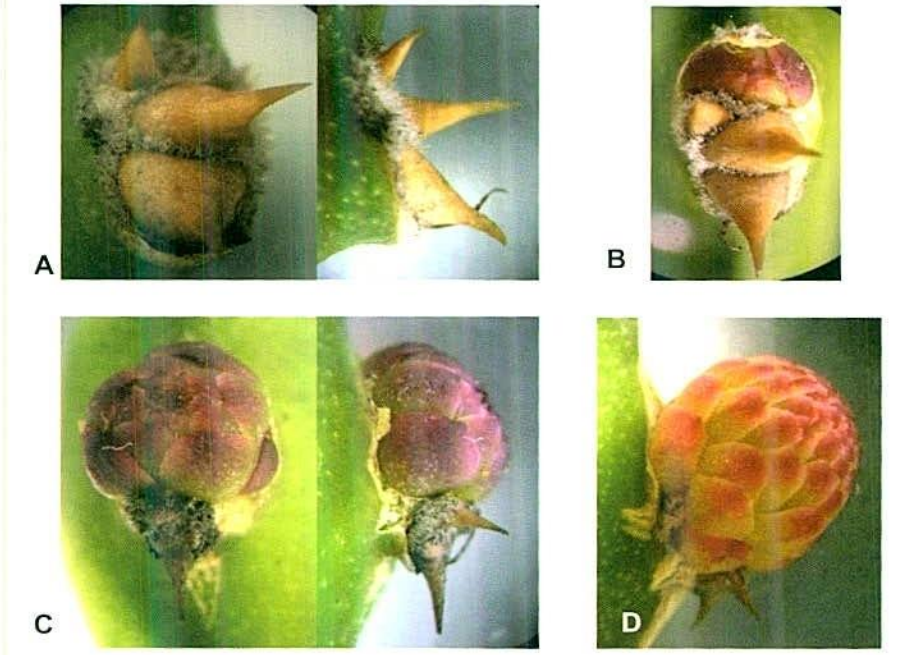

Figura17. Estados de desarrollo inicial del brote reproductivo. **A**. Diferenciación de espinas en areolas (Día 0). **B**. Formación de abultamiento en zona superior de las areolas (Día 4). **C, D**. Desarrollo del brote reproductivo hasta 10 días. Fotos: A. Rebolledo.

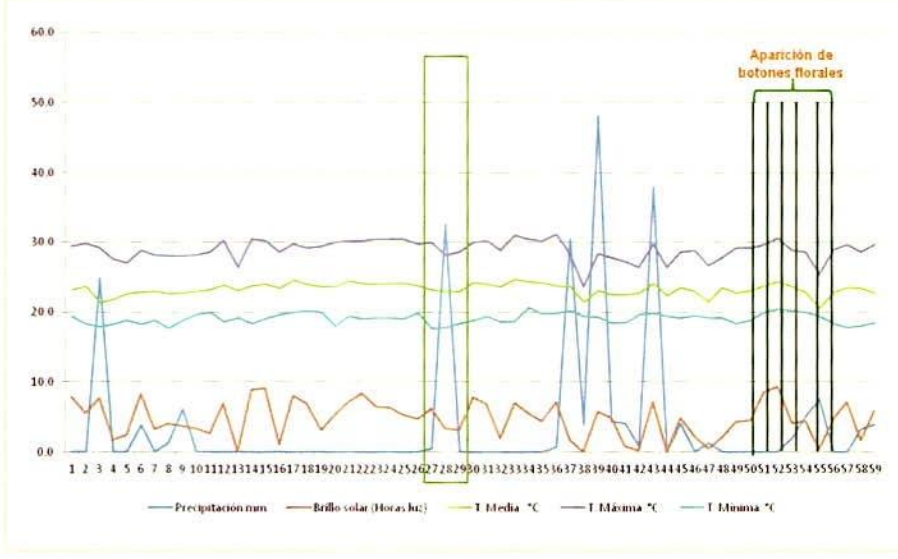

Figura 18. Relación de parámetros ambientales con el inicio de la formación del brote reproductivo para la localidad de Palmira. Calculos realizados por J.A. Medina S.

Al igual que sucede con el desarrollo vegetativo, el desarrollo del brote reproductivo se encuentra determinado por las condiciones ambientales propias de cada región. A 1.011 msnm bajo condiciones de Palmira, transcurren 36 días desde la formación del brote reproductivo hasta antesis, mientras que en Restrepo y Riofrío, con una altitud de 1.619 y 1.626 msnm respectivamente, los brotes tardan 46 dias para alcanzar el momento de la antesis (Figura 19 A, B y C). En todas las localidades, el modelo que explica el aumento en peso fresco y seco es una ecuación de tipo exponencial, que se ajusta a las fases I y II de crecimiento del fruto (Figura 19).

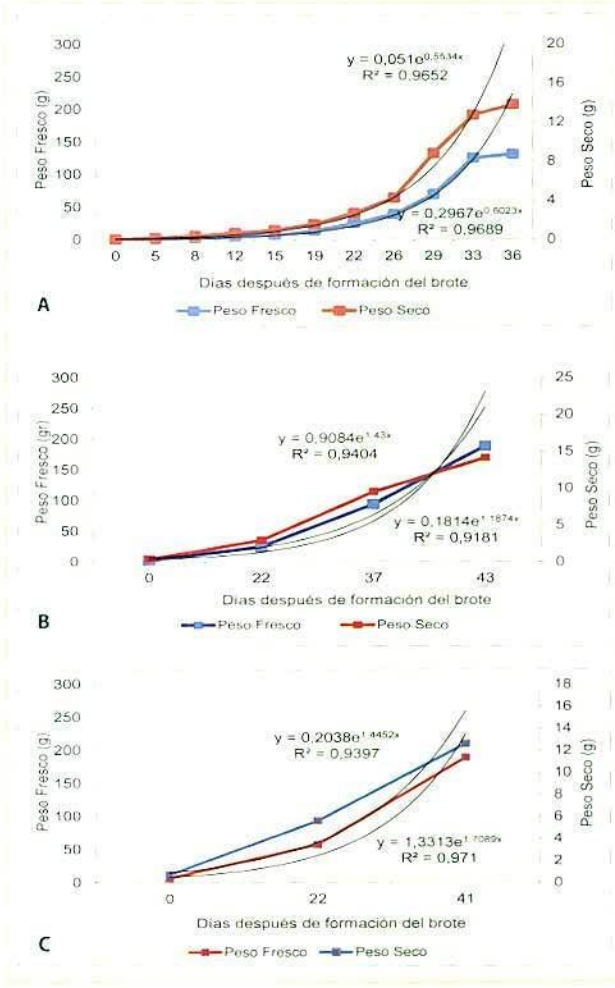

Figura 19. Esquema del crecimiento del brote desde la aparición hasta antesis y crecimiento en peso fresco y seco, de brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis para las localidades de (**A**) Palmira, (**B**) Restrepo y (**C**) Riofrío.

BIBLIOTECA DE COLOMBIA

El cuajado se define como la fase del desarrollo que marca la transición de una flor (ovario) a un fruto que se desarrollará hasta la madurez. El potencial de crecimiento del fruto puede estar determinado tempranamente en el desarrollo, por el tamaño inicial del ovario en antesis; y puede manifestarse en un crecimiento temprano más acelerado del fruto y un aumento en el tamaño final.

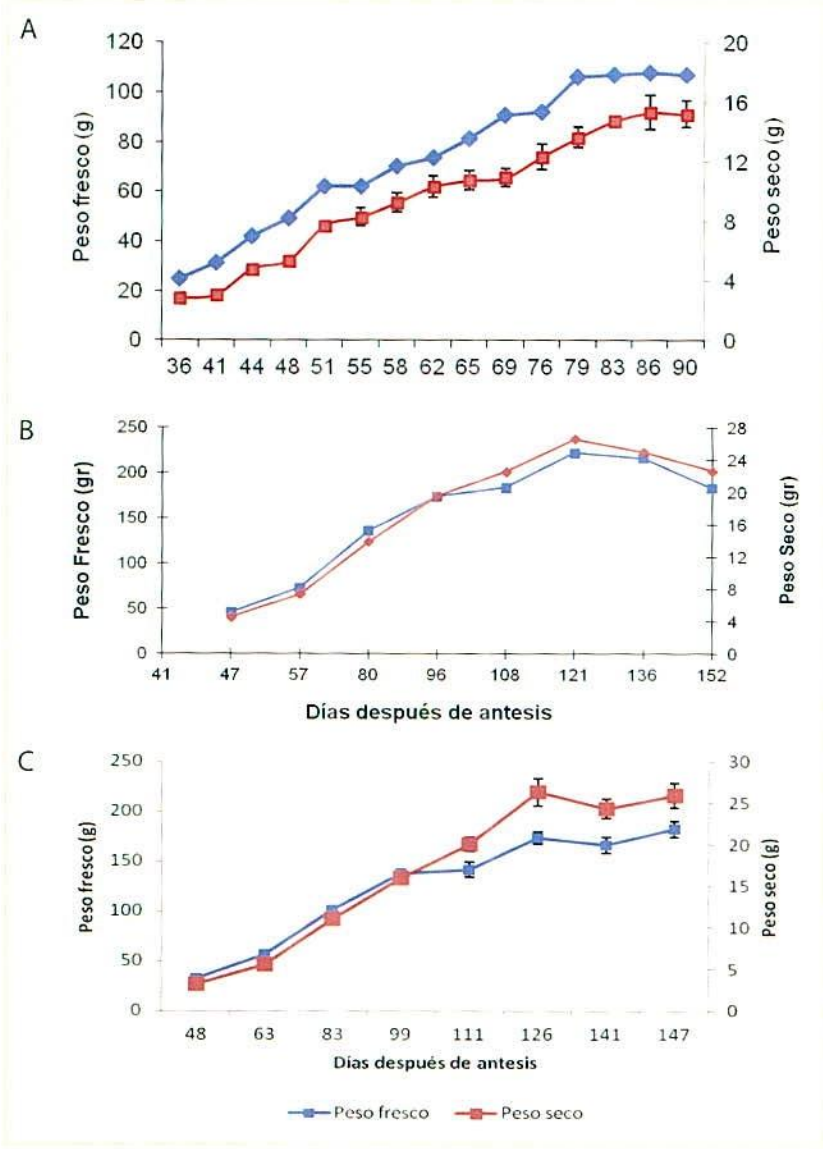

Figura 20. Aumento en peso fresco y seco del fruto de pitaya amarilla bajo condiciones de (**A**) Palmira (**B**) Río Frío y (**C**) Restrepo.

En Palmira, la antesis se presenta a los 36 días después de la formación del brote con un diámetro de ovario de 2,7 cm. El fruto presenta un aumento en peso fresco y seco, continúo a través del tiempo, alcanzado al momento de la cosecha un peso fresco de 107 g/fruto y seco de 15 g/fruto (Figura 20). Del total de peso acumulado por fruto al momento de la cosecha, el peso fresco representa el 86% y el peso seco el 14%. El porcentaje de humedad encontrado para la pitaya amarilla bajo condiciones de Palmira, coincide con el reportado por Díaz (2003), en un artículo de revisión sobre biología y manejo poscosecha de pitaya roja y amarilla (Figura 20 A). En Riofrío, el momento de la antesis se presenta a los 41 días después de la formación del brote floral. Al momento de la cosecha el fruto alcanza una ganancia en peso fresco de 184 g/fruto y en peso seco de 23 g/fruto (Figura 20 B). En Restrepo, el momento de la antesis se presenta a los 43 días después de la formación del brote floral. Al momento de la cosecha el fruto alcanza una ganancia en peso fresco de 210 g/fruto y en peso seco de 22 g/fruto (Figura 20 C).

Tabla 1. Distribución anual de las etapas fenológicas del cultivo de Pitaya amarilla.

ETAPA DEL CULTIVO	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Vegetativo												
Botones												
Floración - Antesis												
Llenado de frutos												
Cosecha												

El cultivo de la pitaya amarilla normalmente presenta dos cosechas en el año. El desarrollo fenológico reproductivo desde la formación del botón floral – Floración – Antesis – Desarrollo del fruto – Cosecha, tiene una duración de 118 días en Palmira y 145 en Restrepo y Riofrío. Después de la cosecha, presenta un periodo de reposo entre 2 a 4 semanas, antes de la nueva emisión de brotes reproductivos (Tabla 1).

4.4. Comportamiento productivo

La Figura 21 representa un esquema de la arquitectura de la planta que permite entender la distribución de los cladodios y además el detalle de las aristas que dan origen a los brotes reproductivos.

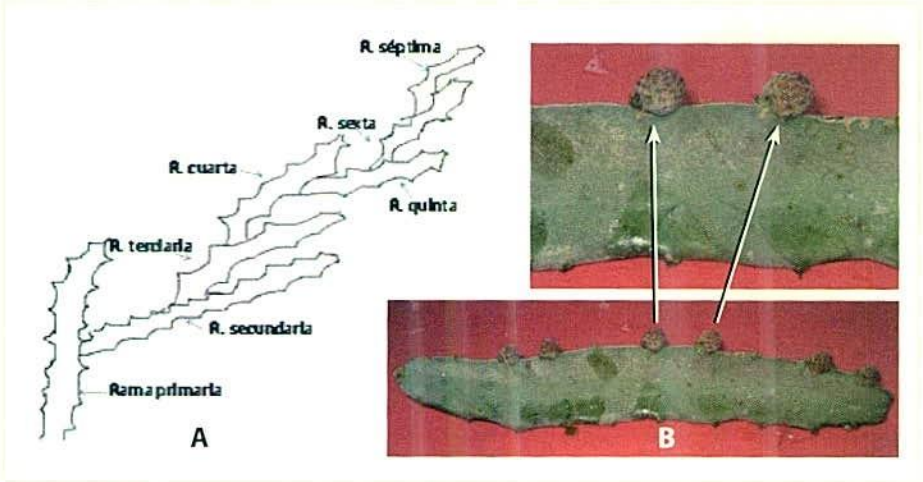

Figura 21. A. Arquitectura de una planta de pitaya amarilla. **B**. Detalle de zonas de crecimiento que generan brotes reproductivos en las aristas de cada cladodio. Fotos por A. Rebolledo

Dependiendo de la edad del cultivo, se pueden encontrar hasta ramas quintas en un huerto de 3 años de edad (Figura 22 A) y hasta ramas décimas en un huerto de 7 años de edad (Figura 22 B). Se observa una diferencia en la longitud de los distintos tipos de cladodios que obedece al sistema de manejo de podas que practica el productor y a la edad de desarrollo de cada tipo de cladodio.

De los órganos de la planta, la raíz presenta una mayor acumulación de materia seca, indicando que es un órgano que requiere en mayor proporción, carbohidratos para el crecimiento y desarrollo (Figura 23). La pitaya amarilla presenta un sistema de raíces bien desarrollado, alcanzando en profundidad hasta 30

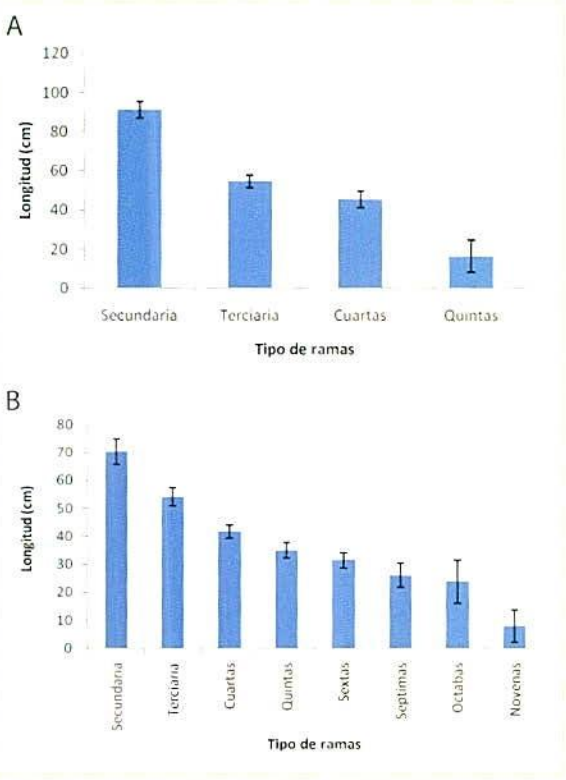

Figura 22. Longitud de ramas alcanzado en los huerto de (**A**) Río Frío con 3 años de edad y (**B**) Restrepo con 7 años de edad.

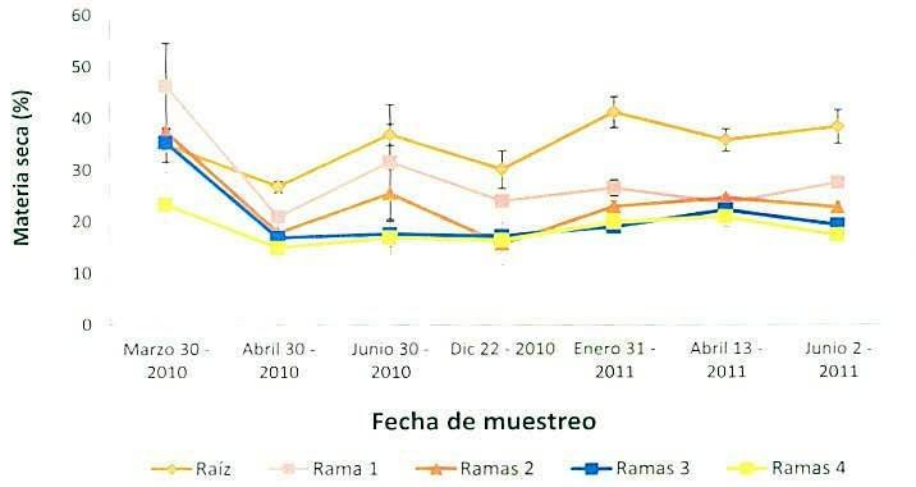

Figura 23. Porcentaje de materia seca en raíz y tipos de ramas de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.

Figura 24. Desarrollo del sistema de raíces de plantas de pitaya amarilla. Localidad de Palmira. Fotos por J.A Medina.

cm y en longitud hasta 50 cm (Figura 24 A y B). La acumulación de materia seca se presenta de acuerdo al estado de desarrollo del tejido, siendo mayor en la rama principal o primaria, a partir de la cual se generan los brotes que darán origen a las ramas secundarias y de estas las ramas terciarias, hasta completar la arquitectura de la planta (Figura 23).

Una vez identificado el número de ramas potencialmente productivas por planta, se identificaron aquellas en donde se concentra la cosecha. En un huerto de 3 años de edad que ya ha estabilizado la producción, la cosecha se concentra en

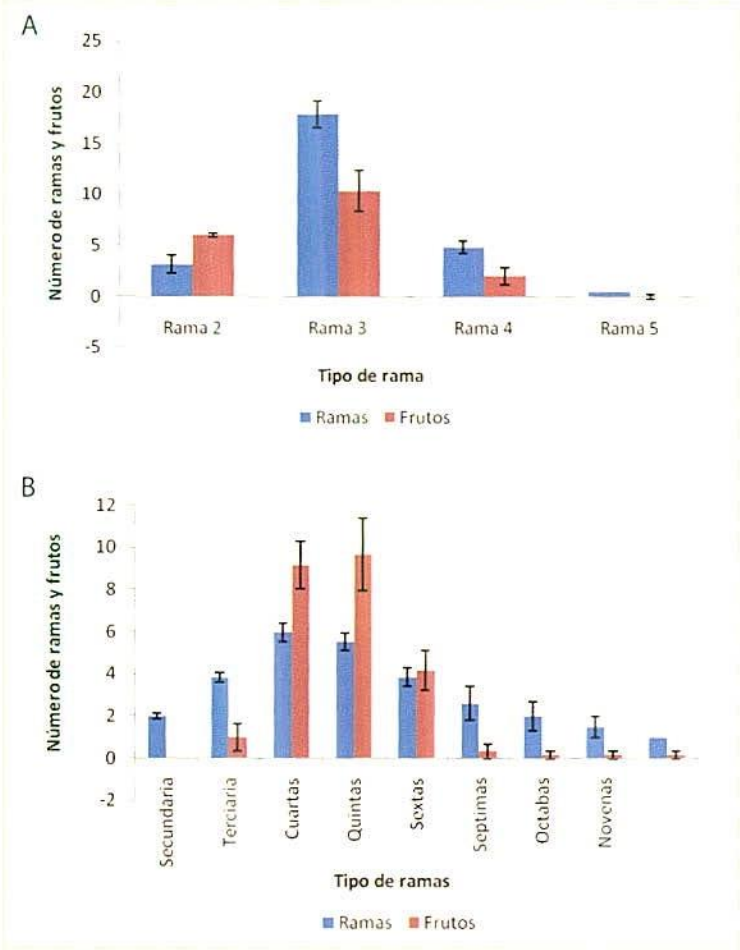

Figura 25. Potencial productivo de plantas de pitaya amarilla de (**A**) 3 años y (**B**) 7 años, ubicadas en huertos de Riofrío y Restrepo respectivamente para el año 2009.

ramas terciarias con un promedio de 10 frutos. Las ramas secundarias presentan un promedio de 6 frutos y las cuartas de 2. No se encontraron frutos en ramas quintas, posiblemente debido a que se encuentran en pleno periodo de crecimiento y el gasto nutricional está siendo utilizado en crecimiento vegetativo (Figura 25 A).

En un huerto de 7 años de edad, las plantas presentan hasta ramas décimas, siendo las cuartas y las quintas en donde se concentra el mayor número de frutos con 9 y 10 respectivamente (Figura 25 B). Las ramas sextas también representan un aporte importante a la cosecha, pero no desde las séptimas hasta las décimas. La información registrada puede tomarse como criterio para la renovación de

plantaciones que presentan ramas no productivas que demandan nutrientes, representando un gasto metabólico y de energía adicional por parte de la planta para el mantenimiento. Esto implica la evaluación de sistemas soporte que permitan una mejor distribución de ramas en donde se mantengan 4 o 5 ramas secundarias.

La producción por planta en Palmira para un huerto que inicia la fase de estabilización de la cosecha fue de 2,5 Kg mientras que en Restrepo y Ríofrio se encuentra entre 3 y 5 Kg en huertos de 5 y 8 años de edad.

El potencial productivo de una planta se ve representado en la capacidad para generar y mantener estructuras reproductivas que van a representar las cosechas de frutos, como órganos de interés económico. La expresión del potencial productivo también se ve estimulado por factores externos relacionados con ambiente y nutrición, en otras palabras, condiciones edafoclimáticas ideales. Del total de flores formadas inicialmente, se presenta un ajuste del número de estructuras que la planta puede llegar a mantener, de acuerdo con el contenido en reservas almacenadas y capacidad para sintetizar fotoasimilados. Este ajuste se presenta por la abscisión natural o por el efecto de una condición ambiental extrema y es considerado como tema de estudio a investigar y punto de partida para la implementación de prácticas de manejo de la especie dentro del nuevo enfoque de agricultura específica por sitio.